



SAĞLIK BİLİMLERİ ÜNİVERSİTESİ
GÜLHANE SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DİJİTAL DENTAL MODELLER KULLANILARAK 3 BOYUTLU
YAZICILARIN DOĞRULUĞUNUN VE GÜVENİLİRLİĞİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

ŞULE GÖKMEN

TEZ DANIŞMANI
PROF.DR. SERKAN GÖRGÜLÜ

ORTODONTİ ANABİLİM DALI
ORTODONTİ DOKTORA PROGRAMI
DOKTORA TEZİ

EKİM / 2022



**SAĞLIK BİLİMLERİ ÜNİVERSİTESİ
GÜLHANE SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİJİTAL DENTAL MODELLER KULLANILARAK 3 BOYUTLU
YAZICILARIN DOĞRULUĞUNUN VE GÜVENİLİRLİĞİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

ŞULE GÖKMEN

**TEZ DANIŞMANI
PROF.DR. SERKAN GÖRGÜLÜ**

**Sağlık Bilimleri Üniversitesi
Gülhane Sağlık Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Eğitim Öğretim Yönetmeliğinin
Ortodonti Doktora Programı
İçin Öngördüğü
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır**

EKİM / 2022

TEZ KABUL ONAYI

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Sağlık Bilimleri Enstitüsü Ortodonti Ana Bilim Dalında/Programında Şule GÖKMEN tarafından hazırlanan “Dijital Dental Modeller Kullanılarak 3 Boyutlu Yazıcıların Doğruluğunun ve Güvenilirliğinin Karşılaştırılması” Başlıklı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Erhan ÖZDİLER

Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı
Bu tezin Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum~~.

Üye: Prof. Dr. Mehmet Okan AKÇAM

Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı
Bu tezin Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum~~.

Üye: Prof. Dr. Simel AYYILDIZ

Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı
Bu tezin Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum~~.

Üye: Prof. Dr. Serkan GÖRGÜLÜ

Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı
Bu tezin Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum~~.

Üye: Doç. Dr. Gökhan Serhat DURAN

Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı
Bu tezin Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum~~.

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 21/10/2022

Jüri üyeleri tarafından DOKTORA tezi olarak uygun görülmüş olan bu tez Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu kararı ile onaylanmıştır.

Gülhane Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Onur GENÇ

GSBE/SBE Form No:2018/32

BEYAN

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Mevcut tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Mevcut tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Şule GÖKMEN

21.10.2022

ÖZET

DİJİTAL DENTAL MODELLER KULLANILARAK 3 BOYUTLU YAZICILARIN DOĞRULUĞUNUN VE GÜVENİLİRLİĞİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Amaç: Bu tez çalışmasının amacı Tarayarak Işıklı Kütleme (SLA), Dijital Işık İşleme (DLP) ve PolyJet 3 boyutlu (3B) yazıcı teknikleri ile oluşturulan dental modeller kullanılarak üç farklı baskı teknolojisine sahip 3B yazıcının üretim doğruluk ve güvenilirlik düzeyini karşılaştırmaktır.

Gereç ve Yöntem: Çalışmamızda Gülhane Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı'na tedavi olmak amacıyla başvuran 12-20 yaş aralığında 30 hastanın ortodontik alçı modelleri (alt-üst çene) çalışma kapsamına dahil edilmiştir. Seçilen ortodontik alçı modeller intraoral tarayıcı ile taranarak stl (standart mozaikleme dili) formatında dosyalar elde edilmiştir. SLA, DLP ve Polyjet baskı teknolojisine sahip 3B yazıcılardan baskı modelleri üretilmiş ve intraoral tarayıcı ile taranarak referans ve baskı modellerin dijital dosyaları tersine mühendislik yazılımı ile karşılaştırılmıştır. Dijital yüzey karşılaştırma verilerinden elde edilen Karekök Ortalama (RMS) değerleri ve noktasal karşılaştırma farkları değerlendirilmeye alınmıştır. Ayrıca noktasal karşılaştırma sapma değerleri için belirlenen dişlerin dijital mezyodistal boyutsal ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlerin değerlendirilmesinde tanımlayıcı istatistikten faydalanılmıştır. Normal dağılan verilerin arasındaki farklılıkları değerlendirmek için ANOVA testi kullanılmıştır. Ayrıca ölçümlerdeki değişkenliğin görsel olarak dağılımını göstermek için kutu grafiği, ölçümler arasındaki uyumu incelemek için ise Bland-Altman testi kullanılmıştır.

Bulgular: DLP-SLA-PolyJet teknolojileri dijital yüzey karşılaştırma verilerine göre RMS değerleri incelendiğinde en küçük RMS ortalamasına $0.145 \pm 0,10\text{mm}$ ile PolyJet yazıcısının sahip olduğu, bunu $0.161 \pm 0,12\text{mm}$ RMS ortalaması ile DLP yazıcısının takip ettiği bulunmuştur. SLA yazıcı ise $0.345 \pm 0,23\text{mm}$ ile en büyük RMS ortalamasına sahiptir. Mezyodistal boyutsal ölçüm değerlendirmelerinde

ölçümleri yapılan tüm dişler için, ana referans ölçüm değerlerinin ortalaması ile DLP, PolyJet ve SLA yazıcılarında elde edilen ölçümlerin ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur ($p>0.05$).

Sonuç: Çalışmamızda kullanılan tüm 3B üretim teknolojileri, model üretim aşamasında klinik açıdan kullanılabilir düzeydedir.

Anahtar kelimeler: 3B yazıcı, Dijital model, Hızlı prototipleme, Boyutsal doğruluk



ABSTRACT

COMPARISON OF THE ACCURACY AND RELIABILITY OF 3D PRINTERS USING DIGITAL DENTAL MODELS

Objective: The aim of this study was to compare the production accuracy and reliability of 3D printers with three different printing technologies using dental models created by Stereolithography (SLA), Digital Light Processing (DLP) and Polyjet three-dimensional (3D) printing techniques.

Materials and Method: In our study, orthodontic cast models (upper and lower jaws) of 30 patients between the ages of 12-20 years who applied to Gülhane Faculty of Dentistry, Department of Orthodontics for treatment were included in the study. The selected orthodontic cast models were scanned with an intraoral scanner and stl (standard tessellation language) format files were obtained. Print models were produced from 3D printers with SLA, DLP and Polyjet printing technologies and scanned with an intraoral scanner and the digital files of the reference and print models were overlaid with reverse engineering software. Root Mean Square (RMS) values obtained from digital surface registration data and point registration differences were evaluated. In addition, digital mesiodistal dimensional measurements of the teeth determined for the point registration deviation values were made. Descriptive statistics were used to evaluate the measurements. ANOVA test was used to evaluate the differences between normally distributed data. In addition, a box plot was used to show the visual distribution of variability in measurements and the Bland-Altman test was used to examine the agreement between measurements.

Results: When the RMS values were analyzed according to the digital surface registration data of DLP-SLA-PolyJet technologies, it was found that the PolyJet printer had the smallest RMS average with 0.145 ± 0.10 mm, followed by the DLP printer with an RMS average of 0.161 ± 0.12 mm. The SLA printer had the highest RMS average of 0.345 ± 0.23 mm. In the mesiodistal dimensional measurement evaluations, there was no statistically significant difference ($p > 0.05$)

between the mean of the main reference measurement values and the mean of the measurements obtained by DLP, PolyJet and SLA printers for all teeth measured.

Conclusion: All 3D production technologies used in our study are clinically usable at the model production stage.

Keywords: 3D printer, Digital model, Rapid prototyping, Dimensional accuracy



TEŞEKKÜR

Tez çalışmam ve doktora eğitimim süresince, bilgisini, yardımını ve desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen, Anabilim Dalı Başkanım, Tez Danışmanım, Değerli Hocam Sayın Prof. Dr. Serkan GÖRGÜLÜ' ye,

Tez çalışmam sürecinde bilgileri ve destekleri için Gülhane Medikal Tasarım ve Üretim Uygulama ve Araştırma Merkezi (METÜM) nin Müdürü değerli Hocam Sayın Prof. Dr. Simel AYYILDIZ'a,

Tez çalışmamın ve akademik çalışmalarımın tüm aşamalarında yanımda olan benimle bilgilerini paylaşan, yol gösteren değerli Hocam, abim Sayın Doç. Dr. Gökhan Serhat DURAN'a,

Doktora eğitimim boyunca bilgi ve tecrübeleri ile bana çok şey katan, çalışmaktan, ondan bir şeyler öğrenmekten onur ve mutluluk duyduğum değerli Hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Kübra Gülnur TOPSAKAL'a

Değerli Hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Berat Serdar AKDENİZ'e,

Hem akademik hem sevgi bağı anlamında Dt. Ebru YURDAKURBAN'a,

Birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum değerli Asistan arkadaşlarıma, Bölüm arkadaşlarıma ve Bölüm çalışanlarına,

Tez materyallerimin üretiminde emeği geçen Bilgisayar Mühendisi Ezgi ŞAHİN ve Ağız Diş Teknikeri Ferhat IŞIK'a,

Hayatım boyunca beni her konuda destekleyen, bana güç veren ve bugünlere gelmemi sağlayan en büyük destekçim annem Dürübiye AKTAŞ ve öğrenme ve okuma azmimi ondan aldığım babam Mustafa AKTAŞ'a,

Eşim ve meslektaşım Dt. Hüseyin GÖKMEN'e, canım oğlum Kerem GÖKMEN ve canım kızım Defne GÖKMEN'e

Çok teşekkür ederim.

Şule GÖKMEN
Ankara, Ekim 2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
TABLolar.....	xiii
RESİMLER.....	xv
ŞEKİLLER.....	xvi
1.GİRİŞ.....	1
2.GENEL BİLGİLER	3
2.1. ORTODONTİDE TANI MODELİ.....	5
2.2. ALÇI MODELLERİN DİJİTAL MODELLERE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ	5
2.2.1. Konvansiyonel Yöntemler.....	6
2.2.1.1. Fotokopi	6
2.2.1.2. Holografi	6
2.2.1.3. Stereofotogrametri	7
2.2.2. Dijital Model Elde Etmede Güncel Yöntemler	7
2.2.2.1. Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi Görüntülerinden Dijital Model Elde Etme.....	7
2.2.2.2. Ölçülerin Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi ile Taranması.....	8
2.2.2.3. Lazer Yüzey Taraması.....	9
2.2.2.4. Ağız İçi Tarama ile Dijital Model Elde Etme	9
2.3. 3B YAZICILAR	10
2.3.1. Eklemeli Üretim 3B Yazıcı Teknolojileri.....	12
2.3.1.1. SLA (Tarayarak Işıklı Kütleme Tekniği)	12
2.3.1.2. DLP (Dijital Işık İşleme)	14
2.3.1.3. MultiJet	15
2.3.1.4. FDM (Birleştirmeli Yığılma Modeli)	17
2.3.1.5. SLS (Seçici Lazer Sinterleme)	18
2.3.1.6. Binder Jet	19
2.3.1.7. Yönlendirilmiş Enerji Biriktirme	20

2.3.1.8. Lamine Nesne Üretimi	20
2.3.2. 3B Yazıcılarda Üretim Süreci.....	21
2.3.2.1. Modelleme.....	21
2.3.2.2. Dilimleme.....	21
2.3.2.3. Yazdırma	22
2.3.2.4. Yazdırma Sonrası işlemler.....	22
2.3.3. 3B Yazıcılarda Kullanılan Malzemeler	24
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	27
3.1. 3B YAZICILARDA MODELLERİN ÜRETİLMESİ	30
3.1.1. Dijital Dental Modellerin SLA Teknolojisine Sahip 3B Yazıcıda Üretilmesi	30
3.1.2. Dijital Dental Modellerin Polyjet Teknolojisine Sahip 3B Yazıcıda Üretilmesi	31
3.1.3. Dijital Dental Modellerin DLP Teknolojisine Sahip 3B Yazıcıda Üretilmesi	32
3.2. DİJİTAL YAZILIMDA MODEL ÇAKIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN YAPILMASI	34
3.3. DİJİTAL YAZILIMDA MODELLERDE BOYUTSAL ÖLÇÜMLERİN YAPILMASI.....	37
4. BULGULAR.....	39
4.1. DİJİTAL DENTAL MODELLER ÜZERİNDE GERÇEKLEŞTİRİLEN BOYUTSAL ÖLÇÜMLER SONUCU ELDE EDİLEN BULGULAR.....	39
4.2. DİJİTAL DENTAL MODELLER KULLANILARAK YAPILAN DİJİTAL YÜZEY ÇAKIŞTIRMA SONUCU ELDE EDİLEN RMS DEĞERLERİ.....	55
4.3. DİJİTAL DENTAL MODELLER KULLANILARAK YAPILAN DİJİTAL YÜZEY ÇAKIŞTIRMA İLE 3B KARŞILAŞTIRMA YAPILAN MODELLERDEKİ NOKTASAL VERİLER	58
5.TARTIŞMA.....	65
5.1. GEREÇ VE YÖNTEMİN TARTIŞILMASI.....	66
5.1.1. Hasta Modellerinin Seçimi	66
5.1.2. Metot Seçimi	67
5.2. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	69
5.2.1. RMS Değerlerinin Tartışılması.....	69
5.2.2. Boyutsal Doğruluk Ölçümlerinin Tartışılması.....	73

5.2.3. ICC Verilerinin Tartışılması	74
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	77
7. KAYNAKLAR.....	79
8.ÖZGEÇMİŞ	93
9. ETİK KURUL ONAYI.....	94



SİMGELER VE KISALTMALAR

μm	: Mikrometre
3B	: 3Boyutlu
ABS	: Akrilonitril Butadin Stiren
BT	: Bilgisayarlı Tomografi
CAD/CAM	: Bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli imalat
DICOM	: Digital Imaging and Communications in Medicine
DLP	: Digital Light Processing
DMD	: Dijital Mikro Ayna Cihazı
FDM	: Fused Deposition Modelling
KIBT	: Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi
LOM	: Lamine Nesne Üretimi
MJP	: MultiJet Teknolojisi
MR	: Manyetik Rezonans Görüntüleme
PLA	: Polilaktik Asit
RMS	: Root Mean Square
SLA	: Stereo Lithography Appearance
SLS	: Seçici Lazer Sinterleme
STL	: Standart Mozaikleme Dili
UV	: Ultraviyole

TABLOLAR

Tablo 4.1.	Referans ölçümlerine ilişkin bazı tanımlayıcı İstatistikler	39
Tablo 4.2.	DLP ölçümlerine ilişkin bazı tanımlayıcı istatistikler	40
Tablo 4.3.	PolyJet ölçümlerine ilişkin bazı tanımlayıcı istatistikler	40
Tablo 4.4.	SLA ölçümlerine ilişkin bazı tanımlayıcı istatistikler	40
Tablo 4.5.	Referans, DLP, PolyJet ve SLA diş ölçümleri için yapılan ANOVA testi sonuçları	41
Tablo 4.6.	Sağ 1.molar dişin boyutsal stabilite ölçümleri iki bağımsız örnek-t testi sonuçları	41
Tablo 4.7.	Sağ kanin dişin boyutsal stabilite ölçümleri iki bağımsız örnek-t testi sonuçları	42
Tablo 4.8.	Sağ santral dişin boyutsal stabilite ölçümleri iki bağımsız örnek-t testi sonuçları	42
Tablo 4.9.	Sol santral dişin boyutsal stabilite ölçümleri iki bağımsız örnek-t testi sonuçları	42
Tablo 4.10.	Sol kanin dişin boyutsal stabilite ölçümleri iki bağımsız örnek-t testi sonuçları	42
Tablo 4.11.	Sol 1.molar dişin boyutsal stabilite ölçümleri iki bağımsız örnek-t test sonuçları	43
Tablo 4.12.	Referans, DLP, PolyJet ve SLA diş ölçümleri için yapılan Bland-Altman istatistikleri.....	46
Tablo 4.13.	Referans, DLP, PolyJet ve SLA diş ölçümleri için yapılan ICC istatistikleri	53
Tablo 4.14.	İlk ve İkinci Ölçümler için yapılan eşleştirilmiş t testi sonuçları	54
Tablo 4.15.	RMS ortalamaları için yapılan ANOVA testi sonuçları	55
Tablo 4.16.	RMS ortalamaları için yapılan çoklu karşılaştırma Tukey-HSD testi sonuçları	56
Tablo 4.17.	Tekrarlanabilirlik için ikinci kez üretilen modellerin RMS ortalamalarına yapılan ANOVA testi sonuçları.....	56
Tablo 4.18.	İkinci ölçümlerde RMS ortalamaları için yapılan çoklu karşılaştırma Tukey-HSD testi sonuçları	57

Tablo 4.19. Noktasal Çakıştırma verilerine göre ANOVA Testi Sonuçları.....	58
Tablo 4.20. R6 dişi için yapılan çoklu karşılaştırma Tukey-HSD testi sonuçları	58
Tablo 4.21. R3 dişi için yapılan çoklu karşılaştırma Tukey-HSD testi sonuçları	59
Tablo 4.22. R1 dişi için yapılan çoklu karşılaştırma Tukey-HSD testi sonuçları	59
Tablo 4.23. L1 dişi için yapılan çoklu karşılaştırma Tukey-HSD testi sonuçları	60
Tablo 4.24. L3 dişi için yapılan çoklu karşılaştırma Tukey-HSD testi sonuçları	60
Tablo 4.25. L6 dişi için yapılan çoklu karşılaştırma Tukey-HSD testi sonuçları	61

RESİMLER

Resim 3.1. Alçı Modellerin Tarayıcı İle Taranması	28
Resim 3.2. Dijital dosyaların baskıya hazırlanması.....	28
Resim 3.3. SLA 3B yazıcıda baskıya hazırlık görseli.....	30
Resim 3.4. SLA 3B yazıcıdan üretilen modellerin üretim sonrası işlemleri.....	31
Resim 3.5. PolyJet 3B yazıcıda dental modellerin baskıya hazırlık aşaması.....	31
Resim 3.6. PolyJet 3B yazıcıda model üretimi aşaması.....	32
Resim 3.7. PolyJette üretilen modellerin atıklardan uzaklaştırılması	32
Resim 3.8. DLP 3B yazıcıda üretime hazırlık aşaması	33
Resim 3.9. DLP 3B yazıcıda üretilen modelin tabladan ayrılması	33
Resim 3.10. DLP 3B yazıcıdan üretilen modellerin üretim sonrası işlemleri.....	34
Resim 3.11. 3B Yazıcılardan Üretilmiş Nihai Modeller	34
Resim 3.12. Best Fit yöntemi ile yapılan yüzey eşleştirilmesi	36
Resim 3.13. Belirlenen dişlerin noktasal çakıştırma değerleri	36
Resim 3.14. MeshLab yazılımında dişlerin mezyodistal boyutsal ölçümleri	37

ŞEKİLLER

Şekil 2.1.	ASTM 'ye göre Eklemeli Üretim Teknolojileri Sınıflaması.....	12
Şekil 2.2.	SLA teknolojisi şeması	13
Şekil 2.3.	DLP teknolojisi şeması	15
Şekil 2.4.	PolyJet teknolojisi şeması	17
Şekil 3.1.	İş Akışı Diyagramı	29
Şekil 4.1.	R6 dişi boyutsal ölçüm değerleri kutu grafikleri.....	43
Şekil 4.2.	R3 dişi boyutsal ölçüm değerleri kutu grafikleri.....	44
Şekil 4.3.	R1 dişi boyutsal ölçüm değerleri kutu grafikleri.....	44
Şekil 4.4.	L1 dişi boyutsal ölçüm değerleri kutu grafikleri.....	45
Şekil 4.5.	L3 dişi boyutsal ölçüm değerleri kutu grafikleri.....	45
Şekil 4.6.	L6 dişi boyutsal ölçüm değerleri kutu grafikleri.....	45
Şekil 4.7.	R6 dişi için referans-SLA ölçümlerinin karşılaştırılmasına ilişkin Bland-Altman grafiği.....	47
Şekil 4.8.	R6 dişi için referans-DLP ölçümlerinin karşılaştırılmasına ilişkin Bland-Altman grafiği	48
Şekil 4.9.	R6 dişi için referans-PolyJet ölçümlerinin karşılaştırılmasına ilişkin Bland-Altman grafiği	48
Şekil 4.10.	R3 dişi için referans-SLA ölçümlerinin karşılaştırılmasına ilişkin Bland-Altman grafiği	48
Şekil 4.11.	R3 dişi için referans-DLP ölçümlerinin karşılaştırılmasına ilişkin Bland-Altman grafiği	49
Şekil 4.12.	R3 dişi için referans-PolyJet ölçümlerinin karşılaştırılmasına ilişkin Bland-Altman grafiği	49
Şekil 4.13.	R1 dişi için referans-SLA ölçümlerinin karşılaştırılmasına ilişkin Bland-Altman grafiği	49
Şekil 4.14.	R1 dişi için referans-DLP ölçümlerinin karşılaştırılmasına ilişkin Bland-Altman grafiği	50
Şekil 4.15.	R1 dişi için referans-PolyJet ölçümlerinin karşılaştırılmasına ilişkin Bland-Altman grafiği	50

Şekil 4.16. L1 dişi için referans-SLA ölçümlerinin karşılaştırılmasına ilişkin Bland-Altman grafiği	50
Şekil 4.17. L1 dişi için referans-DLP ölçümlerinin karşılaştırılmasına ilişkin Bland-Altman grafiği	51
Şekil 4.18. L1 dişi için referans-PolyJet ölçümlerinin karşılaştırılmasına ilişkin Bland-Altman grafiği	51
Şekil 4.19. L3 dişi için referans-SLA ölçümlerinin karşılaştırılmasına ilişkin Bland-Altman grafiği	51
Şekil 4.20. L3 dişi için referans-DLP ölçümlerinin karşılaştırılmasına ilişkin Bland-Altman grafiği.....	52
Şekil 4.21. L3 dişi için referans-PolyJet ölçümlerinin karşılaştırılmasına ilişkin Bland-Altman grafiği	52
Şekil 4.22. L6 dişi için referans-SLA ölçümlerinin karşılaştırılmasına ilişkin Bland-Altman grafiği	52
Şekil 4.23. L6 dişi için referans-DLP ölçümlerinin karşılaştırılmasına ilişkin Bland-Altman grafiği	53
Şekil 4.24. L6 dişi için referans-PolyJet ölçümlerinin karşılaştırılmasına ilişkin Bland-Altman grafiği	53
Şekil 4.25. Üç yazıcının RMS Karşılaştırılması Kutu Grafiği	56
Şekil 4.26. R6 dişi için (çakıştırma verileri) ortalama uzaklıklara ilişkin kutu grafikleri	61
Şekil 4.27. R3 dişi için (çakıştırma verileri) ortalama uzaklıklara ilişkin kutu grafikleri	62
Şekil 4.28. R1 dişi için (çakıştırma verileri) ortalama uzaklıklara ilişkin kutu grafikleri	62
Şekil 4.29. L1 dişi için (çakıştırma verileri) ortalama uzaklıklara ilişkin kutu grafikleri	63
Şekil 4.30. L3 dişi için (çakıştırma verileri) ortalama uzaklıklara ilişkin kutu grafikleri	63
Şekil 4.31. L6 dişi için (çakıştırma verileri) ortalama uzaklıklara ilişkin kutu grafikleri	64

1.GİRİŞ

1980’li yılların başında icat edilmiş olan 3 boyutlu (3B) yazıcılar özellikle 2010 yılından itibaren daha fazla kullanılır hale gelmiştir. Maliyetlerin düşmesi birçok alanda 3B yazıcıların daha kolay ulaşılabilir hale gelmesini sağlamıştır. Genel olarak mimarlık, sağlık ve görsel sanatlar alanlarında kullanılan bu teknolojilerin askeriye, uzay araştırmaları, havacılık, eğitim, gıda ve otomotiv gibi bir çok alanda da kullanıldığı görülmektedir (1).

Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ve yazılım uygulamaları 3B baskıyı bugünlere taşımıştır. Gelişmiş bir teknoloji olarak, 3B baskı birçok alanda karmaşık ve yüksek hassasiyetli nesneler üretmek için kullanılmaktadır. Sıklıkla imalat endüstrisinde kullanılan 3B baskı ileri bir teknolojidir ve bu sayede imalatın hazırlık süresini kısaltır, gerekli maliyetleri azaltır ve karmaşık yapıların üretimine izin verir (2).

3B yazıcılar eklemeli üretim yöntemiyle çalışırlar. Eklemeli (katmanlı) üretim metal, plastik, kompozit, reçine gibi hammaddeler kullanılarak nesnelerin 3 boyutlu (3B) geometrik verilerine göre oluşturulan, katmanların üst üste eklenmesi prensibine dayanan bir imalat yöntemidir. Üretim yaparken 3B tasarımlara ihtiyaç duyarlar. Bu bağlamda tasarımları meydana getirebilecek birçok program bulunmaktadır. Bu programlar sayesinde 3B baskı yapılabilmesi için ihtiyaç duyulan dijital dosyalar elde edilir. Standart Mozaikleme Dili (Standard Tessellation Language, STL) formatındaki dijital dosyalar 3B yazıcılardan üretim yapılırken sıklıkla kullanılan dijital dosya formatlarıdır. Tasarlanmış sanal nesne mevcut 3B teknolojisine göre kompozit, polimer, reçine gibi malzemele kullanılarak ısı ile veya kimyasal işlemle geçirilerek üretimi gerçekleştirilir (3).

Diş hekimliğinde 3B yazıcılar ile ortodontik dijital modeller, kuron ve köprü, cerrahi kılavuzlar, ameliyat splintleri, dental modeller, kişiye özel taşıyıcılar (tray) ve total, parsiyel ya da sabit protezler, döküm altyapı modelajı, geçici kuronlar, ölçü kaşıkları gibi uygulamaların klinik yada laboratuvar ortamında hızlı ve hassas şekilde üretimi sağlanır. Klinik başarısının yanı sıra hedefe yönelik çalışma modelleri, eğitim

modelleri, 3B modellerin üretiminde de 3B yazıcı teknolojilerinden yararlanılmaktadır. Dijital diş hekimliğinde 3B yazıcılar sayesinde hastaya özel modeller üretilme imkânı sunarken, hastanın koltukta kalma süresi, dental uygulamaların tamamlanma süresi yüksek oranda azalmaktadır. Bu şekilde randevu sürelerinin kısılması, hastalara kişiye özel dental tasarımlarının yapılarak hata paylarının en aza indirilmesi önem arz etmektedir.

Biyouyumlu reçineler başta olmak üzere çeşitli baskı malzemelerinin kullanılmaya başlanmasıyla birlikte diş hekimliğinde, dijital iş akışına uyum sağlama çerçevesinde ortodontide teşhis, planlama ve tedavi yöntemlerinde geleneksel 2 boyutlu (2B) yaklaşımdan 3B tekniğe geçilmiştir (4). Ortodonti alanında 3B yazıcı kullanımı şeffaf plak tedavilerinde, indirek braketlemelerde braket taşıyıcısı üretiminde, mini vida ve implant uygulamalarında cerrahi kılavuz üretiminde, dental model elde edilmesinde, hareketli aparey yapımında tercih edilmeye başlanmıştır.

Eklemeli üretim teknolojileri arasında Tarayarak Işıklı Kürleme Tekniği (SLA) ve Dijital Işık İşleme (DLP), tekne foto polimerizasyonuna dayalı eklemeli imalat yaklaşımları olarak gruplandırılabilir. Diş hekimliğinde sıklıkla bu teknolojiler tercih edilmektedir (5). Bir başka 3B yazıcı teknolojisi ise PolyJet teknolojisidir. Bir tabla yüzeyine yüzlerce nozul başlığının sıvı reçine püskürtmesi ve hemen ardından UV ışıkla kürlenmesi ile ürünün oluşturulduğu bu teknoloji ile 16µm katman kalınlığında yüksek hassasiyetle üretim yapılabilir. Fakat maliyeti yüksek bir teknolojidir (6).

Bu tez çalışmasının amacı; SLA, DLP ve PolyJet baskı teknolojilerine sahip 3B yazıcılardan elde edilen dijital dental modeller kullanılarak bu yazıcıların üretim doğruluğu ve güvenilirliğini karşılaştırmaktır.

2.GENEL BİLGİLER

Diş hekimliğinde kullanımı giderek yaygınlaşan hızlı prototipleme genellikle 2 aşamadan oluşmaktadır. Ortodontik apareyler bilgisayar destekli tasarım (CAD) ile tasarlanır ve daha sonra bilgisayar destekli üretim (CAM) aşaması üretimi yapılır. Diş modelleri ve apareyler gibi 3 boyutlu nesneler, plastik, seramik, metal gibi farklı baskı malzemeleri kullanılarak hızlı bir prototipleme süreci ile üretilebilmektedir.

1970’li yıllarda Dr.Duret ve Preston tarafından diş kesimi sonrası optik ölçü alarak protetik bir kron üretilmesiyle CAD/CAM diş hekimliği pratiğine dahil edilmiştir (7). Dr. Mörmann ilk ticari CAD/CAM sistemini geliştirmiştir ve 1980’li yılların ortalarında geliştirdiği bu sisteme “CEREC” adını vermiştir (8).

Diş hekimliği pratiğinde tüm CAD/CAM sistemleri verilerin sanal ortamda kaydedilmesi, üretilecek tasarımın bilgisayar yardımıyla hazırlanması ve restorasyonun üretilmesi olmak üzere üç fonksiyonel elemana sahiptir. Gelişen teknoloji ile ortodontide tanı ve tedavi planlaması sürecinde dijital teknolojinin klinik entegrasyonu ile geleneksel yaklaşımdan gelişmiş 3B tekniğe geçiş başlamıştır (9). Ortodontide dijital teknolojinin kullanımı çoklu muayeneleri, kısa sürede tedavi edilebilir hasta potansiyelinin artışının, hastaya ait tanı ve tedavi bilgilerinin doğru, hızlı ve rahat bir şekilde depolanması, alınması ve paylaşılmasını kolaylaştırmıştır.

Genel olarak eksiltmeli üretim felsefesiyle çalışan geleneksel CAD/CAM sistemlerinin geleneksel ölçü alma yöntemlerini elimine ederek zamandan tasarruf sağlayarak hastanın konforunu arttırması, laboratuvar işlemlerini kısaltması, elde edilen verilerin arşivlenmesi gibi avantajları bulunmaktadır. Bunların yanı sıra frezeleme yöntemi ile blok malzemenin azaltılması sebebiyle küçük restorasyonlarda dahi madde kaybının çok olması eksiltmeli üretimi çok maliyetli olması gerçeğini değiştirmemektedir (9). Bu dezavantajlar üreticileri ve klinisyenleri dental işlemlerde daha az maliyetli bir üretim yöntemine yönlendirmiştir.

‘Eklemeli üretim’ olarak da bilinen 3B baskı, bir nesne oluşturmak için ardışık malzeme katmanlarının birbirinin üzerine yerleştirildiği teknoloji olarak tanımlanmaktadır ve bu yöntem nesneyi oluşturmak için bir malzeme bloğunun

küçültüldüğü eksiltici imalatın tersidir (10). Eksiltmeli üretim, diş hekimliğinde uzun süredir tercih edilen bir teknoloji olmasına rağmen, 3B baskı son yıllarda sıklıkla tercih edilmeye başlanmıştır.

Charles Hull 1986 yılında, 3B nesnelerin üretilmesi için, stereolitografi tekniğinin patentini almıştır (11). Hull, yine aynı sene 3D sistemler şirketini kurmuştur ve .stl dosya formatını geliştirmiştir (12).

3B yazdırma dosyaları için global format olan. stl nesnenin dijital bir dosyasını oluşturmak için bir dijital tarayıcı kullanılır. 3B modeller üretmek için gereken süre, yazdırılan modellerin sayısından ziyade yazdırılan katmanların sayısına (modelin dikey yüksekliğine) bağlıdır. Her 3B yazıcı, yazdırma işlemi için bir bilgisayar yazılımına ihtiyaç duyar. Günümüzde farklı üretim teknolojilerine sahip ve birçok farklı şirket tarafından üretilen farklı markalarda ve fiyatlarda onlarca 3B yazıcı bulunmaktadır. Literatürde ortodontik kullanım için en yaygın 3B baskı teknolojisi türleri araştırılmıştır (6,13-15).

Eklemeli üretim teknolojileri arasında tekne foto polimerizasyonu teknolojisi, bir reçine tankı sıvı foto polimerin ışıkla aktive edilmiş polimerizasyon ile seçici olarak kürlendiği işlemdir. SLA ve DLP, tekne foto polimerizasyonuna dayalı eklemeli imalat yaklaşımları olarak gruplandırılabilir. Ortodontide sıklıkla bu teknolojiler tercih edilmektedir. SLA tabanlı yaklaşımlarda üretim, ışığa maruz kalma ve foto polimerin yüzeyinde bir ultraviyole lazer ışını taramasıyla gerçekleştirilir. DLP tabanlı yaklaşımların SLA tabanlı yaklaşımlardan en önemli farkı, her bir katmanın teknolojiye ışık projektörü ile bir kerede polimerize edilmesidir (5).

PolyJet teknolojisi bir tabla yüzeyine yüzlerce nozul başlığının sıvı reçine püskürtmesi ve hemen ardından UV ışıkla kürlenmesi ile ürün oluşturulur. Çok sayıda püskürtme ucu bulunması farklı malzemeler püskürtebilmesini sağlamaktadır. 16µm katman kalınlığında yüksek hassasiyetle üretim yapılabilmektedir (6).

2.1. ORTODONTİDE TANI MODELİ

Bir maloklüzyonun teşhisi ve ortodontik tedavi planlamasının yapılmasında yıllardır klinik kayıtlar kullanılmaktadır. Anamnez, radyografik görüntüler gibi ortodontik modeller de kayıt öğeleridir ve teşhiste çok önemli bir yere sahiptir. Yakın döneme kadar sıklıkla alçı ortodontik modeller kullanılmıştır (13).

Ortodontik alçı çalışma modellerinin ortodontide uzun ve kanıtlanmış bir geçmişi vardır. üretim kolaylığı, ucuzluğu, ölçüm kolaylığı, 3B çalışma için artikülatöre monte edilebilmesi, klinik muayenede değerlendirilmesi zor olan bölgelerden maloklüzyonun değerlendirilmesi gibi avantajları ile ortodontide uzun yıllardır “altın standart” ve rutin teknik olarak kabul edilmiştir (14).

Dental modellerden elde edilen bilgiler, ortodontistin maloklüzyonları sınıflandırmasına, dişsel anomalileri tanımlamasına ve tedavi hedeflerini belirlemesine yardımcı olmaktadır. Dişsel sınıflandırmanın statik bir kaydı olarak dental modeller, dişlerin ark içerisindeki pozisyonunu, morfolojisini, malpozisyon derecesini görselleştirmek için kullanılır (15). Alçı modeller teşhis ve tedavi planlamasının yanı sıra, hekimler arası iletişim, sunumlar, tedavi sonuçlarının değerlendirilmesinde de kullanılırlar (13).

Ortodontide dijital teknolojinin kullanımının yaygınlaşmasıyla tıbbi ve dental anamnezler, fotoğraflar, radyografiler dijital formatta kullanılır hale gelmiştir. Şeffaf plak tedavileri ve ortognatik cerrahi hastaların tedavilerinde, indirek bonding uygulanacak hastalarda çalışma modellerini dijitalize etmek de bir ihtiyaç haline gelmiştir. Günümüzdeki son gelişmeler dental modellerin de dijital ortama aktarılmasını sağlamıştır.

2.2. ALÇI MODELLERİN DİJİTAL MODELLERE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

linisyenlerin tanı amaçlı kullandıkları tedavi öncesi alçı çalışma modelleri depolama sırasında fazla yer işgali nedeniyle büyük sorun teşkil etmektedir. Ayrıca modellerin aşınması, bozulması veya transferi esnasında kırılması, kaybolması,

kontamine haldeki konvansiyonel modellerin çapraz enfeksiyon riski, ölçünün yetersiz olması durumunda tekrarlama esnasındaki malzeme ve zaman kaybı gibi birçok dezavantajın bulunması alçı modellerin dijital modellere dönüştürülmesini hızlandırmıştır (16). Bu amaçla ortodontik alçı modellerin dijitalize edilme sürecinde pek çok yöntem kullanılmıştır.

2.2.1. Konvansiyonel Yöntemler

2.2.1.1. Fotokopi

Modellerden fotokopi çekilmesi kumpas ile yapılan ölçümlere bir alternatif olarak ilk kez araştırmacı Yen (13) tarafından denenmiştir. Yapılan uygulama, modelin ya da bir fotokopinin tarayıcı özellikli bir makine üzerine yerleştirilerek elde edilen taranan modelin okluzal yüzeyine ait bir görüntü alınmasına dayanmaktadır. Bilgisayar yazılımı tarama işleminden sonra oluşturulan model görüntüsü üzerinde ölçümler ve analizler için kullanılır.

Farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda fotokopi makinesinden elde edilen dijitalize edilmiş dökümler üzerinde manuel ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerin güvenilir ve tekrarlanabilir olduğu sonucuna varılmıştır (17). Fotokopilerin kullanımı kolay, ölçümleri de güvenilir olmasına rağmen, bu yöntemin geleneksel bir alçı model gerektirmesi ve 3B bir nesnenin iki boyutlu görüntüsünü sağlaması dezavantajlarıdır.

2.2.1.2. Holografi

Holografi, lazer ışınları kullanılarak gerçekleştirilen 3B görüntüleme işlemidir. Birkaç mikrometrede cisimlerin 3B yer değiştirmelerinin doğrudan ölçümünü vermektedir. Modellerden kayıt almak için özel tasarlanmış kamera ve modeller için; okluzal, cephe, sağ yan ve sol yan olacak şekilde 4 tane holografik görüntüye gereksinim vardır. Holografi, cisimlerden gelen dalgalarındaki bilgileri depolayıp, depoladıklarında kayıp olmadan bilgileri tekrar ortaya çıkartmayı sağlayan bir tekniktir. Araştırmacılar hologramların, çalışma modellerinin

arşivlenmesi ve uzun süreli çalışmalarda dişlerin pozisyonlarında meydana gelen değişikliklerin değerlendirilmesi için uygun olabileceğini belirtmişlerdir (6).

2.2.1.3. Stereofotogrametri

Stereo fotogrametri, bir nesnenin aynı düzlem üzerinde farklı yön ve açılardan görüntüleri ile o nesneye ait 3B görüntü elde edilen bir yöntemidir. Bu tekniğin temelinde stereoskopik görüş prensibi bulunmaktadır. Görüntüde derinlik algısını oluşturabilmek için beyin, farklı açılardan görüntü alan aynı düzlem üzerinde bulunan 2 gözden gelen görüntüleri kullanır. Farklı açılardaki bu görüntüler 3B algıyı oluşturur. Stereofotogrametri, temassız, çok kısa sürede yüksek kaliteli kayıtlar alınabilen, bu kayıtlar üzerinde doğru ve güvenilir ölçümler yapılabilen bir görüntüleme sistemi olduğu bildirilmiştir (18).

Hastanın stereofotogrametri kayıtları alınırken aynı zamanda teşhis amaçlı kullanılacak olan ekstraoral fotoğrafları da alınmış olur. Dijital kameralar sayesinde 1,5 milisaniye kadar kısa bir sürede detaylı ve tüm açılardan ekstraoral fotoğraf çekimleri tamamlanmış olur (19). 3B stereofotogrametri sistemleri yalnızca yumuşak doku görüntülemeye kullanılabilmektedir. Baş ve boyun bölgesinde sert dokuların, alveoler kemiğin ve dişlerin görüntülenebilmesi için ek sistemlerle ihtiyaç vardır (20).

2.2.2. Dijital Model Elde Etmede Güncel Yöntemler

2.2.2.1. Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi Görüntülerinden Dijital Model Elde Etme

Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) görüntüleme yönteminde konik şekilli X ışını fotonları kullanılır. Bu ışın dairesel ya da dikdörtgen şekilde olabilir. Bilgisayarlı tomografide (BT) görüntü elde edilmesi için çok sayıda rotasyon gerekli iken, KIBT’de ilgili bölgenin görüntülenmesi için 360 derecelik tek rotasyon yeterlidir (21). Böylece daha az maliyetli, daha az yer kaplayan X ışını komponentlerini kullanılarak 3B görüntü elde edilir (22).

Teknolojideki ve yazılım alanındaki gelişmeler, dijital modellerin KIBT taramalarından üretilmesine imkân tanımıştır (23). KIBT cihazlarından direkt yöntemle hastadan alınan tomografiden elde edilen DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) formatındaki iletişim dosyalarından dişlerinin kronlarının ve köklerinin izlenebildiği dijital modeller elde edilebilmektedir.

Bununla birlikte, bu yöntemin dezavantajları, dijital modellerde yumuşak dokuların görüntülenmemesi ve hastanın radyasyona maruz kalmasıdır (24).

2.2.2.2. Ölçülerin Konik Işınli Bilgisayarlı Tomografi ile Taranması

Bu yöntemde bir ara aşama alçı modeli elde etmeye ihtiyaç duyulmamaktadır. Dijital modeller; aljinat veya silikon ölçüler ve kapanış mumunun doğrudan KIBT ile taranması sonucu elde edilebilmektedir. Bu yöntem, kullanılan ölçü materyali ile radyasyon arasındaki etkileşime dayanmaktadır (25). Ayrıca bu teknoloji dijital modelleme ve şeffaf plakların üretimi için kullanılmaktadır.

Wiranto ve ark. (26), Lava intraoral tarayıcıdan (3M ESPE, Seefeld, Almanya) ve aljinat ölçülerin KIBT taramalarından elde edilen dijital modellerin geçerliliğini, güvenilirliğini ve tekrarlanabilirliğini değerlendirmişlerdir. Elde edilen dijital dental modeller altın standart olarak kabul edilen alçı modeller ile diş genişliği ölçümleri ve bolton analizi açısından karşılaştırılmıştır. İki yöntemde de bolton oranları alçı modellerden anlamlı derecede farklı bulunmuş, fakat modeller arasındaki ölçümlerde aralarındaki farklılık 1,5 mm'yi aşmadığı için klinik olarak önemsiz kabul edilmiştir.

Ağız içi tarama ve aljinat ölçülerin KIBT ile taranması, tanı amaçlı dental ölçümleri elde etmede doğru, güvenilir ve tekrarlanabilir yöntemler olduğu sonucuna varılmıştır. Bu avantajların yanı sıra KIBT'ın görüntü kalitesini olumsuz etkileyen artefaktlar dezavantaj oluşturmaktadır. Ağızda metal restorasyonlar veya braketlerin varlığı artefakt meydana getirebilmektedir. Radyasyon saçılımına bağlı olarak görüntünün izlenmesine engel olan değişiklikler meydana gelebilmektedir. Yumuşak dokuların görüntülenmesinin sınırlı olması da başka bir dezavantajdır (27). Ölçülerin

KIBT kullanılarak taranması zaman, cihaz ve eğitimli personel gerektirmesi sebebiyle rutin kullanılabilirliği kısıtlamaktadır.

2.2.2.3. Lazer Yüzey Taraması

3B lazer tarama, herhangi bir nesnenin dijital bir 3B modelini oluşturmak için lazer destekli cihazlarla tarama yapılması işlemidir. Ölçüler veya alçı dental modeller tarama esnasında otomatik olarak dönen ve eğimlenen, etrafı kapalı bir platforma yerleştirilmektedir. Taraması yapılacak nesnenin, 3B verilerini toplamak için nesnenin yüzeyleri üzerine lazer ışını gönderilir. Lazer ışını obje üzerine yansıtılmakta ve kameralar ile yüzeyden objenin ayna görüntüsü elde edilmektedir. Gönderilen ışınlar, tarayıcıya yerleştirilmiş bir kamera sensörü ile takip edilerek verilerin elde edilmesi sağlanmaktadır (28).

Bu teknikle tek bir model tarama ve sanal model tasarımı yaklaşık 5 ile 7 dakika arasında tamamlanabilir. Yazılımlar hasta kayıtlarının, model analizlerinin ve tedavi planlamalarının dijital olarak saklanması sağlar. Yazılım aynı zamanda ölçüm ve kimlik tanımlama, ark uzunluğu analizi, diş segmentasyonu ve oklüzyonun değerlendirilmesi gibi otomatik işlemlere de imkan sağlamaktadır (29).

2.2.2.4. Ağız İçi Tarama ile Dijital Model Elde Etme

Çeşitli dosya formatları sayesinde dışa ve içe veri aktarabilme özelliği bulunmakta, böylece 3B özelliği sayesinde dijital planlama, tedavi tasarımı yapılabilmektedir. Her tarayıcı türü çözünürlüğü açısından farklılık gösterir ve bu üretilen görüntülerin kalitesini etkiler (30).

Teknolojik gelişimin hızlanmasıyla birlikte, yoğun iş gücü gerektiren birçok durumu tamamen dijital iş akışlarıyla değiştirme şansı yakalanmıştır. Geleneksel laboratuvar üretimi ile karşılaştırıldığında dijital modeller hasar görmemesi, depolama koşullarındaki kolaylık, hekimler ve hekim- laboratuvar arası transfer hızı ve kolaylığı, azalan malzeme ve insan gücü kaynağı, atık malzeme miktarının azalması gibi birçok avantajı ile alçı modellere kıyasla üstünlük sağlamaktadır.

3B dijital modeller üzerinde bilgisayar yazılımları yardımı ile dış-ark boyu uyumsuzluğuna dair analizler ve lineer ölçümler yapılabilmektedir (31). Literatürde dijital modeller üzerine yapılan ölçümlerin güvenilirliği üzerine birçok çalışma gerçekleştirilmiş, dijital modellerin alçı modeller kadar güvenilir bir tanı aracı olduğu bildirilmiştir (29,35,36).

2.3. 3B YAZICILAR

Günümüzde gelişen teknoloji yaşam kalitesini arttırabilmek, zaman tasarrufu, iş gücünün ve maliyetin azaltılması için bizleri sürekli değişime ve yeniliğe yönlendirmektedir. İnovasyonun ve girişimciliğin meydana getirdiği yenilikler sayesinde 3B yazılım teknolojileri hayatımızda birçok alanda önemli bir yer kazanmaya başlamıştır.

Birçok farklı teknolojiyi çatısı altında bulunduran 3B baskı, dijital ortamda tasarlanmış olan objeleri eklemeli imalat yöntemleri kullanılarak fiziksel objelere dönüştürülmesine imkan veren bir imalat yöntemidir. 3B baskının temel mantığı olan katmanlı imalat, eksiltmeli imalat yönteminin tersidir.

3B baskı, kişiye veya objeye özel sanal ortamda tasarlanmış ya da hazır olarak bulunan 3B modelin, polimer, kompozit, reçine gibi malzemelerden ısı veya kimyasal işlemle geçirilerek 3B yazıcıdan baskısının elde edildiği teknolojik işlemdir. Bu katı maddesel çıktının alınması ve elde edilmesi iki boyutlu (2B) katmanların üst üste sıralanmasıyla tabakalama yöntemiyle meydana gelmektedir.

3B baskı, bilgisayar modeli bir şekli çoğaltmak için ardışık materyallerin katmanlarını "yazdırarak" katı nesnelerin oluşturulduğu mekanik bir süreç olarak tanımlanır (32). 3B yazıcılar, günümüzde kullanılan iki boyutlu çıktılarının alındığı geleneksel yazıcıların gelişmiş versiyonlarıdır. 3B yazıcılar, otomotiv ve havacılık endüstrilerinde kullanılan araç parçalarının prototiplerini üretmek, mimarlık alanında yapısal modellerin basılmasında, tüketici ürünleri endüstrisinde prototip geliştirmek amaçlı ve sağlık hizmetleri, otomotiv, uzay ve savunma endüstrileri dahil birçok sektörde kullanılmaktadır (33).

3B yazıcıların tarihi 1980'li yılların başlarına dayanmaktadır. Charles W' Chuck 'Hull tarafından 1984 yılında yapılan “Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography” isimli çalışmada ABD patent numarası US4575330 A ile dünyanın ilk 3B yazıcısı olarak tarihte kayıtlara geçmiştir (12).

1986'da Hull, 3D Systems şirketini kurmuştur. Hızlı prototipleme için ilk makineyi pazarlayarak buna stereolitografi (SLA) adını vermiştir. 1988, Scott Crump erimiş birikim geliştirdi tarafından ticarileştirilen modelleme (FDM) 1990'da Stratasys. Objet Geometries, PolyJet fotopolimer (PPP) baskının geliştirme operasyonu, 1998 yılında kuruldu. Düzinelerce 3D yazıcı SLA, FDM ve PolyJet varyasyonlarını kullanan teknolojiler artık birçok farklı şirkette mevcuttur (34).

3B yazıcı baskı temeli, bilgisayar destekli tasarıma dayanır fakat tasarımın son ürün meydana getirme şekli farklılaştırılmıştır. Tasarım ilk önce stl dosya biçimine dönüştürülür. Stl dosyaları, modellerin doku ve yapı özelliklerini kapsamamakta, modellerin yalnızca geometrik özelliklerini tanımlamaktadır.

Bir modelin yüzey yapısı üçgen yapılardan oluşmaktadır ve yüzey yapısına bağlı olarak üçgen alanların sayısı değişiklik göstermektedir. Bu modeller çeşitli bilgisayar programlarıyla düzenlenir ve düzenleme esnasında, modelde yoğunluk ayarları, yüzey ve hacim düzenleme, netlik ayarları gibi işlemler de uygulanır. Düzenlenmesi tamamlanan modeller 3B yazıcılara gönderilerek, ürün tabakalama şeklinde birbiri üzerine ilaveler yapılarak fiziksel modele dönüştürülür (35,41).

Üretim hızı, katman kalınlığı, kullanılan malzeme gibi özellikler başta olmak üzere farklı baskı teknikleri kullanan birçok 3B yazıcı teknolojileri bulunmaktadır. Bu teknoloji ile, bilgisayar destekli tasarım süreci ile ifade edilen hemen her 3B nesnenin üretimi mümkün hale gelmektedir (36).3B yazıcı, baskı kafasını x ve y düzlemi boyunca hareket ettirerek üretilecek nesnenin tabanını oluşturmak için tasarım dosyasındaki veriyi işler. Ardından yazıcı, nesneyi dikey yönde katman katman oluşturmak için yazıcı kafasını z eksenini boyunca hareket ettirerek her katmanda tasarım verisini işlemeye devam eder. Nesnenin tüm tabakaları tamamlandığında, 3B baskı işlemi ile ürün de elde edilmiş olur.

Eklemeli üretim, Amerikan Test ve Malzeme Kurumu (American Society for Testing and Materials) tarafından 7 kategoride sınıflandırılmıştır (37):

	EKLEMELİ ÜRETİM TEKNOLOJİSİ	TEKNOLOJİNİN KISA AÇIKLAMASI	TİCARİ İSİMLERİ
1.	Toz Yatak Füzyonu	Termal enerji toz yatağının bölgelerini birleştirir	SLS, DMLS, SLM
2.	Malzeme Ekstrüzyonu	Nozul aracılığıyla malzeme dağıtımı yapılır	FDM, FFF
3.	Tank Foto polimerizasyonu	Tanktaki sıvı foto polimer ışıkla kürlenir	SLA, DLP
4.	Malzeme Püskürtme	Malzeme damlacıkları seçici olarak biriktirilir	PolyJet, NJP
5.	Bağlayıcı Püskürtme	Sıvı bağlayıcı madde seçici olarak biriktirilir	3DP, CJP
6.	Sac Laminasyonu	Malzeme levhaları yapıştırılır	LOM, UAM
7.	Yönlendirilmiş Enerji Biriktirme	Malzemeleri biriktirirken eriterek kaynaştırmak için odaklanmış termal enerji kullanılır	LENS, EBAM

Şekil 2.1. ASTM ‘ye göre Eklemeli Üretim Teknolojileri Sınıflaması

2.3.1. Eklemeli Üretim 3B Yazıcı Teknolojileri

2.3.1.1. SLA (Tarayarak Işıklı Kürleme Tekniği)

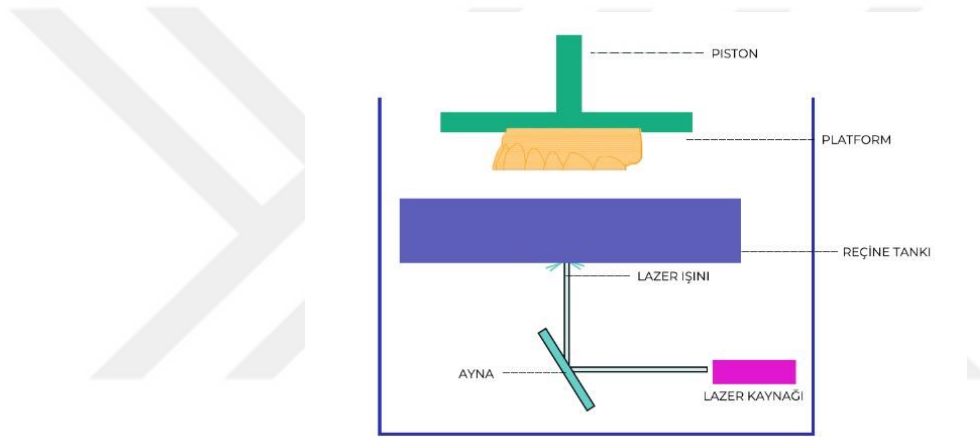
SLA (Stereo Lithography Appearance) Tarayarak Işıklı Kürleme Tekniği, UV lazer ışın kaynağı kullanarak foto polimerizasyona yapmaya dayalı bir 3B yazıcı tekniğidir (Şekil 2.1). Lazer ışını, sıvı reçine üzerindeki parçanın kesitini tarar ve sertleştirir. Parçayı platforma konumlandırmak için yazılım üzerinde destek yapıları (support) oluşturulur, nesne üretildikten sonra söz konusu destek yapılar nesnenin yüzeyinden çıkartılır (38). Genellikle, SLA cihazında kullanılan lazer ışınının dalga boyu 355 nm'dir ve lazer ışını reçine tankının üzerindedir. Pozlama yönü üsttendir ve sıvı reçine lazer ışını ile tarandığında çözülür.

Üretim esnasında reçine içine bir platform indirilir; platformun yüzeyi, reçine yüzeyinin altında bir tabaka halinde yer alır. Daha sonra bir UV lazer, foto polimer reçinesini seçici olarak sertleştirerek ve katılaştırarak bir sonraki katmanı oluşturur. Lazer ışını, bir ayna seti kullanılarak önceden belirlenmiş yola odaklanır. Modelin tüm kesit alanı ışık ile kürlenir. Bu şekilde üretilen parça tamamen katılaştır. Bir

katman bittiğinde platform güvenli bir mesafede yukarı doğru hareket eder. Her katman için bu adımlar tekrarlanır (39).

Sertleştirme işlemi, 3B model tamamlanana kadar katman katman tekrarlanır. Bir katmanın yüksekliği 12 ila 150 μm arasında değişir. Pratikte 100 μm en çok seçilen katman yüksekliğidir. SLA üretiminin doğruluğu, kürlleme noktasındaki lazer ışınının çapı, yani nokta boyutu ile ilgilidir. Örneğin, bir Formlabs Form 2 SLA yazıcıda spot boyutu 140 μm 'dir(40).

Teorik olarak, lazer ışını geniş bir alan üzerinde hareket edebilir. Bu nedenle, SLA baskı tekniği büyük boyutlu modeller yazdırabilir.



Şekil 2.2: SLA teknolojisi şeması

SLA, oturmuş bir yapıya, istikrarlı baskı işlemine ve çok sayıda makine tedarikçisine sahip en eski hızlı prototipleme teknolojisidir. Şimdiye kadar, SLA büyük boyutlu modeller yazdırabilen tek foto kürlleme 3B baskı tekniğidir. Ancak, lazer ışınının hareketine bağlı sertleşme oranı nedeniyle düşük baskı hızına sahiptir. Modellerin boyutu ne kadar büyük olursa, baskı hızı o kadar yavaş olur (41).

Baskı çözünürlüğü lazer ışınının boyutuna bağlıdır, bu nedenle, diğer foto-sertleştirme tekniğiyle karşılaştırıldığında, SLA düşük çözünürlüğe sahiptir (42). Buna rağmen, SLA tekniğinin hassasiyeti, karmaşık yapıya ve boyutlara sahip nesneleri basmak için yeterince iyidir. SLA ile bir prototip kısa sürede üretilebildiği ve iyi bir yüzey kalitesi elde edilebildiği için diş hekimliği, oyuncak sektörü, kalıp oluşturma, otomotiv, havacılık gibi birçok alanda tercih edilmektedir, bunun yanında

üretim haznesinin büyük olmaması ve hammadde maliyeti dezavantaj oluşturmaktadır (43).

2.3.1.2. DLP (Dijital Işık İşleme)

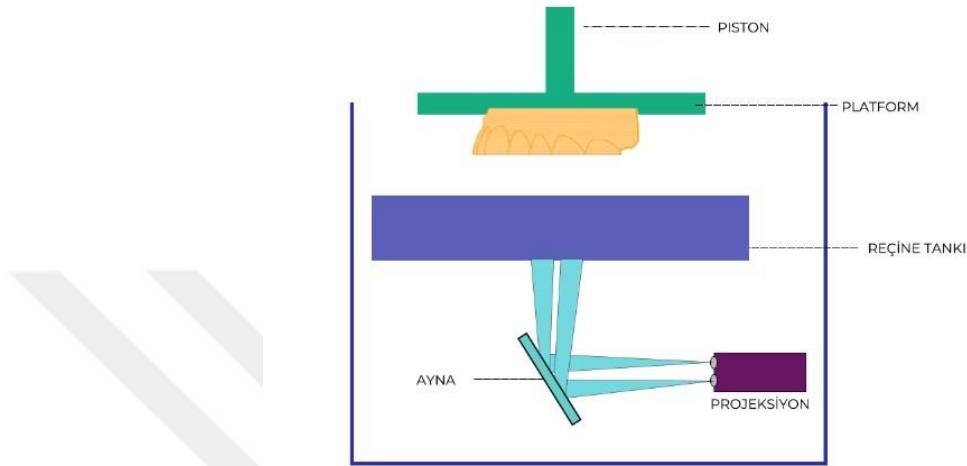
DLP (dijital ışık işleme) teknolojisi ışık kaynağı hariç SLA üretim teknolojisi ile benzerlik göstermektedir. DLP teknolojisinde lazer ışını yerine reçine tankının altında bir projektör bulunmaktadır. Bu projektörler tepegöz projektörlerinde de kullanılan bir teknoloji olan bir dijital mikro ayna cihazı (DMD) aracılığıyla polimerizasyon yapmaktadır. Minimum 50 μm (0.05mm) boyutunda baskı yapabilen yüksek baskı çözünürlüğüne sahiptir. Yarı iletken ambalaj malzemeleri UV ışığını tolere edemediğinden, 405 nm dalga boyuna sahip LED lamba, DLP 3B baskı makinesinin ışık kaynağıdır (44).

Ürünün tüm katmanları (dilim) tek bir pozlama adımında üretildiğinde, yapım süresi SLA'dan önemli ölçüde daha kısadır. Üretim sırasında projektör ilk katmanı dondurduktan sonra üretim tablası bir kat yukarıya hareket etmekte ve diğer katman oluşturulmaktadır (45).

Baskı yapma işlemi yazıcı tablasının reçine tankına batırılmasıyla başlar. Tabla belirlenen katman kalınlığı kadar bir boşluk kalıncaya kadar zemine yaklaşır. Altta bulunan şeffaf zeminden geçebilen ışık profili, zemin ile tabla arasında boşluk kalacak kadar bir kalınlıktaki reçineyi foto polimerize ederek katılaştırır (46).

Üretimin sonunda üretilen obje tablada baş aşağı olacak şekilde durmaktadır. DLP teknolojisinin SLA'ya göre avantajı, her katmanın tek seferde polimerize olmasıdır. DLP, SLA'ya kıyasla oksijen inhibisyonundan daha az etkilenir, çünkü polimerize edilen reçine tabakası her zaman teknenin dibindedir ve hava ile doğrudan temas halinde değildir (47). DLP' de projektörün çözünürlüğü basım kalitesi ve hacmiyle doğrudan ilişkilidir. DLP teknolojisi SLA'ya göre önemli ölçüde daha hızlı baskı sağlamaktadır (48). DLP teknolojisinin en büyük avantajı yüksek hassasiyette baskılama yapabilmesidir. Yüksek hassasiyette baskı için projeksiyonun boyutları sınırlandırılmaktadır. Bu sınırlandırma ancak küçük boyutlu nesnelerin üretilbilmesine neden olmaktadır (49).

DLP, 25 μm çözünürlüklere ulaşabilen bir yöntemdir. DLP sistemlerinin yatay çözünürlüğü, DMD tarafından sağlanan piksel/ayna sayısına bağlı olarak genellikle 10–50 μm aralığındadır. Dikey çözünürlük, yani mümkün olan en küçük katman kalınlığı, esas olarak malzemeye, ışık penetrasyon derinliği sonucu ortaya çıkan kürleme derinliğine bağlıdır (47).



Şekil 2.3. DLP Teknolojisi şeması

2.3.1.3. MultiJet

PolyJet olarak da adlandırılan MultiJet (MJP) tekniği, İsrail kökenli bir şirket Objet tarafından 2000 yılında patentlenmiştir. MJP 3B baskı, birçok püskürtme ucu dizisinin birlikte çalışması için modelleri verimli bir şekilde yazdırabilir. Model dilimleme verilerine göre, yüzlerce ila binlerce nozul platformda çalışırken katman katman sıvı ışığa duyarlı reçine tabakası püskürtür ve baskı nozulları XY düzlemi boyunca hareket eder (50).

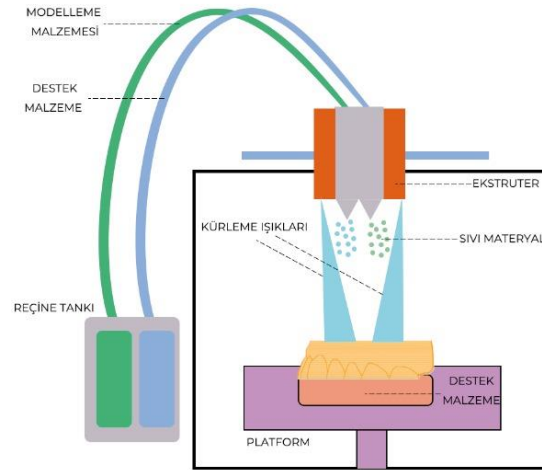
Işığa duyarlı reçine çalışma masasına püskürtüldüğünde, silindir, püskürtülen reçinenin yüzeyini düz bir şekilde işleyecek ve UV lambası ışığa duyarlı reçineyi kürleyecektir. Sprey baskı ve ilk katmanın kürlenmesi tamamlandıktan sonra, cihazın yerleşik tezgahı son derece hassas bir şekilde katman kalınlığını düşürür ve nozullar bir sonraki baskı ve kürleme katmanı için ışığa duyarlı reçineyi püskürtmeye devam eder (50).

PolyJet baskı, 1200 DPI nozûlden biriktirilen katman kalınlığının 14 µm dikey çözünlüğüne kadar doğrulukla inkjet teknolojisini kullanır. Yüksek doğruluk, üretim alanına küçük damlacıklar püskürten ve daha sonra her katman için anında UV ışığına maruz kalan çoklu nozullarla elde edilir. Karmaşık geometri, ürün üretimi tamamlandıktan sonra kolayca üründen uzaklaştırılabilen destek malzemeyle kaplanmasıyla desteklenebilir. Destek yapılar üretilen objeden manuel olarak, WaterJet teknolojisi (yüksek basınçlı su ile) veya sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisine batırma yoluyla çıkarılabilir (51).

SLA ve DLP 3B baskı teknolojilerinden farklı olarak, MJP 3B baskının lamba kaynağı ve görüntüleme kontrolü bağımsızdır. Teoride, MJP ışık kaynağının dalga boyu sınırsız olabilir. Böylece MJP 3B baskı için radikal, katyonik ve hibrit foto polimerizasyon seçilebilir. Ek olarak, reçinenin viskozitesi düşük viskoziteye ihtiyaç duyan mürekkep püskürtmeli MJP 3B baskı için önemlidir.

Böylece MJP 3B baskı için radikal, katyonik ve hibrit foto polimerizasyon seçilebilir. Ek olarak, mürekkebin enjekte edilebilir olmasını sağlamak için mürekkep püskürtmenin düşük viskoziteye ihtiyaç duyması nedeniyle reçinenin viskozitesi MJP 3B baskı için önemlidir. Polyjet baskı ile üretilen nesneler yapım sürecinde tamamen kürlenir ve üretim sonrası kütleme gerekli değildir.

Bu yöntem ile farklı malzemeler, farklı renkler, farklı sertliklerdeki çeşitli malzemeler, çok renkli malzemeler aynı anda basılabilir. MJP 3B baskı, 16 µm'ye kadar düşük katman kalınlığı yazdırabilen çok yüksek işleme doğruluğuna sahiptir. Destekleyici malzemeler eriyebilir veya çözünür olduğundan, desteklerin çıkarılması işlemi hasarsız ve kolaydır. Ancak, MJP yazıcı makinesi ve üretimde kullanılan malzemeler pahalıdır ve düşük viskozite gereklidir. MJP teknolojisi, yüksek işlem hassasiyeti gerektiren alanlarda uygulanabilir (50).



Şekil 2.4. Multijet Teknolojisi şeması

2.3.1.4. FDM (Birleştirmeli Yığma Modeli)

FDM (Fused Deposition Modelling) yani “birleştirmeli yığma modeli” olarak adlandırılan yöntem baskı kafası olarak adlandırılan bölümün üç eksen üzerinde yaptığı harekete göre geliştirilmiştir. Dünyadaki en popüler ve yaygın olarak kullanılan teknoloji FDM’dir.(37) FDM, 1988 de S. Scott Crump tarafından bulunmuş bir teknolojidir (52). Yazıcının daha karmaşık olmasına bağlı olarak, birden fazla baskı kafası gibi gelişmiş özelliklere sahip olabilir. Baskı kafası yatay eksenini temel alarak üçüncü ekseninde yığma yaparak ürünü meydana getirir (53).

Filament halindeki katı termoplastik polimer, ısı ayarlı nozul içerisinden geçirilerek erime noktasının yaklaşık 2 derece üzerine kadar ısıtılır. Sıvı reçineyi yansıtılan ışıkla sertleştirmek yerine, erime noktasının hemen ötesinde ısıtılmış bir reçineyi ekstrüde ederek katman katman biriktirir. Isıtılan malzeme ekstrüde edildikten hemen sonra sertleşir, böylece yanlışlıklar en aza indirilir (34). Isı ile eriyen malzeme baskı kafasından çıkarak sertleşir ve bu şekilde katman katman model oluşturulduktan sonra parça üretim haznesinden sökülür (54).

Baş bölümü ısı ile polimer malzemeleri eriterek şekillendirmeyi yapmaktadır. Bu işlem için en çok tercih edilen polimer malzemeleri Polilaktik Asit (PLA) ve Akrilonitril Butadin Stiren (ABS)’dir. Plastik malzemeler grubunda en yüksek

malzeme mukavemetine bu teknoloji ile ulaşılmaktadır. Bunlar genellikle gerektiğinde kolayca değiştirilebilen makaralar üzerinde bulunmaktadır (34).

2.3.1.5. SLS (Seçici Lazer Sinterleme)

1980’li yılların ortalarında, Teksas Üniversitesinde Joe Baeman tarafından geliştirilmiş bir teknolojidir. Üretim yöntemi; toz metallerin ısı ve basınç altında katı cisimlere dönüştürülmesi prensibine dayanmaktadır (55).

Seçici Lazer Sinterleme (SLS), parça oluşturmak için toz halde bulunan malzemenin bir lazer ışını ile sinterlenerek birleştirildiği bir eklemeli üretim işlemidir (56). Toz, inşa alanını tamamen kaplayan düzgün bir yüzey oluşturmak için bir düzleştirici silindir ile eşit şekilde dağıtılır ve yayılır. Odaklanmış bir lazer ışını daha sonra toz katmanına tam olarak yönlendirilir ve parçanın enine kesitini tarar. Her katman üretildikten sonra, bir rulo yatak üzerine taze bir toz tabakası yayılır ve işlem, parça tamamlanana kadar tekrar eder (57). SLS yöntemi, toz halindeki malzemeyi, katı bir parça haline getirebilmek için, lazer enerjisi kullanır. Başlangıçta ince toz tabakası serilir ve lazer enerjisi ile ısıtmaya başlanır. Işının toz yüzeyine çarptığı noktalarda oluşan sıcaklık etkisiyle kısmi sinterleme gerçekleştirilir ve tozlar, temas halinde olduğu tozlarla birleşerek, katı bir cisim oluşturur (58). Sinterlenmeyen tozlar ise destek görevi görürler ve prosesin sonunda parça tozlardan temizlenerek çıkartılır.

Lazer ışını, lazer tarayıcı denen bir parça vasıtası ile insan gözünün algılamakta güçlük çekebileceği hızlarda, katmanları oluşturabilmektedir. Bu teknolojide kullanılan lazer gücüne bağlı olarak metal, plastik ve seramik olmak üzere neredeyse birçok farklı malzeme ve malzeme karışımlarını kullanılabilir. SLS teknolojisinde FDM den farklı olarak parçalar ham madde olarak kullanılan toz içine gömülü olarak üretilmektedir bu nedenle birçok modelde destek malzemesi kullanılma ihtiyacı ortadan kalkmaktadır. Ancak bu yöntem FDM ile karşılaştırıldığında oldukça yavaş bir yöntemdir. Bunu sebebi ise her katman için düzgün bir toz yüzeyi serilmesi gerektirmesidir. Tozun düzgün serilebilmesi için

serici kafa oldukça yavaş hareket etmektedir, bu durumda toplam üretim süresini arttırabilmektedir (59).

2.3.1.6. Binder Jet

Kiriş bazlı olmayan bir eklemeli üretim yöntemi olarak bağlayıcı jet 3B baskı (BJ3DP), sıvı bir bağlayıcının toz halindeki malzeme katmanları üzerine püskürtüldüğü, seçici olarak birleştirildiği ve ardından bunu yoğunlaştırma işleminin takip ettiği bir işlemdir (60).

Bağlayıcı püskürtme teknolojisi ilk olarak 1993 yılında Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde geliştirilmiştir. Termal kabarcıklı mürekkep püskürtmeli yazıcı kafaları aracılığıyla bir alçı tipi toz ve bir gliserin/su bağlayıcı kullanarak baskı işlemini geliştiren Emanuel Sachs tarafından patenti alınmıştır (61).

Eklemeli üretim teknolojileri arasında bağlayıcı püskürtme, 3B baskılı örneklerde izotropik özellikler elde etmek için karmaşık yapıların hızlı bir şekilde üretilmesini olanak sağlamaktadır. Geleneksel toz metalurjisinden yararlanarak, BJ3DP makineleri, geleneksel toz metalurjisi ile elde edilenlere benzer malzeme özellikleri ve yüzey kalitesine sahip prototipler üretebilirler (60).

Bağlayıcı püskürtme, toz halindeki malzemenin bir katmana yayıldığı ve polimerik sıvı olan bir bağlayıcı ile seçici olarak istenen katman şekline birleştirildiği bir eklemeli imalat yöntemidir. Yapı ilerledikçe, baskının katmanları birbirine yapıştırılır ve istenen parça geometrisinin 3B şeklinde düzenlenmiş bağlayıcılı bir toz kutusu elde edilir. Kutu daha sonra gerekirse bağlayıcıyı "sertleştirmek" veya "ayarlamak" için ısıtılabilir ve daha sonra basılı parça(lar) "toz giderme" adı verilen bir işlemle toz yatağından çıkarılabilir. Bu noktada, basılı parçalar "yeşil" olarak kabul edilir veya son kullanım için uygun değildir ve daha sonra arzu edilen mekanik özellikleri elde etmek için sinterleme veya sızma gibi bir son işleme tabi tutulur (62).

2.3.1.7. Yönlendirilmiş Enerji Biriktirme

Yönlendirilmiş Enerji Biriktirme (DED) bir dizi terminolojiyi kapsar: 'Lazerle tasarlanmış ağ şekillendirme, yönlendirilmiş ışık üretimi, doğrudan metal biriktirme, 3B lazer kaplama' Bu, genellikle mevcut bileşenleri onarmak veya bunlara ek malzeme eklemek için kullanılan daha karmaşık bir baskı işlemidir (63).

Tipik bir DED makinesi, erimiş malzemeyi katılaştığı belirtilen yüzey üzerine bırakan çok eksenli bir kol üzerine monte edilmiş bir nozuldan oluşur. İşlem prensipte malzeme ekstrüzyonuna benzer, ancak nozul birden fazla yönde hareket edebilir ve belirli bir eksene sabitlenmez. 4 ve 5 eksenli makineler sayesinde her açıdan çöktilebilen malzeme lazer veya elektron ışını ile biriktirilerek eritilir. Malzeme olarak polimerler ve seramikler kullanılabilir, ancak tipik olarak metaller ile toz veya tel şeklinde kullanılır (64).

2.3.1.8. Lamine Nesne Üretimi

Lamine Nesne Üretimi (LOM), bir ürün oluşturmak için katman katman toplama ve çıkarma tekniklerini birleştiren bir süreçtir. İlk eklemeli imalat yöntemlerinden biridir. Bu işlemde malzemeler tabaka halinde gelir (65). Malzeme kesme yatağına yerleştirilir. Katmanlar, basınç ve ısı uygulaması ve termal yapışkan kaplama kullanılarak birbirine yapıştırılır. Frezeleme, her katman eklendikten sonra veya tüm işlemden sonra yapılabilir. Kullanılan metaller arasında alüminyum, bakır, paslanmaz çelik ve titanyum bulunur. İşlem düşük sıcaklıktadır ve iç geometrilerin oluşturulmasına izin verir. En yaygın kullanılan malzemelerden biri A4 kâğıdıdır. Bu tekniğin avantajları, düşük maliyet, sonradan işleme ve destekleyici yapılar gerektirmemesi, işlem sırasında deformasyon veya faz değişikliği olmaması ve büyük parçaların oluşturulabilmesidir (66).

2.3.2. 3B Yazıcılarda Üretim Süreci

2.3.2.1. Modelleme

Üretime başlamadan önce ilk aşamada istenen özelliklere göre ürün bilgisayar ortamında 3B model olarak tasarımı yapılması veya var olan bir obje lazer tarayıcı ile taranarak elde edilen stl. dosyası görüntüsü gerekmektedir. Hazırlanan model üzerinde hiçbir alanda açık yüzey olmamalı, model kapalı bir hacme sahip olmalıdır. Model bilgisayar ortamında hazırlandıktan sonra STL dosyası olarak kaydedilmektedir. Masaüstü yazılımlara ek olarak bulut bilişim teknolojileri altyapısı ile çalışan web tabanlı yazılımlar da kullanılabilir. Bu tip yazılımlar, diğer modelleme yazılımlarına göre 3B yazıcılar için daha fazla özelleştirilmiştir.

3B yazıcılar için özel olarak hazırlanmış hazır modeller de mevcuttur. Bu modeller, internet platformlarında bulunabilmektedir. Farklı tasarımcıların hazırladığı modellerin yüklendiği bu platformlar sayesinde, hiçbir ek modelleme işlemi yapmadan üreticiler kendi istediklerini objeleri üretebilmektedir (67)

2.3.2.2. Dilimleme

STL dosyasındaki model, dilimleme yazılımı ile katmanlara ayrılmaktadır. Dilimleme işleminde bilgisayar destekli tasarım verisi 3B yazıcının anlayacağı bir makine diline g-koduna çevrilmekte ve yazdırmaya hazır hale getirmektedir. Dilimleme için kullanılan araçlar modelin tüm katı şekillerini bulmaya çalışır (67).

Dilimleme yazılımı, 3B nesneyi pek çok yatay katmanda dilimlere ayırır ve bir 3B yazıcı kafasının (ekstrüder) satır satır, katman katman dökebileceği yolları oluşturur. Katı şekiller yazıcının katman yüksekliği kalınlıktaki katmanlar halinde kesilir. Yazıcı, tasarım ürünü katman katman iki boyutlu olarak yazdıracak ve verilen katman yüksekliği ile katmanlar arasında üçüncü boyutta hareket edecektir. Dilimleme kalitesinin baskı sonucu üzerinde büyük bir etkisi vardır (68). Çünkü 3B yazıcı ile üretim sırasında gerekli olan birçok parametre bu aşamada belirlenmektedir. Bu parametreler aşağıda sıralanmıştır:

Katman Kalınlığı: Ürünün Z yönündeki hassasiyetini belirleyen parametredir. İnce katman kalınlığı ile daha uzun sürede yüksek çözünürlüklü ürün elde edilmektedir. Ayrıntıların önemli olmadığı hızlı ürün prototiplerinde kalın katman kalınlığına sahip düşük çözünürlüklü parametreler tercih edilebilmektedir (67).

Dolgu Deseni: Bu parametre parçanın iç dolgu katmanlarındaki geometriyi belirlemektedir (67).

Dolgu miktarı: 3B yazıcının en önemli özelliklerinden biri parçanın iç hacmini doldurma ihtiyacı olmadan üretim yapabilmesidir. Sağlam ve dayanıklı bir ürün isteniyorsa %100 dolu üretim yapılabilir. Tasarımda doluluk yüzdesi arttıkça ürünün elde edilme süresi uzamakta ve kullanılacak malzeme miktarı da artmaktadır.

Hız ve Sıcaklık: Püskürtücünün hangi sıcaklığa kadar ısıtılacağı ve ne kadar hızlı hareket edeceği bu parametreler ile belirlenmektedir. Genellikle malzemeye ve üretilecek parça geometrisine bağlı olarak farklılık gösterebilir.

2.3.2.3. Yazdırma

3B yazıcı ile ürünün elde edildiği aşamadır. Dilimleme işleminde belirlenen parametrelere bağlı olarak ürün elde edilir. 3B yazıcı teknolojisinin türüne ve istenilen modelin özelliklerine göre kullanılan malzeme, katman kalınlığı, sıcaklık ayarı, üretim süresi değişkenlik göstermektedir. İçi tam dolu ve katman kalınlığı ince ayarlanan bir ürün daha uzun sürede elde edilirken oldukça uzun zaman alabilirken, katman kalınlığı daha kalın iç hacmi boşluklu bir ürün çok daha kısa sürede hazır olabilmektedir.

2.3.2.4. Yazdırma Sonrası işlemler

Destek kaldırma, toz giderme veya reçine kaldırma eklemeli üretim sonrası önemli işlemlerdir. Genel olarak, ürünün özelliklerini geliştirmek için 3B baskıdan sonra son işleme yapılır. Ancak baskı sırasında başlayan sertleşme veya reaksiyonun bir uzantısı olarak da düşünülebilir. Bu, UV direncinin, dayanıklılığın, yüzey

kalitesinin, ısı stabilitesinin, hava direncinin iyileştirilmesi ve geometri toleranslarının ayarlanması dahil olmak üzere çeşitli nedenlerin yanında estetik nedenlerle uygulanır. Üretim sonrası işlemler manuel, yarı otomatik veya otomatik olabilir (69).

Yıkama: 3B baskıdan sonra, kürlenmemiş reçine hala basılı parçaların yüzeyine bağlı olduğu için parçalar genellikle yapışkandır. İzopropil alkol (IPA) ve su yıkamak için yaygın olarak kullanılır.

Destek yapıların üründen uzaklaştırılması: Yıkandıktan sonra, SLA ve DLP yazıcılarda yapılan parçalar için diğer herhangi bir son işlem yapılmadan önce destekler çıkarılmalıdır.

Islak zımparalama/mechanik cilalama: Destek uçlarının zımparalanması düz yüzeylerde yapılabilir. Yüzey sadece destek uçlarında zımparalanabileceğinden, parçaların genel geometrisi etkilenmeyecektir. Islak zımparalama, pürüzsüz bir yüzey kalitesi sağlayarak karmaşık geometriler için idealdir. Bununla birlikte, desteklenen tarafta daha düşük hassasiyete sahiptir ve zımparalama sırasında su kullanılması 3B baskılarda bazı farklılıklara neden olabilir.

Kimyasal mekanik cilalama: Reçinenin yüzey pürüzlülüğünü azaltmak ve parlaklığını artırmak için tek veya iki aşamalı cilalama işlemi yapılabilir.

SLS teknolojisinde ise ürün yüzeyindeki fazla tozu çıkarmak için basınçlı hava kullanılır ve daha sonra ek temizlik için yüzeyde kalan sinterlenmemiş tozu uzaklaştırmak için plastik boncuk püskürtme kullanılabilir. Gözenekli yapıları nedeniyle yazdırma sonrası işlemler de boyama, SLS 3B baskılı ürünler için idealdir. Lake kaplamalar ve vernikleme su sızdırmazlığını artırabilir, yüzey sertliğini iyileştirir, aşınma direncini artırır (69).

Ürünün mekanik özelliklerini artırmak ve stabiliteyi korumak için SLA baskılı modellerde uygulanabilir ve gerekli olan bazı son işlem teknikleri vardır. Bunlar:

UV sonrası kürleme: Bu son işlem, kalan reçinenin tamamen kürlenmesi nedeniyle 3B baskıların gücünü artırır. Ayrıca, daha yüksek sıcaklıklarda yapılan sonradan kürleme, daha kısa kürleşme süresine neden olabilir ve bu da daha yüksek mekanik özelliklerle sonuçlanır.

Termal Son Kürleme: Uzcategui ve ark. (70) UV kürleme ve termal kürlemenin, SLA baskı sonrası mekanik özelliklerin yanı sıra dönüşümü iyileştirmek için kullanılan en yaygın işlem sonrası yöntemler olduğunu bildirmişlerdir.

Bununla birlikte, UV kürlemenin, 3B baskılı parçaların iç kısımlarını iyileştirmediğini, bunun da tamamen dönüştürülmüş malzemelere kıyasla daha düşük özelliklerinin nedeni olduğunu da eklemişlerdir. Bunun nedeni, bir emicinin varlığından kaynaklanan “şeker kabuğu” etkisidir. Bu nedenle sadece dış yüzeydeki ince bir tabaka sertleşir. Yazarlar, tüm malzemenin yüksek dönüşümünü sağlamak için bir termal son kürleme gerçekleştirirken bir termal başlatıcının kullanılmasını önermişlerdir.

2.3.3. 3B Yazıcılarda Kullanılan Malzemeler

Polimerler diş hekimliğinde 3B baskı teknolojilerinde en sık kullanılan malzeme türüdür ve nesne işleme için çoğunlukla polimerleri hammadde olarak kullanır (71). Termoplastik reçineler, FDM teknolojisi için filamentler olarak mevcuttur. Buna karşılık, SLA, DLP ve PolyJet teknolojileri için ışıkla başlatılmış reçineler sıvı formda mevcuttur. Genel olarak, polimerler, termoplastiklerden daha esnektir ve daha fazla kullanılabilir renge sahiptir.

ABS (Akrilonitril Butadin Stiren)

Bir petrol ürünü olan ABS, 1950'lerden beri piyasada bulunmaktadır. Plastik enjeksiyon sektöründe sıklıkla kullanılan hafif ağırlıkta, sert bir termoplastik polimerdir (4). ABS aseton ile çözülebilmektedir. ABS hammaddesi kullanılarak üretilen ürünler 20°C ile 80°C arasında kullanılmaktadır. Erime başlangıç sıcaklığı 105°C olması nedeniyle 80°C üzerinde yumuşama ve şekil bozulması meydana gelmektedir. ABS malzemesi yoğun güneş ışığına ve ısıya maruz kalmamalıdır.

Yüksek dayanıklılık ve darbe direnci nedeniyle mühendislikte sıklıkla tercih edilen bir polimerdir (72).

PLA (Polilaktik Asit)

PLA 1932 yılında Carothers DuPont tarafından bulunmuştur. %100 yenilenebilir kaynaklardan elde edilen biyolojik olarak parçalanabilen bir polyesterdir (73). PLA yarı kristal veya tamamen amorf olabilen termoplastik bir biyopolimerdir; mısır, şeker gibi tarımsal ürünlerin fermantasyonu yoluyla laktik asitten üretilir. Bu çevre dostu polimer, yüksek çekme dayanıklılığı ve şeffaflık özellikleri ile 3B yazıcılarda filament, ambalaj, ev ürünleri, medikal ve tıp, otomotiv, havacılık ve endüstri alanlarındaki birçok uygulamada tercih edilen bir malzemedir (74). PLA, ABS'den daha düşük dayanıklılığa sahiptir ve ısıya dayanımı ABS'ye göre daha düşüktür (74).

Polyesterler

Polikarbonat (PC), aromatik dihidroksi veya alifatik bileşikler içeren karbonik asit bir termoplastik polyesterdir. PC, yüksek mukavemet, sertlik, boyutsal kararlılık, mükemmel biyoyumumluluk ve düşük su emilimi sergiler (4). PC'nin ana uygulamaları dental modeller ve maksillofasiyal aygıtlardır. PC, FDM yazıcılar için bir filament ve SLA teknolojisi için bir fotopolimer olarak mevcuttur (75).

Naylon

Naylon filament dayanıklı ve güçlü bir hammaddedir. Naylon filament medikal alanda sıkça kullanılmaktadır. En popüler naylon filamentler Nylon 618 ve Nylon 645 olarak bilinmektedir. Nylon 618'de tıpkı ABS gibi tablanın ısıtılmasına ihtiyaç duymaktadır.

Fotopolimerik Reçineler:

Prototipleme, mühendislik uygulamaları, medikal uygulamalar ve mücevher yapımı için çeşitli reçineler bulunmaktadır. Prototipleme reçinelerinin maliyeti düşüktür ve pürüzsüz enjeksiyonlu kalıplama benzeri bir kaplama ile baskılarda

yüksek çözünürlük ve yüksek sertlik üretebilir, bu da onu prototipleme uygulamaları için ideal hale getirir.

Bu reçineler ısıtma ve sertleştirme ile bir ağ yapısı oluşturma özelliğine sahip olan sentetik malzemelerdir. Geri dönüşümsüz malzemeler olduklarından tekrar ısıtılsa bile yumuşama olmayacaktır.

Metaller

Metaller ve alaşımlar dental restorasyonlar ve protezlerin imalatı için mükemmel özelliklere sahiptir. Üstün mekanik performansları nedeniyle yaygın olarak kullanılan bu malzemelerin işlenmesi zor ve pahalıdır (71). Dental uygulamalar için 3B baskı teknolojilerinde sıklıkla tercih edilen metal ve alaşım türü, kobalt-krom (Co-Cr) ve titanyum (Ti) alaşımlarıdır. Tercihen Toz Yatak Füzyonu (PBF) teknolojileri için kullanılan bu alaşımlar, küçük partikül boyutlarında toz halinde sunulur. Co-Cr ve Ti alaşımları, mükemmel aşınma direnci, korozyon direnci ve biyouyumluluğun yanı sıra yüksek sertlik ve mukavemete sahip hafif malzemelerdir. Bu özellikleri sebebiyle sıklıkla sabit ve çıkarılabilir bölümlü protezlerde tercih edilmektedir (76).

Seramikler

Dental seramikler dayanıklılık, renk stabilitesi, estetik, termal iletkenlik gibi sahip oldukları doğal diş yapısına yakın özellikler sebebiyle diş protezlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (örn. kronlar, köprüler, inleyler, onleyler ve implantlar)

Zirkonya seramiğin mükemmel mekanik özellikleri ve biyouyumluluğunun yanı sıra presinterleme zirkonyanın işlenmesinin kolaylığı, protezde yaygın olarak kullanılmasını sağlar. Zirkonya seramiklerinin sertlik, mukavemet, aşınma direnci ve korozyon direncinin yüksek olduğu kabul edilir (77).

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışma öncesinde Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Bilimsel Araştırmalar Etik Kurul Başkanlığı'ndan çalışmamızın etik yönden uygulanabilir olduğuna yönelik gerekli izin alınmıştır (2020/527 sayılı).

Tez Projemiz Sağlık Bilimleri Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 2021/128 nolu proje kapsamında desteklenmektedir.

G*Power 3.1.9.7 yazılımı ile yapılan Güç Analizi çalışması sonuçlarına göre 0.25 etki düzeyinde (effect size=0.25) %95 test gücü için minimum 159 örnek gerekli olduğu hesaplanmıştır. Model üretiminde oluşabilecek hatalar göz önünde bulundurularak, Gülhane Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı'na 2010-2019 yılları arası tedavi olmak amacıyla başvuran 12-20 yaş aralığında grup başına 30 çift model olmak üzere toplam 180 hasta modeli çalışmaya dahil edilmiştir.

Bireylerin çalışma kapsamına dahil edilmesinde;

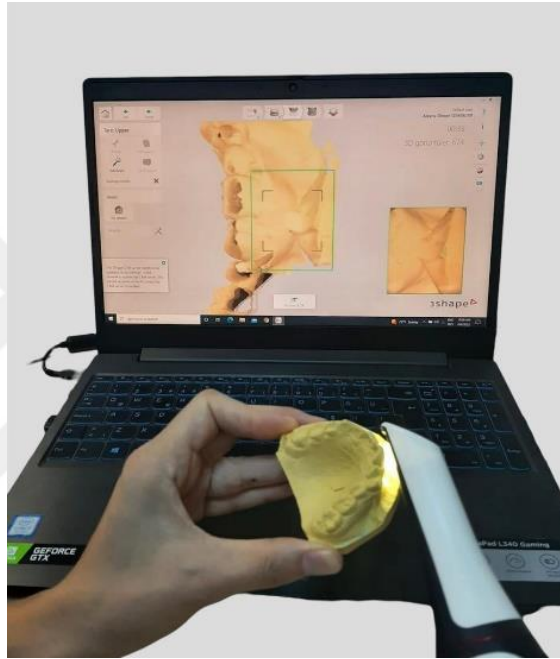
- Daimi diş eksikliğinin olmamasına,
- Daimi dişlenmenin tamamlanmış olmasına,
- Geniş restorasyonların bulunmamasına,
- Diş çürüğüne veya parafonksiyonel alışkanlıklara bağlı madde kaybının fazla olmamasına,
- Ortodontik tedavi geçmişinin olmamasına,
- Konjenital anomali olmamasına,
- Dişlerde sayı, şekil ve boyut anomalisi olmamasına ve
- Yer darlığı veya diastema miktarının 0-4 mm arasında olmasına dikkat edilmiştir.

Alçı modellerden taramaya elverişli olmayan ve düzgün tarama verisi elde edilemeyen modeller çalışmaya dahil edilmemiştir.

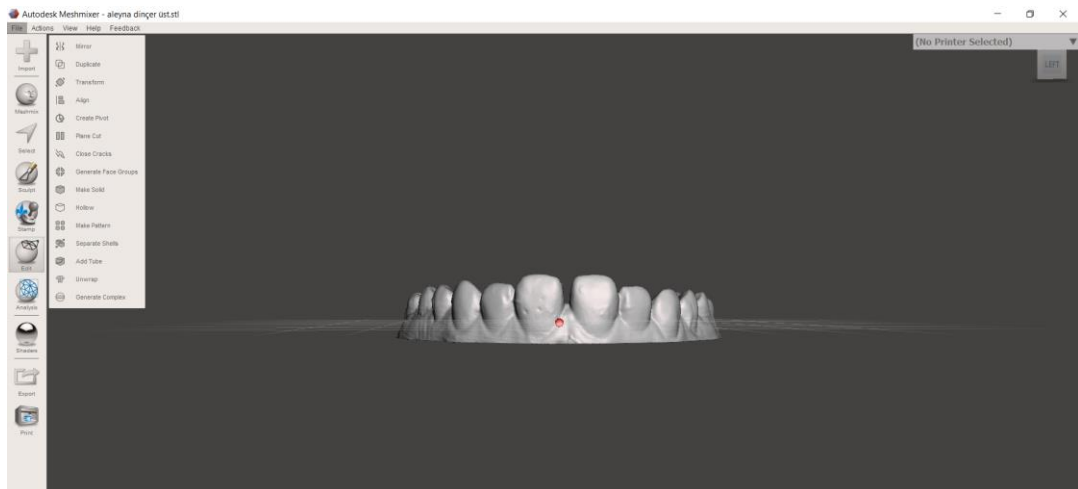
YÖNTEM

Seçilen ortodontik alçı modeller, 3Shape Trios (TRIOS POD, 3Shape, Copenhagen, Denmark) intraoral tarayıcı ile taranarak stl dosyaları elde edilmiştir.

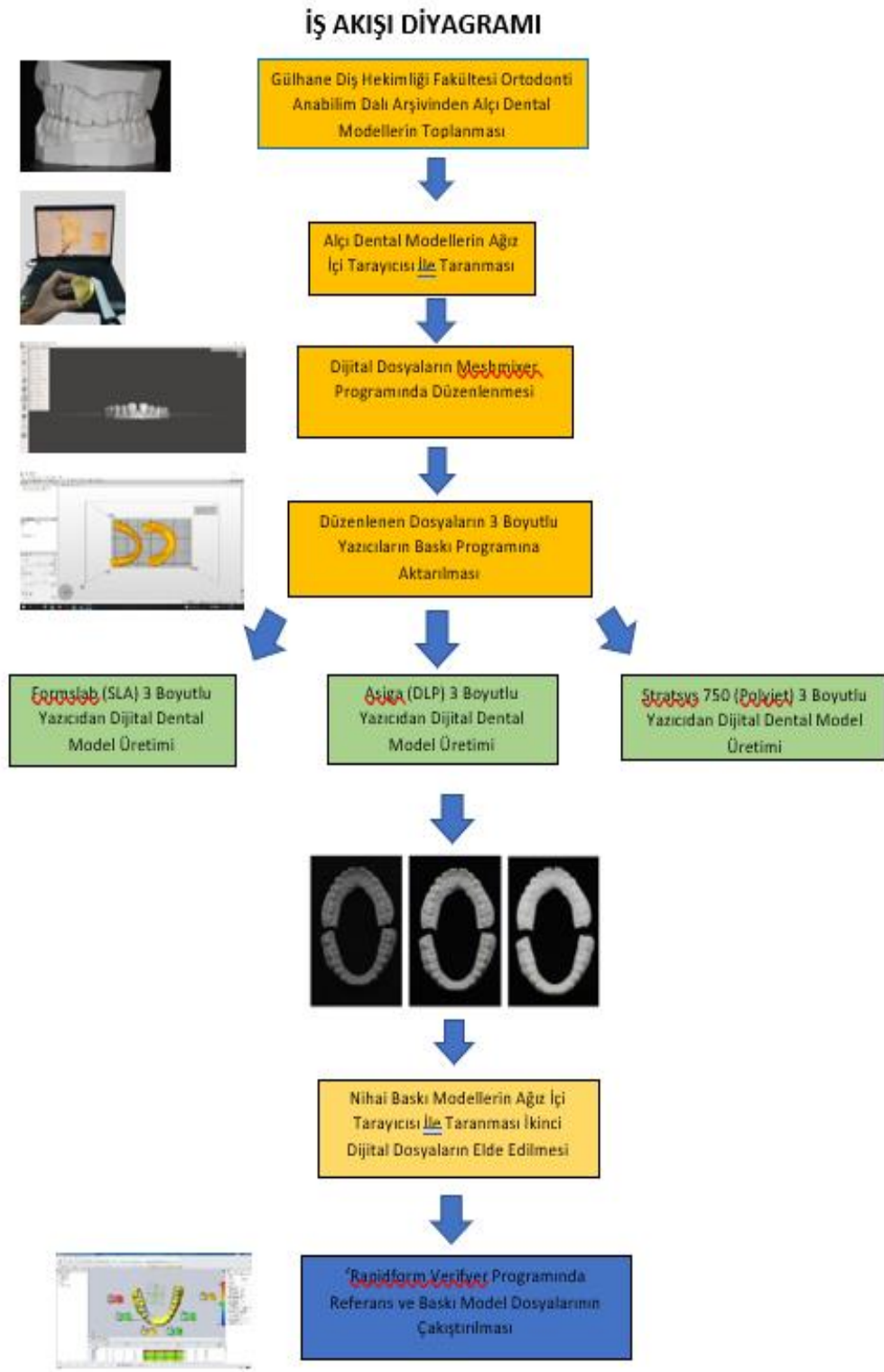
(Resim 3.1) Kullanıcı talimatlarına uyularak alt çene dişleri ile sol 1.molar diş ile tarama başlatıldı ve oklüzyon boyunca sağ 1. molar dişe kadar devam edilmiştir. Önce okluzal yüzeyler, ardından lingual ve bukkal yüzeyler taranmıştır. Maksiller arkta da önce mandibulada olduğu gibi okluzal yüzeyler daha sonra bukkal ve lingual yüzeyler taranmıştır. Okluzal yüzeyleri tararken, tarayıcı kafası dişlerden 0 ila 5 mm arasında mesafede tutulmuştur. Elde edilen. stl dosyaları Autodesk Meshmixer (Version 3.5.474) yazılımında dizayn edilerek baskıya hazır hale getirilmiştir (Resim 3.2.)



Resim 3.1. Alçı Modellerin tarayıcı ile taranması



Resim 3.2. Dijital dosyaların baskıya hazırlanması

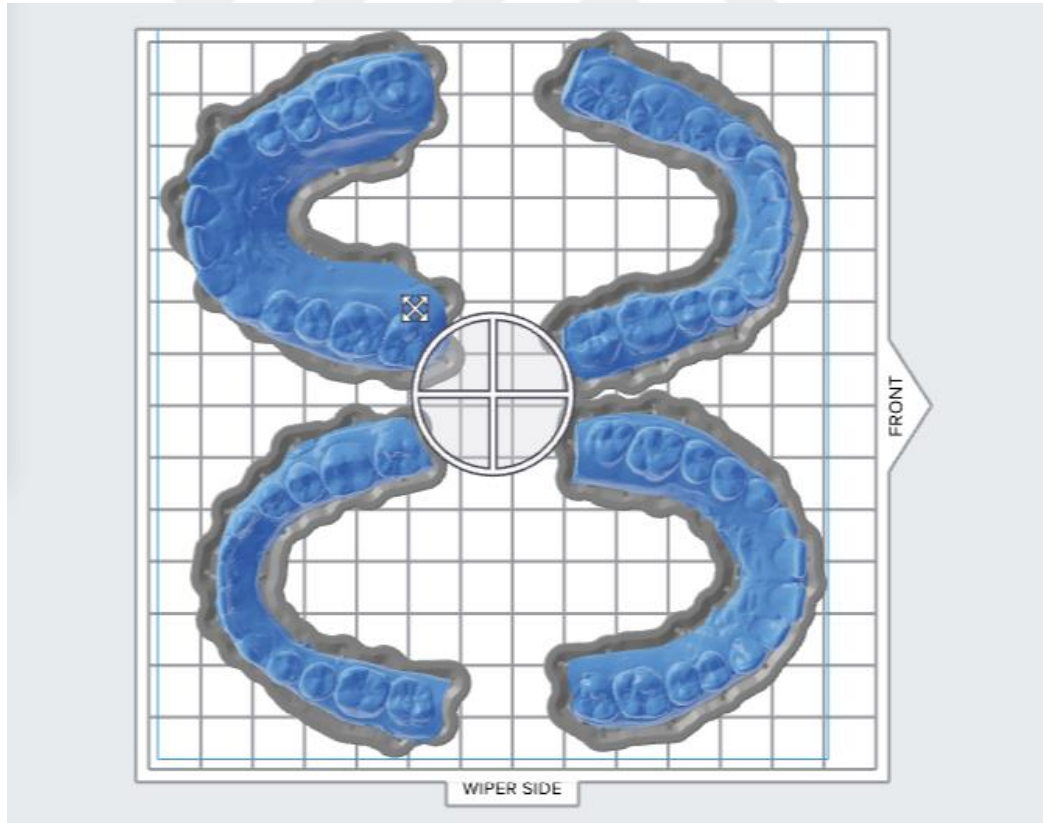


Şekil 3.1. İş Akışı Diyagramı

3.1. 3B YAZICILARDA MODELLERİN ÜRETİLMESİ

3.1.1. Dijital Dental Modellerin SLA Teknolojisine Sahip 3B Yazıcıda Üretilmesi

Baskıya hazır hale getirilen 30 alt-üst toplam 60 dental modele ait dijital dosyalar Gülhane Medikal Tasarım ve Üretim Uygulama ve Araştırma Merkezi (METÜM)’de bulunan SLA baskı teknolojisine sahip Formlabs™ Form 2™ (MIT Media Lab, Somerville, Massachusetts, USA) 3B yazıcının bağlantılı Formlabs PreForm 3.4.6 yazılımına aktarılmıştır. Stl.ler yazıcı tablasına paralel ve her üretimde 2 çift alt-üst model olacak şekilde yerleştirilmiştir. Baskıya hazırlık aşamasında destek yapılar dijital modellerin tabanına 0.60 mm temas noktası boyutu ile yerleştirilmiştir. Grey V4 resin (Formlabs™ Form 2™, MIT Media Lab, Somerville, Massachusetts, USA) kullanılarak 0.100 mm tabaka kalınlığında baskı işlemleri gerçekleştirilmiştir (Resim 3.3) .



Resim 3.3. SLA 3B yazıcıda baskıya hazırlık aşaması

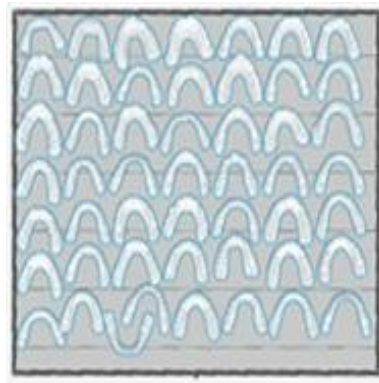
Elde edilen baskı dental modellerin destek yapıları manuel kuvvet uygulanarak ayrılmıştır. 20 dk Form Wash tankında yıkanan modeller Form Cure tankında 60⁰ de 60 dakika kürlenmiştir (Resim 3.4).



Resim 3.4. SLA 3B yazıcıdan üretilen modellerin üretim sonrası işlemleri

3.1.2. Dijital Dental Modellerin Polyjet Teknolojisine Sahip 3B Yazıcıda Üretilmesi

Baskıya hazır hale getirilen dijital dosyalar Gülhane Medikal Tasarım ve Üretim Uygulama ve Araştırma Merkezi (METÜM)'de bulunan PolyJet baskı teknolojisine sahip Stratasys J750 (Stratasys, Eden Prairie, MN) 3B yazıcının bağlantılı olduğu GrabCAD Print 1.43 yazılımına aktarılmıştır (Resim 3.5). Stl.ler yazıcı tablasına paralel bir şekilde yerleştirilmiştir ve geniş tabla özelliğiyle tek seferde çoklu model üretimi yapılmıştır (Resim 3.6). Üretimde mat ve beyaz renkte olan Verowhite reçinesi (Stratasys, Eden Prairie, MN) tercih edilmiştir.



Resim 3.5. PolyJet 3B yazıcıda dental modellerin baskıya hazırlık aşaması



Resim 3.6. PolyJet 3B yazıcıda model üretimi aşaması

Destek yapılar model yüzeyinden Powerblast marka yüksek su basınçlı temizleyici cihaz yardımıyla 1,5-2 bar ılık basınçlı su ve hava ile üzerinde atık materyal kalmayana kadar temizlenmiştir (Resim 3.7.)

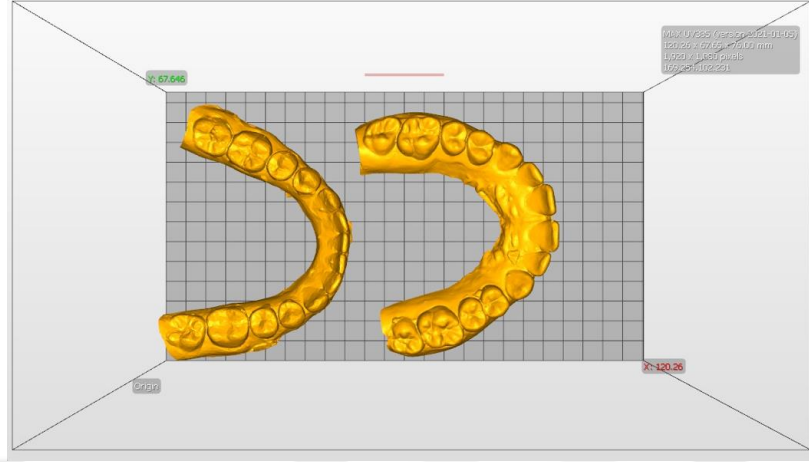


Resim 3.7. PolyJette üretilen modellerin atıklardan uzaklaştırılması

3.1.3. Dijital Dental Modellerin DLP Teknolojisine Sahip 3B Yazıcıda Üretilmesi

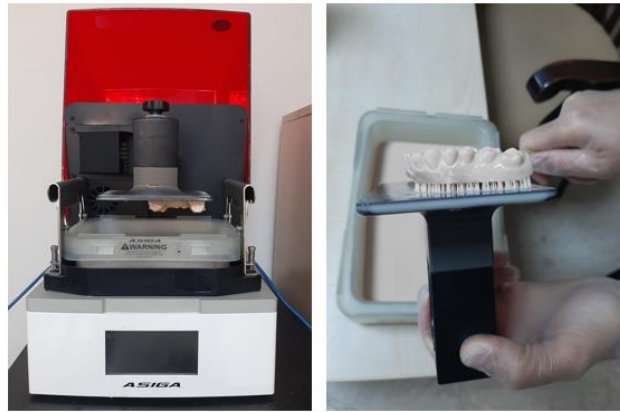
Aynı dijital dosyalar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Diş Hekimliği Fakültesinde bulunan DLP teknolojisine sahip Asiga® (Asiga, Sidney, Australia) marka 3B yazıcı bağlantılı Asiga Composer yazılımına aktarılmıştır. Tüm modeller,

yapı platformuna paralel okluzal düzlem ile yatay olarak ve her üretimde 1 çift alt-üst model yerleştirilmiştir (Resim 3.8).



Resim 3.8. DLP 3B yazıcıda üretime hazırlık aşaması

DLP yazıcının LED dalga boyu 385 μm olup baskı katmanı kalınlığı 50 μm 'dir. Destek yapılar 90 derecelik açı ile model kaidesinin tabanına konumlandırılmıştır. Üretimde kullanılan hammadde Asiga marka Dentamodel (Asiga, Sidney, Australia) reçinedir. Dental modeller tablada baş aşağı ters bir şekilde tabakalanarak üretilmiştir. Baskı sonrası dental modeller baskı tablasından ayrılmış ve destek yapılar modelden elle uzaklaştırılmıştır (Resim 3.9).



Resim 3.9. DLP 3B yazıcıda model üretimi ve tabladan ayrılması

Modellerdeki kurlenmemiş reçine %99,8 izopropil alkol ile ultrasonik banyoda 10 dakika boyunca temizlenmiştir. Modeller üretici talimatlarına göre ultraviyole polimerizasyon ünitesi Asiga Flash (Asiga, Sidney, Australia)

kullanılarak 10 dakika polimerize edilmiştir (Resim 3.10). Bu yöntem kullanılarak 30 çift alt üst dental model üretilmiştir.



Resim 3.10. DLP 3B yazıcıdan üretilen modellerin üretim sonrası işlemleri

Her üç yazıcıdan elde edilen baskı dental modeller (Resim 3.11) 3Shape Trios (TRIOS POD, 3Shape, Copenhagen, Denmark) tarayıcı ile taranarak dijital dosyalar elde edilmiştir. Referans dijital dosyalar ve baskı modellerin dijital dosyaları Autodesk Meshmixer (v3.5.35; Autodesk, Inc) programında dizayn edilmiş ve sistemden dışarı aktararak dosyalanmıştır.



Resim 3.11. 3B Yazıcılardan Üretilmiş Nihai Modeller

3.2. DİJİTAL YAZILIMDA MODEL ÇAKIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN YAPILMASI

Model taramalar tamamlandığında referans ve baskı model dosyaları dijital ortamda çakıştırma işlemleri için Rapidform XO/Verifier™ (Rapidform, Inus Technology, G.Kore) yüzey çakıştırma yazılımına aktarılmıştır. Referans dosyalar kontrol grubu olarak belirlenmiş, çakıştırma için referansa taşınmıştır, test dosyaları

ise deney grubudur. Çakıştırma için test dosyası nokta bulutu verilerine dönüştürülmüştür. Ardından, referans modeli, test modeli ve nokta bulutu verileri, başlangıçta hizalanmış ve ardından en uygun hizalamaya göre yeniden düzenlenmiştir. Son olarak, nokta bulutu verileri referans verilerinin yüzeyine yansıtılmıştır. Çakıştırma için Best Fit yöntemi (En uygun hizalama) ile yüzey eşleştirilmesi yapılmıştır (Resim 3.12). Yüzey verileri ile tüm noktalar arasındaki mesafeler, karelerinin ortalamasının karekökü (RMS) değerlerine dönüştürülmüştür.

RMS, iki veri grubunu aynı koordinat sistemiyle doğrudan karşılaştırarak hataların ortalama değerini değerlendirmek için kullanılan genel bir yöntemdir. Karşılık gelen bir veri grubunun doğruluğu, tek bir ölçek kullanılarak hesaplanabilir. Daha yüksek hesaplanan RMS değeri, büyük bir hatayı, yani referans ve ölçüm verileri arasındaki niteliklerdeki farkı gösterir. RMS, tipik olarak, optimal çakıştırmadan sonra iki N-boyutlu vektör kümesinin benzerliğini ölçmek için kullanılan bir kriterdir.

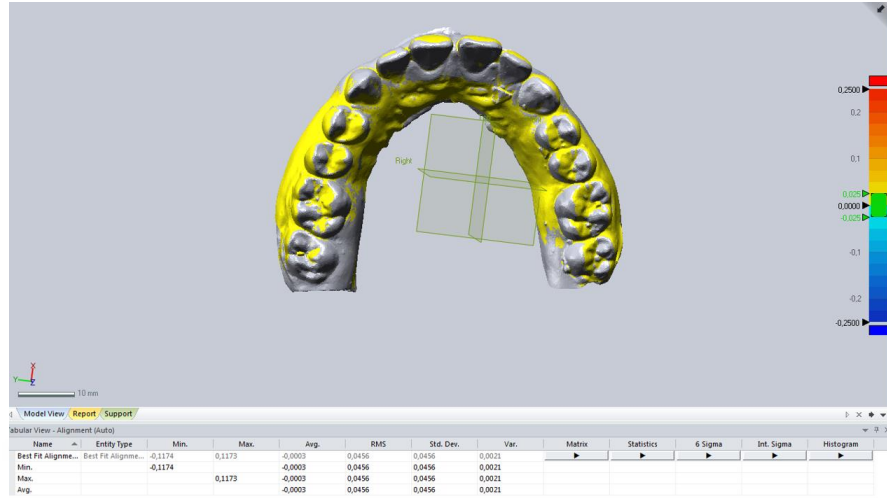
$$RMS = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{1,i} - x_{2,i})^2}$$

Burada $X1, i$ referansın veri noktasıdır ve $X2, i$ deney grubunun veri noktasıdır ve N , tüm ölçüm noktalarının sayısıdır.

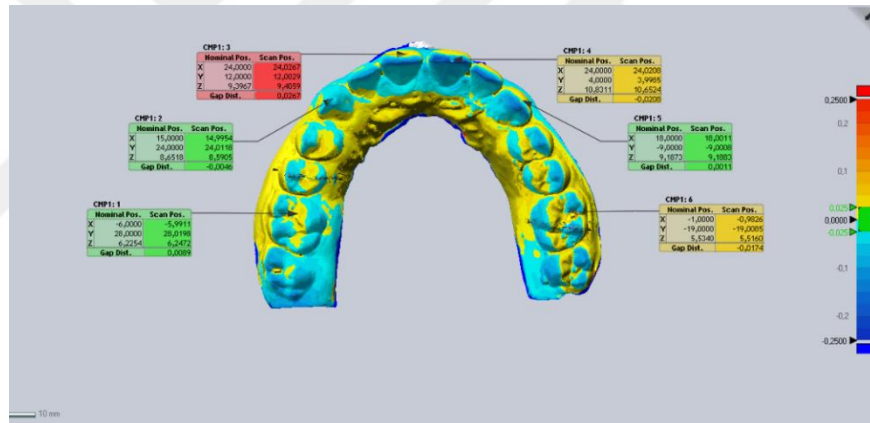
Çakıştırmadan sonra, renkli yüzey haritaları oluşturmak için 3B karşılaştırma işlevi kullanıldı. ± 0.25 mm maksimum kritik değer ve renk spektrumları için maksimum nominal değer ± 0.025 mm olarak belirlenmiştir.

Karşılaştırma sırasında $+0,25\text{mm}$ ile $-0,25\text{mm}$ aralığındaki sapma değerleri renk skalasında görselleştirildi. Çalışmada farklı renklerin yorumlanması tolerans değeri $+0,25$ ile $-0,25$ referans alınarak yapıldı. Bu değeri $0,25$ mm'lik kullanmamızın sebebi ortodontik hareket oluşturmak için klinik kabulün eşik değeri olmasıdır. Hizalayıcı başına maksimum diş hareketi $0,25$ ila $0,30$ mm arasında değişir.(78) Sonuç olarak, özellikle şeffaf plakla yapılan ortodontik tedavilerde 3B yazıcılar bu değer altında bir doğruluk hatası olan diş modelleri oluşturmamalıdır.(79)

Belirlenen dişlerin referans noktalarından noktasal karşılaştırma değerleri alınmıştır (Resim 3.13).



Resim 3.12. Best Fit yöntemi (En uygun hizalama) ile yapılan yüzey eşleştirilmesi



Resim 3.13. Belirlenen dişlerin noktasal karşılaştırma değerleri

- 1: Sağ birinci molar dişin okluzal yüzeyinin en derin noktası
- 2: Sağ kanin dişin tüberkül tepe noktası
- 3: Sağ santral kesici dişin kesici kenarının orta noktası
- 4: Sol birinci molar dişin okluzal yüzeyinin en derin noktası
- 5: Sol kanin dişin tüberkül tepe noktası
- 6: Sol santral kesici dişin kesici kenarının orta noktası

3.3. DİJİTAL YAZILIMDA MODELLERDE BOYUTSAL ÖLÇÜMLERİN YAPILMASI

Boyutsal ölçümler için MeshLab programı (v2022.02) kullanılmıştır (Resim 3.14). 16,26,36,46,13,23,33,43,11,21,31,41 numaralı dişler seçilmiştir. Seçilen dişlerin okluzal yüzeyden mezial ve distal temas noktaları arasındaki maksimum mesafe ölçümleri yazılımdaki dijital ölçüm sekmesiyle yapılmıştır.

R6: Sağ 1.molar dişin okluzal yüzeyin mezial ve distal temas noktaları arasındaki mesafe ölçümü

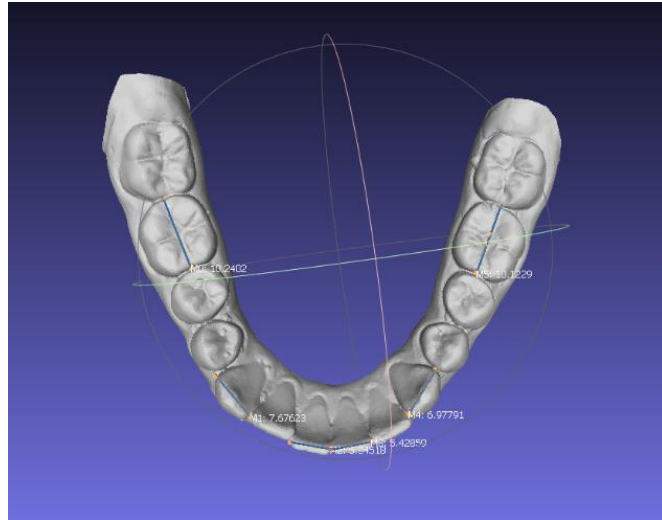
R3: Sağ kanin dişin mezial ve distal temas noktaları arasındaki mesafe ölçümü

R1: Sağ santral dişin kesici kenarının mezial ve distal temas noktaları arasındaki mesafe ölçümü

L1: Sol santral dişin kesici kenarının mezial ve distal temas noktaları arasındaki mesafe ölçümü

L3: Sol kanin dişin mezial ve distal temas noktaları arasındaki mesafe ölçümü

L6: Sol 1.molar dişin okluzal yüzeyin mezial ve distal temas noktaları arasındaki mesafe ölçümü



Resim 3.14. MeshLab yazılımında dişlerin meziyodistal boyutsal ölçümleri

Gruplardan randomize olarak seçilen 5'er hastanın modellerinin ölçümleri 2 hafta arayla aynı araştırmacı tarafından aynı metodoloji ve yazılım kullanılarak tekrarlanmıştır.

Hasta grubundan randomize seçilen 5 hastanın modelleri yazıcıların tekrarlanabilirliğini değerlendirmek amacıyla tekrar basılmıştır. İlk ölçümlerle aynı metodoloji uygulanarak RMS değerleri kaydedilmiştir.

İstatistiksel Analiz

Araştırmada ana referans ve farklı tiplerde 3B yazıcılarda (DLP, PolyJet, SLA) ile elde edilen ölçümler arasındaki farklılık ve uyumları değerlendirmek için ölçümlere ilişkin istatistiksel tanımlamalar Ort. $\pm$ SS olarak verilmiştir (Ort.: Ortalama, SS: Standart Sapma). Ana referans, DLP, PolyJet ve SLA'ya ilişkin ölçümlerin ortalamaları arasında farklılık olup olmadığı değerlendirmek için ANOVA testi kullanılmıştır. Ayrıca ölçüm teknikleri grup ortalamaları arasındaki ikili kıyaslamalarda iki bağımsız örnek t testi kullanılmıştır. DLP, PolyJet ve SLA 3B yazıcılarında elde edilen ölçümlerin ana referans ölçümleri ile uyumlarını değerlendirebilmek için Bland-Altman ve ICC (Intraclass Correlation Coefficient) yöntemleri kullanılmıştır. Bland-Altman ve ICC istatistiklerine ilişkin tablolarda %95 güven aralıkları (95% CI) ayrıca verilmiştir. İstatistiksel anlamlılık için $p < 0.05$ değeri kullanılmıştır. İstatistiksel analizlerde MedCalc (20.113 versiyon) bilgisayar programı kullanılmıştır.

4. BULGULAR

4.1. DİJİTAL DENTAL MODELLER ÜZERİNDE GERÇEKLEŞTİRİLEN BOYUTSAL ÖLÇÜMLER SONUCU ELDE EDİLEN BULGULAR

Tablo 4.1-4.4 arasında sağ 1.molar diş (R6), sağ kanin diş (R3), sağ santral kesici diş (R1), sol 1.molar diş (L6), sol kanin diş (L3), sol santral kesici diş (L1) dişlere ait okluzalden yapılan meziyodistal boyutsal ölçümlerin değerlendirilmesinde verilerin özetlenerek kolay anlaşılır hâle getirilmesi amacıyla tanımlayıcı istatistikten faydalanılmıştır, her diş ölçümü için ortalama, standart sapma, minimum, maximum ve medyan değerlerinin verildiği tablolar kullanılmıştır. Ortalama kavramı, bir veri kümesinde bulunan toplam sayısal değerlerin o veri kümesindeki değerlerin sayısına bölünmesiyle elde edilen değeri ifade etmektedir. Bu değer aritmetik ortalamadır. Medyan ise bir veri setinin merkezi sayısal değeridir. Standart sapma bir değişkenlik ölçüsüdür. Standart sapma küçükse veriler ortalamaya yakın yerlerde ve daha homojen dağılmışlardır.

Tablo 4.1. Referans ölçümlerine ilişkin bazı tanımlayıcı istatistikler

<i>Diş</i>	<i>Ort.</i>	<i>SS</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Medyan</i>
R6	10.506	0.641	9.299	12.247	10.417
R3	7.421	0.671	5.698	9.070	7.388
R1	7.138	1.704	4.733	10.35	7.109
L1	7.034	1.723	4.677	10.034	7.276
L3	7.322	0.722	6.032	9.104	7.321
L6	10.426	0.660	9.180	12.404	10.331

Ort :Ortalama, SS:Standart Sapma, Min: Minumum, Max: Maximum

Tablo 4.2. DLP ölçümlerine ilişkin bazı tanımlayıcı istatistikler

<i>Diş</i>	<i>Ort.</i>	<i>SS</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Medyan</i>
R6	10.463	0.676	9.312	12.179	10.383
R3	7.487	0.686	5.491	9.191	7.552
R1	7.154	1.723	4.764	9.956	7.361
L1	7.079	1.689	4.782	10.046	7.350
L3	7.395	0.704	5.970	8.964	7.447
L6	10.387	0.678	9.021	12.247	10.284

Ort :Ortalama, SS:Standart Sapma, Min: Minumum, Max: Maximum

Tablo 4.3. PolyJet ölçümlerine ilişkin bazı tanımlayıcı istatistikler

<i>Diş</i>	<i>Ort.</i>	<i>SS</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Medyan</i>
R6	10.582	0.733	9.180	12.645	10.531
R3	7.453	0.742	5.831	9.418	7.450
R1	7.104	1.707	4.737	10.107	7.180
L1	6.995	1.810	4.607	11.194	6.712
L3	7.323	0.689	5.862	8.829	7.343
L6	10.443	0.740	9.152	12.544	10.280

Ort :Ortalama, SS:Standart Sapma, Min: Minumum, Max: Maximum

Tablo 4.4. SLA ölçümlerine ilişkin bazı tanımlayıcı istatistikler

<i>Diş</i>	<i>Ort.</i>	<i>SS</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Medyan</i>
R6	10.497	0.706	9.033	12.381	10.554
R3	7.474	0.696	5.966	9.243	7.399
R1	7.116	1.716	4.573	10.125	7.878
L1	7.130	1.856	4.673	10.253	7.306
L3	7.479	0.637	6.203	9.060	7.502
L6	10.430	0.700	9.067	12.697	10.307

Ort :Ortalama, SS:Standart Sapma, Min: Minumum, Max: Maximum

Yapılan boyutsal ölçümlerin değerlendirilmesinde ana referans, DLP, PolyJet ve SLA teknolojileriyle üretilen modellerin ölçümlerinin her birinin birbirlerinin

ortalamaları ile arasında farklılık olup olmadığını belirlemek için yapılan ANOVA testi sonuçları Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5. Referans, DLP, PolyJet ve SLA diş ölçümleri için yapılan ANOVA testi sonuçları

<i>Diş</i>	<i>Referans</i>	<i>DLP</i>	<i>PolyJet</i>	<i>SLA</i>	<i>p-değeri</i>
R6	10.506 $\pm$ 0.641	10.463 $\pm$ 0.676	10.582 $\pm$ 0.733	10.497 $\pm$ 0.706	0.813
R3	7.421 $\pm$ 0.671	7.487 $\pm$ 0.686	7.453 $\pm$ 0.742	7.475 $\pm$ 0.696	0.958
R1	7.138 $\pm$ 1.704	7.154 $\pm$ 1.724	7.104 $\pm$ 1.707	7.117 $\pm$ 1.716	0.999
L1	7.035 $\pm$ 1.723	7.079 $\pm$ 1.689	6.995 $\pm$ 1.810	7.130 $\pm$ 1.856	0.978
L3	7.322 $\pm$ 0.722	7.396 $\pm$ 0.704	7.323 $\pm$ 0.689	7.479 $\pm$ 0.637	0.552
L6	10.426 $\pm$ 0.660	10.387 $\pm$ 0.678	10.443 $\pm$ 0.740	10.430 $\pm$ 0.700	0.975

6 farklı diş için yapılan ölçümlere ilişkin Ortalama, standart sapma ve anlamlılık seviyeleri verilmiştir. ANOVA testi sonuçlarına göre ana referans ve 3 farklı yazıcıdan elde edilen ürünün 6 farklı diş için yapılan ölçümün ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlenememiştir ($p>0.05$). Yani tüm dişler için ana referans ölçüm değerlerinin ortalaması ile DLP, PolyJet ve SLA yazıcılarında elde edilen ölçümlerin ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur ($p>0.05$). Ayrıca, DLP, PolyJet ve SLA her bir diş için ölçümleri kendi aralarında kıyaslandığında bu üç yazıcının ölçümlerinin ortalamaları arasında da istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilememiştir ($p>0.05$).

Tablo 4.6. Sağ 1.molar dişin boyutsal stabilite ölçümleri için yapılan İki Bağımsız örnek-t testi sonuçları

<i>p değeri</i>	Referans	SLA	DLP	PolyJet
Referans	-	0.941	0.724	0.546
SLA		-	0.792	0.517
DLP			-	0.359
PolyJet				-

Tablo 4.7. Sağ kanin dişin boyutsal stabilite ölçümleri için yapılan İki Bağımsız örnek-t testi sonuçları

<i>p değeri</i>	Referans	SLA	DLP	PolyJet
Referans	-	0.667	0.592	0.805
SLA		-	0.920	0.868
DLP			-	0.791
PolyJet				-

Tablo 4.8. Sağ santral dişin boyutsal stabilite ölçümleri için yapılan İki Bağımsız örnek-t testi sonuçları

<i>p değeri</i>	Referans	SLA	DLP	PolyJet
Referans	-	0.945	0.959	0.912
SLA		-	0.904	0.967
DLP			-	0.872
PolyJet				-

Tablo 4.9. Sol santral dişin boyutsal stabilite ölçümleri için yapılan İki Bağımsız örnek-t testi sonuçları

<i>p değeri</i>	Referans	SLA	DLP	PolyJet
Referans	-	0.771	0.888	0.902
SLA		-	0.874	0.687
DLP			-	0.794
PolyJet				-

Tablo 4.10. Sol kanin dişin boyutsal stabilite ölçümleri için yapılan İki Bağımsız örnek-t testi sonuçları

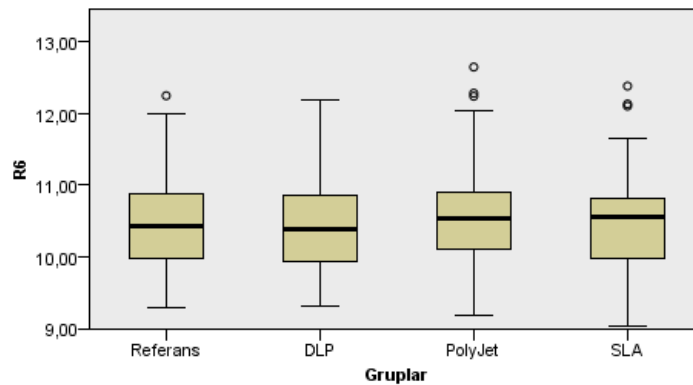
<i>p değeri</i>	Referans	SLA	DLP	PolyJet
Referans	-	0.209	0.573	0.990
SLA		-	0.497	0.202
DLP			-	0.572
PolyJet				-

Tablo 4.11. Sol 1.molar dişin boyutsal stabilite ölçümleri için yapılan İki Bağımsız örnek-t testi sonuçları

<i>p değeri</i>	Referans	SLA	DLP	PolyJet
Referans	-	0.973	0.753	0.892
SLA		-	0.735	0.920
DLP			-	0.667
PolyJet				-

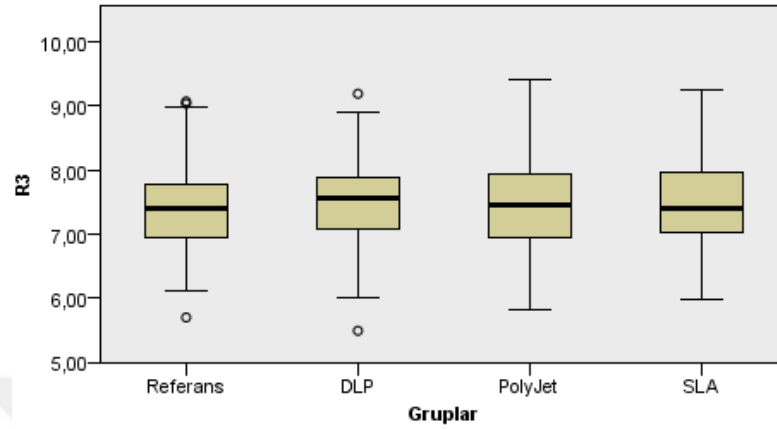
6 diş (R6, R3, R1, L1, L3, L6) için referans model ve 3 yazıcıdan elde edilen modellerden yazılımda yapılan boyutsal ölçüm değeri lerinin ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olup olmadığını belirlemek amacı ile ikili bağımsız örnek-t testi yapılmıştır. Testin sonuçları Tablo 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 ve 4.11 tabloları arasında verilmiştir. Bu tablolarda yer alan p-değerleri incelendiğinde 4 ölçümün ortalamalarının kendi aralarında oluşabilecek ikili kombinasyonlarının tümünde (Referans-SLA, referans-DLP, referans-PolyJet, SLA-DLP, SLA-PolyJet, DLP-PolyJet) grupların ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir ($p>0.05$).

Boyutsal ölçümlerdeki de ğ işkenli ğ in görsel olarak da ğ ılımını görmek için her bir diş ölçümü için kutu grafi ğ i kullanılmıştır. Sütunlardaki sayısal değeri ler meziyodistal ölçüm değeri lerini göstermektedir. Grafikteki yuvarlak görseller uç değeri veya aykırı gözlem olarak tanımlanmaktadır. Ortalamadan bir veya iki standart sapma uzaklıkta belirtilen güven aralı ğ ının dışındaki değeri lerdir. Kutulardaki siyah kalın çizgiler ortalamayı ifade etmektedir.



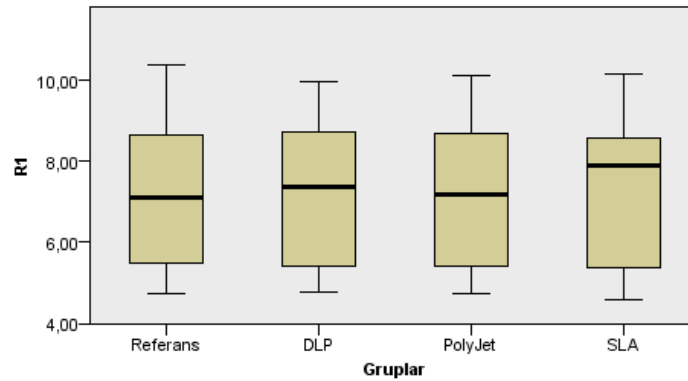
Şekil 4.1. R6 dişi boyutsal ölçüm değeri ler kutu grafikleri

Sağ 1.molar diş meziyodistal ölçümlerinde sayısal değerler tüm ölçümler için 9.033- 12.645 mm değerleri arasındadır. DLP modelindeki ölçümler en düşük ortalamaya sahip ölçümlerdir ve güven aralığı dışında değer görülmemiştir.



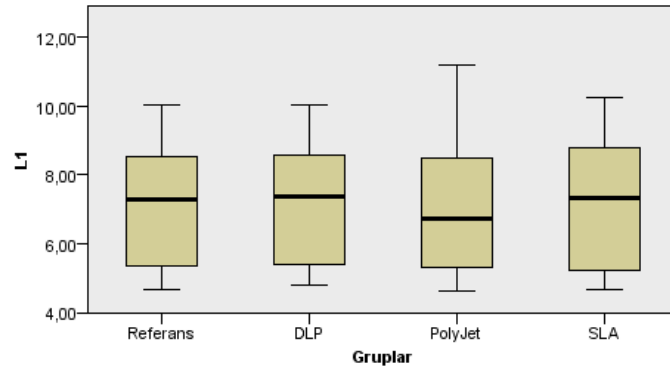
Şekil 4.2. R3 dişi boyutsal ölçüm değerleri kutu grafikleri

Sağ kanin diş meziyodistal ölçümlerinde sayısal değerler tüm ölçümler için 5.491-9.418 mm değerleri arasındadır. SLA ve PolyJet modellerindeki ölçümlerde güven aralığı dışında değer görülmemiştir. DLP modelindeki ölçümler en düşük ortalamaya sahiptir.



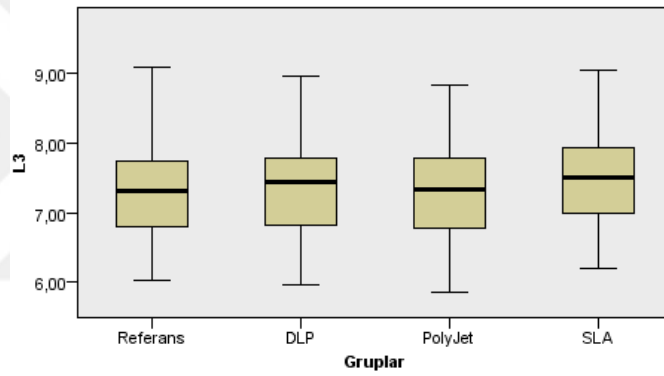
Şekil 4.3. R1 dişi boyutsal ölçüm değerleri kutu grafikleri

Sağ santral diş meziyodistal ölçümlerinde sayısal değerler tüm ölçümler için 4.573- 10.125 mm değerleri arasındadır. SLA ve PolyJet modellerindeki ölçümlerde güven aralığı dışında değer görülmemiştir. DLP modelindeki ölçümler en düşük ortalamaya sahiptir.



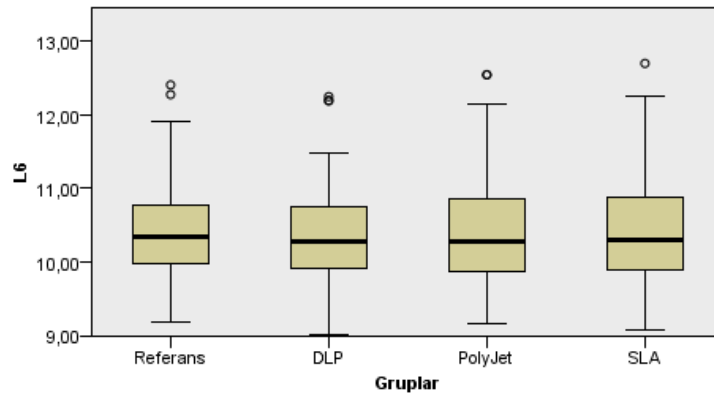
Şekil 4.4. L1 dişi boyutsal ölçüm değerleri kutu grafikleri

Sol santral diş meziyodistal ölçümlerinde sayısal değerler tüm ölçümler için 4.607- 11.194 mm değerleri arasındadır. 4 grup model ölçümlerinde güven aralığı dışında değer görülmemiştir.



Şekil 4.5. L3 dişi boyutsal ölçüm değerleri kutu grafikleri

Sol kanin diş meziyodistal ölçümlerinde sayısal değerler tüm ölçümler için 5.862- 9.104 mm değerleri arasındadır. 4 grup model ölçümlerinde güven aralığı dışında değer görülmemiştir.



Şekil 4.6. L6 dişi boyutsal ölçüm değerleri kutu grafikleri

Sol 1.molar diş meziyodistal ölçümlerinde sayısal değerler tüm ölçümler için 9.021- 12.697 mm değerleri arasındadır. 4 grup model ölçümlerinde güven aralığı dışında değer görülmüştür.

Boyutsal Ölçümler Sonucu Elde Edilen Bulguların Bland-Altman Yöntemi Kullanılarak Karşılaştırılması

Bland-Altman yönteminde, karşılaştırmaya iki yöntemden elde edilen ölçümlerin ortalamalarına karşı farklarının saçılım grafiğinin çizilmesi ile başlanır. Farklara karşı ortalamaların grafiği ölçüm hataları ile gerçek değerler arasında olabilecek herhangi bir ilişkinin incelenmesine olanak sağlar. Farklar ve ortalamalar arasında ilişki yoksa iki yöntem arasındaki uyum farkların ortalaması ($\bar{d}$) ve standart sapması (s) kullanılarak incelenebilir (11). Eğer farklar normal dağılıma sahipse farkların sıfırın etrafında rasgele dağılması ve %95'inin " $\bar{d}-1,96s$ ile $\bar{d}+1,96s$ " arasında olması beklenir. Bu durum altında ortalamalar ve farklar arasında ilişki olmadığı söylenebilir. Bu yöntemde, $\bar{d}\pm 1,96s$ "uyum sınırları" olarak adlandırılır. Küçük örneklemeler için uyum sınırları bulunurken tablo değerini (n-1) serbestlik derecesi için t tablosundan yararlanarak bulmak daha doğru olacaktır.

Tablo 4.12. Referans, DLP, PolyJet ve SLA diş ölçümleri için yapılan Bland-Altman istatistikleri

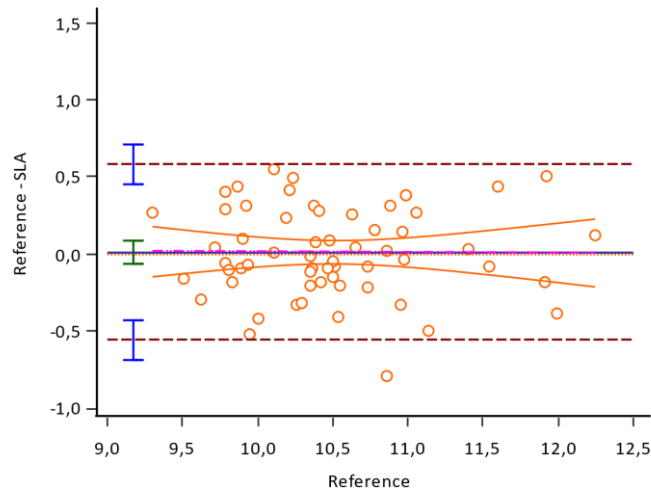
<i>Diş</i>	<i>Fark</i>	<i>SLA-Referans</i>	<i>DLP-Referans</i>	<i>PolyJet-Referans</i>
R6	<i>d</i>	0.009 $\pm$ 0.291	0.042 $\pm$ 0.257	-0.076 $\pm$ 0.311
	(95% CI)	(-0.066,0.084)	(-0.023,0.109)	(-0.156,0.004)
R3	<i>d</i>	-0.053 $\pm$ 0.375	-0.066 $\pm$ 0.294	-0.032 $\pm$ 0.413
	(95% CI)	(-0.151,0.043)	(-0.142,0.009)	(-0.138,0.074)
R1	<i>d</i>	0.021 $\pm$ 0.585	-0.016 $\pm$ 0.296	0.034 $\pm$ 0.379
	(95% CI)	(-0.129,0.173)	(-0.092,0.06)	(-0.063,0.132)
L1	<i>d</i>	-0.095 $\pm$ 0.522	-0.044 $\pm$ 0.362	0.039 $\pm$ 0.472
	(95% CI)	(-0.230,0.039)	(-0.137,0.049)	(-0.082,0.161)
L3	<i>d</i>	-0.157 $\pm$ 0.338	-0.073 $\pm$ 0.340	-0.001 $\pm$ 0.387
	(95% CI)	(-0.244,-0.069)	(-0.161,0.014)	(-0.101,0.098)
L6	<i>d</i>	-0.004 $\pm$ 0.270	0.038 $\pm$ 0.292	-0.017 $\pm$ 0.276
	(95% CI)	(-0.074,-0.065)	(-0.036,0.114)	(-0.088,0.054)

Ana referans ölçümleri ile üç farklı 3B yazıcı (SLA, DLP ve PolyJet) aracılığı ile elde edilen ölçümler arasındaki uyumu incelemek için yapılan Bland-Altman istatistikleri Tablo 4.12 'de verilmiştir. Burada d ilgili iki ölçüm arasındaki farkı ifade ederken (95% CI) ise d için %95 güven aralığı (Alt sınır, üst sınır) temsil etmektedir.

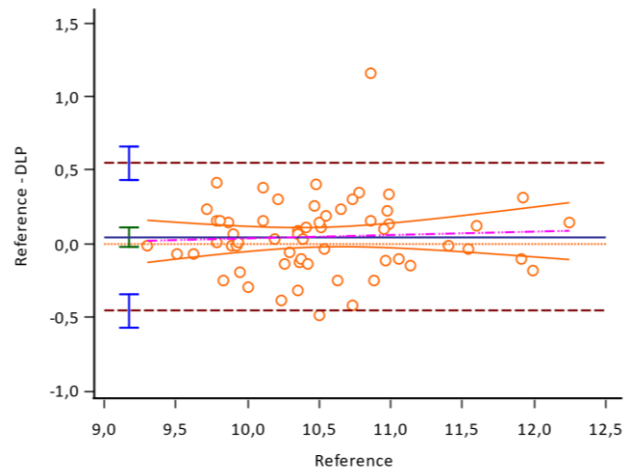
$$d = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n d_k$$

Bland-Altman istatistiklerine göre L3 dişi için SLA ile referans ölçümleri arasında bir farklılık vardır. Çünkü (95% CI) %95 güven aralığı 0 değerini içermemektedir. Diğer tüm dişler için bu durum söz konusu değildir. %95 güven aralıkları 0 değerini içermektedir yani L3 dişi için DLP-Referans ve PolyJet-Referans arasında farklılık yoktur. R6, R3, R1, L1 ve L6 dişleri için SLA-referans, DLP-referans ve PolyJet-referans arasında farklılık yoktur. Bland-Altman istatistiklerine göre üç yazıcıda elde edilen ölçümler ana referans ölçümlerine uyumludur.

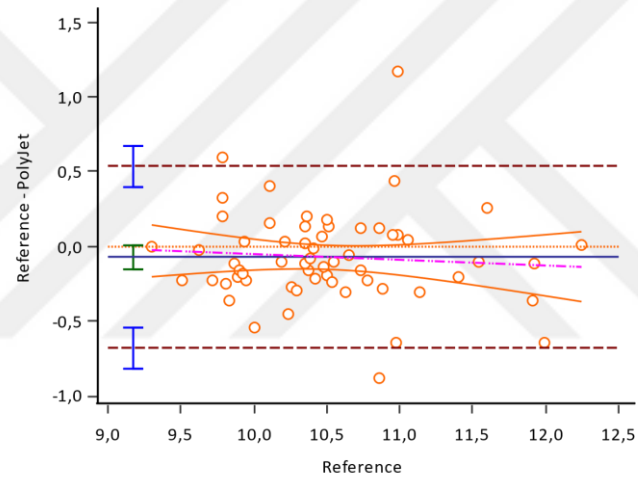
6 diş için ana referans ölçümünün SLA, DLP ve PolyJet 3B yazıcılarında yapılan ölçümler ile aralarındaki farklılıkları incelemek amacıyla çizilen Bland-Altman grafikleri Şekil 4.7-4.24 arasında verilmiştir.



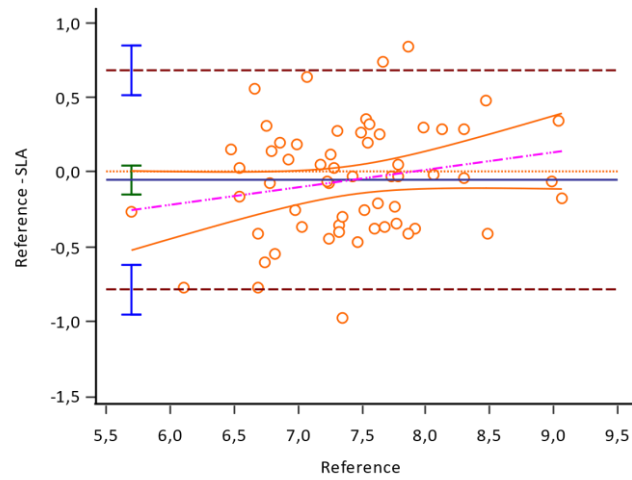
Şekil 4.7. R6 dişi için referans-SLA ölçümlerinin karşılaştırılması



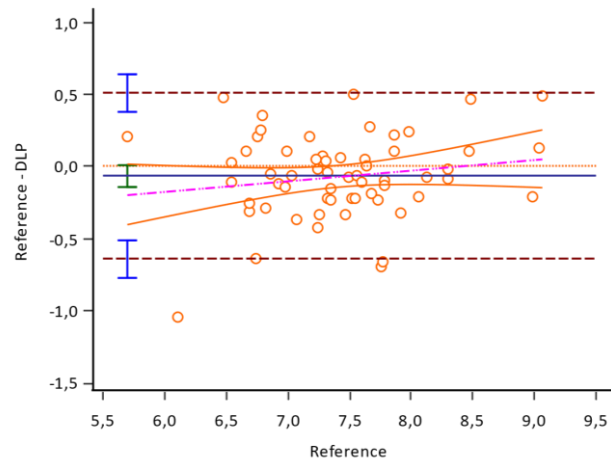
Şekil 4.8. R6 dişi için referans-DLP ölçümlerinin karşılaştırılması



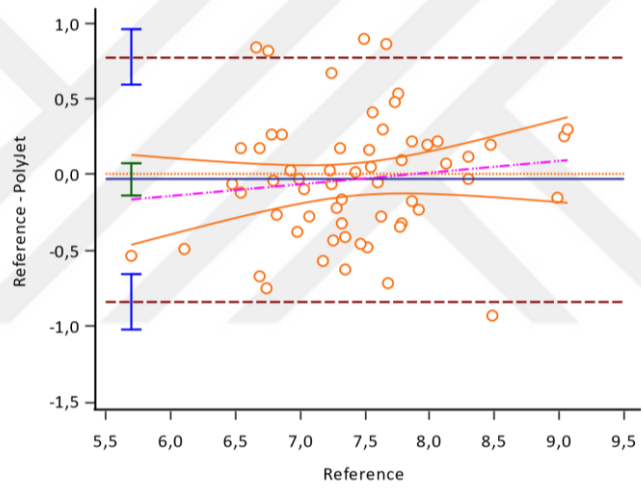
Şekil 4.9. R6 dişi için referans-PolyJet ölçümlerinin karşılaştırılması



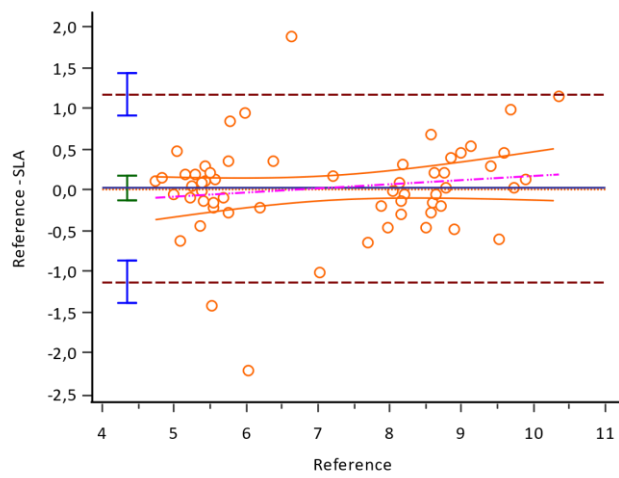
Şekil 4.10. R3 dişi için referans-SLA ölçümlerinin karşılaştırılması



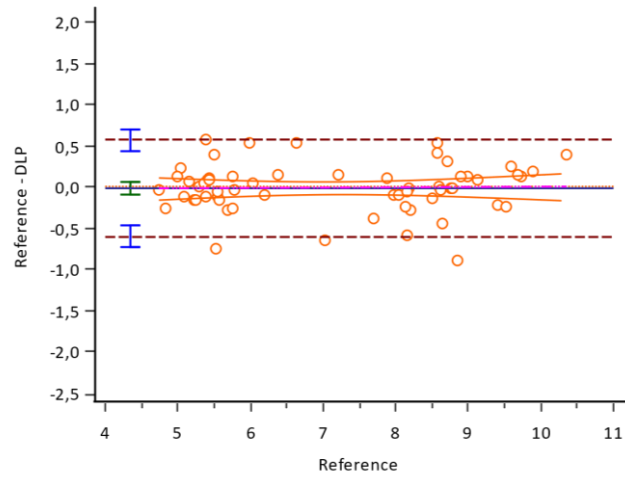
Şekil 4.11. R3 dişi için referans-DLP ölçümlerinin karşılaştırılması



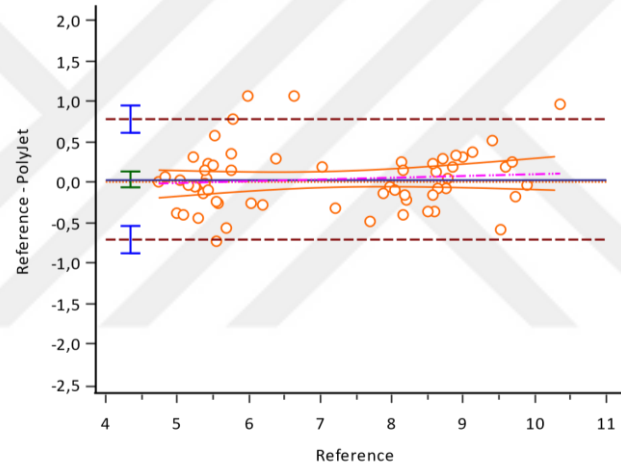
Şekil 4.12. R3 dişi için referans-PolyJet ölçümlerinin karşılaştırılması



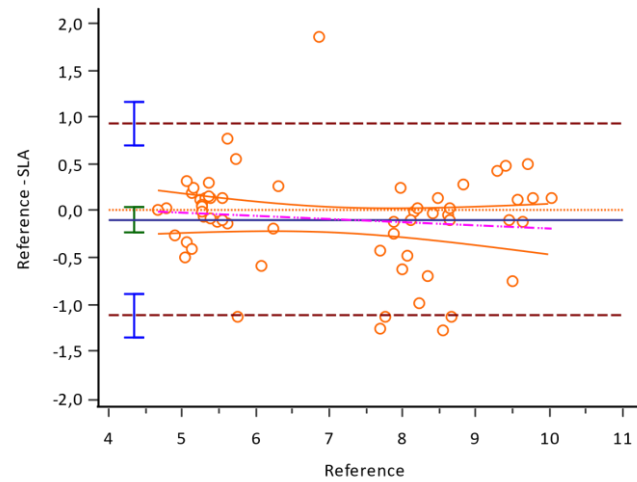
Şekil 4.13. R1 dişi için referans-SLA ölçümlerinin karşılaştırılması



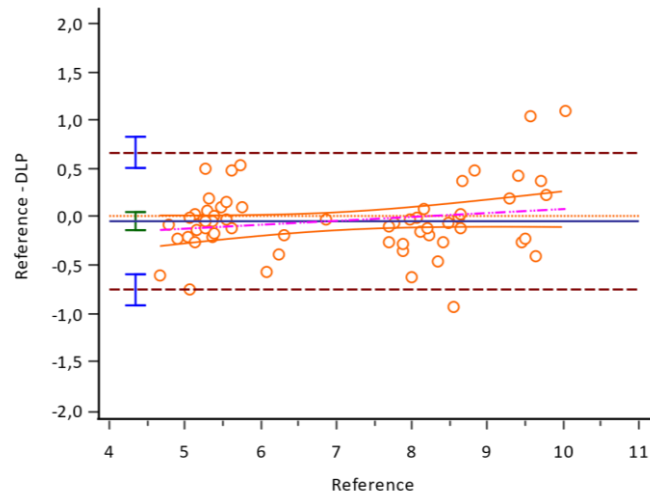
Şekil 4.14. R1 dişi için referans-DLP ölçümlerinin karşılaştırılması



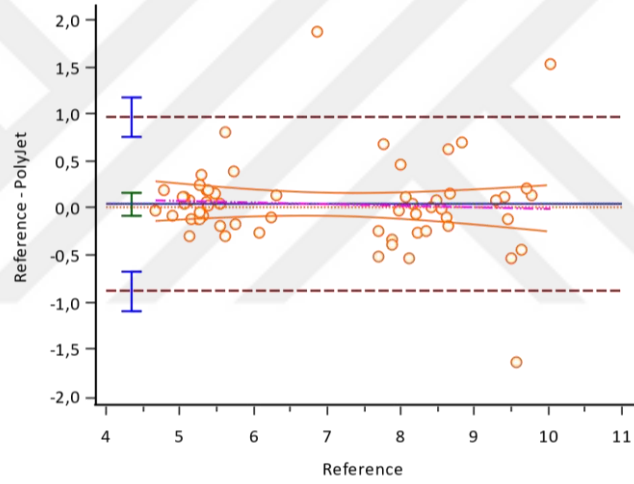
Şekil 4.15. R1 dişi için referans-PolyJet ölçümlerinin karşılaştırılması



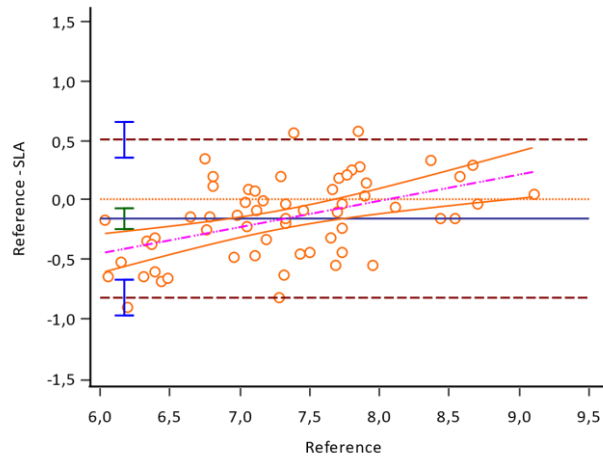
Şekil 4.16. L1 dişi için referans-SLA ölçümlerinin karşılaştırılması



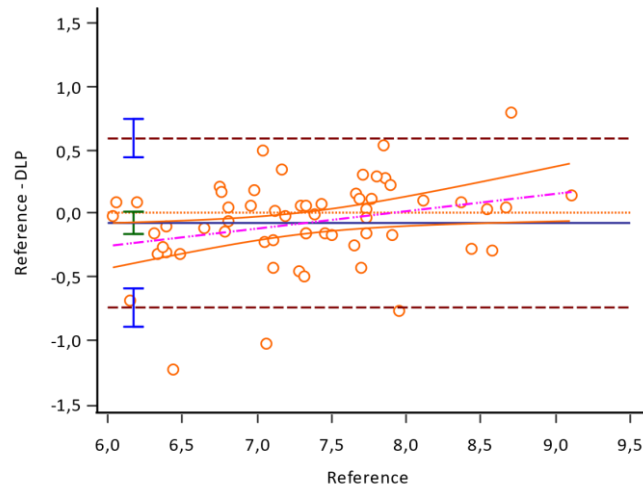
Şekil 4.17. L1 dişi için referans-DLP ölçümlerinin karşılaştırılması



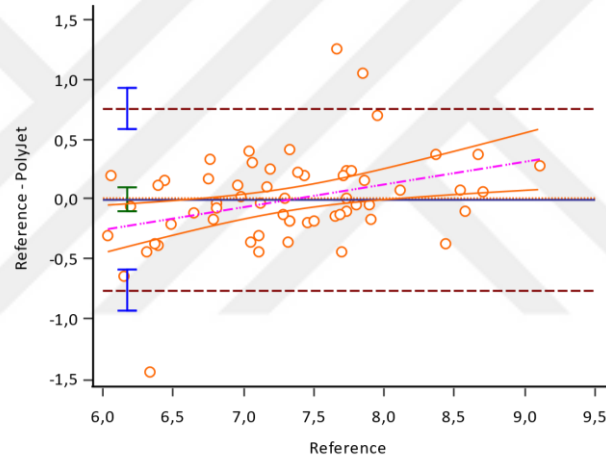
Şekil 4.18. L1 dişi için referans-PolyJet ölçümlerinin karşılaştırılması



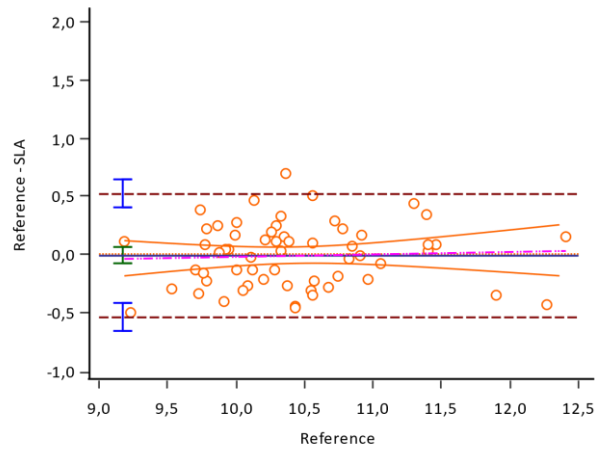
Şekil 4.19. L3 dişi için referans-SLA ölçümlerinin karşılaştırılması



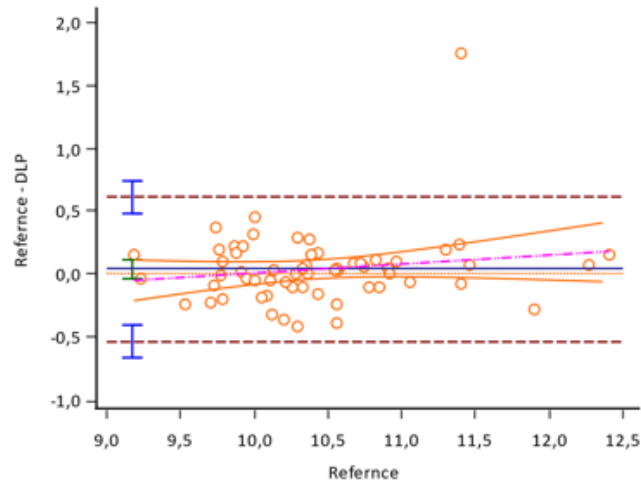
Şekil 4.20. L3 dişi için referans-DLP ölçümlerinin karşılaştırılması



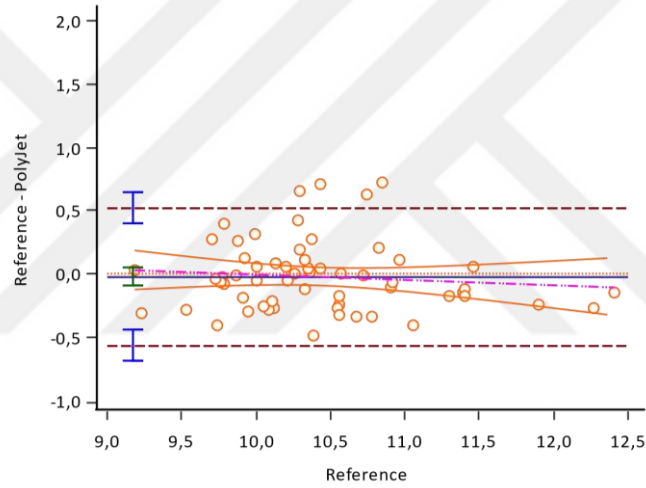
Şekil 4.21. L3 dişi için referans-PolyJet ölçümlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.22. L6 dişi için referans-SLA ölçümlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.23. L6 dişi için referans-DLP ölçümlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.24. L6 dişi için referans-PolyJet ölçümlerinin karşılaştırılması

Tablo 4.13. Referans, DLP, PolyJet ve SLA diş ölçümleri için yapılan ICC istatistikleri

<i>Diş</i>	<i>ICC</i>	<i>(95% CI)</i>
<i>R6</i>	0.887	(0.839,0.925)
<i>R3</i>	0.856	(0.796,0.903)
<i>R1</i>	0.964	(0.947,0.976)
<i>L1</i>	0.961	(0.942,0.974)
<i>L3</i>	0.849	(0.788,0.899)
<i>L6</i>	0.884	(0.835,0.923)

Sınıf içi korelasyon katsayısı (ICC), gruplar halinde düzenlenmiş birimler üzerinde kantitatif ölçümler yapıldığında kullanılabilen tanımlayıcı bir istatistiktir. Aynı gruptaki birimlerin birbirine ne kadar güçle benzediğini açıklar. Bir tür korelasyon olarak görülmekle birlikte, diğer korelasyon ölçümlerinin çoğunun aksine, eşleştirilmiş gözlemler olarak yapılandırılmış verilerden ziyade, gruplar halinde yapılandırılmış veriler üzerinde çalışır. Tablo 4.13 ana referans ve üç farklı yazıcı (SLA, DLP ve PolyJet) ölçümlerinin aralarındaki uyumu değerlendirmek için Sınıf içi korelasyon katsayısı (ICC) istatistiklerini içermektedir.

Kesinlik için, test edilen gruptan elde edilen veriler, sınıf içi korelasyon katsayısı (ICC) değeri kullanılarak grup içinde karşılaştırılmış ve 3B baskılı modellerin kesinlik düzeyi belirlenmiştir. %95 güven aralığında kesinlik seviyesini temsil etmek için ICC değeri kullanılmıştır.

ICC, 0 ile 1 arasında bir değerdir; burada 0.5'in altındaki değerler zayıf güvenilirliği, 0.5 ile 0.75 arasında orta düzeyde güvenilirliği, 0.75 ile 0.9 arasında iyi güvenilirliği ve 0.9'un üzerindeki herhangi bir değer mükemmel güvenilirliği gösterir (80). ICC istatistiklerine göre R1 ve L1 dışları için bu 4 ölçüm arasında mükemmel bir uyum olduğu ve R6, R3, L3 ve L6 dışları için ise ölçümler arasında iyi derecede bir uyum olduğunu görülmektedir. Sonuç olarak ICC istatistikleri de Tablo 4.12'de verilen Bland-Altman istatistiklerini desteklemektedir.

Gruplardan randomize olarak seçilen 5'er hastanın modellerinin ölçümleri 2 hafta arayla aynı araştırmacı tarafından aynı metodoloji ve yazılım kullanılarak tekrarlanmıştır.

Tablo 4.14. İlk ve İkinci Ölçümler için yapılan eşleştirilmiş t testi sonuçları

<i>Diş</i>	<i>İlk ölçüm Ort.</i>	<i>İkinci ölçüm Ort.</i>	<i>p-değeri</i>	<i>PCC</i>
R6	10.531	10.572	0.15	0.967
R3	7.396	7.429	0.481	0.910
R1	7.097	7.036	0.183	0.986
L1	6.999	7.022	0.409	0.995
L3	7.372	7.323	0.180	0.955
L6	10.489	10.461	0.709	0.849

PCC: Pearson correlation coefficient (Pearson korelasyon katsayısı)

*:İstatistiksel olarak anlamlılığı temsil eder (p<0.05)

Zamana bağılı ölçümlerin ortalamaları arasında farklılık olup olmadığını belirlemek için yapılan eşleştirilmiş t testi sonuçları Tablo 4.14’de verilmiştir. Tüm dişler için ilk ölçüm ve ikinci ölçüm ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur ($p>0.05$).

İlk ölçüm ile ikinci ölçümler arasındaki ilişki Pearson korelasyon katsayısı ile belirlenmiştir. PCC değerlerine bakıldığında (0.849-0.995) arasında değiştiği görülmektedir. İlk ve ikinci ölçümler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olup olmadığını belirlemek için eşleştirilmiş t testi kullanılmıştır. Eşleştirilmiş t testi sonuçlarına göre 6 diş için yapılan tüm ölçümlerde ilk ve ikinci ölçümler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur ($p>0.05$) (Tablo 4.14).

4.2. DİJİTAL DENTAL MODELLER KULLANILARAK YAPILAN DİJİTAL YÜZEY ÇAKIŞTIRMA SONUCU ELDE EDİLEN RMS DEĞERLERİ

DLP-SLA-PolyJet dijital yüzey çakıştırma verilerine göre RMS değerleri incelendiğinde en küçük RMS ortalamasına 0.145 ile PolyJet yazıcısı sahiptir. İkinci olarak DLP yazıcısında elde edilen çakıştırma verilerinin RMS ortalaması 0.161 olarak belirlenmiştir. SLA yazıcı ise 0.345 ile en büyük RMS ortalamasına sahiptir.

Tablo 4.15. RMS ortalamaları için yapılan ANOVA testi sonuçları

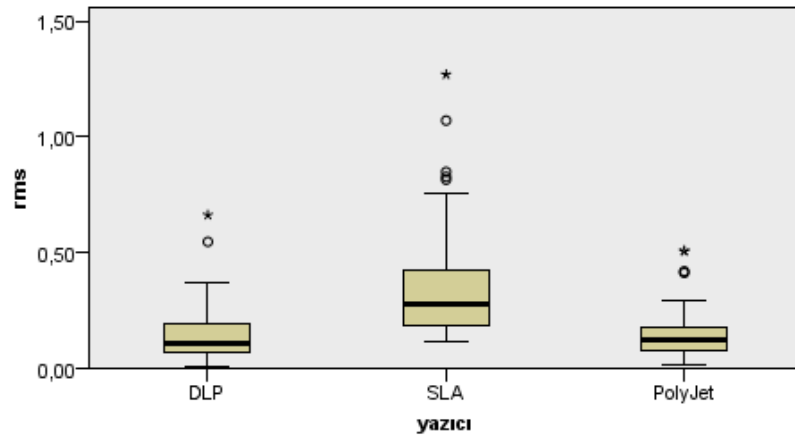
	Ort	SS	Min	Max	Medyan	
DLP	0.161	0.124	0	0.66	0.107	$p<0.001$
SLA	0.345	0.237	0.11	1,27	0.273	
PolyJet	0.145	0.103	0.01	0.51	0.120	

DLP, PolyJet ve SLA grubu ölçümlerinin her birinin birbirlerinin RMS ortalamaları ile arasında farklılık olup olmadığını belirlemek için yapılan ANOVA testi sonuçları Tablo 4.15 ’de verilmiştir. ANOVA testi sonuçlarına göre en az iki grubun RMS ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır ($p<0.001$). Hangi grupların ortalamaları arasında farklılık olduğunu belirlemek için çoklu karşılaştırma testlerinden Tukey HSD testi kullanılmıştır. Tukey HSD testi sonuçları Tablo 4.16’da verilmiştir.

Tablo 4.16. RMS ortalamaları için yapılan çoklu karşılaştırma Tukey-HSD testi sonuçları

	SLA	DLP	PolyJet
SLA	-	<0.001*	<0.001*
DLP		-	0.999
PolyJet			-

RMS ortalamaları için yapılan çoklu karşılaştırma Tukey HSD testi sonuçlarına göre “SLA-DLP” ve “SLA-PolyJet” RMS ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar belirlenmiştir ($p < 0.001$). SLA grubu RMS ortalaması (0.345) DLP grubu RMS ortalamasından (0.161) büyüktür ve bu büyüklük istatistiksel olarak anlamlıdır. Benzer şekilde SLA RMS ortalaması (0.345), PolyJet grubu RMS ortalamasından (0.145) büyüktür ve bu büyüklük istatistiksel olarak anlamlıdır. Diğer taraftan “DLP-PolyJet” grupları ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlenememiştir ($p = 0.999 > 0.05$).



Şekil 4.25. Üç yazıcının RMS Karşılaştırılması Kutu Grafiği

Tablo 4.17. Tekrarlanabilirlik için ikinci kez üretilen modellerin RMS ortalamalarına yapılan ANOVA testi sonuçları

	Ort	SS	Min	Max	Medyan	
DLP	0.107	0.04	0.05	0.18	0.107	$p < 0.001$
SLA	0.325	0.15	0.14	0.59	0.294	
PolyJet	0.169	0.06	0.07	0.27	0.181	

3B yazıcıların tekrarlanabilirliğini değerlendirmek amacıyla ilk modellerin üretimi tamamlandıktan sonra randomize seçilen 5 hastanın modelleri her üç yazıcıdan tekrar üretimi yapılmıştır. Tekrar basılan modellerden yapılan ölçümlerde DLP, PolyJet ve SLA ölçümlerinin her birinin birbirlerinin RMS ortalamaları ile arasında farklılık olup olmadığını belirlemek için yapılan ANOVA testi sonuçları Tablo 4.17’de verilmiştir. ANOVA testi sonuçlarına göre en az iki grubun RMS ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır ($p<0.001$). Hangi grupların ortalamaları arasında farklılık olduğunu belirlemek için çoklu karşılaştırma testlerinden Tukey HSD testi kullanılmıştır. Tukey HSD testi sonuçları Tablo 4.18’de verilmiştir.

Tablo 4.18. İkinci ölçümlerde RMS ortalamaları için yapılan çoklu karşılaştırma Tukey-HSD testi sonuçları

	SLA	DLP	PolyJet
SLA	-	<0.001*	0.006*
DLP		-	0.381
PolyJet			-

İkinci ölçümlerde RMS ortalamaları için yapılan çoklu karşılaştırma Tukey HSD testi sonuçlarına göre “SLA-DLP” ($p<0.001$) ve “SLA-PolyJet” ($p=0.006<0.05$) RMS ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar belirlenmiştir. SLA RMS ortalaması ($0.325\pm0.15 \mu\text{m}$) DLP RMS ortalamasından ($0.107\pm0.04 \mu\text{m}$) büyüktür ve bu büyüklük istatistiksel olarak anlamlıdır. Benzer şekilde SLA RMS ortalaması ($0.325\pm0.15 \mu\text{m}$), PolyJet noktasal ölçüm ortalamasından ($0.169\pm0.06 \mu\text{m}$) büyüktür ve bu büyüklük istatistiksel olarak anlamlıdır. “DLP-PolyJet” RMS ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir ($p=0.381>0.05$).

4.3. DİJİTAL DENTAL MODELLER KULLANILARAK YAPILAN DİJİTAL YÜZEY ÇAKIŞTIRMA İLE 3B KARŞILAŞTIRMA YAPILAN MODELLERDEKİ NOKTASAL VERİLER

Tablo 4.19. Noktasal Çakıştırma verilerine göre ANOVA Testi Sonuçları

	DLP					SLA					PolyJet					
<i>Diş</i>	<i>Ort.</i>	<i>SS</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Medyan</i>	<i>Ort.</i>	<i>SS</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Medyan</i>	<i>Ort.</i>	<i>SS</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Medyan</i>	<i>p-değeri</i>
R6	0.169	0.234	0	1.48	0.069	0.520	0.675	0	3.63	0.271	0.121	0.147	0	0.6	0.066	<0.001*
R3	0.188	0.248	0	0.98	0.081	0.691	0.561	0.06	2.38	0.523	0.158	0.191	0	0.82	0.097	<0.001*
R1	0.217	0.270	0	1.14	0.090	0.638	0.553	0	2.32	0.549	0.199	0.208	0	0.89	0.141	<0.001*
L1	0.212	0.263	0	1.16	0.100	0.639	0.537	0.01	2.44	0.479	0.198	0.233	0	0.92	0.095	<0.001*
L3	0.188	0.231	0	0.86	0.075	0.688	0.619	0.01	2.43	0.498	0.187	0.227	0	0.99	0.103	<0.001*
L6	0.152	0.192	0	1.16	0.100	0.429	0.577	0	3.36	0.25	0.194	0.244	0	0.93	0.088	<0.001*

6 farklı diş için DLP, PolyJet ve SLA ölçümlerinin her birinin birbirlerinin ortalamaları ile arasında farklılık olup olmadığını belirlemek için yapılan ANOVA testi sonuçları Tablo 4.19’da verilmiştir. ANOVA testi sonuçlarına göre 6 farklı diş için en az iki grubun noktasal karşılaştırma ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır ($p < 0.001$). Hangi grupların ortalamaları arasında farklılık olduğunu belirlemek için çoklu karşılaştırma testlerinden Tukey HSD testi kullanılmıştır. Tukey HSD (honestly significant difference) testinde gruplardaki varyans ve örneklem sayılarının eşit olmasını gerektirmektedir. Tukey HSD testi sonuçları Tablo 4.20, 4.21, 4.22, 4.23, 4.24 ve 4.25’te verilmiştir.

Tablo 4.20. R6 dişi için yapılan çoklu karşılaştırma Tukey-HSD testi sonuçları

	SLA	DLP	PolyJet
SLA	-	<0.001*	<0.001*
DLP		-	0.806
PolyJet			-

R6 dişi için yapılan çoklu karşılaştırma Tukey HSD testi sonuçlarına göre “SLA-DLP” ve “SLA-PolyJet” noktasal ölçüm ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar belirlenmiştir ($p < 0.001$). SLA noktasal karşılaştırma ortalaması (0.52) DLP noktasal karşılaştırma ortalamasından (0.169) büyüktür ve bu

büyüklik istatistiksel olarak anlamlıdır. Benzer şekilde SLA noktasal karşılaştırma ortalaması (0.52), PolyJet noktasal karşılaştırma ortalamasından (0.121) büyüktür ve bu büyüklik istatistiksel olarak anlamlıdır. Diğer taraftan “DLP-PolyJet” noktasal karşılaştırma ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p=0.806>0.05$).

Tablo 4.21. R3 dişi için yapılan çoklu karşılaştırma Tukey-HSD testi sonuçları

	SLA	DLP	PolyJet
SLA	-	<0.001*	<0.001*
DLP		-	0.896
PolyJet			-

R3 dişi için yapılan çoklu karşılaştırma Tukey HSD testi sonuçlarına göre “SLA-DLP” ve “SLA-PolyJet” noktasal karşılaştırma ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar belirlenmiştir ($p<0.001$). SLA noktasal karşılaştırma ortalaması (0.691) DLP noktasal karşılaştırma ortalamasından (0.188) büyüktür ve bu büyüklik istatistiksel olarak anlamlıdır. Benzer şekilde SLA noktasal karşılaştırma ortalaması (0.691), PolyJet noktasal karşılaştırma ortalamasından (0.158) büyüktür ve bu büyüklik istatistiksel olarak anlamlıdır. Diğer taraftan “DLP-PolyJet” noktasal karşılaştırma ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p=0.896>0.05$).

Tablo 4.22. R1 dişi için yapılan çoklu karşılaştırma Tukey-HSD testi sonuçları

	SLA	DLP	PolyJet
SLA	-	<0.001*	<0.001*
DLP		-	0.962
PolyJet			-

R1 dişi için yapılan çoklu karşılaştırma Tukey HSD testi sonuçlarına göre “SLA-DLP” ve “SLA-PolyJet” noktasal karşılaştırma ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar belirlenmiştir ($p<0.001$). SLA noktasal karşılaştırma ortalaması DLP noktasal karşılaştırma ortalamasından büyüktür ve bu

büyüklik istatistiksel olarak anlamlıdır. Benzer şekilde SLA noktasal karşılaştırma ortalaması, PolyJet noktasal karşılaştırma ortalamasından büyüktür ve bu büyüklük istatistiksel olarak anlamlıdır. Diğer taraftan “DLP-PolyJet” noktasal karşılaştırma ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p=0.962>0.05$).

Tablo 4.23. L1 dişi için yapılan çoklu karşılaştırma Tukey-HSD testi sonuçları

	SLA	DLP	PolyJet
SLA	-	<0.001*	<0.001*
DLP		-	0.976
PolyJet			-

L1 dişi için yapılan çoklu karşılaştırma Tukey HSD testi sonuçlarına göre “SLA-DLP” ve “SLA-PolyJet” noktasal karşılaştırma ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar belirlenmiştir ($p<0.001$). SLA noktasal karşılaştırma ortalaması (0.639) DLP noktasal karşılaştırma ortalamasından (0.212) büyüktür ve bu büyüklük istatistiksel olarak anlamlıdır. Benzer şekilde SLA noktasal karşılaştırma ortalaması (0.639), PolyJet noktasal ölçüm ortalamasından (0.198) büyüktür ve bu büyüklük istatistiksel olarak anlamlıdır. Diğer taraftan “DLP-PolyJet” noktasal karşılaştırma ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p=0.976>0.05$).

Tablo 4.24. L3 dişi için yapılan çoklu karşılaştırma Tukey-HSD testi sonuçları

	SLA	DLP	PolyJet
SLA	-	<0.001*	<0.001*
DLP		-	1
PolyJet			-

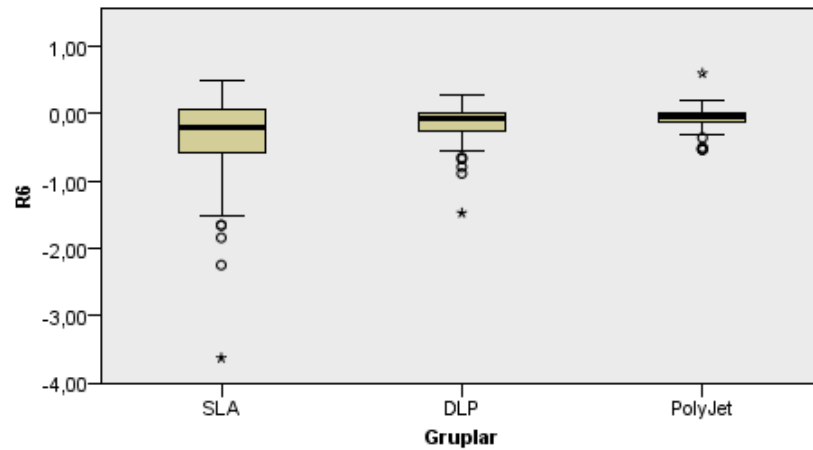
L3 dişi için yapılan çoklu karşılaştırma Tukey HSD testi sonuçlarına göre “SLA-DLP” ve “SLA-PolyJet” noktasal karşılaştırma ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar belirlenmiştir ($p<0.001$). SLA noktasal karşılaştırma ortalaması (0.688) DLP noktasal karşılaştırma ortalamasından (0.188)

büyüktür ve bu büyüklük istatistiksel olarak anlamlıdır. Benzer şekilde SLA noktasal karşılaştırma ortalaması (0.688), PolyJet noktasal karşılaştırma ortalamasından (0.187) büyüktür ve bu büyüklük istatistiksel olarak anlamlıdır. Diğer taraftan “DLP-PolyJet” noktasal karşılaştırma ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p=1>0.05$).

Tablo 4.25. L6 dişi için yapılan çoklu karşılaştırma Tukey-HSD testi sonuçları

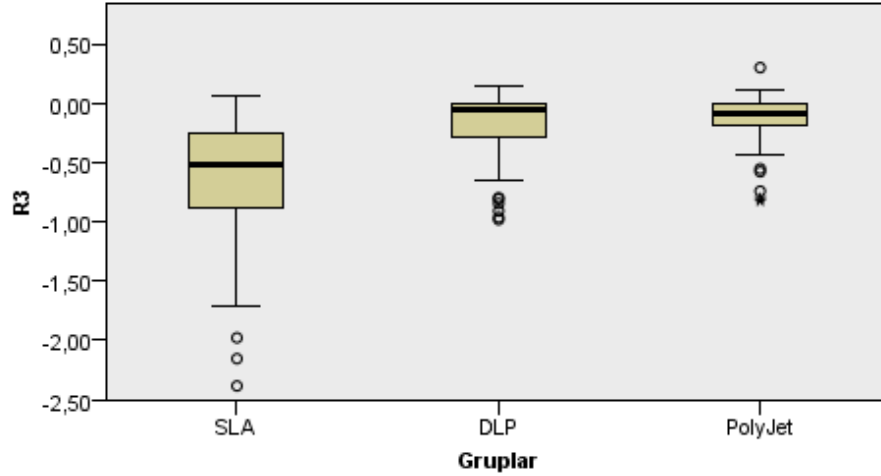
	SLA	DLP	PolyJet
SLA	-	<0.001*	0.002*
DLP		-	0.809
PolyJet			-

L6 dişi için yapılan çoklu karşılaştırma Tukey HSD testi sonuçlarına göre “SLA-DLP” ve “SLA-PolyJet” noktasal karşılaştırma ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar belirlenmiştir ($p<0.001$). SLA noktasal karşılaştırma ortalaması (0.429) DLP noktasal karşılaştırma ortalamasından (0.152) büyüktür ve bu büyüklük istatistiksel olarak anlamlıdır. Benzer şekilde SLA noktasal karşılaştırma ortalaması (0.429), PolyJet noktasal karşılaştırma ortalamasından (0.194) büyüktür ve bu büyüklük istatistiksel olarak anlamlıdır. Diğer taraftan “DLP-PolyJet” noktasal karşılaştırma ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p=0.809>0.05$).



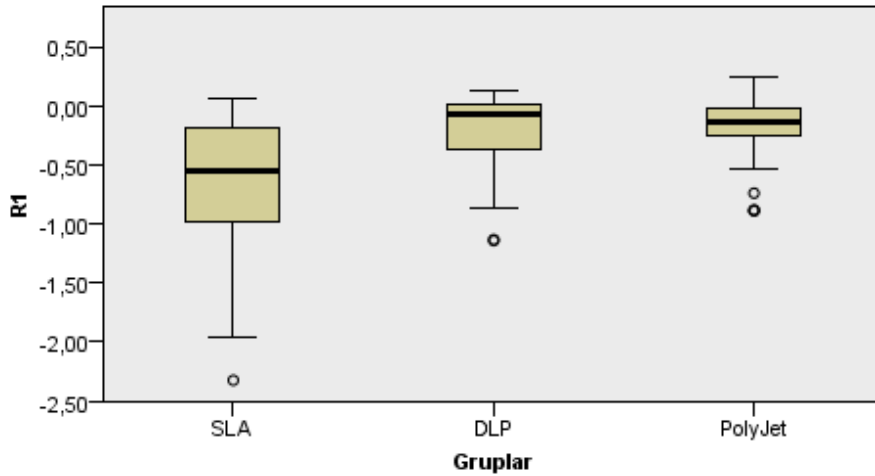
Şekil 4.26. R6 dişi için (çakıştırma verileri) ortalama uzaklıklara ilişkin kutu grafikleri

Sağ 1.molar diş okluzal yüzeyi en derin noktaları noktasal verilerinin karşılaştırmasında referansa en yakın değer 0,127 değer ile PolyJet'te görülmüştür. Benzerlik değeri ortalama 0.520 ile en uzak doğruluk SLA grubunda görülmüştür.



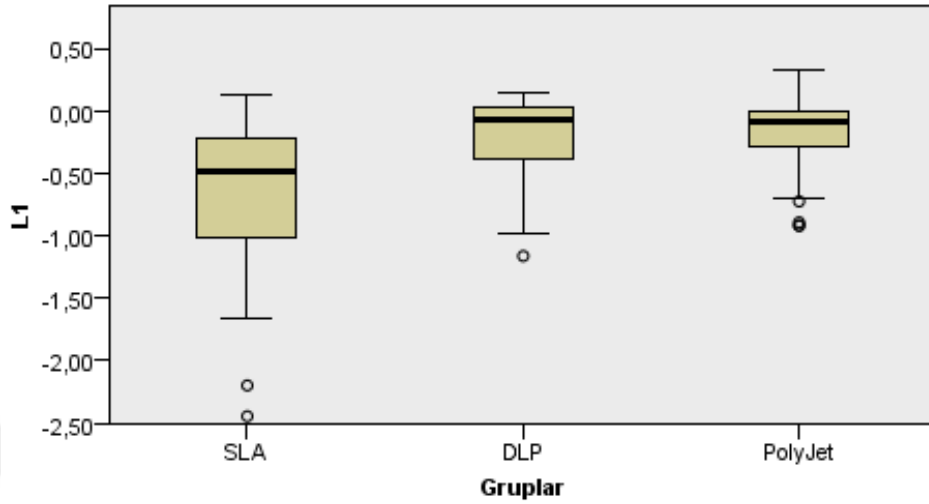
Şekil 4.27. R3 dişi için (çakıştırma verileri) ortalama uzaklıklara ilişkin kutu grafikleri

Sağ kanin dişin tüberkül tepelerinin noktasal verilerinin karşılaştırmasında referansa en yakın değer 0,165 değer ile PolyJet'te görülmüştür. Benzerlik değeri ortalama 0.691 ile en uzak doğruluk SLA grubunda görülmüştür.



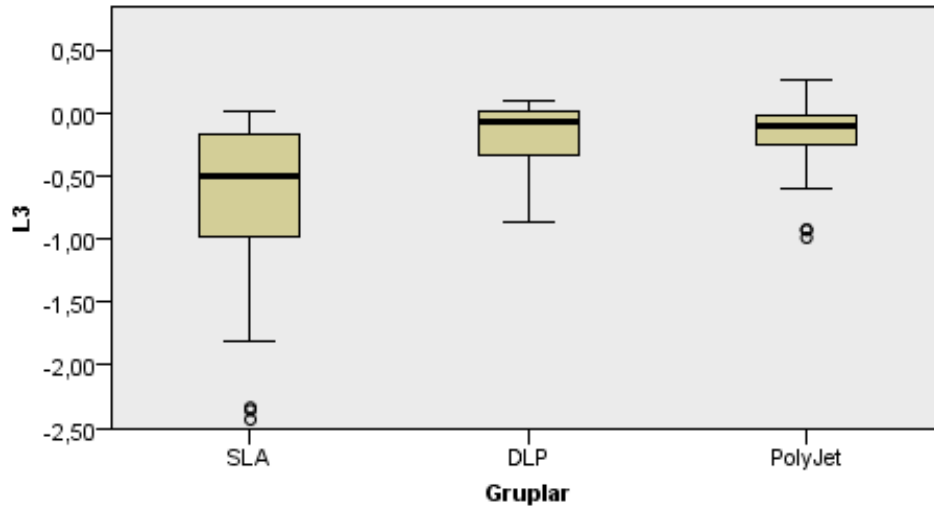
Şekil 4.28. R1 dişi için (çakıştırma verileri) ortalama uzaklıklara ilişkin kutu grafikleri

Sağ santral kesici diş insizal kenarı orta noktaları noktasal verilerinin karşılaştırmasında referansa en yakın değer 0,207 değer ile PolyJet'te görülmüştür. Benzerlik değeri ortalama 0.638 ile en uzak doğruluk SLA grubunda görülmüştür.



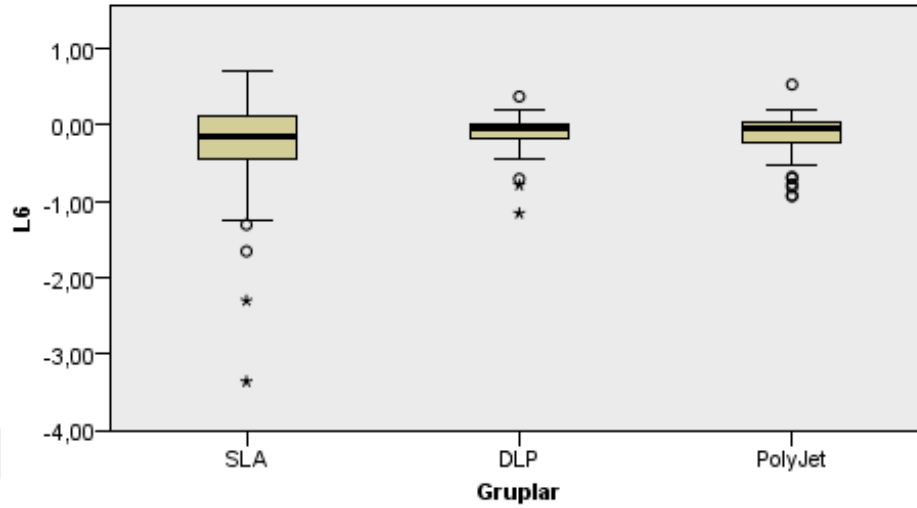
Şekil 4.29. L1 dişi için (çakıştırma verileri) ortalama uzaklıklara ilişkin kutu grafikleri

Sol santral kesici diş insizal kenarı orta noktaları noktasal verilerinin karşılaştırmasında referansa en yakın değer 0,208 değer ile PolyJet'te görülmüştür. Benzerlik değeri ortalama 0.639 ile en uzak doğruluk SLA grubunda görülmüştür.



Şekil 4.30. L3 dişi için (çakıştırma verileri) ortalama uzaklıklara ilişkin kutu grafikleri

Sol kanin dişin tüberkül tepelerinin noktasal verilerinin karşılaştırmasında referansa en yakın değer 0,195 değeri ile PolyJet'te görülmüştür. Benzerlik değeri ortalama 0.688 ile en uzak doğruluk SLA grubunda görülmüştür.



şekil 4.31. L6 dişi için ( akıştırma verileri) ortalama uzaklıklara ilişkin kutu grafikleri

Sol 1.molar diş okluzal yüzeyi en derin noktası noktasal verilerinin karşılaştırmasında, referansa en yakın değer 0,169 değeri ile DLP'de görülmüştür. Benzerlik değeri ortalama 0.429 ile en uzak doğruluk SLA grubunda görülmüştür.

4.26, 4.27, 4.28, 4.29, 4.30 ve 4.31 şekillerinde görüldüğü üzere, L6 dişi hariç tüm dişler PolyJet  akıştırma verilerinde uzaklık bakımından en dar aralığa sahiptir ve sıfır etrafında daha yoğun uzaklıklara sahiptir. L6 dişi için ise DLP aynı şekilde uzaklık bakımından en dar aralığa sahiptir ve uzaklıklar sıfır etrafında yoğunlaşmaktadır. SLA yazıcısı ise uzaklık bakımından en geniş aralığa sahiptir ve diğer iki yazıcıya göre sıfıra daha uzak uzaklık ölçülerine sahiptir.

5.TARTIŞMA

Bu çalışmada dental modeller kullanılarak SLA, DLP ve PolyJet 3B yazıcı teknolojilerinin üretim doğruluğu ve güvenilirliği karşılaştırılmıştır.

3B baskı, üretim süresini kısaltması, gerekli maliyetleri düşürmesi ve karmaşık yapılara sahip öğelerin üretimine olanak sağlaması nedeniyle imalat endüstrisindeki en ileri teknolojilerden birisidir. 3B baskı, bir nesneyi üretmek için malzemelerin katman katman eklendiği bir üretim sürecidir. Dijital teknoloji ve üretimdeki gelişmeler, diş hekimliğine de yeni bir vizyon kazandırmıştır. Bu teknolojilerin dental hizalayıcılar, okluzal splintler, cerrahi splintler, indirek bonding trayleri ve mini vida yerleştirme için cerrahi kılavuzlar olmak üzere ortodontideki birçok alanda kullanımı mevcuttur ve kullanımları giderek yaygınlaşmaktadır (81,82). Fiziksel bir dental model üretmek için dijital yazılımların kullanılması sayesinde, geleneksel model üretim sürecinin birkaç adımı atlanabilir ve böylece ürün/aparey teslim süresi kısalarak şekil bozulmaları olmadan çoklu kopyaların üretilmesi kolaylaşır (83). Prototipleme süreci için yeterli ekipman ve detaylı uygun yazılımlar ile ortodontik üretimlerin verimliliğini ve doğruluğunu arttırmak mümkündür. 3B baskı diş modellerini klinik amaçlarla kullanmak için, üretim sonucunun doğruluğu sağlanmalıdır.

Literatürde 3B baskı sistemiyle prototiplenen dental modellerin, şeffaf plaklar için dental modellerin üretimi de dahil olmak üzere, teşhis ve tedavi planı amaçları için doğru ve kullanılabilir olduğu ile alakalı birçok çalışma yapılmıştır (84-87). Hazeveld ve ark. (84) 3 farklı hızlı prototipleme teknolojisini kullanarak diş modellerini üretmiş ve dişlerin mezyodistal boyutlarını dijital kumpasla ölçmüşlerdir. Bu çalışmada ölçümlerde istatistiksel anlamda farklılık bulunmamış, üretilen modellerin kullanılabilir doğrulukta ve hızlı prototipleme teknolojilerinin ortodontide seçilen uygulamalar için uygun olabileceği sonucuna varılmıştır. Murugesan ve ark. (85) farklı baskı teknolojilerinin karşılaştırıldığı benzer bir çalışmada üretilen modelleri manuel olarak dijital kumpasla boyutsal doğruluk ölçümleri yapmışlardır.

5.1. GEREÇ VE YÖNTEMİN TARTIŞILMASI

Bu çalışmaya Gülhane Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı arşivinden 12-20 yaş aralığında 30 hastanın (alt-üst) ortodontik alçı modelleri dahil edilmiştir. Alçı modeller intaroral tarayıcı ile taranarak dijital dosyaları elde edilmiş, bu dosyalar kullanılarak 3 farklı baskı teknolojisine sahip 3 yazıcıdan baskı modeller üretilmiştir. Üretilen bu modeller yine intraoral tarayıcı ile taranmış ve stl'ler elde edilmiştir. Yazıcıların doğruluğu, referans stl ve baskı model stl'si tersine mühendislik yöntemlerinden faydalanılarak karşılaştırılmıştır. Yazılım aracılığıyla modeller üzerinde boyutsal ölçümler yapılmıştır.

5.1.1. Hasta Modellerinin Seçimi

Hastaların dahil edilme kriterlerini belirlerken bu konu ile yapılan diğer çalışmalar temel alınmıştır (88-90). Çalışmamızda yer alan alçı modellerin ait olduğu hastaların yaş aralığı, 12-20 yaş olarak belirlenmiştir. Vaka seçiminde belirlediğimiz yaş aralığında alt sınırın 12 olması, daimî dişlenmenin 12 yaşında tamamlanmış olması ve tüm dişlerin ağızda ve oklüzyonda olması sebebiyle tercih edilmiştir. Üst sınırın 20 yaş olarak belirlenmesinin sebebi ise, yaş ilerledikçe çürük, geniş restorasyonlu diş bulunma ve restorasyonla dişin kurtarılamayarak protetik tedaviler ya da çekim uygulanması ihtimalinin artmasıdır.

Çalışmamızda alçı modellerini kullandığımız bireylerin daimî dentisyonda olması ve 1. molar dişten karşı arkta 1. molar dişe kadar daimî dişlerinin olması, ölçümlerin eksiksiz ve tam olarak yapılması açısından önemlidir. Alçı modellerde dişlerin 3 yüzünü ilgilendiren geniş çürüklerin, defektlerin, geniş restorasyonların bulunmamasına, dişlerde şekil, sayı ve boyut anomalisi olmamasına dikkat edilmiştir. Bu faktörlerin bulunmaması diş boyutlarını etkileyerek boyutsal ölçümleri olumsuz etkilememesi bakımından önemlidir. Böylece sağlıklı daimî dişler kullanılarak, anatomik referans noktalarının belirlenmesi sırasında yaşanabilecek hataların minimuma indirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmamızda alçı modellerini kullandığımız bireylerde 0-4 mm arası yer darlığı veya diastema bulunmaktadır. Şiddetli çapraşıklık nedeniyle dişlerin

yüzeylerinde oluşabilecek süperpozisyonların dijital görüntülerin kalitesini etkileyerek, yapılacak doğrusal ölçümleri ölçüm sonuçlarını etkileyebileceği düşünülmüş, bu nedenle minimum çapraşıklık veya diastemaya sahip bireylerin modelleri çalışmaya dahil edilmiştir.

Literatürde dijital modellerle farklı baskı teknolojilerinin doğruluklarının karşılaştırıldığı çalışmalar mevcuttur (85,91-93). Bu çalışmalar çoğunlukla tipodont modellerle, yazılımda tasarlanan dişli ark benzeri modellerle ve arkın belirli bir kısmı ile yapılmıştır.

Çalışmamızda klinik kullanıma en uygun materyal olması ve üretim doğruluğu en etkin şekilde araştırabilmek için hasta modeli tercih edilmiştir. Dişlerin anatomik farklılıkları ve varyasyonları nedeniyle farklı hasta modelleri kullanılarak elde edilen baskı modellerle üretim doğruluğu araştırılmıştır.

5.1.2. Metot Seçimi

Modellerin Üretiminde Tercih Edilen Katman Kalınlığı

Çalışmamızda farklı baskı teknolojilerine sahip üç farklı 3B yazıcıdan referans hasta modelleri kullanılarak 30 çift model edilmiştir. Zhang ve ark. (94) DLP ve SLA teknolojilerini kullanarak farklı katmanlarda elde edilen 3B baskı diş modellerinin doğruluklarının karşılaştırdıkları çalışmada tüm yazıcıların baskı doğruluğunun 50µm'de daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır. Brown ve ark. (95) da 30 hasta üzerinden DLP ve PolyJet teknolojileri kullanılarak elde edilen baskı dental modelleri karşılaştırdıkları çalışmalarında, DLP yazıcının minimum 50 µm kalınlık, PolyJet yazıcının ise minimum 16 µm kalınlıkta en doğru üretim yaptıklarını belirtmişlerdir.

You ve ark. (96) total dişsiz ağızlar için SLA teknolojisi kullanarak 50 µm ve 100 µm katman kalınlıklarında 20 adet maksiller deneme protezi ürettikleri çalışmalarında, katman kalınlığını 100 µm olarak ayarlamanın klinik olarak daha uygun olduğu sonucuna varmışlardır. Favero ve ark. (97) da SLA teknolojisi kullanarak 25, 50, ve 100 µm katman kalınlıklarında ortodontik modellerin

karşılaştırıldığı çalışmaları, 100 µm katman kalınlığındaki modellerin en düşük sapmayı gösterdiği bildirilmiştir.

Bir 3B yazıcının doğruluğu ve yüzey kalitesi, z eksenine art arda eklenen katmanların kalınlığı ile sınırlıdır ve daha kalın katmanlar daha fazla yanlışlığa yol açar. Bu bağlamda çalışmamızda kullanıcı talimatlarına uyularak ve bu çalışmalar referans alınarak SLA 100 µm, DLP 50 µm ve PolyJet 16 µm katman kalınlığında model üretimi yapılmıştır (3,96,97).

Dijital Modellerin Standardize Edilmesi

Çalışmamızda doğru bir karşılaştırma ve bu karşılaştırma sonucu elde edilen verilerin güvenilirliği ve tekrarlanabilirliği için standardizasyon sağlanması gerektiği düşünülmüştür. Hayashi ve ark. (98) 3B dijital modeller üzerinde yapılan ölçümlerin standardizasyonun tekrarlanabilirliğe etkisini incelemişlerdir. Standardizasyon yapılan grupta, yapılmayan gruba oranla tüm yöntemlerde ölçüm farklılıkları önemli derecede daha düşük bulunmuştur.

Dijital yüzey karşılaştırmasından önce, kaidenin neden olabileceği bozulmaları önlemek için veri alınmayacak alanlar yani modellerde dişeti yüzeyinin çoğu analiz dışı bırakılması hedeflenmiştir. Bu sebeple modellerin standardizasyonu için Flügge ve ark. (99) yaptıkları çalışma referans alınarak maksilladaki kanin dişlerin dişeti sulkusunun en derin noktasından ve ikinci azı dişlerinden ve mandibulada kanin ve birinci azı dişlerinden geçen bir kesme düzlemi oluşturulmuştur. Her iki ikinci azı dişinin fissürün en derin noktasından geçen ikinci bir kesme düzlemi oluşturulmuştur ve tüm dijital modeller için aynı yükseklikte düzlem kesimi ile optimize edilmiştir.

Kim ve ark. (92) farklı baskı teknolojileri üretilen dental modellerin doğruluk ve güvenilirliğinin karşılaştırıldığı çalışmaları, modelleri dişlerin Zenith noktasının 2 mm üstünden x-z düzlemiyle keserek optimize etmişlerdir.

Dijital Yüzey Karşılaştırması

Literatür taramalarında, 3B yazıcı teknolojilerinin karşılaştırıldığı güncel çalışmalarda, genellikle dijital yüzey karşılaştırma programlarının tercih edildiği

gözlenmiştir (93,100-103). Çalışmamızda 3B yazıcılardan elde edilen dental modellerin referans modellere doğruluk derecesini karşılaştırmak için tersine mühendislik yazılımında Best-fit algoritma yöntemi kullanılmıştır. Best-fit algoritma yöntemi referans model ile ölçüm verisi arasındaki ortalama sapma değerinin çok küçük olduğu durumlarda, karşılaştırma işlemi için tercih edilmektedir. Sapmanın çok olduğu veya referans model üzerinde temsil edilmeyen noktalar, karşılaştırma işlemi sırasında görmezden gelinmektedir. Benzer çalışmalarda da dijital ortamdaki karşılaştırma işlemlerinde Best-fit algoritması kullanılmıştır (104-108).

Bu yöntemde tersine mühendislik yazılımı referans ve baskı model arasındaki benzer noktalar otomatik olarak belirlenmektedir. Daha yoğun sayıdaki benzer noktalar yüzey oluşturmakta ve sabit olduğu gözlenen benzer yüzeyler üzerinde karşılaştırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Karşılaştırma işlemi takiben 1. molar dişin okluzal yüzeylerinin en derin noktaları, kanin dişlerin tüberkül tepeleri ile kesici dişlerin insizal kenarının orta noktası aynı araştırmacı tarafından belirlenerek karşılaştırma değerleri alınmıştır. Karşılaştırma işlemlerinin yüksek doğruluk ve güvenilirlikte olması yöntemin klinik kullanılabilirliği açısından önemlidir. Birçok araştırmacı tarafından sayısal 3B modellerin güvenilirliği ile ilgili araştırmalar yapılmıştır (86,91,95,104,109).

5.2. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

5.2.1. RMS Değerlerinin Tartışılması

Çalışmamızda DLP, SLA ve PolyJet baskı teknolojilerinin doğruluğu karşılaştırılmıştır. “Doğruluk” dijital referans verilerinin SLA, DLP ve PolyJet yazıcılarından elde edilen veriler üzerinde dijital yüzey karşılaştırması yapılmasıyla değerlendirilmiştir. Baskı modellerin 3B sapma değerlerini incelemek için yazılımın en uygun hizalama sonrası verdiği RMS değerleri ve 3B karşılaştırma sonrası belirlenen diş yüzeylerindeki karşılaştırma noktalarının sapma değerleri kullanılmıştır. Renk kodlu haritalarda, sarıdan kırmızıya alanlar baskı modelin referans modelden daha büyük ve modelde genişleme olduğunu ve açık maviden koyu maviye alanlar baskı modelin referans modelden daha küçük ve modelde büzülme olduğunu göstermiştir.

Rossini ve ark. (110) ortodontide dijital modellerin teşhis doğruluğu ve ölçüm hassasiyetinin değerlendirildiği sistematik inceleme çalışmalarında 200 μm 'den daha az bir ölçüm hatasının klinik olarak kabul edilebilir olduğunu öne sürmüşlerdir. Phan ve ark. (79) Invisalign'ın (Align Technology, San Jose, Calif) klinik limitasyonları ile ilgili yaptıkları çalışmalarında, her bir hizalayıcıda 0,25 ile 0,3 mm arasında maksimum diş hareketi olduğunu, bu nedenle üretilen hizalayıcının dişlere ortodontik bir kuvvet uygulayabilmesi için dental modellerin doğruluğundaki farkın 0,25 ile 0,3 mm'den küçük olması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır. Çalışmamızda da doğruluğun değerlendirilebilmesi için sapma değerleri ± 0.25 mm maksimum kritik değer ve renk spektrumları için maksimum nominal değer ± 0.025 mm olarak belirlenmiştir.

Çalışmamızda DLP-SLA-PolyJet teknolojilerinin değerlendirildiği karşılaştırma verilerine göre RMS değerleri incelendiğinde en küçük RMS ortalamasına 0.145mm ile PolyJet yazıcısı sahiptir. İkinci olarak DLP yazıcısında elde edilen karşılaştırma verilerinin RMS ortalaması 0.161mm olarak belirlenmiştir. SLA yazıcı ise 0.345mm ile en büyük RMS ortalamasına sahiptir. Kim ve ark. (92) dental modeller kullanılarak farklı baskı teknolojilerinin kesinlik ve doğruluğunu karşılaştırdıkları çalışmada, 78 mm lik RMS değeriyle PolyJet tekniğinin en yüksek doğruluk gösterdiğini, onu da sırasıyla SLA, DLP ve FFF teknolojilerinin ortalama RMS değerleri ile takip ettiğini belirtmişlerdir (sırasıyla 107, 143 ve 188). Her iki çalışmanın sonuçları birbirini desteklemektedir.

Salmi ve ark. (111) SLS,3DP ve PolyJet teknolojilerinin kullanıldığı 3B medikal kafatası modellerini karşılaştıran bir çalışma yapmışlar ve çalışmada PolyJet modelinin boyut hatası $\%0,18 \pm 0,12\mu\text{m}$, SLS modelinin hatasının $\%0,79 \pm 0,26\mu\text{m}$ ve 3DP modelin hatası $\%0,67 \pm 0,43\mu\text{m}$ sonuçlarına ulaşılmışlardır. PolyJet yazıcıyla basılan modellerin en küçük boyut hatasına sahip olduğunu, 3DP ve SLS ile basılan modellere göre daha yüksek doğruluk gösterdiği bildirilmiştir.

Camardella ve ark. (109) SLA ve PolyJet 3B baskı teknolojileri kullanılarak, normal kaide, at nalı şeklinde kaide ve arka bölgeyi bir çubuk ile birbirine bağlayan at nalı şeklinde kaide olacak şekilde farklı model kaidesi tasarımları ile ağız içi taramalardan elde edilen basılı modellerin doğruluğunu karşılaştırmıştır. Sonuçlar,

PolyJet yazıcı tarafından üretilen modellerin, model tabanının tasarımından bağımsız olarak tüm model kaidesi tasarımlarında daha doğru olduğunu göstermiştir.

Farklı baskı teknolojilerinde model doğruluğunun etkilenmesini araştıran Zhang ve ark. (94), SLA ve DLP teknolojilerini karşılaştırdığında, DLP teknolojisinin katman kalınlığı 100µm olarak ayarlandığında SLA'ya kıyasla daha hızlı ve daha yüksek bir baskı doğruluğuna sahip olduğunu bulmuşlardır.

Eklemeli üretim süreci ve depolama koşullarının 3B baskı dental modellerin boyutsal doğruluğu ve kararlılığı üzerindeki etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, DLP 3B yazıcıdan üretilen modellerin RMS'sinin, MultiJet 3B yazıcıyla üretilenlerden önemli ölçüde daha yüksek ortalamaya sahip olduğu sonucuna varmışlardır ($P < .001$) (112). Bu veriler, Multijet teknolojisinin daha doğru sonuçlar verdiği çalışma bulgularımızı desteklemektedir.

Çalışmamızda 3B karşılaştırma noktaları değerlendirildiğinde alt sol 1. molar dişi hariç tüm dişler PolyJet çakıştırma verilerinde referansa en yakın değerleri göstermiştir. Sol 1.molar dişi için ise DLP grubu referansa en yakın değerlere sahiptir ve değerler sıfır etrafında yoğunlaşmaktadır. SLA grubu veri değerleri en geniş aralığa sahiptir ve diğer iki yazıcı model grubuna göre sıfıra daha uzak değerlere sahiptir ve daha az doğrulukta baskı yapmıştır. Noktasal karşılaştırma verileri çalışmamadaki RMS değerleri ile uyum göstermiştir.

Çalışmamızda kullanılan 3B yazıcı teknolojilerinin tekrarlanabilirliğini değerlendirmek amacıyla ilk modellerin üretimi tamamlandıktan sonra randomize seçilen 5 hastanın modellerinin her üç yazıcıdan tekrar üretimi yapılmıştır. İkinci ölçümlerde RMS ortalamaları sonuçlarına göre “SLA-DLP” ($p < 0.001$) ve “SLA-PolyJet” ($p = 0.006 < 0.05$) RMS ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar belirlenmiştir. “DLP-PolyJet” RMS ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir ($p = 0.381 > 0.05$). Bu sonuçlar ilk ölçümlerdeki RMS değerleri ile uyum göstermiştir.

SLA ve DLP teknolojisi, baskı doğruluğu, hızı, maliyeti, kalitesi açısından diş hekimliğinde en yaygın kullanılan 3B yazıcı teknolojileridir. SLA teknolojisi,

nesnenin konturu boyunca fotopolimere bir UV lazeri ışınlayarak her katmanı oluşturur. Katman polimerize edildikten sonra platform katman kalınlığına göre dikey olarak hareket eder ve lazer yeni katmanı sertleştirir. Bu işlem tekrarlanarak 3B bir nesne oluşturulur (113). DLP teknolojisi, SLA teknolojisinin sertleştirme yöntemine çok benzer, ancak ışık kaynağı farklıdır. DLP teknolojisi, yüksek çözünürlüklü bir projektör ile tek seferde tüm katmanı sertleştirir. Bu düşünce çalışmamızın sonuçlarını destekler niteliktedir.

Yukarıda bahsedilen çalışmalar çalışmamızla benzer sonuçlar göstermiştir. PolyJet baskı ile üretilen modeller yapım sürecinde tamamen kürlenir, sonradan küremeye gerek yoktur. Foto polimerizasyon tekniğiyle üretim yapılan SLA ve DLP baskı tekniklerine göre üretim sonrası küreme işleminin olmasının ürünlerde boyutsal doğruluğu ve stabiliteyi etkileyebileceği düşünülmektedir. PolyJet teknolojisinde küreme işleminin üretim esnasında olması üretim doğruluğu açısından avantaj oluşturmaktadır.

Literatürde çalışmamızı destekler nitelikte araştırmalar olmakla birlikte farklı sonuçların olduğu çalışmalar da bulunmaktadır.

Baek ve ark (114) SLA, DLP ve PolyJet teknolojilerini kullanarak mandibular 1.molar diş ürettikleri çalışmada SLA modelleri DLP, PolyJet modellerinden daha yüksek doğruluk göstermiştir ($p < 0.05$). Sonuçlardaki bu farklılık üretim aşamalarındaki modelin kürlenmesi, polimerizasyon sonrası koşulları, üretimi yapılan nesnenin boyutsal küçüklüğü ve ince katman kalınlığı ile ilgili olabilir. Üretim sonrası reçine büzülmesi boyutsal düzleme ve modelleme malzemesine bağlıdır ve 3B tarafından üretilen modellerin hassasiyetini değiştirebilir. Bu çalışmada, SLA, DLP ve PolyJet sistemleri ile üretilen 3B baskı modellerin model üretimi için klinik olarak kabul edilebilir olduğu sonucunu doğrulamışlardır.

Emir ve Ayyıldız (108) çalışmamızdaki baskı teknolojilerini kullanarak yaptığı çalışmada, ortalama RMS doğruluk değerleri SLA için 51 μm , DLP için 46 μm ve PolyJet için 58 μm bulmuşlardır. PolyJet yazıcının katman kalınlığı (16 μm) DLP yazıcıdan (50 μm) daha ince olmasına rağmen, DLP modeller PolyJet modellerden daha doğru sonuç gösterdiğini belirtmişlerdir. Yüksek çözünürlüğe

sahip yazıcılar, ince ayrıntılara sahip modeller üretebilir, ancak doğruluğu baskı malzemeleri etkileyebilir sonucuna ulaşmışlardır.

PolyJet baskı teknolojisinde kullanılan hammadde skalası oldukça geniştir. Çeşitli renkler, farklı şeffaflıklar, farklı sertlik özelliğine sahip hammaddeler bulunmaktadır. Emir ve Ayyıldız (108) PolyJet baskı teknolojisinde VeroClear baskı malzemesini kullanmışlar, bu ürün şeffaf olması sebebiyle PolyJet baskı modellere tarama yüzeyi için ince tabaka tarama spreyi uygulanmıştır. Çalışmadaki PolyJet baskı modellerde gözlemlenen sapmaların tarama spreyinin kalınlığından kaynaklanabileceği ve doğruluğu etkilemiş olabileceği söylenmiştir.

Çalışmamızda PolyJette mat ve beyaz renkli Verowhite reçinesi tercih edilmiştir. Yüksek çözünürlüklü model üretimi sağlanabilmiş, mat yüzeyi sebebiyle tarama için ekstra bir işlem uygulamaya gerek kalmamıştır. Bu da katman kalınlığında artış olmamasını sağlamıştır. Bu avantajın en yüksek doğrulukla en ayrıntılı üretim yapmasına katkıda bulunduğunu düşünmekteyiz.

5.2.2. Boyutsal Doğruluk Ölçümlerinin Tartışılması

Çalışmamızda referans ölçümleri ile 3B yazıcılar (SLA, DLP ve PolyJet) aracılığı ile üretilen modellerden elde edilen ölçümler arasındaki uyumu incelemek için yapılan Bland-Altman istatistiklerine göre alt sol kanin dişi için SLA yazıcı ile referans ölçümleri arasında bir farklılık bulunmuştur.

3B dijital modeller üzerinde yapılan ölçümlerin güvenilirliğinin ve tekrarlanabilirliğinin değerlendirildiği benzer bir çalışmada da, üst çene alçı model için en düşük ICC değerleri sağ ve sol kanin dişlerin ölçümlerinde tespit edilmiştir (115). Bu farklılığın nedeninin kanin dişin kurvatür hizasında bulunmasından dolayı mezio distal ölçümünün daha zor olabileceğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Koretsi ve ark.(116) nın manuel ve dijital ortodontik model analizlerinde gözlemci içi güvenilirliği değerlendirdikleri çalışmada yöntemler arasında kesici dişlerin meziodistal boyutsal ölçüm uyumları, diğer dişlere kıyasla daha yüksek bulmuşlardır. Çalışmamızda da ICC istatistiklerine göre sağ ve sol kesici dişlerin meziodistal ölçümleri arasında mükemmel bir uyum olduğu görülmektedir.

Diş morfolojisinin boyutsal ölçümlerde referans noktanın belirlenmesinde rol oynadığını; düz kenar yüzeyindeki bölgelerin kavisli yapılar üzerinde bulunan noktalara göre daha güvenilir işaretlenebilir olduğunu düşünmekteyiz.

3B baskı ile üretilen modellerin doğruluğu, üretim koşulları, malzeme türü, baskı katmanı kalınlığı, polimerizasyon büzülme derecesi ve polimerizasyon ünitesinin boyutu ve gücü gibi birçok faktörden etkilenebilir. Fotopolimerizasyon sırasında % 6 ila %10 arasında bir büzülme meydana gelebilir ve bu büzülme genel doğruluğu etkileyebilir (117). Polimerizasyon işlemi sırasında termal genleşme veya büzülme de boyutsal hatalara neden olabilir (118). Lazerle polimerizasyon sırasında lazer ucunun ebatı, katmanlar arası aşırı UV ışığına maruz kalması gibi sebeplerle üretilen modeller özellikler dikey yönde boyutsal doğrulukta sapmalara neden olabilir (119).

5.2.3. ICC Verilerinin Tartışılması

Rungrojwittayakul ve ark (102) boşluklu ve dolu tipodont model stl. lerinin CLIP ve DLP teknolojileri kullanılarak model üretim yaptıkları çalışmada 3B baskılı modellerin hassasiyeti ICC kullanılarak ölçülmüştür. Test edilen dört grubun sonuçları ICC'si 0.968 (CH), 0.981 (CS), 0.969 (DH) ve 0.983 (DS) olarak verilmiştir. Test edilen tüm gruplar, ICC değerlerinin %95 güven aralığına dayalı olarak mükemmel bir kesinlik düzeyi sergiliyor olarak sınıflandırıldığı belirtilmiştir. Bu kesinlik düzeyi çalışmamızdaki kesinlik düzeyi ile benzerlik göstermektedir. Çalışmamızda ICC istatistiklerine göre R1 ve L1 dişleri için bu 4 ölçüm arasında mükemmel bir uyum olduğu ve R6, R3, L3 ve L6 dişleri için ise ölçümler arasında iyi derecede bir uyum olduğunu görülmektedir. Yani SLA, DLP ve PolyJet 3B yazıcıları ana referansa alternatif birer baskı tekniğidir.

Jaber ve ark (120) 20 alt-üst hasta modeli kullanılarak iki farklı baskı teknolojisiyle modellerin doğruluğunu karşılaştırdığı çalışmada tüm modeller, ilk ölçümden bir hafta sonra aynı araştırmacı tarafından yeniden ölçülmüştür. Herhangi bir sistematik hatayı saptamak için eşleştirilmiş *t* testleri değerlendirilmiş, tekrarlanan ölçümler arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p > 0,002$). Değerlendirici içi güvenilirlik için sınıf içi korelasyon katsayıları (ICCs) kullanılmıştır. İki ölçüm seti

arasındaki ICC'ler 0,814 ile 0,999 arasında değişmekte ve bu da değerlendirici içi güvenilirliğin mkemmek olduğunu göstermiştir (120).

Çalışmamızda da tüm ölçümler tek bir gözlemci tarafından yapılmıştır, bu nedenle boyutsal ölçüm güvenilirliği yalnızca gözlemci içi varyasyonla alakalıdır.

İlk lm ile ikinci ölçümler arasındaki ilişki Pearson korelasyon katsayısı ile belirlenmiştir. PCC değerlerine bakıldığında (0.794-0.997) arasında değiştiği görülmektedir. %95 güven aralığında en az 0,959 olan ICC değeri, değerlendirici içi tekrarlanabilirliğin yüksek olduğunu göstermiştir





6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Farklı baskı teknolojileri kullanılarak elde edilen dijital baskı modeller üzerinde gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları ve öneriler aşağıda özetlenmiştir. Bu çalışmanın sınırları göz önüne alınarak şu sonuçlara ulaşılabilir:

1. Dijital yüzey çakıştırma verilerine göre RMS değerleri incelendiğinde SLA grubu RMS ortalaması ($0.345 \pm 0,23$ mm) DLP grubu RMS ortalamasından ($0.161 \pm 0,12$ mm) büyüktür ve bu büyüklük istatistiksel olarak anlamlıdır. Benzer şekilde SLA grubu RMS ortalaması ($0.345 \pm 0,23$ mm) , PolyJet grubu RMS ortalamasından ($0.145 \pm 0,10$ mm) büyüktür ve bu büyüklük istatistiksel olarak anlamlıdır. Diğer taraftan “DLP-PolyJet” grupları ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir ($p=0.999 > 0.05$).
2. Dijital dental modeller kullanılarak yapılan boyutsal ölçümler değerlendirildiğinde tüm dişler için DLP, PolyJet ve SLA yazıcılarından elde edilen ölçümlerin ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur ($p > 0.05$).
3. Çalışmamızda kullanılan SLA, DLP ve PolyJet üretim teknolojileri, ortodontik açıdan model üretim aşamasında klinik açıdan kullanılabilir düzeydedir. Ancak SLA modellere oranla DLP ve PolyJet teknolojisine sahip yazıcıların daha hassas üretim yaptıkları değerlendirilmiştir.
4. Aynı cihazların geliştirilmiş güncel versiyonları kullanılarak yapılacak daha kapsamlı çalışmalarda farklılıklar ortaya çıkabileceğini düşünmekteyiz.
5. Tez çalışmamızda kullanılan SLA, DLP ve PolyJet teknolojileri klinik açıdan kullanılabilir olsa da, üretilecek materyalin amacına ve ebatlarına bağlı olarak, tercih edilecek teknolojinin zaman ve maliyet açısından değerlendirilmesi önerilir.



7. KAYNAKLAR

1. R.Ishengoma F, B. Mtaho A. 3D Printing: Developing Countries Perspectives. *Int J Comput Appl.* 2014;104(11):30–4.
2. Park J-M, Yi T-K, Koak J-Y, Kim S-K, Park E-J, Heo S-J. Comparison of Five-Axis Milling and Rapid Prototyping for Implant Surgical Templates. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2014;29(2):374–83.
3. Brown GB, Currier GF, Kadioglu O, Kierl JP. Accuracy of 3-dimensional printed dental models reconstructed from digital intraoral impressions. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2018 Nov 1;154(5):733–9.
4. Saxena A, Kamran M. A Comprehensive Study on 3D Printing Technology. *MIT Int J Mech Eng.* 2016;6(2):63–9. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/310961474>
5. Cousley RR. Introducing 3D printing in your orthodontic practice. *J Orthod.* 2020 Sep 1;47(3):265–72.
6. Groth C, Graham JW, Redmond WR. Three-Dimensional Printing Technology. 2014;XLVIII(8):475–85.
7. Leinfelder KF, Isenberg BP, Essig ME. A new method for generating ceramic restorations: a CAD-CAM system. *J Am Dent Assoc.* 1989;118(6):703–7.
8. Jain R, Takkar RR, Jain G, Takkar RR, Deora N, Jain Professor R. CAD-CAM the future of digital dentistry: a review. *Ann Prosthodont Restor Dent [Internet].* 2016;2(2):33–6. Available from: [https://www.innovativepublication.com/admin/uploaded_files/APRD_2\(2\)_33-36.pdf](https://www.innovativepublication.com/admin/uploaded_files/APRD_2(2)_33-36.pdf)
9. M. C. Reliability of measurements from photocopies of study models. *J Clin Orthod.* 1992;26(10):648–650.
10. Jacobs PF. Rapid prototyping & manufacturing— Fundamentals of stereolithography. *J Manuf Syst.* 1993;12(5):430–3.
11. Kidwell J. Best Practices and Applications of 3D Printing in the Construction Industry. 2017;8.

12. Hosoda S, Imai T, Okatani S, Nishio S, Takahashi T. Iii Iii Iiii Us005485722a. 1996;(19):3373–6.
13. Mårtensson B, Rydén H. Measurement and Storage of Dental Casts. 1992;113–9.
14. Torassian G, Kau CH, English JD, Powers J, Bussa HI, Salas-Lopez AM, et al. Digital models vs plaster models using alginate and alginate substitute materials. *Angle Orthod*. 2010;80(4):662–9.
15. Peluso MJ, Josell SD, Levine SW, Lorei BJ. Digital models: An introduction. *Semin Orthod*. 2004;10(3):226–38.
16. Cevidane LHS, Styner MA, Proffit WR. Image analysis and superimposition of 3-dimensional cone-beam computed tomography models. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2006;129(5):611–8.
17. Schirmer UR, Wiltshire WA. Manual and computer-aided space analysis: a comparative study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1997;112(6):676–80.
18. Öğrenim M, Geçgelen Cesur M. Ortodontide 3 Boyutlu Stereofotogrametri. *SDÜ Tıp Fakültesi Derg*. 2017;24(3):105–15.
19. Maal TJJ, Van Loon B, Plooi J, Rangel F, Ettema AM, Borstlap WA, et al. Registration of 3-dimensional facial photographs for clinical use. *J Oral Maxillofac Surg* [Internet]. 2010;68(10):2391–401. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joms.2009.10.017>
20. Rangel FA, Maal TJJ, Bergé SJ, van Vlijmen OJC, Plooi J, Schutyser F, et al. Integration of digital dental casts in 3-dimensional facial photographs. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 2008;134(6):820–6. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2007.11.026>
21. Ayoub AF, Siebert P, Moos KF, Wray D, Urquhart C, Niblett TB. A vision-based three-dimensional capture system for maxillofacial assessment and surgical planning. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 1998;36(5):353–7.
22. MacDonald-Jankowski DS, Orpe EC. Computed tomography for oral and maxillofacial surgeons. Part 2: Cone-beam computed tomography. *Asian J Oral*

- Maxillofac Surg [Internet]. 2006;18(2):85–92. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/S0915-6992\(06\)80001-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0915-6992(06)80001-4)
23. Durack C, Patel S. Cone beam computed tomography in endodontics. *Braz Dent J*. 2012;23(3):179–91.
 24. Lightheart KG, English JD, Kau CH, Akyalcin S, Bussa HI, McGrory KR, et al. Surface analysis of study models generated from OrthoCAD and cone-beam computed tomography imaging. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 2012;141(6):686–93. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2011.12.019>
 25. Scarfe WC, Farman AG. What is Cone-Beam CT and How Does it Work? *Dent Clin North Am*. 2008;52(4):707–30.
 26. Wiranto MG, Engelbrecht WP, Tutein Nolthenius HE, Van Der Meer WJ, Ren Y. Validity, reliability, and reproducibility of linear measurements on digital models obtained from intraoral and cone-beam computed tomography scans of alginate impressions. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 2013;143(1):140–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2012.06.018>
 27. Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. *J Can Dent Assoc (Tor)*. 2006;72(1):75–80.
 28. Cabral Correia GD, Lima Habib FA, Vogel CJ. Tooth-Size discrepancy: A comparison between manual and digital methods. *Dental Press J Orthod*. 2014;19(4):107–13.
 29. Taneva E, Kusnoto B, Evans CA. 3D Scanning, Imaging, and Printing in Orthodontics. *Issues Contemp Orthod*. 2015;(January).
 30. Kihara H, Hatakeyama W, Komine F, Takafuji K, Takahashi T, Yokota J, et al. Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry: A literature review. *J Prosthodont Res* [Internet]. 2020;64(2):109–13. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2019.07.010>
 31. Chen H, Lowe AA, de Almeida FR, Fleetham JA, Wang B. Three-dimensional

- computer-assisted study model analysis of long-term oral-appliance wear. Part 2. Side effects of oral appliances in obstructive sleep apnea patients. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2008;134(3):408–17.
32. Gross BC, Erkal JL, Lockwood SY, Chen C, Spence DM. Evaluation of 3D printing and its potential impact on biotechnology and the chemical sciences. *Anal Chem*. 2014;86(7):3240–53.
 33. Uysal B, Ulusinan E. Güncel Dijital Sağlık Uygulamalarının İncelenmesi. *Selçuk Sağlık Derg*. 2020;1(1):46–60.
 34. Ursan I, Chiu L, Pierce A. Three-dimensional drug printing: A structured review. *J Am Pharm Assoc*. 2013;53(2):136–44.
 35. Arslan N, Yaylaci B, Deniz Eyüpoğlu N, Kürtüncü M, Üniversitesi BE, Enstitüsü SB, et al. SağlıktaGelişenTeknoloji: Üç Boyutlu Yazıcılar. *Int J 3D Print Technol Digit Ind*. 2018;2(2):99–110. Available from: <https://dergipark.org.tr/download/article-file/504415>
 36. Holmström J, Partanen J, Tuomi J, Walter M. Rapid manufacturing in the spare parts supply chain: Alternative approaches to capacity deployment. *J Manuf Technol Manag*. 2010;21(6):687–97.
 37. Ngo TD, Kashani A, Imbalzano G, Nguyen KTQ, Hui D. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Compos Part B Eng*. 2018;143(December 2017):172–96. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012>
 38. Jones P. Three-Dimensional Printing Technology. 2020;(August 2014).
 39. Halloran JW, Tomeckova V, Gentry S, Das S, Cilino P, Yuan D, et al. Photopolymerization of powder suspensions for shaping ceramics. *J Eur Ceram Soc*. 2011;31(14):2613–9.
 40. Schmidleithner C, Kalaskar DM, [w], [red] DC. Stereolithography, fr. 3D printing; IntechOpen. IntechOpen. 2018;
 41. Dall'Argine C, Hochwallner A, Klikovits N, Liska R, Stampf J, Sangermano M. Hot-Lithography SLA-3D Printing of Epoxy Resin. *Macromol Mater Eng*.

2020;305(10):1–6.

42. Quan H, Zhang T, Xu H, Luo S, Nie J, Zhu X. Photo-curing 3D printing technique and its challenges. Vol. 5, Bioactive Materials. KeAi Communications Co.; 2020. p. 110–5.
43. Oztan C, Coverstone V. Utilization of additive manufacturing in hybrid rocket technology: A review. *Acta Astronaut* [Internet]. 2021;180(January 2020):130–40. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2020.11.024>
44. Chen H, Cheng DH, Huang SC, Lin YM. Comparison of flexural properties and cytotoxicity of interim materials printed from mono-LCD and DLP 3D printers. *J Prosthet Dent*. 2021;126(5):703–8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.09.003>
45. Webster S, Us AZ, Hollaway RD. (12) United States Patent. 2003;1(12).
46. Kadry H, Wadnap S, Xu C, Ahsan F. Digital light processing (DLP)3D-printing technology and photoreactive polymers in fabrication of modified-release tablets. *Eur J Pharm Sci*. 2019;135(May):60–7. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2019.05.008>
47. Felzmann R, Gruber S, Mitteramskogler G, Tesavibul P, Boccaccini AR, Liska R, et al. Lithography-based additive manufacturing of cellular ceramic structures. *Adv Eng Mater*. 2012;14(12):1052–8.
48. Pagac M, Hajnys J, Ma QP, Jancar L, Jansa J, Stefek P, et al. A review of vat photopolymerization technology: Materials, applications, challenges, and future trends of 3d printing. *Polymers (Basel)*. 2021;13(4):1–20.
49. Desanto L, Biscardi C. Polyplanar Optical Display Electronics. 3057.
50. Šercer M, Rezić T, Godec D, Oros D, Pilipovic A, Ivušić F, et al. Microreactor production by PolyJet Matrix 3D-printing technology: Hydrodynamic characterization. *Food Technol Biotechnol*. 2019 Apr 1;57(2):272–81.
51. Tee YL, Peng C, Pille P, Leary M, Tran P. PolyJet 3D Printing of Composite Materials: Experimental and Modelling Approach. *Jom* . 2020;72(3):1105–17. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11837-020-04014-w>

52. Shen H, Sun W, Fu J. Multi-view online vision detection based on robot fused deposit modeling 3D printing technology. *Rapid Prototyp J.* 2019;25(2):343–55.
53. Mertz L. Dream it, design it, print it in 3-D: What can 3-D printing do for you? *IEEE Pulse.* 2013;4(6):15–21.
54. Wang J, Goyanes A, Gaisford S, Basit AW. Stereolithographic (SLA) 3D printing of oral modified-release dosage forms. *Int J Pharm.* 2016;503(1–2):207–12.
55. Olakanmi EO, Cochrane RF, Dalgarno KW. A review on selective laser sintering/melting (SLS/SLM) of aluminium alloy powders: Processing, microstructure, and properties. *Prog Mater Sci [Internet].* 2015;74:401–77. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pmatsci.2015.03.002>
56. Kinstlinger IS, Bastian A, Paulsen SJ, Hwang DH, Ta AH, Yalacki DR, et al. Open-Source Selective Laser Sintering (OpenSLS) of nylon and biocompatible polycaprolactone. *PLoS One.* 2016;11(2):1–25.
57. Değerli C, El SN. Üç Boyutlu (3D) Yazıcı Teknolojisi ile Gıda Üretimine Genel Bakış. *Turkish J Agric - Food Sci Technol.* 2017;5(6):593.
58. Schmid M, Amado A, Wegener K. Polymer powders for selective laser sintering (SLS). *AIP Conf Proc.* 2015;1664(May 2015).
59. John D williams, Carl R. Deckard. Advances in modeling the effects of selected parameters on the SLS process. *Rapid Prototyp J.* 1998;4(2):90–100.
60. Mostafaei A, Elliott AM, Barnes JE, Li F, Tan W, Cramer CL, et al. Binder jet 3D printing—Process parameters, materials, properties, modeling, and challenges. *Prog Mater Sci [Internet].* 2021;119(June 2020):100707. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2020.100707>
61. Haggerty S, Michael J, Williams PA, Lawrence PE. United States Patent (19). 1993;(19).
62. Mostafaei A, Kimes KA, Stevens EL, Toman J, Krimer YL, Ullakko K, et al. Microstructural evolution and magnetic properties of binder jet additive

manufactured Ni-Mn-Ga magnetic shape memory alloy foam. *Acta Mater.* 2017;131:482–90. Available from:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.actamat.2017.04.010>

63. Ahn DG. Directed Energy Deposition (DED) Process: State of the Art [Internet]. Vol. 8, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology*. Korean Society for Precision Engineering; 2021. 703–742 p. Available from: <https://doi.org/10.1007/s40684-020-00302-7>
64. Svetlizky D, Das M, Zheng B, Vyatskikh AL, Bose S, Bandyopadhyay A, et al. Directed energy deposition (DED) additive manufacturing: Physical characteristics, defects, challenges and applications. *Mater Today* [Internet]. 2021;49(xx):271–95. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2021.03.020>
65. Salmi M. Additive manufacturing processes in medical applications. *Materials (Basel)*. 2021;14(1):1–16.
66. Wong K V., Hernandez A. A Review of Additive Manufacturing. *ISRN Mech Eng.* 2012;2012:1–10.
67. Sahin K, Turan BO. Üç Boyutlu Yazı Teknolojilerinin Karşılaştırmalı Analizi. *Strat ve Sos Araştırmalar Derg.* 2018;2(2):97–116.
68. Baumann F, Bugdayci H, Grunert J, Keller F, Roller D. Influence of slicing tools on quality of 3D printed parts. *Comput Aided Des Appl.* 2016;13(1):14–31.
69. Dizon JRC, Gache CCL, Cascolan HMS, Cancino LT, Advincula RC. Post-Processing of 3D-Printed Polymers. *Technologies.* 2021;9(3):61.
70. Uzcategui AC, Muralidharan A, Ferguson VL, Bryant SJ, McLeod RR. Understanding and Improving Mechanical Properties in 3D printed Parts Using a Dual-Cure Acrylate-Based Resin for Stereolithography. *Adv Eng Mater.* 2018;20(12):1–10.
71. Barazanchi A, Li KC, Al-Amleh B, Lyons K, Waddell JN. Additive Technology: Update on Current Materials and Applications in Dentistry. *J Prosthodont.* 2017;26(2):156–63.

72. Mater S, Doi S. 1 1,2 1. 2013;
73. Savioli Lopes M, Jardini AL, Maciel Filho R. Poly (lactic acid) production for tissue engineering applications. *Procedia Eng* [Internet]. 2012;42(August):1402–13. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.534>
74. Dey A, Eagle INR, Yodo N. A review on filament materials for fused filament fabrication. *J Manuf Mater Process*. 2021;5(3).
75. Jockusch J, Özcan M. Additive manufacturing of dental polymers: An overview on processes, materials and applications. *Dent Mater J*. 2020;39(3):345–54.
76. Lin L, Fang Y, Liao Y, Chen G, Gao C, Zhu P. 3D Printing and Digital Processing Techniques in Dentistry: A Review of Literature. *Adv Eng Mater*. 2019;21(6):1–28.
77. Galante R, Figueiredo-Pina CG, Serro AP. Additive manufacturing of ceramics for dental applications: A review. *Dent Mater* . 2019;35(6):825–46. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.dental.2019.02.026>
78. Sohmura YH, Satoh H, Takahashi J, Takada K. Complete 3-d reconstruction of dental cast shape using perceptual grouping. *IEEE Trans Med Imaging*. 2001;20(10):1093–101.
79. Phan X, Ling PH. Clinical limitations of invisalign. *J Can Dent Assoc (Tor)*. 2007;73(3):263–6.
80. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med* [Internet]. 2016;15(2):155–63. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>
81. Cassetta M, Altieri F, Di Giorgio R, Barbato E. Palatal orthodontic miniscrew insertion using a CAD-CAM surgical guide: description of a technique. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2018;47(9):1195–8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2018.03.018>

82. Ciuffolo F, Epifania E, Duranti G, De Luca V, Raviglia D, Rezza S, et al. Rapid prototyping: A new method of preparing trays for indirect bonding. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2006;129(1):75–7.
83. Martorelli M, Gerbino S, Giudice M, Ausiello P. A comparison between customized clear and removable orthodontic appliances manufactured using RP and CNC techniques. *Dent Mater* [Internet]. 2013;29(2):e1–10. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2012.10.011>
84. Hazeveld A, Huddleston Slater JJR, Ren Y. Accuracy and reproducibility of dental replica models reconstructed by different rapid prototyping techniques. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 2014;145(1):108–15. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2013.05.011>
85. Murugesan K, Anandapandian PA, Sharma SK, Vasantha Kumar M. Comparative evaluation of dimension and surface detail accuracy of models produced by three different rapid prototype techniques. *J Indian Prosthodont Soc*. 2012;12(1):16–20.
86. Park J-M, Jeon J, Koak J-Y, Kim S-K, Heo S-J. Dimensional accuracy and surface characteristics of 3D-printed dental casts.
87. Ko J, Bloomstein RD, Briss D, Holland JN, Morsy HM, Kasper FK, et al. Effect of build angle and layer height on the accuracy of 3-dimensional printed dental models. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 160(3):451-458.e2. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2020.11.039>
88. Camardella LT, de Vasconcellos Vilella O, Breuning H. Accuracy of printed dental models made with 2 prototype technologies and different designs of model bases. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 2017;151(6):1178–87. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.03.012>
89. Quimby ML, Vig KWL, Rashid RG, Firestone AR. The accuracy and reliability of measurements made on computer-based digital models. *Angle Orthod*. 2004;74(3):298–303.
90. Nalcaci R, Topcuoglu T, Ozturk F. Comparison of Bolton analysis and tooth size measurements obtained using conventional and three-dimensional

- orthodontic models. *Eur J Dent*. 2013;7(5 SUPPL.):66–70.
91. Yoo SY, Kim SK, Heo SJ, Koak JY, Kim JG. Dimensional accuracy of dental models for three-unit prostheses fabricated by various 3D printing technologies. *Materials (Basel)*. 2021;14(6):1–13.
 92. Kim SY, Shin YS, Jung HD, Hwang CJ, Baik HS, Cha JY. Precision and trueness of dental models manufactured with different 3-dimensional printing techniques. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2018;153(1):144–53. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.05.025>
 93. Lo Giudice A, Ronsivalle V, Rustico L, Aboulazm K, Isola G, Palazzo G. Evaluation of the accuracy of orthodontic models prototyped with entry-level LCD-based 3D printers: a study using surface-based superimposition and deviation analysis. *Clin Oral Investig*. 2022;26(1):303–12. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00784-021-03999-1>
 94. Zhang Z chen, Li P lun, Chu F ting, Shen G. Influence of the three-dimensional printing technique and printing layer thickness on model accuracy. *J Orofac Orthop*. 2019 Jul 1;80(4):194–204.
 95. Brown GB, Currier GF, Kadioglu O, Kierl JP. Accuracy of 3-dimensional printed dental models reconstructed from digital intraoral impressions. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2018;154(5):733–9.
 96. You SM, You SG, Kang SY, Bae SY, Kim JH. Evaluation of the accuracy (trueness and precision) of a maxillary trial denture according to the layer thickness: An in vitro study. *J Prosthet Dent* . 2021;125(1):139–45. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.12.014>
 97. Favero CS, English JD, Cozad BE, Wirthlin JO, Short MM, Kasper FK. Effect of print layer height and printer type on the accuracy of 3-dimensional printed orthodontic models. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2017 Oct 1;152(4):557–65.
 98. Hayashi K, Chung O, Park S, Lee SP, Sachdeva RCL, Mizoguchi I. Influence of standardization on the precision (reproducibility) of dental cast analysis with virtual 3-dimensional models. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet].

- 2015;147(3):373–80. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2014.11.015>
99. Flügge T V., Schlager S, Nelson K, Nahles S, Metzger MC. Precision of intraoral digital dental impressions with iTero and extraoral digitization with the iTero and a model scanner. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2013;144(3):471–8.
 100. Dong T, Wang X, Xia L, Ye N, Yuan L, Fang B. Accuracy of 3D-Printed Dental Models of Different Tooth Surfaces. 2020;
 101. Jang Y, Sim J-Y, Park J-K, Kim W-C, Kim H-Y, Kim J-H. Accuracy of 3-unit fixed dental prostheses fabricated on 3D-printed casts.
 102. Rungrojwittayakul O, Kan JY, Shiozaki K, Swamidass RS, Goodacre BJ, Goodacre CJ, et al. Accuracy of 3D Printed Models Created by Two Technologies of Printers with Different Designs of Model Base. Vol. 29, *Journal of Prosthodontics*. Blackwell Publishing Inc.; 2020. p. 124–8.
 103. Harris AMP. A Comparison Of Three Types Of Orthodontic Study Models. 2020;(May).
 104. Jin SJ, Kim DY, Kim JH, Kim WC. Accuracy of Dental Replica Models Using Photopolymer Materials in Additive Manufacturing: In Vitro Three-Dimensional Evaluation. *J Prosthodont.* 2019;28(2):e557–62.
 105. Unkovskiy A, Schmidt F, Beuer F, Li P, Spintzyk S, Fernandez PK. Stereolithography vs. Direct light processing for rapid manufacturing of complete denture bases: An in vitro accuracy analysis. *J Clin Med.* 2021;10(5):1–14.
 106. Chen H, Wang H, Lv P, Wang Y, Sun Y. Quantitative evaluation of tissue surface adaption of CAD-designed and 3D printed wax pattern of maxillary complete denture. *Biomed Res Int.* 2015;2015.
 107. Bud ES, Bocanet VI, Muntean MH, Vlasa A, Bucur SM, Păcurar M, et al. Accuracy of three-dimensional (3d) printed dental digital models generated with three types of resin polymers by extra-oral optical scanning. *J Clin Med.* 2021;10(9).

108. Emir F, Ayyildiz S. 3D printing technologies : a three-dimensional analysis. 2021;65:365–70.
109. Camardella LT, de Vasconcellos Vilella O, Breuning H. Accuracy of printed dental models made with 2 prototype technologies and different designs of model bases. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2017 Jun 1;151(6):1178–87.
110. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Diagnostic accuracy and measurement sensitivity of digital models for orthodontic purposes: A systematic review. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2016;149(2):161–70.
111. Salmi M, Paloheimo KS, Tuomi J, Wolff J, Mäkitie A. Accuracy of medical models made by additive manufacturing (rapid manufacturing). *J Cranio-Maxillofacial Surg*. 2013;41(7):603–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcms.2012.11.041>
112. Yousef H, Harris BT, Elathamna EN, Morton D, Lin WS. Effect of additive manufacturing process and storage condition on the dimensional accuracy and stability of 3D-printed dental casts. *J Prosthet Dent [Internet]*. 2021;1–6. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.02.028>
113. Pham DT, Ji C. Design for stereolithography. *Proc Inst Mech Eng Part C J Mech Eng*. 2000;214(5):635–40.
114. Baek JW, Shin S-Y. Accuracy of dies fabricated by various three dimensional printing systems: a comparative study. *J Dent Rehabil Appl Sci*. 2020;36(4):242–53.
115. Koretsi V, Tingelhoff L, Proff P, Kirschneck C. Intra-observer reliability and agreement of manual and digital orthodontic model analysis. *Eur J Orthod*. 2018;40(1):52–7.
116. Dijital B, Üzerinde M, Ölçümlerin Y, Ve G. Türkiye Cumhuriyeti Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi.
117. Krishnamurthy N. Finite element method. *Adv Top Sci Technol China*. 2008;1(2):1–41.

118. Hong W, Lee YT, Gong H. A study of the staircase effect induced by material shrinkage in rapid prototyping. *Rapid Prototyp J.* 2005;11(2):82–9.
119. Hong W, Lee YT, Gong H. Thermal analysis of layer formation in a stepless rapid prototyping process. *Appl Therm Eng.* 2004;24(2–3):255–68.
120. Jaber ST, Hajeer MY, Khattab TZ, Mahaini L. Evaluation of the fused deposition modeling and the digital light processing techniques in terms of dimensional accuracy of printing dental models used for the fabrication of clear aligners. *Clin Exp Dent Res.* 2021;7(4):591–600.





8.ÖZGEÇMİŞ

Adı : Şule GÖKMEN

Uyruğu :

Doğum Tarihi ve Yeri :

Medeni Durumu :

Email :

Yazışma Adresi :

Eğitimi :

2018-2022 Gülhane Dış Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı-Ankara

2003-2008 Gazi Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi-Ankara

1997-2003 ÇEAŞ Seyhan Anadolu Lisesi- Adana

1992-1996 DSİ Baraj İlkokulu- Adana

Görevleri :

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Dış Hekimi	Özel Tıp Merkezi /ANKARA	2008-2010
Dış Hekimi	Adana Kozan Devlet Hastanesi /ADANA	2010-2015
Dış Hekimi	Türkiye Kamu Hastaneler Kurumu /ANKARA	2015-2018
Doktora Öğrencisi	Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane	
	Dış Hekimliği Fakültesi Ortodonti	2018-2022
	Anabilim Dalı/ ANKARA	

Yabancı Dil : İngilizce

9. ETİK KURUL ONAYI



T.C.
SAĞLIK BİLİMLERİ ÜNİVERSİTESİ
Gülhane Bilimsel Araştırmalar Etik Kurulu

Sayı : 46418926

29.11.2020

Konu : Gülhane Bilimsel Araştırmalar Etik Kurul Kararları

ARAŞTIRMA PROJESİ DEĞERLENDİRME RAPORU

TOPLANTI TARİHİ : 29 ARALIK 2020 SALI
TOPLANTI SAATİ : 11:00 (Covid-19 tedbirleri kapsamında toplantı online yapılmıştır.)
TOPLANTI NO : 2020/21
PROJE/ KARAR NO : 2020-527 (Değerlendirilme Tarihi: 29.12.2020)

Üniversitemiz Gülhane Dış Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalında görevli Doç. Dr. Serkan GÖRGÜLÜ'nün sorumlu araştırmacı olduğu, Dt. Şule GÖKMEN ve Doç. Dr. Gökhan Serhat DURAN'ın yardımcı araştırmacı oldukları, 2020/527 kayıt numaralı, **"Dijital Dental Modeller Kullanılarak 3 Boyutlu Yazıcıların Doğruluğunun ve Güvenliğinin Karşılaştırması"** başlıklı uzmanlık tezi proje önerisi, araştırmacının gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş olup, etik açıdan uygun bulunmuştur. Rica ederim.

S.NO	AD SOYAD VE UZMANLIK ALANI	İMZA
1	Prof. Dr. Ahmet COŞAR (Anestezi AD Bşk.lığı) Etik Kurul Başkanı	
2	Prof. Dr. Alper GÖZÜBÜYÜK (Göğüs Cerr. AD Bşk.lığı) Etik Kurul Başkanı Yardımcısı	
3	Prof. Dr. Selahattin BEDİR(Üroloji AD Bşk.lığı)	TOPLANTIYA KATILMADI
4	Prof. Dr. Levent KENAR(KBRN, Enstitü)	
5	Prof. Dr. Yusuf İZCI (Beyin ve Sinir Cerr. AD.Bşk.lığı)	
6	Prof. Dr. Ali Kağan COŞKUN(Genel Cerr. AD Bşk.lığı)	
7	Prof. Dr. Suat DOĞANCI(Kalp Damar Cerr. AD Bşk.lığı)	
8	Prof. Dr. Fulya TOKSOY TOPÇU (Dış Hekimliği Fakültesi Restoratif Dış Tedavisi AD.Bşk.lığı)	
9	Prof. Dr. Ayten TÜRKKANI(Histoloji AD.Bşk.lığı)	
10	Prof. Dr. Gülten GÜVENÇ(Hemşirelik Fakültesi)	
11	Prof. Dr. Dilek YILDIZ (Hemşirelik Fakültesi) Sekreter	
12	Doç. Dr. Cantürk TAŞÇI(Göğüs Hast. AD Bşk.lığı)	
13	Dr.Öğr.Üyesi Mustafa GÜNEY(Mikrobiyoloji AD Bşk.lığı)	

Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Bilimsel Araştırmalar Etik Kurulu