



T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı  
Protetik Diş Tedavisi

Doktora Tezi

**FARKLI AĞIZ İÇİ TARAYICILAR İLE ALINAN TEK VE ÇİFT TARAFLI  
KAPANIŞ KAYDININ KAYIT DOĞRULUĞUNA ETKİSİ**

Yusuf Kamil ŞEKER  
ORCID: 0009-0004-1668-3114

Danışman

Doç. Dr. E. Begüm BÜYÜKERKMEN  
ORCID: 0000-0002-5403-667X

Bu tez çalışması Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 24DR24003 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Konya – 2026



## ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim süresince bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren, her aşamada destek ve emeklerini esirgemeyen, titiz ve disiplinli çalışma anlayışıyla örnek aldığım değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Emine Begüm BÜYÜKERKEMEN'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim sürem boyunca akademik birikimlerini paylaşarak doktora eğitimime yaptıkları katkılarından dolayı değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Ali Rıza TUNÇDEMİR'e, Sayın Doç. Dr. Mehmet Esad GÜVEN'e, Sayın Doç. Dr. Ceyda AKIN'a, Sayın Doç. Dr. Mehmet Gökberkkaan DEMİREL'e, Sayın Doç. Dr. Neslihan GÜNTEKİN'e, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Meryem ERDOĞDU'ya,

Her türlü bilgi ve deneyimlerini paylaşan, kıymetli dostum Sayın Dr. Dt. Mehmet GÖZEN'e,

Birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum bölümdeki tüm diş hekimî arkadaşlarıma,

Uzakta olmalarına rağmen her zaman kalbimde ve düşüncelerimde olan sevgili aileme,

Hayatıma girdiği ilk andan beri desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, hiçbir fedakarlıktan geri durmayan, sevgisi, inancı, sabrı, verdiği motivasyon ve bana duyduğu güven ile hep destek olan, hayatımın her anını değerli kılan eşim, Sevgili Dt. Ayşe Yekta ŞEKER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yusuf Kamil ŞEKER

Mart 2026

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>TEZ ONAY SAYFASI</b> .....	<b>vi</b>
<b>TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU</b> .....	<b>vii</b>
<b>BİLİMSEL ETİK BEYANNAMESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>x</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiv</b>
<b>1. GİRİŞ VE AMAÇ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. GENEL BİLGİLER</b> .....	<b>5</b>
2.1. Diş Hekimliğinde Ölçü.....	5
2.1.1. Geleneksel ölçü.....	5
2.1.2. Dijital ölçü.....	5
2.2. Ağız İçi Tarayıcılar ve Tarama Teknolojileri.....	7
2.2.1. Ağız içi tarayıcılar.....	15
2.2.2. Ağız içi tarayıcıların tarama teknolojileri.....	19
2.2.3. Tarama stratejileri ve tarama hataları.....	22
2.3. Kapanış Kaydı Alma Yöntemleri.....	25
2.3.1. Geleneksel kapanış kaydı.....	26
2.3.2. Dijital kapanış kaydı.....	26
2.4. Dental Artikülatörler.....	27
2.4.1. Artikülatör çeşitleri.....	27
2.4.2. Yüz arkı kaydı ve transferi.....	29
2.5. Diş Hekimliğinde Accuracy, Trueness ve Precision Kavramları.....	30
2.6. Diş Hekimliğinde Dijital Analiz.....	32
2.6.1. Hizalama teknikleri.....	32
2.6.2. Değerlendirme kriterleri.....	33
<b>3. GEREÇ VE YÖNTEM</b> .....	<b>37</b>
3.1. Referans Modelin Elde Edilmesi.....	37
3.2. Test Verilerinin Elde Edilmesi.....	38
3.3. Tarama Verilerinin Tek Bir Mesh Haline Getirilmesi.....	40
3.4. Ağız İçi Tarayıcılardan Elde Edilen Tarama Verilerinin Referans Tarayıcı Verileriyle Karşılaştırılması.....	42

3.5. İstatistiksel Analiz .....	45
<b>4. BULGULAR.....</b>	<b>47</b>
4.1. Gerçeklik Değerlendirilmesine Ait Bulgular .....	47
4.2. Tekrarlanabilirlik Değerlendirilmesine Ait Bulgular .....	51
<b>5. TARTIŞMA .....</b>	<b>53</b>
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>65</b>
6.1. Sonuç .....	65
6.2. Öneriler.....	65
<b>7. KAYNAKLAR.....</b>	<b>67</b>
<b>8. EKLER.....</b>	<b>77</b>
8.1. EK 1 Etik kurul kararı .....	77

## TEZ ONAY SAYFASI

Necmettin Erbakan Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı Doktora Öğrencisi **YUSUF KAMİL ŞEKER**'in “**Farklı Ağız İçi Tarayıcılar İle Alman Tek Ve Çift Taraflı Kapanış Kaydının Kayıt Doğruluğuna Etkisi**” başlıklı tezi tarafımızdan incelenmiş; amaç, kapsam ve kalite yönünden Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Konya / 31/03/2026

Tez Danışmanı	Doç. Dr. E. Begüm BÜYÜKERKEMEN Necmettin Erbakan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi	İmzası
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Ali Rıza TUNÇDEMİR Necmettin Erbakan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi	İmzası
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Dilek MENZİLETOĞLU Necmettin Erbakan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi	İmzası
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Hatice Nalan BOZOĞULLARI Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi	İmzası
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Özlem ÜSTÜN Akdeniz Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi	İmzası

Yukarıdaki tez, Necmettin Erbakan Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 08/04/2026 tarih ve 07/07 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hasibe VURAL

Enstitü Müdürü

## TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

*Farklı Ağız İçi Tarayıcılar ile Alınan Tek ve Çift Taraflı Kapanış Kaydının Kayıt Doğruluğuna Etkisi* başlıklı tez çalışmamın toplam **56** sayfalık kısmına ilişkin, 13/4/2026 tarihinde tez danışmanım tarafından **Turnitin** adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı **%2** 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.

13/04/2026

İmza

Yusuf Kamil ŞEKER

İmza

Doç. Dr. E. Begüm BÜYÜKERKEMEN

## **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.

13/04/2026

İmza

Yusuf Kamil ŞEKER

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### SİMGELER

% : Yüzde

$\mu\text{m}$ : Mikrometre

$^{\circ}\text{C}$ : Santigrat derece

## **KISALTMALAR**

AWS: Aktif dalga örneklendirmesi

CAD: Bilgisayar destekli tasarım

CAM: Bilgisayar destekli üretim

Çift: Çift taraflı kapanış kaydı alınan grup

ICP: İlgili en yakın nokta

IOS: Ağız içi tarayıcı

ISO: Uluslararası Standardizasyon Kuruluşu

M: Medit ağız içi tarayıcısı

MAD: Medyan mutlak sapma

MIP: Maksimum interküspidasyon

Mm: Milimetre

Nm: Nanometre

Non Prep: Preparasyon olmayan bölgeden kapanış kaydı alınan grup

PLY: Poligon dosya formatı

POI: İlgili nokta

Prep: Yalnızca preparasyon olan taraftan kapanış kaydı alınan grup

Ps: Primescan ağız içi tarayıcısı

RMS: Karekök ortalama

RMSE: Karekök ortalama hatası

SD: Standart Sapma

STL: Standart mozaikleme dili

TR3: Trios 3 ağız içi tarayıcısı

TR5: Trios 5 ağız içi tarayıcısı

VIR: Sanal interoklüzal kayıt

## TABLULAR LİSTESİ

<b>Tablo No</b>	<b>Sayfa No</b>
Tablo 3.1. Tarayıcı ve alt grup kodları .....	40
Tablo 4.1. Ağız içi tarayıcı ve tarama yöntemine göre RMS değerlerinin karşılaştırılması ...	47
Tablo 4.2. Ağız içi tarayıcıya göre RMS değerlerinin dağılımı .....	48
Tablo 4.3. Tarama yöntemine göre RMS değerlerinin dağılımı ( $\mu\text{m}$ ).....	50
Tablo 4.4. Ağız içi tarayıcı ve tarama yöntemi etkileşimine göre RMS değerleri ( $\mu\text{m}$ ) .....	50
Tablo 4.5. En düşük ve en yüksek RMS değerlerinin gözlemlendiği gruplar ( $\mu\text{m}$ ).....	51
Tablo 4.6. Tekrarlanabilirlik ( $\mu\text{m}$ ).....	51
Tablo 4.7. Tarama yöntemine göre genel tekrarlanabilirlik .....	51
Tablo 4.8. Ağız içi tarayıcıya göre genel tekrarlanabilirlik .....	52

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil No	Sayfa No
Şekil 2.1. Üçgenleştirme teknolojisi .....	20
Şekil 2.2. Konfokal mikroskopi teknolojisi .....	21
Şekil 2.3. Aktif dalga örneklendirmesi teknolojisi .....	21
Şekil 2.4. Stereofotogrametri teknolojisi .....	22
Şekil 2.5. 3Shape tarama protokolü .....	23
Şekil 2.6. Medit i700 tarama protokolü .....	24
Şekil 2.7. Primescan tarama protokolü .....	25
Şekil 2.8. Accuracy, trueness, precision şematik anlatım (Sanda ve ark., 2021) .....	32
Şekil 2.9. RMSE (karekök ortalama hata, root mean square error) formülü .....	33
Şekil 2.10. Standart sapma ( $\sigma$ , SD) formülü (Thomas Meyer, 2012) .....	34
Şekil 3.1. Smart Optics Vinyl HR tarayıcı, Smart Optics Sensortechnik .....	38
Şekil 3.2. Trios 3 (3Shape, Kopenhag, Danimarka) .....	39
Şekil 3.3. Trios 5 (3Shape, Kopenhag, Danimarka) .....	39
Şekil 3.4. Medit i700 (Medit Corp., Seul, Kore) .....	39
Şekil 3.5. Primescan (Dentsply Sirona, Bensheim, Almanya) .....	40
Şekil 3.6. Alt çene modelinin yazılıma aktarılması .....	41
Şekil 3.7. Üst çene modelinin yazılıma aktarılması.....	41
Şekil 3.8. Alt ve üst çenenin merge komutu ile birleştirilmesi .....	42
Şekil 3.9. “3 point” komutu ile hizalama işleminin gerçekleştirilmesi.....	43
Şekil 3.10. Hizalama sonucu görseli.....	43
Şekil 3.11. “Resegment” komutunun kullanılması .....	44
Şekil 3.12. Alt ve üst çenenin ayrı segmentler olarak gösterilmesi .....	44
Şekil 3.13. Alt çenede “3D Compare” komutunun kullanılması .....	45
Şekil 3.14. Ağız içi tarayıcılardan elde edilen tarama verilerinin referans tarayıcı verileriyle karşılaştırılması aşamaları.....	45
Şekil 4.1. RMS Sapma ( $\mu\text{m}$ ) değerlerinin kutu grafiği ile gösterimi.....	49

## ÖZET

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

### FARKLI AĞIZ İÇİ TARAYICILAR İLE ALINAN TEK VE ÇİFT TARAFLI KAPANIŞ KAYDININ KAYIT DOĞRULUĞUNA ETKİSİ

Yusuf Kamil ŞEKER

Konya-2026

Bu çalışmanın amacı, dört farklı ağız içi tarayıcı (Trios 3, Trios 5, Medit i700 ve Primescan) kullanılarak üç farklı kapanış kaydı stratejisi (Prep, Non-Prep ve Çift) ile elde edilen sanal interoklüzal kayıtların doğruluğunu, referans bir masaüstü laboratuvar tarayıcısından elde edilen verilerle karşılaştırarak üç boyutlu dijital analiz yöntemiyle değerlendirmektir. Ayrıca, ağız içi tarayıcı tipi ile kapanış kaydı stratejisi arasındaki olası etkileşimin ölçüm doğruluğu üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada, tipodont bir çene modeli üzerinde FDI 23, 25, 27, 33, 35 ve 37 numaralı dişler prepare edilmiş; 24, 26, 28, 34, 36 ve 38 numaralı diş bölgeleri ise dişsiz simüle edilmiştir. Referans veri, bir laboratuvar tarayıcısı kullanılarak elde edilmiştir. Aynı model, dört farklı ağız içi tarayıcı ile üretici talimatlarına uygun şekilde taranmış; her bir tarayıcı için üç farklı sanal kapanış kaydı stratejisi, her biri 15 tekrar olacak şekilde uygulanmıştır (n=15). Referans ve test verileri üç noktalı hizalama (3-point alignment) yöntemiyle karşılaştırılmış ve üç boyutlu karşılaştırmalar sonucu kök ortalama kare (Root Mean Square, RMS) sapma değerleri hesaplanmıştır. Normal dağılıma uygunluk Shapiro Wilk testi ile incelendi. Ağız içi tarayıcı ve tarama yöntemine göre normal dağılıma uymayan değişkenlerin karşılaştırılmasında Robust ANOVA kullanıldı. Nicel verilerin gösteriminde Ortanca (Minimum-Maksimum) kullanıldı. Önem düzeyi  $p < 0,05$  olarak alındı.

Elde edilen bulgulara göre, gerçeklik analizinde ağız içi tarayıcı tipi, kapanış kaydı stratejisi ve bu iki faktörün etkileşiminin RMS sapma değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmamıştır ( $p > 0,05$ ). Hassasiyet analizinde ise tarayıcı tipi açısından istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmış ( $p < 0,05$ ) ve özellikle TRIOS 5 tarayıcısının diğer tarayıcılara kıyasla daha düşük ölçüm tekrarlanabilirliği gösterdiği belirlenmiştir. Buna karşın, kapanış kaydı stratejisinin ve tarayıcı–strateji etkileşiminin hassasiyet üzerinde anlamlı etkisi olmadığı görülmüştür ( $p > 0,05$ ).

Sonuç olarak, değerlendirilen ağız içi tarayıcılar ve kapanış kaydı stratejileri sanal interoklüzal kayıtların doğruluğu açısından benzer performans sergilemekle birlikte, ölçüm hassasiyeti tarayıcı tipine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Klinik uygulamalarda, özellikle yüksek tekrarlanabilirlik gerektiren vakalarda tarayıcı seçiminin dikkatle yapılması önerilmektedir. Sanal interoklüzal kayıtların klinik güvenilirliğinin daha kapsamlı biçimde değerlendirilmesi için, farklı klinik senaryoları içeren ileri düzey in vivo çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Ağız içi tarayıcı, Doğruluk, Gerçeklik, Tekrarlanabilirlik, Sanal interoklüzal kayıt

## ABSTRACT

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

### THE EFFECT OF UNILATERAL AND BILATERAL BITE RECORDING WITH DIFFERENT INTRAORAL SCANNERS ON RECORDING ACCURACY

Yusuf Kamil ŞEKER

Konya-2026

The aim of this study was to evaluate the trueness of virtual interocclusal registration obtained using three different virtual interocclusal registration strategies (Prep, Non-Prep, and Double) with four different intraoral scanners (Trios 3, Trios 5, Medit i700, and Primescan), by comparing them with reference data acquired from a desktop laboratory scanner using three-dimensional digital analysis. In addition, the possible interaction between intraoral scanner type and virtual interocclusal registration strategy on measurement accuracy was investigated.

In this study, on a typodont jaw model, teeth numbered FDI 23, 25, 27, 33, 35, and 37 were prepared, while regions corresponding to teeth 24, 26, 28, 34, 36, and 38 were flattened to simulate edentulous areas. Reference data were obtained using a laboratory scanner. The same model was scanned with four different intraoral scanners according to the manufacturers' instructions, and three different virtual interocclusal registration strategies were applied 15 times for each scanner (n=15). Reference and test datasets were aligned using the three-point alignment method, and root mean square (RMS) deviation values were calculated from three-dimensional surface-based comparisons. Normality was assessed using the Shapiro–Wilk test. Robust ANOVA was applied for the comparison of variables that did not show normal distribution according to intraoral scanner and scanning strategy. Descriptive data were presented as median (minimum–maximum). The level of significance was set at  $p < 0.05$ .

According to the findings, in the trueness analysis, intraoral scanner type, virtual interocclusal registration strategy, and their interaction did not show a statistically significant effect on RMS deviation values ( $p > 0.05$ ). In the precision analysis, a statistically significant difference was found among scanner types ( $p < 0.05$ ), and Trios 5 demonstrated lower measurement repeatability compared with the other scanners. However, virtual interocclusal registration strategy and the interaction between scanner type and strategy did not have a statistically significant effect on precision ( $p > 0.05$ ).

In conclusion, although the evaluated intraoral scanners and virtual interocclusal registration strategies showed similar performance in terms of the trueness of virtual interocclusal records, measurement precision may vary depending on the scanner type. In clinical practice, careful selection of the intraoral scanner is recommended, especially in cases requiring high repeatability. Further in vivo studies including different clinical scenarios are needed to more comprehensively evaluate the clinical reliability of virtual interocclusal records.

**Keywords:** Accuracy, Intraoral scanner, Precision, Trueness, Virtual interocclusal record.

## 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Diş hekimliğinde protetik tedavilerin temel amacı, hastaların estetik, fonksiyonel ve fonasyonel gereksinimlerini karşılamak; kayıp sert ve yumuşak dokuların yerine konularak bu işlevlerin yeniden kazandırılmasını sağlamaktır. Bu hedefe ulaşmada en kritik aşamalardan biri, doğru ve hassas bir ölçü alma sürecidir; çünkü hastaya kaybedilen fonksiyonları geri kazandırabilecek uygun bir protezin hazırlanması, büyük ölçüde alınan ölçünün doğruluğuna bağlıdır (Hansson & Halldin, 2012; Johnson & Craig, 1986). Günümüzde dijital teknolojilerin diş hekimliğine entegrasyonu, ölçü ve restorasyon süreçlerinde önemli kolaylıklar sağlamıştır. Bilgisayar destekli tasarım ve üretim (CAD/CAM), kazıyıcı sistemler ile üç boyutlu tarayıcı ve yazıcı teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, dijital diş hekimliği alanında önemli bir ilerleme sağlarken; bu dijital dönüşüm, geleneksel ölçü yöntemleri ve materyallerin yerini alarak hastaların konforunu artırmakta, klinik süreçleri kolaylaştırmakta ve yüksek doğrulukta restorasyonların üretilmesine imkân tanımaktadır. Bununla birlikte, uyumlu bir restorasyonun elde edilmesinde dijital ölçülerin yüksek hassasiyete sahip olması büyük önem taşımaktadır. (Christensen, 2009; Renne ve ark., 2017)

Dijital ölçülerin avantajları arasında; geleneksel ölçü yöntemlerine kıyasla daha yüksek gerçeklik ve hassasiyet sağlanması, ölçü materyallerinin ortadan kalkmasıyla hastada oluşan rahatsızlık ve öğürme refleksinin azalması, dijital verilerin diş laboratuvarlarına anında iletilmesiyle restorasyonların daha kısa sürede tamamlanabilmesi, dijital dosyaların kolayca paylaşılabilmesi sayesinde diş hekimi ile diş teknisyeni arasındaki iletişim ve işbirliğinin güçlenmesi, ayrıca dijital modellerin üç boyutlu olarak görselleştirilebilmesi ve düzenlenebilmesi sayesinde hasta eğitimi ile tedavi planlamasının daha etkili hale getirilmesi sayılabilir. (A. Mangano ve ark., 2018) Ayrıca, dijital ölçüler, eksik ya da hatalı kaydedilen bölgelerin yeniden taranmasına ve ölçü bölümlerinin ön izlenmesine olanak tanıyarak, gerçek zamanlı geri bildirim sağlar. (D'Ambrosio ve ark., 2023)

Ağız içi tarayıcıların (IOS) doğruluğu birçok faktörden etkilenmektedir. Tarayıcı seçimi, operatörün deneyimi, kalibrasyon, tarama protokolü, yazılımın güncelliği ve ağız anatomisi doğruluk üzerinde önemli rol oynamaktadır. Bununla birlikte tekrar tarama işlemlerinin (rescan) genel doğruluğu olumsuz etkileyebilmektedir, bu sebeple üretici yönergelerine uyulması gereklidir. Ayrıca ortam aydınlatmasının, sıcaklığın, tarama deseninin ve tarama hızı gibi çevresel ve teknik değişkenlerin de tarama sonuçlarını etkileyebileceği

bilinmektedir. Yazılımın güncel tutulması performansı artırırken, küçük tarama uçları veya çok hızlı tarama işlemlerinin gerçeklik ve hassasiyeti olumsuz etkilemektedir. (Alkadi, 2023)

Diş hekimliği iş akışlarında güvenilir bir interoklüzal kayıt alınması ve bu kaydın laboratuvar ortamına doğru şekilde aktarılması, hem protez hem de restoratif uygulamalarda tedavi başarısı açısından büyük önem taşır. Hazırlanacak protez türü ne olursa olsun, hastanın oklüzal ilişkisinin doğru şekilde kaydedilmesi, başarılı bir tedavi süreci için kritik öneme sahiptir. Bu ilişkinin dijital yazılıma doğru biçimde aktarılması, restorasyonun morfolojik uyumunu artırır ve protezin ağızda uygulanması sırasında yapılacak uyumlamaları en aza indirir. Literatürde, sanal oklüzal kayıt elde etmeye yönelik farklı yöntemler tanımlanmış ve bu yöntemlerin gerçeklik ile hassasiyetleri çeşitli klinik durumlarda değerlendirilmiştir. (Alhazzawi, 2016; Arslan ve ark., 2017; Nadjmi ve ark., 2010; S. Ren ve ark., 2020)

Birçok dijital iş akışında, interoklüzal kayıt taramaları, sanal interoklüzal ilişkinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Taranmış modellerin artikülasyonu tamamen bu tarama prosedürüne bağlı olarak belirlendiğinden, interoklüzal kayıt taramalarının doğruluğu literatürde ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Çift taraflı interoklüzal kayıt taramaları standart yöntem olarak kabul edildiğinden, sanal artikülatörleri inceleyen çalışmaların çoğu (Edher ve ark., 2018a; Ferracane & Giannobile, 2014; Lepidi ve ark., 2021; Solaberrieta, Garmendia, ve ark., 2015; Solaberrieta, Otegi, ve ark., 2015), alternatif yöntemleri dikkate almaksızın çift taraflı interoklüzal kaydın etkinliğini tekrar tekrar doğrulamıştır. Çift taraflı interoklüzal kaydın, maksillomandibular ilişkinin doğru şekilde elde edilmesini sağladığı bildirilmiştir (Edher ve ark., 2018a; Lepidi ve ark., 2021; Solaberrieta, Garmendia, ve ark., 2015; Solaberrieta, Otegi, ve ark., 2015).

Ren ve ark. (2020) çenelerin farklı bölgelerindeki ve farklı sayıdaki dişsizlik senaryolarının sanal interoklüzal kayıtların (VIR) doğruluğuna olan etkisini incelemiştir. Revilla-León ve ark. (2023) ise VIR'in kapsamında yer alan diş sayısının ve kayıt lokalizasyonunun etkisi tek bir tarayıcı üzerinden incelemiştir. Bununla birlikte, literatürde preparasyonlu dişlerin bulunduğu bir çene modelinde, birden fazla ağız içi tarayıcının ve farklı sanal interoklüzal kayıt stratejilerinin eş zamanlı olarak karşılaştırıldığı kapsamlı bir çalışmaya rastlanmamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, dört farklı IOS (TRIOS 3, TRIOS 5, Medit i700 ve Primescan) kullanılarak üç farklı kapanış kaydı stratejisi (Prep, Non Prep ve Çift) ile elde edilen dijital

kapanış kayıtlarının doğruluğunu, referans bir masaüstü laboratuvar tarayıcısından elde edilen verilerle karşılaştırarak dijital bir üç boyutlu analiz yazılımı aracılığıyla değerlendirmektedir. Ayrıca, kullanılan IOS'lar ile kapanış kaydı stratejileri arasındaki olası etkileşimin dijital kapanış kaydı doğruluğu üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda tez çalışmamızın boş hipotezleri şunlardır:

H<sub>1</sub>: Farklı IOS'lar kullanılarak elde edilen dijital kapanış kayıtlarının doğruluğu arasında bir fark olmayacağı,

H<sub>2</sub>: Farklı kapanış kaydı stratejileri kullanılarak elde edilen dijital kapanış kayıtlarının doğruluğu arasında bir fark olmayacağı,

H<sub>3</sub>: Kullanılan IOS ile kapanış kaydı stratejisi arasındaki etkileşimin, dijital kapanış kayıtlarının doğruluğu üzerinde bir etkisi olmayacağı yönündedir.



## **2. GENEL BİLGİLER**

### **2.1. Diş Hekimliğinde Ölçü**

#### **2.1.1. Geleneksel ölçü**

Protetik tedavilerde, protezlerin laboratuvar ortamında hazırlanma sürecinin rutin bir parçası olarak, yüksek doğrulukta alınan ölçülerin diş hekimleri tarafından dental laboratuvarlara eksiksiz biçimde aktarılması gerekmektedir. (Beier ve ark., 2007; Christensen, 2003) Ölçünün kapsamı dikkate alındığında, dental ölçüler tam (complete veya full) ölçüler ve bölgesel (segmental veya parsiyel) ölçüler olarak sınıflandırılmaktadır. Dental ölçülerin alınmasında farklı türde ölçü kaşıkları kullanılmakta olup, bunlar arasında hazır (prefabrik veya stok) kaşıklar, kişiye özel hazırlanmış kaşıklar ve çift ark kaşıkları (tam veya bölgesel) yer almaktadır. Bu kaşıklarla birlikte C tipi (Condensation) silikon, A tipi (Additional) silikon, polieter, aljinat gibi çeşitli ölçü materyalleri tercih edilmektedir. (Andreescu, 2015)

#### **2.1.2. Dijital ölçü**

Günümüzde giderek artan sayıda sabit protez, IOS'lardan elde edilen dijital ölçüler kullanılarak üretilmekte ve bu yöntem, protetik diş tedavisinde dijitalleşme sürecinin temel unsurlarından biri haline gelmektedir (Galhano ve ark., 2012; van Noort, 2012). Uzun ömürlü ve kaliteli sabit protez elde edilmesi, dayanak diş ile restorasyon arasındaki marjinal uyum ve iç adaptasyonun doğruluğuna bağlıdır (Almeida e Silva ve ark., 2014; Beuer ve ark., 2009; Svanborg ve ark., 2014). Yetersiz marjinal uyumlu restorasyonların en sık gözlenen sonuçları arasında siman çözünmesi, plak birikimi, artmış dişeti iltihabı ve sondalama derinliği gibi periodontal sorunlar (Bader ve ark., 1991; Kumar ve ark., 2020), diş hassasiyeti ve sekonder çürük oluşumu yer almaktadır (Jahn ve ark., 1985; Zoellner ve ark., 2000). IOS'ların kullanılmasının amacı, geleneksel ölçü tekniklerinin neden olabileceği mikro adaptasyon hatalarını ve buna bağlı olarak gelişebilecek komplikasyonları en aza indirmektir (Chochlidakis ve ark., 2016; Tabesh ve ark., 2018). Bununla beraber dijital veri elde etme süreci, klinisyenlerin preparasyon alanını ve implant protetik boşluğunu üç boyutlu olarak önceden görselleştirmesine imkân tanımaktadır (Giménez ve ark., 2015). Bu yaklaşım hem diş hekiminin ekibiyle hem de hastalarla kurulan iletişimin niteliğini artırarak, tedavi planlamasının daha etkili ve öngörülebilir bir biçimde gerçekleştirilmesine katkı sağlamaktadır (Flügge ve ark., 2013; S. J. Lee & Gallucci, 2013).

Dijital ölçüler iki temel yöntemle elde edilmektedir. Birincisi, direkt yöntemdir; bu yöntemde geleneksel ölçü alınmasına gerek duyulmadan IOS kullanılarak doğrudan üç boyutlu

sanal model elde edilir. İkincisi ise indirekt yöntemdir; bu yöntemde ekstraoral tarayıcı (EOS) aracılığıyla geleneksel ölçüler veya alçı modeller taranarak üç boyutlu bir sanal model oluşturulur (X. Ren ve ark., 2021; M. A. F. Sampaio-Fernandes ve ark., 2024a). Her iki yöntem sonucunda da modellerin üç boyutlu veri setini temsil eden standard tessellation language (STL) dosyaları üretilir. Bu dosyalar elektronik ortamda saklanabilir ve iletilebilir, böylece genel iş akışının verimliliği artırılmaktadır (Banjar ve ark., 2021).

### ***Direkt dijital ölçü***

Geleneksel ölçü yöntemleri, deformasyon ve laboratuvar kaynaklı hatalara karşı duyarlıdır ve bu durum implant destekli rehabilitasyonlarda uyumsuzlukların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Buna karşın, dijital iş akışının kullanılması tedavi sürecinin verimliliğini artırmakta, klinik uygulama süresini kısaltmakta ve bazı laboratuvar aşamalarının ortadan kaldırılmasına olanak sağlamaktadır (Menini ve ark., 2018; Zeller ve ark., 2019). Direkt dijital ölçü yöntemi, klinik ve laboratuvar iş akışının sadeleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu yöntemle, ölçü kaşığının seçimi ve kişiye özel hale getirilmesi, ölçü materyallerinin hazırlanması, ölçü alımı sonrasında dezenfeksiyon, ölçünün saklanması, laboratuvara gönderilmesi, nihai modelin dökülmesi ve artikülasyon gibi pek çok işlem basamağı ortadan kaldırılabilir. Bu durum hem işlem süresinde hem de malzeme maliyetlerinde dikkate değer bir azalma sağlamaktadır (Lin ve ark., 2014; Ting-shu & Jian, 2015).

Ağız içi dijital ölçü tekniklerinin en önemli avantajlarından biri, hataların tüm işlemin tekrarlanmasına gerek kalmadan düzeltilebilmesidir (M. A. Sampaio-Fernandes ve ark., 2024). Bu durum, konvansiyonel tekniklerdeki hata düzeltme süreçlerine kıyasla daha kısa çalışma süresi elde edilmesini sağlar (Cappare ve ark., 2019; S. J. Lee & Gallucci, 2013). Diğer bildirilen avantajlar arasında, operatöre bağlı değişkenlerin azaltılması ve ölçü ile model materyallerine bağlı boyutsal değişim gibi faktörlerin ortadan kaldırılması yoluyla elde edilen daha yüksek doğruluk (Flügge ve ark., 2013; Giménez ve ark., 2015; Keul ve ark., 2014; S. J. Lee & Gallucci, 2013; Patzelt ve ark., 2014; Ting-shu & Jian, 2015) ve hasta işbirliğinin artması (Giménez ve ark., 2015; Wismeijer ve ark., 2014) yer almaktadır. Bu durum özellikle kontrol edilemeyen öğürme refleksi bulunan ya da ağız açıklığı kısıtlı hastalarda belirgin bir fayda sağlamaktadır.

Ağız içi dijital ölçü yöntemlerinin etkinliği, hem doğal dişler üzerinde (Keul ve ark., 2014; Syrek ve ark., 2010) hem de dental implantlarda (Joda ve ark., 2016) uygulanan tek kron ve kısa köprü restorasyonlarında bilimsel olarak güçlü biçimde ortaya konulmuş bir klinik

prosedür haline gelmiştir. Dolayısıyla, direkt dijital ölçü yöntemi; hız, doğruluk, hasta konforu ve ekonomik verimlilik açısından çağdaş protetik diş tedavisinde önemli bir standart olarak değerlendirilmektedir.

### ***İndirekt dijital ölçü***

IOS kullanım alanı gün geçtikçe genişliyor olsa da, bu sistemlerin etkin biçimde kullanılabilmesi belirli bir öğrenme süreci gerektirmekte ve yüksek düzeyde bir başlangıç yatırım maliyeti içermektedir (Róth ve ark., 2023). Bununla birlikte, bazı klinik durumlarda IOS'ların doğruluğunun ekstraoral tarayıcılara kıyasla daha düşük olduğu bildirilmiştir (Abou-Ayash ve ark., 2022; Bosniac ve ark., 2019). Bu nedenle, geleneksel ölçülerin dijital ortama aktarılmasında ekstraoral tarayıcıların kullanımı, implant rehabilitasyonları açısından klinik olarak uygulanabilir bir alternatif yöntem olarak değerlendirilmektedir (Abou-Ayash ve ark., 2022; M. A. F. Sampaio-Fernandes ve ark., 2024).

2021 yılında yayımlanan bir derleme çalışması, IOS'ların tek implant vakalarında yüksek klinik ve laboratuvar zaman etkinliği sergilediğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, çoklu implant vakalarındaki kullanımına ilişkin bilimsel kanıtların sınırlı olduğu ve bu alanda daha kapsamlı klinik verilere ihtiyaç duyulduğu belirtilmektedir (Michelinakis ve ark., 2021).

Günümüzde üreticilerin verilerine göre, en güncel ışık kaynağı teknolojileriyle donatılmış yeni nesil tarayıcılar, elastomerik ölçü materyalleriyle elde edilen dental ölçülerin doğrudan dijitalleştirilmesine olanak tanımaktadır (Aranda Yus ve ark., 2018; Jeon ve ark., 2015). Bu yaklaşım, alçı model döküm aşamasının ortadan kaldırılmasını mümkün kılarak, söz konusu süreçte meydana gelebilecek potansiyel hata ve distorsiyonların önüne geçmektedir. Ayrıca, bu yöntemin uygulanması hem işlem süresinin kısılmasını hem de laboratuvar aşamasına ilişkin maliyetlerin azaltılmasını sağlamaktadır (Aranda Yus ve ark., 2018; W.-S. Lee ve ark., 2014; Mandelli ve ark., 2017). Dolayısıyla, indirekt dijital ölçü teknikleri, hem doğruluk hem de maliyet ve zaman etkinliği açısından dijital diş hekimliği iş akışlarında önemli bir tamamlayıcı yöntem olarak değerlendirilmektedir.

## **2.2. Ağız İçi Tarayıcılar ve Tarama Teknolojileri**

IOS'lar, dijital diş hekimliği uygulamalarının temel bileşenlerinden biri hâline gelmiştir. Bu sistemler, ağız içi taramaların elde edilmesini sağlayarak klinik verilerin yüksek çözünürlüklü sanal modeller şeklinde dijital ortama aktarılmasına imkân tanır. Son yıllarda, IOS teknolojilerinde donanım bileşenleri (sensör hassasiyeti, ışık kaynakları, veri işleme

hızları) ve yazılım algoritmalarındaki önemli yenilikler, sistemlerin performansında belirgin gelişmeler sağlamıştır. Bu ilerlemeler, CAD-CAM süreçlerinde tarama doğruluğunu ve verimliliğini artırarak, IOS'ların klinik ve laboratuvar uygulamalarındaki güvenilirliğini güçlendirmiştir. Günümüzde CAD-CAM tabanlı dijital iş akışlarında, IOS sistemleri en yaygın ve etkin şekilde kullanılan veri toplama araçları arasında yer almaktadır.

Konik ışınli bilgisayarlı tomografi (CBCT) ve üç boyutlu yüz taramaları gibi ileri görüntüleme yöntemleriyle entegre biçimde çalışan IOS teknolojilerindeki yenilikler, bu sistemlerin kapsam ve işlevselliğini önemli ölçüde genişletmiştir. Günümüzde IOS uygulamaları yalnızca dijital ölçü alımıyla sınırlı kalmayıp, tanı ve tedavi planlaması ile klinik sürecin izlenmesi gibi çok boyutlu klinik uygulamaları da içermektedir. Dijital diş hekimliğı ve görüntüleme teknolojilerinde kaydedilen hızlı gelişmelerin bir sonucu olarak, IOS'ların hem diş hekimliğinin farklı uzmanlık alanlarında hem de ağız, diş ve çene cerrahisi disiplinlerinde giderek daha merkezi bir konum kazanması öngörülmektedir.

#### Ağız İçi Tarayıcıların Kullanım Alanları:

- Çürük Tespiti
  - Floresans ölçümleri
  - Near Infrared görüntüleme
- Değerlendirme Ve Görüntüleme
  - Diş aşınması
  - Diş eti çekilmesi
  - İmplant çevresi yumuşak doku değerlendirilmesi
  - Diş ve kök pozisyonları
- Diş Rengi Belirleme
  - Tamamlayıcı bir araç olarak kullanım
- CAD-CAM
  - Klinik ortamında veya laboratuvar ortamında yapılan restorasyonlar ve apareyler
- Tedavi Planlaması
  - Protetik diş tedavisi
  - Restoratif diş tedavisi
  - İmplantoloji
  - Ortodonti

- Endodontik rehber (Eggmann & Blatz, 2024)

IOS teknolojilerinde kaydedilen başlıca yenilikler arasında daha yüksek tarama hızları, toz kullanımını gerektirmeyen optik sistemler ve renkli görüntü elde edebilme kapasitesi yer almakta olup, bu gelişmeler klinik işlemlerin verimliliğini, hasta konforunu ve kullanıcı deneyimini önemli ölçüde artırmıştır. Bu temel atılımların ardından, son yıllarda donanım alanında daha optimizasyona yönelik iyileştirmeler ön plana çıkmıştır. Buna paralel olarak, IOS pazarı giderek daha rekabetçi bir yapıya bürünmüştür. Yerleşik markalar mevcut modellerini sürekli olarak algoritmik iyileştirmeler, optik hassasiyet artışı ve yazılım-donanım entegrasyonu üzerinden geliştirirken; pazara yeni giren üreticiler genellikle erişilebilir fiyatlandırma politikaları veya entegre yazılım çözümleri gibi özgün satış stratejileriyle konumlanmaktadır. Bu dinamik pazar yapısı, dijital diş hekimliği alanında yenilikçi IOS teknolojilerinin geliştirilmesini teşvik eden önemli bir rekabet ortamı oluşturmuştur (Al-Hassiny ve ark., 2023). Anket verileri, diş hekimleri arasında IOS kullanımının veya bu teknolojiyi uygulamaya dâhil etme eğiliminin giderek arttığını göstermektedir. Bu eğilim, ağırlıklı olarak tek üniteli restorasyonların üretimi amacıyla gözlemlenmektedir. IOS kullanımının benimsenmesindeki temel etken, klinik verimliliğin artması olarak belirtilirken; teknolojiyi henüz kullanmayan hekimlerin en önemli engel olarak maliyet faktörünü öne sürdükleri bildirilmiştir (Al-Hassiny ve ark., 2023; Revilla-Leon ve ark., 2021).

IOS sistemlerinin temel tasarım yapısı büyük ölçüde benzerliğini korumakla birlikte, her modelin kendine özgü ergonomik özellikleri kullanıcı tercihlerini etkileyen önemli farklılıklar yaratmaktadır. Güncel eğilimlerden biri, kablolu sistemlerden kablosuz, batarya ile çalışan modellere geçiştir. Bu dönüşüm, operatöre artırılmış hareket özgürlüğü ve kullanım kolaylığı sağlamakla birlikte, çalışma süresinin kısalması ve bağlantı stabilitesine ilişkin olası sorunlar gibi teknik kısıtlamaları da beraberinde getirmektedir (Al-Hassiny ve ark., 2023; Eggmann & Blatz, 2024).

Bazı yeni nesil tarayıcılar, dokunsal geri bildirim özelliği ile donatılmış olup, görüntü edinimi sırasında kullanıcıya yönlendirme sağlamaktadır. Çoğu IOS tarama başlığında, uzun süreli kullanımlarda yoğunlaşma oluşumunu önlemek amacıyla entegre ısıtma sistemleri bulunmaktadır. IOS cihazları, bağımsız tarayıcılar şeklinde veya entegrasyonlu CAD-CAM platformlarının bir parçası olarak, klinik ortamda doğrudan restorasyon üretimini mümkün kılan yapılandırmalarda sunulmaktadır. Ayrıca bazı sistemlerde bulunan otomatik kalibrasyon özelliği, manuel kalibrasyon ihtiyacını azaltarak cihazların kullanıcı dostu niteliğini artıran

önemli bir teknolojik ilerleme olarak değerlendirilmektedir (Bandiaky ve ark., 2022; Eggmann & Blatz, 2024). Bununla birlikte, tüm bu teknolojik ilerlemelere rağmen IOS sistemleri hâlen bazı sınırlılıklar ve teknik zorluklarla karşı karşıyadır. Özellikle ağız sıvılarının neden olduğu ölçüm hatalarını önlemek amacıyla kuru bir çalışma alanı gerekliliği, klinik uygulamalarda dikkat edilmesi gereken temel bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, subgingival preparasyon sınırlarının doğru bir şekilde görüntülenmesi ve dijital olarak kaydedilmesi, mevcut optik sistemlerin sınırlı erişim ve ışık yansımalarına duyarlılığı nedeniyle hâlen güçlük oluşturmaktadır (Tabesh ve ark., 2022).

IOS'ların yazılım alanındaki gelişmeler, ağız içi tarayıcı teknolojilerinin donanımsal ilerlemelerinden daha hızlı bir ivme kazanarak sistemlerin işlevsel kapasitesini önemli ölçüde genişletmiştir. Günümüz IOS cihazları, sürekli görüntü yakalama (continuous capture) prensibiyle çalışmakta olup, gelişmiş algoritmalar aracılığıyla bu görüntüleri kesintisiz biçimde birleştirerek (stitching) tarama doğruluğunu ve veri bütünlüğünü optimize etmektedir. Modern sistemler, belirli bir alan üzerindeki yüzey özelliklerini ve bu yüzeylerin optik etkileşimlerini eşzamanlı olarak algılama ve işleme yeteneğine sahiptir. Bu süreçte, aşırı örnekleme (oversampling) ve aynı bölgeye ait çoklu ölçüm noktalarının ortalamasını alma (averaging) yöntemleri kullanılarak, daha yüksek doğruluk ve detay çözünürlüğü elde edilmektedir (Eggmann & Blatz, 2024).

Yazılım alanındaki gelişmeler, rekabetin yoğun olduğu pazarda IOS üreticilerini birbirinden ayırmaktadır. Bazı IOS'lar yalnızca tarama ve veri aktarımı için tasarlanmışken, diğerleri yalnızca ağız içi optik ölçüler elde etmenin ötesine geçen kapsamlı platformlara dönüşmüştür. Bu gelişmiş sistemler, diş hekimlerine tanısal değerlendirme, hasta iletişimi, izleme ve tedavi planlamasını geliştirmelerine olanak tanıyan geniş bir yazılım uygulamaları yelpazesine erişim sunmaktadır. Özelleştirilmiş yazılım uygulamaları artık CAD-CAM, implant planlaması, gülüş tasarımı ve ortodontik simülasyon dâhil olmak üzere çeşitli işlevleri kapsamaktadır. Ayrıca, özel yazılım geliştirmeleri aşırı veri noktalarını ortadan kaldırarak gürültü ve görüntü artefaktlarını en aza indirmek için kullanılmaktadır. Bu sistemler, gereksiz görüntü verilerini de hariç tutarak, ağız içi tarama verilerinden bukkal mukoza ve dil gibi gereksiz unsurların çıkarılmasını sağlamaktadır (Eggmann & Blatz, 2024).

CAD-CAM sistemlerinin yalnızca üreticiye ait yazılım çözümleriyle sınırlı olduğu kapalı sistemlerden açık arayüzlere geçiş, sektörde önemli bir dönüşümün başlangıcını oluşturmuştur. Yakın zamanda yapılan bir ankette listelenen en yaygın kullanılan 21 IOS'nın

tamamının açık arayüz özelliğine sahip olduğu bildirilmiştir. Bu özellik, tarama verilerinin en az bir standart dosya formatında dışa aktarılmasına olanak tanıyarak kullanıcılara daha fazla esneklik, gelişmiş sistemler arası uyumluluk ve artırılmış özelleştirme olanakları sağlamaktadır (Al-Hassiny ve ark., 2023).

Birden fazla dosya formatı, tarama verilerini depolamak için kullanılmakta olup bunların her biri kendine özgü avantaj ve sınırlılıklara sahiptir. STL formatı, tarama verilerini üçgen örgülerden oluşan ağ yapısı şeklinde kodlayarak en yaygın kullanılan dosya biçimi olmaya devam etmektedir. Buna karşın, OBJ (Object File Format) ve PLY (Polygon File Format) formatları, verileri çokgen yüzeyler, serbest biçimli eğriler ve serbest biçimli yamalar aracılığıyla kodlamakta; bu sayede daha yüksek doğruluk, doku ve renk bilgisinin korunması gibi avantajlar sunmaktadır. Ancak bu formatlar, barındırdıkları veri hacminin daha yüksek olması nedeniyle daha fazla depolama alanı gerektirmektedir (Turkyilmaz ve ark., 2020).

Teknolojik ilerlemeler, kullanıcı deneyimini iyileştirmenin yanı sıra, IOS'ların tanısal yeteneklerini de önemli ölçüde genişletmiştir. Bu durum, IOS'ların çürük tespiti, diş aşınmasının takibi, oral hijyenin değerlendirilmesi, yumuşak doku analizleri ve diş rengi belirleme gibi çeşitli klinik uygulamalarda kullanılmaya başlanmasıyla açıkça ortaya konmaktadır.

Çürük tespitine yönelik IOS sistemleri, iki temel teknolojiye dayanmaktadır. Bunlar: 415 nm dalga boyundaki ışığı kullanan floresans tabanlı sistemler ve 727 nm ile 850 nm arasındaki dalga boylarını kullanan near-infrared görüntüleme sistemleridir. Üretici firmalar tarafından belirlenen teknik özelliklere bağlı olarak, bu sistemler proksimal veya oklüzal çürük lezyonlarını ya da bazı durumlarda her iki tip lezyonu birden tespit edebilme yeteneğine sahiptir (Schlenz ve ark., 2022).

Çürük tespitine ek olarak, IOS'lar gelişimsel mine defektlerinin değerlendirilmesinde de tanısal bir araç olarak kullanılabilir. Bununla birlikte, IOS sistemlerinin sunduğu büyütme ve renk iyileştirme özellikleri, dental florozis ve molar-insizör hipomineralizasyonu gibi mine defektlerinin kapsam ve şiddetinin gerçekte olduğundan daha fazla değerlendirilmesine neden olabilmektedir (Cardoso-Silva ve ark., 2023). Özetle, optimizasyonu sağlanmış IOS sistemleri, çürük tespitinde değerli bir tamamlayıcı tanısal araç olarak görev alabilir ve daha güvenilir klinik değerlendirmelerin yapılmasına katkıda bulunabilir. Ayrıca, radyografik incelemelere olan bağımlılığın azalması sayesinde, IOS kullanımı hastalar için

iyonizan radyasyon maruziyetinin azaltılmasına da olanak tanımaktadır (Eggmann & Blatz, 2024).

IOS'larla diş aşınmasının takibi konusunda; bazı ağız içi tarayıcılar, en uygun hizalama (best-fit alignment) prensibine dayalı görüntü üst üste bindirme yazılımlarını kullanmaktadır. Bu yazılımlar, yüzey değişikliklerinin nicel olarak değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Kontrollü bir in vitro ortamda yapılan çalışmalarda, bu tür IOS sistemlerinin profilometrik ölçümlerle yüksek düzeyde uyum gösterdiği ve  $\pm 15$   $\mu\text{m}$  doğruluk aralığını koruduğu bildirilmiştir (Witecy ve ark., 2021).

IOS'lar aracılığıyla gerçekleştirilen planimetrik yöntemler, dental plak örtüsünün nicel olarak değerlendirilmesini sağlayarak, hastaların veya çalışma katılımcılarının ağız hijyeni durumunun ayrıntılı biçimde kaydedilmesine olanak tanımaktadır (Doi ve ark., 2021). Yirmi katılımcı üzerinde yürütülen bir çalışmada, plak belirleyici ajan uygulanmasının ardından IOS ile elde edilen görüntüler kullanılarak yapılan plak planimetrisinin yüksek doğruluk gösterdiği bildirilmiştir (Jung ve ark., 2022). Bu yaklaşım, diş dizisindeki tüm diş yüzeylerinin geçerli ve verimli bir planimetrik değerlendirmesini mümkün kılmıştır. Ayrıca, geleneksel intraoral fotoğraflara dayalı planimetri yöntemlerinde karşılaşılan çeşitli sınırlılıkları ortadan kaldırarak, ağız hijyeninin ayrıntılı ve güvenilir biçimde değerlendirilmesinde üstün bir yöntem olma potansiyelini ortaya koymuştur (Eggmann & Blatz, 2024).

Renkli görüntüleme özelliğine sahip bazı IOS'lar, diş rengi belirleme amacıyla kullanılmaktadır. Bazı araştırmalar, IOS sistemlerinin görsel renk seçimiyle karşılaştırılabilir düzeyde doğruluk sağladığını öne sürse de bir sistematik derleme mevcut IOS'ların renk eşleştirme doğruluğu açısından yetersiz kaldığını bildirmiştir. Spektrofotometreler, nicel renk değerlerini ölçerken; renk eşleştirme araçlarıyla donatılmış IOS sistemleri yalnızca nitel renk verileri üretebilmektedir. Spektrofotometreler ile IOS'lar arasındaki renk uyumu farklılığı, IOS sistemlerinin aydınlatma koşullarını sabit tutamamasından kaynaklanmaktadır (Tabatabaian ve ark., 2024). Buna ek olarak, IOS cihazlarının renk okuma açısının optimal  $0^\circ$  konumundan sapması, ölçüm doğruluğunda ek hatalara yol açmaktadır. Bu nedenle, IOS'ların diş rengi belirlemede yalnızca tamamlayıcı bir araç olarak kullanılması önerilmektedir (Akl ve ark., 2023).

Klinik olarak faydalı araçlar olabilmeleri için, IOS'ların güvenilir ve doğru olması gerekmektedir. Ağız içi tarama verilerinin doğruluğu, trueness ve precision kavramlarıyla

değerlendirilir. Trueness, tarama verilerinin orijinal nesneye ne ölçüde yakın olduğunu; precision ise aynı bölgenin tekrarlanan taramaları arasındaki tutarlılığı ifade eder. Kök ortalama kare (root mean square, RMS), doğruluk değerlendirmesinde giderek daha yaygın kullanılan bir ölçüt olup, referans tarama ile deneysel tarama arasındaki tüm karşılık gelen noktalar arasındaki farkı nicel olarak ifade eder (Vitai ve ark., 2023). Düşük RMS değerleri, deneysel taramanın referans taramayla yüksek derecede uyumlu olduğunu ve dolayısıyla yüksek doğruluk elde edildiğini gösterir. Her ne kadar IOS sistemlerinin doğruluğu genel olarak gelişme göstermiş olsa da, en yeni modellerin her zaman en yüksek doğruluğu sunmadığı bildirilmiştir (Vitai ve ark., 2023).

IOS'lar, tam dişli arkların taranmasında klinik olarak kabul edilebilir düzeyde doğruluk sağlamaktadır (Vitai ve ark., 2023). Ancak, dişsiz (edentulous) bölgelerde çeşitli zorluklar devam etmektedir. On laboratuvar ve sekiz klinik çalışmadan elde edilen verileri içeren bir sistematik derleme, rezidüel kretlerin sağlam ve yapışık mukozayla kaplı olduğu durumlarda, IOS'ların protez taşıyıcı yumuşak dokuların kaydında geleneksel ölçülerle karşılaştırılabilir doğrulukta sonuçlar verdiğini bildirmiştir (Rasaie ve ark., 2021). Bununla birlikte, tam protezlerin hazırlanması veya doku hareketlerinin kaydedilmesinin gerekli olduğu durumlarda, mevcut IOS sistemleri ön ölçü (preliminary impression) elde edilmesi dışında, konvansiyonel yöntemlere uygun bir alternatif sunmamaktadır (Eggmann & Blatz, 2024). Fizyolojik hareketliliğe sahip olmayan dental implantlar, implant destekli restorasyonlarda pasif uyumun sağlanabilmesi açısından IOS'ların yüksek düzeyde ölçüm doğruluğu göstermesini gerektirmektedir. Sekiz klinik çalışmanın verilerini içeren bir sistematik derleme, güncel IOS sistemlerinin tekli ve çoklu implantlara ait dijital ölçülerde doğruluk gereksinimlerini karşıladığını ortaya koymuştur (Schmidt ve ark., 2022). Bununla birlikte, implant vakalarında tam ark dijital ölçülerin doğru biçimde elde edilmesi konusunda mevcut IOS sistemlerinin sınırlı bir performans sergilediği bildirilmiştir (Vitai ve ark., 2023). Birden fazla implantın uzaysal konumlarının daha yüksek doğrulukla kaydedilebilmesi amacıyla, dikey olarak konumlandırılmış scan body bileşenlerinden, yatay yerleşimli scan gauge sistemlerine geçiş yönünde bir eğilim ortaya çıkmıştır. Bu yeni nesil yatay yerleşimli sistemler, üst yüzeylerinde yer alan çok düzlemlerle geometrik yapıları sayesinde tarama işlemi sırasında IOS'nın rotasyon gereksinimini azaltmakta, bunun sonucunda görüntü birleştirme (image stitching) sürecinin kısılmasına ve konumsal sapmaların (positional errors) en aza indirilmesine katkı sağlamaktadır (Giglio ve ark., 2024).

Protetik diş tedavisinde maksillomandibular ilişkinin doğru ve tekrarlanabilir biçimde kaydedilmesi, özellikle arka serbest sonlu (posterior free-end) olgularda yüksek düzeyde karmaşıklık içeren, ancak protetik tedavi başarisının temelini oluşturan bir klinik süreçtir. Tam doğal diş dizisine sahip bireylerde gerçekleştirilen bir çalışmada, dişlerin maksimum interkuspal pozisyonda (MIP) iken yalnızca bir kadranın bukkal yüzeylerinin taranmasının, tam ark taramalara ve polivinil siloksan (PVS) ile elde edilen konvansiyonel ısırma kayıtlarına kıyasla statik interoklüzal kayıta anlamlı düzeyde daha yüksek doğruluk sağladığı bildirilmiştir (Morsy & El Kateb, 2022). Buna karşın, çok üyeli implant restorasyonlarında, dijital ısırma kayıtlarının gerçeklik ve tekrarlanabilirlik düzeylerinin hâlen sınırlı olduğu ve bu durumun teknik kısıtlılıklardan kaynaklandığı belirtilmektedir (Joda ve ark., 2021).

Amaç, IOS'lar aracılığıyla elde edilen hastaya özgü verilerden yararlanarak dinamik mandibular hareket analizine olanak tanıyan sanal artikülatörlerin geliştirilmesidir. Ancak, dijital taramalarda ısırma hizalamasının iyileştirilmesine rağmen, ağ örgüsü (mesh) hizalamalarındaki küçük translasyonel hatalar hâlen varlığını sürdürmektedir. Bu minimal sapmalar, maksimum interkuspal ilişki (MIP) konumunda anlamlı farklılıklara neden olmakta ve bu durum söz konusu sistemlerin klinik uygulamalardaki geçerliliğini sınırlamaktadır (Safrany-Fark ve ark., 2023).

İmplantların tam ark ağız içi dijital ölülerinin doğru biçimde elde edilmesinde karşılaşılan zorluklar nedeniyle, fotogrametri gibi alternatif yöntemler giderek daha fazla ilgi görmektedir. Fotogrametri, vida ile sabitlenmiş referans işaretçileri (fiducial markers) kullanılarak implantların farklı açılardan yüksek znrlkl fotoğraflarının alınması esasına dayanır. Bu yöntem, fotoğraflar arasındaki ortak noktaları belirlemek için gelişmiş yazılımlar kullanarak, dental implant konumlarının doğru bir Şekilde temsil edildiği 3D modellerin oluşturulmasını sağlar. Komşu dişlerin ve yumuşak dokuların kaydedilebilmesi için ise, ağız içi dijital l veya konvansiyonel yöntemler aracılığıyla ek bir l alınması gerekmektedir.  klinik çalışma, altı laboratuvar araştırması ve altı olgu raporundan elde edilen verileri içeren bir sistematik derleme, fotogrametrinin implant taramalarının elde edilmesinde güvenilir bir alternatif yöntem olarak hizmet edebileceğini ne sürmektedir. Bununla birlikte, bu yöntemi destekleyen kanıtların sınırlı olduğu ve mevcut verilerin büyük lde total dişsiz implant vakalarına odaklanan çalışmalardan elde edildiği belirtilmektedir (Gmez-Polo ve ark., 2023).

IOS'lar, diş hekimliği profesyonelleri arasında veri paylaşımını mümkün kılarak uzaktan değerlendirmeleri kolaylaştırmaktadır. Gözlemsel bir tanısal doğruluk çalışmasının

bulguları, ağız içi tarama verilerine dayalı uzaktan değerlendirmelerin, dental bulguların tespitinde etkili olabileceğini göstermiştir. Ancak, aynı çalışmada periodontal durumların değerlendirilmesinde doğruluk düzeyinin tutarsız olduğu bildirilmiştir (Steinmeier ve ark., 2020). Görüntü kalitesinin artırılması ve radyografiler gibi ek hasta verileriyle entegrasyonun sağlanması, IOS sistemlerinin telediş hekimliğinde hasta taraması ve ön değerlendirme süreçlerinde etkin araçlar olarak kullanılma potansiyelini güçlendirebilir (Eggmann & Blatz, 2024).

Telediş hekimliğinde olduğu gibi, IOS'lar adli diş hekimliği alanında da yeni uygulama alanları bulmaktadır. Diş kayıtları, adli kimlik tespitinde temel bir rol oynamakta olup, özellikle ön damak (anterior palatinal) morfolojisi, bireylerin birbirinden ayırt edilmesinde önemli bir tanımlayıcı unsur olarak kullanılmaktadır (Mikolicz ve ark., 2023; Simon ve ark., 2022). Mevcut dijital kayıtların bulunduğu durumlarda, IOS görüntülerinden yararlanılması kimlik belirleme sürecini hızlandırabilir ve doğruluğunu artırabilir (Mikolicz ve ark., 2023).

Gelecekteki araştırma ve teknolojik geliştirmelerin, IOS teknolojilerinin çok boyutlu gelişim alanlarına odaklanması öngörülmektedir. Öncelikli olarak, IOS sistemlerinin farklı diş hekimliği uygulama alanlarındaki maliyet etkinliğinin değerlendirilmesi, bu teknolojilerin yatırım ve klinik uygulama stratejilerinin yönlendirilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Ayrıca, mevcut dijital diş hekimliği sistemleriyle kesintisiz entegrasyon sağlayan kullanıcı dostu IOS yazılımlarının geliştirilmesi, hem verimliliği hem de kullanılabilirliği artırmak için gereklidir. IOS'ların potansiyelinin en üst düzeye çıkarılabilmesi için, bu sistemlerin yalnızca ölçüm araçları olarak değil, aynı zamanda tanısal değerlendirme, bireyselleştirilmiş dental kayıt oluşturma, tedavi planlaması ve oral sağlık izlemi süreçlerinde kapsamlı dijital platformlar olarak geliştirilmesi gerekmektedir. IOS'ların tele diş hekimliği, uzaktan tanı ve hasta takibi uygulamalarındaki artan önemi, bu teknolojilerin gelecekteki klinik uygulamalarda daha merkezi bir konum kazanacağını göstermektedir. Ağız içi tarayıcı (IOS) teknolojilerinde devam eden yenilikler, bu sistemlerin diş hekimliği hizmet standartlarını yükseltme potansiyelini açıkça ortaya koymaktadır. Mevcut kısıtlılıkların aşılabilmesi ve IOS teknolojisinin hasta bakımını en üst düzeyde optimize etme kapasitesinin tam anlamıyla hayata geçirilebilmesi için sürekli araştırma, geliştirme ve yenilik odaklı çalışmaların sürdürülmesi büyük önem taşımaktadır. (Eggmann & Blatz, 2024).

### **2.2.1. Ağız içi tarayıcılar**

Bu başlıkta yalnızca çalışmamızda kullanılan ağız içi tarayıcılara yer verilmiştir.

### ***Trios 3***

3Shape TRIOS 3, dijital diş hekimliği uygulamalarında kullanılmak üzere geliştirilmiş, renkli üç boyutlu görüntüleme kapasitesine sahip bir intraoral tarayıcıdır. TRIOS 3, klinisyenlere scan-and-send iş akışı ile laboratuvara hızlı veri aktarımı imkânı tanımakta ve bu özelliğiyle temel dijital ölçü alımında yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır. Sistem, gerçek renkli (3D color) tarama özelliği sayesinde dentisyonun doğal görünümünü yansıtan görseller üretmekte; bu durum klinik iletişimi ve hasta farkındalığını artırmayı amaçlayan TRIOS Engagement uygulamalarıyla birlikte desteklenmektedir.

Ürün tanıtım broşüründe TRIOS 3'ün doğruluk ve klinik etkinlik açısından konvansiyonel ölçülerle karşılaştırılabilir performans gösterdiği belirtilmekte olup, bu ifade iki ayrı makale tarafından bildirilen klinik verilere atıfla sunulmuştur (Chandran ve ark., 2019; Joda ve ark., 2017). Cihazın Invisalign® sistemiyle uyumlu olması, ortodontik endikasyonlarda kullanım esnekliği sağlamaktadır. TRIOS 3 ayrıca kullanıcı ergonomisi açısından “elde rahat tutulabilen, dengeli bir tarayıcı” olarak tanımlanmakta ve geniş laboratuvar–uygulama ağı sayesinde (20.000’den fazla laboratuvar ve partner platformu ile uyumluluk) klinik–laboratuvar entegrasyonunu kolaylaştırmaktadır.

Ayrıca TRIOS 3 için abonelik gerektirmeyen bir kullanım seçeneği sunulduğu ve bu yönüyle işletme maliyetlerini optimize etmeyi amaçlayan klinikler için alternatif bir model oluşturduğu belirtilmektedir (3Shape A/S, 2023).

### ***Trios 5***

TRIOS 5, 3Shape tarafından geliştirilen yeni nesil intraoral tarayıcılar arasında yer almakta olup, ergonomi, hijyen ve tarama güvenilirliği açısından önceki modellerden farklılaştırılmış bir tasarım sunmaktadır. Cihazın kompakt ve dengeli gövde yapısı, daha hafif tarama ucu ve küçültülmüş başlık formu, operatör kullanımını kolaylaştırmayı amaçlayan bir yapıdadır. Hijyen odaklı dış yüzey tasarımı, kapalı ve çizilmeye dirençli bir mimariyle birleştirilmiş olup, yüksek sterilizasyon gerektiren klinik ortamlarda kullanım için uygun bir form sağlamaktadır. Bu yaklaşım, cihazın kullanım ömrü boyunca yüzey bütünlüğünün korunmasını da desteklemektedir.

TRIOS 5'in görüntü edinim süreci, “ScanAssist” adı verilen gelişmiş yönlendirme algoritmaları ile optimize edilmiştir. Bu algoritmalar, tarama yolunun stabil kalmasını, veri

birleştirme hatalarının azaltılmasını ve tarama hareketlerinden kaynaklanan görüntü kayıplarının en aza indirilmesini hedeflemektedir. Cihazın renkli üç boyutlu tarama kapasitesi, önceki nesil modellerle karşılaştırıldığında daha akıcı bir veri akışı sağlamaktadır. Kablosuz kullanım imkânı ve uzun ömürlü batarya sistemi, tarayıcının klinik ortamda kabloya bağlı hareket kısıtlılığını ortadan kaldırarak operatör ergonomisini artırmaktadır.

Hijyen ve enfeksiyon kontrolü açısından TRIOS 5, tek kullanımlık tarama uçları, kapalı yüzey yapısı ve temassız uyku modu gibi özelliklerle desteklenmiştir. Bu özellikler, sterilizasyon protokollerine uyumu kolaylaştırmakta ve cihazın uzun süreli klinik kullanımda güvenilirliğini artırmaktadır. TRIOS 5, protetik tedavi planlaması, implantoloji, ortodontik uygulamalar ve restoratif süreçler dahil olmak üzere 3Shape ekosistemindeki çok çeşitli dijital iş akışları ile entegre çalışacak şekilde tasarlanmıştır. (3Shape A/S, 2023)

### ***Medit i700***

Medit i700, dişler ile çevre sert ve yumuşak dokuların yüzey topografisini 3B olarak dijital biçimde kaydetmek amacıyla geliştirilmiş, optik prensiplere dayalı bir intraoral tarayıcıdır. Cihaz tarafından elde edilen 3B veriler, dental restorasyonların CAD/CAM süreçlerinde kullanılmak üzere işlenmekte ve dijital model formatında dışa aktarılmaktadır. Üretici tarafından bildirildiği üzere sistem; kişiye özel abutmentler, inley–onley restorasyonlar, tek kronlar, laminate veneerler, üç üyeli implant destekli köprüler, beş üniteye kadar sabit protez uygulamaları, ortodontik tedavi planlaması, implant cerrahi rehberlerinin hazırlanması ve tanısal modellerin oluşturulması gibi çeşitli klinik senaryolarda kullanılabilir. Bununla birlikte, cihazın dişlerin iç yapısının veya destekleyici iskelet dokularının görüntülenmesi amacıyla kullanılmadığı ve dört veya daha fazla ardışık dişsizlik segmentine sahip vakalarda kullanımının uygun olmadığı üretici tarafından belirtilmektedir. Tam ark taramaları mümkün olmakla birlikte, ölçüm doğruluğunun ağız içi çevresel koşullar, operatör deneyimi ve laboratuvar süreci gibi değişkenlerden etkilenebileceği vurgulanmaktadır.

Cihaz, görüntüleme açısından 70 kare/saniyeye (FPS) kadar çıkabilen tarama hızına, 3D-in-motion video teknolojisine ve tam renkli akış yakalama kapasitesine sahiptir. LED ışık kaynağı ve adaptif buğu önleme mekanizması, tarama sırasında optik yüzeylerde oluşabilecek yoğunlaşmayı en aza indirerek görüntü kalitesinin korunmasını sağlamaktadır. Üretici verilerine göre sistem, tam ark taramalarda  $10.9 \pm 0.98 \mu\text{m}$  doğruluk düzeyine ulaşabilmektedir.

El parçası  $248 \times 44 \times 47.4$  mm boyutlarında olup 245 g ağırlığındadır ve ergonomik tasarım uzun süreli klinik kullanımlarda operatör konforunu artırmayı amaçlamaktadır. Tarama

uçları  $22.2 \times 15.9$  mm ölçülerindedir ve  $45^\circ$  ayna açısı distal molar bölgelerin görüntülenmesini kolaylaştırmaktadır.  $15 \times 13$  mm'lik tarama alanı, geniş yüzeylerin detay kaybı olmaksızın kaydedilmesine olanak tanır. Uçlar  $121^\circ\text{C}$ 'de 30 dakika veya  $134^\circ\text{C}$ 'de 4 dakika otoklavlanabilir olup 100 sterilizasyon döngüsüne kadar kullanılabilir. Ters çevrilebilir uç tasarımı, erişilebilirliği ve kullanım ergonomisini desteklemektedir.

Sistemde uzaktan kontrol modu ve UV-C tabanlı otomatik dezenfeksiyon işlevi yer almakta olup, bu özellikler kullanım güvenliğini ve klinik hijyen yönetimini desteklemektedir. Cihazın bağlantı yapısı, 2 m uzunluğunda ayrılabilir kablo ve USB 3.1 Gen1 (C Power Delivery) standardı üzerine kuruludur; bu yapı yüksek veri aktarım hızı ile kesintisiz tarama performansı sağlamaktadır.

Medit i700'ün ölçüm doğruluğunun korunabilmesi için düzenli kalibrasyon gereklidir. Üretici, varsayılan kalibrasyon periyodunu 14 gün olarak belirlemekte ve görüntü kalitesindeki düşüş veya çevresel koşullardaki değişikliklerde kalibrasyonun tekrarlanmasını önermektedir.

Bu teknik özellikler doğrultusunda Medit i700, dijital ölçü süreçlerinde doğruluk, işlem verimliliği ve klinik entegrasyon açısından çağdaş dijital diş hekimliği uygulamalarının gereksinimlerini karşılayan gelişmiş bir intraoral tarama sistemi olarak değerlendirilmektedir. (Medit i700 User Manual, 2021)

### ***Primescan***

Primescan AC'nin tanıtımı, dijital ölçü ve klinik içi CAD/CAM teknolojilerinde önemli bir dönüm noktasını temsil etmektedir. Dijital sistemlerin ideal formu için temel kabul edilen doğruluk, kullanım kolaylığı, işlem hızı, entegrasyon kabiliyeti ve geniş klinik uygulama alanı gibi ölçütler, önceki nesil sistemlerde tam olarak karşılanamamışken; Primescan'ın geliştirilmiş donanım-yazılım entegrasyonu ve yüksek performanslı tarama yetenekleri bu gereksinimleri büyük ölçüde karşılayacak düzeye ulaşmıştır. Böylece sistem, hem kullanıcı deneyimi hem de klinik sonuçların güvenilirliği açısından dijital diş hekimliği uygulamalarında yeni bir standart ortaya koymuştur.

Primescan AC, Dentsply Sirona tarafından geliştirilen ve dijital diş hekimliği uygulamalarında yüksek doğruluk, hız ve kapsamlı klinik entegrasyon sunmak üzere tasarlanmış yeni nesil bir intraoral tarama sistemidir. Primescan, hem tam ark hem de tek diş restorasyonlarında olağanüstü bir tarama doğruluğu sergilemekte; metal, zirkonya, lityum disilikat ve porselen dahil olmak üzere tüm dental materyalleri benzer verimlilikle

görüntüleyebilmektedir. 21.5 inç çoklu dokunmatik ekran, gelişmiş işlemci gücü, SSD depolama ve optimize edilmiş grafik bileşenleri, sistemin yüksek hacimli veriyi hızlı bir şekilde işleyebilmesini sağlamaktadır.

Primescan AC'nin dikkat çeken yeniliklerinden biri, "smart scanning" olarak adlandırılan ve tarama sırasında yanak, dil, parmak gibi istenmeyen yumuşak doku verilerini gerçek zamanlı olarak elimine eden algoritmadır. Bu özellik, hem veri temizliğini artırmakta hem de iş akışını önemli ölçüde hızlandırmaktadır. Çıkarılabilir ve çeşitli sterilizasyon yöntemlerine uygun tarama başlığı ise enfeksiyon kontrolü açısından önemli bir avantaj sunmaktadır. Cihaz ayrıca, zorlu klinik durumlarda örneğin sınırlı ağız açıklığı, çoklu restorasyon varlığı veya yansımali yüzeylerde yüksek görüntü kalitesini koruyabilmesi ile öne çıkmaktadır.

Cerec 5 yazılımı ile sunulan otomatik model ekseni belirleme, otomatik preparasyon sınırı tespiti ve beş tık ile tamamlanan yüksek otomasyonlu iş akışı, kullanıcı müdahalesini minimize ederek klinik verimliliği artırmaktadır. Klinik örnekler; tek kron, inley, implant tarama gövdesi, tam dişsiz çene ve protez dublikasyon taramalarında cihazın kısa sürede yüksek kalitede sonuç ürettiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, Primescan AC; üstün tarama doğruluğu, kapsamlı materyal uyumluluğu, hız, otomasyon düzeyi ve geniş endikasyon yelpazesi ile mevcut dijital tarama sistemlerine kıyasla önemli bir teknolojik ilerleme sunmakta, tam ark implantoloji, ortodonti, protetik ve çıkarılabilir protez uygulamaları için güçlü bir dijital altyapı sağlamaktadır. (Skramstad, 2019)

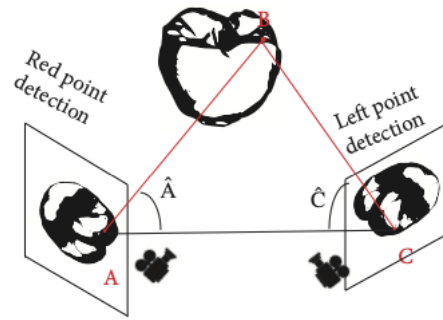
### **2.2.2. Ağız içi tarayıcıların tarama teknolojileri**

IOS'lar, el tipi bir kamera (donanım), bir bilgisayar ve yazılımdan oluşan tıbbi cihazlardır. Bu sistemlerin temel amacı, bir nesnenin üç boyutlu geometrisini yüksek doğrulukla kaydetmektir. En yaygın kullanılan dijital dosya formatı, açık STL (Standard Tessellation Language) veya kilitli STL benzeri formatlardır. Bu format, birçok endüstriyel alanda kullanılmakta olup, her biri üç nokta ve bir yüzey normaliyle tanımlanan çok sayıda üçgen yüzeyden oluşan bir yüzey ağını ifade eder. Bununla birlikte, dental dokuların renk, saydamlık veya doku özelliklerini kaydedebilmek amacıyla PLY (Polygon File Format) gibi başka dosya formatları da geliştirilmiştir. Hangi görüntüleme teknolojisi kullanılırsa kullanılsın, tüm IOS kameraları bir ışık projeksiyonuna ihtiyaç duyar; projeksiyon sonucu elde edilen görüntüler veya video kareleri, yazılım tarafından ilgili noktalarının (points of interest, POI) tanınması sonrasında birleştirilerek işlenir. Her bir noktanın ilk iki koordinatı (x ve y)

görüntü üzerinde değerlendirilirken, üçüncü koordinat (z) ise kameranın nesneye olan mesafesini hesaplayan teknolojiye bağlı olarak belirlenir (Richert ve ark., 2017).

### **Üçgenleştirme**

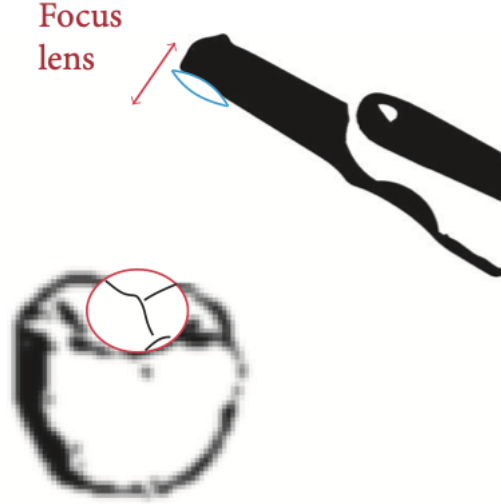
Üçgenleştirme, bir üçgenin bir noktasının (nesne yüzeyi) konumunun, diğer iki bakış noktasının konumu ve açıları bilindiğinde hesaplanabileceği prensibine dayanır. Bu iki farklı bakış noktası, iki ayrı sensörle, prizma kullanan tek bir sensörle veya farklı zamanlarda yakalanan görüntülerle elde edilebilir (Richert ve ark., 2017).



Şekil 2.1. Üçgenleştirme teknolojisi.

### **Konfokal mikroskopi**

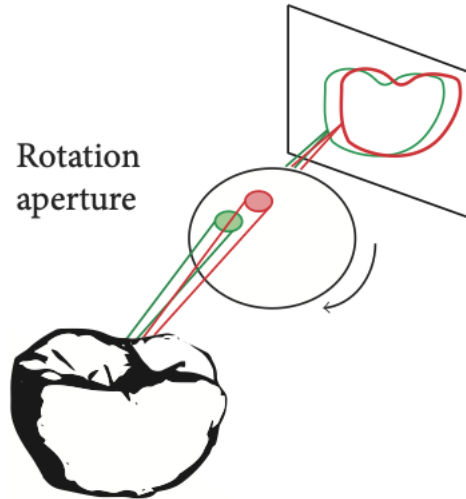
Konfokal görüntüleme, farklı derinliklerden odaklı ve odak dışı görüntülerin elde edilmesine dayanan bir tekniktir. Bu teknoloji, görüntüdeki keskinlik düzeyini analiz ederek nesneye olan mesafeyi belirler; bu mesafe, lensin odak uzunluğu ile ilişkilidir. Bir diğ, farklı odak değerleri ve diyafram açıklıkları kullanılarak farklı açılardan alınan ardışık görüntülerin birleştirilmesiyle üç boyutlu olarak yeniden oluşturulur (Taneva ve ark., 2015). Keskinlik alanı, operatör hareketlerine bağlı olabileceğinden (hareket bulanıklığı), yöntemin doğruluğu operatörün el becerisine duyarlıdır (Giménez ve ark., 2015). Ayrıca, konfokal sistemler nispeten büyük optik bileşenler gerektirdiğinden klinik uygulamada zorluk yaratabilir (Richert ve ark., 2017).



Şekil 2.2. Konfokal mikroskopi teknolojisi.

### ***Aktif dalga örneklendirmesi***

Aktif dalga örneklendirmesi (AWS), bir kamera ve eksen dışı bir diyafram modülü gerektiren bir yüzey görüntüleme tekniğidir. Bu modül, optik eksen etrafında dairesel bir hareket yaparak ilgi noktalarının döner bir örüntü oluşturmasını sağlar. Daha sonra, her bir noktanın oluşturduğu bu örüntü analiz edilerek yüzeyin derinlik ve mesafe bilgileri hesaplanır (Logozzo ve ark., 2014).

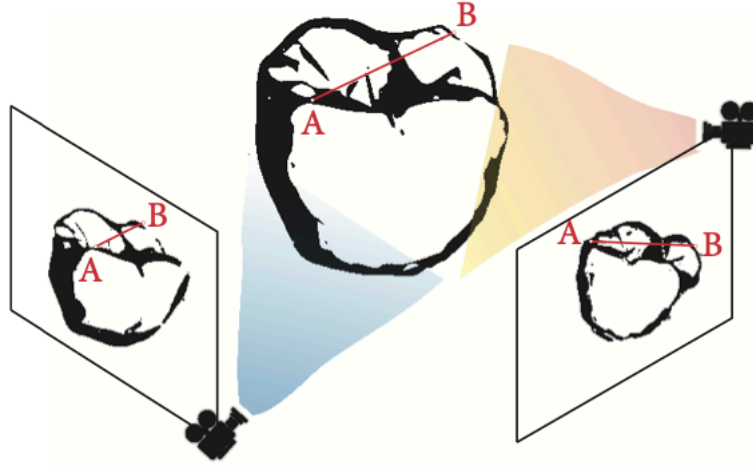


Şekil 2.3. Aktif dalga örneklendirmesi teknolojisi.

### ***Stereofotogrametri***

Stereofotogrametri, tüm koordinatları (x, y, z) yalnızca görüntülerin algoritmik analiziyle belirleyen bir yöntemdir. Bu yaklaşım, aktif ışık projeksiyonu yerine yazılım temelli

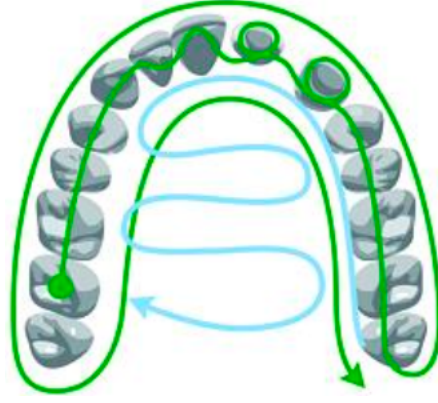
hesaplamalara dayandığı için daha küçük, daha kolay taşınabilir ve genellikle daha düşük maliyetli kameraların kullanılmasına olanak tanır (Pradies ve ark., 2014).



Şekil 2.4. Stereofotogrametri teknolojisi.

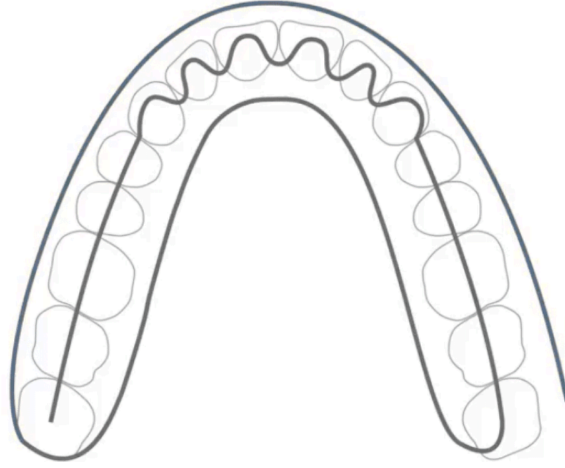
### 2.2.3. Tarama stratejileri ve tarama hataları

Trios tarayıcıları, üretici tarafından uzun yıllardır sürdürülen standartlaştırılmış bir tarama protokolü çerçevesinde kullanılmaktadır. Bu protokol, taramanın oklüzal yüzeyden başlatılmasını, ardından lingual ve bukkal yüzeylerin sistematik biçimde takip edilmesini ve tüm ark boyunca sürekli, kesintisiz bir veri akışı sağlanmasını esas alır. Trios yazılımı, tarama sürecinde meydana gelebilecek görüntü birleştirme hatalarını en aza indirebilmek için tarayıcı başlığının ani yön değişikliklerinden kaçınılmasını ve yüzeye stabil bir mesafenin korunmasını önermektedir. Metalik yüzeylerde yansıma, tükürük ve yumuşak doku hareketi gibi optik bozulmaların mesh bütünlüğünü zayıflattığı bildirilmiş olup, eksik veya bozuk bölgelerin tarayıcı geri dönüş manevralarıyla lokal olarak yeniden işlenmesi önerilmektedir. Trios sistemleri, operatör bağımlılığı yüksek olan bu süreçte veri kaybını azaltmayı amaçlayan otomatik hizalama algoritmalarına sahip olsa da, üreticinin vurguladığı üzere tarama doğruluğu büyük ölçüde önerilen tarama yoluna ve stabil tarayıcı hareketine uyuma bağlıdır (3Shape TRIOS User Manual, 2024).



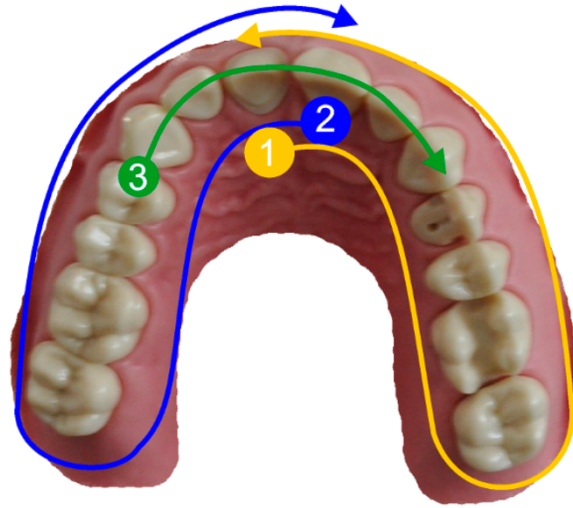
Şekil 2.5. 3Shape tarama protokolü.

Medit i700 ve diğer Medit platformlarında, tarama stratejisi diğer üreticilere kıyasla daha esnek olup, “serbest hareketli tarama” (free-movement scanning) yaklaşımı benimsenmiştir. Bu yaklaşımda operatör, oklüzal, bukkal ve lingual yüzeyleri belirli bir sıraya bağlı kalmaksızın tarayabilir; bu durum özellikle sınırlı erişim alanlarında veya klinik olarak zor vakalarda esneklik sağlamaktadır. Bununla birlikte sistemin hassas yazılım bileşenleri nedeni ile tarayıcı ucunun yüzeye aşırı yaklaştırılması, ani açı değişiklikleri, hareketli yumuşak dokular ve yetersiz tükürük kontrolü sık karşılaşılan hata kaynaklarıdır. Üretici, eksik geometri oluşması durumunda yüzeyin yavaş ve kontrollü lineer ya da dairesel hareketlerle yeniden taranmasını önermektedir. Medit yazılımının geniş tolerans aralığı stitching işlemine esneklik kazandırır da, bu durum operatörler arası varyasyonun artmasına neden olabilmekte ve özellikle tam ark taramalarda tarama yolunun stabilize edilmesini klinik açıdan daha kritik hâle getirmektedir. Dolayısıyla Medit sistemleri, kullanıcı dostu bir tarama deneyimi sağlarken, operatörün tarayıcıyı sabit hız, uzaklık ve açı kontrolüyle kullanmasını gerektiren bir yapı sunmaktadır (Medit i700 User Manual, 2021).



**Şekil 2.6.** Medit i700 tarama protokolü.

Primescan, üretici tarafından sunulan en ayrıntılı ve protokol temelli tarama stratejilerinden birine sahiptir. Kılavuzda tarama işlemi oklüzal, bukkal, lingual ve proksimal yüzeyler için ayrı sekanslar olarak tanımlanmakta olup, her yüzey için spesifik tarama yönleri ve açısal hareketler önerilmektedir. Bu yapı, taramanın belirli bir yüzey sıralaması içinde yürütülmesini öngörse de, üretici bu sıralamanın kesintisiz ve lineer bir tarama yolu olarak izlenmesi gerektiğine dair bir öneri sunmamaktadır. Primescan'ın yüksek çözünürlüklü optik sistemi nedeniyle tarayıcı ucunun yüzeyden yaklaşık 2 mm mesafede tutulması ve tarama sırasında ani mesafe veya açı değişikliklerinden kaçınılması kritik önem taşır. Özellikle tam ark taramalarda, kapanış kaydının doğruluğunu artırmak amacıyla premolar bölgelerde bilateral kapanış kaydı alınması önerilmektedir. Mesafe veya açı toleranslarından sapılması durumunda sistem, yazılım aracılığıyla kullanıcıyı uyararak veri bütünlüğünün bozulabileceğini bildirmektedir. Bu nedenle Primescan, doğru veri üretimi açısından üreticinin tanımladığı teknik tarama parametrelerine yüksek düzeyde uyum gerektiren bir cihaz olarak değerlendirilmektedir (Primescan User Manual, 2024).



Şekil 2.7. Primescan tarama protokolü.

### 2.3. Kapanış Kaydı Alma Yöntemleri

Ağız rehabilitasyonu, son derece dikkatli biçimde izlenmesi gereken bir dizi ardışık basamaktan oluşur. Herhangi bir protetik rehabilitasyon tedavisinin başarısı, alçı modellerin artikülatöre doğru ve hassas biçimde monte edilmesiyle ilişkili çeşitli faktörlere bağlıdır (Pagnano ve ark., 2005). Maksiller ve mandibular modellerin stabil ve tekrarlanabilir bir şekilde bir araya getirilebilmesi için, dikey yönde üç noktalı bir destek ile yeterli yatay stabilitenin sağlanması gereklidir. Dikey üç nokta desteği, montaj sırasında modellerin eğilmesini engellemek açısından kritiktir. Yatay stabilite ise iki ark arasında iyi bir interkuspidasyon mevcut olduğunda sağlanır ve modeller arasında yatay düzlemde rotasyon veya translasyon oluşmasını önler. İnteroklüzal kayıt, esas olarak bu yatay stabiliteyi sağlamak amacıyla kullanılmaktadır (D. ve ark., 2012).

Doğru ve hassas bir interoklüzal kayıt, protezin hastaya teslim esnasında veya prova aşamaları sırasında gerekli olabilecek intraoral düzenleme ihtiyacını en aza indirir. Bu kayıtlar, yüksek kaliteli restorasyonların üretilmesinde kritik bir rol oynamakta olup, tedavi süresini ve maliyetini azaltmaya da katkı sağlamaktadır (Craig ve ark., 2000).

The Glossary of Prosthodontics, interoklüzal kayıt; “ Karşıt dişlerin veya çenelerin konumsal ilişkisini kaydeden bir ölçüdür; dişlerin veya çenelerin birbirlerine göre konumsal ilişkilerinin kayıdır. ” şeklinde tanımlamaktadır (“The Glossary of Prosthodontic Terms 2023 10th Edition”, 2023).

### **2.3.1. Geleneksel kapanış kaydı**

Geleneksel kapanış kayıt yöntemleri, klinik iş akışında uzun süredir kullanılan analog yaklaşımlar olup, kayıt elde etmek amacıyla çeşitli dental materyallerden yararlanılmaktadır. Bu materyaller arasında en sık tercih edilenler dental mumlar ile silikon esaslı interoklüzal kayıt maddeleridir. Dental mumlar; kolay uygulanabilirlikleri, düşük maliyetleri ve yaygın erişilebilirlikleri nedeniyle avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte, mumun ağızdan uzaklaştırılması sırasında veya laboratuvara transfer sürecinde taşıma koşullarına bağlı olarak meydana gelebilecek deformasyonlar, restorasyon üretim sürecinin doğruluğunu olumsuz etkileyebilmektedir. Silikon esaslı interoklüzal kayıt maddeleri ise kolay uygulanabilir olmaları, polimerizasyon sonrası boyutsal stabilitelemlerini korumaları, detaylı bir interoklüzal ilişki sağlamaları ve şekil kaybı olmaksızın düzeltilebilir özellik göstermeleri nedeniyle geleneksel kayıt materyali olarak daha güvenilir bir alternatif sunmaktadır (Thanabalan ve ark., 2019).

İnteroklüzal kayıt materyalinin doğruluğu, her tür protetik tedavinin başarısında kritik bir faktördür. İdeal bir interoklüzal kayıt materyalinin temel gereklilikleri şunlardır:

1. Mandibulanın kapanışı sırasında, sertleşmeden önce sınırlı direnç göstermesi,
2. Sertleştikten sonra rijit veya elastik bir yapıya sahip olması,
3. Sertleşme sonrasında minimum boyutsal değişim göstermesi,
4. Dişlerin insizal ve oklüzal yüzeylerinin doğru bir şekilde kaydedilmesini sağlaması,
5. Manipülasyonunun kolay olması,
6. Kayıt alma sırasında ilgili dokular üzerinde herhangi bir olumsuz etki oluşturmaması,
7. İnteroklüzal kaydın doğrulanabilir olması (Stamoulis & Hatzikyriakos, 2007).

### **2.3.2. Dijital kapanış kaydı**

Diş hekimliğinde yeni teknolojilerin hızlı gelişimi, ölçü alma ve interoklüzal kayıtların oluşturulması da dâhil olmak üzere dijital yöntemlere doğru belirgin bir yönelime yol açmıştır (Güth ve ark., 2017). Özellikle, interoklüzal kayıtların yüksek gerçeklik ve tekrarlanabilirlikte elde edilmesi ile maksillomandibular ilişkinin doğru biçimde aktarılması, diğer pek çok klinik aşamayla birlikte, başarılı bir protetik diş hekimliği uygulaması için büyük önem taşımaktadır (Davies ve ark., 2005; Tripodakis ve ark., 1997). Geleneksel kapanış kaydında kullanılan materyaller distorsiyona, operatöre bağlı değişkenlere ve hasta konforunun azalması gibi çeşitli zorluklara açıktır ve bu durum, elde edilen kayıtların hassasiyetini ve dolayısıyla nihai restorasyonun kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Son yıllarda, IOS'lar ve

CAD/CAM sistemleri gibi yenilikçi araçların kullanımı interoklüzal kayıt sürecinde daha yüksek doğruluk, verimlilik ve tekrarlanabilirlik sağlamayı hedefleyerek konvansiyonel yöntemlerin sınırlılıklarını aşmayı amaçlamaktadır (Iwauchi ve ark., 2022; Ries ve ark., 2022).

## **2.4. Dental Artikülâtörler**

The Glossary of Prosthodontic Terms'te artikülâtör; maksiller ve mandibular alçı modellerin birbirine bağlanmasına olanak tanıyan ve mandibular hareketlerin bir kısmının veya tamamının simülasyonunu mümkün kılan mekanik ya da dijital bir analog cihaz olarak tanımlanmaktadır. The Glossary of Prosthodontic Terms sınıflandırmasına göre artikülâtörler, fonksiyonel kapasiteleri ve mandibular hareketleri simüle etme düzeylerine göre dört ana sınıfa ayrılmaktadır; Sınıf I artikülâtörler, yalnızca tek bir statik interoklüzal kaydı kabul edebilen basit tutucu aletler olup, sınırlı ölçüde dikey harekete izin verirler. Sınıf II artikülâtörler, dikey harekete ek olarak yatay hareketlere olanak tanımakla birlikte, bu hareketleri temporomandibular eklemlerle ilişkili olarak yönlendirmezler. Sınıf III artikülâtörler, mandibular hareketlerin tamamı ya da bir kısmını, ortalama değerler veya mekanik eşdeğerler kullanarak kondiler yollar aracılığıyla simüle edebilen cihazlardır; bu gruptaki artikülâtörler, modellerin temporomandibular eklemlere göre oryantasyonuna imkân tanır ve arcon veya non-arcon tasarıma sahip olabilir. Sınıf IV artikülâtörler ise üç boyutlu dinamik kayıtları kabul edebilen, mandibular hareketlerin ayrıntılı biçimde simülasyonunu sağlayan ve modellerin temporomandibular eklemlere göre hassas biçimde konumlandırılmasına olanak tanıyan ileri düzey artikülâtörlerdir ("The Glossary of Prosthodontic Terms 2023 10th Edition", 2023).

### **2.4.1. Artikülâtör çeşitleri**

#### ***Ayarlanamayan (non-adjustable) artikülâtörler***

The Glossary of Prosthodontic Terms'te ayarlanamayan (non-adjustable) artikülâtör, mandibular hareketlerin taklit edilmesini sağlayacak herhangi bir ayarlamaya izin vermeyen artikülâtörler olarak tanımlanmaktadır ("The Glossary of Prosthodontic Terms 2023 10th Edition", 2023). Literatürde, ayarlanamayan artikülâtörlerin mandibulanın yalnızca maksimum interkusal pozisyonunu kabul edilebilir bir gerçeklik ve tekrarlanabilirlik düzeyinde taklit edebildiği bildirilmektedir (Okeson JP, 2014). Bu doğrultuda, tedavi sürecinin karmaşıklığını ve maliyetini azaltmak amacıyla, eksentrik oklüzal temaslara dâhil olmayan tek diş restorasyonlarının ayarlanamayan artikülâtörler üzerinde hazırlanmasının klinik olarak uygun olabileceği belirtilmektedir. Bununla birlikte, bu tür restorasyonlarda dahi, nihai simantasyon öncesinde ağız içinde sınırlı düzeyde oklüzal uyumlama ve düzeltme işlemlerinin yapılması gerekebileceği göz önünde bulundurulmalıdır (Zarbah M. A, 2018).

### ***Yarı ayarlanabilir (semi-adjustable) artikülatörler***

The Glossary of Prosthodontic Terms'te ayarlanabilir artikülatör, “mandibular hareketlerin simülasyonunu sağlamak amacıyla ayarlanmasına izin veren artikülatör” olarak tanımlanmaktadır ve sınıf III artikülatörler ile eşanlamlı olduğu belirtilmektedir (“The Glossary of Prosthodontic Terms 2023 10th Edition”, 2023). Yarı ayarlanabilir artikülatörlerin kullanımı; uygun rehberliğin sağlanmasının gerekli olduğu çoklu restorasyonların yapımında, dikey boyut artışının planlandığı durumlarda, oklüzal temasların kontrollü biçimde düzenlenmesinde veya oklüzal interferenslerin elimine edilmesinde avantaj sağlamaktadır. Bu yaklaşım, klinik hasta başı uyumlama süresinin ve toplam tedavi maliyetinin azaltılmasına katkıda bulunabilmektedir (Weinberg, 1963). Bununla birlikte, yarı ayarlanabilir artikülatörlerin posterior oklüzal determinantları tam olarak taklit edememelerine bağlı yapısal sınırlamaları nedeniyle hata olasılığı bulunmaktadır (Wachtel & Curtis, 1987).

### ***Tam ayarlanabilir (fully adjustable) artikülatörler***

The Glossary of Prosthodontic Terms'e göre tam ayarlanabilir artikülatörler, kaydedilmiş mandibular hareketlerin üç boyutlu olarak yeniden üretilebilmesine olanak tanıyan artikülatörler olarak tanımlanmaktadır ve sınıf IV artikülatör olarak ifade edilmektedir (“The Glossary of Prosthodontic Terms 2023 10th Edition”, 2023).

Tam ayarlanabilir artikülatörlerin, klinik başarı açısından güvenilir sonuçların gerekli olduğu tam ağız rehabilitasyonu vakalarında kullanılması önerilmektedir (Zarbah M. A, 2018). Tüm ayarlanabilir artikülatörler, mandibulanın tüm eksentrik hareket yollarını doğru biçimde taklit edebilmekte; bu sayede hassas bir sentrik pozisyonun oluşturulması ve korunması mümkün olmakta, ayrıca oklüzal uyumu bozabilecek oklüzal interferansların ortaya çıkması önlenmektedir (Celenza, 1979).

### ***Dijital (sanal) artikülatörler***

The Glossary of Prosthodontic Terms'e göre dijital artikülatörler, dijital ortamda yer alan ve yazılım tabanlı programlama aracılığıyla maksilla ve mandibulanın dijital temsilleri arasındaki statik ve dinamik ilişkileri ile bu ilişkilere bağlı diş konturlarını simüle eden bir sistem olarak tanımlanmaktadır. Dijital artikülatörler, matematiksel olarak simüle edilen dijital artikülatörler ve tam ayarlanabilir dijital artikülatörler olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır (“The Glossary of Prosthodontic Terms 2023 10th Edition”, 2023).

Matematiksel olarak simüle edilen dijital artikülatörler, ilk olarak Szentpétery (1997) tarafından tasarlanmış olup, artikülatör hareketlerinin matematiksel olarak simüle edilmesine

dayanmaktadır. Bu cihaz, bir diş hekiminin mekanik bir artikülâtörün hareketlerini dijital ortamda yeniden üretmesine olanak tanımakta ve böylece tam ayarlanabilir 3B bir sanal artikülâtör işlevi görmektedir (Luthra ve ark., 2015). Ayrıca matematiksel simülasyon, bazı mekanik dental artikülâtörlerle elde edilmesi mümkün olmayan kondiler açısı, Bennett açısı ile retrüzyon, laterotruzyon ve protrüzyon hareketleri gibi ölçümlerin belirlenmesini sağlamaktadır. Bu parametreler kullanılarak artikülâtör, mekanik bir dental artikülâtörde olduğu gibi mandibulanın hareketlerini otomatik olarak simüle edebilmektedir (L. Mitchell & D. Wilkie, 1978; Solaberrieta ve ark., t.y.). Bu özellikleri sayesinde matematiksel olarak simüle edilen artikülâtörler, mekanik dental artikülâtörlere kıyasla daha geniş bir kullanım esnekliği sunmaktadır. Bununla birlikte, matematiksel yaklaşıma dayanmaları nedeniyle, mekanik dental artikülâtörlerde olduğu gibi ortalama değerler kullanılmaktadır. Bu durum, her hasta için bireysel mandibular hareketlerin doğrudan ve ayrıntılı biçimde izlenmesini güçleştirmektedir. Matematiksel olarak simüle edilen artikülâtörlere örnek olarak Stratos 200 (Ivoclar Vivadent; Amherst, NY) ve Szentpétery'nin sanal artikülâtörleri verilebilir (Bhayana ve ark., 2015; Gugwad R.S ve ark., 2011; Korlakunte, 2014).

Gärtner ve Kordass (2003) tarafından geliştirilen tam ayarlanabilir dijital artikülâtörler, Jaw Motion Analyser (JMA) olarak adlandırılan elektronik çene hareketi kayıt teknolojisi aracılığıyla mandibulanın üç boyutlu ve bireysel hareketlerini kaydedebilen ve yeniden üretebilen gelişmiş dijital artikülâtör sistemleridir. Üçgenleme prensibine dayanan bu teknoloji, mandibulanın retrüzyon, protrüzyon ve laterotruzyon gibi fonksiyonel hareketlerini sayısal veriye dönüştürerek hem tam ayarlanabilir mekanik artikülâtörlerin programlanmasına hem de CAD/CAM tabanlı sanal artikülâtör yazılımlarına aktarılmasına olanak tanır. Bu sayede kinematik ve statik oklüzal ilişkiler dijital ortamda analiz edilebilmekte, oklüzal temaslar ve çakışmalar değerlendirilebilmekte ve bireyselleştirilmiş oklüzal tasarımlar gerçekleştirilebilmektedir. Bununla birlikte, özel donanım gereksinimi ve alt çene hareket verilerinin evrensel bir dijital formatta saklanamaması, bu sistemlerin farklı yazılım platformlarıyla entegrasyonunu sınırlayan temel dezavantajlar arasında yer almaktadır (Özdemir ve ark., 2021).

#### **2.4.2. Yüz arkı kaydı ve transferi**

The Glossary of Prosthodontic Terms'te yüz arkı, maksiller arkın bir veya birden fazla anatomik referans noktasına göre uzaysal ilişkisinin kaydedilmesi ve bu ilişkinin artikülâtöre transfer edilmesi amacıyla kullanılan bir cihaz olarak tanımlanmaktadır. Bu kayıt ve transfer işlemi sayesinde maksiller dental model, artikülâtörün açılma eksenine göre ağız içindeki

konumuna karşılık gelecek şekilde oryante edilir (“The Glossary of Prosthodontic Terms 2023 10th Edition”, 2023).

Yüz arkı, maksiller modelin yarı ayarlanabilir artikülatöre transferinde kullanılan vazgeçilmez bir aksesuar olarak kabul edilmektedir. Yüz arkının kullanılmasıyla maksiller ve mandibular modeller, temporomandibular eklemlerle ilişkili olarak ve kondiler menteşe eksenine yakın bir konumda artikülatöre monte edilir. Bu yaklaşım, sentrik ve eksantrik pozisyonlarda oklüzal temasların daha doğru biçimde elde edilmesine katkı sağlayabilmektedir (Farias-Neto ve ark., 2013). İdeal bir yüz arkının amacı, hastaya ait fonksiyonel ve estetik bileşenlerin artikülatöre transfer edilmesini sağlamak olup; özellikle maksiller arkın kranial tabana ve mandibulanın transvers horizontal eksenine göre üç boyutlu konumunun doğru biçimde aktarılmasını hedefler. Çoğu yüz arkı tasarımı, maksiller arkın ilişkisini öncelikle tekrarlanabilir bir mandibular eksene aktarmak üzere geliştirilmiştir (Preston, 1979).

Yüz arkları, oklüzal düzlemin üç boyutlu uzaysal konumunun artikülatöre aktarılmasını mümkün kılmakla birlikte; yüksek maliyetleri, kullanım açısından teknik karmaşıklıkları ve klinik uygulama süresini uzatmaları nedeniyle dezavantajlı olarak değerlendirilebilmektedir. Ayrıca, bilateral kulak asimetrisi bulunan olgularda ear piece tipi yüz arklarının kullanımı, artikülatör üzerinde oklüzal düzlemin orta hattında kaymaya ve final protezde kant oluşumuna neden olabilmektedir (Palik ve ark., 1985; Samet ve ark., 2002).

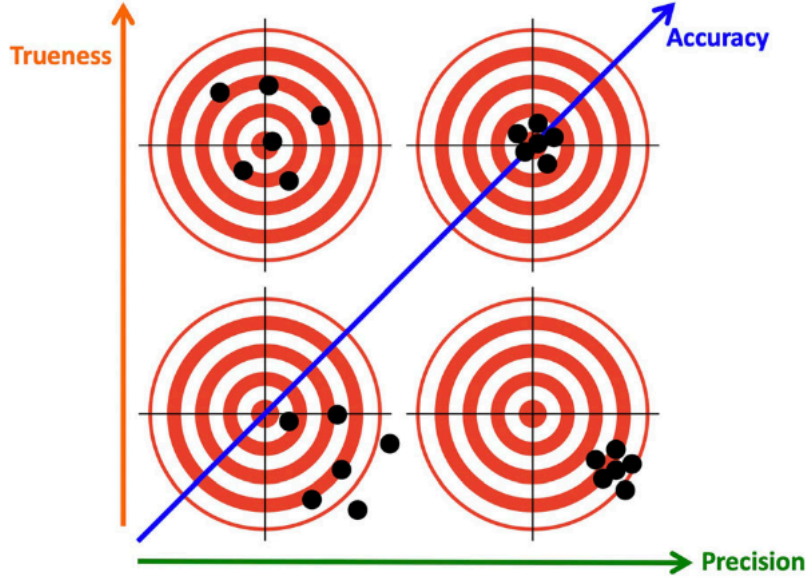
## **2.5. Diş Hekimliğinde Accuracy, Trueness ve Precision Kavramları**

Üç boyutlu dijital sistemler, özellikle de IOS’lar üzerine yapılan doğruluk (accuracy) çalışmalarının sayısı, bilimsel ve eğitsel dergilerde giderek artmaktadır. Ancak bu çalışmalarda kullanılan yöntemler, ölçüm değerleri ve istatistiksel parametreler önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Bu durum, literatürde bazı tutarsızlıklara yol açmakta; sonuçların yorumlanmasını güçleştirmekte ve hatta kimi zaman tartışmalı veya kuşku çıkarımların yapılmasına neden olmaktadır. Söz konusu sorunlar, farklı çalışmaların sonuçlarının birbiriyle karşılaştırılmasını neredeyse olanaksız hâle getirmektedir. Bu durumun temel nedenlerinden biri, ölçüm sonuçlarının kalitesini tanımlamak için kullanılan temel kavramların (accuracy, trueness, precision) literatürde değişken ve tutarsız biçimde kullanılmasıdır. Bu kavramların açık ve net biçimde tanımlanması ve bunlara ilişkin hesaplama yöntemlerinin standartlaştırılması, hem bilim insanları arasındaki iletişim hem de ölçüm sonuçlarının diş hekimliği camiasına doğru şekilde raporlanabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Mehl ve ark., 2021). Bu nedenle, dijital diş hekimliği bağlamında doğruluk (accuracy), gerçeklik

(trueness) ve tekrarlanabilirlik (precision) kavramlarının açık biçimde tanımlanması, bu tez kapsamında sunulan bulguların doğru yorumlanabilmesi ve literatürle sağlıklı biçimde karşılaştırılabilmesi açısından önem arz etmektedir.

ISO 5725'in tüm bölümlerinde, bir ölçüm yönteminin doğruluğunu tanımlamak amacıyla "trueness" ve "precision" olmak üzere iki ayrı terim kullanılmaktadır. Trueness, çok sayıda test sonucunun aritmetik ortalaması ile gerçek ya da kabul edilmiş referans değer arasındaki uyum derecesini ifade eder. Precision ise, belirlenmiş koşullar altında elde edilen test sonuçlarının birbirleriyle olan uyum derecesini tanımlar (International Organization for Standardization, 2023).

Tekrarlanabilirlik kavramının dikkate alınmasının gerekliliği, varsayımsal olarak özdeş test örnekleri üzerinde ve yine varsayımsal olarak özdeş koşullar altında gerçekleştirilen ölçümlerin, genel olarak birbirinin aynısı sonuçlar vermemesinden kaynaklanmaktadır. Bu durum, her ölçüm prosedüründe kaçınılmaz olarak bulunan rastgele hatalara atfedilmektedir; çünkü bir ölçüm sonucunu etkileyen tüm faktörlerin eksiksiz biçimde kontrol edilmesi mümkün değildir. Ölçüm verilerinin yorumlanmasında bu değişkenlik mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Tekrarlanan ölçümler arasındaki değişkenliğin genel terimi kesinlik olarak tanımlanır. Ölçüm yöntemlerinin değişkenliğini tanımlamak amacıyla tekrarlanabilirlik (repeatability) ve yeniden üretilebilirlik (reproducibility) olmak üzere iki kesinlik koşulunun gerekli olduğu ve birçok pratik durumda yararlı olduğu kabul edilmiştir. Tekrarlanabilirlik koşullarında, ölçümü etkileyen tüm faktörlerin sabit olduğu varsayılır ve bu faktörler sonuçlardaki değişkenliğe katkıda bulunmaz. Buna karşılık, yeniden üretilebilirlik koşullarında ölçümü etkileyen faktörlerin bir kısmı veya tamamı değişkenlik gösterir ve bu durum test sonuçlarındaki değişkenliğe yansır. Dolayısıyla, tekrarlanabilirlik ve yeniden üretilebilirlik kesinliğin iki uç noktasını temsil eder; ilki sonuçlardaki en düşük, ikincisi ise en yüksek değişkenliği tanımlar. Bu iki uç koşul arasında, ölçümü etkileyen faktörlerden bir veya birkaçının değişmesine izin verilen ve belirli durumlarda kullanılan ara kesinlik koşulları da bulunmaktadır. Kesinlik genellikle standart sapma cinsinden ifade edilir (International Organization for Standardization, 2023).



Şekil 2.8. Accuracy, trueness, precision şematik anlatım (Sanda ve ark., 2021).

## 2.6. Diş Hekimliğinde Dijital Analiz

### 2.6.1. Hizalama teknikleri

IOS'ların doğruluğunun değerlendirilmesi, öncelikle referans bir mesh'in oluşturulmasını gerektirmektedir. Bu referans mesh, genellikle referans bir modelin, masaüstü veya intraoral bir tarayıcı kullanılarak standardize edilmiş ve kontrol edilen koşullar altında taranmasıyla elde edilmektedir (Revilla-León ve ark., 2020). Bunu takiben, sonraki taramalardan örnek meshler (veriler) oluşturulmakta ve karşılaştırmalı analizlerin yapılabilmesi amacıyla bu test meshler referans mesh üzerine superimpoze edilmektedir. Hastaya ait dijital dosyaların üst üste bindirilmesi (superimpozisyonu) için başlıca üç temel hizalama tekniği tanımlanmıştır: best-fit algoritması (BF), referans veya bölgesel temelli best-fit (RBF) ve landmark (referans noktası) temelli best-fit hizalama (LBF). Landmark ve bölgesel hizalama yaklaşımları, operatörün bilgi ve deneyimine büyük ölçüde bağımlı olup, karşılık gelen anatomik noktaların veya bölgelerin manuel olarak seçilmesini gerektirmekle beraber; RBF yöntemi, veri setlerinin hizalanmasını, operatör tarafından tanımlanan belirli bölümlerle sınırlandırarak gerçekleştirmektedir (Heintze ve ark., 2013; Mehl ve ark., 1997). Bununla birlikte, best-fit yaklaşımı, iterative closest point (ICP) algoritmasına dayanmaktadır; bu algoritma, iki meshi tüm veri setini kullanarak nokta bulutları arasındaki farkları minimize edecek şekilde hizalamaktadır. Söz konusu yöntem, hizalama hatasını azaltmak amacıyla dönüşümü iteratif olarak iyileştirmekte, böylece operatör bağımlılığını en aza indirerek standardizasyonu ve tekrarlanabilirliği artırmaktadır (Limonés ve ark., 2024; Revilla-León, Gohil, ve ark., 2023).

Superimpozisyon teknikleri, dijital diş hekimliğinde üretim süreçlerinin doğrulanması (Limonos ve ark., 2024; F. Mangano ve ark., 2017), intraoral ve yüz tarayıcılarının performansının değerlendirilmesi (Amornvit ve ark., 2021; Kuhlman ve ark., 2023; Revilla-León ve ark., 2020), ortodontik tedavi analizleri (Christopoulou ve ark., 2022) ve dental aşınmanın uzun dönemli izlenmesi (García ve ark., 2022; Mitirattanakul ve ark., 2023) gibi çok çeşitli uygulamalarda temel bir bileşen haline gelmiştir. Bununla birlikte, özellikle tam ark modellerinde, hizalama yönteminin seçimi, superimpozisyon doğruluğunun kritik bir belirleyicisi olmaya devam etmekte ve klinik değerlendirmelerin geçerliliğini anlamlı ölçüde etkileyebilmektedir. Laboratuvar çalışmaları, hizalama yönteminin seçiminin 3 boyutlu çakıştırma doğruluğunu etkilediğini ve taranmış modeller arasındaki uyumsuzlukların minimize edilmesine katkı sağladığını göstermiştir (Piedra-Cascón ve ark., 2025; Revilla-León, Gohil, ve ark., 2023).

### 2.6.2. Değerlendirme kriterleri

İstatistikte “hata (error)” terimi, bilinen ve doğru bir değerden sapmayı ifade eder. Bu doğrultuda RMSE (karekök ortalama hata, root mean square error), bir gözlem kümesinin bilinen bir değere göre ortalama saçılımını nicel olarak tanımlayan bir istatistiktir (Thomas Meyer, 2012). RMSE aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$RMSE \equiv \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}$$

**Şekil 2.9.** RMSE (karekök ortalama hata, root mean square error) formülü.

Bu denklemde  $\mu$ , bilinen ve doğru değeri;  $n$ ,  $\mu$ 'ya ait gözlem sayısını;  $x_i$  ise  $n$  adet gözlemden birini temsil etmektedir.

Standart sapma ( $\hat{\sigma}$ , SD), bir gözlem kümesinin, kümenin ortalama değerinin bir tahmininden olan ortalama saçılımını ifade eder ve aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{\mu})^2}$$

**Şekil 2.10.** Standart sapma ( $\hat{\sigma}$ , SD) formülü (Thomas Meyer, 2012).

Burada  $\mu$ , gözlem kümesinden hesaplanan doğru değer bir tahminini (bir tür ortalama);  $n$ , gözlem sayısını;  $x_i$  ise  $n$  gözlemden birini ifade etmektedir.

RMSE'nin tanımı,  $\mu$ 'nin doğru olduğu bilinen (ya da doğru olduğu varsayılan) değerinin bilinmesini gerektirir. Ölçme (surveying) uygulamalarında bu durum genellikle kontrol değerlerinin doğru kabul edilmesi ile ortaya çıkar; bu kabul, istatistiksel olarak çoğu zaman bu değerlere sıfır (ya da çok küçük) standart sapmalar atanması şeklinde yansıtılır. Gerçek değer bilinmediği durumlarda RMSE tanımlı değildir. Örneğin, gerçek yatay açısı bilinmeyen bir doğrultular (bearing) kümesi için RMSE hesaplanamaz. Denklemler incelendiğinde, bias'ın (sistemik sapmanın) bulunmadığı durumda, RMSE'nin sınırdaki standart sapmaya (SD) eşitlendiği ve gözlem sayısının büyük olduğu veri setlerinde bu iki ölçütün pratikte özdeş hâle geldiği görülmektedir.

Aritmetik benzerliklerine rağmen, bu iki istatistik kavramsal olarak farklıdır. RMSE, gerçek bir değer etrafındaki saçılımı ifade ettiği için doğruluğun bir ölçüsüdür. Örneğin, RMSE'nin sıfır olup olmadığının test edilmesi, gözlemlerde bias bulunup bulunmadığını doğrulamak ya da reddetmek için kullanılabilir. Buna karşılık, standart sapma, gözlem kümesinin kendi ortalaması etrafındaki saçılımı tanımladığı için kesinliğin ölçüsüdür ve bias'ın test edilmesinde kullanılamaz. Her iki istatistik birlikte hesaplandığında, bir gözlem kümesinin kesinliği ve doğruluğu nicel olarak değerlendirilebilir; tek başına hiçbir istatistik yeterli değildir, çünkü; küçük bir RMSE, küçük bir standart sapmayı ima eder. Küçük bir standart sapma, küçük bir RMSE'yi ima etmez. Büyük bir RMSE, büyük bir standart sapmayı ima etmez. Büyük bir standart sapma, büyük bir RMSE'yi ima eder.

Daha açık bir ifadeyle; küçük bir RMSE, tahmin edilen ortalamanın gerçek ortalamaya yakın olduğunu gösterir; bu da tahmin edilen standart sapmanın RMSE'ye yakın olacağını ifade eder. Bu durumda örneklem hem doğru hem de hassastır. Buna karşılık, küçük bir standart sapma, küçük bir RMSE anlamına gelmez; çünkü örneklem bias'lı ise tahmin edilen ortalama

gerçek ortalamadan uzak olabilir ve bu durum büyük bir RMSE'ye yol açar yani örneklem hassas fakat doğru değildir. Benzer biçimde, büyük bir RMSE, mutlaka büyük bir standart sapma anlamına gelmez. Öte yandan, büyük bir standart sapma, büyük bir RMSE'yi zorunlu olarak beraberinde getirir; çünkü her iki ölçüt de saçılımı ifade eder. Bu durumda örneklem hassas değildir (Thomas Meyer, 2012).



### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

#### 3.1. Referans Modelin Elde Edilmesi

Bu çalışmanın amacı dört farklı IOS ile üç farklı metotla alınan kapanış kayıtlarının doğruluğunu dijital bir üç boyutlu karşılaştırma programıyla sanal ortamda ölçümlemektir. Bu kapsamda tipodont bir çene modelinin (Frasaco AG-3 dental model) #FDI 23, 25, 27, 33, 35 ve 37 numaralı dişleri prepare edilip, 24, 26, 28, 34, 36 ve 38 numaralı diş bölgeleri ise düzleştirilerek çekilmiş gibi simüle edilmiştir. Elde edilen model TRIOS 3 (3Shape ,Kopenhag, Danimarka) ağız içi tarayıcısı ile taranıp sanal ortama aktarıldı ve dijital model elde edildi. Elde edilen dijital model Asiga Max 2 (Asiga Co. Alexandria, Avustralya) 3B yazıcısı ile Asiga DentaCAST (Asiga Co. Alexandria, Avustralya) dental model reçinesi kullanılarak yeniden üretilmiştir. 3B yazıcıdan üretilen modeller elle artiküle edilip yarı ayarlanabilir bir artikülatör olan Bio Art A7 Plus'a (Bio-Art A7 Plus, Bio-Art Equipamentos Odontológicos Ltda., São Carlos, Brezilya) bağlanmıştır. Yarı ayarlanabilir artikülatöre bağlanan bu model çalışmamızın referans modelini teşkil etmektedir.

Referans modelin dijital ortama aktarımı amacıyla, yüksek gerçeklik ve tekrarlanabilirlik özelliklerine sahip, üretici verilerine göre ISO 12836 standartları altında 4 µm hassasiyet sunan bir masaüstü laboratuvar tarayıcısı (Smart Optics Vinyl HR scanner, Smart Optics Sensortechnik, Bochum, Almanya) referans tarayıcı olarak kullanıldı (Sezer, 2024). Elde edilen bu veriler, ağız içi tarayıcılardan elde edilen kapanış kayıtlarının doğruluğunun değerlendirilmesinde karşılaştırma ölçütü olarak kabul edilmiştir.



**Şekil 3.1.** Smart Optics Vinyl HR tarayıcı, Smart Optics Sensortechnik.

### **3.2. Test Verilerinin Elde Edilmesi**

Referans modelin ilk olarak, tarama işlemi öncesi kalibrasyonu yapılan Trios 3 ağız içi tarayıcı ile üretici talimatlarına uygun metotla maksilla ve mandibula taramaları ile preparasyon yapılan dişlerin olduğu (Prep) bölgesinde 7 numaralı dişlerden başlayıp 3 numaralı dişlere kadar kapanış taraması alınmıştır. Bu veri kaydedilip dışa aktarıldıktan sonra aynı vakadan yalnızca kapanış tarama verisi silinip; önceki taramada elde edilen maksilla ve mandibula taramaları korunup, preparasyon bölgesinden tekrar yukarıda tarif edildiği şekilde kapanış taraması alınıp dışa aktarılmıştır. Bu işlem Trios 3 Prep grubu için 14 kez tekrarlanmıştır.

İkinci olarak referans modelin Trios 3 ağız içi tarayıcı ile üretici talimatlarına uygun metotla maksilla ve mandibula taramaları ile preparasyon yapılmayan bölgede (Non-Prep) 7 numaralı dişlerden başlayıp 3 numaralı dişlere kadar kapanış taraması alınmıştır. Bu veri kaydedilip dışa aktarıldıktan sonra aynı vakadan yalnızca kapanış tarama verisi silinip; önceki taramada elde edilen maksilla ve mandibula taramaları korunup, Non-Prep bölgesinden tekrar yukarıda tarif edildiği şekilde kapanış taraması alınıp dışa aktarılmıştır. Bu işlem Trios 3 Non-Prep grubu için 14 kez tekrarlanmıştır.

Üçüncü olarak referans modelin Trios 3 ağız içi tarayıcı ile üretici talimatlarına uygun metotla maksilla ve mandibula taramaları ile hem preparasyon yapılmayan bölgede, hem de preparasyon yapılan dişlerin olduğu bölgede (Çift) 7 numaralı dişlerden başlayıp 3 numaralı dişlere kadar kapanış taraması alınmıştır. Bu veri kaydedilip dışa aktarıldıktan sonra aynı

vakadan yalnızca kapanış tarama verisi silinip; önceki taramada elde edilen maksilla ve mandibula taramaları korunup, Çift bölgesinden tekrar yukarıda tarif edildiği şekilde kapanış taraması alınıp dışa aktarılmıştır. Bu işlem Trios 3 Çift grubu için 14 kez tekrarlanmıştır.

Trios 3 için tanımlanan tarama protokolü, aynı operatör tarafından ve her ağız içi tarayıcının kendi üretici talimatlarına uygun şekilde Medit i700 (Medit Corp., Seul, Kore) ve Primescan (Dentsply Sirona, Bensheim, Almanya) ağız içi tarayıcıları için de aynı şekilde uygulanmıştır. Bahsedilen ağız içi tarayıcılardan farklı olarak Trios 5 (3Shape ,Kopenhag, Danimarka) ağız içi tarayıcısı herhangi bir kalibrasyon işlemi gerektirmemesi nedeniyle tarama işlemleri öncesi kalibrasyon yapılmamıştır.



Şekil 3.2. Trios 3 (3Shape ,Kopenhag, Danimarka).



Şekil 3.3. Trios 5 (3Shape ,Kopenhag, Danimarka).



Şekil 3.4. Medit i700 (Medit Corp., Seul, Kore).



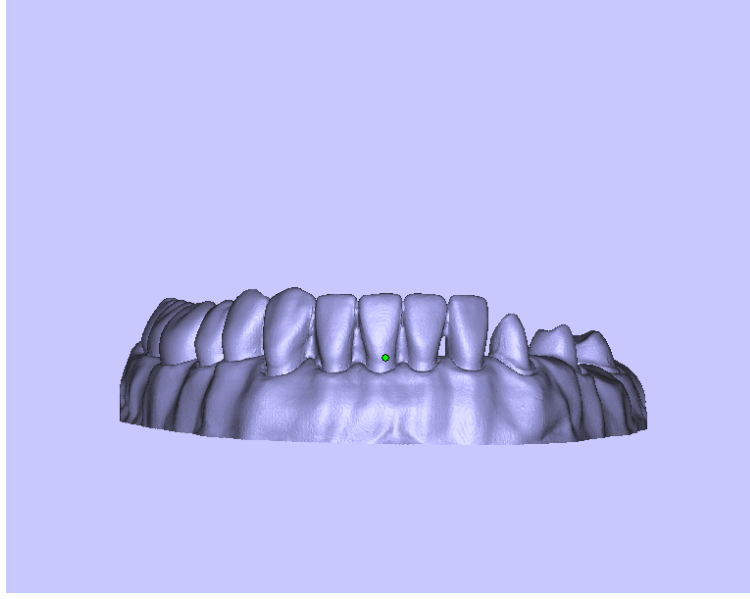
Şekil 3.5. Primescan (Dentsply Sirona, Bensheim, Almanya).

Tablo 3.1. Tarayıcı ve alt grup kodları.

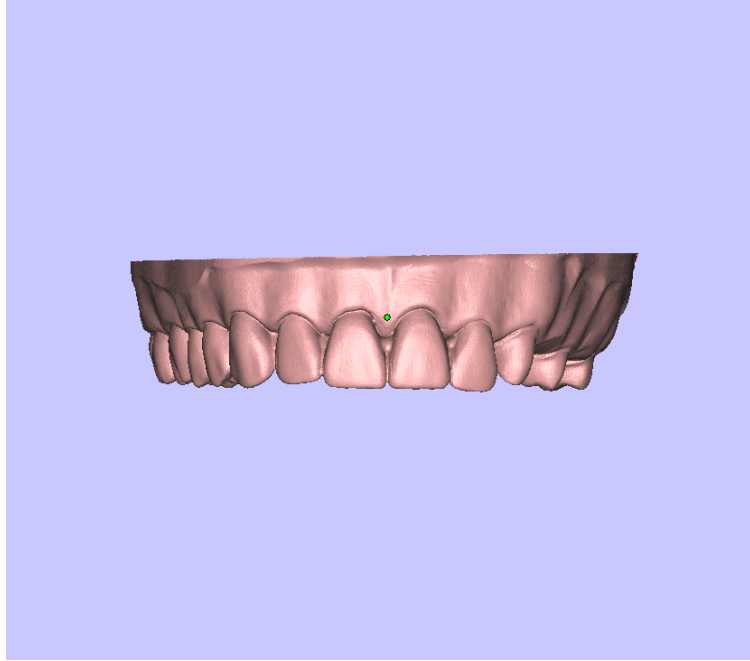
Tarayıcı	Tarayıcı Kodu	Kapanış Kaydı Stratejisi	Alt Grup Kodu	Tekrar Sayısı (n)
<b>Trios 3</b>	T3	Prep	T3-P	15
<b>Trios 3</b>	T3	Non-Prep	T3-NP	15
<b>Trios 3</b>	T3	Çift	T3-Ç	15
<b>Trios 5</b>	T5	Prep	T5-P	15
<b>Trios 5</b>	T5	Non-Prep	T5-NP	15
<b>Trios 5</b>	T5	Çift	T5-Ç	15
<b>Medit i700</b>	M	Prep	M-P	15
<b>Medit i700</b>	M	Non-Prep	M-NP	15
<b>Medit i700</b>	M	Çift	M-Ç	15
<b>Primescan</b>	PS	Prep	PS-P	15
<b>Primescan</b>	PS	Non-Prep	PS-NP	15
<b>Primescan</b>	PS	Çift	PS-Ç	15

### 3.3. Tarama Verilerinin Tek Bir Mesh Haline Getirilmesi

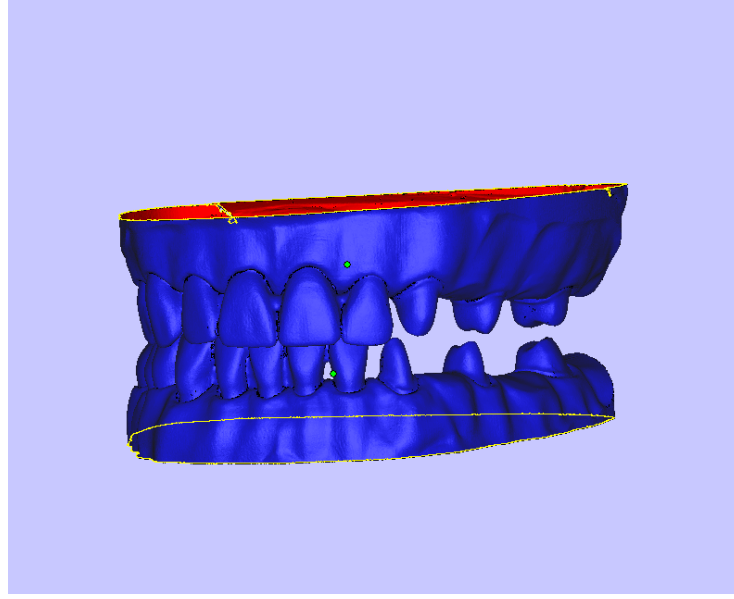
Ağız içi tarayıcılardan elde edilen test model verileri ve referans model öncelikle Magics (Materialise NV, Lovaine, Belçika) programında merge komutu ile alt ve üst çene taramaları kendi kapanış pozisyonlarında birbirlerine kilitleyip tek bir STL dosyası halinde dışa aktarılmıştır.



Şekil 3.6. Alt çene modelinin yazılıma aktarılması.



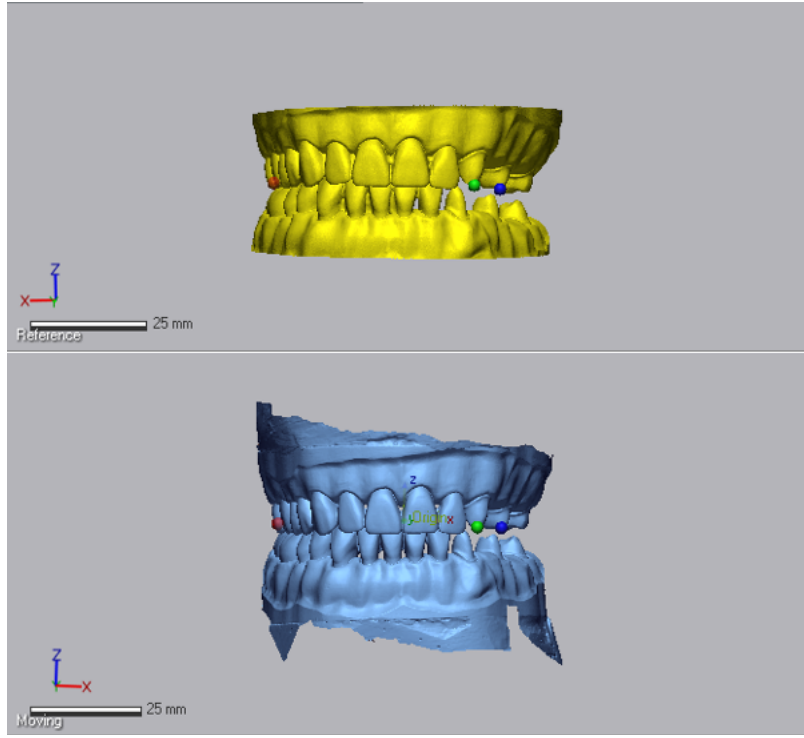
Şekil 3.7. Üst çene modelinin yazılıma aktarılması.



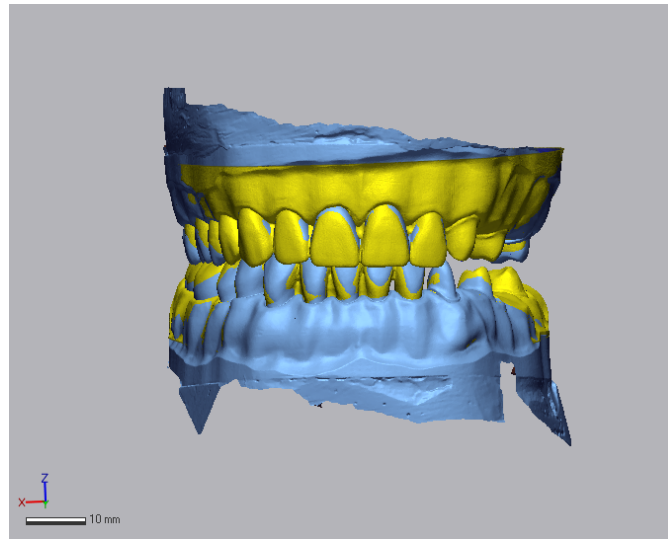
Şekil 3.8. Alt ve üst çenenin merge komutu ile birleştirilmesi.

#### 3.4. Ağız İçi Tarayıcılardan Elde Edilen Tarama Verilerinin Referans Tarayıcı Verileriyle Karşılaştırılması

Merge komutu ile alt ve üst çene taramaları kapanış pozisyonunda kilitlenen referans model verisi ile ağız içi tarayıcılardan elde edilen test model verileri, bir 3B veri değerlendirme yazılımına (Geomagic Control X 2020, Rock Hill, SC, USA) aktarıldı. Her bir test verisi ayrı ayrı 3 - Point Alignment algoritması ile referans tarama verisine üst çenelerden seçilen üç nokta referans alınarak hizalandı. Standardizasyonun sağlanabilmesi için tüm taramaların hizalama işleminde aynı noktalar seçilmiştir. Kırmızı, yeşil ve mavi olarak seçilen noktalar, hatların belli olduğu belirgin yerlerden seçilmiştir. Her bir ağız içi tarama verisi için referans model ile olan uyumsuzluk değeri olarak RMS hesaplandı.

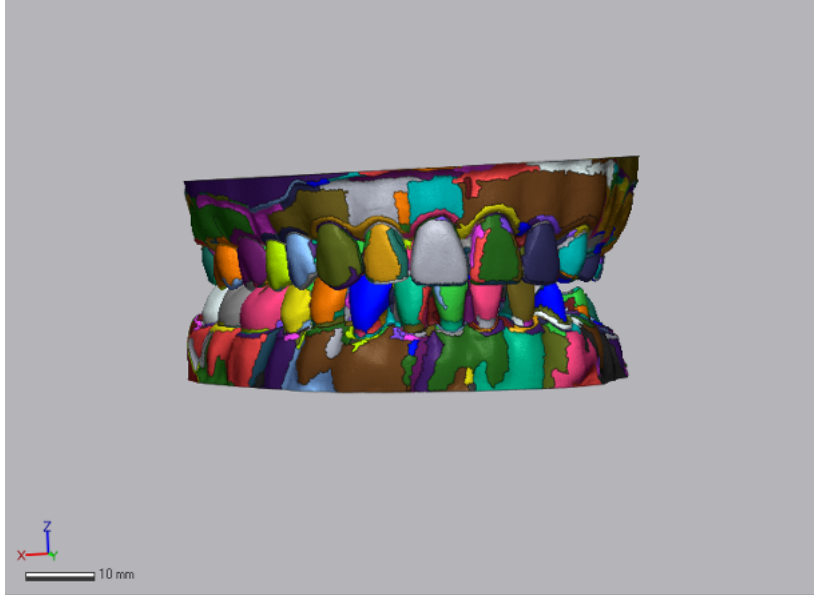


Şekil 3.9. “3 point” komutu ile hizalama işleminin gerçekleştirilmesi.



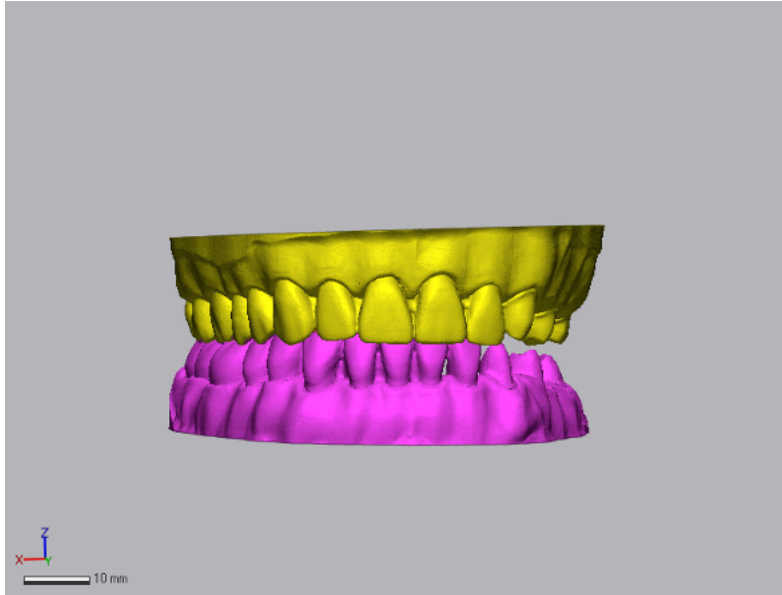
Şekil 3.10. Hizalama sonucu görseli.

3B Compare işlemi yapılabilmesi için “Resegment” komutu kullanarak referans model segmentlere ayrılmıştır.



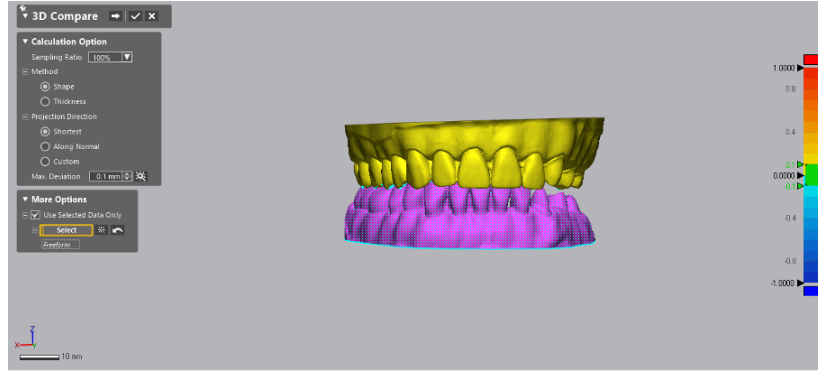
**Şekil 3.11.** “Resegment” komutunun kullanılması.

RMS değerleri alt çene için okunacağından alt ve üst çene ayrı ayrı tek segmentler haline getirildi.

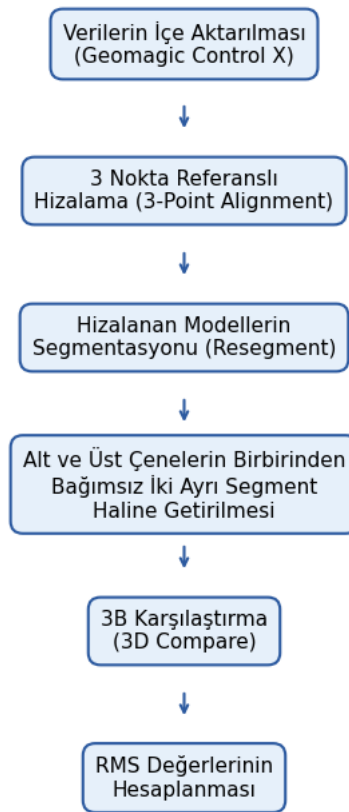


**Şekil 3.12.** Alt ve üst çenenin ayrı segmentler olarak gösterilmesi.

“3D Compare” komutu ile referans ve test verileri arasındaki sapma miktarı RMS değeri olarak elde edildi.



Şekil 3.13. Alt çenede “3D Compare” komutunun kullanılması.



Şekil 3.14. Ağız içi tarayıcılardan elde edilen tarama verilerinin referans tarayıcı verileriyle karşılaştırılması aşamaları.

### 3.5. İstatistiksel Analiz

Veriler IBM SPSS v23 ve Jamovi 2.3.28 ile analiz edildi. Normal dağılıma uygunluk Shapiro Wilk Testi ile incelendi. Ağız içi tarayıcı ve tarama yöntemine göre normal dağılıma

uymayan değişkenlerin karşılaştırılmasında Robust ANOVA kullanıldı. Nicel verilerin gösteriminde Ortanca (Minimum-Maksimum) kullanıldı. Önem düzeyi  $p < 0,05$  olarak alındı.

İntraoral tarayıcıların ölçüm tekrarlanabilirlik, marjinal RMS değerlerinin Medyan Mutlak Sapması (Median Absolute Deviation, MAD) ile değerlendirilmiştir. Her koşul için 15 tekrarlı tarama gerçekleştirilmiş ve aynı koşul altında elde edilen RMS değerlerinin dağılımı hesaplanmıştır. MAD, ölçümlerin grup medyanından olan mutlak sapmalarının medyanı olarak tanımlanan, uç değerlere ve normal dağılmayan verilere karşı dayanıklı bir değişkenlik ölçütüdür. Bu nedenle standart sapmaya kıyasla tekrarlanabilirliğin değerlendirilmesinde tercih edilmiştir. Verilerin parametrik test varsayımlarını sağlamaması nedeniyle grup karşılaştırmalarında non-parametrik Kruskal–Wallis testi ile analiz edilmiştir. Tarayıcı ana etkisinin anlamlı bulunduğu durumlarda, ikili karşılaştırmalar Dunn post-hoc testi ve Holm düzeltilmesi ile gerçekleştirilmiş olup, anlamlılık düzeyi  $p < 0,05$  olarak belirlenmiştir.

## 4. BULGULAR

### 4.1. Gerçekliğin Değerlendirilmesine Ait Bulgular

Bu çalışmada, dört farklı ağız içi tarayıcı kullanılarak üç farklı kapanış kaydı stratejisi ile elde edilen dijital kapanış kayıtlarının doğruluğu değerlendirilmiştir. Tüm gruplara ait veriler, referans masaüstü laboratuvar tarayıcısından elde edilen kayıtlarla karşılaştırılarak üç boyutlu analiz yazılımı aracılığıyla hesaplanan RMS sapma değerleri üzerinden analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, ağız içi tarayıcı türüne, kapanış kaydı stratejisine ve bu iki faktör arasındaki etkileşime bağlı olarak dijital kapanış kayıtlarının doğruluğunda farklılıklar ortaya koymuştur. İstatistiksel analiz sonuçları, aşağıda ilgili alt başlıklar altında ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Tablo 4.1, ağız içi tarayıcı türü, tarama yöntemi ve bu iki faktör arasındaki etkileşimin RMS değerleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yapılan Robust ANOVA analizinin sonuçlarını göstermektedir. Analiz sonucunda, ağız içi tarayıcı ana etkisinin RMS ortanca değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluşturmadığı belirlenmiştir ( $p = 0,164$ ). Benzer şekilde, tarama yöntemi ana etkisinin de RMS değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olmadığı saptanmıştır ( $p = 0,126$ ).

Ayrıca, ağız içi tarayıcı ile tarama yöntemi arasındaki etkileşimin RMS değerleri üzerindeki etkisi değerlendirildiğinde, bu etkileşimin de istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmüştür ( $p = 0,666$ ). Bu bulgular, incelenen ağız içi tarayıcılar ve tarama stratejileri arasında, RMS değerleri açısından belirgin bir farklılık bulunmadığını ve her iki faktörün birlikte değerlendirilmesinin de dijital kapanış kaydı gerçekliği üzerinde anlamlı bir etki oluşturmadığını göstermektedir.

**Tablo 4.1. Ağız içi tarayıcı ve tarama yöntemine göre RMS değerlerinin karşılaştırılması.**

	Test İstatistiği	$p^x$
<b>Ağız İçi Tarayıcı</b>	1,700	0,164
<b>Tarama Yöntemi</b>	2,070	0,126
<b>Ağız İçi Tarayıcı X Tarama Yöntemi</b>	4,080	0,666

<sup>x</sup>Robust ANOVA

Tablo 4.2, farklı ağız içi tarayıcılar kullanılarak elde edilen dijital kapanış kayıtlarına ait RMS değerlerinin özet istatistiklerini göstermektedir. Tablo incelendiğinde; T3, T5, M ve PS ağız içi tarayıcıları için hesaplanan RMS ortanca değerlerinin birbirine yakın aralıklarda dağıldığı görülmektedir. Bu durum, tarayıcılar arasında dijital kapanış kaydı gerçekliği açısından belirgin bir farklılık bulunmadığını göstermektedir.

İstatistiksel analiz sonuçlarına göre, tarama yöntemi göz önünde bulundurulmaksızın değerlendirilen ağız içi tarayıcı ana etkisinin, RMS ortanca değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki oluşturmadığı saptanmıştır ( $p=0,164$ ,  $p > 0,05$ ). Bu bulgu, kullanılan ağız içi tarayıcı tipinin, dijital kapanış kayıtlarının gerçekliği üzerinde tek başına belirleyici bir faktör olmadığını göstermektedir.

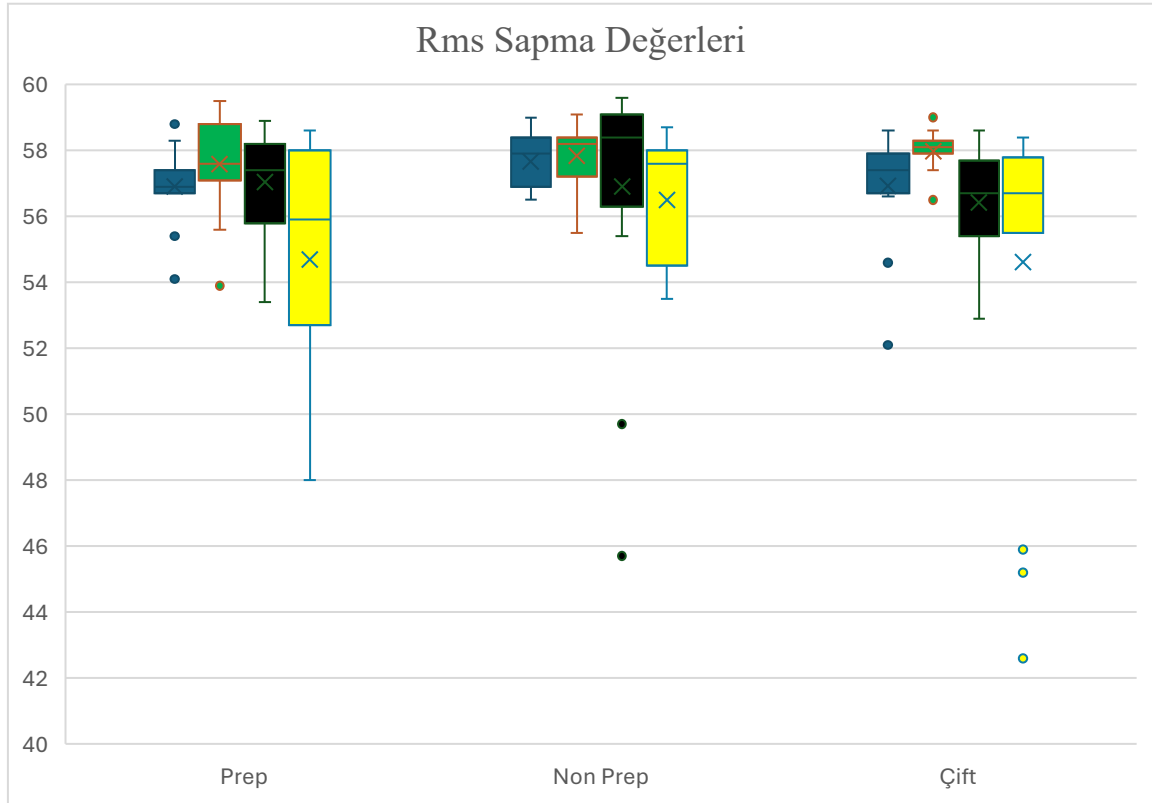
**Tablo 4.2. Ağız içi tarayıcı göre RMS değerlerinin dağılımı.**

Ağız İçi Tarayıcı	Ortanca Rms (Minimum Maksimum) ( $\mu\text{m}$ )
PS	57,3 (52,1–59)
M	58,1 (53,9–59,5)
T3	57,6 (45,7–59,6)
T5	56,6 (42,6–58,7)

Şekil 4.1’de, farklı tarama stratejileri (Prep, Non-Prep ve Çift) için ağız içi tarayıcılara ait RMS sapma ( $\mu\text{m}$ ) değerlerinin dağılımı kutu grafikleri ile sunulmuştur. Tüm tarama stratejileri dikkate alındığında, tarayıcılar arasında RMS değerlerinin dağılımının genel olarak benzer aralıklarda seyrettiği, ancak bazı tarayıcı–tarama stratejisi kombinasyonlarında dağılım genişliğinin arttığı gözlenmiştir. Özellikle TRIOS 5 tarayıcısında, Prep stratejisinde RMS değerlerinin çeyrekler arası aralığının (Q1–Q3) diğer tarayıcılara kıyasla daha geniş olduğu ve aykırı değerlerin daha belirgin olduğu görülmüştür. Çift grubunda ise çeyrekler arası aralık T3 ile benzer olmakla birlikte bazı belirgin aykırı değerler gözlenmektedir.

Medit ve Primescan ağız içi tarayıcılarında ise, tüm tarama stratejilerinde RMS değerlerinin daha dar bir dağılım gösterdiği ve medyan değerlerin birbirine yakın olduğu izlenmiştir. TRIOS 3 tarayıcısında RMS değerlerinin dağılımı, tarama stratejilerine bağlı olarak değişkenlik göstermiş; özellikle Non-Prep tarama stratejisinde dağılımın genişlediği ve aykırı değerlerin ortaya çıktığı dikkat çekmiştir. Tarama stratejileri karşılaştırıldığında, Prep ve Non-Prep stratejilerinin RMS dağılımları genel olarak birbirine yakın iken, Çift tarama stratejisinde

bazı tarayıcılarda dağılımın daha heterojen olduğu gözlenmiştir. Non-Prep ve Çift tarama stratejilerinde RMS değerlerinin dağılımı, bazı tarayıcılarda Prep stratejisine kıyasla daha geniş bir aralıkta seyretmiş ve aykırı değerlerin daha belirgin olduğu gözlenmiştir.



**Şekil 4.1.** RMS Sapma ( $\mu\text{m}$ ) değerlerinin kutu grafiği ile gösterimi.

Mavi sütun: PS, Yeşil Sütun: M, Siyah Sütun: T3 ve Sarı Sütun: T5'i temsil etmektedir. Orta çizgi medyanı, kutular çeyrekler arası aralığı (Q1–Q3), bıyıklar  $1,5 \times \text{IQR}$ 'yi ve açık daireler aykırı değerleri göstermektedir.

Tablo 4.3, farklı kapanış kaydı stratejileri (Prep, Non-Prep ve Çift) kullanılarak elde edilen dijital kapanış kayıtlarına ait RMS değerlerinin özet istatistiklerini göstermektedir. Tablo incelendiğinde, her üç tarama yöntemi için hesaplanan RMS ortanca değerlerinin birbirine yakın olduğu ve değerlerin dar bir aralıkta dağıldığı görülmektedir.

İstatistiksel analiz sonuçlarına göre, ağız içi tarayıcıdan bağımsız olarak değerlendirilen tarama yöntemi ana etkisinin, RMS ortanca değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluşturmadığı belirlenmiştir ( $p > 0,05$ ). Bu bulgu, çalışmada kullanılan üç farklı kapanış kaydı stratejisinin, dijital kapanış kaydı gerçekliği açısından benzer performans sergilediğini göstermektedir.

**Tablo 4.3. Tarama yöntemine göre RMS değerlerinin dağılımı ( $\mu\text{m}$ ).**

Tarama Yöntemi	Ortanca Rms (Minimum Maksimum)
Prep	57,3 (48–59,5)
Non-Prep	58,1 (45,7–59,6)
Çift	57,4 (42,6–59)

Tablo 4.4, ağız içi tarayıcılar (PS, M, T3 ve T5) ile kapanış kaydı stratejileri (Çift, Prep ve Non-Prep) arasındaki etkileşimin RMS değerleri üzerindeki etkisini göstermektedir. Veriler, her bir tarayıcı–tarama yöntemi kombinasyonu için RMS ortanca değerleri şeklinde sunulmuştur. İstatistiksel analiz sonucunda, ağız içi tarayıcı ile tarama yöntemi arasındaki etkileşimin RMS değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir (Robust ANOVA,  $p = 0,666$ ).

**Tablo 4.4. Ağız içi tarayıcı ve tarama yöntemi etkileşimine göre RMS değerleri ( $\mu\text{m}$ ).**

Tarayıcı	Prep	Non Prep	Çift
PS	56,9	57,9	57,4
M	57,6	58,2	58,1
T3	57,4	58,4	56,7
T5	55,9	57,6	56,7

Buna karşın, Tablo 4.5’te sunulan betimleyici istatistikler incelendiğinde, farklı tarayıcı–tarama yöntemi kombinasyonları arasında RMS değerlerinin dağılımında sınırlı düzeyde değişkenlik olduğu görülmektedir. En düşük RMS ortanca değeri, T5-P alt grubunda elde edilirken (55,9), en yüksek RMS ortanca değeri T3-NP tarama yöntemi ile gözlenmiştir (58,4). Ancak bu farklılıklar, istatistiksel analizler sonucunda istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ( $p > 0,05$ ).

Bu bulgular, kapanış kaydı gerçekliğinin, kullanılan ağız içi tarayıcı ve tarama yöntemi kombinasyonundan bağımsız olarak benzer düzeylerde elde edilebildiğini ve tarayıcı–yöntem etkileşiminin RMS değerleri üzerinde belirleyici bir rol oynamadığını göstermektedir.

**Tablo 4.5. En düşük ve en yüksek RMS değerlerinin gözleendiği gruplar ( $\mu\text{m}$ ).**

	Tarayıcı	Tarama Yöntemi	RMS
Min	T5	Prep	55,9
Maks	T3	Non Prep	58,4

#### 4.2. Tekrarlanabilirliğin Değerlendirilmesine Ait Bulgular

Tablo 4.6 - 4.7- 4.8'de, ağız içi tarayıcılar ve tarama stratejilerine göre elde edilen tekrarlanabilirlik değerleri sunulmuştur. Tekrarlanabilirlik, ölçümler arasındaki tutarlılığı temsil ettiğinden, daha düşük  $\mu\text{m}$  değerleri daha yüksek hassasiyete karşılık gelmektedir. Bu doğrultuda, tüm tarama stratejileri dikkate alındığında en düşük  $\mu\text{m}$  değerleriyle en yüksek tekrarlanabilirlik M ağız içi tarayıcısında elde edilmiştir (Tablo 4.8). Özellikle Çift ve Non-Prep tarama stratejilerinde M tarayıcı, diğer tarayıcılara kıyasla daha yüksek ölçüm tutarlılığı göstermiştir (Tablo 4.6.).

**Tablo 4.6. Tekrarlanabilirlik ( $\mu\text{m}$ ).**

	M	PS	T3	T5
Çift	0,297 <sup>A</sup>	0,890 <sup>A</sup>	1,48 <sup>AC</sup>	1,63 <sup>AC</sup>
Non Prep	0,593 <sup>A</sup>	1,04 <sup>A</sup>	1,04 <sup>AC</sup>	1,63 <sup>AC</sup>
Prep	1,04 <sup>AC</sup>	0,741 <sup>A</sup>	1,19 <sup>AC</sup>	3,85 <sup>BC</sup>

Tablo 4.7.'de tarayıcıdan bağımsız olarak yapılan değerlendirmede, Non-Prep tarama stratejisinin  $\mu\text{m}$  değerlerinin daha düşük olduğu ve dolayısıyla daha yüksek tekrarlanabilirlik sağladığı, Prep tarama stratejisinde ise  $\mu\text{m}$  değerlerinin artmasına bağlı olarak ölçüm tekrarlanabilirliğinin azaldığı gözlenmiştir. Bununla birlikte, tarama stratejileri arasında genel tekrarlanabilirlik açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır ( $p > 0,05$ ).

**Tablo 4.7. Tarama yöntemine göre genel tekrarlanabilirlik.**

Tarama Yöntemi	Tekrarlanabilirlik Değeri (RMS)
Çift	1,19 <sup>a</sup>
Non Prep	0,964 <sup>a</sup>
Prep	1,48 <sup>a</sup>

Tablo 4.8.'de tarama stratejisinden bağımsız olarak tarayıcılar karşılaştırıldığında ise, M ve PS ağız içi tarayıcıları daha düşük  $\mu$ m değerleriyle daha yüksek genel tekrarlanabilirlik sergilerken, TRIOS 5 tarayıcı istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha düşük tekrarlanabilirlik göstermiştir ( $p < 0,05$ ).

**Tablo 4.8. Ağız içi tarayıcıya göre genel tekrarlanabilirlik.**

Tarayıcı	Tekrarlanabilirlik Değeri (RMS)
PS	0,890 <sup>a</sup>
M	0,741 <sup>a</sup>
T3	1,63 <sup>a</sup>
T5	2,37 <sup>b</sup>

## 5. TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, dört farklı ağız içi tarayıcı (TRIOS 3, TRIOS 5, Medit i700 ve Primescan) kullanılarak üç farklı kapanış kaydı stratejisi (Prep, Non-Prep ve Çift) ile elde edilen dijital kapanış kayıtlarının gerçekliği ve tekrarlanabilirliğini değerlendirilmiştir. Referans bir masaüstü laboratuvar tarayıcısından elde edilen verilerle karşılaştırmalı olarak gerçekleştirilen üç boyutlu dijital analizler sonucunda, ağız içi tarayıcı tipi, kapanış kaydı stratejisi ve bu iki faktörün etkileşiminin RMS sapma değerleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmanın istatistiksel bulguları, hem ağız içi tarayıcı ana etkisinin hem de kapanış kaydı stratejisi ana etkisinin gerçeklik değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluşturmadığını, ayrıca tarayıcı–tarama yöntemi etkileşiminin de anlamlı olmadığını ortaya koymuştur ( $p > 0,05$ ). Buna karşın, tekrarlanabilirlik verileri değerlendirildiğinde, tarayıcılar arasında ölçüm tekrarlanabilirliği açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunduğu ve TRIOS 5 tarayıcısının diğer tarayıcılara kıyasla daha düşük tekrarlanabilirlik sergilediği görülmüştür ( $p < 0,05$ ). Buna karşın, tarama stratejisinin ve ağız içi tarayıcı ile tarama stratejisi arasındaki etkileşimin tekrarlanabilirlik üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmamıştır. Bu bağlamda farklı ağız içi tarayıcılar kullanılarak elde edilen dijital kapanış kayıtlarının doğruluğu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmayacağı yönündeki boş hipotez kısmen reddedilirken, farklı kapanış kaydı stratejileri kullanılarak elde edilen dijital kapanış kayıtlarının doğruluğu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmayacağını öne süren boş hipotez ve kullanılan ağız içi tarayıcı ile kapanış kaydı stratejisi arasındaki etkileşimin, dijital kapanış kayıtlarının doğruluğu üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olmayacağı yönündeki boş hipotez kabul edilmiştir.

Ağız içi dokuların ölçüsünün hatasız şekilde alınması protetik diş tedavisinde büyük bir önem teşkil etmektedir. Geleneksel ölçü alma işlemi ağız içi dokuların, uygun materyal ve teknik ile negatiflerinin elde edilmesi prensibine dayanır. Sabit protetik restorasyonlarda ölçü doğruluğu, restorasyon ile dayanak diş arasındaki marjinal ve internal uyum üzerinden değerlendirilmekte; ölçü doğruluğunun artması restorasyonun biyolojik ve mekanik başarısını doğrudan etkilemektedir. Marjinal uyumsuzlukların periodontal irritasyon, plak birikimi, sekonder çürük oluşumu, siman çözünmesi ve renk değişikliği gibi klinik sorunlara yol açtığı bildirilmektedir. Klinik olarak gözle ya da dental aletlerle tespit edilemeyen marjinal uyumsuzlukların belirli sınırlar içinde kabul edilebilir olduğu kabul edilmekle birlikte; literatürde 100 –150  $\mu\text{m}$  aralığındaki marjinal açıklıklar klinik olarak tolere edilebilir olduğu bildirilmektedir (Çağlar ve ark., 2015).

Protetik bir restorasyon endikasyonu konulduğunda, restorasyon morfolojisi ve anatomisi hastanın mevcut oklüzyonu ile uyum sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır ve bu tasarıma referans olacak maksillomandibular ilişki tespit edilip kaydedilmelidir. Diş hekimliğinde sentrik ilişki, mandibula için en konforlu, tekrarlanabilir, fizyolojik ve stabil pozisyon olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, dental referansların patolojik olduğu ya da bulunmadığı durumlarda, istenen dikey boyutta maksillomandibular ilişki kaydedilirken kondillerin sentrik ilişki pozisyonunda olması arzu edilmektedir. Önceden belirlenmiş bir dikey boyutta sentrik ilişki pozisyonunun doğru biçimde kaydedilmesi ve bu kaydın laboratuvar ortamına doğru şekilde aktarılması, restorasyonun başarısını önemli ölçüde etkilemekte ve hekimin tedavi süresinin azaltılmasında temel bir rol oynamaktadır (Eser & Agüloğlu, 2023).

CAD/CAM teknolojisindeki gelişmeler, dental protezlerin üretiminde kullanılan pek çok konvansiyonel tekniğin yerini almıştır. Özellikle IOS sistemleri, ölçü alma prosedürünü önemli ölçüde geliştirmiştir. Konvansiyonel teknikte olduğu gibi, IOS kullanılarak gerçekleştirilen dijital iş akışında da doğru bir ölçünün elde edilmesine ek olarak, doğru bir interoklüzal ilişkinin yeniden üretilmesi, doğru protezlerin üretimi açısından büyük önem taşımaktadır. Sanal modellerin birbirine hizalanmasında kullanılan interoklüzal kayıtlar, hastanın gerçek oklüzal ilişkisini tam olarak temsil etmekte zaman zaman hatalara sebep olabilmektedir. Bu durum, dijital artikülasyon sırasında uyumsuzluklara yol açarak, klinikte çok uzun süre oklüzal düzeltme gereksinimi olan restorasyonların üretilmesine neden olabilmektedir (Seo ve ark., 2019). Sanal kayıtların doğruluğundaki bu sınırlılıklar; kullanılan ağız içi tarayıcı ve yazılım altyapısı, tarama protokolünün yeterliliği ve bireye özgü ark morfolojisi gibi çok sayıda değişkene bağlı olarak ortaya çıkabilmektedir (Seo ve ark., 2019; Solaberrieta E ve ark., 2016).

Çoğu IOS sisteminde, maksiller ve mandibular arkların VIR elde etmek amacıyla bukkal kapanış kaydı yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem, maksimum interkuspanyonda, her iki arka ait yaklaşık üç dişin bukkal yüzeylerinin intraoral dijital taramalarla kaydedilmesi olarak tanımlanmaktadır (Y.-C. Lee ve ark., 2021). Iwauchi ve ark. (2022) yaptığı in vivo çalışmada sanal interoklüzal kayıtlar ile iki farklı geleneksel interoklüzal kayıt tekniğinin hassasiyetini ve tekrarlanabilirliğini kıyasladığı çalışmanın sonucunda; ağız içi tarayıcılarla alınan sanal kapanış kayıtlarının istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha düşük bir sapma gösterdiğini bildirmişlerdir.

Dijital ölçü doğruluğunun değerlendirildiği birçok çalışmada, elde edilen sonuçların güvenilirliği büyük ölçüde kullanılan referans verinin doğruluğuna ve standardizasyonuna bağlıdır. Literatürde VIR doğruluğunu değerlendiren birçok çalışmada referans olarak laboratuvar tarayıcılarını kullanmıştır (Y.-C. Lee ve ark., 2021; Revilla-León, Alonso Pérez-Barquero, ve ark., 2023; Revilla-León ve ark., 2024a). Mevcut çalışmada referans veri elde edilmesinde, ISO 12836 standardına uygun ve üretici verilerine göre 4 µm hassasiyet sunan bir masaüstü laboratuvar tarayıcısının kullanılması, referans geometrinin metrik doğruluğunun ve tekrarlanabilirliğinin daha kontrollü biçimde tanımlanmasına olanak sağlamıştır. Bu yaklaşım sayesinde, ağız içi tarayıcılardan elde edilen VIR'ların gerçeklik ve tekrarlanabilirlik değerleri, hataları minimize edilmiş bir referans veri ile karşılaştırılmış ve elde edilen sapmaların klinik ve metodolojik yorumlanabilirliği güçlendirilmiştir.

Ren ve ark. (2020), parsiyel dişsizliğin farklı klinik senaryolarında sanal interoklüzal kayıt doğruluğunu değerlendirdikleri çalışmalarında, alt ve üst çenelerde belirlenen referans noktaları arasındaki lineer mesafelerin karşılaştırılmasına dayalı bir analiz yöntemi kullanmışlardır. Ancak söz konusu çalışmada, ağız içi tarayıcılardan elde edilen maksilla ve mandibula taramalarının kendi içlerindeki geometrik distorsiyonlarına veya tarama verilerinin tekrarlanabilirliğine ilişkin herhangi bir değerlendirme sunulmamıştır. Buna karşılık Lee ve ark. (2021), sanal interoklüzal kayıt doğruluğunu değerlendirmenin yanı sıra, ağız içi tarayıcılarla elde edilen çene taramalarının kendi içlerindeki hassasiyet ve gerçekliklerini de inceleyerek tarama verisinin toplam ölçüm hatasına olan katkısını ortaya koymakla birlikte; her iki arkın yüksek hassasiyette taranmasının sanal interoklüzal kayıt hassasiyetini artıran temel faktörlerden biri olduğunu bildirmişlerdir. Mevcut çalışmada ise, çene taramalarına bağlı olası distorsiyonların ve dikişleme hatalarının sanal interoklüzal kayıt hassasiyetine olan etkisini minimize etmek amacıyla, her bir ağız içi tarayıcı için yalnızca bir adet maksilla ve bir adet mandibula taraması yapılmış; tekrar eden ölçümler yalnızca sanal interoklüzal kayıt verileri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım sayesinde, elde edilen sapma değerlerinin esas olarak sanal kapanış kaydının doğruluğunu yansıtması hedeflenmiştir (Edher ve ark., 2018).

Sanal interoklüzal kayıtların gerçeklik ve hassasiyetinin analiz edilmesine yönelik olarak literatürde, referans oklüzal ilişki ile sanal modeller arasındaki ilişkinin karşılaştırılmasını amaçlayan çeşitli yöntemler tanımlanmıştır. Bu yöntemlerden biri, ağız içinde veya fiziksel modeller üzerinde saptanan oklüzal temasların, tarama sonrasında sanal modellerin artikülasyonu ile elde edilen dijital temaslarla karşılaştırılmasına dayanmaktadır (Botsford ve ark., 2019; DeLong ve ark., 2002, 2007; Edher ve ark., 2018; Seo ve ark., 2019;

Solaberrieta E ve ark., 2016; Solaberrieta, Otegi, ve ark., 2015). Bu amaçla, artikülasyon kağıdı kullanılarak ya da silikon kayıtların transilluminasyonu ile elde edilen temas görüntüleri kaydedilmekte ve bu görüntüler, sanal modellerin artikülasyonundan sonra yazılım ortamında belirlenen oklüzal temaslarla üst üste getirilerek karşılaştırılmaktadır. Literatürde sanal interoklüzal kayıt doğruluğunun değerlendirilmesinde seçenekler arasında referans noktaları arasındaki lineer mesafelerin ölçümüne dayalı yöntemler de kullanılmaktadır (Iwaki ve ark., 2013; W. Lee ve ark., 2022; Mei ve ark., 2022a; S. Ren ve ark., 2020a; Revilla-León, Alonso Pérez-Barquero, ve ark., 2023; Revilla-León ve ark., 2024; Wong ve ark., 2018; Yu ve ark., 2024). Bu yaklaşım, belirli lokal bölgelerdeki sapmaları ortaya koyabilmekle birlikte, tüm ark boyunca oluşabilecek geometrik distorsiyonları ve yüzeysel uyumsuzlukları yeterince temsil edememektedir. Buna karşılık, yüzey tabanlı üç boyutlu karşılaştırma yöntemleri, referans ve test modellerinin tüm geometrisi üzerinden noktasal sapmaların hesaplanmasına olanak tanımakta ve bu sapmaların RMS değerleri ile nicel olarak ifade edilmesini sağlamaktadır. Bu yaklaşım, yalnızca lokal varyasyonların değil, aynı zamanda global deformasyonların da değerlendirilmesine imkân vererek dijital ölçüm doğruluğunun daha bütüncül biçimde analiz edilmesini mümkün kılmaktadır. RMS sapmasının en önemli avantajlarından biri, taranan yüzeyin tamamı boyunca oluşan ortalama sapmayı tek bir kantitatif değerle temsil etmesi ve böylece farklı tarayıcılar, tarama protokolleri veya klinik koşullar arasında doğrudan karşılaştırma yapılabilmesine olanak sağlamasıdır. Noktadan noktaya veya doğrusal ölçümlere dayalı yaklaşımların aksine RMS analizi, yalnızca belirli bölgeleri değil, tüm üç boyutlu model boyunca meydana gelen sapmaları dikkate almakta; bu özelliğiyle özellikle uzun açıklıklarda ve kompleks geometrilere intraoral tarayıcıların genel performansını daha doğru biçimde yansıtmaktadır. Taymour ve ark.(2025), ‘da belirttiği üzere son yıllarda dijital diş hekimliği alanında yayımlanan metodolojik kılavuzlar ve deneysel çalışmalarda, gerçeklik ve tekrarlanabilirlik değerlendirmelerine sıklıkla başvurulmaktadır. Mevcut çalışmada, sanal kapanış kayıtlarının doğruluğu ve hassasiyeti, noktasal lineer ölçümler yerine tüm yüzey geometrisi üzerinden gerçekleştirilen RMS tabanlı üç boyutlu karşılaştırmalar ile değerlendirilmiştir. Bu sayede, kapanış kayıtlarının yalnızca sınırlı referans noktalarında değil, tüm ark boyunca gösterdiği geometrik uyum nicel olarak ortaya konmuş ve elde edilen sonuçların klinik geçerliliği güçlendirilmiştir.

Edher F. ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada ağız içi tarayıcılardan elde ettikleri tarama verilerinin CEREC ve CloudCompare yazılımlarında birbirinden farklı düzeyde oklüzal temas gösterdiğini, CEREC yazılımının, CloudCompare yazılımına kıyasla daha yüksek duyarlılık

(sensitivity) ve negatif prediktif değere (NPV) sahip olduğu bildirmişlerdir; başka bir ifadeyle, intraoral tarayıcı yazılımı referans modeldeki temasların daha büyük bir kısmını doğru şekilde tanımlayabilmiştir. Bu bulgu, dijital analiz sürecinde kullanılan yazılım algoritmalarının ölçüm çıktıları üzerinde belirleyici rol oynayabileceğini ortaya koymaktadır. Solaberrieta ve ark. (2015), üç farklı yazılım kullanarak artiküle edilmiş alçı modellerde elde edilen oklüzal temasları, tarama yoluyla oluşturulan sanal modellerdeki oklüzal temaslarla karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda, aynı sanal modeller ve aynı interoklüzal kayıtlar kullanılmış olmasına rağmen, kullanılan yazılıma bağlı olarak oklüzal temas dağılımlarının anlamlı düzeyde değişkenlik gösterebildiği ortaya konmuştur.

Kuhr ve ark. (2016), best-fit hizalamanın, distorsiyona uğramış modelleri referans modele matematiksel olarak en uygun konuma getirerek mevcut geometrik hataları maskeleyebileceğini bildirmiştir. Bu nedenle hem çalışmamızın metodolojik bütünlüğünü korumak hem de best-fit hizalamanın potansiyel hata maskeleyme etkisini ortadan kaldırmak amacıyla, referans tarama verisinin maksilla taraması ile test gruplarına ait maksilla taramaları 3-point alignment yöntemi kullanılarak hizalanmıştır. Bu yaklaşım sayesinde yalnızca üst çeneler aynı uzamsal konuma getirilmiş; alt çenelerin referans modele göre gösterdiği sapma miktarı ölçülerek sanal interoklüzal kayıtların örnekler arasındaki farklılıklarının değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Aksi takdirde, birleşik (merge edilmiş) veriler üzerinde doğrudan best-fit hizalama yönteminin uygulanmasının, gerçek geometrik sapmaları kısmen dengeleyerek RMS değerlerinin yapay olarak daha düşük hesaplanmasına yol açabileceği öngörülmektedir.

Dijital ölçüm sistemlerinin değerlendirilmesine yönelik literatürde yayımlanan çalışmaların büyük bölümü, ölçüm doğruluğunu ISO 5725 standardına uygun şekilde accuracy kavramı çerçevesinde ele almakta (Amornvit ve ark., 2021; Edher ve ark., 2018; Patzelt ve ark., 2014, 2014; S. Ren ve ark., 2020, 2020; Schmidt ve ark., 2022; Zimmermann ve ark., 2018) ve bu kapsamda hem gerçeklik hem de tekrarlanabilirlik parametrelerini birlikte değerlendirmektedir. ISO 5725'ye göre ölçüm doğruluğu, yalnızca referans değere yakınlığı ifade eden gerçeklik ile sınırlı olmayıp, ölçümlerin tekrarlanabilirliğini tanımlayan precision bileşenini de içeren bütüncül bir kavram olarak tanımlanmaktadır. Bu standart, ölçüm yöntemlerinin performansının güvenilir biçimde yorumlanabilmesi için her iki parametrenin ayrı ayrı analiz edilmesini gerekli kılmaktadır. Bu doğrultuda mevcut çalışmada da ISO 5725 standardı ile uyumlu olarak sanal interoklüzal kayıtların değerlendirilmesinde gerçeklik ve

tekrarlanabilirlik parametreleri bağımsız değişkenler olarak ele alınmış ve dijital kapanış kayıtlarının ölçüm hassasiyeti bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir.

Her bir tarayıcı türü ve marka, interoklüzal kayıt alınması için kendine özgü bir teknik gerektirmektedir (Park ve ark., 2018). Oklüzyonda, genellikle maksimum interkuspidasyon (MIP) pozisyonunda dişlerin bukkal yüzeylerinin taranması, literatürde en yaygın tanımlanan ve doğruluğuna ilişkin en fazla verinin bulunduğu yöntemdir. Bazı in vitro çalışmalar, bu yöntemin iyi derecede tekrarlanabilirlik gösterdiğini ortaya koymuştur (Iwaki ve ark., 2013; Solaberrieta, Otegi, ve ark., 2015).

Iwaki ve ark., (2013) gerçekleştirdikleri in vitro çalışmada geleneksel interoklüzal kayıt yöntemleri ile dijital interoklüzal kayıt yöntemlerini karşılaştırmış; tek diş preparasyonu yapılan klinik senaryoda iki yöntem arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmazken, prepare edilen diş sayısının arttığı senaryolarda geleneksel yöntemin dijital yönteme kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha doğru sonuçlar gösterdiğini bildirmişlerdir. Mevcut çalışmada tek diş preparasyonunu temsil eden bir senaryo bulunmamakla birlikte, deneysel tasarım açısından Iwaki ve ark. (2013)'nin çoklu preparasyon senaryosuna daha yakın bir klinik tabloyu temsil etmektedir. Bununla birlikte, Iwaki ve ark. (2013)'nin çalışmasında geniş preparasyon alanlarında dijital tarama doğruluğunun azalması, mevcut çalışmanın bulgularından farklılık göstermektedir. Bu farklılığın, çalışmada kullanılan ağız içi tarayıcı teknolojisinin günümüz sistemlerine kıyasla daha erken jenerasyonlara ait olması, tarayıcı donanımı ve yazılım algoritmalarındaki teknolojik gelişmeler, ayrıca kullanılan ölçüm ve değerlendirme metodolojilerindeki farklılıklardan kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Özellikle son yıllarda görüntü işleme algoritmalarındaki iyileştirmeler, tarama çözünürlüğündeki artış ve hizalama yazılımlarının gelişmesi, geniş preparasyon alanlarında dahi dijital kayıtların doğruluğunu artırmış olabilir.

Diş eksikliklerinin bulunduğu durumlarda ise dijital modellerin oklüzal hizalanma süreci daha tartışmalı hale gelmektedir. Ren ve ark., (2020) çalışmalarında, farklı dişsizlik senaryolarının sanal interoklüzal kaydın doğruluğu ve tekrarlanabilirliği üzerindeki etkisini, üst ve alt çeneler arasında tanımlanan altı referans işaretinin lineer mesafelerinin karşılaştırılması yoluyla değerlendirmiştir. Çalışma bulgularına göre, yalnızca posterior bölgede tek diş eksikliğinin bulunduğu senaryoda sanal interoklüzal kayıt doğruluğu açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmazken; posterior ve anterior bölgelerde geniş dişsiz boşlukların varlığı, kayıt doğruluğunu belirgin biçimde olumsuz etkilemiştir. Bununla birlikte, anterior

bölgede dişsiz boşluk bulunması durumunda gerçeklik düzeyinde azalma gözlenmesine rağmen, sanal interoklüzal kayıtların tekrarlanabilirliğinin görece yüksek düzeyde korunduğu bildirilmiştir. Buna karşılık, dişsiz boşlukların unilateral veya bilateral posterior bölgelerde yer aldığı senaryolarda hem gerçeklik hem de tekrarlanabilirlik parametrelerinde belirgin düşüşler saptanmıştır. Ren ve ark.(2020)'nin çalışmasında yalnızca tek bir ağız içi tarayıcının kullanılmış olması ve ölçüm yaklaşımının referans noktaları arasındaki lineer mesafelerin değerlendirilmesine dayanması, bulguların genellenebilirliğini sınırlayan metodolojik unsurlar olarak değerlendirilebilir. Geniş dişsiz alanların bulunduğu bölgelerde, ağız içi tarayıcı kamerasının tek seferde kayıt alabilen görüş alanının sınırlı olması nedeniyle maksilla ve mandibuladan eş zamanlı yeterli veri elde edilememesi ve bu durumun alt-üst çene verilerinin dikişleme hassasiyetini olumsuz etkilemesi, uzun dişsiz boşluklarda sanal interoklüzal kayıt hassasiyetinin azalmasının olası nedenleri arasında yer aldığı düşünülmektedir. Buna karşılık, anterior bölgede dişsiz boşluk bulunması durumunda sanal interoklüzal kayıtların tekrarlanabilirliğinin korunması, kapanış kayıtlarının bilateral olarak posterior bölgelerden elde edilmesiyle ve dolayısıyla ağız içi tarayıcı algoritmalarının posterior bölgede karşılıklı temas eden maksiller ve mandibular diş yüzeylerini daha stabil biçimde eşleştirebilmesine bağlanmaktadır.

Iwauchi ve ark. (2020) tarafından gerçekleştirilen in vivo çalışmada, iki farklı ağız içi tarayıcı (True Definition ve TRIOS 3) ile elde edilen dijital interoklüzal kayıtların tekrarlanabilirliği, silikon ölçü materyali ve alçı modeller kullanılarak elde edilen konvansiyonel yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Çalışmada interoklüzal kayıtların tekrarlanabilirliği, STL verilerinin best-fit algoritması kullanılarak üst üste bindirilmesiyle hesaplanan ortalama yüzey sapmaları üzerinden değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, her iki ağız içi tarayıcının, konvansiyonel yöntemlere kıyasla anlamlı derecede daha yüksek hassasiyet sunduğu bildirilmiştir. Yazarlar, ISO 5725 standardına atıfla klinik ortamda gerçekliğin doğrudan ölçülememesi nedeniyle çalışmalarını için yalnızca tekrarlanabilirlik değerlendirmesinin mümkün olduğunu vurgulamışlardır. Mevcut çalışmamızda ise, literatürdeki bu klinik sınırlılıkların aksine hem gerçeklik hem de tekrarlanabilirlik parametreleri değerlendirilmiş; referans veri olarak ISO 12836 standardına uygun bir masaüstü laboratuvar tarayıcısı kullanılarak ölçümlerin metrik doğruluğu kontrol altına alınmıştır. Bu yönüyle mevcut çalışma, yalnızca ölçümlerin tekrarlanabilirliğini değil, aynı zamanda referans modele olan geometrik yakınlığı da bütüncül biçimde analiz ederek bu klinik çalışmadan metodolojik olarak ayrılmaktadır. Öte yandan, Iwauchi ve ark. (2020)'nin çalışmasında

interoklüzal kayıtların değerlendirilmesi best-fit hizalama yöntemiyle gerçekleştirilmiş ve üst-alt çene verileri birlikte hizalanmıştır. Mevcut çalışmada ise 3-point alignment yaklaşımı kullanılmış; yalnızca maksilla verileri sabitlenerek mandibulanın referans modele göre sapması ölçülmüş ve böylece sanal interoklüzal kayıt hatasının maskelenmesini engellenmeyi hedeflemiştir. Iwauchi ve ark. (2020)'nin çalışmasında ağız içi tarayıcılar arasında tekrarlanabilirlik açısından anlamlı fark bulunmamasına karşın, mevcut çalışmanın bulgularında tarayıcı tipinin tekrarlanabilirlik üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkisi olduğu ve T5 tarayıcısının diğer tarayıcılara kıyasla daha düşük hassasiyet sergilediği belirlenmiştir. Bu farklılığın, kullanılan tarayıcıların jenerasyonları, optik algılama teknolojileri, veri işleme algoritmaları ve görüntü birleştirme stratejilerindeki farklılıklardan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Iwauchi ve ark. (2020)'nin yalnızca iki tarayıcıyı değerlendirmiş olması ve tarayıcılar arası varyasyonu sınırlı tutması, bu açıdan doğrudan karşılaştırılabilirliği kısıtlamaktadır.

Wong ve ark. (2018), üç farklı ağız içi tarayıcının (TRIOS Color, True Definition ve CEREC Omnicam) sanal interoklüzal kayıt doğruluğunu, üst ve alt çeneye yerleştirilen referans küreleri ile implant analogları arasındaki üç boyutlu lineer mesafelerin ve eksenel sapmaların ölçümüne dayalı bir metodoloji kullanarak değerlendirmiştir. Çalışmada, interark distorsiyon ve interoklüzal distorsiyon parametreleri açısından tarayıcılar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunduğu bildirilmiş; özellikle TRIOS Color sisteminin daha düşük sapma değerleri sergilediği, True Definition tarayıcısının ise daha yüksek distorsiyon gösterdiği rapor edilmiştir. Ayrıca, bazı tarayıcılarda ölçülen negatif dikey sapmaların infraoklüzyon eğilimine yol açabileceği vurgulanmıştır. Bizim çalışmamızda ise, farklı ağız içi tarayıcılar arasında gerçeklik açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamış; buna karşın tekrarlanabilirlik açısından tarayıcı tipinin anlamlı etkisi olduğu ve TRIOS 5 tarayıcısının daha düşük tekrarlanabilirlik sergilediği belirlenmiştir. Wong ve ark. (2018)'nin çalışmasında tarayıcılar arasında belirgin doğruluk farklarının ortaya çıkması, kullanılan ölçüm yaklaşımının noktasal ve eksen temelli lineer sapmalara odaklanmasına bağlı olabileceği düşünülmektedir. Lineer ölçümler, belirli referans noktalarındaki lokal sapmaları hassas biçimde ortaya koyabilmekle birlikte, tüm yüzey boyunca oluşabilecek global deformasyonları yeterince temsil edememektedir. Buna karşılık mevcut çalışmada kullanılan yüzey tabanlı RMS analiz yöntemi, referans ve test modellerinin tüm geometrisi üzerinden ortalama sapmayı hesaplayarak dijital kapanış kayıtlarının genel uyumunu daha bütüncül biçimde değerlendirme olanağı sağlamıştır. Farklı ticari tarayıcı markalarının karşılaştırıldığı bir çalışmanın sonucunda, sistemler

arasındaki farklılıkların olası nedenlerinin; her bir sistemde kullanılan eşleştirme (matching) algoritmalarının etkisine, ardışık görüntü yakalamalarının kümülatif etkisine ve her sistemin kendine özgü görüntü sonrası işleme süreçlerine dayanabileceğini bildirilmiştir (Wong ve ark., 2018). Bununla birlikte, aynı tarayıcı markasına ait doğruluk verilerinin farklı çalışmalar arasında birbirinden ayrılan sonuçlar ortaya koyduğu bildirilmiştir (Park ve ark., 2018; Wong ve ark., 2018). Bu durumun, çalışmaların farklı metodolojik yaklaşımlar kullanılarak yürütülmesine bağlı olarak gelişmiş olabileceği ve sonuçların doğrudan karşılaştırılmasını güçleştirdiği düşünülmektedir.

Jeong ve ark. (2023), posterior bölgede tek üye restorasyon için quadrant ve tam ark dijital tarama tekniklerinin sanal interoklüzal kayıt doğruluğunu karşılaştırmış; yüzey tabanlı oklüzal mesafe ve mesiodistal/bukkolingual açısız sapma ölçütlerini kullanarak her iki yöntem arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığını bildirmiştir. Ayrıca farklı ağız içi tarayıcı sistemleri (i500, Primescan, TRIOS 3 ve TRIOS 4) arasında da genel doğruluk açısından anlamlı bir fark saptanmamıştır. Mevcut çalışmamızda da benzer şekilde, farklı kapanış kaydı stratejilerinin (Prep, Non Prep, Çift) gerçekliği üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin bulunmaması, Jeong ve ark.'nın quadrant ve tam ark yaklaşımlarının eşdeğer doğruluk sunduğunu gösteren bulgularıyla uyumludur. Bununla birlikte, Jeong ve ark. (2023)'nin çalışmasında analiz yalnızca tek bir prepare dışın oklüzal yüzeyine odaklanmış ve değerlendirme lokal bir alan üzerinden gerçekleştirilmiştir. Kullanılan tarayıcılar arasında anlamlı hassasiyet farkı saptanmamışken, bizim çalışmamızda tarayıcı tipinin tekrarlanabilirlik üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki göstermesi ve T5 cihazının daha düşük tekrarlanabilirlik sergilemesi, güncel IOS sistemlerinde dahi donanım mimarisi, görüntü işleme algoritmaları ve stitching stratejilerinin ölçüm hassasiyetini etkileyebileceğini düşündürmektedir (Jeong ve ark., 2023). Bu farklılık, tek diş odaklı lokal analizler ile tüm ark temelli global RMS analizleri arasındaki duyarlılık farkı ile de ilişkili olabilir.

Daha önce yapılmış bir çalışmada ağız içi tarayıcılarda kapanış kaydı tekrarlanabilirliğinin taranan alana bağlı olarak tarayıcı tipinden anlamlı düzeyde etkilendiği, başka bir ifadeyle bazı bölgelerde doğruluğu etkilerken bazı bölgelerde etkilemediği bildirilmiştir (Tian ve ark., 2024). Bu bulgular, mevcut çalışmanın sonuçlarıyla kısmen uyumludur. Mevcut çalışmada T5 tarayıcısının, diğer tarayıcılara kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha düşük tekrarlanabilirlik sergilediği belirlenmiştir. Her ne kadar her iki çalışmada karşılaştırılan tarayıcılar aynı üreticiye ait olsa da aralarında jenerasyon farkı

bulunmakta olup; buna karşın mevcut çalışmada da Tian ve ark.(2024)'nın sonuçlarına paralel olarak PS tarayıcısının daha yüksek tekrarlanabilirlik gösterdiği saptanmıştır.

İn vitro bir çalışmada, bilateral interoklüzal kayıt taraması ile tam ark interoklüzal kayıt taraması yöntemleri karşılaştırılmış ve bilateral taramanın sanal artikülasyon doğruluğu açısından tam ark taramaya kıyasla istatistiksel olarak anlamlı derecede daha düşük sapma değerleri sergilediği bildirilmiştir (J. D. Lee ve ark., 2023). Mevcut tez çalışmasında ise üç farklı kapanış kaydı stratejisi (Prep, Non-Prep ve Çift) karşılaştırılmış olmasına rağmen, tarama stratejisinin ve tarayıcı-tarama yöntemi etkileşiminin gerçeklik üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Bu bulgu, Lee ve ark.'nın çalışmasında rapor edilen tarama stratejileri arasındaki belirgin doğruluk farklarından ayrılmaktadır. Söz konusu farklılığın; çalışmalarda kullanılan tarama protokollerinin kapsamına (tam ark vs. sınırlı kapanış alanları), referans modellerdeki dişsizlik durumu ve preparasyon varlığına bağlı metodolojik farklılıklardan kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Mei ve ark. (2022) farklı interoklüzal kayıt alma stratejilerinin doğruluğunu değerlendirdikleri çalışmalarında, çeneleri üç ayrı bölgeye ( $\delta R$ ,  $\delta L$  ve  $\delta A$ ) ayırarak her bir tarama stratejisi için bu bölgelerde oluşan lineer sapmaları analiz etmişlerdir. Ayrıca, üç bölgenin tamamını birlikte temsil eden dördüncü bir grup ( $\delta D$ ) oluşturarak tüm arkı yansıtan lineer sapmaları da değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında, tüm ark sapmalarını temsil eden  $\delta D$  grubu dikkate alındığında, BP grubunun en düşük medyan sapma değerine sahip olduğu; ancak yalnızca CA1 ve CA2 grupları ile karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı farklılık gösterdiği bildirilmiştir. Diğer interoklüzal kayıt stratejileri arasında ise anlamlı bir fark saptanmamıştır (Mei ve ark., 2022). CA1 ve CA2 stratejilerinin, arkın tamamını kapsayan geniş tarama alanlarına dayanması nedeniyle görüntü birleştirme hatalarının ve buna bağlı olarak tilting etkisinin artmasının, bu gruplarda daha yüksek sapma değerlerinin gözlenmesine yol açtığı düşünülmektedir. Mevcut çalışmamızda ise Prep, Non-Prep ve Çift grupları arasında gerçeklik açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Bu yönüyle, Mei ve ark. (2022)'nin CA1 ve CA2 dışındaki interoklüzal kayıt stratejilerinde tüm ark sapması açısından anlamlı fark bulunmadığını bildiren sonuçları, mevcut çalışmanın bulguları ile uyum göstermektedir.

Klinisyenlerin, özellikle dişsiz bölgelerin varlığında, farklı IOS sistemlerinin interoklüzal kayıt elde etme yetenekleri arasında performans farklılıkları bulunduğunun farkında olmaları önemlidir. Literatürde, her bir IOS'un tarama hassasiyetinin farklı olduğu (J.-

H. Lee ve ark., 2019; F. G. Mangano ve ark., 2019), tarama verilerinin işlenmesinde kullanılan yazılım algoritmalarının değişkenlik gösterdiği (Ender ve ark., 2016) ve dişsizlik durumlarına bağlı olarak tarama doğruluğunun anlamlı biçimde değişebileceği bildirilmiştir (J.-H. Lee ve ark., 2019; Vecsei ve ark., 2017). Ayrıca bu farklılıkların VIR doğruluğuna da yansıtılabileceği vurgulanmaktadır (Edher ve ark., 2018; Gintaute ve ark., 2020; Iwaki ve ark., 2013).

Çoğu CAD/CAM sistemi, sanal mandibular modelin maksillaya göre doğru konumlandırılabilmesi için sanal oklüzal kayıtlara ihtiyaç duymaktadır. Bununla birlikte, mevcut tekniklerin ve sistemlerin doğruluğunu ve klinik uygulanabilirliğini değerlendiren çalışmaların sayısı halen sınırlıdır ve mevcut araştırmaların büyük bölümü in vitro niteliktedir (DeLong ve ark., 2002; Solaberrieta, Otegi, ve ark., 2015; Solaberrieta ve ark., 2016; Wong ve ark., 2018). Bu nedenle, bu prosedürün klinik geçerliliğini ortaya koyacak ek çalışmalara gereksinim bulunmaktadır.

Bununla birlikte, söz konusu çalışmaların büyük çoğunluğu alçı modeller ve endüstriyel tarayıcılar kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, bu tekniğin ağız içi ortamda değerlendirilmesine yönelik in vivo çalışmalar sınırlıdır (Iwaki ve ark., 2013; Solaberrieta, Otegi, ve ark., 2015). Bu yöntemin hassasiyetinin ve doğruluğunun daha sağlıklı biçimde değerlendirilebilmesi için, hasta hareketleri ve tükürük gibi kaydı etkileyebilecek değişkenlerin de dahil edildiği ağız içi tarayıcılarla yürütülecek ek klinik çalışmalara ihtiyaç vardır.



## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 6.1. Sonuç

Çalışmanın metodolojik olarak referans veri standardizasyonu, tarama distorsiyonunun izole edilmesi, yüzey tabanlı RMS analizi kullanımı ve referans temelli hizalama stratejisi gibi yaklaşımlar sayesinde, sanal interoklüzal kayıtların gerçekliği ve tekrarlanabilirliği bütüncül biçimde değerlendirilmiştir. Bu yaklaşım, elde edilen sonuçların metodolojik güvenilirliğini artırmıştır ve limitasyonlar dahilinde şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Değerlendirilen ağız içi tarayıcılar ve kapanış kaydı stratejileri, ve bunların etkileşimleri sanal interoklüzal kayıtların gerçekliği açısından istatistiksel olarak benzer performans sergilemiştir,
- IOS tipine bağlı olarak ölçüm tekrarlanabilirliğinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıkların ortaya çıkmıştır,
- Klinik uygulamalarda, özellikle yüksek tekrarlanabilirlik gerektiren vakalarda tarayıcı seçiminin dikkatle değerlendirilmesi önem taşımaktadır.
- Bu sonuçlar doğrultusunda kapanış kaydını preparasyonlu veya preparasyonsuz taraftan almak farketmeksizin, tek taraflı kapanış kaydı alınmasının klinik uygulamalar yönünden yeterli olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

### 6.2. Öneriler

Çalışmadan elde edilen bulgular ve araştırmanın sınırlılıkları dikkate alındığında; hem klinik uygulamalara rehberlik etmesi hem de gelecekteki araştırmalara yön vermesi amacıyla aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

- Çalışmanın in vitro tasarımı klinik ortamın dinamik koşullarını tam olarak yansıtamamaktadır. Tükürük varlığı, yumuşak doku hareketleri, hasta kooperasyonu ve intraoral erişim kısıtlılıkları gibi faktörlerin dijital tarama doğruluğu üzerindeki etkileri bu çalışma kapsamında değerlendirilmemiştir. Bu nedenle, elde edilen sonuçların klinik ortama doğrudan genellemesi dikkatle yapılmalıdır,
- Gelecekte, in vivo koşullarda gerçekleştirilecek ve farklı klinik senaryoları içeren çalışmalar ile sanal interoklüzal kayıtların klinik güvenilirliğinin daha kapsamlı biçimde ortaya konulması gerekmektedir.



## 7. KAYNAKLAR

- 3Shape A/S. (2023). *TRIOS Brochure: Digital dentistry solutions [Product brochure]*.
- 3Shape TRIOS User Manual. (2024). [www.3shape.com](http://www.3shape.com)
- Abou-Ayash, S., Mathey, A., Gäumann, F., Mathey, A., Donmez, M. B., et al. (2022). In vitro scan accuracy and time efficiency in various implant-supported fixed partial denture situations. *Journal of Dentistry*, *127*, 104358. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104358>
- Akl, M. A., Mansour, D. E., & Zheng, F. (2023). The Role of Intraoral Scanners in the Shade Matching Process: A Systematic Review. *Journal of Prosthodontics*, *32*(3), 196-203. <https://doi.org/10.1111/jopr.13576>
- Alhazzawi, T. F. (2016). Advancements in CAD/CAM technology: Options for practical implementation. *Journal of Prosthodontic Research*, *60*(2), 72-84. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2016.01.003>
- Al-Hassiny, A., Végh, D., Bányai, D., Végh, Á., Gécz, Z., et al. (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>
- 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>
- Almeida e Silva, J. S., Erdelt, K., Edelhoff, D., Araújo, É., Stimmelmayer, M., et al. (2014). Marginal and internal fit of four-unit zirconia fixed dental prostheses based on digital and conventional impression techniques. *Clinical Oral Investigations*, *18*(2), 515-523. <https://doi.org/10.1007/s00784-013-0987-2>
- 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>
- Andreescu, C. F. (2015). Assessment of impression techniques for crowns and bridges. *Annals of Prosthodontics and Restorative Dentistry*, *1*(1), 5-8.
- Aranda Yus, E., Cantarell, J. M. A., & Miñarro Alonso, A. (2018). Comparison of the marginal fit of milled yttrium stabilized zirconium dioxide crowns obtained by scanning silicone impressions and by scanning stone replicas. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, *10*(3), 236. <https://doi.org/10.4047/jap.2018.10.3.236>
- Arslan, Y., Bankoğlu Güngör, M., Karakoca Nemli, S., Kökdoğan Boyacı, B., & Aydın, C. (2017). Comparison of Maximum Intercuspal Contacts of Articulated Casts and Virtual Casts Requiring Posterior Fixed Partial Dentures. *Journal of Prosthodontics*, *26*(7), 594-598. <https://doi.org/10.1111/jopr.12439>
- Bader, J. D., Rozier, R. G., McFall, W. T., & Ramsey, D. L. (1991). Effect of crown margins on periodontal conditions in regularly attending patients. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, *65*(1), 75-79. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(91\)90053-Y](https://doi.org/10.1016/0022-3913(91)90053-Y)
- Bandiaky, O. N., Le Bars, P., Gaudin, A., Hardouin, J. B., Cheraud-Carpentier, M., et al. (2022). Comparative assessment of complete-coverage, fixed tooth-supported prostheses fabricated from digital scans or conventional impressions: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, *127*(1), 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.09.017>
- Banjar, A., Chen, Y., Kostagianni, A., Finkelman, M., Papathanasiou, A. et al. (2021). Accuracy of 3D Printed Implant Casts Versus Stone Casts: A Comparative Study in the Anterior Maxilla. *Journal of Prosthodontics*, *30*(9), 783-788. <https://doi.org/10.1111/jopr.13335>
- Beier, U. S., Grunert, I., Kulmer, S., & Dumfahrt, H. (2007). Quality of impressions using hydrophilic polyvinyl siloxane in a clinical study of 249 patients. *The International journal of prosthodontics*, *20*(3), 270-274.
- Beuer, F., Naumann, M., Gernet, W., & Sorensen, J. A. (2009). Precision of fit: zirconia three-unit fixed dental prostheses. *Clinical Oral Investigations*, *13*(3), 343-349. <https://doi.org/10.1007/s00784-008-0224-6>
- Bhayana, G., Atreja, S. H., Atreja, G., Juneja, A., & Kumar, A. (2015). *Virtual Articulators In Prosthodontics-A Future Oriented Technology*.
- Bosniac, P., Rehmann, P., & Wöstmann, B. (2019). Comparison of an indirect impression scanning system and two direct intraoral scanning systems in vivo. *Clinical Oral Investigations*, *23*(5), 2421-2427. <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2679-4>
- Botsford, K. P., Frazier, M. C., Ghoneima, A. A. M., Utreja, A., Bhamidipalli, S. S., et al. (2019). Precision of the virtual occlusal record. *The Angle Orthodontist*, *89*(5), 751-757. <https://doi.org/10.2319/092018-684.1>

- Cappare, P., Sannino, G., Minoli, M., Montemezzi, P., & Ferrini, F. (2019). Conventional versus Digital Impressions for Full Arch Screw-Retained Maxillary Rehabilitations: A Randomized Clinical Trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(5), 829. <https://doi.org/10.3390/ijerph16050829>
- Cardoso-Silva, L., Vicioni-Marques, F., de Paula-Silva, F. W. G., de Freitas, B. N., Nelson-Filho, P., et al. (2023). Comparison between intraoral scanning and direct visual analysis for the assessment of developmental defects of enamel. *Journal of Dentistry*, 137, 104677. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104677>
- Celenza, F. V. (1979). An analysis of articulators. *Dental clinics of North America*, 23(2), 305-326.
- Chandran, S. K., Jaini, J., Babu, A. S., Mathew, A., & Keepanasseril, A. (2019). Digital Versus Conventional Impressions in Dentistry: A Systematic Review. *Journal Of Clinical And Diagnostic Research*. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2019/38494.12756>
- Chochlidakis, K. M., Papaspyridakos, P., Geminiani, A., Chen, C.-J., Feng, I. J., et al (2016). Digital versus conventional impressions for fixed prosthodontics: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 116(2), 184-190.e12. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.12.017>
- Christensen, G. J. (2003). Have fixed-prosthodontic impressions become easier? *The Journal of the American Dental Association*, 134(8), 1121-1123. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2003.0330>
- Christensen, G. J. (2009). Impressions Are Changing. *The Journal of the American Dental Association*, 140(10), 1301-1304. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2009.0054>
- Christopoulou, I., Kaklamanos, E. G., Makrygiannakis, M. A., Bitsanis, I., Perlea, P., et al. (2022). Intraoral Scanners in Orthodontics: A Critical Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1407. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031407>
- Craig, R. G. ., Powers, J. M. ., & Wataha, J. C. . (2000). *Dental materials : properties and manipulation*. Mosby.
- 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>
- D., K. P., Prasad, B. R., D., A. P., & Mehra, D. (2012). Interocclusal Records In Prosthodontic Rehabilitations - Materials And Techniques - A Literature Review. *Journal of Health and Allied Sciences NU*, 02(03), 54-60. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1703593>
- D'Ambrosio, F., Giordano, F., Sangiovanni, G., Di Palo, M. P., & Amato, M. (2023). Conventional versus Digital Dental Impression Techniques: What Is the Future? An Umbrella Review. *Prosthesis*, 5(3), 851-875. <https://doi.org/10.3390/prosthesis5030060>
- Davies, S., Al-Ani, Z., Jeremiah, H., Winston, D., & Smith, P. (2005). Reliability of recording static and dynamic occlusal contact marks using transparent acetate sheet. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 94(5), 458-461. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2005.08.020>
- DeLong, R., Knorr, S., Anderson, G. C., Hodges, J., & Pintado, M. R. (2007). Accuracy of contacts calculated from 3D images of occlusal surfaces. *Journal of Dentistry*, 35(6), 528-534. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2007.02.004>
- DeLong, R., Ko, C.-C., Anderson, G. C., Hodges, J. S., & Douglas, W. H. (2002). Comparing maximum intercuspal contacts of virtual dental patients and mounted dental casts. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 88(6), 622-630. <https://doi.org/10.1067/mpr.2002.129379>
- Doi, K., Yoshiga, C., Kobatake, R., Kawagoe, M., Wakamatsu, K., et al. (2021). Use of an intraoral scanner to evaluate oral health. *Journal of Oral Science*, 63(3), 292-294. <https://doi.org/10.2334/josnusd.21-0048>
- Edher, F., Hannam, A. G., Tobias, D. L., & Wyatt, C. C. L. (2018). The accuracy of virtual interocclusal registration during intraoral scanning. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 120(6), 904-912. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.01.024>
- Eggmann, F., & Blatz, M. B. (2024). Recent Advances in Intraoral Scanners. *Journal of Dental Research*, 103(13), 1349-1357. <https://doi.org/10.1177/00220345241271937>
- 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>

- Eser, E., & Ağuloğlu, S. (2023). Evaluation of Precision and Reliability of Different Bite Registration Materials Using Conventional and Digital Articulator Systems. *Meandros Medical and Dental Journal*, 24(4), 280-285. <https://doi.org/10.4274/meandros.galenos.2022.79836>
- Farias-Neto, A., Dias, A. H. M., de Miranda, B. F. S., & de Oliveira, A. R. (2013). Face-bow transfer in prosthodontics: a systematic review of the literature. *Journal of Oral Rehabilitation*, 40(9), 686-692. <https://doi.org/10.1111/joor.12081>
- Ferracane, J. L., & Giannobile, W. V. (2014). Novel Biomaterials and Technologies for the Dental, Oral, and Craniofacial Structures. *Journal of Dental Research*, 93(12), 1185-1186. <https://doi.org/10.1177/0022034514556537>
- Flügge, T. V., Schlager, S., Nelson, K., Nahles, S., & Metzger, M. C. (2013). Precision of intraoral digital dental impressions with iTero and extraoral digitization with the iTero and a model scanner. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 144(3), 471-478. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2013.04.017>
- Galhano, G. Á. P., Pellizzer, E. P., & Mazaro, J. V. Q. (2012). Optical Impression Systems for CAD-CAM Restorations. *Journal of Craniofacial Surgery*, 23(6), e575-e579. <https://doi.org/10.1097/SCS.0b013e31826b8043>
- García, V. D.-F., Freire, Y., Fernández, S. D., Murillo, B. T., & Sánchez, M. G. (2022). Application of the Intraoral Scanner in the Diagnosis of Dental Wear: An In Vivo Study of Tooth Wear Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(8), 4481. <https://doi.org/10.3390/ijerph19084481>
- Gärtner, C., & Kordass, B. (2003). The virtual articulator: development and evaluation. *International journal of computerized dentistry*, 6(1), 11-24.
- Giglio, G., Giglio, A., & Tarnow, D. (2024). A Paradigm Shift Using Scan Bodies to Record the Position of a Complete Arch of Implants in a Digital Workflow. *International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, 44(1), 115-126. <https://doi.org/10.11607/prd.6733>
- Giménez, B., Özcan, M., Martínez-Rus, F., & Pradies, G. (2015). Accuracy of a Digital Impression System Based on Active Wavefront Sampling Technology for Implants Considering Operator Experience, Implant Angulation, and Depth. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 17(S1). <https://doi.org/10.1111/cid.12124>
- Gintaute, A., Keeling, A. J., Osnes, C. A., Zitzmann, N. U., Ferrari, M., et al. (2020). Precision of maxillo-mandibular registration with intraoral scanners in vitro. *Journal of Prosthodontic Research*, 64(2), 114-119. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2019.05.006>
- Gómez-Polo, M., Barmak, A. B., Ortega, R., Rutkunas, V., Kois, J. C., et al. (2023). Accuracy, scanning time, and patient satisfaction of stereophotogrammetry systems for acquiring 3D dental implant positions: A systematic review. *Journal of Prosthodontics*, 32(S2), 208-224. <https://doi.org/10.1111/jopr.13751>
- Gugwad R.S, Basavakumar M, Abhijeet K, Arvind M, Sudhindra M, et al. (2011). Virtual Articulators in prosthodontics . *International Journal Of Dental Clinics* , 3(4), 39-41.
- Güth, J.-F., Runkel, C., Beuer, F., Stimmelmayer, M., Edelhoff, D., et al. (2017). Accuracy of five intraoral scanners compared to indirect digitalization. *Clinical Oral Investigations*, 21(5), 1445-1455. <https://doi.org/10.1007/s00784-016-1902-4>
- Hansson, S., & Halldin, A. (2012). Alveolar ridge resorption after tooth extraction: A consequence of a fundamental principle of bone physiology. *Journal of Dental Biomechanics*, 3(0). <https://doi.org/10.1177/1758736012456543>
- Heintze, S. D., Zellweger, G., Sbicigo, S., Rousson, V., Muñoz-Viveros, C., et al. (2013). Wear of two denture teeth materials in vivo—2-year results. *Dental Materials*, 29(9), e191-e204. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2013.04.012>
- International Organization for Standardization. (2023). *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results - Part 1: General principles and definitions*.
- Iwaki, Y., Wakabayashi, N., & Igarashi, Y. (2013). Dimensional Accuracy of Optical Bite Registration in Single and Multiple Unit Restorations. *Operative Dentistry*, 38(3), 309-315. <https://doi.org/10.2341/12-233-L>
- Iwauchi, Y., Tanaka, S., Kamimura-Sugimura, E., & Baba, K. (2022). Clinical evaluation of the precision of interocclusal registration by using digital and conventional techniques. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 128(4), 611-617. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.01.021>

- Jahn, K. R., Baum, W., & Zuhrt, R. (1985). [Secondary caries frequency under complete crowns in relation to the material and design of the crown as well as the crown margin finish]. *Stomatologie der DDR*, 35(11), 665-670.
- Jeon, J.-H., Jung, I.-D., Kim, J.-H., Kim, H.-Y., & Kim, W.-C. (2015). Three-dimensional evaluation of the repeatability of scans of stone models and impressions using a blue LED scanner. *Dental Materials Journal*, 34(5), 686-691. <https://doi.org/10.4012/dmj.2014-347>
- Jeong, Y., Kim, Y.-K., Shim, J.-S., & Lee, H. (2023). 3D analysis of occlusal registration through geometry embedded library matching between quadrant and full-arch digital impression. *Clinical Oral Investigations*, 27(7), 3771-3778. <https://doi.org/10.1007/s00784-023-04993-5>
- Joda, T., Gintaute, A., Brägger, U., Ferrari, M., Weber, K., & et al. (2021). Time-efficiency and cost-analysis comparing three digital workflows for treatment with monolithic zirconia implant fixed dental prostheses: A double-blinded RCT. *Journal of Dentistry*, 113, 103779. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103779>
- Joda, T., Katsoulis, J., & Brägger, U. (2016). Clinical Fitting and Adjustment Time for Implant-Supported Crowns Comparing Digital and Conventional Workflows. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 18(5), 946-954. <https://doi.org/10.1111/cid.12377>
- Joda, T., Lenherr, P., Dedem, P., Kovaltschuk, I., Bragger, U., et al. (2017). Time efficiency, difficulty, and operator's preference comparing digital and conventional implant impressions: a randomized controlled trial. *Clinical Oral Implants Research*, 28(10), 1318-1323. <https://doi.org/10.1111/clr.12982>
- Johnson, G. H., & Craig, R. G. (1986). Accuracy of addition silicones as a function of technique. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 55(2), 197-203. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(86\)90342-2](https://doi.org/10.1016/0022-3913(86)90342-2)
- Jung, K., Giese-Kraft, K., Fischer, M., Schulze, K., Schlueter, N., et al. (2022). Visualization of dental plaque with a 3D-intraoral-scanner—A tool for whole mouth planimetry. *PLOS ONE*, 17(10), e0276686. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276686>
- Keul, C., Stawarczyk, B., Erdelt, K.-J., Beuer, F., Edelhoff, D., et al. (2014). Fit of 4-unit FDPs made of zirconia and CoCr-alloy after chairside and labside digitalization – A laboratory study. *Dental Materials*, 30(4), 400-407. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2014.01.006>
- Koralakunte, P. R. (2014). The Role of Virtual Articulator in Prosthetic and Restorative Dentistry. *JOURNAL OF CLINICAL AND DIAGNOSTIC RESEARCH*. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2014/8929.4648>
- Kuhr, F., Schmidt, A., Rehmann, P., & Wöstmann, B. (2016). A new method for assessing the accuracy of full arch impressions in patients. *Journal of Dentistry*, 55, 68-74. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2016.10.002>
- Kumar, H., Kumar, T., Hemchand, S., Suneelkumar, C., & Subha, A. (2020). Accuracy of marginal adaptation of posterior fixed dental prosthesis made from digital impression technique: A systematic review. *The Journal of Indian Prosthodontic Society*, 20(2), 123. [https://doi.org/10.4103/jips.jips\\_382\\_19](https://doi.org/10.4103/jips.jips_382_19)
- Kühlman, D. C., Almuzian, M., Coppini, C., & Alzoubi, E. E. (2023). Accuracy (trueness and precision) of four tablet-based applications for three-dimensional facial scanning: An in-vitro study. *Journal of Dentistry*, 135, 104533. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104533>
- L. Mitchell, D., & D. Wilkie, N. (1978). Articulators through the years. Part I. Up to 1940. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 39(3), 330-338. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(78\)80106-1](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(78)80106-1)
- Lee, J. D., Luu, D., Yoon, T. W., & Lee, S. J. (2023). Accuracy comparison of bilateral versus complete arch interocclusal registration scans for virtual articulation. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.01.028>
- Lee, J.-H., Yun, J.-H., Han, J.-S., Yeo, I.-S. L., & Yoon, H.-I. (2019). Repeatability of Intraoral Scanners for Complete Arch Scan of Partially Edentulous Dentitions: An In Vitro Study. *Journal of Clinical Medicine*, 8(8), 1187. <https://doi.org/10.3390/jcm8081187>
- Lee, S. J., & Gallucci, G. O. (2013). Digital vs. conventional implant impressions: efficiency outcomes. *Clinical Oral Implants Research*, 24(1), 111-115. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2012.02430.x>
- Lee, W., Kwon, H. B., Kim, M. J., & Lim, Y. J. (2022). Determination of the reliability and repeatability of a quantitative occlusal analyzer by using a piezoelectric film sensor: An in vitro study. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 127(2), 331-337. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.07.024>

- Lee, W.-S., Kim, W.-C., Kim, H.-Y., Kim, W.-T., & Kim, J.-H. (2014). Evaluation of different approaches for using a laser scanner in digitization of dental impressions. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, 6(1), 22. <https://doi.org/10.4047/jap.2014.6.1.22>
- Lee, Y.-C., Kim, J.-E., Nam, N.-E., Shin, S.-H., Lim, J.-H., et al. (2021). Influence of Edentulous Conditions on Intraoral Scanning Accuracy of Virtual Interocclusal Record in Quadrant Scan. *Applied Sciences*, 11(4), 1489. <https://doi.org/10.3390/app11041489>
- Lepidi, L., Galli, M., Mastrangelo, F., Venezia, P., Joda, T., et al. (2021). Virtual Articulators and Virtual Mounting Procedures: Where Do We Stand? *Journal of Prosthodontics*, 30(1), 24-35. <https://doi.org/10.1111/jopr.13240>
- Limones, A., Molinero-Mourelle, P., Çakmak, G., Abou-Ayash, S., Delgado, S., et al. (2024). Impact of the superimposition methods and the designated comparison area on accuracy analyses in dentate models. *Journal of Dentistry*, 145, 104939. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.104939>
- Lin, W.-S., Harris, B. T., Zandinejad, A., & Morton, D. (2014). Use of digital data acquisition and CAD/CAM technology for the fabrication of a fixed complete dental prosthesis on dental implants. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 111(1), 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2013.04.010>
- 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>
- Luthra, R. P., Gupta, R., Kumar, N., Mehta, S., & Sirohi, R. (2015). Virtual articulators in prosthetic dentistry: a review. *Journal of Advanced Medical and Dental Sciences Research*, 3(4), 117.
- 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>
- Mangano, A., Beretta, M., Luongo, G., Mangano, C., & Mangano, F. (2018). Conventional Vs Digital Impressions: Acceptability, Treatment Comfort and Stress Among Young Orthodontic Patients. *The Open Dentistry Journal*, 12(1), 118-124. <https://doi.org/10.2174/1874210601812010118>
- Mangano, F. G., Hauschild, U., Veronesi, G., Imburgia, M., Mangano, C., et al. (2019). Trueness and precision of 5 intraoral scanners in the impressions of single and multiple implants: a comparative in vitro study. *BMC Oral Health*, 19(1), 101. <https://doi.org/10.1186/s12903-019-0792-7>
- Mangano, F., Gandolfi, A., Luongo, G., & Logozzo, S. (2017). Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. *BMC Oral Health*, 17(1), 149. <https://doi.org/10.1186/s12903-017-0442-x>
- Medit i700 User Manual*. (2021).
- Mehl, A., Gloger, W., Kunzelmann, K.-H., & Hickel, R. (1997). A New Optical 3-D Device for the Detection of Wear. *Journal of Dental Research*, 76(11), 1799-1807. <https://doi.org/10.1177/00220345970760111201>
- Mehl, A., Reich, S., Beuer, F., & Güth, J.-F. (2021). Accuracy, trueness, and precision - a guideline for the evaluation of these basic values in digital dentistry. *International journal of computerized dentistry*, 24(4), 341-352.
- Mei, J., Ma, L., Chao, J., Liu, F., & Shen, J. (2022). Three-dimensional analysis of the outcome of different scanning strategies in virtual interocclusal registration. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, 14(6), 369. <https://doi.org/10.4047/jap.2022.14.6.369>
- Menini, M., Setti, P., Pera, F., Pera, P., & Pesce, P. (2018). Accuracy of multi-unit implant impression: traditional techniques versus a digital procedure. *Clinical Oral Investigations*, 22(3), 1253-1262. <https://doi.org/10.1007/s00784-017-2217-9>
- Michelinakis, G., Apostolakis, D., Kamposiora, P., Papavasiliou, G., & Özcan, M. (2021). The direct digital workflow in fixed implant prosthodontics: a narrative review. *BMC Oral Health*, 21(1), 37. <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01398-2>
- Mikolicz, A., Simon, B., Gáspár, O., Shahbazi, A., & Vag, J. (2023). Reproducibility of the digital palate in forensic investigations: a two-year retrospective cohort study on twins. *Journal of Dentistry*, 135, 104562. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104562>

- Mitrirattanakul, S., Neoh, S. P., Chalarnchaichaloenkit, J., Limthanabodi, C., Trerayapiwat, C., et al. (2023). Accuracy of the Intraoral Scanner for Detection of Tooth Wear. *International Dental Journal*, 73(1), 56-62. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2022.06.004>
- Morsy, N., & El Kateb, M. (2022). In vivo precision of digital static interocclusal registration for full arch and quadrant arch scans: a randomized controlled clinical trial. *BMC Oral Health*, 22(1), 559. <https://doi.org/10.1186/s12903-022-02612-5>
- Nadjmi, N., Mollemans, W., Daelemans, A., Van Hemelen, G., Schutyser, F., et al. (2010). Virtual occlusion in planning orthognathic surgical procedures. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 39(5), 457-462. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2010.02.002>
- Okeson JP. (2014). *Management of temporomandibular disorders and occlusion-E-book*. Elsevier Health Sciences.
- Özdemir, G., Albayrak, B., Yüzbaşıoğlu, E., & Ölçer Us, Y. (2021). Virtual Articulators, Virtual Occlusal Records and Virtual Patients in Dentistry. *Journal of Experimental and Clinical Medicine*, 38(SI-2), 129-135. <https://doi.org/10.52142/omujecm.38.si.dent.9>
- Pagnano, V. de O., Bezzon, O. L., Mattos, M. da G. C. de, Ribeiro, R. F., & Turbino, M. L. (2005). Clinical evaluation of interocclusal recording materials in bilateral free end cases. *Brazilian Dental Journal*, 16(2), 140-144. <https://doi.org/10.1590/S0103-64402005000200010>
- Palik, J. F., Nelson, D. R., & White, J. T. (1985). Accuracy of an earpiece face-bow. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 53(6), 800-804. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(85\)90160-X](https://doi.org/10.1016/0022-3913(85)90160-X)
- Park, J.-M., Jeon, J., & Heo, S.-J. (2018). Accuracy comparison of buccal bite scans by five intra-oral scanners. *Journal of Dental Rehabilitation and Applied Science*, 34(1), 17-31. <https://doi.org/10.14368/jdras.2018.34.1.17>
- Patzelt, S. B. M., Emmanouilidi, A., Stampf, S., Strub, J. R., & Att, W. (2014). Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners. *Clinical Oral Investigations*, 18(6), 1687-1694. <https://doi.org/10.1007/s00784-013-1132-y>
- Piedra-Cascón, W., Burgos-Artizzu, X. P., González-Martin, Ó., Oteo-Morilla, C., Pose-Rodriguez, J. M., et al. (2025). Evaluation of the accuracy (trueness, precision) and processing time of different 3-dimensional CAD software programs and algorithms for virtual cast alignment. *Journal of Dentistry*, 155, 105619. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2025.105619>
- Pradies, G., Ferreiroa, A., Özcan, M., Giménez, B., & Martínez-Rus, F. (2014). Using stereophotogrammetric technology for obtaining intraoral digital impressions of implants. *The Journal of the American Dental Association*, 145(4), 338-344. <https://doi.org/10.14219/jada.2013.45>
- Preston, J. D. (1979). A reassessment of the mandibular transverse horizontal axis theory. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 41(6), 605-613. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(79\)90054-4](https://doi.org/10.1016/0022-3913(79)90054-4)
- Primescan User Manual*. (2024).
- Rasaie, V., Abduo, J., & Hashemi, S. (2021). Accuracy of Intraoral Scanners for Recording the Denture Bearing Areas: A Systematic Review. *Journal of Prosthodontics*, 30(6), 520-539. <https://doi.org/10.1111/jopr.13345>
- Ren, S., Morton, D., & Lin, W.-S. (2020). Accuracy of virtual interocclusal records for partially edentulous patients. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 123(6), 860-865. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.08.013>
- Ren, X., Son, K., & Lee, K.-B. (2021). Accuracy of Proximal and Occlusal Contacts of Single Implant Crowns Fabricated Using Different Digital Scan Methods: An In Vitro Study. *Materials*, 14(11), 2843. <https://doi.org/10.3390/ma14112843>
- Renne, W., Ludlow, M., Fryml, J., Schurch, Z., Mennito, A., et al. (2017). Evaluation of the accuracy of 7 digital scanners: An in vitro analysis based on 3-dimensional comparisons. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 118(1), 36-42. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.09.024>
- Revilla-León, M., Alonso Pérez-Barquero, J., Zubizarreta-Macho, Á., Barmak, A. B., Att, W., et al. (2023). Influence of the Number of Teeth and Location of the Virtual Occlusal Record on the Accuracy of the Maxillo-Mandibular Relationship Obtained by Using An Intraoral Scanner. *Journal of Prosthodontics*, 32(3), 253-258. <https://doi.org/10.1111/jopr.13526>
- Revilla-Leon, M., Frazier, K., da Costa, J. B., Kumar, P., Duong, M.-L., et al. (2021). Intraoral scanners. *The Journal of the American Dental Association*, 152(8), 669-670.e2. <https://doi.org/10.1016/j.adaj.2021.05.018>

- Revilla-León, M., Gohil, A., Barmak, A. B., Zandinejad, A., Raigrodski, A. J., et al. (2023). Best-Fit Algorithm Influences on Virtual Casts' Alignment Discrepancies. *Journal of Prosthodontics*, 32(4), 331-339. <https://doi.org/10.1111/jopr.13537>
- Revilla-León, M., Gómez-Polo, M., Zeitler, J. M., Barmak, A. B., Kois, J. C., et al. (2024). Does the available interocclusal space influence the accuracy of the maxillomandibular relationship captured with an intraoral scanner? *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 132(2), 435-440. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.09.004>
- Revilla-León, M., Jiang, P., Sadeghpour, M., Piedra-Cascón, W., Zandinejad, A., et al. (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>
- Richert, R., Goujat, A., Venet, L., Viguie, G., Viennot, S., et al. (2017). Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression. *Journal of Healthcare Engineering*, 2017, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2017/8427595>
- Ries, J. M., Grünler, C., Wichmann, M., & Matta, R.-E. (2022). Three-dimensional analysis of the accuracy of conventional and completely digital interocclusal registration methods. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 128(5), 994-1000. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.03.005>
- Róth, I., Hermann, P., Vitai, V., Joós-Kovács, G. L., Gécz, Z., & Borbély, J. (2023). Comparison of the learning curve of intraoral scanning with two different intraoral scanners based on scanning time. *BMC Oral Health*, 23(1), 267. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-02963-7>
- Safrany-Fark, A., Laczi, B., Nagy, A., Lengyel, L., Piffko, J., et al. (2023). A novel approach for determining instantaneous centers of rotation of the mandible with an intraoral scanner: A preliminary study. *PLOS ONE*, 18(5), e0285162. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0285162>
- Samet, N., Smidt, A., Samet, N., & Weiss, E. I. (2002). A clinical and cost-benefit evaluation of five facebows. *Quintessence international (Berlin, Germany : 1985)*, 33(7), 511-515.
- Sampaio-Fernandes, M. A. F., Pinto, R., Sampaio-Fernandes, M. M., Carlos, J., Marques, D., & Figueiral, M. H. (2024). Accuracy of Silicone Impressions and Stone Models Using Two Laboratory Scanners: A 3D Evaluation. *The International Journal of Prosthodontics*, 37(1), e10-e24. <https://doi.org/10.11607/ijp.8074>
- Sampaio-Fernandes, M. A., Pinto, R. J., Almeida, P. R., Sampaio-Fernandes, M. M., Silva Marques, D. N., et al. (2024). Direct vs. Indirect Digital Implant Impressions: A Time and Cost Analysis. *Dentistry Journal*, 12(11), 340. <https://doi.org/10.3390/dj12110340>
- 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>
- Schlenz, M. A., Schupp, B., Schmidt, A., Wöstmann, B., Baresel, I., et al. (2022). New Caries Diagnostic Tools in Intraoral Scanners: A Comparative In Vitro Study to Established Methods in Permanent and Primary Teeth. *Sensors*, 22(6), 2156. <https://doi.org/10.3390/s22062156>
- Schmidt, A., Wöstmann, B., & Schlenz, M. A. (2022). Accuracy of digital implant impressions in clinical studies: A systematic review. *Clinical Oral Implants Research*, 33(6), 573-585. <https://doi.org/10.1111/clr.13951>
- Seo, J.-M., Oh, W., & Lee, J.-J. (2019). A technique for verifying the accuracy of the virtual mounting of digital scans against the actual occlusal contacts. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 121(5), 729-732. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.08.003>
- Sezer, T. (2024). Kısmi Ark Dijital İmplant Ölçülerinde 2 Farklı Ağız İçi Tarayıcının Doğruluğu: Karşılaştırmalı Bir İn Vitro Çalışma. *Selcuk Dental Journal*, 11(2), 137-141. <https://doi.org/10.15311/selcukdentj.1337627>
- Simon, B., Aschheim, K., & Vág, J. (2022). The discriminative potential of palatal geometric analysis for sex discrimination and human identification. *Journal of Forensic Sciences*, 67(6), 2334-2342. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.15110>
- Skramstad, M. J. (2019). Welcome to Cerec Primescan AC. *International journal of computerized dentistry*, 22(1), 69-78.
- Solaberrieta E, Arias A, Brizuela A, Garikano X, & Pradies G. (2016). Determining the requirements, section quantity, and dimension of the virtual occlusal record. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 115(1), 52-56.

- Solaberrieta, E., Etxaniz, O., Minguez, R., Muniozguren, J., & Arias, A. (t.y.). *Design of a virtual articulator for the simulation and analysis of mandibular movements in dental CAD/CAM.*
- Solaberrieta, E., Garmendia, A., Brizuela, A., Otegi, J. R., Pradies, G., et al. (2016). Intraoral Digital Impressions for Virtual Occlusal Records: Section Quantity and Dimensions. *BioMed Research International*, 2016, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2016/7173824>
- Solaberrieta, E., Garmendia, A., Minguez, R., Brizuela, A., & Pradies, G. (2015). Virtual facebow technique. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 114(6), 751-755. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.06.012>
- Solaberrieta, E., Otegi, J. R., Goicoechea, N., Brizuela, A., & Pradies, G. (2015). Comparison of a conventional and virtual occlusal record. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 114(1), 92-97. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.01.009>
- Stamoulis, K., & Hatzikyriakos, A. E. (2007). A Technique to Obtain Stable Centric Occlusion Records Using Impression Plaster. *Journal of Prosthodontics*, 16(5), 406-408. <https://doi.org/10.1111/j.1532-849X.2007.00215.x>
- Steinmeier, S., Wiedemeier, D., Hämmerle, C. H. F., & Mühlemann, S. (2020). Accuracy of remote diagnoses using intraoral scans captured in approximate true color: a pilot and validation study in teledentistry. *BMC Oral Health*, 20(1), 266. <https://doi.org/10.1186/s12903-020-01255-8>
- Svanborg, P., Skjerven, H., Carlsson, P., Eliasson, A., Karlsson, S., et al. (2014). Marginal and Internal Fit of Cobalt-Chromium Fixed Dental Prostheses Generated from Digital and Conventional Impressions. *International Journal of Dentistry*, 2014, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2014/534382>
- Syrek, A., Reich, G., Ranftl, D., Klein, C., Cerny, B., et al. (2010). Clinical evaluation of all-ceramic crowns fabricated from intraoral digital impressions based on the principle of active wavefront sampling. *Journal of Dentistry*, 38(7), 553-559. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2010.03.015>
- Szentpétery A. (1997). Computer aided dynamic correction of digitized occlusal surfaces. *J. Gnathol*, 16, 53-60.
- Tabatabaian, F., Namdari, M., Mahshid, M., Vora, S. R., & Mirabbasi, S. (2024). Accuracy and precision of intraoral scanners for shade matching: A systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 132(4), 714-725. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.08.034>
- Tabesh, M., Alikhasi, M., & Siadat, H. (2018). A Comparison of implant impression precision: Different materials and techniques. *Journal of clinical and experimental dentistry*, 10(2), e151-e157. <https://doi.org/10.4317/jced.54457>
- Tabesh, M., Nejatidanesh, F., Savabi, G., Davoudi, A., & Savabi, O. (2022). Marginal Accuracy of Lithium Disilicate Full-Coverage Single Crowns Made by Direct and Indirect Digital or Conventional Workflows: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Prosthodontics*, 31(9), 744-753. <https://doi.org/10.1111/jopr.13515>
- Taneva, E., Kusnoto, B., & Evans, C. A. (2015). 3D Scanning, Imaging, and Printing in Orthodontics. İçinde *Issues in Contemporary Orthodontics*. InTech. <https://doi.org/10.5772/60010>
- Taymour, N., Abdul Hameed, S. M., AlGhamdi, M. A., El Sharkawy, Z. R., Farid, Z. S., et al. (2025). Accuracy of New-Generation Intraoral Scanners in Digitizing All-on-Four Implant Models with Varying Posterior Implant Angulations: An In Vitro Trueness and Precision Evaluation. *Prosthesis*, 7(4), 74. <https://doi.org/10.3390/prosthesis7040074>
- Thanabalan, N., Amin, K., Butt, K., & Bourne, G. (2019). Interocclusal Records in Fixed Prosthodontics. *Primary Dental Journal*, 8(3), 40-47. <https://doi.org/10.1308/205016819827601473>
- The Glossary of Prosthodontic Terms 2023 10th Edition. (2023). *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 130(4), e1-e3. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.03.003>
- Thomas Meyer. (2012). Root Mean Square Error Compared to, and Contrasted with, Standard Deviation. *Surveying and Land Information Science*, 72(3).
- Tian, J., Jung, R. E., Han, Y., Mei, Y., & Di, P. (2024). The impact of mandibular partial edentulous distal extension on virtual occlusal record accuracy when using two different intraoral scanners: An in vitro analysis. *Journal of Dentistry*, 150, 105303. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105303>
- Ting-shu, S., & Jian, S. (2015). Intraoral Digital Impression Technique: A Review. *Journal of Prosthodontics*, 24(4), 313-321. <https://doi.org/10.1111/jopr.12218>

- Tripodakis, A.-P., Vergos, V. K., & Tsoutsos, A. G. (1997). Evaluation of the accuracy of interocclusal records in relation to two recording techniques. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 77(2), 141-146. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(97\)70227-0](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(97)70227-0)
- Turkyilmaz, I., Lakhia, S., Tarrida, L., & Varvara, G. (2020). Guest Commentary: The Battle of File Formats from Intraoral Optical Scanners. *The International Journal of Prosthodontics*, 33(4), 369-371. <https://doi.org/10.11607/ijp.2020.4.gc>
- van Noort, R. (2012). The future of dental devices is digital. *Dental Materials*, 28(1), 3-12. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2011.10.014>
- Vecsei, B., Joós-Kovács, G., Borbély, J., & Hermann, P. (2017). Comparison of the accuracy of direct and indirect three-dimensional digitizing processes for CAD/CAM systems – An in vitro study. *Journal of Prosthodontic Research*, 61(2), 177-184. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2016.07.001>
- Vitai, V., Németh, A., Sólyom, E., Czumbel, L. M., Szabó, B., et al. (2023). Evaluation of the accuracy of intraoral scanners for complete-arch scanning: A systematic review and network meta-analysis. *Journal of Dentistry*, 137, 104636. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104636>
- Wachtel, H. C., & Curtis, D. A. (1987). Limitations of semiadjustable articulators. Part I: Straight line articulators without setting for immediate side shift. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 58(4), 438-442. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(87\)90271-X](https://doi.org/10.1016/0022-3913(87)90271-X)
- Weinberg, L. A. (1963). An evaluation of basic articulators and their concepts. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 13(4), 645-663. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(63\)90134-3](https://doi.org/10.1016/0022-3913(63)90134-3)
- Wismeijer, D., Mans, R., van Genuchten, M., & Reijers, H. A. (2014). Patients' preferences when comparing analogue implant impressions using a polyether impression material versus digital impressions (Intraoral Scan) of dental implants. *Clinical Oral Implants Research*, 25(10), 1113-1118. <https://doi.org/10.1111/clr.12234>
- Witecy, C., Ganss, C., Wöstmann, B., Schlenz, M. B., & Schlenz, M. A. (2021). Monitoring of Erosive Tooth Wear with Intraoral Scanners In vitro. *Caries Research*, 55(3), 215-224. <https://doi.org/10.1159/000514666>
- Wong, K. Y., Esguerra, R. J., Chia, V. A. P., Tan, Y. H., & Tan, K. B. C. (2018). Three-Dimensional Accuracy of Digital Static Interocclusal Registration by Three Intraoral Scanner Systems. *Journal of Prosthodontics*, 27(2), 120-128. <https://doi.org/10.1111/jopr.12714>
- Yu, C., Zhang, C., Wang, Y., Jiang, X., & Ren, S. (2024). Impact of scanning strategies on the accuracy of virtual interocclusal records in partially edentulous arch using intraoral scanner: an in vitro study. *BMC Oral Health*, 24(1), 1184. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04927-x>
- Zarbah M. A. (2018). Accuracy of cast articulation: A Literature Review. *Ann Med and Health Sci Res*.
- Zeller, S., Guichet, D., Kontogiorgos, E., & Nagy, W. W. (2019). Accuracy of three digital workflows for implant abutment and crown fabrication using a digital measuring technique. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 121(2), 276-284. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.04.026>
- Zimmermann, M., Ender, A., Attin, T., & Mehl, A. (2018). Accuracy of Buccal Scan Procedures for the Registration of Habitual Intercuspation. *Operative Dentistry*, 43(6), 573-580. <https://doi.org/10.2341/17-272-C>
- Zoellner, A., Brägger, U., Fellmann, V., & Gaengler, P. (2000). Correlation between clinical scoring of secondary caries at crown margins and histologically assessed extent of the lesions. *The International journal of prosthodontics*, 13(6), 453-459.



## 8. EKLER

### 8.1. EK 1 Etik kurul kararı



T.C.

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

Toplantı Sayısı: 40

Toplantı Tarihi: 25.04.2024

**Karar Sayısı:2024/404:**(Başvuru ID: 18986) N.E.Ü. Diş Hekimliği Fakültesi Klinik Bilimler Bölümü Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Doç. Dr. Emine Begüm BÜYÜKERKEMEN'in "Farklı Ağız İçi Tarayıcılar ile Alınan Tek ve Çift Taraflı Kapanış Kaydının Kayıt Doğruluğuna Etkisi" başlıklı doktora tez çalışması ile ilgili başvurusu görüşüldü. Yusuf Kamil ŞEKER'in doktora tez çalışmasının N.E.Ü. Diş Hekimliği Fakültesi Klinik Bilimler Bölümü Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Doç. Dr. Emine Begüm BÜYÜKERKEMEN'in sorumluluğunda yürütülmesinin uygun olduğuna oybirliği ile karar verilmiştir.

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

**Sorumlu Araştırmacı:** Doç. Dr. Emine Begüm BÜYÜKERKEMEN  
**Yardımcı Araştırmacılar:** Doktora Öğrencisi Yusuf Kamil ŞEKER

ASLI GİBİDİR  
25.04.2024



Doç. Dr. Hakan Yasin GÖNDER  
Etik Kurul Başkanı Yardımcısı