T.C.
SAĞLIK BİLİMLERİ ÜNİVERSİTESİ
GÜLHANE DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ORTODONTİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI

3 BOYUTLU BASKI TEKNOLOJİLERİ İLE ÜRETİLEN FARKLI DENTAL MODEL TASARIMLARININ BOYUTSAL ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Dt. Ebru Yurdakurban

DİŞ HEKİMLİĞİNDE UZMANLIK TEZİ

ANKARA/2023

T.C.
SAĞLIK BİLİMLERİ ÜNİVERSİTESİ
GÜLHANE DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ORTODONTİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI

3 BOYUTLU BASKI TEKNOLOJİLERİ İLE ÜRETİLEN FARKLI DENTAL MODEL TASARIMLARININ BOYUTSAL ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Dt. Ebru YURDAKURBAN

Tez Danışmanı:
Dr. Öğr. Üyesi Kübra Gülnur TOPSAKAL

DİŞ HEKİMLİĞİNDE UZMANLIK TEZİ

ANKARA/2023

TEŞEKKÜR

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

Tez ve akademik çalışmalarımda büyük emeği olan, uzmanlık eğitimim boyunca yanımda olup bilgi ve deneyimleriyle ışık tutan, yol gösteren değerli Hocam, Sayın Doç. Dr. Gökhan Serhat DURAN'a,

Uzmanlık eğitimim ve tez çalışmam süresince bilgi ve tecrüberini benimle paylaşan her konuda desteğini hissettiğim, Değerli Danışman Hocam, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Kübra Gülnur TOPSAKAL'a

Bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Değerli Hocam, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Berat Serdar AKDENİZ'e,

Akademik ve her konuda paylaşımlarda bulunduğum Dr.Dt. Şule GÖKMEN'e,

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

Tez materyallerimin üretiminde emeği geçen Ağız Diş Teknikeri Ferhat IŞIK'a,

Hayatım boyunca beni her konuda destekleyen, bana güç veren ve bugünlere gelmemi sağlayan sevgili annem Feriha YURDAKURBAN ve babam Gürel YURDAKURBAN'a

Sonsuz teşekkür ederim.

Ebru YURDAKURBAN

Ankara, Mayıs 2023

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR ..... **ii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **vii**

TABLOLAR ..... **viiii**

RESİMLER ..... **ixx**

ŞEKİLLER ..... **xii**

ÖZET ..... **xii**

ABSTRACT ..... **xivv**

1. GİRİŞ VE AMAÇ **1**

2. GENEL BİLGİLER **4**

2.1. ORTODONTİDE TANI MODELLERİ **4**

2.2. DİJİTAL ÖLÇÜ VE TANI MODELLERİNİN ÜRETİMİNDEKİ ROLÜ6

2.2.1. Dijital Ölçünün Oluşturulması **6**

2.3. 3 BOYUTLU (3B) BASKI TEKNOLOJİLERİ **9**

2.3.1. Eklemeli Üretim Yöntemleri **13**

2.3.1.1 Stereolitografi (SLA) 13

2.3.1.2 Dijital Işık İşleme (DLP) 14

2.3.1.3 Sıvı Kristal Ekran (LCD) 15

2.3.1.4 Sürekli Sıvı Arayüz Üretimi (CLIP) 16

2.3.1.5 Çoklu jet (Polyjet-Multijet) 16

2.3.1.6 Bağlayıcı Püskürtme 17

2.3.1.7 Birleştirilmiş Yığma Modeli/ Kaynaşmış Filament Üretimi (FDM/FFF) 18

2.3.1.8 Seçici Lazer Sinterleme/Eritme (SLS /SLM) 18

2.3.1.9 Saç Laminasyon (LOM) 19

2.3.1.10 Yönlendirilmiş Enerji Biriktirme (DED) 20

2.3.2. Eksiltmeli Üretim **20**

2.3.3 Foto Kürleme İle Baskıda Üretim Kalitesini Etkileyen Faktörler 21

2.3.3.1. Modelin Baskı Tablasında Açılandırılması 21

2.3.3.2. Baskı Katman Kalınlığı 22

2.3.3.3 Model İç Yapı Tasarımı 22

2.3.3.4. UV Işını ile Kürleme Süresi 23

2.3.3.5.Kullanılan Baskı Teknoloji ve Materyallerin Çeşidi 24

3. GEREÇ VE YÖNTEM 26

3.1. FANTOM ÇENE MODELİNİN DİJİTAL ÖLÇÜSÜNÜN OLUŞTURULMASI 28

3.2. KONTROL MODELLERİNİN DİJİTAL TASARIMI 28

3.3. TEST MODELLERİNİN ÜRETİMİ 30

3.3.1. DLP Baskı Teknolojisinde Üretim 30

3.3.2. Polyjet Baskı Teknolojisinde Üretim..... 33

3.3.3. SLA Baskı Teknolojisinde Üretim 38

3.4. TEST MODELLERİNİN DİJİTAL ÖLÇÜLERİNİN OLUŞTURULMASI 41

3.5 KONTROL MODELLERİ İLE TEST MODELLERİNİN 3B DİJİTAL YÜZEY ÇAKIŞTIRMASI 42

3.6. TEST MODELLERİ ÜZERİNDE DOĞRUSAL ÖLÇÜMLERİN YAPILMASI 45

4. BULGULAR 47

4.1. KONTROL MODELİ İLE TEST MODELLERİNİN 3B DİJİTAL YÜZEY ÇAKIŞTIRMASI SONUCU ELDE EDİLEN BULGULAR 47

4.2. KONTROL MODELİ İLE TEST MODELLERİNİN DİJİTAL ÖLÇÜLERİ ÜZERİNDE YAPILAN DOĞRUSAL ÖLÇÜMLER SONUCU ELDE EDİLEN BULGULAR 65

5. TARTIŞMA 71

5.1. GEREÇ VE YÖNTEMİN TARTIŞILMASI 72

5.1.1. Model Tasarımlarının Oluşturulması ve Standartizasyonu 72

5.1.2. Model Üretiminde Kullanılan 3B Baskı Teknolojilerinin Seçimi **74**

5.1.3. Modellerin Üretim Tablası Üzerinde Açılandırılması **75**

5.1.4. Model Üretiminde Tercih Edilen Katman Kalınlığı **77**

5.1.5. Dijital Yüzey Çakıştırması ve Doğrusal Ölçüm Yöntemi.....79

5.1.6. Değerlendirilen Bölgelerin Seçimi 80

5.1. BULGULARIN TARTIŞILMASI 81

5.1.1.RMS Bulgularının Değerlendirilmesi 81

5.2.1.1. Total Ark (tüm dişler) RMS Bulgularının Değerlendirilmesi.....81

5.2.1.2. Anterior Bölge (santral ve lateral dişler) RMS Bulgularının değerlendirilmesi.....84

5.2.1.3. Posterior Bölge (kanin, premolar ve molar dişler) RMS Bulgularının Değerlendirilmesi.....86

5.1.2.Doğrusal Ölçümlerin Değerlendirilmesi 91

6. SONUÇ VE ÖNERİLER..... 93

7. KAYNAKLAR..... 95

8. ÖZGEÇMİŞ 103

SİMGELER VE KISALTMALAR

µm : Mikrometre

mm : Milimetre

nm : Nanometre

3B : 3 Boyutlu

2B : 2 Boyutlu

BT : Bilgisayarlı Tomografi

CAD/CAM : Computer-aided design-Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) and Computer-aided manufacturing-Bilgisayar Destekli Üretim (CAM)

DICOM : Digital Imaging and Communications in Medicine

KIBT : Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi

LED : Light Emitting Diode- Işık Yayan Diyot

DLP : Digital Light Processing – Dijital Işık İşleme

STL : Standard Tessellation Language –Standart Mozaikleme Dili

ASCII : American Standard Code for Infırmation Interchange- Bilgi Değişimi İçin Amerikan Standart Kodlama Sistemi

ASTM : American Society for Testing and Materials- Amerikan Test ve Malzemeler Komitesi

SLA : Stereo Lithography Appearance – Tarayarak Işıkla Kürleme

LCD : Liquid Cristal Display- Sıvı Kristal Ekran

CLIP/CDLP : Continuous Liquid Interphase Printing / Continuous Digital Light Processing- Sürekli Sıvı Arayüz Üretimi / Sürekli Dijital Işık İşleme

MJP : MultiJet Printing- Çoklu Jet Baskı

DOD : Drop-on-Demand –Talep Üzerine Baskı

FDM : Fused Deposition Modelling- Erimiş Biriktirme Modellemesi

DIW : Direct Ink Writing- Doğrudan Inkjet Malzeme Biriktirme

LOM : Laminated Object Manufacturing- Lamine Nesne Üretimi

SLS : Selective Laser Sintering- Seçici Lazer Sinterleme

DMLS : Direct Metal Laser Sintering- Doğrudan Metal Lazer Sinterleme

SLM **:** Selective Laser Melting- Seçici Lazer Eritme

EBM **:** Electron Beam Melting- Elektron Işını Eritme

MJF **:** Multi Jet Fusion- Çoklu Jet Füzyonu

SDL **:** Selective Deposition Lamination- Seçici Brikterme Laminasyonu

UAM **:** Ultrasonic Additive Manufacturing- Ultrasonik Eklemeli İmalat

DMD **:** Direct Metal Deposition- Direk Metal Biriktirme

LENS **:** Laser Engineered Net Shaping- Lazer Tozu Şekillendirme

LMD **:** Laser Metal Deposition- Lazer Metal Biriktirme

MR **:** Manyetik Rezonans Görüntüleme

RMS **:** Root Mean Square

UV **:** Ultraviyole

TABLOLAR

Tablo 3.1. Referans çalışmalara ilişkin bilgiler 26
Tablo 3.2. DLP yazıcıda farklı tasarımlardaki 2 modelin üretimi için gereken baskı süresi ve rezin hacmi 31
Tablo 3.3. Polyjet yazıcıda farklı tasarımlardaki 10 modelin üretimi için gereken baskı süresi ve rezin hacmi 35
Tablo 3.4. SLA yazıcıda farklı tasarımlardaki 10 modelin üretimi için gereken baskı süresi ve rezin hacmi 39
Tablo 4.1. Birinci bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular 47
Tablo 4.2. İkinci bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular 50
Tablo 4.3. Üçüncü bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular 53
Tablo 4.4. Dördüncü bölge RMS değerlerinin yazılımlar açısından karşılaştırılmasına yönelik bulgular 56
Tablo 4.5. Beşinci bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular 59
Tablo 4.6. Altıncı bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular 62
Tablo 4.7. İnterkanin mesafe referans sapma değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular 66
Tablo 4.8. İntermolar mesafe referans sapma değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular 68
Tablo 4.9. Boşluksuz modeller yerine boşluklu modellerin kullanılmasıyla tasarruf edilecek rezin yüzdeleri 70

RESİMLER

Resim 3.1. Fantom çene modelinin ağız içi taramasıyla oluşturulan dijital ölçüsü. 28
Resim 3.2. Fantom çene modelinin dijital ölçüsünden düzensiz kenarların uzaklaştırılması 29
Resim 3.3. Soldan sağa doğru sırasıyla 1, 2, 3 mm kalınlıklı ve boşluksuz yapıdaki kontrol modelleri 30
Resim 3.4. DLP yazıcı ara yüz programında modellerin baskı tablasına yerleştirilmesi 31
Resim 3.5. Çalışmada kullanılan ASIGA MAX-UV (Sydney, Avustralya) yazıcısı ve modellerin üretimi 32
Resim 3.6. DLP yazıcısı ile üretim sonrası modellerin UV ışını ile kürlenmesi 33
Resim 3.7. DLP yazıcısı ile üretilen sırasıyla 1, 2, 3 mm kalınlıklığındaki boşluklu ve boşluksuz yapıdaki modeler 33
Resim 3.8. Polyjet yazıcı ara yüz programında modellerin baskı tablasına yerleştirilme işlemi 34
Resim 3.9. Çalışmada kullanılan Stratasys J750 yazıcısı (Rehovot, İsrail) ve tablası.....36
Resim 3.10. Polyjet yazıcısı ile üretim sonrası destek yapıların uzaklaştırıldığı Powerblast kabin ve UV kürlemenin yapıldığı cihaz 37
Resim 3.11. Polyjet yazıcısı ile üretilen sırasıyla 1, 2, 3 mm kalınlıklığındaki boşluklu ve boşluksuz yapıdaki modeler 37
Resim 3.12. SLA yazıcı ara yüz programında aynı tasarımdan 10 modelin baskı tablasına yerleştirilmesi 38
Resim 3.13. SLA teknolojisi ile üretimde kullanılan Formlabs 3L yazıcısı (Somerville, Massachusetts, ABD).....40
Resim 3.14. SLA yazıcısı ile üretilen sırasıyla 1, 2, 3 mm kalınlıklığındaki boşluklu ve boşluksuz yapıdaki modeler 40
Resim 3.15. SLA ile üretimden sonra destek yapıların uzaklaştırılmasında kullanılan araçlar ve ultrasonik yıkama cihazı 41
Resim 3.16. Üretilen modellerin masaüstü tarayıcı ile taranması ve dijital 42

Resim 3.17. Kontrol modelinin 5 farklı bölgeye ayrılması ve referans modelinin programa aktarılması 43
Resim 3.18. Kontrol modeli ile referans modelinin best-fit yöntemi ile hizalanması ve 3B yüzey karşılaştırması 44
Resim 3.19. Dijital ortamda interkanin ve intermolar mesafenin ölçümü..... 45

ŞEKİLLER

Şekil 3.1. Analiz için örnek sayısına göre testin gücü (effect size=0.53)..... 27
Şekil 3.2. Analiz için örnek sayısına göre testin gücü (effect size=0.56)..... 27
Şekil 4.1. Birinci bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular..... 48
Şekil 4.2. İkinci bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular..... 51
Şekil 4.3. Üçüncü bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular 54
Şekil 4.4. Dördüncü bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular..... 57
Şekil 4.5. Beşinci bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular..... 60
Şekil 4.6. Altıncı bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular..... 62

ÖZET

3 BOYUTLU BASKI TEKNOLOJİLERİ İLE ÜRETİLEN FARKLI DENTAL MODEL TASARIMLARININ BOYUTSAL ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Amaç: Bu tez çalışmasının amacı Tarayarak ışıkla kürleme (SLA), Dijital ışık işleme (DLP) ve Polyjet 3 boyutlu (3B) baskı teknolojileri kullanılarak üretilen 1mm, 2mm ve 3mm kalınlığındaki boşluklu model tasarımları ile boşluksuz yapıdaki tasarımların boyutsal özelliklerini karşılaştırmaktır.

Gereç ve Yöntem: Çalışmamızda Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı arşivinde bulunan, plastik yapıdaki ideal diş dizilimine sahip fantom üst çene modeli kullanıldı. Model, ağız içi kamera ile taranarak kontrol modelinin dijital ölçüsü oluşturuldu. Modelleme yazılımında, dijital ölçü üzerinden üzerinden, 1 mm, 2 mm ve 3 mm kalınlığında boşluklu ve boşluksuz yapıda modeller tasarlandı. Her tasarımdan 10 model SLA, DLP ve Polyjet teknolojilerine sahip yazıcılarda üretildi ve masaüstü tarayıcı ile taranarak dijital ölçüleri oluşturuldu. Test edilen modeller ile kontrol modellerinin 3B dijital yüzey çakıştırması için tersine mühendislik yazılımından yararlanıldı. Detaylı değerlendirme için diş arkı 5 farklı bölgeye ayrıldı. Çakıştırma sonucunda 5 bölgeye ve tüm arka ait Karekök Ortalama (RMS) değerleri elde edildi. Doğrusal değerlendirmeler için interkanin ve intermolar mesafeler ölçüldü. Tekrarlayan ölçümler arasındaki karşılaştırmalarda ANOVA testi kullanıldı. RMS ve referans sapma değerlerindeki farklılıklar Tek örneklem t testi ile değerlendirildi.

Bulgular: RMS ortalamalarına göre, tüm ark için en az sapmayı Polyjet yazıcısı, en çok sapmayı ise SLA yazıcısı ile üretilen modeller gösterdi. Anterior bölgede boşluklu tasarımlar için DLP yazıcısı, boşluksuz model için SLA yazıcısı

ile üretilenler gösterdi. Sağ ve sol molar dişler bölgesinde 2mm ve 3mm kalınlığında boşluklu ve boşluksuz tasarımlarda en az sapmayı Polyjet yazıcısı gösterdi. 1 mm kalınlığındaki boşluklu tasarımda SLA yazıcı en yüksek sapmayı gösterdi. Sağ tarafta 1mm kalınlığındaki boşluklu tasarım dışında en yüksek doğruluğu her iki premolar-kanin bölgesinde Polyjet yazıcısı gösterdi.

Sonuç: Değişen kalınlıklardaki boşluklu tasarımlar klinik olarak kabul edilebilir doğruluk göstermiştir. Tasarımların doğruluğu, üretim teknolojilerine göre diş arkının farklı bölgelerinde değişkenlik göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: 3 boyutlu baskı, Hızlı prototipleme, Dijital model

ABSTRACT

COMPARISON OF DIMENSIONAL PROPERTIES OF DIFFERENT DENTAL MODEL DESIGNS MANUFACTURED WITH 3D PRINTING TECHNOLOGIES

Aim: This thesis aims to compare the dimensional properties of 1mm, 2mm, and 3mm thickness hollow and solid designs produced using Stereolithography (SLA), Digital light processing (DLP), and Polyjet 3D printing technologies.

Materials and Methods: The typodont maxillary model which is in the archive of the Health Sciences University, Gülhane Faculty of Dentistry, Department of Orthodontics, was scanned with an intraoral scanner. Using the modeling software, hollow models with shell thickness of 1 mm, 2 mm and 3 mm and solid models designed. 10 models of each design were produced using SLA, DLP, and PolyJet technologies, and scanned using a desktop scanner. Reverse engineering software was used for 3D digital surface registration of the tested and the control models. For a detailed evaluation, the dental arch was divided into 5 different regions. The root mean square (RMS) values were obtained for the 5 regions and for the entire arch after registration. Inter-canine and inter-molar distances were measured for linear evaluations. ANOVA and one-sample t-test were used for comparisons.

Results: Polyjet printer produced models with the least deviation for the entire arch, while SLA printer showed the most deviation. DLP printer produced the models with the least deviation for the hollow designs in the anterior region, while SLA printer produced the models with the least deviation for the solid design. Polyjet printer showed the least deviation for both hollow and solid designs with 2mm and 3mm thickness in the molars region. Except for the 1mm thick hollow design on the right side, Polyjet printer showed the highest accuracy in both premolar-canine regions.

Conclusion: The hollow designs with varying shell thicknesses have shown clinically acceptable accuracy. The accuracy of the designs varies in different regions of the dental arch according to the 3D printing technologies.

Keywords : 3D printing, Digital model, Rapid prototyping

1.GİRİŞ VE AMAÇ

Ortodontik tedavilerin başarısını etkileyen faktörlerden ilki maloklüzyonun doğru tanısı ile uygun tedavi planının oluşturulmasıdır. Radyografik görüntüleme yöntemleri, ağız içi ve ağız dışı fotoğraflar ile ortodontik tanı modelleri kraniyofasiyal ve dental yapılardaki bozuklukların belirlenmesinde kullanılan temel tanı araçlarındandır. Ortodontik tanı modeli olarak dental alçı modeller geçmişten günümüze kullanılmaktadır (1). Üzerlerinde diagnostik analizlerin yapılabilmesinin yanı sıra, hasta bilgilerinin arşivlenmesinde, multidispliner yaklaşımlarda ve eğitim aracı olarak da kullanılmaktadır (2). Ancak alçı modeller, maddenin yapısal özellikleri gereği, kolaylıkla yüzey deformasyonuna uğrama ve kırılabilme gibi dezavantajlara sahiptir (3). Ayrıca alçı modellerin üretimi için gereken konvansiyonel ölçü yönteminde de çeşitli sorunlarla karşılaşılmaktadır. Ölçü materyalinde zamanla meydana gelen büzülme, deformasyon ile işlem sırasında hastanın öğürme refleksinin tetiklenmesi ağız içiyle uyumlu olmayan model üretimiyle sonuçlanabilmektedir. Ölçünün yenilenmesi gereken durumlarda hastanın kliniğe tekrar çağrılması hasta ve hekim için zaman kaybına neden olmaktadır (4).

Son yıllarda dijital teknolojinin getirdiği yenilikler, diş hekimliği klinik ve laboratuvar pratiğine yansıyarak diagnozların daha etkili yapılmasını, kişiye özel farklı tedavi seçeneklerinin sunulmasını, tedavilerin daha hızlı ve konforlu olmasını sağlamıştır (5). Bu alandaki yeniliklerden biri de ortodontik tanı ve çalışma modellerinin 3 boyutlu (3B) baskı teknolojileri kullanılarak üretimidir (6,7). 3B baskı teknolojisi ile model üretiminin geliştirilmesi, alçı modeller ve üretim aşamalarında karşılaşılan sorunların önüne geçilmesini sağlamıştır.

3B baskı teknolojisi ile dental model üretiminin ilk basamağı dijital ölçünün oluşturulmasıdır. 3B dijital ölçü ilk olarak 1980'lerin başında bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve üretimde (CAM) kişiye özel restorasyon üretmek üzere kullanılmıştır (4). Günümüzde ağız içi tarayıcıların yaygınlaşması ile pek çok ortodonti kliniği dijital iş akışlarının ilk basamağı olarak, konvansiyonel ölçü teknikleri yerine dijital ölçüleri tercih etmektedir. Temelde kablosuz mobil istasyon, bilgisayar monitörü ve ağız içi kameradan oluşan ağız içi tarayıcılar sayesinde ölçü

alma işlemi için hastanın koltukta geçirdiği süre azalmakta, kooperasyon zorluğu çekilen veya öğürme refleksi olan hastalardan ölçü alınması kolaylaşarak hasta konforu arttırılmaktadır (8,9). 3B baskı ile model üretiminde dijital ölçü oluşturmanın bir diğer yöntemi de konvansiyonel yöntemle alınan ölçülerin masaüstü model tarama cihazları ile taranarak bilgisayar ortamına aktarılmasıdır (4). Oral ve maksillofasiyal yapıların 3B görüntülemesini sağlayan konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) ile lazer tarama verileri 3B baskı ile üretilecek sanal modelin oluşturulmasına kaynaklık etmektedir (10,11). Farklı yöntemler ile elde edilen dijital ölçü ve sanal modeller, yüzey geometrisini üçgenler ile ifade eden standart mozaikleme dili (STL) dosya formatına dönüştürülerek baskı işlemine hazırlanmaktadır (12). Diş hekimliği alanında model üretiminde vat fotopolimerizasyonu yoluyla 3B baskı yapan tekniklerden tarayarak ışıkla kürleme tekniği (SLA) ve dijital ışık işleme (DLP) ile materyal püskürtme yoluyla baskı yapan Polyjet teknolojisine sahip sistemler sıklıkla kullanılmaktadır (13).

Alçı modellere göre sahip olduğu avantajlar ve güncel tedavi yaklaşımlarındaki gerekliliklerle kullanımları giderek artan bu modelleri farklı tasarımlarda üretmek mümkündür (12,14,15). Genellikle boşluksuz yapıda üretilen modellerin, boşluklu yapıda üretilmesi bu avantajları arttıracaktır. Ülkemizde üretimde kullanılan 3B yazıcı ve sarf malzemesi olan reçine ithal edilmektedir ve boşluklu yapıda üretilen modeller ile daha az sarf malzemesi harcanarak maliyet düşürülebilir (15). Harcanan reçinenin azaltılması model hacmini azaltacağı için oluşacak atık miktarı ve üretim için gereken zaman da kısalacaktır. Böylece, özellikle hasta sirkülasyonun yüksek olduğu klinik ve hastanelerde işleyişte kolaylık ve daha az zaman gerektiren uygulamalarla randevular arasındaki süre azalarak, hastanın tedaviye daha hızlı ulaşmasına olanak sağlanacaktır. 3B baskı ile üretilen boşluklu modeller belirtilen avantajlara sahiptir ancak, kişiye özel tedavilerde önemli rol üstlenen bu modellerin, aynı zamanda hastanın ağız içi morfolojisini en iyi şekilde yansıtması gerekir. Baskı sırasında azalan iç yapı kalınlığına bağlı olarak meydana gelebilecek kontraksiyon ve boyutsal değişim, uygun olmayan diagnoz ve aparey üretimiyle sonuçlanabilir (16). Bunun için, hem hastanın ağız içini en iyi şekilde modellemeye imkân veren, hem de üretimde daha az reçine ve zaman gerektiren bir model tasarımının tespitinin gerekli olduğu düşünülmektedir.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda farklı model tasarımları değerlendirilse de, bu alandaki araştırmalar sınırlıdır. Kenning ve ark. (16) çalışmalarında SLA tekniğine sahip 3B yazıcı ve reçinesi ile farklı tasarımda üretilen modellerin termoform uygulamasından önceki ve sonraki boyutsal özellikleri karşılaştırmış ve yazarlar model tasarımına bağlı olarak bu özelliklerin değişkenlik gösterebileceği belirtmiştir. Diğer bir çalışmada sürekli sıvı arayüz üretimi (CLIP) ve DLP tekniği ile üretilen boşluksuz ve 2 mm kalınlığındaki boşluklu yapıdaki model tasarımlarının doğruluğu değerlendirilmiştir (12). Chanyawatana ve ark. (17) ise araştırmalarında, sıvı kristal ekran (LCD) teknolojisi ile üretilen 11 farklı boşluklu ve boşluksuz model tasarımına ait boyutsal özellikleri 3B yüzey çakıştırması yöntemiyle değerlendirmiştir.

Literatür incelendiğinde, mevcut DLP, Polyjet ve SLA teknolojilerine sahip 3B yazıcı ve reçinesi kullanılarak üretilen boşluklu yapıdaki bir modelin, ağız içi morfolojisini doğru biçimde yansıtabilmesi için gereken iç yapı tasarımına ait net bir öneri bulunmamaktadır. Bu bilgiler ışığında bu tez çalışmasında, DLP, SLA ve Polyjet teknolojileri ile üretilen bir dental modelin, ağız içi morfolojisini kayıp olmaksızın yansıtabilen, en az ithal sarf malzemesi ve zaman gerektiren iç yapı tasarımının tespiti amaçlanmaktadır. Bunun için, farklı teknolojilerle üretilen modeller, esas alınan kontrol modelinin dijital ölçüsüyle karşılaştırılarak boyutsal özellikleri ve olası farklılıkları detaylı biçimde değerlendirilecektir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. ORTODONTİDE TANI MODELLERİ

Ortodontik tedavilerde doğru teşhis ve uygun tedavi planının oluşturulmasında diagnostik verilerin kaydı önemli rol oynamaktadır. Kraniyofasiyal ve dental yapılar arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde lateral sefalometrik radyografi, panoramik radyografi, KIBT, ağız içi ve ağız dışı fotoğraflar ile dental alçı modeller temel tanı araçları olarak kullanılmaktadır. Radyograflar ve 3B görüntüleme yöntemleri iskeletsel yapılar ile dental yapılar arasındaki ilişkilerin değerlendirmesine olanak sağlarken, 3B dişsel değerlendirmeler için sıklıkla ortodontik tanı modellerinden yararlanılmaktadır (18,19).

Geçmişten günümüze, ortodontik çalışma ve tanı modelleri olarak alçı modeller rutin klinik pratiğinin önemli bir parçası olarak kullanılmaktadır (1). Bu modeller, oklüzyonun klasifikasyonu, overjet ve overbite miktarının ölçümü, dental orta hat sapması, ark genişliği-uzunluğu ölçümü, ark formu, diş boyut uyumsuzlukları ile çapraşıklık miktarının belirlenmesine ve maloklüzyona ait özelliklerin tanımlanmasında kolaylık sağlamaktadır. Diagnostik analizlerin yanı sıra ayrıca, hastaya ait bilgilerin arşivlenmesinde, multidisipliner yaklaşımlarda ve ortodonti eğitimlerinde de fiziksel tanı modellerinden yararlanılmaktadır (20).

Alçı modeller, üretimlerinin kolay ve ekonomik olması, ağız içi morfolojisini yüksek doğrulukta yansıtması, kolaylıkla artikülatöre alınabilmesi gibi avantajlara sahiptir. Ancak, alçı modellerin eldesinde kullanılan konvansiyonel ölçü yöntemi ve model üretim aşamaları birçok dezavantaja sahiptir. Materyalin yapısı gereği modelde kolaylıkla kırılma ve yüzey aşınması gibi problemlerle karşılaşılabilmektedir (4). Alçı modelin elde edilmesinde kullanılan konvansiyonel yöntemde, ölçü materyalinde zamanla meydana gelebilecek boyutsal değişim ve deformasyon, ağız içiyle uyumlu olmayan model üretimiyle sonuçlanabilmektedir (21). Ayrıca ölçü materyalinin ağız içine uygulanması ve sertleşmesi için beklenen sürede hastanın öğürme refleksinin tetiklenmesi, aspirasyon riski ile ölçü kalitesinde bozulmaya yol açabilmektedir. Kayıp ve yüzey deformasyonu nedeniyle modelin

tekrar üretilmesinin gerektiği durumlarda hastanın kliniğe çağrılarak ölçü alma işleminin yinelenmesi gerekmektedir (9). Hasta konforunu olumsuz yönde etkileyen bu durum, klinisyen için de zaman kaybı yaratmaktadır. Hasta bilgilerinin arşivlenmesinde kullanılan alçı modeller üzerinde diş hekimi ve personelinin sağlığını olumsuz yönde etkileyebilecek oral bakteri ve mantarların değişen sürelerde hayatta kaldıkları tespit edilmiştir (22). Dijital teknolojide yaşanan gelişmelerle beraber, alçı tanı modellerinin üretim prosedürleri ile arşivlenmesinde karşılaşılan dezavantajların önüne geçmek mümkün olmuştur.

2.2. DİJİTAL ÖLÇÜ VE TANI MODELLERİNİN ÜRETİMİNDEKİ ROLÜ

Teknolojik gelişmelerin ve cihazlarının ulaşılabilirliğinin artması ile dijital iş akışları birçok ortodonti kliniğinin rutinine entegre olmuştur. Dijital iş akışı, ağız içi morfolojisine ait doğru 3B dijital ölçünün oluşturulmasıyla başlamaktadır. 3B dijital ölçü ilk olarak 1980'lerin başında Prof.Dr. François Duret tarafından bilgisayar destekli tasarım ve üretim teknolojisi (CAD/CAM) ile kron üretimi yapmak üzere kullanılmıştır. 1999'da ise ilk ortodontik tarama sistemi olan OrthoCAD piyasaya tanıtılmıştır (4).

Günümüzde sayısız tarama cihazının yaygınlaşması ile aljinat veya polivinil siloksanın kullanıldığı geleneksel ölçü alma işleminin yerine geçen dijital ölçüler, CAD/CAM'in ilk basamağını oluşturmaktadır. Kişiye özel indirekt bonding kalıplarının, hareketli ortodontik apareylerin, splintlerin, sabit lingual pekiştirme apareylerinin, labial ve lingual braketlerin fabrikasyonunda kullanılmaktadır (9). Aparey tasarımının yanı sıra ayrıca, doğru tanı ve tedavi planının oluşturulmasında da dijital ölçülerden yararlanılmaktadır. Şeffaf plaklar ile yapılan ortodontik tedavilerde sanal tedavi simülasyonları ile muayene seansında, farklı tedavi protokolleri hastaya sunulabilmektedir (23). Ortognatik cerrahi tanı sürecinde de konik ışınlı tomografilerden elde edilen görüntüler üzerinden ağız içi morfolojinin 3B görselleştirmesi yapılabilmektedir (10).

Dijital ölçüler belirtilen kullanım alanlarına sahiptir ancak, araştırma-eğitim amaçlı ve multidisipliner yaklaşımların gerektiği durumlarda fiziksel modeller hala

kullanılmaktadır (24). Dijital ölçüleri kullanarak 3B baskı teknolojileri ile yüksek doğrulukta ortodontik tanı modelleri üretmek mümkündür. Bu sistemde kullanılan dijital veri, elektronik ortamda istenilen süre boyunca saklanabilmekte ve paylaşılmasıyla üretimin yapılacağı yere taşıma gerektirmemektedir. 3B baskı ile üretilen tanı modelleri alçı modellerin aksine, kayıp ya da yeniden üretilmesi gerektiğinde hastanın kliniğe tekrar çağrılmasına gerek duyulmadan uygun 3B baskı tekniğine sahip yazıcılar ile istenilen yerde ve zamanda elde edilebilmektedir (4,9,25).

2.2.1. Dijital Ölçünün Oluşturulması

3B baskı teknolojisi ile tanı modeli üretimi için ilk olarak ağız içi morfolojisine ait dijital ölçünün veya sanal tanı modelinin uygun dosya formatında kaydedilmesi gerekir. Bu alanda çoğunlukla "Standart Mozaikleme Dili" veya "Standart Transformasyon Dili" olarak bilinen "STL" dosya formatı kullanılmaktadır (26). STL dosya formatı, x,y,z koordinatları ve bir normal vektör ile tanımlanan her biri 12 adet noktaya sahip üçgen yüzeylerden oluşmaktadır (27). Objenin yüzey karmaşıklığına bağlı olarak üçgen sayısı da değişmektedir. Yüzey geometrisinin karmaşıklığı arttıkça objedeki üçgen sayısı da artmaktadır. Üçgen sayısı kimi zaman da operatör tarafından CAD ile yeniden düzenlenebilmektedir. Üçgen sayısının azaltılması ile objenin kalitesi düşerken, arttırılması ile 3B görüntüdeki netlik artmaktadır. Özellikle eğri yüzeylerde, üçgen sayısını arttırmak, eğri yüzeye denk gelen üçgenin sekant açı hatasını azaltarak daha yüksek çözünürlük sağlamaktadır (26).

STL uzantılı dosyalarda, modellerdeki üçgen bilgileri ASCII (Bilgi Değişimi İçin Amerikan Standart Kodlama Sistemi) ve Binary olmak üzere 2 farklı kodlama türünde saklanmaktadır. ASCII türündeki STL dosyalar Binary türüne göre daha çok yer kapladıklarından fazla tercih edilmemektedir. Binary türündeki STL dosyalar daha az yer kapladıklarından çalıştıkları sistemde daha yüksek performans sergilemektedir. STL dosya ile çalışmanın, çoğu bilgisayar yazılımında kullanılabilmesi, karmaşık geometrideki verilerin transferi için basit dosyalar sağlaması gibi avantajları mevcuttur (27,28).

Ağız içi morfolojisini STL dosya formatında dijital ölçüye veya 3B sanal

modele dönüştürmek için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunlardan KIBT, lazer tarama, intraoral tarama ve masaüstü tarayıcı sistemleri sıklıkla kullanılmaktadır (4,18).

Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (KIBT)

Oral ve maksillofasiyal görüntülemede devrim yaratan KIBT'nin diş hekimliğinde kullanımı ilk olarak 1995 yılında gerçekleşmiştir. Maksillofasiyal bölge için tasarlanan ve geliştirilen ilk ticari KIBT ünitesi ise dental pazara 1999 yılında Avrupa'da tanıtılmıştır (29).

KIBT, ortodontide en çok gömülü kanin dişlerin, diğer gömülü dişler ile süpernumere dişlerin varlığında, kök rezorpsiyonu, kök kırıkları ile temporomandibular eklemin değerlendirilmesinde, geçici ankraj cihazlarının yerleştirilmesinde, iskeletsel asimetri değerlendirilmesi, yarık dudak ve damak hastaları ile ortognatik cerrahi hastalarının planlamasında kullanılmaktadır (10,30).

Tıpta dijital görüntüleme ve iletişim (DICOM) dosya formatındaki KIBT verileri, mandibula, maksilla ve mandibular kondil gibi anatomik yapıların modellemesinde olduğu gibi sanal ortodontik tanı modeli eldesinde de kullanılmaktadır (31–35). Bu yöntemle, voksel boyutlarının küçülmesi ve gelişmiş yazılımlar ile geleneksel ölçü materyallerine ihtiyaç duyulmadan sanal ortodontik modeller oluşturulabilmektedir. Bunun için, özel bir yazılım ile 2 boyutlu (2B) KIBT görüntüleri üzerinden "İlgi Alanı Bölgeleri-ROI" işaretlenerek istenen ağız içi morfolojisi segmente edilir. Yazılım yardımıyla 2B işaretli radyografik bölgeler birleştirilerek 3B sanal görüntü oluşturulur (32,33). Diğer dijital ölçü oluşturma yöntemlerinden farklı olarak, diş köklerininin ve çevre dokuların densitesi operatör tarafından yazılım üzerinde istenilen düzeyde ayarlanabilir. Böylece üretilecek fiziksel modele, modelleme amacına uygun olarak sert ve yumuşak dokuların görünürlüğü yansıtılabilir. Hazırlanan 3B sanal model daha sonra yazılım programından dışarı aktarılarak STL dosya formatında kaydedilir (32).

Lazer Tarama

Lazer yüzey taraması, tıp ve diş hekimliğinde görünen yüzeylerin 3B görüntüsünü oluşturmak için kullanılan invaziv olmayan bir yöntemdir (36). Ortodontide yüz taraması ve dijital ağız içi ortodontik modellerin oluşturulmasında kullanılmaktadır . Lazer tarama, büyüme veya ortodontik tedavi sonucu elde edilen yumuşak doku değişiklerini görüntülemeye olanak verir. İnvaziv olmaması, kullanımının kolay olması, otomatik kalibrasyon ve görüntü düzeltme özellikleri gibi avantajlara sahiptir (11).

Kusnoto ve ark. (37), ortodontik uygulamalar için 3B yüzey lazer taramanın güvenilirliğini araştırdıkları çalışmalarında, tarayıcının distorsiyon azaltma özelliği sayesinde obje ile tarayıcı arasındaki mesafe kaynaklı hataların azaltıldığını, lazer ışının yayılma özelliği ile daha küçük objeler için daha doğru sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Thiruvenkatachari ve ark. (38) tarafından yapılan bir araştırmada, lazer yüzey tarama ile 3B diş hareketleri ölçülmüş, lazer taramanın anteroposterior ölçümlerde 0.0235 mm, bukkolingual ölçümlerde ise 0.0071 mm'ye kadar doğru sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Ağız İçi Tarayıcılar

Ağız içi tarayıcı, çok sayıda görüntünün yakalanması ve özel bir yazılım kullanarak bu görüntülerin işlenmesi sonucu ağız içi morfolojisini görselleştiren cihazlardır. İlk ağız içi tarayıcı 1980'lerin sonunda Werner Mormann ve Marco Brandestini tarafından tanıtılmıştır (39). Kablosuz mobil istasyon, tedavi planını oluşturmak, taramaları onaylamak ve dijital dosyaları gözden geçirmede kullanılan bir bilgisayar monitörü ve ağız içi veriyi toplamaya yarayan el tipi kamera olmak üzere 3 temel bileşenden oluşur. Ağız içi yüzey verilerini yakalamada triangulasyon, parallel konfokal, akordiyon şerit interferometrisi, 3B animasyon videosu olmak üzere 4 farklı teknoloji kullanılmaktadır. Farklı teknolojiler, tarayıcının ölçüm hızını, çözünürlüğünü ve doğruluğunu belirlemektedir (9,40).

Bu teknolojinin, aljinat veya polivinil siloksan gibi ölçü materyallerinin kullanıldığı geleneksel ölçü alma yöntemine göre birçok avantajı mevcuttur.

Hastanın koltukta geçirdiği süre önemli ölçüde azalmaktadır. Geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında, intraoral tarayıcılarla alınan ölçülerin 23 dakika daha hızlı elde edildiği tespit edilmiştir (41). Ağız içi kameralarının kullanımıyla kooperasyon zorluğu çekilen veya öğürme refleksi olan hastalardan ölçü alınması kolaylaşmakta ve hasta konforuna katkı sağlanmaktadır (8). Ayrıca konvansiyonel yöntemde ölçünün uygulanması ve alçının dökülmesi sırasında oluşabilen deformasyon, eksiklik, baloncuk gibi istenmeyen durumlar engellenmektedir (36,42). Yapılan araştırmalarda, intraoral tarayıcılarla elde edilen ölçülerdeki doğruluğun aljinat ve polivinil siloksan ile elde edilenlere göre belirgin oranda daha yüksek olduğu belirtilmiştir (43).

Masaüstü Tarayıcılar

Masaüstü tarayıcılar, laboratuvar ortamında üretilen mevcut alçı ya da başka bir fiziksel model üzerinden dijital tanı ve çalışma modellerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Bunun için, kutu şeklindeki bir platformun üzerine sabitlenerek yerleştirilen model, ölçü ya da kapanış kayıtları, cihaz tarafından döndürülerek farklı açılardan 3B görüntüleri yakalanır. Yüksek çözünürlükte görüntüler elde etmek için dijital kameralar ve lazer ışını kullanılır. Tarama işlemi bittiğinde STL dosya formatında dijital veriler oluşturulur (4).

Masaüstü tarayıcılar ile ağız içi tarayıcılardan elde edilen dijital ölçüler karşılaştırıldığında ağız içi tarayıcıların, tükürük varlığı ve ağız içinin dar bir alan olması nedeniyle daha düşük hassasiyet sergilediği tespit edilmiştir (44).

2.3. 3 BOYUTLU (3B) BASKI TEKNOLOJİLERİ

3B baskı, küçük hacimli elemanları, monomerleri, birleştirerek, bağlayarak, sinterleyerek veya polimerize ederek katman katman karmaşık geometrideki katı nesneleri üretme işlemidir . Genel olarak “Eklemeli Üretim”, “Hızlı Prototipleme” ve “Üretici Süreç” olarak da bilinmektedir. Amerikan Test ve Malzemeler Derneği (ASTM Komitesi) tarafından 3B baskı teknolojisi için “Hızlı Prototipleme” terimi yerine “Eklemeli Üretim” terimi kabul edilerek terminolojik düzenleme yapılmıştır (45).

3B baskı kavramı ilk olarak 1970'lerin başında, Pierre AL Ciraud'un toz halindeki malzemeyi katmanlar halinde katılaştırmak için yüksek enerjili ışını kullanmayı önermesiyle ortaya çıkmıştır (46). 1984 yılında Chuck Hull, kürleme işlemi için ilk kez ultraviole ışığı (UV) kullanmıştır. Chuck Hull, 1986 yılında 3D Systems şirketinin kurucu ortağı olarak "Sterolithography" adlı ilk hızlı prototipleme makinesini tanıtmıştır (26,47). Günümüzde en yaygın büyük endüstriyel foto kürleme makinelerinin teknolojisi olan SLA, 3B baskının temelini oluşturan en eski baskı tekniği olmuştur. 1988 yılında Scott Crump tarafından "Birleştirilmiş Yığma Modeli" (FDM) geliştirilmiş, 1990 yılında Stratasys tarafından markalaştırılmıştır. Objet Geometries tarafından 1998'de Polyjet fotopolimer teknolojisi geliştirilmiştir (48).

Günümüzde birçok 3B baskı teknolojisi yazıcı ve ürünlerinin patent süresi dolduğundan, bu teknolojilerin maliyeti düşerek ulaşılabilirliği artmıştır (49). 3B baskı teknolojisi, elektronik, mimari, uzay ve havacılık, otomotiv, heykelcilik, kuyumculuk, eğitim, eczacılık gibi alanlarda yaygın kullanıma sahiptir . Takı, oyuncak, diş gibi küçük objelerden araba, ev ve benzeri gibi büyük objelere kadar neredeyse her öğe yazdırılabilmektedir (13,49). Hastaya özel tasarım ve üretime yönelik talepler sonucu medikal alanda en çok ortopedik ve dental uygulamalarda yaygın kullanıma sahip olmuştur. Ortodontide, tanı modelleri, şeffaf plaklar, temporomandibular eklem bozukluğu tedavisinde kullanılan splintlerin, mini vida uygulamalarındaki cerrahi kılavuzların hazırlanması ve kişiye özel pek çok sabit ve hareketli apareylerin üretiminde kullanılmaktadır (26,50,51).

3B baskı teknolojisi makine, bilgisayar ve malzeme teknolojilerini ilgilendiren multidispliner bir alandır. Tipik olarak 2B baskıda sağdan sola x ekseni, önden arkaya y eksenleri kullanılırken, 3B baskıda bunlara ek olarak yukarıdan aşağıya z ekseni de kullanılmaktadır (52). Genellikle katmanlar halinde materyale eklemeler yapılarak üretimin sağlandığı 3B baskı işlemi, bilgisayar destekli modelleme yazılımıyla istenilen objenin tasarımı, objenin dilimler haline getirilmesi, katmanlar halinde basımı ve baskı sonrası işlemleri içeren 4 temel aşamadan oluşmaktadır (46).

Bilgisayar Destekli Tasarım

3B baskı işlemi, üretilecek nesnenin sanal ortamda tasarımına olanak sağlayan "Bilgisayar Destekli Tasarım" (CAD) ile başlamaktadır (47). CAD ile karmaşık geometrideki objelerin oluşturulmasının yanı sıra, sanal olarak objeleri trimleme, düzeltme, şekillendirme, kuvvet ve stres analizi yapılabilmektedir. Operatörün üretkenliğini ve yaratıcılığını arttırması, yüksek kalitede tasarımların tekrar kullanılıp değiştirilebilmesi, elektronik ortamda kolaylıkla paylaşılabilmesi gibi avantajları mevcuttur. Bu sistemler ilk olarak 1960'larda piyasaya tanıtılmış ve dental alanda ilk kez 1980'lerin başında kullanılmıştır (53,54).

Piyasada açık veya kapalı kaynaklı, ticari veya ticari olmayan çok çeşitli bilgisayar destekli tasarım sistemi mevcuttur. Program kodunun yalnızca firma tarafından değiştirilebileceği kapalı kaynaklı yazılım pazarının en büyük 3 sağlayıcısı Autodesk, Dassault Systèms ve Siemens'tir. Bu sistemler daha çok otomotiv ve havacılık gibi belirli endüstrilerde kullanılmaktadır. Öğrenciler ve hobi sahipleri tarafından kullanılabilen, hızlı ve kolay öğrenilebilen açık kaynaklı ücretsiz ya da düşük ücretli yazılımlar da mevcuttur. Piyasada ticari olarak farklı dental branşlara uyarlanmış CAD yazılımları da mevcuttur (54). Bu sistemlerde kişiye özel restorasyonlar ve apareyler otomatik olarak oluşturulabilirken operatör, isterse üzerinde değişiklikler yapabilmektedir. Tasarımı tamamlanan obje, üretim aşamasına hazırlanmak üzere genellikle STL veya benzeri uygun dosya formatında çıktısı alınarak yazıcı ara yüz programına aktarılmaktadır.

Dilimleme

CAD yazılımı ile tasarlanan objenin üretiminden önce, dijital dosyadaki veri 3B yazıcı ara yüz programında x ve y eksenlerinin oluşturduğu horizontal düzlemde dilimlere ayrılmaktadır. Böylece yazıcı, objenin üretimini z aksı boyunca katmanlar halinde yapabilmektedir (26).

Dilimleme işlemi ile dosyadaki komutların yazıcıda okunabilmesi için STL dosya formatı, G CODE adı verilen formata dönüştürülmektedir. Yazıcı, G CODE' tan gelen verilere göre hangi koordinatlarda hareket ederek, merkezden ne kadar

mesafede baskı yapacağını, katmanları oluştururken ne kadar malzeme harcaması gerektiğini, baskı hızını ve baskı tablasının sıcaklığını ayarlamaktadır (26,27).

3 Boyutlu Baskı

Dijital modelin tasarlanması ve işlenmesinden sonraki adım, objenin 3B baskı ile üretimidir (46). Baskı işlemi, üretilecek nesnenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine uygun olarak seçilen baskı teknolojisine ait yazıcı ve ham maddesi ile sağlanmaktadır. Dilimlenmiş veri, yazıcı ara yüz programı ile yazıcıya gönderilir ve G CODE'taki talimatlara uygun şekilde monomerler veya küçük bileşenler birleştirilerek, bağlanarak, sinterlenerek veya polimerize edilerek tasarlanan obje katmanlar halinde basılmaktadır (27).

Üretilecek objenin yapısı ve üretim amacına göre ham madde olarak çeşitli materyaller kullanılabilmektedir; termoplastikler, metal ve alaşımları, polimerler, kompozitler, metal, seramik matriks kompozitleri ve seramik bunlardan bazılarıdır (55). Diş hekimliğinde en çok kullanılan materyaller biyouyumlu fotopolimer rezinler (splint, geçici restorasyon, gingival örtü üretiminde), fotopolimer rezinler (model ve cerrahi kılavuz üretiminde), Co-Cr ve Titanyum (kron, implant, vidalı genişletme apareyi, lingual ark, transpalatal ark ve sabit lingual retainer üretiminde) 'dur (53). Farklı 3B baskı teknolojileri, yazıcıya ve sistemin özelliklerine bağlı farklı ayırt edici özelliklere sahiptir. Bunlar, üretim platformunun boyutu, işlem başına üretilebilen model sayısı, baskı işleminin hızı, çözünürlüğü, kullanım kolaylığı ve maliyetidir (13).

Baskı Sonrası İşlemler

Üretilen model, kullanılan 3B baskı teknolojisi ve yazıcısına göre değişen üretim sonrası işlemlere tabii tutulmaktadır (50). Bunlar, temel olarak destek çubuklarının bir frez ya da kazıyıcı yardımıyla ayrılması, artık monomerlerin uzaklaştırılması için alkol içerikli sıvı ile ultrasonik yıkama, özellikle FDM ile baskıdan sonra yüzeydeki pürüzlerin giderilmesi için kumlama ve taşlama, tek seferde basılamayan büyük objelerin elde edilmesinde küçük parçaların birbirine kaynaklanması ve yapıştırılması, fotopolimerize olmamış rezin monomerleri için UV

ışını ve ısı ile kürleme; metal nesneler için ise ısıl işlem uygulamasıdır. Bunun yanında, katmanların görünürlüğünü azaltmak için polisaj, yüzey porozitelerinin doldurulması için epoksi kaplama, metal veya iletken bir yüzeye sahip objelerde görünümü iyileştirmek için galvanik uygulama işlemleri yapılmaktadır (13,56–58).

2.3.1. Eklemeli Üretim Yöntemleri

3B baskı teknolojilerine ait ilk sınıflama 2010 yılında "Eklemeli Üretim Teknolojilerinde Amerikan Test ve Malzemeler Derneği (ASTM Komitesi) F42" tarafından yapılmıştır. Buna göre 7 temel kategori tanımlanmıştır (45):

1- **Vat Fotopolimerizasyon;** SLA, DLP, LCD, CLIP/CDLP
2- **Materyal Püskürtme**; PolyJet, MultiJet, DOD
3- **Bağlayıcı Püskürtme**
4- **Malzeme Ekstrüzyonu**; FDM ve DIW
5- **Toz Yatak Füzyon;** SLS, DMLS, SLM, EBM ve MJF
6- **Saç Laminasyon;** LOM, SDL ve UAM
7- **Yönlendirilmiş Enerji Biriktirme**; DMD, LENS, LMD.

2.3.1.1. Tarayarak ışıkla kürleme tekniği (SLA)

Foto kürleme temelli baskı tekniklerinden olan SLA, bilinen en eski 3B baskı tekniğidir ve büyük hacimli modellerin yazdırılmasında kullanılmaktadır. 1986 yılında 3D Systems şirketinin kurucu ortağı olan Charles Hull tarafından patentlenmiştir. Günümüzde endüstriyel alanda kullanılan 3B baskı, genellikle SLA tekniğine dayanmaktadır (59).

SLA ile 3B baskı tekniği, oda sıcaklığında sıvı formda bulunan reçinenin lazer ışını yardımıyla katmanlar halinde katılaştırılmasıdır. Bunun için, fotopolimer reçine dolu tankın içine, üzerinde tasarlanan modelin oluşturulacağı bir platform indirilir. Lazer ışını modelin xy düzlemindeki enine kesiti boyunca, sınır çizgilerini izleyerek tarama yapar. Böylece, ilk reçine katmanı kürlenmiş olur. Daha sonra kürlenen ilk tabakanın bulunduğu platform bir piston tarafından, daha önce

belirlenen katman kalınlığı kadar tekrar rezin dolu tankın içine indirilir. Sıvı reçine ilk katmanın üzerine sıvanır ve kürleme işlemi gerçekleşir. Bu işlem nesne üretilene kadar, dilimle aşamasında oluşturulan her katman için tekrarlanır (26,60).

SLA tekniğinde kullanılan UV ışının dalga boyu 355 nm'dir ve ışının pozlama yönü sistemin üst tarafındadır (13). Üretim tamamlandıktan sonra obje, platform ile arasında yer alan destek çubuklarından ayrılır. Obje üzerindeki kürlenmemiş reçine alkol çözeltisi içeren ultrasonik yıkama aleti yardımıyla uzaklaştırılır. Daha sonra model, aydınlatma odasına yerleştirilerek belli bir süre ısı ve UV ışını ile sertleştirilir. Böylece materyalin kontraksiyonu ve distorsiyonu önlenerek fiziksel özellikleri iyileştirilir (57).

SLA tekniği lazer ışınının hareketine bağlı sertleşme oranı nedeniyle düşük baskı hızına sahiptir (61). Bu nedenle büyük boyuttaki nesnelerin basımında, baskı hızı da azalmaktadır. Ayrıca, üretimin doğruluğu lazer ışının çapı ve nokta boyutu ile ilişkilidir. Diş hekimliği, otomotiv, havacılık gibi birçok alanda kullanılan bu teknik, yüksek hassasiyetteki karmaşık geometrideki büyük boyutlu cisimleri basmak için yeterlidir. Ancak, lazer ışının dalga boyuna bağlı olarak diğer foto kürleme temelli baskı tekniklerine göre daha düşük baskı çözünürlüğüne sahiptir (13).

2.3.1.2. Dijital ışık işleme (DLP)

SLA tekniğine oldukça benzer olan DLP ilk olarak 20 yıl önce kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde, SLA'dan sonra en çok kullanılan ikinci foto kürleme temelli 3B baskı tekniğidir (26). Bu sistemde de SLA ile benzer şekilde ham madde olarak foto polimer rezin kullanılmaktadır. SLA'dan farklı olarak kürleme işlemi dijital ışık projektörü tarafından sağlanmaktadır. Projektör sistemi, yarı iletken optik, dijital mikroskop aygıtı ve DLP çipinden oluşmaktadır (61). Bir optik anahtarlama cihazı olan DLP çipi, Dr. Larry Hornback tarafından 1977 yılında icat edilmiş, 1996 yılında ise Texas Instruments tarafından markalaştırılmıştır (62). Çip, her biri bir insan saç teli boyutunda olan 2 milyon mikroskop dizisi içermektedir. DLP çipleri saniyede binlerce kez mikroskop değiştirebilmektedir. Bu nedenle DLP, minimum 25 μm boyutunda baskı yapabilen yüksek çözünürlüklü bir baskı tekniğidir. Bu sistemde

ışık kaynağı olarak 385 ya da 405 nm dalga boyuna sahip LED lambalar kullanılmaktadır (13).

Kürleme işlemi reçine katmanının noktasal lazer ışını yerine SLA tekniğindekinden farklı olarak tek seferde pozlanmasıyla gerçekleşir (61). Her kürlemeden sonra bir piston yardımıyla objenin üretildiği platform reçine dolu bir tankın içine iner ve fotopolimerizsyondan sonra tekrar yukarı çıkar. Platformun aşağı-yukarı yöndeki hareketi tüm katmanların foto polimerizasyonu tamamlanıncaya kadar devam eder. Üretilecek objenin hedeflenen formda olması ve kontraksiyona uğramaması için destek çubukları ilave edilebilmektedir. Üretimden sonraki aşamalar SLA tekniğindekine benzer şekilde gerçekleşir. Obje üzerindeki destek çubukları uzaklaştırılır ve alkol içeren çözelti içeren ultrasonik cihazda yıkanarak artık sıvı reçineden temizlenir. Daha sonra kürlenmeden kalan reçine belli bir süre ısı ve UV ışını ile kürlenir (26,53).

DLP ile üretilecek objenin boyutu, pozlama alanı ile sınırlı olacağından 100x60 mm ile 190x120 mm arasında değişmektedir. Bu teknik ile yalnızca küçük boyutlu ancak, yüksek çözünürlükte detaylara sahip, pürüzsüz yüzeyli baskılar elde edilmektedir. Gün ışığına ve ısıya dayanaksız kırılgan materyallerdir. En çok diş hekimliği ve takı üretimi alanlarında kullanılmaktadır (13). Diş hekimliğinde en çok, model, cerrahi kılavuz, splint, geçici restorasyon, gingiva örtüsü yapımında kullanılmaktadır (26) .

2.3.1.3. Sıvı kristal ekran (LCD)

Fotokürleme ile 3B baskı tekniklerinden olan LCD'nin diğer baskı sistemlerinden en büyük farkı ışık kaynağı olarak "sıvı kristal ekran" kullanılmasıdır. Ekran, ışığın modelin üretildiği alana girmesine olanak veren panellerden oluşur. LCD ekrandaki sıvı kristal yapıdaki moleküler düzen, elektrik alanın uygulanması sonucunda değişir ve projektörün ışığını maskeler (63,64). Işığın %90'ı, LCD ekran tarafından emildiğinden ışık yoğunluğu düşüktür. Ekran çözünürlüğü oldukça yüksek olmakla birlikte, moleküler düzeninin değişmesi sırasında bazı sıvı kristal moleküller düzenlenemeden kalır ve ışık sızıntısına sebep olur. Bu durum, baskı hassasiyetinin düşmesine yol açmaktadır. Ayrıca, ışık sızıntısı nedeniyle dipte kalan ışığa duyarlı

reçinenin sıvı tankından düzenli olarak temizlenmesi gerekmektedir. Ekranın servis ömrü kısadır bu nedenle düzenli olarak değiştirilmesi gerekmektedir (13). 3B yazıcının parçaları ve ışık kaynağı daha düşük maliyetli olduğundan SLA, DLP gibi diğer Vat polimerizasyon sistemlerine göre daha ekonomiktir (65).

2.3.1.4. Sürekli sıvı arayüz üretimi (CLIP)

CLIP teknolojisi, 2015 yılında Carbon 3D Corparations tarafından geliştirilmiştir. Bu tekniğin diğer Vat polimerizasyon sistemlerinden farkı oksijene geçirgen zarın kullanılmasıdır. Alt kısımda yer alan UV projeksiyonu ışığa duyarlı reçineyi katılaştırırken, oksijene geçirgen pencere sayesinde tankın altındaki sıvı reçine stabil olarak kalır (66). DLP'de kullanılan ışığa duyarlı reçineler bu sistemde de kullanılabilmektedir. Bu tekniğin avantajı, DLP'ye göre üretimin 100 kata kadar daha hızlı olmasıdır. Ancak, hızlı baskı için, reçinenin üretim alanına hızlı şekilde geçmesi gerekmektedir. Bu nedenle, düşük viskoziteli sıvı reçine, sistemin gerekliliklerindendir. Yüksek viskoziteli reçinenin üretim alanına geçişi yavaş olacağından baskı hızı düşer. Sistemin dezavantajı ise oksijen geçirgen zarının maliyetinin yüksek olmasıdır (13).

2.3.1.5. Çoklu jet (Polyjet-Multijet)

Multijet (MJP) tekniği, nesneleri birçok püskürtme başlığının birlikte çalışmasıyla üreten 3B baskı tekniğidir. 2000 yılında Objet firması tarafından patentlendiğinden beri "Polyjet" olarak da adlandırılmaktadır (13). Bu teknoloji ile üretim, sıvı formda bulunan ışığa duyarlı reçinenin yazıcıya ait bilgisayar programı tarafından xy düzleminde hareket eden enjeksiyon başlıklarına gönderilmesiyle başlamaktadır. Enjeksiyon başlıkları üzerinde mikron düzeyinde küçük çaplarda "nozul" adı verilen çok sayıda püskürtme başlığı yer almaktadır. Püskürtme başlıklarından foto polimer reçine üretimin yapıldığı boş tabla üzerine bir katmanı oluşturacak şekilde püskürtülür ve UV lambası ile kürlenerek sertleştirilir (67). Kürleme işlemi dondurularak veya soğutularak yapılır. İlk katmanın sprey baskısı ve sertleştirilmesi tamamlandıktan sonra tabla aşağı iner ve yeni katmanın üretimi başlar. Tüm model üretilene kadar işlem devam eder. Nozulların bir kısmı modeli

üreten reçineyi püskürtürken, bir kısmı da eriyebilir yapıdaki destek yapıyı oluşturan reçineyi püskürtür. Baskı işlemi tamamlandıktan sonra, destek yapı mekanik yöntemler ile uzaklaştırılır. Bu teknikte reçine, püskürtme yoluyla tablaya gönderildiği için düşük viskoziteli olması önem taşır (13). Sistemde çok sayıda püskürtme başlığı yer aldığından baskıda farklı fiziksel özellikteki malzemeler kullanılabilmektedir (68). Bu nedenle MJP tekniği çok renkli modeller basabilen teknolojidir. 14 μm katman kalınlığına kadar baskı yapılabildiğinden üretilen nesnelerin hassasiyeti yüksektir (69). Destek yapı eriyebilen veya çözünebilen yapıda olduğundan kolaylıkla uzaklaştırılabilir. Bu durum, destek yapının objeye eklendiği kısımların pürüzsüz olmasını sağlar. Baskı makinesi ve kullanılan malzemelerin pahalı olması nedeniyle daha çok yüksek işlem hassasiyeti gerektiren sağlık sektörlerinde tercih edilmektedir (13,70).

2.3.1.6. Bağlayıcı püskürtme (Binder Jet)

Bağlayıcı püskürtme ilk olarak Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde geliştirilmiş ve 1993 yılında patentlenmiştir (71). İlk geliştirildiğinde, püskürme başlıklarından gelen alçı tipi toz ve gliserin-su bağlayıcısı kullanılmıştır.

Bağlayıcı püskürtme temelde basınçlı püskürtme başlıklarından gelen toz tabakaların yapıştırılmasıyla üretimin sağlandığı 3B baskı tekniğidir (55). Bunun için, püskürtme başlıklarından toz haldeki malzeme yapı platformuna bir katman olarak yayılır ve polimerik sıvı yapıştırıcı madde ile birleştirilir. Yapıştırıcının hafifçe sertleştirilmesi için minimum düzeyde ısı kullanılır. Isının az miktarda olması termal olarak indüklenen gerilim ve bozulmaların ortaya çıkmasını önler. Her katmandan sonra üretim platformu alçalır ve yeni bir toz tabakası yerini alır. Üretilen nesne alt kısmında destekleyici bir tabaka ile çevrelenir (72–74).

Hemen hemen tüm toz malzemelerle uyumlu olan sistem geniş malzeme seçimine sahiptir (75). Ham madde olarak metal ve cam tozlarının kullanıldığı durumlarda yapıştırıcının yakılması ve istenen mekanik özellikleri elde etmek için işlem bitiminde sinterleme işlemi uygulanır. Yapıştırıcı içeriğinin fazla olması nedeniyle, üretilen objelerde sinterizasyon büzülmesi ve ardından pörozite

gözlenebilmektedir. Farklı püskürtme başlıklarının kullanımıyla renkli objeler üretilebilmektedir. Diş hekimliğinde model üretimi dışında kullanım alanına sahip değildir (26).

2.3.1.7. Birleştirilmiş yığma modeli/ Kaynaşmış filament üretimi (FDM/FFF)

Birleştirilmiş yığma modeli veya ticari olmayan ismiyle kaynaşmış filament üretimi (FFF), ilk olarak 20 yıldan fazla bir süre önce geliştirilmiş en eski 1988, 3B baskı tekniklerinden biridir. Temelde, robotik bir yapıştırıcı olan ekstrüder tabanca ile termoplastik malzemelerden 3B nesneler üretilmesi prensibine dayanmaktadır (49). Malzeme belirli bir erime sıcaklığına ulaşana kadar ısıtılır. Yazıcının ekstrüde ucu, belirlenen koordinatlarda xy düzleminde üretimin yapıldığı platform üzerinde ilk tabakayı oluşturmak üzere ilerler. Sistemde ya hareketli ekstrüder sabit bir platformun üzerinden geçer ya da ekstrüder hareketliyken platform sabit olarak kalır. Bir katmanın oluşturulmasından sonra, üretim platformu z ekseninde aşağı yönde hareket eder ve sonraki katman uygulanarak altındaki katman ile kaynaşır. Üretim sonrası aşamada yalnızca destek yapı uzaklaştırılır (76).

Üretimdeki katman kalınlığı 200 μm olduğundan, diğer hassas üretim tekniklerine göre obje yüzeyleri daha pürüzlü ve basamaklı yapıdadır (46). Sistemin avantajı, maliyetin düşük ve malzeme kısıtlamasının olmamasıdır. Farklı malzeme yapısına sahip veya karmaşık yapıdaki objelerin üretiminde birden fazla ekstrüder kullanılabilmektedir. Diş hekimliğinde kullanımı daha çok model üretimiyle sınırlı olmakla birlikte özellikle doku mühendisliğinde, biyolojik olarak parçalanabilen polilaktik asit ve benzeri polimerlerin ham maddeyi oluşturduğu doku iskeletlerinin üretiminde kullanılmaktadır (26).

2.3.1.8. Seçici lazer sinterleme/eritme (SLS /SLM)

SLS/SLM ile baskı tekniğinde objeler, toz halindeki materyalin lazer radyasyon ile eritilmesi veya sinterlenmesiyle üretilmektedir. Her iki teknik de temelde aynı üretim prensibiyle çalışmaktadır. Ancak, SLS tekniğinde katmanlar

sinterlenerek kısmi eritme işlemiyle birbirine kaynaştırılırken, SLM tekniğinde ham madde olarak kullanılan toz, doğrudan işlem noktasından eritilir. Lazer ışını yerine elektron ışının kullanıldığı durumlarda işlem "elektron ışını erimesi" olarak adlandırılır (47,56).

Ham madde olarak poliamid, polikaprolakton, hidroksiapatit, paslanmaz çelik, titanyum, krom, kobalt, seramik gibi lazer radyasyonu ile sinterlenebilen veya eritilebilen malzemeler kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan metaller Cr-Co ve titanyumdur (73,77).

SLS/SLM tekniğinde kullanılacak toz, bir tank içinde tutulur ve malzemenin erime noktasına yakın bir sıcaklık derecesine kadar ısıtılır. Daha sonra toz tabakası, objenin üretileceği platform üzerinde yuvarlanarak toplanır. Yüksek güçlü CO_2 lazer ışını, toz katmanını ısıtarak eritir veya sinterler (78). Toz tabakasının önceden ısıtılması daha az enerjideki lazer ışınını gerektirir. Ayrıca nesnelerin bozulmasına yol açabilecek termal farklılıkların da önüne geçilmiş olur. Platform üzerindeki toz katmanının sinterlenmesi veya eritilmesinin ardından yeni bir toz tabakası platformun üzerini kaplar ve eritme/ sinterleme işlemi tüm katmanlar üretilinceye kadar tekrarlanır. Ham madde olarak kullanılacak malzemenin seçiminde partikül boyutu, densitesi ve termal koşullardaki davranışı belirleyici rol oynar. Toz tankının ön ısıtma sıcaklığının, parçacıkların geometrisi ve boyutunun, toz parçacıklarının yoğunluğu üzerinde etkisi vardır. Metaller ile yapılan üretimde yüksek çözünürlük elde etmek için gücü 100 watt'tan daha yüksek, ışın çapı 0,2-0,4 μm olan lazerler kullanılmalıdır. Bunun sonucunda 30 μm baskı katman kalınlığı elde edilir (79). Diş hekimliğinde bu yöntem daha çok, kron ve implant gibi metal içerikli materyallerin üretiminde kullanılır (26,78).

2.3.1.9. Lamine nesne üretimi (LOM)

İlk ticari LOM 1991'de piyasaya tanıtılmıştır. Büyük tabaka ve malzeme rulolarının katman katman kesilmesi ve birleştirilmesine dayanan üretim yöntemidir. İnşa platformu, platformun üzerine levhayı ilerleten mekanizma, levhayı altındaki katman ile birleştirmede kullanılan ısıtılmış silindir ve her katmanın dış hatlarını

oluşturacak şekilde kesim yapan lazer cihazından oluşur. Levhalar tek tek yapı platformu üzerine sarılır ve mekanik olarak veya lazer aracılığıyla hassas bir şekilde kesilir. Kesim işleminden sonra yapı platformu katman kalınlığı kadar indirilerek yeni levha daha önce yerleştirilen levhanın üzerine yerleştirilir. Daha sonra platform yükselir ve iki levhanın birleştirilmesini sağlayan ısıtılmış silindir basınç uygular. Daha sonra bir lazer, parçanın dış hatlarını bir katman kalınlığında lamine levhalar halinde keser ve işlem tekrarlayarak devam eder. Fazla malzeme işlem sırasında destek yapı olarak kullanılır ve üretim tamamlandıktan sonra çıkarılır. Bu yöntem, metal ve kâğıt gibi levha malzemeleri kullandığından düşük maliyetlidir (56,73).

2.3.1.10. Yönlendirilmiş enerji biriktirme (DED)

DED yöntemi ile 3B baskı daha çok metal malzemelerin üretiminde, hasarlı yüzeylerinin onarılmasında ve koruyucu kaplamaların uygulanmasında kullanılmaktadır. Toz veya tel formundaki materyaller, lazer veya elektron ışını kaynaklı termal enerjinin kullanılmasıyla eritilir ve birbirine bağlanır. Uçak yapımı, otomobil üretimi gibi makine ve enerji mühendisliği alanlarında kullanılmaktadır (55,60).

2.3.2. Eksiltmeli Üretim

Eklemeli üretimden farklı olarak 3B obje üretmenin bir diğer yolu eksiltmeli üretimdir. Eksiltmeli üretimde frezleme, taşlama, delme, öğütme ve lazer kesim gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler ile katı ve belli boyutlardaki malzeme bloğundan fazlalıkların alınmasıyla istenilen obje üretilmektedir (80).

Eksiltmeli üretim, eklemeli üretime göre bazı dezavantajlara sahiptir (81). Bu yöntemde istenilen objenin üretimi için belirli büyüklükte bütün bir malzeme bloğu gerektiğinden eklemeli üretime göre daha çok malzeme harcanmaktadır. Kontrollü frezleme yöntemiyle yapılan eksiltmeli üretimde malzeme kaybı %90'a ulaşabilmektedir (80). Ayrıca, eksiltmeli yöntemde işlem süresi daha uzun olmakla birlikte tek seferde üretilebilecek obje sayısı sınırlıdır. Frezleme ve delme gibi işlemlerde kullanılan aletlerin tekrarlayan kullanımlardan sonra yıpranması, üretilen

objede aşınma ve çatlaklara neden olabilmektedir. Eklemeli yöntemde daha yüksek çözünürlükte objeler üretilebilirken, diğer yöntemde yüzey çözünürlüğü aletin yarıçapı ile sınırlıdır (50).

2.3.3 Foto Kürleme İle Baskıda Üretim Kalitesini Etkileyen Faktörler

Farklı 3B baskı teknolojileri baskı anındaki ve sonrasındaki işlemler ile kullanılan hammadde özellikleri açısından değişkenlik göstermektedir. Üretilen modelin hassasiyeti ve doğruluğu baskı teknolojisinin çeşidine bağlı olarak farklılık gösteren üretim parametrelerinden etkilenmektedir (47).

Genel olarak diş hekimliğinde sıklıkla kullanılan fotokürleme ile 3B baskıda üretim kalitesi; kullanılan baskı teknolojisinin çeşidi, üretim sonrası UV ışını ile kürleme süresi, modelin üretileceği katman kalınlığı, modelin baskı tablasındaki konumu ve açısı ve model iç yapı tasarımı gibi faktörlere bağlıdır (7,82–84)

2.3.3.1. Modelin Baskı Tablasında Açılandırılması

Modelin baskı tablası üzerindeki oryantasyonu baskı işlemi öncesinde yazıcı ara yüz programı üzerinde operatör tarafından ayarlanmaktadır. Modelin baskı tablasıyla yapacağı açı baskının doğruluğunu, süresini ve tek seferde basılacak model miktarı gibi faktörleri etkilemektedir (83).

Modelin baskı tablasına 0º açı ile horizontal olarak yerleştirilmesi, üretim platformuna yerleştirilebilecek model sayısının azalmasına neden olur. Bu durum tek seferde üretilebilecek model sayısını azaltır. Öte yandan modelin baskı tablasına 45º, 60º veya 90º açıyla yerleştirilmesi üretim tablası üzerindeki model iz düşümünü azaltarak tek seferde daha çok sayıda üretimin yapılmasını sağlar (85).

Modelin daha dik açıyla yerleştirilmesi, üretim tablasından daha uzak mesafede z düzlemleri oluşmasına neden olur. Z düzlemlerinin sayısının artması, üretim için gereken katman sayısının artmasına neden olmaktadır (86). Katman sayısı arttıkça ve model tablasından vertikal yönde uzaklaştıkça olası üretim hataları

ihtimali de artmaktadır. Modelin üretim tablasında uygun oryantasyonun tespiti, üretimin doğruluğu ve netliği açısından önem taşımaktadır (87).

2.3.3.2. Baskı katman kalınlığı

Foto kürleme ile 3B üretimde sıvı reçine katmanının bir ışın kaynağı ile kürlenmesinden sonra, üretim platformu dikey yönde hareket ederek yeni sıvı reçine katmanı ile kaplanır ve kürleme işlemi yinelenir. İşlem, model üretimi tamamlanıncaya kadar defalarca tekrarlanır. Model katmanların z ekseninde birbiri üzerine eklenmesiyle oluşturulur (60). Katman kalınlığı, üretimden önce 3B yazıcı ara yüz programındaki dilimleme aşamasında, kullanılan cihaza bağlı olarak değişen kalınlıklarda operatör tarafından seçilebilmektedir. Üretimin doğruluğu, süresi ve hızı gözetilerek belirlenen ideal baskı katman kalınlığı farklı teknolojilerde değişkenlik göstermektedir (82).

Katman kalınlığının fazla olduğu durumlarda, özellikle modelin kurvatürlü bölgelerinde "merdiven basamağı" görüntüsü oluşarak netlik azalır. Daha ince bir katman kalınlığı z ekseni üzerindeki katman sayısının artması ile sonuçlanarak daha yüksek netlik sağlar (88,89). Ancak bu durum, üretim süresinin ve üretim aşamaları boyunca görülebilecek hataların artmasına neden olabilir.

Loflin ve ark. (90) araştırmalarında 25, 50 ve 100 μm olmak üzere 3 farklı katman kalınlığında ortodontik model üretimi yapmışlardır. Buna göre, 25 μm için gereken üretim süresi ortalama 19 saat iken, 100 μm için bu süre ortalama 6 saat olarak bulunmuştur. 25 μm için gereken katman sayısının 100 μm için gerekenden yaklaşık 4 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

2.3.3.3. Model iç yapı tasarımı

Bilgisayar destekli tasarım programları yardımıyla 3B baskı ile üretilen modelleri kullanım amacına uygun olarak farklı tasarımlarda üretmek mümkündür. Boşluksuz katı modellemenin yanı sıra model iç yapısının değiştirilmesiyle, boşluklu iç yapıya sahip modeller tasarlanabilmektedir (12,16,91). Boşluklu model

tasarımında duvar kalınlığı istenilen değere ayarlanabilmektedir. İçi boşluklu modeller, boşluksuz modellere göre daha az toplam hacme sahiptir ve kalınlığının azaltılmasıyla model hacmi düşürülebilir. Toplam hacmin azaltılması üretimde rezin kullanımını düşürerek maliyet ve zamandan tasarruf sağlamaktadır (15).

Günümüzde pek çok diş laboratuvarı ve diş kliniği, boşluklu model tasarımlarını kullanmaktadır. Boşluklu üretilen modelleri farklı duvar kalınlıklarında, bal peteği görünümlü destek çubukluklarıyla veya model kaidesini dikdörtgen kafesli tasarlayarak üretmek mümkündür (14,17). Model tasarımının boşluklu yapıda olması zaman ve maliyetin düşürülmesi gibi avantajlara sahiptir ancak, üretimin doğruluğu için modelin yeterli dayanımda olması gerekmektedir. Yeterli duvar kalınlığında olmayan modellerde, reçinenin sertleşme koşullarına bağlı olarak kontraksiyon görülmektedir. Bu durum, modelin doğruluğunu ve netliğini azaltmaktadır. İç yapı dayanımının azalması, şeffaf plak üretiminde olduğu gibi ısı ve basınç gerektiren işlemler altında model yüzeyinde ve plak üzerinde distorsiyonlara neden olmaktadır (16). Baskı sistemleri ve kullanılan malzeme özelliklerinin farklılık göstermesi nedeniyle dental modeller için tüm sistemlerde kabul edilen genel bir iç yapı tasarımı mevcut değildir. Bu nedenle araştırmacılar, farklı baskı sistemlerinde en az reçine ve zaman gerektiren dental model tasarımına ait çalışmalar yapmaktadır (12,14,15,91–93). Ayrıca, ortodontistlerin ve laboratuvarların kullandıkları baskı teknolojisi ve malzemede en yüksek doğruluğun elde edildiği boşluklu model tasarımının tespiti önerilmektedir (93).

2.3.3.4. UV Işını ile kürleme süresi

Fotokürleme ile 3B baskı yapan sistemlerde, üretim sonrası artık reçinenin alkol çözeltisi içeren ultrasonik yıkayıcı ile uzaklaştırılmasından sonra sıklıkla UV ışını ile kürleme işlemi yapılmaktadır. İşlem, modelin polimerizasyon derecesini arttırarak mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirmekte ve daha kararlı hale gelmesini sağlamaktadır (7,50,61).

UV ışını ile kürleme süresi ve cihazları, farklı baskı sistemlerinde değişkenlik göstermektedir. Baskı firmasının sistem gereklerine uygun cihazlarda, önerilen

sürelerde yapılmalıdır. Örneğin, SLA tekniği ile baskı yapan Formlabs sisteminde beyaz, gri, siyah ve renkli reçinelerde 30 dakikalık kürleme süresi önerilirken, şeffaf reçinelerde bu süre 15 dakikadır. Optimum mekanik özellikler sağlanmak istendiğinde bu süre artmaktadır (94). Yapılan araştırmalarda yetersiz kürleme yapılan modellerin diğerlerine göre dayanımlarının daha az ve esnek olduğu görülmüştür (84,95).

2.3.3.5. Kullanılan baskı teknolojisi ve materyallerin çeşidi

Foto kürleme ile 3B baskıda, baskı teknolojisi ve materyalin özelliklerine bağlı olarak üretilen modelin doğruluğu, boyutu ve diğer fiziksel özellikleri değişkenlik gösterebilmektedir. Işığa duyarlı reçine, materyalin saklama koşulları, polimerizasyonda kullanılan ışının dalga boyu ve rezin tankının baskı öncesi artık reçineden arındırılmış olması bu sistemlerde üretim kalitesini etkileyen faktörlerdendir (54,63,64).

Reçine çeşidi, üretilen modelin polimerizasyon büzülmesi miktarını ve doğruluğunu etkilemektedir (96). Polimerizasyon büzülmesi, üretim hassasiyetinin azalmasına ve hacim büzülmesine bağlı olarak kırılganlığın artmasına neden olmaktadır. SLA sisteminde genel olarak katyonik ve hibrid fotopolimerizasyon ile sertleşen reçine kullanılmaktadır (97,98). Katyonik fotopolimerizasyonda kontraksiyon miktarının minimum düzeyde olması nedeniyle bu sistemlerde katyonik ışığa duyarlı reçine, hassasiyetin artmasını sağlamaktadır. Ancak, bu reçinelerin indüksiyon sürelerinin uzun olması nedeniyle radikal reçineler ile karışımlarından oluşturulan hibrid reçineler kullanılarak işlem hızlandırılmaktadır (13).

DLP sisteminde ışık yoğunluğu nedeniyle radikal ışığa duyarlı reçineler kullanılmaktadır . Bu sistemde baskı hassasiyeti dijital ışık işleme teknolojisi ile önemli ölçüde artmaktadır. Işık yoğunluğunun farklı olduğu LCD teknolojisiyle baskı yapan sistemlerde, polimerizasyondaki insiyatör miktarı ile pozlama süresinin arttırılmasıyla DLP sisteminde kullanılan reçineler kullanılabilmektedir. Bu sistemlerde ışık kaçağı nedeniyle reçine tankının düzenli olarak temizlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, ışık yoğunluğunun düşük olması nedeniyle baskı süresi

uzundur (13,47,63).

CLIP tekniği ile baskı yapan sistemlerde akmaya karşı düşük direnç gösteren reçine ile içi boşluklu model tasarımları üretim kalitesini arttırmaktadır (12,57). Genel olarak fotokürleme ile baskıda molekül ağırlığı düşük akıcı reçineler tercih edilmektedir (99). Bu durum, üretilen objenin kırılgan olmasına neden olmaktadır. Yüksek viskoziteli reçineler materyalin fiziksel özelliklerini iyileştirse de bastırılmaları zordur. MJP rekniği ile üretim yapan sistemlerde ışık dalga boyu sınırsız olduğundan radikal, katyonik veya hibrit fotopolimerizasyona duyarlı reçineler kullanılabilmektedir (13).

3.GEREÇ VE YÖNTEM

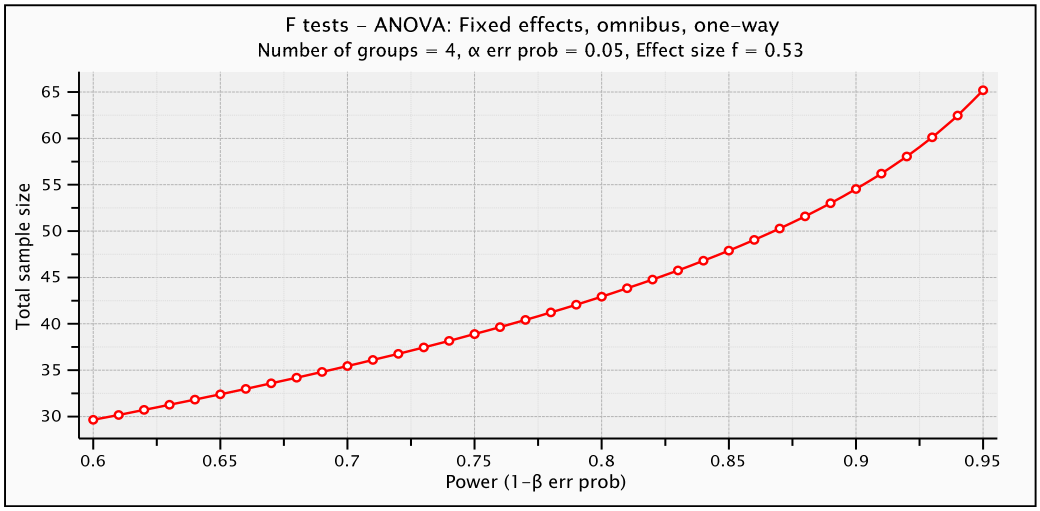
Tez Projemiz Sağlık Bilimleri Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 2022/113 nolu proje kapsamında desteklenmektedir. Tez çalışması, insan veya insandan alınan materyalleri içermediğinden etik onay gerektirmemiştir.

Güç Analizi

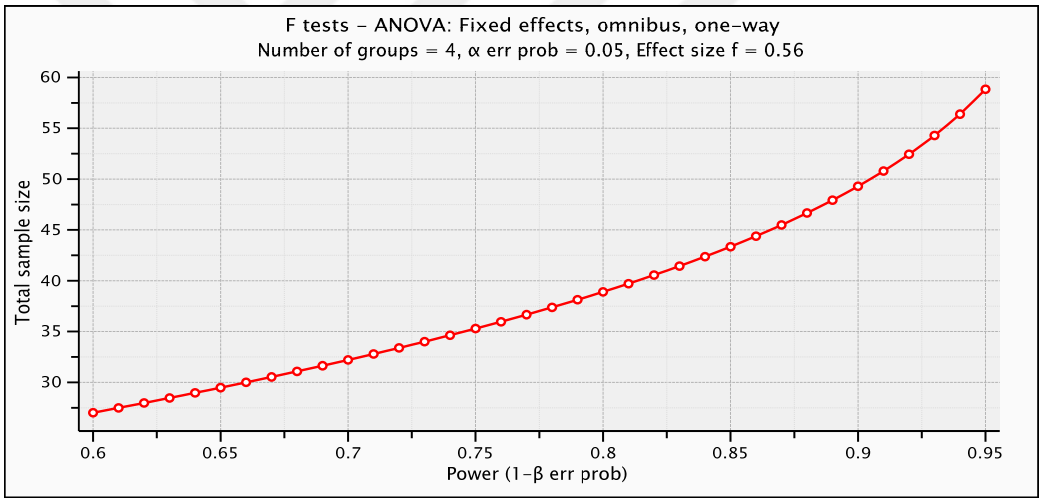
İstatistiksel araştırmalarda örneklem büyüklüğü yapılacak testin türüne, karşılaştırılacak değişkenlerin kategori sayılarına, etki büyüklüğüne ve testin ulaşması istenen güce göre değişkenlik göstermektedir. Araştırmada kullanılacak analiz türlerine göre, test gücünün 0.80 (%80) olabilmesi için gerekli minimum örneklem sayıları "G Power (versiyon 3.1, Kiel Almanya)" programı ile "A-priori: Compute required sample size" tipi ile hesaplanmıştır.

Tablo 3.1. Referans çalışmalara ilişkin bilgiler

Çalışma	***Örnek hacmi (n)***	***Kullanılan test***	***Etki büyüklüğü***
Sherman ve ark. (2020)	15 hasta	ICC, Blant-Altman	%80 güç belirtilmiş. Kullanılan testler ile etki büyüklüğü hesaplanamadı.
Chanyawatana ve ark. (2021)	n=10* (10 grup)	One way/two way ANOVA, Dunnett	0.53
Kenning ve ark. (2021)	Total n=360	GLM, Tukey posthoc	Hesaplanamadı.
Rungrojwittayakul ve ark. (2020)	4 grup total 40 models	Kruskal Wallis, ICC	0.56



Şekil 3.1. Analiz için örnek sayısına göre testin gücü (effect size=0.53)



Şekil 3.2. Analiz için örnek sayısına göre testin gücü (effect size=0.56)

Verilen referanslardaki etki düzeylerinin yüksek olduğu görülmüş ve 4 grup (1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığındaki boşluklu modeller ve boşluksuz modeller) arası karşılaştırmada için minimum yeterli örnek sayısının hesaplanmasında çalışmadaki diğer analizler ve yapılması muhtemel ANOVA testi dikkate alınmıştır. %80 test gücü için 0.56 etki düzeyinde minimum gerekli grup içi örnek sayısı 10 olarak belirlenmiştir (12). n=10 alınırsa testin gücü %83 olmaktadır. Sonuç olarak, Rungrojwittayakul ve ark.'nın (12) çalışması referans gösterilerek ve test gücü %80 olduğu belirtilerek grup içi n=10 örnek alınmasına karar verilmiştir.

3.1. FANTOM ÇENE MODELİNİN DİJİTAL ÖLÇÜSÜNÜN OLUŞTURULMASI

Çalışmamızda Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı arşivinde bulunan, plastik yapıdaki ideal diş dizilimine sahip fantom üst çene modeli (Sino Dental Typodonts Dental Training Models, Çin) kullanıldı. Kontrol modellerinin dijital ölçüsünü oluşturmak üzere ağız içi tarayıcı (3Shape TRIOS, Kopenhag, Danimarka) ile diş ve diş etlerini içerecek şekilde tarandı. 3B görüntü, tarayıcıya ait yazılımdan (3 Shape Unite versiyon 21.4.4) dışarı aktarılarak "STL" dosya formatında kaydedildi.

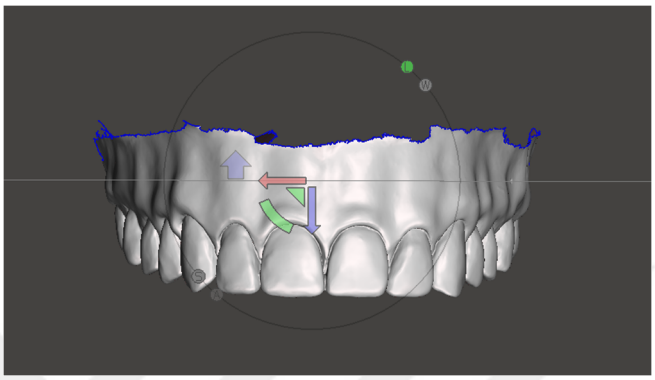


Resim 3.1. Fantom çene modelinin ağız içi taramasıyla oluşturulan dijital ölçüsü.

3.2. KONTROL MODELLERİNİN DİJİTAL TASARIMI

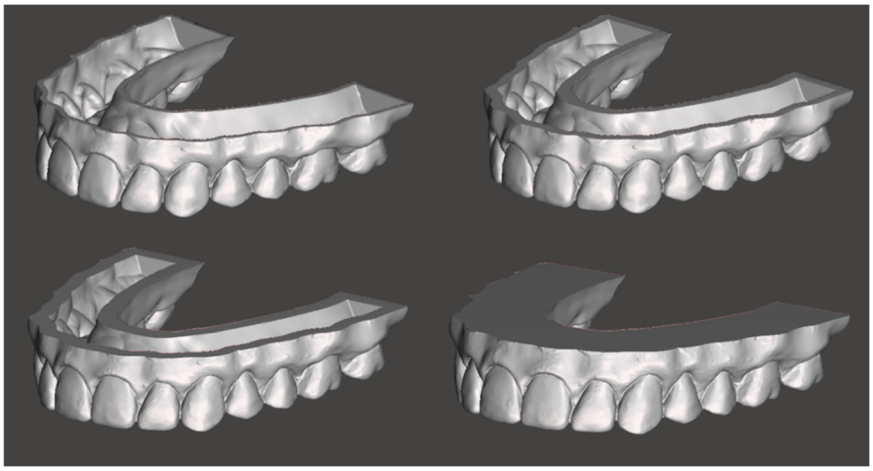
Dijital ölçünün düzenlenmesi için STL dosya, 3B modelleme programına (Meshmixer versiyon 3.5; Autodesk, San Rafael, CA, ABD) aktarıldı. Program üzerinde bukkal ve vestibül yüzeylerdeki istenmeyen kenarların uzaklaştırılması planlandı. Bunun için ark üzerinde en yüksek Zenith noktasına sahip santral ve kanin dişlerin servikallerindeki en derin nokta işaretlendi. Bu noktadan itibaren 4 mm dişeti kalacak şekilde gingival bölgede horizontal düzleme paralel bir kesme düzlemi

oluşturuldu. Düzlem, horizontal düzlemden bakıldığında palatinal bölgenin anteriorunda 3. Ruga, posteriorunda ise 2.molar dişin palatinalindeki en derin servikal noktanın 7 mm uzağından geçti. Kesme düzlemi ile istenmeyen düzensiz kenarlar uzaklaştırıldı. Böylece aynı kenar hizasına sahip "U" formunda dental ark elde edildi.



Resim 3.2. Fantom çene modelinin dijital ölçüsünden düzensiz kenarların uzaklaştırılması

Test edilecek tasarımlar "U" formundaki model üzerinden oluşturuldu. Bunun için tasarım programının "katılaştırma" aracıyla önce içi dolu boşluksuz (solid) bir model tasarlandı. Daha sonra katı modelden "boşluk" aracıyla, duvar kalınlığı 1, 2 ve 3 mm olan diğer kontrol modelleri oluşturuldu. Modeller sırasıyla 4,451 ml, 7,921 ml, 10,429 ml ve 15,214 ml hacminde oluşturuldu. Üretimde kullanılacak yazıcıların arayüz programlarına aktarılmak üzere 4 adet kontrol modeli tasarım programından "Binary STL" dosya formatında dışarı aktarıldı.



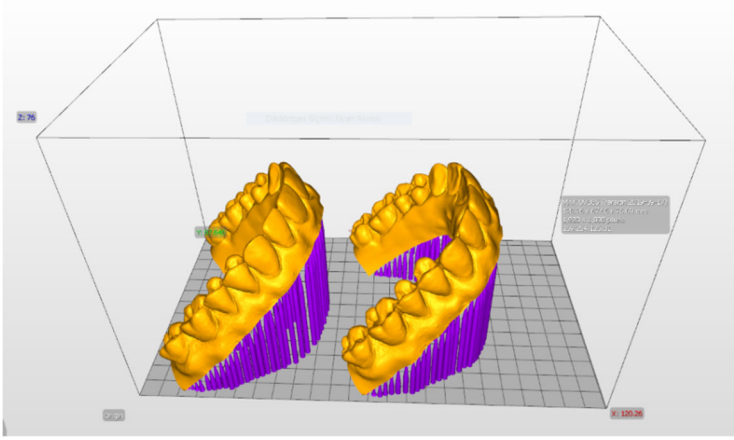
Resim 3.3. Soldan sağa doğru sırasıyla 1, 2, 3 mm kalınlıklı ve boşluksuz yapıdaki kontrol modelleri

3.3. TEST MODELLERİNİN ÜRETİMİ

3.3.1. DLP Baskı Teknolojisinde Üretim

Test Modellerinin Yazıcı Ara Yüz Programına Aktarılması

Test modellerinin DLP baskı teknolojisi ile üretim aşamalarını planlamak ve baskı simülasyonunu oluşturmak için kontrol modelleri yazıcı ara yüz programına (ASIGA Composer, versiyon 1.2.11; Sydney, Avustralya) aktarıldı. Program üzerinde simüle edilen 119 × 67 × 75 mm ölçülerindeki yazıcı tablasına, oklüzal düzlemleri reçine tankına bakacak şekilde 45º açıyla 2 adet model yerleştirildi (Resim 3.4.). Tabla üzerindeki yerleşimin standartizasyonunu sağlamak için modellerin aynı test grubundan olmasına dikkat edildi. Sistemde 125, 75, 50 ve 25 µm baskı katman kalınlığı seçenekleri bulunmaktadır. Bunlardan en net baskıyı sağlayabilecek olan 50 µm seçildi (100,101). Baskıda üretici tavsiyesine uygun olarak dental model reçinesi (Asiga DentaMODEL, Sydney, Avustralya) kullanılacağından program üzerinde de bu reçine işaretlendi. Model ve üretim tablası arasına otomatik olarak destek çubukları yerleştirildi. Son olarak modeller, program tarafından horizontal düzlemde katmanlara ayrıldı.



Resim 3.4. DLP yazıcı ara yüz programında modellerin baskı tablasına yerleştirilmesi

Yapılan düzenlemeler sonucunda, üretimden önce program tarafından, iki model için gereken toplam baskı süresi ve rezin hacmi operatörün bilgisine sunuldu (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. DLP yazıcıda farklı tasarımlardaki 2 modelin üretimi için gereken baskı süresi ve rezin hacmi

Test Edilen Tasarımlar	Gerekli Baskı Süresi	Gerekli Rezin Hacmi
1 mm	6 saat 35 dakika	8,97 mL
2 mm	6 saat 44 dakika	16,78 mL
3 mm	7 saat 6 dakika	21,03 mL
Boşluksuz	7 saat 8 dakika	30,67 mL

Modellerin Üretim Aşaması

Modellerin DLP baskı teknolojisi ile üretimi için ASIGA MAX UV (Sydney, Avustralya) yazıcısı kullanıldı. Sistem, sıvı haldeki reçineyi 385 nm dalga boyundaki UV LED ışınla serleştirmektedir ve 119 × 67 × 75 mm boyutlarında üretim platformuna ve 0,5 litrelik reçine tankına sahiptir. LED ışık kaynağı reçine tankının altında bulunmaktadır. Her katman LED ışın ile fotopolimerize edilerek sertleştirilir. Sistemde ayrıca LED ışının gücünü değerlendirerek otomatik sertleşme süresini

ayarlayan ışık ölçer (radyometre) bulunmaktadır.

Model üretimi, yazıcı ve arayüz programı arasında bağlantının kurulması ve baskı planının yazıcıya aktarılmasıyla başladı. Baskı tablası aşağı-yukarı yönde hareket ederek, reçine dolu tanka temas etti ve tabla yeni bir reçine katmanıyla kaplandı. Projektörden gelen UV ışınıyla kürlemenin ardından aynı işlem tüm katmanlar tamamlanıncaya kadar devam etti. Baskı işlemi z aksı boyunca ilerlediğinden öncelikle destek çubukları, son olarak dişlerin oklüzal yüzeyleri oluşturuldu. Yazıcı ara yüz programında tasarlandığı gibi üretim tablasına da tek seferde 2 adet model sığmaktadır. Bu nedenle üretim işlemleri 20 kez tekrarlandı ve üretim hatasının oluşmaması için her üretimden sonra reçine tankının tabanında kalan artık reçine tabakası kürlenerek çıkartıldı ve yeni sıvı reçine eklendi.

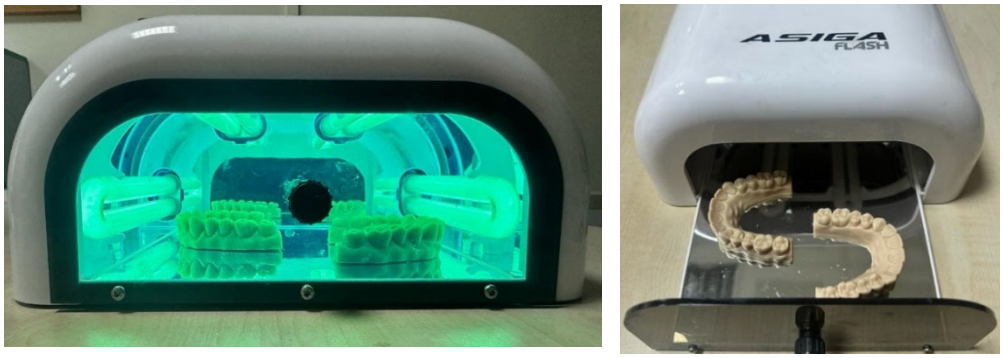


Resim 3.5. Çalışmada kullanılan ASIGA MAX-UV (Sydney, Avustralya) yazıcısı ve modellerin üretimi

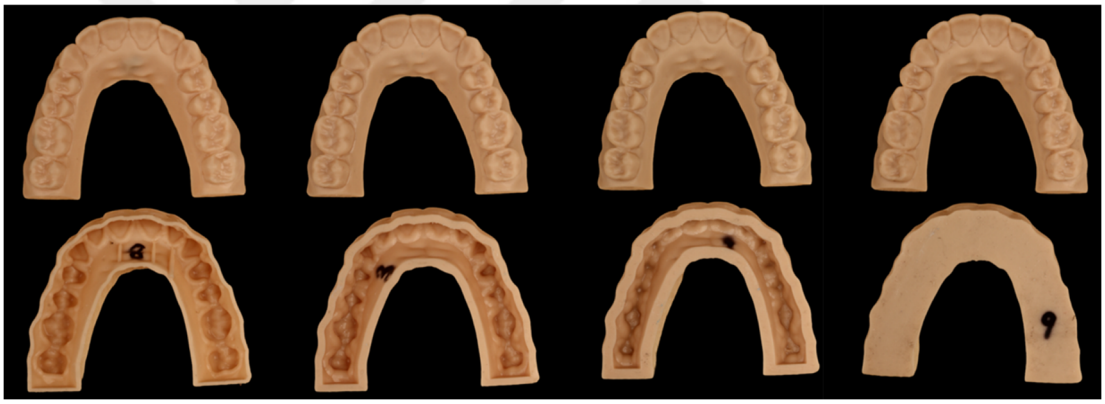
Üretim Sonrası İşlemler

3B baskının tamamlanmasından sonra üretim platformu yazıcıdan çıkarıldı. Kırılgan yapıdaki destek çubukları metal bir spatula yardımıyla üretim platformundan ve model kaidesinden ayrıldı. Metal kazıyıcıyla uzaklaştırılmayan çubuklar için ince uçlu bir frez ve piyasamen kullanıldı. Modeller, üzerindeki artık reçinin temizlenmesi için %99,8 izopropil alkol çözeltisi içeren ultrasonik yıkayıcıda 10 dakika bekletildi. Kurulama işleminin ardından yüzeydeki fotopolimerize olmamış rezin monomerlerinin polimerizasyonunun sağlanması ve fiziksel

özelliklerin geliştirilmesi için UV ışın çemberi ünitesinde (Asiga Flash Curing Unit, Sydney, Avustralya) 10 dakika polimerize edildi. Belirtilen işlemler 4 farklı tasarımdan toplam 40 modelin üretimi tamamlanıncaya kadar devam etti.



Resim 3.6. DLP yazıcısı ile üretim sonrası modellerin UV ışını ile kürlenmesi



Resim 3.7. DLP yazıcısı ile üretilen sırasıyla 1, 2, 3 mm kalınlıklığındaki boşluklu ve boşluksuz yapıdaki modeller

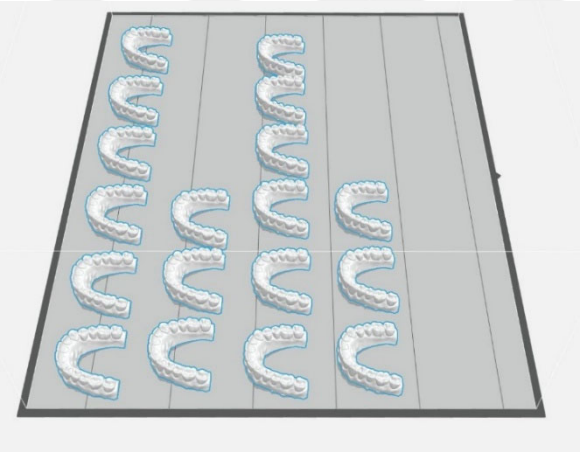
3.3.2. Polyjet Baskı Teknolojisinde Üretim

Test Modellerinin Yazıcı Ara Yüz Programına Aktarılması

Polyjet baskı teknolojisi ile üretim detaylarının planlanması için kontrol modelleri yazıcı ara yüz programına (GrabCAD Print, versiyon 1.69, Stratasys Ltd.) aktarıldı. Modeller, program tarafından otomatik olarak yapılan gözden geçirme-onarım aşamasının tamamlamasıyla tabla üzerinde görünür hale geldi. Simüle edilen 490 x 390 x 200 mm boyutlarındaki üretim tablasına 4 tasarımdan toplam 40 adet

model yerleştirildi. Modellerin üretim tablası ile arasında 45 º açı olmasına dikkat edildi. Test modellerinin üretimi için yüksek boyutsal stabilite sağlayan VeroPureWhite reçinesi (Rehovot, İsrail), destek yapıların üretimi için ise FullCure705 reçineleri (Rehovot, İsrail) işaretlendi.

Program üzerinde bitim seçeneği olarak "glossy" ve "matte" olmak üzere iki farklı seçenek mevcuttur. Model görünümünün mat olmasına yol açan matte özelliğinde, reçinenin polimerizasyonu sırasında cihaz üzerindeki UV ışın kaynaklarından biri kullanılmaktadır. Bu modda modelin tüm yüzeyleri üzerinde destek yapı oluşur. Model görünümünün daha parlak olduğu glossy seçeneğinde kürleme sırasında cihaz üzerindeki iki UV ışın kaynağı da kullanılır. Destek yapılar, modelin yalnızca üretim tablasına bakan yüzeyi üzerinde oluşturulur. Ancak bu durum destek yapı ile model arasında üretim sonrası su altında zımpara ve UV ışını ile uzaklaştırılması gereken ilave bir katmanı da beraberinde getirmektedir. Çalışmada bitirme seçeneği olarak "glossy" seçildi.



Resim 3.8. Polyjet yazıcı ara yüz programında modellerin baskı tablasına yerleştirilme işlemi

Yapılan düzenlemeler sonucunda, üretimden önce program tarafından, aynı tasarımdan 10 model için gereken toplam baskı süresi ve rezin hacmi operatörün bilgisine sunuldu (Tablo 3.3).

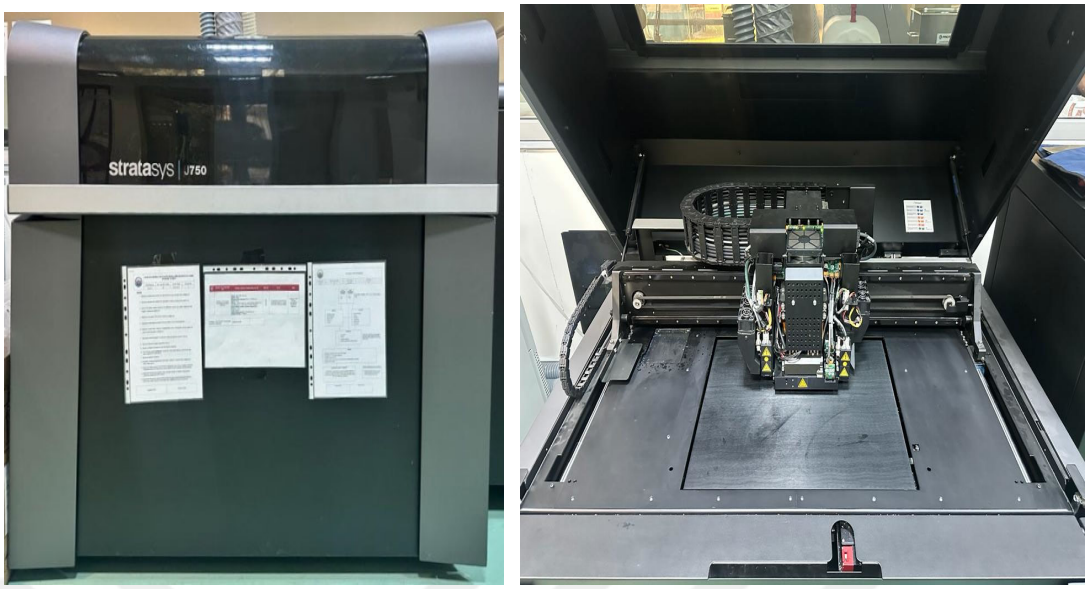
Tablo 3.3. Polyjet yazıcıda farklı tasarımlardaki 10 modelin üretimi için gereken baskı süresi ve rezin hacmi

Test Edilen Tasarımlar	Gerekli Baskı Süresi	Gerekli Rezin Miktarı
1 mm	6 saat 26 dakika	226 gr
2 mm	6 saat 19 dakika	264 gr
3 mm	7 saat 3 dakika	305 gr
Boşluksuz	7 saat 6 dakika	361 gr

Modellerin Üretim Aşaması

Modellerin Polyjet baskı teknolojisi ile üretimi için Stratasys J750 (Rehovot, İsrail) yazıcısı kullanıldı. Sistemde, istenen özellikteki reçineyi üretim tablasına püskürten 8 adet püskürtme başlığı ve 6 adet model malzemesi kartuşu ve 2 adet destek yapı malzeme kartuşu bulunmaktadır. Kartuşlar yazıcının yan tarafındaki bölmede saklanmaktadır. Sıvı reçine kartuşlara bağlı ince kablolar aracılığı ile püskürtme başlıklarına ulaşmaktadır. Üretim tablası boyutları 490 x 390 x 200 mm'dir ve 14 µm katman kalınlığında baskı yapabilmektedir. Her katmandaki sıvı reçine UV ışınıyla sertleştirilmektedir. 2 adet UV ışın kaynağı ve püskürtme başlıkları model tablasının üst kısmında yer almaktadır. 360.000'den fazla farklı renk tonunda, sert veya esnek, opak veya şeffaf yapıda olmak üzere farklı materyal özelliklerinde baskı yapabilmektedir. Üretim esnasında aynı parça üzerinde sert ve yumuşak malzemeleri karıştırarak yeni özellikte kısımlar inşa edebilmektedir.

Yazıcı ve ara yüz programı arasında bağlantının kurulmasının ardından baskı işlemi başlatılmaktadır. Baskı platformuna seçilen özelliklerdeki reçine, nozullerden püskürtüldü ve yeni bir katman oluşturuldu. Ardından UV ışınıyla tabladaki katmanın kürlemesi yapıldı. Yeni bir katmanın oluşturulması için üretim platformu z aksı boyunca alçaldı ve nozullerden sonraki katman için tekrar sıvı reçine püskürtüldü. İşlem tüm modellerin üretimi tamamlanıncaya kadar devam etti. Modeller planlandığı üzere tek seferde üretildi.



Resim 3.9. Çalışmada kullanılan Stratasys J750 yazıcısı (Rehovot, İsrail) ve tablası

Üretim Sonrası İşlemler

3B baskının tamamlanmasından sonra yazıcı içindeki modellerin en az 10 dakika soğuması beklendi. Daha sonra modeller üretim platformundan bir spatula yardımıyla ayrıldı ve tamamen soğuması için tekrar bekletildi. Destek yapıların modelden uzaklaştırılması için yüksek basınçlı su jeti temizleme ünitesi (Balco Powerblast High Pressure Water Cleaning Cabinet, Rehovot, İsrail) kullanıldı. Ünitenin şeffaf kabini 72× 86 × 85 cm boyutlarındadır ve "Jet" ve "Spray" nozülleri olmak üzere iki farklı su püskürtme başlığı bulunmaktadır. Jet nozül, yüksek basınçlı su püskürtülmesini sağlar ve kırılgan yapıda olmayan büyük modeller için kullanılır. Spray nozül daha daha az basınçlı su ile hassas yapıdaki modellerden destek yapıların uzaklaştırılmasını sağlar.

Operatör tarafından modeller, su geçirmez kolluklardan geçirilerek kabin içine alındı. Bir pedal yardımıyla aktiflenen Jet nozülünün yönlendirilmesiyle yaklaşık 30ºC ısıdaki ılık basınçlı su ile destek yapılardan temizlendi. Daha sonra modellerin renk stabilitesini koruması ve materyal dayanımının iyileştirilmesi için 12 saat boyunca tüm duvarları ayna ile kaplı UV çemberinde bekletildi. Belirtilen işlemler 4 farklı tasarımdan toplam 40 modelin üretimi tamamlanıncaya kadar devam

etti.



Resim 3.10. Polyjet yazıcısı ile üretim sonrası destek yapıların uzaklaştırıldığı Powerblast kabin ve UV kürlemenin yapıldığı cihaz

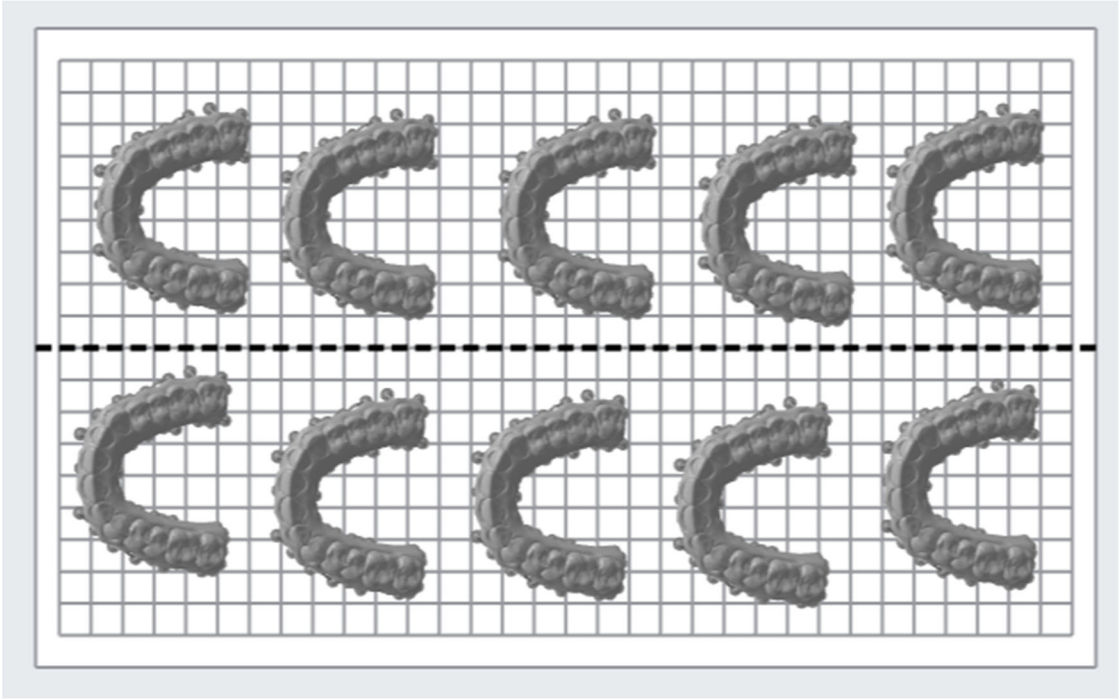


Resim 3.11. Polyjet yazıcısı ile üretilen sırasıyla 1, 2, 3 mm kalınlıklığındaki boşluklu ve boşluksuz yapıdaki modeller

3.3.3. SLA Baskı Teknolojisinde Üretim

Test Modellerinin Yazıcı Ara Yüz Programına Aktarılması

SLA baskı teknolojisi ile üretimin planlanması için kontrol modelleri yazıcı ara yüz programına (PreForm versiyon 3.28.0; Formlabs, Somerville, Massachusetts, ABD) aktarıldı. Program üzerinde simüle edilen 33.5 × 20 × 30 cm ölçülerindeki yazıcı tablasına, oklüzal düzlemleri reçine tankına bakacak şekilde 45º açıyla aynı tasarım grubundan 10'ar model yerleştirildi. İşlem tüm tasarım gruplarında yinelendi. Destek yapılar program tarafından model ve yazıcı tablası arasında 5 mm mesafe olacak şekilde otomatik olarak oluşturuldu. Baskıda Grey Resin (Formlabs, Somerville, Massachusetts, ABD) kullanılacağından program üzerinde de bu reçine işaretlendi. Bu reçineyle yapılan üretimde 100 mikrometre baskı katman kalınlığı seçildi. Son olarak modeller, program tarafından horizontal düzlemde katmanlara ayrıldı.



Resim 3.12. SLA yazıcı ara yüz programında aynı tasarımdan 10 modelin baskı tablasına yerleştirilmesi

Yapılan düzenlemeler sonucunda, üretimden önce program tarafından, aynı

tasarımdan 10 model için gereken toplam baskı süresi ve rezin hacmi operatörün bilgisine sunuldu (Tablo 3.4).

Tablo 3.4. SLA yazıcıda farklı tasarımlardaki 10 modelin üretimi için gereken baskı süresi ve rezin hacmi

Test Edilen Tasarımlar	Gerekli Baskı Süresi	Gerekli Rezin Hacmi
1 mm	6 saat 45 dakika	76,26 ml
2 mm	5 saat 41 dakika	107,69 ml
3 mm	6 saat 30 dakika	131,20 ml
Boşluksuz	6 saat 15 dakika	178,61 ml

Modellerin Üretim Aşaması

Modellerin SLA baskı teknolojisi ile üretimi için Form 3L (Formlabs, Somerville, Massachusetts, ABD) yazıcısı kullanıldı. Yazıcı, 33.5 × 20 × 30 cm boyutlarında üretim platformuna sahiptir. Farklı renk ve özellikte reçineler kullanıldığında 25–300 μm katman kalınlıklarında üretim yapabilmektedir. Reçine, cihazın sağ tarafında bulunan kartuşlardan rezin tankına dolmaktadır. Işığa duyarlı reçinenin sertleştirilmesinde 405 nm dalga boyunda mor lazer ışığı kullanılmaktadır. Işık kaynağı reçine tankı ve üretim tablasının altında konumlanmaktadır.

Model üretimi, yazıcı ve ara yüz programı arasında bağlantının kurulması ve baskı planının yazıcıya aktarılmasıyla başladı. Baskı tablası aşağı-yukarı yönde hareket ederek, reçine dolu tanka temas etti ve tabla yeni bir reçine katmanıyla kaplandı. Mor lazer ışığıyla kürlemenin ardından işlem tüm katmanlar tamamlanıncaya kadar devam etti. Baskı işlemi z aksı boyunca ilerlediğinden öncelikle destek çubukları, son olarak dişlerin oklüzal yüzeyleri oluşturuldu Tek seferde 1 tasarıma ait 10 adet model basıldı. İşlem tüm tasarımlardaki modeller üretilene kadar toplam 4 kez tekrarlandı.



Resim 3.13. SLA teknolojisi ile üretimde kullanılan Formlabs 3L yazıcısı (Somerville, Massachusetts, ABD)



Resim 3.14. SLA yazıcısı ile üretilen sırasıyla 1, 2, 3 mm kalınlıklığındaki boşluklu ve boşluksuz yapıdaki modeller

Üretim Sonrası İşlemler

3B baskının tamamlanmasının ardından modeller üretim platformundan ayrıldı. %90'dan fazla isopropil alkol içeren çözelti ile dolu ultrasonik yıkayıcıda (Form Wash; Formlabs, Somerville, Massachusetts, ABD) 20 dakika bekletilerek

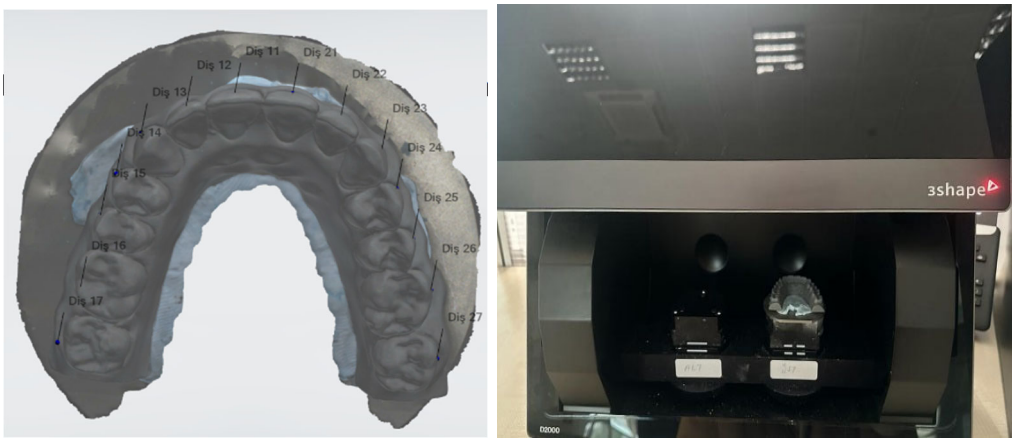
artık reçineden temizlendi. Daha sonra kurulanarak, stabilitenin arttırılması için 60 dakika boyunca 60°C de (Form Cure; Formlabs, Somerville, Massachusetts, ABD) tekrar kürlendi. Son olarak destek yapılar metal spatula ile uzaklaştırıldı. Belirtilen işlemler 4 farklı tasarımdan toplam 40 modelin üretimi tamamlanıncaya kadar devam etti.



Resim 3.15. SLA ile üretimden sonra destek yapıların uzaklaştırılmasında kullanılan araçlar ve ultrasonik yıkama cihazı

3.4. TEST MODELLERİNİN DİJİTAL ÖLÇÜLERİNİN OLUŞTURULMASI

Üretimi tamamlanan 120 adet modelin dijital ölçülerini oluşturmada masaüstü tarayıcı (3 Shape D2000; Copenhagen, Danimarka) kullanıldı. Tarayıcının üst çene modeli için olan mıknatıslı platformuna üretilen modeller mum ile sabitlenerek yerleştirildi. Tarama işlemi yazıcıya ait program (Dental System 2019 DS 19.3.0; 3Shape) üzerinden izlendi. Eksik taramanın oluştuğu bölgelerde tarama tekrarlandı. İşlem tamamlandıktan sonra dijital ölçüler STL dosya formatında dışarı aktarıldı.



Resim 3.16. Üretilen modellerin masaüstü tarayıcı ile taranması ve dijital ölçülerinin oluşturulması

Dijital Ölçülerin Düzenlenmesi

Tarama sonrasında dijital ölçüler, düzenlenmek üzere aynı modelleme yazılımına (Meshmixer versiyon 3.5; Autodesk, San Rafael, CA, ABD) aktarıldı. Tarama esnasında kullanılan sabitleyici mum ve platform görüntüleri uzaklaştırılarak, kontrol modellerinde olduğu gibi aynı kenar hizasına sahip "U" formunda dental ark elde edildi.

Yüzey çakıştırmasında kontrol modeli ile test modellerinin doğru yüzey eşleşmesini sağlamak için test modellerinin x, y ve z koordinatlarındaki konumu düzenlendi. Program üzerindeki "transform" aracı kullanılarak tüm modellerin test modelleriyle aynı koordinat değerlerinde olması sağlandı.

3.5 KONTROL MODELLERİ İLE TEST MODELLERİNİN 3B DİJİTAL YÜZEY ÇAKIŞTIRMASI

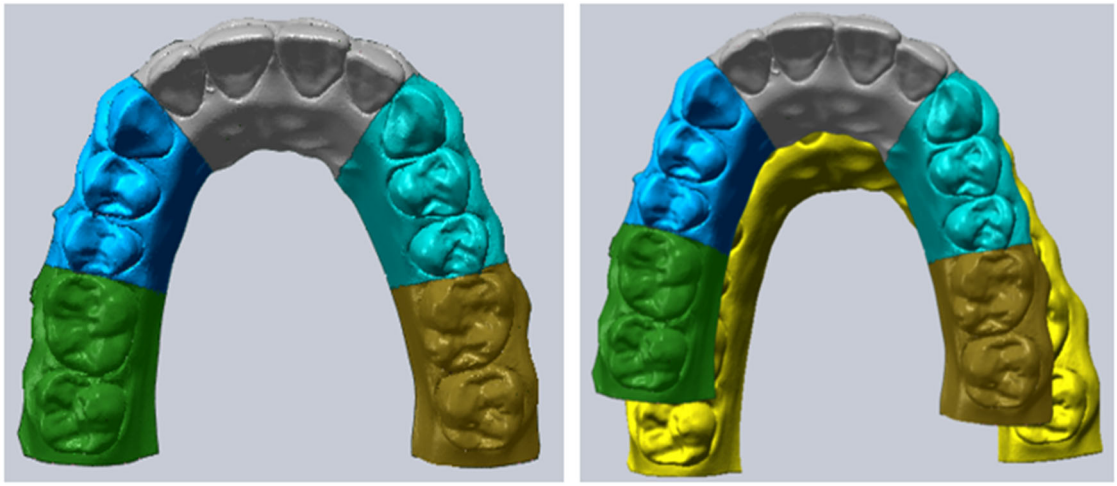
Kontrol modelleri ile test modellerinin dijital ortamda çakıştırma işlemi için tersine mühendislik yazılımı olan Rapidform XOV/Verifier (Rapidform, Inus Technology) programı kullanıldı Programa kontrol modeli ile karşılaştırılacak bir test modeli aktarıldı. Kontrol modeli referans grubu olarak, test modeli ise deney grubu olarak atandı. Aktarılan dosyalar nokta bulut verilerine dönüştürüldü. Ardından

program üzerinde önce “başlangıç hizalaması” aracı ile ilk hizalamaları yapıldı daha sonra “best fit hizalama” aracı ile en iyi hizalama yöntemi yüzey eşleştirmesi sağlandı. Kontrol ve deney grubu arasındaki 3B yüzey sapmalarının tespiti için “3B yüzey karşılaştırma yöntemi” kullanıldı 2 gruba ait yüzeyler verileri arasındaki mesafelerin tanımlanmasında karekök ortalama (RMS) değeri kullanıldı.

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

RMS, çoğunlukla biri referans biri deney grubundan olan tanımlanmış iki nokta arasındaki farkın (hatanın) ortalamasının karekökünü ifade eder. Formüldeki d_i referans üzerindeki veri noktasını, p_i ise deney grubu üzerindeki veri noktasını temsil eder. N ise karşılaştırmadaki noktaların örneklem sayısıdır. RMS değeri arttıkça iki veri arasındaki hatanın büyüklüğü de artmaktadır.

3B yüzey karşılaştırmalarının detaylı tespiti için üst çene arkı belirlenen kenar hizalarından horizontal düzleme dik olarak indirilen düzlemler ile 5 farklı bölgeye ayrılarak değerlendirildi (Resim 3.17).



Resim 3.17: Kontrol modelinin 5 farklı bölgeye ayrılması ve referans modelinin programa aktarılması

1. Bölge: Üst çene arkının sağ tarafta en distal kenarı ile 16 numaralı dişin mezyal kenarı arasında kalan palatal ve bukkal bölge alanı.

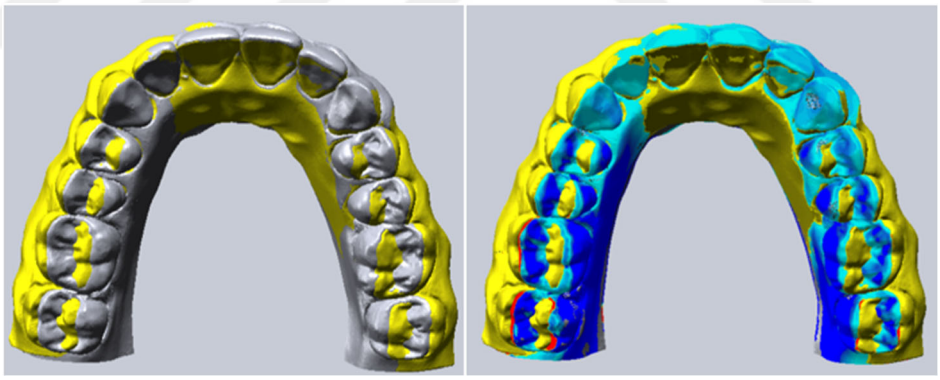
2. Bölge: 15 numaralı dişin distal kenarı ile 13 numaralı dişin mezyal kenarı arasında kalan palatal ve bukkal bölge alanı.

3. Bölge: 12 numaralı dişin distal kenarı ile 22 numaralı dişin mezyal kenarı arasında kalan palatal ve bukkal bölge alanı.

4. Bölge: 25 numaralı dişin distal kenarı ile 23 numaralı dişin mezyal kenarı arasında kalan palatal ve bukkal bölge alanı.

5. Bölge: Üst çene arkının sol tarafta en distal kenarı ile 26 numaralı dişin mezyal kenarı arasında kalan palatal ve bukkal bölge alanı.

Buna ek olarak tüm ark herhangi bir bölgeye ayrılmadan bütün olarak da değerlendirildi. Karşılaştırmanın sonunda toplam 6 farklı RMS değeri elde edildi.



Resim 3.18: Kontrol modeli ile referans modelinin best-fit yöntemi ile hizalanması ve 3B yüzey karşılaştırması

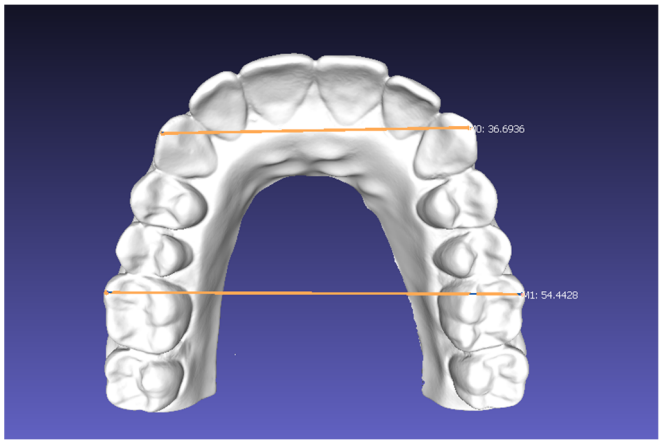
3B yüzey karşılaştırması sonrası renkli yüzey haritaları oluşturuldu (Resim 3.18). Bunun için renk spekturumunda maksimum kritik değer + 0,25 mm, minimum kritik değer ise - 0,25 mm olarak belirlendi. Bu değerin seçilmesinde ortodontik diş hareketinde kabul edilen klinik eşik değerinin 0,25 mm olması etkili oldu. Ayrıca şeffaf plaklarla yapılan tedavilerde, plak başına oluşturulan diş hareketi

miktarı 0,25-0,30 mm olarak belirlenmiştir (102). Renk spektrumları arasındaki nominal değer ise ± 0.025 mm olarak düzenlendi.

3.6. TEST MODELLERİ ÜZERİNDE DOĞRUSAL ÖLÇÜMLERİN YAPILMASI

3B yazıcı ile üretilen modellerde üretim prosedürü ve materyal özelliklerine bağlı olarak kontraksiyonlar görülebilmektedir. Bunun değerlendirilmesinde, 3B yüzey karşılaştırması ile elde edilen RMS değerlerine ek olarak doğrusal ölçümler ile ark genişlikleri değerlendirildi. Test modelleri üzerinde dijital ortamda doğrusal ölçümlerin yapılmasında MeshLab (versiyon 2021.07) programı kullanıldı. Anterior ark genişliğinin ölçümü için interkanin mesafe; posterior ark genişiliğinin ölçümü için ise intermolar mesafe kullanıldı.

İnterkanin mesafenin ölçümünde sağ ve sol kanin dişlerin insizal tepe noktası işaretlenmiş aralarındaki horizontal mesafe ölçüldü (Resim 3.19). İntermolar mesafenin belirlenmesinde her iki taraftaki 1. Molar dişlerin mezyobukkal tüberkül tepeleri işaretlenmiş aralarındaki horizontal mesafe ölçüldü. Tüm ölçümler referans modelleri ile üretilen 120 model üzerinde belirtilen şekilde yapıldı.



Resim 3.19: Dijital ortamda interkanin ve intermolar mesafenin ölçümü

İstatistiksel Analizler

Farklı 3B yazıcı teknolojileri ile üretilen tasarımlara ait modeller ile kontrol modelinin 3B dijital yüzey çakıştırma verilerinin tanımlayıcı istatistiklerinde ortalama ve standart sapma değerleri verildi. Gruplarda yer alan verilerin normal dağılım varsayımı Shapiro Wilk testi ile değerlendirildi. Gruplarda normal dağılım sağlandığı için ölçümler arası karşılaştırmalarda Tek Yönlü Anova analizi, post hoc karşılaştırmalarda ise Tukey testi kullanıldı. Ölçümler arası fark analizinde tekrarlayan ölçümlerde Anova Testi ve post hoc olarak, ikili grup karşılaştırmalarında Bonferroni düzeltmesi kullanıldı. Boşluksuz modeller yerine boşluklu tasarımların kullanılmasıyla tasarruf edilecek rezin miktarları, yazıcı arayüz programı tarafından sağlanan veriler üzerinden yüzde olarak hesaplandı.

Üretilen modeller ile kontrol modeli üzerinde dijital ortamda ölçülen interkanin ve intermolar genişlik ölçümlerinde referans ölçümden sapma değeri "Ölçüm-Referans Değer" formülü ile hesaplandı. RMS ve referans sapma değerlerinin "0" dan farklı olup olmadığı Tek Örneklem T testi ile değerlendirildi. İnterkanin ve intermolar mesafe ölçümlerinde değerlendirici içi güvenilirliğin değerlendirilmesinde %95 güven aralığında sınıf içi korelasyon katsayısı (ICC) hesaplandı. Bunun için, toplam 24 model üzerinde her iki ölçüm de aynı araştırmacı tarafından 2 hafta sonra yinelendi. Tüm istatistiksel analizlerde SPSS (Version 26 Armonk, NY: IBM Corp.) yazılımı kullanıldı ve $p<0,05$ istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi

4. BULGULAR

4.1. KONTROL MODELİ İLE TEST MODELLERİNİN 3B DİJİTAL YÜZEY ÇAKIŞTIRMASI SONUCU ELDE EDİLEN BULGULAR

Tablo 4.1'de birinci bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular yer almaktadır.

Tablo 4.1. Birinci bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular

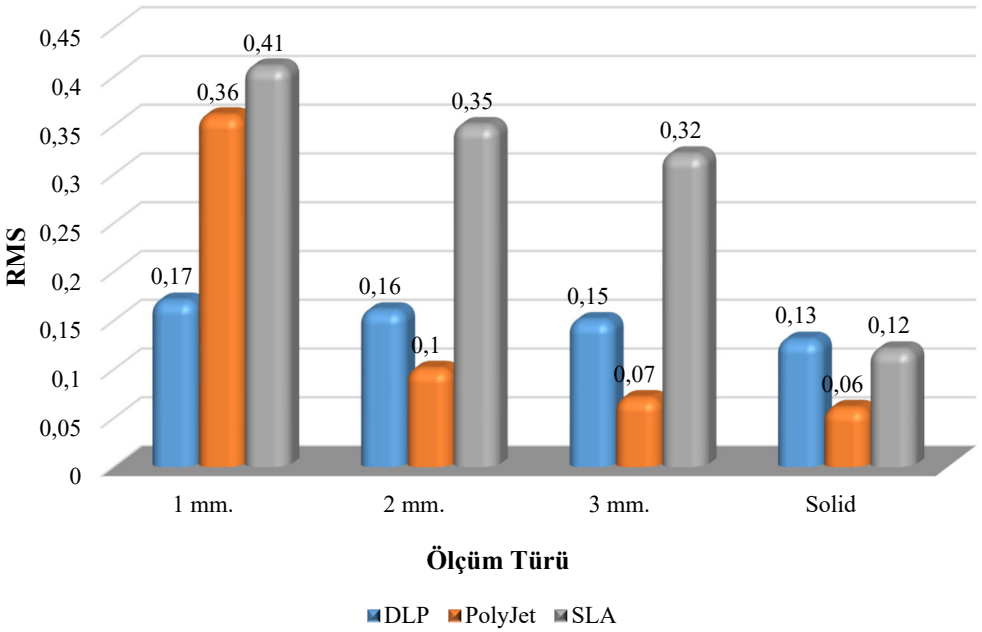
Tasarımlar		DLP[1]		Polyjet[2]		SLA[3]		p[1]	Post Hoc[1]
		Ort.	(±Ss.)	Ort.	(±Ss.)	Ort.	(±Ss.)		
1 mm [A] (n=10)		0,17	0,02	0,36	0,26	0,41	0,13	**0,033**	**1-3****
	p[2]	**<0,001**		**0,002**		**<0,001**			
2 mm [B] (n=10)		0,16	0,04	0,10	0,04	0,35	0,08	**<0,001**	**1-2** **1-3*** **2-3***
	p[2]	**<0,001**		**<0,001**		**<0,001**			
3 mm [C] (n=10)		0,15	0,06	0,07	0,01	0,32	0,26	**0,028**	**1-2*** **2-3***
	p[2]	**<0,001**		**<0,001**		**0,003**			
Boşluksuz [D] (n=10)		0,13	0,02	0,06	0,02	0,12	0,01	**<0,001**	**1-2*** **2-3***
	p[2]	**<0,001**		**<0,001**		**<0,001**			
p[3]		0,143		**<0,001**		**0,001**			
Post-hoc[2]		-		**A-B*** **A-C*** **A-D***		**A-D*** **B-D**** **C-D***			

p1: *Tekrarlayan Ölçümlerde Anova Analizi,,* ***p2****:Tek Örneklem T Testi,****p3:*** *Tek Yönlü Anova Analizi ,* ***Post Hoc1:*** *Bonferroni Düzeltmesi,* ***Post Hoc2:****Tukey Testi,* ***Ort.****: Ortalama,* ***Ss****: Standart Sapma*
****p<0,001, **p<0,01, *p<0,05***

Birinci bölge için yapılan tanımlayıcı istatistik analizleri sonucu DLP baskı teknolojisiyle 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığında boşluklu yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 0,17±0,02, 0,16±0,04, 0,15±0,06 olarak ölçülmüştür. Boşluksuz yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değeri ise 0,13±0,02 olarak hesaplanmıştır. Polyjet baskı teknolojisiyle 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığında boşluklu yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma

değerleri sırasıyla 0,36±0,26, 0,10±0,04, 0,07±0,01 olarak ölçülmüştür. Boşluksuz yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değeri ise 0,06±0,02 olarak hesaplanmıştır. SLA baskı teknolojisiyle 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığında boşluklu yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 0,41±0,13, 0,35±0,08, 0,32±0,26 olarak ölçülmüştür. Boşluksuz yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değeri ise 0,12±0,01 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.1'de belirtildiği üzere ölçümlerdeki tüm tasarımlarda birinci bölge RMS değer ortalamalarının istatistiksel anlamlı olarak "0" dan farklı olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$).



Şekil 4.1. Birinci bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular

1 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde birinci bölge RMS değer ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık vardır ($p=0,033$). Birinci bölge RMS SLA ölçüm değeri (0,41±0,13), DLP ölçüm değerinden (0,17 ±0,02) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir ($p<0,01$).

2 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde birinci bölge RMS değer ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir ($p<0,001$). Birinci bölge RMS SLA ölçüm değeri (0,35±0,08), Polyjet (0,10±0,04) ve

DLP ölçüm değerinden (0,16±0,04) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,001). Ek olarak birinci bölge RMS DLP ölçüm değeri (0,16±0,04), Polyjet (0,10±0,04) ölçüm değerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,01).

3 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde birinci bölge RMS değer ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık mevcuttur (p=0,028). Birinci bölge RMS Polyjet ölçüm değeri (0,07±0,01), DLP (0,15±0,06) ve SLA (0,32 ±0,26) ölçüm değerinden istatistiksel anlamlı olarak düşük seviyede tespit edilmiştir (p<0,05).

Boşluksuz yapıdaki modellerde birinci bölge RMS değer ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık vardır (p<0,001). Birinci bölge RMS Polyjet ölçüm değeri (0,06±0,02), DLP (0,13±0,02) ve SLA (0,12±0,01) ölçüm değerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük seviyede tespit edilmiştir (p<0,05). Birinci bölge DLP RMS değer ölçümlerinde tasarımlar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmemiştir (p>0,05).

Birinci bölge Polyjet RMS değer ölçümlerinde tasarımlar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir (p=0,002). 1 mm kalınlıktaki boşluklı modellerde birinci bölge Polyjet RMS değer ortalamaları (0,36±0,26), 2 mm (0,10±0,04), 3 mm (0,07±0,01) ve boşluksuz yapıya göre (0,06±0,02) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,01).

Birinci bölge SLA RMS değer ölçümlerinde tasarımlar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklık tespit edilmiştir (p<0,001). Boşluksuz birinci bölge SLA RMS değer ölçüm ortalamaları (0,12±0,01), 1mm (0,41±0,13), 2mm (0,35±0,08) ve 3mm'ye göre (0,32±0,26) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük seviyede tespit edilmiştir (p<0,05).

Tablo 4.2'de ikinci bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular yer almaktadır.

Tablo 4.2. İkinci bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular

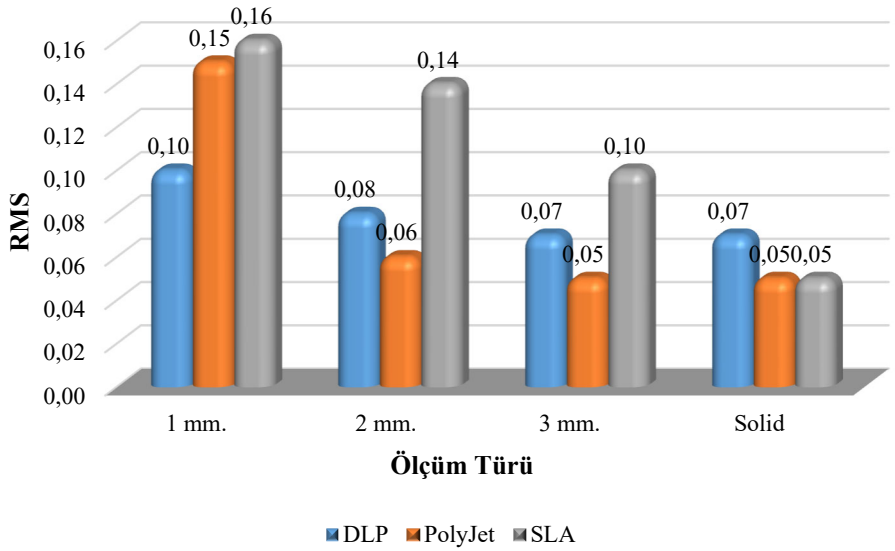
Ebatlar		DLP[1]		Polyjet[2]		SLA[3]		p[1]	Post Hoc[1]
		Ort.	(±Ss.)	Ort.	(±Ss.)	Ort.	(±Ss.)		
1 mm[A] (n=10)		0,10	0,02	0,15	0,09	0,16	0,10		
	p[2]	**<0,001**		**0,001**		**0,001**		0,238	
2 mm[B] (n=10)		0,08	0,01	0,06	0,01	0,14	0,06	**0,002**	**1-2*** **1-3*** **2-3***
	p[2]	**<0,001**		**<0,001**		**<0,001**			
3 mm[C] (n=10)		0,07	0,03	0,05	<0,01	0,10	0,03		**2-3****
	p[2]	**<0,001**		**<0,001**		**<0,001**		**0,008**	
Boşluksuz[D] (n=10)		0,07	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01	**<0,001**	**1-2*** **1-3***
	p[2]	**<0,001**		**<0,001**		**<0,001**			
	p[3]	**0,003**		**<0,001**		**0,001**			
Post-hoc[2]		**A-C*** **A-D****		**A-B**** **A-C***** **A-D*****		**A-D**** **B-D***			

p1: *Tekrarlayan Ölçümlerde Anova Analizi,,* ***p2****:Tek Örneklem T Testi,****p3:*** *Tek Yönlü Anova Analizi ,* ***Post Hoc1:*** *Bonferroni Düzeltmesi,* ***Post Hoc2:****Tukey Testi,* ***Ort.****: Ortalama,* ***Ss****: Standart Sapma* ******p<0,001, **p<0,01, *p<0,05***

İkinci bölge için yapılan tanımlayıcı istatistik analizleri sonucu DLP baskı teknolojisiyle 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığında boşluklu yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 0,10±0,02, 0,08±0,01, 0,07±0,03 olarak ölçülmüştür. Boşluksuz yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değeri ise 0,07±0,01 olarak hesaplanmıştır. Polyjet baskı teknolojisiyle 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığında boşluklu yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 0,15±0,09, 0,06±0,01, 0,05±<0,01 olarak ölçülmüştür. Boşluksuz yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değeri ise 0,05±0,01 olarak hesaplanmıştır. SLA baskı teknolojisiyle 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığında boşluklu yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 0,16±0,10, 0,14±0,06, 0,10±0,03 olarak ölçülmüştür. Boşluksuz yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değeri ise 0,05±0,01 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.2'de belirtildiği üzere tüm tasarımlardaki ölçümlerde ikinci bölge RMS değer ortalamalarının istatistiksel olarak anlamlı düzeyde "0" dan farklı olduğu

tespit edilmiştir (p<0,05).



Şekil 4.2 İkinci bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular

1 mm kalınlığındaki boşluklu modellerde ikinci bölge RMS değer ortalamalarında ölçümler açısından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmemiştir (p=0,238).

2 mm kalınlığındaki boşluklu modellerde ikinci bölge RMS değer ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık vardır (p=0,002). İkinci bölge RMS SLA ölçüm değeri (0,14±0,06), Polyjet (0,06±0,01) ve DLP ölçüm değerinden (0,08±0,01) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05).

3 mm kalınlığındaki boşluklu modellerde ikinci bölge RMS değer ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık vardır (p=0,001). İkinci bölge RMS SLA ölçüm değeri (0,10±0,03), Polyjet ölçüm değerinden (0,05±<0,01) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,01).

Boşluksuz yapıdaki modellerde ikinci bölge RMS değer ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık vardır ($p<0,001$). İkinci bölge RMS DLP ölçüm değeri (0,07±0,01), Polyjet (0,05±0,01) ve SLA (0,05±0,01) ölçüm değerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir ($p<0,001$).

İkinci bölge DLP RMS değer ölçümlerinde tasarımlar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir ($p=0,003$). 1 mm kalınlığındaki boşluklu modellerde ikinci bölge DLP RMS değer ortalamaları (0,10±0,02), 3mm (0,07±0,03) ve boşluksuz yapıya göre (0,07±0,01) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir ($p<0,05$).

İkinci bölge Polyjet RMS değer ölçümlerinde tasarımlar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklık tespit edilmiştir ($p<0,001$). 1 mm kalınlığındaki boşluklu modellerde ikinci bölge Polyjet RMS değer ortalamaları (0,15±0,09), 2 mm (0,06±0,01), 3 mm (0,05±<0,01) ve boşluksuz yapıya göre (0,05±0,01) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir ($p<0,01$).

İkinci bölge SLA RMS değer ölçümlerinde tasarımlar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir ($p=0,001$). Boşluksuz yapı ikinci bölge SLA RMS değer ortalamaları (0,05±0,01), 1 mm (0,16±0,10) ve 2 mm (0,14±0,06) tasarımlarına göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük seviyede tespit edilmiştir ($p<0,05$).

Tablo 4.3'te üçüncü bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular yer almaktadır.

Tablo 4.3. Üçüncü bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular

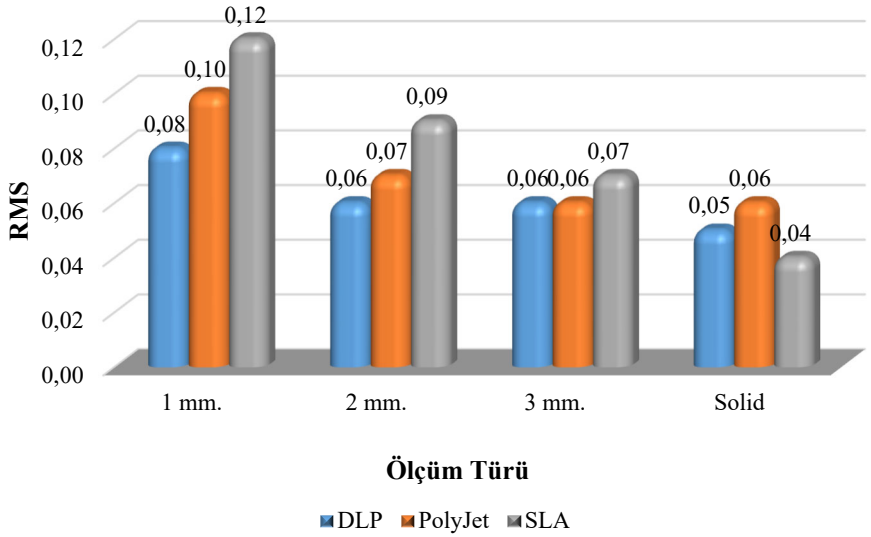
Ebatlar		DLP[1]		Polyjet[2]		SLA[3]		p[1]	Post Hoc[1]
		Ort.	(±Ss.)	Ort.	(±Ss.)	Ort.	(±Ss.)		
1 mm[A] (n=10)		0,08	0,04	0,10	0,02	0,12	0,03	0,040	>0,05
	p[2]	**<0,001**		**<0,001**		**<0,001**			
2 mm [B] (n=10)		0,06	0,01	0,07	0,01	0,09	0,02	**<0,001**	**1-3*** 2-3***
	p[2]	**<0,001**		**<0,001**		**<0,001**			
3 mm[C] (n=10)		0,06	<0,01	0,06	0,01	0,07	0,01	**0,002**	**1-2** 1-3** 2-3**
	p[2]	**<0,001**		**<0,001**		**<0,001**			
Boşluksuz [D] (n=10)		0,05	0,01	0,06	0,01	0,04	<0,01	**<0,001**	**1-2** 1-3** 2-3**
	p[2]	**<0,001**		**<0,001**		**<0,001**			
	p[3]	**0,003**		**<0,001**		**0,001**			
Post-hoc[2]		**A-D****		**A-B*** A-C*** A-D*****		**A-B** A-C*** A-D*** B-C* B-D*** C-D****			

***p1:** Tekrarlayan Ölçümlerde Anova Analizi,, **p2**:Tek Örneklem T Testi,**p3:** Tek Yönlü Anova Analizi , **Post Hoc1:** Bonferroni Düzeltmesi, **Post Hoc2:**Tukey Testi, **Ort.**: Ortalama, **Ss**: Standart Sapma*
******p<0,001, **p<0,01, *p<0,05***

Üçüncü bölge için yapılan tanımlayıcı istatistik analizleri sonucu DLP baskı teknolojisiyle 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığında boşluklu yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 0,08±0,04, 0,06±0,01, 0,06±<0,01olarak ölçülmüştür. Boşluksuz yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değeri ise 0,05±0,01 olarak hesaplanmıştır. Polyjet baskı teknolojisiyle 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığında boşluklu yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 0,10±0,02, 0,07±0,01, 0,06±0,01 olarak ölçülmüştür. Boşluksuz yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değeri ise 0,06±0,01 olarak hesaplanmıştır. SLA baskı teknolojisiyle 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığında boşluklu yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 0,12±0,03, 0,09±0,02, 0,07±0,01 olarak ölçülmüştür. Boşluksuz yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değeri ise 0,04±0,01 olarak

hesaplanmıştır.

Tablo 4.3'te belirtildiği üzere tüm tasarımlardaki ölçümlerde üçüncü bölge RMS değer ortalamalarının istatistiksel olarak anlamlı düzeyde "0" dan farklı olduğu tespit edilmiştir (p<0,05).



Ş

Şekil 4.3 Üçüncü bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular

1 mm kalınlığındaki boşluklu modellerde üçüncü bölge RMS değer ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmemiştir (p=0,040, Post Hoc p>0,05).

2 mm kalınlığındaki boşluklu modellerde üçüncü bölge RMS değer ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık vardır (p<0,001). Üçüncü bölge RMS SLA ölçüm değeri (0,09±0,02), Polyjet (0,07±0,01) ve DLP ölçüm değerinden (0,06±0,01) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05).

3 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde üçüncü bölge RMS değer ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık vardır (p=0,002). Üçüncü bölge RMS SLA ölçüm değeri (0,07±0,01), Polyjet (0,06±0,01) ve DLP

(0,06±<0,01) ölçüm değerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05). Ayrıca üçüncü bölge RMS Polyjet ölçüm değeri (0,06±0,01), DLP (0,06±<0,01) ölçüm değerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05).

Boşluksuz yapıdaki modellerde üçüncü bölge RMS değer istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık vardır (p<0,001). Üçüncü bölge RMS SLA ölçüm değeri (0,04±<0,01), Polyjet (0,06±0,01) ve DLP (0,05±0,01) ölçüm değerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük seviyede tespit edilmiştir (p<0,05). Ayrıca üçüncü bölge RMS PolyJet ölçüm değeri (0,06±0,01), DLP (0,05±0,01) ölçüm değerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05).

Üçüncü bölge DLP RMS değer ölçümlerinde tasarımlar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklık tespit edilmiştir (p=0,003). 1 mm kalınlıktaki boşluklu modellerin üçüncü bölge DLP RMS değer ortalamaları (0,08±0,04), boşluksuz yapıya göre (0,05±0,01) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05).

Üçüncü bölge Polyjet RMS değer ölçümlerinde tasarımlar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklık tespit edilmiştir (p<0,001). 1 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde üçüncü bölge Polyjet RMS değer ortalamaları (0,10±0,02), 2 mm (0,07±0,01), 3 mm (0,06±0,01) ve boşluksuz yapıya göre (0,06±0,01) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05).

Üçüncü bölge SLA RMS değer ölçümlerinde tasarımlar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklık tespit edilmiştir (p<0,001). 1 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde üçüncü bölge SLA RMS değer ortalamaları (0,12±0,03), 2 mm (0,09±0,02), 3 mm (0,07±0,01) ve boşluksuz yapıya göre (0,04±<0,01) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05). Ayrıca 2 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde üçüncü bölge SLA RMS değer ortalamaları (0,09±0,02), 3 mm (0,07±0,01) ve boşluksuz yapıya göre (0,04±<0,01) istatistiksel

olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05). Ek olarak 3 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde üçüncü bölge SLA RMS değer ortalamaları (0,07±0,01), boşluksuz yapıya göre (0,04±<0,01) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05).

Tablo 4.4'de dördüncü bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular yer almaktadır.

Tablo 4.4. Dördüncü bölge RMS değerlerinin yazılımlar açısından karşılaştırılmasına yönelik bulgular

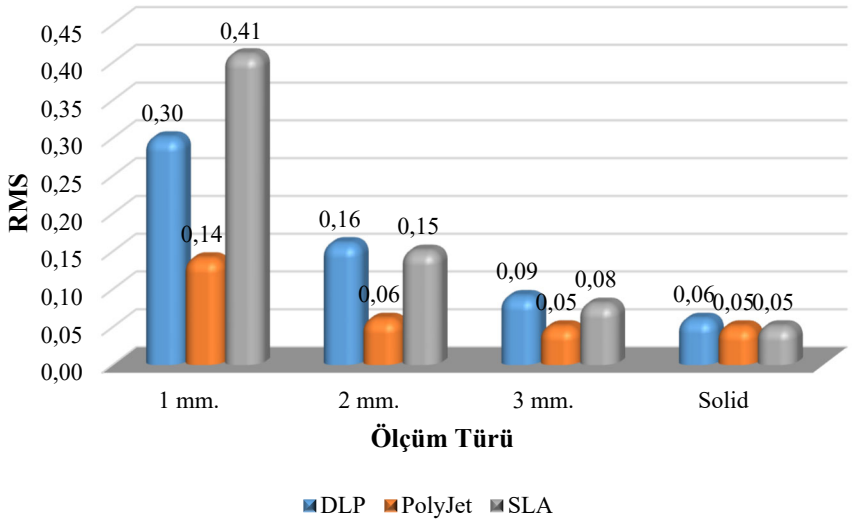
Ebatlar		DLP[1]		Polyjet[2]		SLA[3]		p[1]	Post Hoc[1]
		Ort.	(±Ss.)	Ort.	(±Ss.)	Ort.	(±Ss.)		
1 mm[A] (n=10)		0,30	0,15	0,14	0,11	0,41	0,19	**0,002**	**2-3****
	p[2]	**<0,001**		**0,003**		**<0,001**			
2 mm[B] (n=10)		0,16	0,03	0,06	0,01	0,15	0,05	**0,001**	**1-2**** **1-3*** **2-3***
	p[2]	**<0,001**		**<0,001**		**<0,001**			
3 mm[C] (n=10)		0,09	0,02	0,05	<0,01	0,08	0,01	**<0,001**	**1-2**** **2-3****
	p[2]	**<0,001**		**<0,001**		**<0,001**			
Boşluksuz [D] (n=10)		0,06	0,01	0,05	0,01	0,05	<0,01	**<0,001**	**1-2**** **1-3****
	p[2]	**<0,001**		**<0,001**		**<0,001**			
	p[3]	**<0,001**		**0,001**		**<0,001**			
Post-hoc[2]		**A-B**** **A-C***** **A-D***** **B-D***		**A-B**** **A-C**** **A-D****		**A-B***** **A-C***** **A-D*****			

p1: *Tekrarlayan Ölçümlerde Anova Analizi,,* ***p2****:Tek Örneklem T Testi,****p3:*** *Tek Yönlü Anova Analizi ,* ***Post Hoc1:*** *Bonferroni Düzeltmesi,* ***Post Hoc2:****Tukey Testi,* ***Ort.****: Ortalama,* ***Ss****: Standart Sapma* ******p<0,001, **p<0,01, *p<0,05***

Dördüncü bölge için yapılan tanımlayıcı istatistik analizleri sonucu DLP baskı teknolojisiyle 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığında boşluklu yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 0,30±0,15, 0,16±0,03, 0,09±0,02 olarak ölçülmüştür. Boşluksuz yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değeri ise 0,06±0,01 olarak hesaplanmıştır. Polyjet baskı teknolojisiyle 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığında boşluklu yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma

değerleri sırasıyla 0,14±0,11, 0,06±0,01, 0,05±<0,01 olarak ölçülmüştür. Boşluksuz yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değeri ise 0,05±0,01 olarak hesaplanmıştır. SLA baskı teknolojisiyle 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığında boşluklu yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 0,41±0,19, 0,15±0,05, 0,08±0,01 olarak ölçülmüştür. Boşluksuz yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değeri ise 0,05±<0,01 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.4'de belirtildiği gibi tüm tasarımlar için yapılan ölçümlerde dördüncü bölge RMS değer ortalamalarının istatistiksel olarak anlamlı düzeyde "0" dan farklı olduğu tespit edilmiştir (p<0,05).



Şekil 4.4 Dördüncü bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular

1 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde dördüncü bölge RMS değer ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir (p=0,002). Dördüncü bölge RMS SLA ölçüm değeri (0,41±0,19), Polyjet ölçüm değerinden (0,14±0,11) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05).

2 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde dördüncü bölge RMS değer ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir (p=0,001). Dördüncü bölge RMS DLP ölçüm değeri (0,16±0,03), Polyjet (0,06±0,01)

ve SLA (0,15±0,05) ölçüm değerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05). Ayrıca dördüncü bölge RMS SLA ölçüm değeri (0,15±0,05), PolyJet (0,06±0,01) ölçüm değerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05).

3 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde dördüncü bölge RMS değer ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir (p<0,001). Dördüncü bölge RMS Polyjet ölçüm değeri (0,05±<0,01), DLP (0,09±0,02) ve SLA 0,08±0,01) ölçüm değerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük seviyede tespit edilmiştir (p<0,05).

Boşluksuz yapıdaki modellerde dördüncü bölge RMS değer ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir (p<0,001). Dördüncü bölge RMS DLP ölçüm değeri (0,06±0,01), Polyjet (0,05±0,01) ve SLA (0,05±<0,01) ölçüm değerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05).

Dördüncü bölge DLP RMS değer ölçümlerinde tasarımlar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklık tespit edilmiştir (p<0,001). 1 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde dördüncü bölge DLP RMS değer ortalamaları (0,30±0,15), 2 mm (0,16±0,03), 3 mm (0,09±0,02) ve boşluksuz yapıya göre (0,05±0,01) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05). Ayrıca 2 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde dördüncü bölge DLP RMS değer ortalamaları (0,16±0,03) boşluksuz yapıya göre (0,05±0,01) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05).

Dördüncü bölge Polyjet RMS değer ölçümlerinde tasarımlar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir (p<0,001). 1 mm kalınlıkt9ki boşluklu modellerde dördüncü bölge Polyjet RMS değer ortalamaları (0,14±0,11), 2 mm (0,06±0,01), 3 mm (0,05±<0,01) ve boşluksuz yapıya göre (0,05±0,01) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05).

Dördüncü bölge SLA RMS değer ölçümlerinde tasarımlar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir (p<0,001). 1 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde dördüncü bölge SLA RMS değer ortalamaları (0,41±0,19), 2 mm (0,15±0,05), 3 mm (0,08±0,01) ve boşluksuz yapıya göre (0,05±<0,01) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05).

Tablo 4.5'te beşinci bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular yer almaktadır.

Tablo 4.5. Beşinci bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular

Ebatlar		**DLP[1]**		**Polyjet[2]**		**SLA[3]**		**p[1]**	**Post Hoc[1]**
		Ort.	**(±Ss.)**	**Ort.**	**(±Ss.)**	**Ort.**	**(±Ss.)**		
1 mm[A] (n=10)		0,72	0,30	0,26	0,18	0,90	0,35	**<0,001**	**1-2****
	p[2]	**<0,001**		**0,002**		**<0,001**			**2-3****
2 mm[B] (n=10)		0,52	0,06	0,10	0,03	0,41	0,13	**<0,001**	**1-2*****
	p[2]	**<0,001**		**<0,001**		**<0,001**			**2-3*****
3 mm[C] (n=10)		0,34	0,05	0,08	0,01	0,27	0,05	**<0,001**	**1-2*****
	p[2]	**<0,001**		**<0,001**		**<0,001**			**1-3***
									2-3***
Boşluksuz[D] (n=10)		0,25	0,02	0,05	0,01	0,13	0,01	**<0,001**	**1-2*****
	p[2]	**<0,001**		**<0,001**		**<0,001**			**1-3*****
									2-3***
	p[3]	**<0,001**		**<0,001**		**<0,001**			
Post-hoc[2]		**A-B*** **A-C***** **A-D***** **B-D****		**A-B**** **A-C**** **A-D*****		**A-B***** **A-C***** **A-D***** **B-D***			

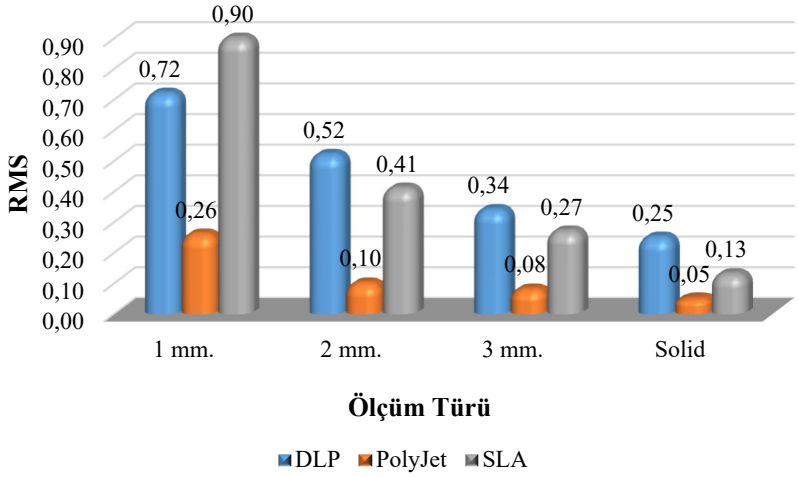
***p1:** Tekrarlayan Ölçümlerde Anova Analizi,, **p2**:Tek Örneklem T Testi,**p3:** Tek Yönlü Anova Analizi , **Post Hoc1:** Bonferroni Düzeltmesi, **Post Hoc2:**Tukey Testi, **Ort.**: Ortalama, **Ss**: Standart Sapma*

******p<0,001, **p<0,01, *p<0,05***

Beşinci bölge için yapılan tanımlayıcı istatistik analizleri sonucu DLP baskı teknolojisiyle 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığında boşluklu yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 0,72±0,30, 0,52±0,06, 0,34±0,05 olarak ölçülmüştür. Boşluksuz yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma

değeri ise 0,25±0,02 olarak hesaplanmıştır. Polyjet baskı teknolojisiyle 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığında boşluklu yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 0,26±0,18, 0,10±0,03, 0,08±0,01 olarak ölçülmüştür. Boşluksuz yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değeri ise 0,05±0,01 olarak hesaplanmıştır. SLA baskı teknolojisiyle 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığında boşluklu yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 0,90±0,35, 0,41±0,13, 0,27±0,05 olarak ölçülmüştür. Boşluksuz yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değeri ise 0,13±<0,01 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.5'te belirtildiği üzere tüm tasarımlardaki ölçümlerde beşinci bölge RMS değer ortalamalarının istatistiksel olarak anlamlı düzeyde "0" dan farklı olduğu tespit edilmiştir (p<0,05).



Şekil 4.5. Beşinci bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular

1 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde beşinci bölge RMS değer ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir (p<0,001). Beşinci bölge Polyjet ölçüm değeri (0,26±0,18), DLP (0,72±0,30) ve SLA 0,90(±0,35) ölçüm değerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük seviyede tespit edilmiştir (p<0,05).

2 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde beşinci bölge RMS değer ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir

(p<0,001). Beşinci bölge Polyjet ölçüm değeri 0,10(±0,03), DLP (0,52±0,06) ve SLA (0,41±0,13) ölçüm değerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük seviyede tespit edilmiştir (p<0,05).

3 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde beşinci bölge RMS değer ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir (p<0,001). Beşinci bölge Polyjet ölçüm değeri (0,08±0,01), DLP (0,34±0,05) ve SLA (0,27±0,05) ölçüm değerinden istatistiksel anlamlı olarak düşük seviyede tespit edilmiştir (p<0,05). Ayrıca beşinci bölge DLP ölçüm değeri (0,34±0,05), SLA (0,27±0,05) ölçüm değerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05).

Boşluksuz yapıdaki modellerde beşinci bölge RMS değer ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir (p<0,001). Beşinci bölge PolyJet ölçüm değeri 0,05(±0,01), DLP 0,25(±0,02) ve SLA 0,13(±0,01) ölçüm değerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük seviyede tespit edilmiştir (p<0,05). Ayrıca beşinci bölge DLP ölçüm değeri 0,25(±0,02), SLA 0,13(±0,01) ölçüm değerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05).

Beşinci bölge DLP RMS değer ölçümlerinde tasarımlar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir (p<0,001). 1 mm kalınlığındaki modellerde beşinci bölge DLP RMS değer ortalaması 0,72(±0,30), 2 mm 0,52(±0,06), 3 mm 0,34(±0,05) ve boşluksuz yapıya göre 0,25(±0,02) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05). Benzer şekilde 2 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde beşinci bölge DLP RMS değer ortalaması 0,52(±0,06), boşluksuz yapıya göre 0,25(±0,02) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05).

Beşinci bölge PolyJet RMS değer ölçümlerinde tasarımlar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir (p<0,001). 1 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde beşinci bölge PolyJet RMS değer ortalaması

0,26(±0,18), 2 mm 0,10(±0,03), 3 mm 0,08(±0,01) ve boşluksuz yapıya göre 0,05(±0,01) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05).

Beşinci bölge SLA RMS değer ölçümlerinde tasarımlar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir (p<0,001). 1 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde beşinci bölge SLA RMS değer ortalaması 0,90(±0,35), 2 mm 0,41(±0,13), 3 mm 0,27(±0,05) ve boşluksuz yapıya göre 0,13(±0,01) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05). Ayrıca 2 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde beşinci bölge SLA RMS değer ortalaması 0,41(±0,13), boşluklu yapıya göre 0,13(±0,01) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05).

Tablo 4.6'da altıncı bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular yer almaktadır.

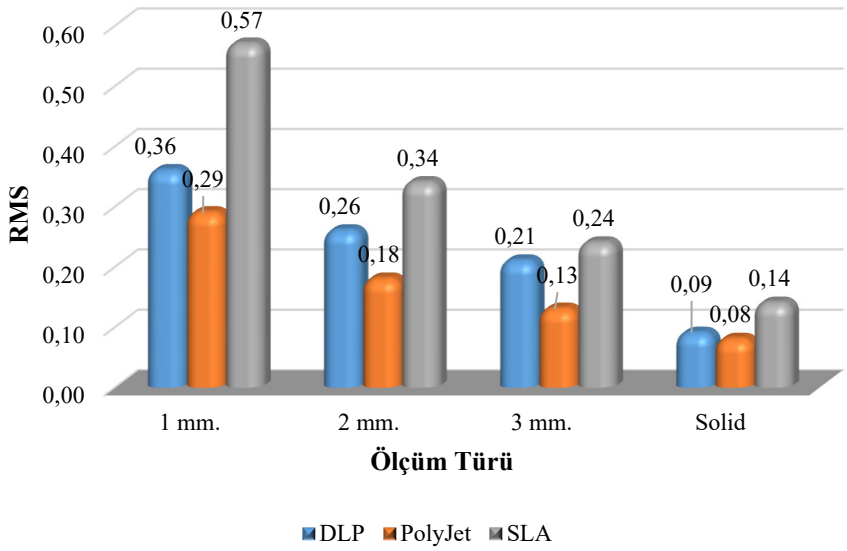
Tablo 4.6. Altıncı bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular

Ebatlar		**DLP[1]**		**Polyjet[2]**		**SLA[3]**		**p[1]**	**Post Hoc[1]**
		Ort.	**(±Ss.)**	**Ort.**	**(±Ss.)**	**Ort.**	**(±Ss.)**		
1 mm[A] (n=10)		0,36	0,14	0,29	0,13	0,57	0,15	**0,001**	**2-3***
	p[2]	**<0,001**		**<0,001**		**<0,001**			
2 mm[B] (n=10)		0,26	0,04	0,18	0,07	0,34	0,06	**0,002**	**1-2**** **1-3*** **2-3***
	p[2]	**<0,001**		**<0,001**		**<0,001**			
3 mm[C] (n=10)		0,21	0,04	0,13	0,06	0,24	0,05	**<0,001**	**1-2**** **2-3****
	p[2]	**<0,001**		**<0,001**		**<0,001**			
Boşluksuz[D] (n=10)		0,09	0,01	0,08	0,03	0,14	0,01	**<0,001**	**1-3***** **2-3***
	p[2]	**<0,001**		**<0,001**		**<0,001**			
	p[3]	**<0,001**		**<0,001**		**<0,001**			
Post-hoc[2]		**A-B*** **A-C***** **A-D***** **B-D***** **C-D*****		**A-B*** **A-C***** **A-D***** **B-D***		**A-B***** **A-C***** **A-D***** **B-D*****			

p1: *Tekrarlayan Ölçümlerde Anova Analizi,,* ***p2****:Tek Örneklem T Testi,****p3:*** *Tek Yönlü Anova Analizi ,* ***Post Hoc1:*** *Bonferroni Düzeltmesi,* ***Post Hoc2:****Tukey Testi,* ***Ort.****: Ortalama,* ***Ss****: Standart Sapma* ******p<0,001, **p<0,01, *p<0,05***

Altıncı bölge için yapılan tanımlayıcı istatistik analizleri sonucu DLP baskı teknolojisiyle 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığında boşluklu yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 0,36±0,14, 0,26±0,04, 0,21±0,04 olarak ölçülmüştür. Boşluksuz yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değeri ise 0,09±0,01olarak hesaplanmıştır. Polyjet baskı teknolojisiyle 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığında boşluklu yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 0,29±0,13, 0,18±0,07, 0,13±0,06 olarak ölçülmüştür. Boşluksuz yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değeri ise 0,08±0,03 olarak hesaplanmıştır. SLA baskı teknolojisiyle 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığında boşluklu yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 0,57±0,15, 0,34±0,06, 0,24±0,05 olarak ölçülmüştür. Boşluksuz yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değeri ise 0,14±0,01 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.6'da belirtildiği üzere tüm tasarımlardaki ölçümlerde altıncı bölge RMS değer ortalamalarının istatistiksel olarak anlamlı düzeyde "0" dan farklı olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$).



Şekil 4.6 Altıncı bölge RMS değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular

1 mm kalınlıktaki boşluklu modelelrde altıncı bölge RMS değer ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir ($p<0,001$). Altıncı bölge SLA ölçüm değeri (0,57±0,15), PolyJet (0,29±0,13) ölçüm

değerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir ($p<0,05$).

2 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde altıncı bölge RMS değer ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir ($p=0,002$). Altıncı bölge SLA ölçüm değeri (0,34±0,06), Polyjet (0,18±0,07) ve DLP (0,26±0,04) ölçüm değerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir ($p<0,05$). Ayrıca altıncı bölge DLP ölçüm değeri (0,26±0,04), Polyjet (0,18±0,07) ölçüm değerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir ($p<0,05$).

3 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde altıncı bölge RMS değer ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir ($p<0,001$). Altıncı bölge Polyjet ölçüm değeri (0,13±0,06), SLA (0,24±0,05) ve DLP (0,21±0,04) ölçüm değerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük seviyede tespit edilmiştir ($p<0,05$).

Boşluksuz yapıdaki modellerde altıncı bölge RMS değer ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir ($p=0,002$). Altıncı bölge SLA ölçüm değeri (0,14±0,01), Polyjet (0,08±0,03) ve DLP (0,09±0,01) ölçüm değerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir ($p<0,05$).

Altıncı bölge DLP RMS değer ölçümlerinde tasarımlar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklık tespit edilmiştir ($p<0,001$). 1 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde altıncı bölge DLP RMS değer ortalaması (0,36±0,14), 2 mm (0,26±0,04), 3 mm (0,21±0,04) ve boşluksuz yapıya göre (0,09±0,01) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir ($p<0,05$). Ayrıca boşluksuz yapı altıncı bölge DLP RMS değer ortalaması (0,09±0,01), 2 mm (0,26±0,04) ve 3 mm (0,21±0,04) kalınlığındaki boşluklu tasarımlara göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük seviyede tespit edilmiştir ($p<0,05$).

Altıncı bölge Polyjet RMS değer ölçümlerinde tasarımlar arasında istatistiksel

olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir (p<0,001). 1 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde altıncı bölge PolyJet RMS değer ortalaması (0,29±0,13), 2 mm (0,18±0,07), 3 mm (0,13±0,06) ve boşluksuz ypıya göre 0,08(±0,03) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05). Ayrıca boşluksuz yapı altıncı bölge PolyJet RMS değer ortalaması (0,08±0,03), 2 mm (0,18±0,07) kalınlığındaki boşluklu tasarımlara göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük seviyede tespit edilmiştir (p<0,05).

Altıncı bölge SLA RMS değer ölçümlerinde tasarımlar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir (p<0,001). 1 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde altıncı bölge SLA RMS değer ortalaması (0,57±0,15), 2 mm (0,34±0,06), 3 mm (0,24±0,05) ve boşluksuz yapıya göre (0,14±0,01) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir (p<0,05). Ayrıca boşluksuz yapı altıncı bölge SLA RMS değer ortalaması (0,14±0,01), 2 mm (0,34±0,06) kalınlığındaki tasarımlara göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük seviyede tespit edilmiştir (p<0,05).

4.2. KONTROL MODELİ İLE TEST MODELLERİNİN DİJİTAL ÖLÇÜLERİ ÜZERİNDE YAPILAN DOĞRUSAL ÖLÇÜMLER SONUCU ELDE EDİLEN BULGULAR

İnterkanin ve intermolar mesafe ölçümlerinde değerlendirici içi güvenilirliğin tespitinde kullanılan %95 güven aralığındaki ICC verileri, interkanin mesafe ölçümlerinde 0.78, intermolar mesafe ölçümünde ise 0.93 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.7'de interkanin mesafe referans sapma değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular yer almaktadır.

Tablo 4.7. İnterkanin mesafe referans sapma değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular

Tasarımlar		DLP[1]		Polyjet[2]		SLA[3]		p[1]	Post Hoc[1]
		Ort.	(±Ss.)	Ort.	(±Ss.)	Ort.	(±Ss.)		
1 mm [A] (n=10)		-0,08	0,13	-0,40	0,25	-0,43	0,29	**0,005**	**1-2***
	p[2]	0,075		**0,001**		**0,001**			**1-3****
2 mm [B] (n=10)		-0,30	0,25	-0,25	0,19	-0,43	0,15	**0,040**	**2-3***
	p[2]	**0,004**		**0,002**		**<0,001**			
3 mm [C] (n=10)		-0,22	0,16	-0,24	0,12	-0,32	0,20	0,290	-
	p[2]	**0,002**		**<0,001**		**0,001**			
Boşluksuz[D] (n=10)		-0,31	0,23	-0,14	0,23	-0,20	0,21	0,265	-
	p[2]	**0,002**		0,081		**0,013**			
	p[3]	0,059		0,067		0,058			
Post-hoc[2]		-		**-**		**-**			

p1: *Tekrarlayan Ölçümlerde Anova Analizi,,* ***p2****:Tek Örneklem T Testi,****p3:*** *Tek Yönlü Anova Analizi ,* ***Post Hoc1:*** *Bonferroni Düzeltmesi,* ***Post Hoc2:****Tukey Testi,* ***Ort.****: Ortalama,* ***Ss****: Standart Sapma*
******p<0,001, **p<0,01, *p<0,05***

İnterkanin mesafe ölçümleri için yapılan tanımlayıcı istatistik analizleri sonucu DLP baskı teknolojisiyle 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığında boşluklu yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla -0,08±0,13, -0,30±0,25, -0,22±0,16 olarak ölçülmüştür. Boşluksuz yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değeri ise -0,31±0,23 olarak hesaplanmıştır. Polyjet baskı teknolojisiyle 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığında boşluklu yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla -0,40±0,25, -0,25±0,19, -0,24±0,12 olarak ölçülmüştür. Boşluksuz yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değeri ise -0,14±0,23 olarak hesaplanmıştır. SLA baskı teknolojisiyle 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığında boşluklu yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla -0,43±0,29, -0,43±0,15, -0,32±0,20 olarak ölçülmüştür. Boşluksuz yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değeri ise -0,20±0,21 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 11'de belirtildiği gibi, 1 mm kalınlıkta boşluksuz yapıda DLP yazıcısı ile üretilen modellerde ve boşluksuz yapıda Polyjet yazıcısı ile üretilen modeller üzerinde yapılan ölçümler hariç ($p>0,05$) diğer tüm ölçümlerde interkanin mesafe referans sapma değer ortalamalarının istatistiksel olarak anlamlı düzeyde "0" dan farklı olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$).

1 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde interkanin mesafe referans sapma değer ortalamalarında yazıcılar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir ($p=0,005$). SLA yazıcısı ile üretilen modellerde ölçüm değeri (-0,43 ±0,29), PolyJet (-0,40±0,25) ve DLP yazıcısı ile üretilen modellerdekinden (-0,08±0,13) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir ($p<0,05$). 2 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde interkanin mesafe referans sapma değer ortalamalarında yazıcılar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir ($p=0,040$). SLA yazıcısı ile üretilen modellerde ölçüm değeri (-0,43±0,15), Polyjet yazıcısı ile üretilen modellerin (-0,25±0,19) ölçüm değerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir ($p<0,05$). 3 mm kalınlıktaki boşluklu modeller ile boşluksuz yapıdaki modellerde referans sapma değer ortalamalarında yazıcılar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmemiştir ($p>0,05$).

İnterkanin mesafe DLP, Polyjet ve SLA yazıcılarında referans sapma değer ölçümlerinde farklı tasarımlar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmemiştir ($p>0,05$).

Tablo 4.8'de intermolar mesafe referans sapma değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular yer almaktadır.

Tablo 4.8. İntermolar mesafe referans sapma değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bulgular

Tasarımlar		DLP[1]		Polyjet[2]		SLA[3]		p[1]	Post Hoc[1]
		Ort.	(±Ss.)	Ort.	(±Ss.)	Ort.	(±Ss.)		
1 mm[A] (n=10)		-0,29	0,40	-0,84	0,59	-0,03	0,32	**0,002**	**2-3***
	p[2]	**0,047**		**0,001**		0,775			
2 mm [B] (n=10)		-0,29	0,21	-0,55	0,23	-0,38	0,24	**<0,001**	**1-2**** **1-3***** **2-3*****
	p[2]	**0,002**		**<0,001**		**0,001**			
3 mm[C] (n=10)		-0,11	0,26	-0,59	0,18	-0,72	0,17	0,083	-
	p[2]	0,212		0,148		**<0,001**			
Boşluksuz [D] (n=10)		-0,38	0,31	-0,54	0,19	-0,87	0,27	**<0,001**	**1-3***** **2-3*****
	p[2]	**0,004**		**<0,001**		**<0,001**			
p[3]		0,258		0,438		**<0,001**			
Post-hoc[2]		-		-		**A-B*** **A-C***** **A-D***** **B-C*** **B-D****			

p1: *Tekrarlayan Ölçümlerde Anova Analizi,,* ***p2****:Tek Örneklem T Testi,****p3:*** *Tek Yönlü Anova Analizi ,* ***Post Hoc1:*** *Bonferroni Düzeltmesi,* ***Post Hoc2:****Tukey Testi,* ***Ort.****: Ortalama,* ***Ss****: Standart Sapma* ****p<0,001, **p<0,01, *p<0,05***

İntermolar mesafe ölçümleri için yapılan tanımlayıcı istatistik analizleri sonucu DLP baskı teknolojisiyle 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığında boşluklu yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla -0,29±0,40, -0,29±0,21, -0,11±0,26 olarak ölçülmüştür. Boşluksuz yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değeri ise -0,38±0,31 olarak hesaplanmıştır. Polyjet baskı teknolojisiyle 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığında boşluklu yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla -0,84±0,59, -0,55±0,23, -0,59±0,18 olarak ölçülmüştür. Boşluksuz yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değeri ise -0,54±0,19 olarak hesaplanmıştır. SLA baskı teknolojisiyle 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığında boşluklu yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma

değerleri sırasıyla -0,03±0,32, -0,38±0,24, -0,72±0,17 olarak ölçülmüştür. Boşluksuz yapıdaki modellerin RMS ortalama ve standart sapma değeri ise -0,87±0,27 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.8'de belirtildiği üzere ölçümlerdeki 1mm kalınlıktaki SLA ölçümü ve 3 mm kalınlıktaki DLP ve PolyJet ölçümü hariç ($p>0,05$) diğer tüm ölçümlerde intermolar mesafe referans sapma değer ortalamalarının istatistiksel olarak anlamlı düzeyde "0" dan farklı olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$).

1 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde intermolar mesafe referans sapma değer ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir ($p=0,002$). İntermolar mesafe referans sapma Polyjet ölçüm değeri (-0,84±0,59), SLA (-0,03±0,32) ölçüm değerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir ($p<0,05$).

2 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde intermolar mesafe referans sapma değer ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir ($p<0,001$). İntermolar mesafe referans sapma Polyjet ölçüm değeri (-0,55±0,23), DLP (-0,29±0,21) ve SLA (0,38±0,24) ölçüm değerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir ($p<0,05$). Ayrıca intermolar mesafe referans sapma SLA (0,38±0,24) ölçüm değeri, DLP (-0,29±0,21) ölçüm değerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir ($p<0,05$).

3 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde intermolar mesafe referans sapma değer ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmemiştir ($p=0,083$).

Boşluksuz yapıdaki modellerde intermolar mesafe referans sapma değer ortalamalarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir ($p<0,001$). İntermolar mesafe referans sapma SLA ölçüm değeri (0,87±0,27), DLP (-0,38±0,31) ve PolyJet (-0,54±0,19) ölçüm değerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek seviyede tespit edilmiştir ($p<0,05$).

İntermolar mesafe DLP ve Polyjet referans sapma değer ölçümlerinde tasarımlar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmemiştir ($p>0,05$).

SLA referans sapma değer ölçümlerinde tasarımlar arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık tespit edilmiştir ($p>0,05$). 1 mm kalınlıkta boşluklu modellerde intermolar mesafe SLA referans sapma değer ortalaması (0,03±0,32), 2 mm (0,38±0,24), 3 mm (0,72±0,17) ve boşluksuz yapıya göre (0,87±0,27) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük seviyede tespit edilmiştir ($p<0,05$). Benzer şekilde 2 mm kalınlıktaki boşluklu modellerde intermolar mesafe SLA referans sapma değer ortalaması (0,38±0,24), 3 mm (0,72±0,17) ve boşluksuz yapıya göre (0,87±0,27) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük seviyede tespit edilmiştir ($p<0,05$).

Tablo 4.9. Boşluksuz modeller yerine boşluklu modellerin kullanılmasıyla tasarruf edilecek rezin yüzdeleri

Boşluklu Tasarımlar	**DLP**	**Polyjet**	**SLA**
1 mm	%70,8	%37,4	%57,3
2 mm	%45,3	%26,8	%39,7
3 mm	%31,4	%15,5	%26,5

Boşluksuz tasarımlar yerine, DLP teknolojisi ile 1 mm kalınlığındaki tasarımların üretimiyle %70,8, 2 mm kalınlığındakilerin üretimi ile %45,3, 3mm kalınlığındakilerin üretimiyle %31,4 oranında daha az rezin harcanmaktadır. Boşluksuz tasarımlar yerine, Polyjet teknolojisi ile 1mm kalınlığındakilerin üretimiyle %37,4, 2 mm kalınlığındakilerin üretimi ile %26,8, 3 mm kalınlığındakilerin üretimiyle %15,5 oranında daha az rezin harcanmaktadır. Boşluksuz tasarımlar yerine, SLA teknolojisi ile 1mm kalınlığındakilerin üretimiyle %57,3, 2 mm kalınlığındakilerin üretimiyle ile %39,7, 3 mm kalınlığındakilrtin üretimiyle %26,5 oranında daha az rezin harcanmaktadır.

5. TARTIŞMA

Son yıllarda diş hekimliği klinik ve laboratuvar pratiğinde kullanılan konvansiyonel ölçü alma ve alçı kullanımı yerini, hasta ve hekim konforunu arttıran dijital ölçü ve 3B baskı teknolojileri ile materyallerine bırakmıştır (103). Bu teknolojilerden ortodonti alanında, şeffaf hizalayıcı fabrikasyonu, diagnostik analiz ve eğitim amaçlı kullanılan çalışma modelleri, eklem splinti ve ortodontik mini vidalar için hazırlanan rehber plak üretimi gibi kişiye özel uygulamalarda yaygın olarak yararlanılmaktadır (50). 3B baskı teknolojileri ile üretilen tanı ve çalışma modellerinin doğruluğu, modelin baskı tablası üzerindeki pozisyonu, baskı katman kalınlığı, üretim sonrası kürleme koşulları, baskı teknolojisinin çeşidi ve model tasarımı gibi faktörlerden etkilenmektedir (14,82–84).

Günümüzde hasta sirkülasyonunun az olduğu klinikler tarafından tercih edilen masaüstü 3B baskı teknolojilerinde, maliyetin giderek düşmesiyle cihazların ve materyallerin ulaşılabilirliği artmaktadır. Ancak, Polyjet gibi farklı fiziksel özellikteki materyalleri biraraya getirebilen yüksek hassasiyetli baskı teknolojilerinin kullanıldığı ve büyük üretim kapasitesine ihtiyaç duyan hastane ve laboratuvarlar için maliyet hala yüksek olabilmektedir. Üretimden önce model iç yapı ve kaide tasarımında yapılan değişiklikler ile üretim maliyetini ve süresini azaltmak mümkündür (15,93). 3B baskı ile üretilen modeller, alçı modeller gibi boşluksuz yapıda üretilebileceği gibi, daha az miktarda rezin ve maliyet gerektiren boşluklu yapıda da üretilebilmektedir. Araştırmacılar, farklı baskı teknolojilerinde ürettikleri tasarımlarda modelin duvar kalınlığını, kaide tasarımını, destek yapı sayısını veya şeklini değiştirerek üretimin doğruluğunu değerlendirmişlerdir. Leon ve ark., boşluksuz, boşluklu ve bal peteği şeklinde kaideye sahip olmak üzere üç farklı model tasarımını test etmişlerdir (104). Boşluklu modelleri 1 ve 2 mm olmak üzere farklı kalınlıklarda üretmişlerdir. Rungrojwittayakul ve ark. (12), boşluksuz ve 2 mm kalınlıktaki boşluklu model tasarımlarına palatal bar eklemişlerdir. İki farklı tasarımı DLP ve CLIP baskı teknolojileri ile üreterek doğruluklarını değerlendirmişlerdir.

Literatürde farklı kalınlıklardaki boşluklu model tasarımlarının doğruluğunu değerlendiren çalışmalar mevcuttur ancak aynı tasarımın doğruluğu, farklı baskı teknolojileri, yazıcı veya rezin çeşitlerinin kullanılmasıyla değişebilmektedir (16,17).

Bu nedenle her araştırmacının sahip olduğu mevcut baskı teknolojisinde üretimde en az rezin ve zaman gerektiren ve doğruluğu kanıtlanmış tasarımı tespit etmesi önerilir. Bu çalışmada, diş hekimliğinde en çok kullanılan baskı teknolojilerinden olan SLA, DLP ve Polyjet teknolojileri kullanılarak üretilen farklı kalınlıktaki boşluklu model tasarımları ile boşluksuz yapıdaki modellerin doğruluğu 3B olarak incelenmiştir.

5.1. GEREÇ VE YÖNTEMİN TARTIŞILMASI

Çalışmamızda fantom üst çene modeli ağız içi tarayıcı ile taranarak dijital ortama aktarılmıştır. Dijital model üzerinden, 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığında boşluklu ve boşluksuz yapıda olmak üzere 4 farklı dental model tasarlanmıştır. Tasarımların üretiminde DLP, SLA ve Polyjet 3B baskı teknolojileri kullanılmıştır. Bu baskı teknolojilerinde her tasarım için 10'ar model üretilmiştir. Üretilen modeller, masaüstü tarayıcı ile taranarak dijital modelleri oluşturulmuştur. Tasarımların farklı baskı yöntemlerindeki doğruluklarını değerlendirmek için tersine mühendislik yazılımından faydanılmıştır.

5.1.1. Model Tasarımlarının Oluşturulması ve Standartizasyonu

Çalışmamızdaki modeller, 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığında boşluklu ve boşluksuz yapıda olmak üzere 4 farklı tasarımda üretilmiştir. Boşluklu modellerdeki duvar kalınlığı belirtilen değerlerde ayarlansa da tüberkül tepesi veya insizal kenar gibi girinti ve çıkıntıların yer aldığı bölgelerde materyalin üst üste gelmesinden dolayı hedeflenenden daha kalın duvar yapısı elde edilmektedir. Modelleme yazılımında, 3 mm'den daha kalın boşluklu modellerde oklüzal yüzeyler ve insizal kenarlar boşluksuz tasarıma benzer kalınlıkta görüntü oluşturduğundan, avantajlı olacağı düşünülmemiş ve daha kalın duvarlara sahip bir tasarım oluşturulmamıştır.

Literatür incelendiğinde araştırmacıların, farklı baskı teknolojilerinde test etmek üzere çalışmamızdaki gibi farklı duvar kalınlığında model tasarımları geliştirdikleri görülmektedir. Kenning ve ark. (16), SLA yazıcıda ürettikleri 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm, 2.5 mm ve 3.0 mm kalınlığında boşluklu ve boşluksuz yapıdaki modellerin termoform işlemi altındaki boyutsal değişimlerini değerlendirmişlerdir. Araştırmamızdakinden farklı olarak, işlem sırasında posterior bölgedeki

kontraksiyonu önlemek ve dayanımı arttırmak için ikinci molar dişler hizasına palatal bar eklemişlerdir. Rungrojwittayakul ve ark. (12), DLP ve CLIP teknolojilerinde ürettikleri at nalı şeklinde 2.0 mm kalınlıktaki boşluklu model ile boşluksuz modellere benzer şekilde palatal bar eklemişlerdir.

Ortodontik tanı modellerinin yanı sıra, şeffaf plak fabrikasyonunda olduğu gibi 3B baskı ile üretilen çalışma modelleri de genellikle at nalı şeklinde üretilmektedir (105). Araştırmacılar, at nalı şeklinde üretilen modellerde, özellikle duvar kalınlığının ince olduğu boşluklu modeller için tasarıma ek unsurlar eklemişlerdir (12,14,17). Destek çubuklarının stabiliteyi sağlamada yetersiz kaldığı durumlarda posterior bölgeye palatal bar, model kaidesine veya modelin iç kısmına farklı geometrilerde ek destek yapı eklemek mümkündür. Bazı araştırmacılar, farklı kalınlıklardaki duvar yapısının yanı sıra, tasarımlarına bal peteği görünümünde kaide eklemişlerdir. Revilla-Leon ve ark., bal peteği görünümünde kaide ekledikleri boşluklu modelerde doğruluğun, eklenmemiş olanlara göre daha yüksek olduğunu göstermişlerdir (14). Shin ve ark., model iç yapısına altıgen şeklinde destek yapılar entegre etmişlerdir (15).

Boşluklu modellerin oluşturulmasında sayısız tasarım seçeneği mevcuttur ancak, eklenen her unsur, ek planlama ve laboratuvar aşamasını beraberinde getirmektedir. Çalışmamızda, tasarımın, baskı öncesi ve sonrası laboratuvar işlemlerinin basitleştirilmesi, üretimde gereken rezin miktarının azaltılması hedeflendiğinden tasarıma herhangi bir yapı eklenmemiştir. Model üzerinde görülebilecek kontraksiyonun önlenmesinde model kaidesine eklenen destek çubuklarından yararlanılmıştır. Brown ve ark. (105), dijital ağız içi ölçülerinin, alçı modellerin, DLP ve Polyjet teknolojileri ile üretilen maksiller ve mandibular modellerin doğruluğunu araştırdıkları çalışmalarında, model tasarımını çalışmamızdakine benzer şekilde at nalı şeklinde planlamışlar, ek bir yapı eklememişlerdir. Chanyawatana ve ark. (17) boşluksuz, değişen kalınlıklarda at nalı şeklinde boşluklu modeller ile tabanına ızgara eklenmiş boşluklu modellerin doğruluğunu incelemişlerdir. Değişen kalınlıklarda at nalı şeklinde boşluklu modellere laboratuvar rişlemini basitleştirmek için palatal bar eklemediklerini belirtmişlerdir. Çalışmamızda, rutin klinik ve laboratuvar pratiğinde kolaylıkla

hazırlanabilecek, daha az süre ve maliyet gerektiren model tasarımının tespiti hedeflendiğinde model iç yapısına veya kaidesine destek çubuklar dışında bir yapı eklenmemiştir.

5.1.2. Model Üretiminde Kullanılan 3B Baskı Teknolojilerinin Seçimi

Son yıllarda, üretimde bütün bir malzeme bloğu gerektiren ve malzeme kaybının fazla olduğu eksiltmeli yöntemler geride bırakılırken, eklemeli üretim yöntemleri avantajlar sayesinde yaygın kullanıma sahip olmuştur (60,81). Çalışmamızda, farklı tasarımlara ait modellerin üretiminde, öncelikle diş hekimliği alanında en çok kullanılan fotokürleme temelli yazıcı teknolojilerinden olan SLA ve DLP ile daha fazla üretim yapabilen Polyjet teknolojileri kullanılmıştır.

SLA teknolojisi diş hekimliğinde en eski ve yaygın kullanım alanına sahip 3B baskı yöntemlerindendir. Bu teknoloji, hem hasta sirkülasyonu az olan klinikler tarafından masaüstü yazıcı sistemleri ile hem de üretim kapasitesi arttırılarak büyük laboratuvarlar tarafından kullanılmaktadır (13,50,106). Diğer 3B baskı yöntemlerine göre daha düşük maliyet gerektiren SLA teknolojisi ile yüksek hassasiyetteki küçük objeler ve karmaşık yapıdaki büyük objeler üretilebilmektedir (13). Belirtilen avantajları nedeniyle çalışmamızdaki tasarımların fabrikasyonunda diş hekimliğinde en çok kullanılan fotokürleme temelli eklemeli üretim yöntemlerinden olan SLA teknolojisi tercih edilmiştir. Benzer şekilde, Arnold ve ark.,'nın (83) farklı model iç yapı tasarımlarının ve üretim parametrelerini değerlendirirken yaygın kullanıma sahip olduğunu belirttikleri SLA teknolojisinden yararlandıkları görülmüştür. Zhang ve ark. (101), farklı baskı tekniklerinin ve baskı katman kalınlıklarının dental modellerin doğruluğu üzerine olan etkisini araştırdıkları çalışmalarına SLA ve DLP teknolojilerine sahip farklı yazıcıları dahil etmişlerdir. Kenning ve ark. (16), farklı tasarımlardaki maksiller modellerin termoform işlemi atındaki boyutsal özelliklerini değerlendirdikleri araştırmalarında çalışmamızdakine benzer şekilde SLA yazıcısı kullanmışlardır.

SLA tekniğinden sonra diş hekimliğinde en çok kullanılan yöntemlerden biri olan DLP teknolojisi, masaüstü yazıcı sistemleriyle kolaylaştırılmış kullanım olanağı sağlamaktadır (106). DLP teknolojisi küçük objeleri yüksek hassasiyette

üretebilmesiyle tıp ve diş hekimliğinin farklı alanlarında sıklıkla tercih edilmektedir ve SLA sistemine benzer şekilde fotokürleme sistemi ile hızlı baskılar yapabilmektedir (13,106). Shin ve ark. (15), çalışmamızdakine benzer şekilde 5 farklı iç yapı tasarımdaki maksiller modellerin doğruluğunun değerlendirilmesinde DLP teknolojisinden yararlanmıştır. Sherman ve ark. (92), dental modellerin baskı tablası üzerindeki oryantasyonun doğruluk üzerine etkisini inceledikleri çalışmalarında model üretimi için DLP teknolojisini kullanmışlardır. Literatür incelendiğinde DLP ve SLA teknolojilerinin yanında farklı model tasarımlarının değerlendirilmesinde LCD ve CLIP teknolojilerinin de kullanıldığı görülmüştür (15,17). Ancak bu teknolojiler alanımızda, SLA ve DLP teknolojileri kadar yaygın kullanılmadığından çalışmamıza dahil edilmemiştir.

Diş hekimliği alanında kullanılan fotokürleme temelli baskı yöntemlerinden olan PolyJet teknolojisi, 14-16 μm katman kalınlığında hassas baskılar yapabilmektedir (69). Endüstriyel boyuttaki yazıcılarda kullanılabilen bu teknoloji ile SLA ve DLP'ye göre tek seferde daha çok sayıda veya büyük boyutta nesneler üretmek mümkündür (13). Bu sistem diğer 3B baskı teknolojilerinin aksine farklı renk ve özellikteki materyalleri tek bir objede birleştirilebilmektedir (72). SLA ve DLP'ye göre üretim maliyeti yüksek olmasına rağmen, içi boşluklu model tasarımlarıyla bu dezavantaj giderilmektedir. Çalışmamıza büyük laboratuvarlarda kullanılabilen, geniş üretim kapasitesine sahip 3B baskı teknolojileri de dahil edilmek istendiğinden SLA ve DLP teknolojilerine ek olarak, Polyjet teknolojisi de değerlendirilmiştir. Böylece elde edilen bulguların ileride hem diş klinikleri hem de daha büyük laboratuvarlarda kullanılan yazıcı sistemlerine referans olması hedeflenmiştir. Yapılan literatür taramalarında, Polyjet teknolojisi ile üretilen ve model doğruluğu ve ideal kalınlıktaki model tasarımları hakkında net bir öneri veren herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

5.1.3. Modellerin Üretim Tablası Üzerinde Açılandırılması

3B yazıcılar ile üretimde modelin üretim tablası ile yaptığı açı, üretimin doğruluğunu, süresini, tek seferde üretilebilecek model sayısını ve gereken destek yapı miktarı gibi faktörleri etkileyen unsurlardan biridir. Modelin tabla üzerindeki

pozisyonu operatör tarafından yazıcı arayüz programı üzerinde kolaylıkla değiştirilebilmektedir. Üretimin niteliği ve niceliği üzerinde önem taşıması nedeniyle araştırmacılar, farklı baskı sistemlerinde model ile üretim tablası arasındaki ideal açının tespitini değerlendiren çalışmalar yapmışlardır (84–87,107).

Hada ve ark. (87), SLA teknolojisine sahip yazıcı sistemi ile yaptıkları araştırmalarında üretim tablası ile farklı açılarla konumlandırılarak üretilen dental protezlerin doğruluğunu değerlendirmişlerdir. Bunun için, yazıcı arayüz programında modelleri, tabla ile aralarında 0º, 45º ve 90º olacak şekilde konumlandırmışlardır. Dijital yüzey çakıştırması ile elde ettikleri RMS değeri sonuçlarına göre 45º ile üretilen modelerde en yüksek doğruluk gözlenirken, 0º ile üretilenlerde baskı sırasında oluşan katmanlara bağlı olarak belirgin düzeyde merdiven basamağı görüntüsü oluşmuştur. Benzer görüntü 90º ile basılan modellerde insiziv papilla bölgesinde de gözlenmiştir. Yazarlar buna her katmanın kalınlığı ile CAD modeli arasında oluşan açının daha geniş olmasının neden olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca 45º ile basılan modellerde her baskı katmanı için yüzey alanı azaldığından, modelin rezin tankından uzaklaştırılmasının kolaylaşması ile bunun doğruluğu arttırdığı da çalışmanın sonuçları arasındadır (87). Aynı konumlandırma açılarının kullanıldığı SLA baskı teknolojisi ile üretim yapılan başka bir araştırmada ise ortodontik şeffaf hizalayıcılar üretilmiştir. Buna göre yazarlar, oluşan deviasyonun istatistiksel olarak anlamlı olmadığını, her 3 durumda da deviasyon miktarının klinik olarak kabul edilebilir sınırlar dahilinde olduğunu belirtmişlerdir (84).

Modelin tabla üzerindeki oryantasyonu, PolyJet teknolojisine sahip yazıcı sistemleriyle de değerlendirilmiştir. Gao ve ark. (86), üretim tablası üzerinde 0º, 45º ve 90º açılarla konumlandırarark ürettikleri mandibular ark modellerinin doğruluğunu araştırmışlardır. Buna göre, modelin tabla üzerindeki konumunun üretimin boyutsal özelliklerini etkilediğini ve 45º ile üretilen modellerde sapmanın belirteci olan RMS değerlerinin diğerlerinkine göre daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir (86).

Jin ve ark. (107), araştırmalarında DLP teknolojisine sahip yazıcı sistemiyle ürettikleri maksiller ve mandibular protez kaidelerinin doku ile uyumunu değerlendirmişlerdir. Diğer çalışmalardan farklı olarak, modelleri üretim tablasına

90º, 100º, 135º ve 150º açılarla yerleştirmişlerdir. Sonuçta, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olmadığını, ancak 3B dijital yüzey çakıştırması sonucu elde edilen renkli yüzey haritalarına bakıldığında, daha doğru baskı için maksiller protez kaidelerinde 135º yerleşim açısının daha uygun olabileceğini belirtmişlerdir (107).

Literatür incelendiğinde, araştırmacıların, farklı teknolojilere sahip fotokürleme ile yapılan eklemeli üretim yöntemlerinde çoğu zaman en doğru baskının elde edilmesinde 45º yerleşim açısının ideal olduğu sonucuna ulaştıkları görülmektedir (84,86,107). Model, 90º açıyla vertikal olarak konumlandırıldığında tek seferde üretilebilecek model sayısı fazladır ancak, çalışmamızdaki önceliğimiz tüm baskı sistemlerinde en yüksek doğrulukta üretim yapılmasını sağlayan koşulların oluşturulmasıdır. Bu nedenle, önceki çalışmalar referans alınarak çalışmamızdaki tüm modellerin üretim tablası ile arasındaki açının 45º olmasına karar verilmiştir. Böylece, hem üretim hatasını arttırabilecek z ekseni üzerindeki katman sayısı 90º açı ile üretilenlerdeki kadar arttırılmamış, hem de "merdiven basamağı" görünümündeki yüzey pürüzlülüğünün engellenmesi hedeflenmiştir.

5.1.4. Model Üretiminde Tercih Edilen Katman Kalınlığı

Fotokürleme ile polimerizasyonun sağlandığı eklemeli üretim yöntemlerinde genel olarak, üretim tablası seçilen katman kalınlığı kadar z ekseninde hareket eder ve tabla yeni katman ile kaplanır (60). Yeni katmanın polimerizasyonun ardından işlem tekrarlanarak model üretimi tamamlanıncaya kadar devam eder. Katman kalınlığı, üretimin hassasiyetini, yüzey pürüzlülüğünü ve süresini etkileyen önemli parametlerdendir (83,90).

Araştırmacılar, farklı baskı teknolojilerde ve yazıcı sistemlerinde en doğru model üretimini sağlayan ideal katman kalınlığı üzerine araştırmalar yapmışlardır. Loflin ve ark. (90), SLA teknolojisi ile 25 µm, 50 µm ve 100 µm olmak üzere üç farklı katman kalınlığında üretilen ortodontik modellerin doğruluğunu araştırmışlardır. Sonuç olarak, istatiksel olarak anlamlı bir fark görülmemekle birlikte, 100 µm katman kalınlığındaki modellerin teşhis ve tedavi planını oluşturmada klinik olarak kabul edilebilir olduğu sonucuna ulaşmışlardır (90).

Favero ve ark. (108) SLA teknolojisi ile 25 µm, 50 µm ve 100 µm katman kalınlığında üretilen modellerin doğruluğunu değerlendirdikleri araştırmalarında, 100 µm katman kalınlığı ile üretilen modellerde en düşük deviasyonun gözlendiğini belirtmişlerdir. Çalışmamızda yüksek doğrulukta model üretimini sağlayan koşullar hedeflendiğinden, benzer SLA yazıcılar ile yapılmış araştırma sonuçları dikkate alınarak bu teknoloji ile üretilen modellerde katman kalınlığı 100 µm olarak ayarlanmıştır.

Zhang ve ark. (88), DLP teknolojisine sahip 3 farklı yazıcı ile SLA teknolojisine sahip 1 yazıcıyı kullanarak yaptıkları araştırmalarında farklı katman kalınlığında maksiller ve mandibular dental modeller üretmişlerdir. Araştırma sonucuna göre, DLP teknolojisi için en doğru üretimi sağlayan katman kalınlığının 50 µm olduğunu tespit etmişlerdir. SLA teknoloji için ise diğer araştırma sonuçlarından farklı olarak katman kalınlığı azaldıkça doğruluğun arttığını belirtmişlerdir (88). Brown ve ark. (100), Polyjet ve DLP teknolojilerini kullanarak maksiller ve mandibular model ürettikleri araştırmalarında, baskı katman kalınlığını DLP yazıcı için ideal olduğunu belirttikleri minimum 50 µm olarak ayarlamışlardır. Çalışmamızda farklı DLP yazıcılarının kullanıldığı araştırma sonuçları dikkate alınarak DLP teknolojisi ile üretimde katman kalınlığı 50 µm olarak seçilmiştir.

Literatürde Polyjet teknolojisi ile model üretiminde olması gereken ideal baskı katman kalınlığı ile ilgili net bir öneri bulunmamakla birlikte Brown ve ark. (100), Polyjet teknolojisi ile model üretiminde katman kalınlığının minimum 16 µm olması gerektiğini, katman kalınlığının azaltılması ile doğruluğun arttırabileceğini belirtmişlerdir. Merdiven basamağı görüntüsünün azaltılmasında katman kalınlığının azaltılmasının ve modelin tabla üzerindeki oryantasyonunun etkisinin olduğu bilinmektedir (109). Bu nedenle PolyJet teknolojisi ile üretilen modeller için en düşük katman kalınlığı olan 14 µm seçilmiştir.

5.1.5. Dijital Yüzey Çakıştırması ve Doğrusal Ölçüm Yöntemi

Çalışmamızda, farklı tasarımlardaki test modellerinin doğruluk düzeyinin değerlendirilmesinde 3B dijital yüzey çakıştırma programından yararlanılmıştır. Program üzerinde kontrol modeli ile test modelinin yüzey çakıştırması için başlangıç hizalamasının ardından tüm veri setinin kullanıldığı "best-fit hizalama yöntemi" kullanılmıştır. Best-fit algoritmaları ile hizalama yönteminde referans model ile test edilen model arasındaki benzer noktalar tespit edilir ve elde edilen veri kümesi çakıştırma işleminde kullanılır. Referans model üzerinde bulunmayan veya büyük oranda sapma gösteren noktalar çakıştırma işleminde dışlanır. Bu yöntem özellikle, karşılaştırması yapılan iki model arasındaki sapmanın çok küçük olduğu durumlarda kullanılmaktadır.

3B dijital yüzey çakıştırma programlarında, yüzey eşleşmesinde kullanılan farklı yöntemler de mevcuttur. Leon ve ark. (110), dijital dental modelleri, "tüm veri seti kaynaklı best-fit hizalama yöntemi", "bölgesel ya da referans kaynaklı best-fit hizalama", "3 nokta referanslı landmark kaynaklı best-fit hizalama yöntemi" ve "6 nokta referanslı landmark kaynaklı best-fit hizalama yöntemi" olmak üzere 4 farklı şekilde hizalamışlardır. Sonuçta, ilk iki yöntemde en düşük hizalama uyumsuzluğunun görüldüğünü belirtmişlerdir (110). Literatür incelendiğinde, farklı baskı teknolojileri ile materyalleri kullanılarak üretilen modellerin doğruluğunun araştırılmasında, çalışmamızdakine benzer şekilde tüm veri setinin kullanıldığı "best-fit" algoritma yönteminden yararlanıldığı görülmüştür (17,82,85). Chanyawantana ve ark. (17), 11 farklı dental model tasarımının doğruluğunu arştırdıkları çalışmalarında, yüzey çakıştırması için yazılımın başlangıç hizalama ve best-fit hizalama fonksiyonunu kullanmışlardır.

Çalışmamızda, "best-fit yöntemi" ile hizalamanın ardından 3B yüzey karşılaştırması yapılmıştır. Yüzey karşılaştırması sonucunda renkli yüzey haritaları elde edilmiştir. Maviden kırmızıya değişen renklerde, mavi renk büzülmeyi, kırmızı renk ise genişlemeyi temsil etmektedir. Genişleme ve büzülme için kritik değerin belirlenmesinde litertürde yer alan çalışmalardan yararlanılmıştır. Phan ve ark. (102), şeffaf plakların klinik limitasyonlarını değerlendirleri araştırmalarında her plakta 0.25-0.3 mm diş hareketi meydana geldiğini belirtmişlerdir . Bu bulgu, plak

üretiminde kullanılacak modelde, hata payının belirtilen değerden daha düşük olmasını gerektirmektedir. Hirogaki ve ark. (111), bir vakanın diagnozunda kullanılan ortodontik modellerde 0.3 mm hassasiyetteki sapmanın modelin doğruluğu için kabul edilebilir olduğunu vurgulamıştır. Bu çalışmalar dikkate alınarak çalışmamızda maksimum sapma değerleri 0,25 mm, renk spektrumları arasındaki nominal değer ise ±0,025 mm olarak belirlenmiştir.

Ek olarak, anterior ve posterior bölgelerdeki olası kontraksiyon veya ekspansiyon miktarı farklı olabileceğinden modellerin transversal düzlemde değerlendirilmesinde kanin ve molar dişler arasındaki mesafeler ölçülmüştür. Camardella ve ark.,'nın (112) farklı kaide tasarımlarının 3B baskı ile ürtilen dental modellerin doğruluğuna olan etkisini inceledikleri araştırmalarında, interkanin ve intermolar mesafelere ek olarak her iki taraftaki premolar dişler arası mesafe de ölçülmüştür. Çalışmamızda transversal boyuttaki değişimin anterior ve posterior bölgelerde olmasının ön görülmesi ve arada kalan premolar bölgenin RMS bulguları ile 3B, ayrıntılı olarak değerlendirilmesi nedeniyle premolar bölge için ek doğrusal ölçümler yapılmamıştır. Sherman ve ark.'nın (92) DLP teknolojisi ile farklı katman kalınlığında ürettikleri modellerin transversal düzlemdeki doğruluğunu çalışmamızdakine benzer şekilde intermolar ve interkanin mesafe ölçümleriyle değerlendirleri görülmektedir.

5.1.6. Değerlendirilen Bölgelerin Seçimi

Yapılan hizalamanın ardından yüzey deviasyonun değerlendirildiği farklı araştırma sonuçları incelendiğinde, kontrol modeli ile dijital modellerdeki sapmaların modelin posterior ve anterior bölgelerinde farklılık gösterdiği görülmüştür. Dong ve ark. (6), DLP yazıcının doğruluğunu, her iki taraftaki santral, lateral ve kanin dişleri anterior bölgeyi, premolar ve molar dişleri ise posterior bölgeyi temsil etmek üzere gruplamıştır. Ayrıca bu bölgelerdeki diş yüzeylerinin bukkal, oklüzal ve lingual yüzeylerini segmente ederek ayrı ayrı değerlendirmişlerdir. Park ve ark. (113), FDM, DLP, Polyjet ve SLA yazıcılarında ürettikleri modellerde kanin, 2. premolar ve 2. molar dişler yerine yerleştirdikleri silindirler üzerinde yaptıkları ölçümler ile ayrı ayrı değerlendirmiştir.

Araştırmacılar, farklı kalınlıktaki boşluklu tasarımları karşılaştırdıkları çalışmalarda model üzerindeki farklı bölgelerin deviasyon değerlendirmesini genellikle renkli yüzey haritaları üzerinden yorumlamışlar ve arka ait tek bir RMS değeri elde etmişlerdir (12,16,92). Çalışmamızda, önceki araştırma sonuçları dikkate alındığında arkın farklı bölgelerindeki sapma değerlerinin değişkenlik gösterebileceği ön görülmüştür. Bu nedenle, RMS değerinin elde edildiği deviasyon analizi tüm ark için ve arkın 5 farklı bölgesi için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Arkın sağ ve sol taraflarının üretim sürecinden etkilenip etkilenmediğini incelemek için sağ ve sol taraflar farklı bölgelere dahil edilmiştir.

5.1.BULGULARIN TARTIŞILMASI

5.1.1. RMS Bulgularının Değerlendirilmesi

Çalışmamızda 1 mm, 2 mm, 3 mm ve boşluksuz yapıda olmak üzere 4 farklı tasarımdan 10'ar model SLA, DLP ve Polyjet yazıcıları ile üretilmiştir. Üretilen modellerin doğruluğu, kontrol modeli ile 3B yüzey çakıştırması sonucu elde edilen RMS bulguları üzerinden değerlendirilmiştir. Çakıştırma işleminde, diş arkı bütün olarak ve 5 farklı bölgeye ayrılarak incelenmiştir.

5.2.1.1. Total ark (tüm dişler) RMS bulgularının değerlendirilmesi

Çalışmamızda ark üzerindeki tüm dişler ile bu dişlerin bukkal ve palatinal alanlarını içeren ark 6. Bölge olarak adlandırılmış ve kontrol modeli ile arasındaki sapma RMS bulgusu ile değerlendirilmiştir. RMS ortalama değerleri incelendiğinde 4 farklı tasarımın tümünde sapma değeri en düşükten en yükseğe sırasıyla Polyjet, DLP ve SLA yazıcıları ile üretilen modellerde görülmüştür. Polyjet teknolojisi 1 mm'de ve boşluksuz yapıda SLA yazıcısına, 2 mm ve 3 mm'lik model tasarımlarında ise diğer yazıcılara göre, değişen düzeylerde istatiksel olarak anlamlı daha yüksek doğruluk göstermiştir.

3B baskı teknolojileri ile üretilen modellerin doğruluğu, tasarımın farklı unsurları tarafından etkilenmektedir. Camardella ve ark. (114), kaide tasarımının

boşluksuz yapıdaki maksiller ve mandibular modellerin doğruluğuna olan etkisini farklı baskı tekniklerini kullanarak değerlendirmişlerdir. 3 farklı kaide tasarımındaki modeller, Polyjet ve SLA yazıcıları ile üretilmiştir. Dijital yüzey çakıştırması ve doğrusal ölçüm sonuçlarına göre, Polyjet yazıcısıyla üretilen modellerde tasarımlar arasında neredeyse hiç sapma olmadığı gözlenmiştir. Dijital yüzey çakıştırması sonuçlarına göre, SLA yazıcısında üretilen ve palatal bar bulundurmayan at nalı şeklinde kaideye sahip modellerde, standart kaide tasarımına sahip modellere göre istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlenmiştir. Yazarlar, SLA ile üretilen modellerdeki büzülmenin, üretim sonrası kürleme işlemi sonucunda meydana geldiğini düşünmektedir (114). Çalışmamızdaki tasarımlar, transversal bar eklenmeden at nalı şeklinde kaide ile üretilmiştir ve her tasarım için Polyjet ve SLA yazıcıları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar görülmüştür. Bu bulgu, Camardella ve ark. tarafından elde edilen bulguları desteklemektedir. Posterior bölgeye palatal bar eklenmesinin SLA yazıcısı ile üretilen modellerin doğruluğunu artırabileceği düşünülmektedir.

Lin ve ark. (115) tarafından yapılan araştırmada, üzerinde küreler bulunan, at nalı şeklinde boşluksuz yapıdaki arkın, üretimden sonra farklı saklama zamanlarındaki boyutsal değişimi incelenmiştir. Üretimde, çalışmamızdakine benzer şekilde DLP teknolojisi için ASIGA MAX-UV ve SLA teknolojisi için Form-2 yazıcıları kullanılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, DLP ile üretilen modellerde daha az hata payı (26 μm) görülürken, iki yazıcının doğruluğu arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık görülmüştür ($p = 0.000$).

Araştırma bulguları, çalışmamızdan elde ettiğimiz bulgular ile uyumluluk göstermektedir.

Park ve ark.(113) tarafından yapılan araştırmada, FDM, Polyjet, SLA ve DLP yazıcıları kullanılarak mandibular model üretilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, total ark için en yüksek doğruluğu gösteren Polyjet yazıcısı ile üretilen modeller 99,3 μm, iki farklı DLP yazıcısı ile üretilenler 104.4 μm -103.3 μm ve SLA yazıcısı ile üretilen modeller 109,9 μm deviasyon göstermiştir. Araştırma sonuçlarına göre en az deviasyon gösteren yazıcılar sırasıyla Polyjet, DLP ve SLA yazıcıları olmuştur. Araştırma sonuçları elde ettiğimiz bugular ile uyumluluk göstermektedir. DLP

yazıcısı için ideal baskı katman kalınlığının SLA'ya göre daha düşük olmasının daha hassas model üretimi ile sonuçlanacağı ve bunun doğruluğu arttırmış olabileceği düşünülmektedir.

Tasarımların farklı yazıcılardaki doğrulukları incelendiğinde, bütün gruplarda model kalınlığı arttıkça RMS sapma değerinin azaldığı gözlenmiştir. 1 mm kalınlığındaki modellerin tüm yazıcı tiplerinde diğer tasarımlara göre istatiksel olarak anlamlı düzeyde daha düşük doğruluk sergilediği görülmüştür. Boşluksuz yapıdaki modeller, SLA yazıcıda 1 mm, 2 mm ve 3 mm kalınlığındaki tasarımlara göre, DLP ile Polyjet'te ise 1 mm ve 2 mm kalınlığındaki tasarımlara göre istatiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek doğruluk göstermiştir. Boşluklu yapıdaki modellerde kalınlığın artmasının, özellikle SLA yazıcı ile yapılan üretimlerde baksı distorsiyonunun azaltılmasında etkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, Camardella ve ark. yaptığı çalışma sonuçları dikkate alındığında SLA ile üretilen boşluklu yapıdaki modellerde kaideye ek olarak destek yapı eklemenin ya da kesintisiz bir kaide tasarımı doğruluğun artmasına katkı sağlayabilecektir (114).

Chanyawanta ve ark. (17), LCD teknolojisi ile boşluksuz yapıda ve 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 mm kalınlıklarında boşluklu at nalı şeklinde, tabanında ızgaralı destek yapıya sahip ve sahip olmayan olmak üzere 11 farklı tasarımda model üretmişlerdir. Özellikle 1 mm kalınlığındaki ve ızgara şeklindeki destek yapı bulundurmayan boşluklu modellerde daha fazla ekspansiyon gözlenmiştir. Bu model grubu, boşluksuz ve tabanında ızgaralı destek yapıya sahip modellere göre belirgin düzeyde düşük doğruluk göstermiş ve kalınlığın azalmasıyla RMS sapma değerlerinde artış tespit edilmiştir. Yazarlar, kalınlık ve ilave destek yapının doğrulukla ilişkili olduğunu ve model dayanımını arttırdığını belirtmiştir (17). Chanyawanta ve ark.'nın yaptığı bu çalışmada LCD teknolojisinde ızgarasız boşluklu modellerde 3.0 mm kalınlıktaki tasarımın kabul edilebilir doğrulukta olduğu vurgulanmıştır (17). Çalışmamızda benzer şekilde Polyjet ve SLA yazıcılarında 3.0 mm ve boşluksuz yapıdaki modellerin RMS değerleri arasında istatiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık gözlenmemiştir. Çalışma sonuçları dikkate alındığında SLA ile üretilen daha ince kalınlıktaki boşluklu yapıdaki modellerde, model tabanına benzer şekilde ızgara şeklinde destek yapı eklemenin doğruluğu arttıracağı düşünülmektedir. Ancak, artan

destek yapının ilave rezin ve üretim süresi gerektirdiği göz önünde bulundurulmalıdır.

Her ne kadar farklı tasarım ve yazıcıların RMS değerleri arasında belirgin istatistiksel farklılıklar olsa da klinik düzeyde anlamlı farklılıklar daha az model grubunda görülmüştür. Çalışmamızda, ortodontik modelin doğruluğunda görülebilecek sapma değerinin klinik olarak anlamlılık sınırı ± 0.025 mm olarak belirlenmiştir. Buna göre, DLP yazıcıda, 3 mm ve boşluksuz yapıdaki modellerin ortalama sapma değerleri klinik olarak kabul edilebilir düzeydedir. DLP yazıcıda boşluksuz bir model yerine 3 mm kalınlıktaki boşluklu bir modelin üretimi %31,4 oranında daha az rezin gerektirmektedir. Polyjet yazıcıda, 2 mm, 3 mm ve boşluksuz yapıdaki modellerin ortalama sapma değerleri klinik olarak kabul edilebilir düzeydedir. Polyjet yazıcıda boşluksuz bir model yerine 2 mm kalınlıktaki boşluklu bir modelin üretimi %26,8 oranında daha az rezin gerektirmektedir. SLA yazıcıda, 3 mm ve boşluksuz yapıdaki modellerin ortalama sapma değerleri klinik olarak kabul edilebilir düzeydedir. SLA yazıcıda boşluksuz bir model yerine 3 mm kalınlıktaki boşluklu bir modelin üretimi %26,5 oranında daha az rezin gerektirmektedir.

5.2.1.2. Anterior bölge (santral ve lateral dişler) RMS bulgularının değerlendirilmesi

Literatür incelendiğinde, 3B baskı sürecinin farklı kalınlıktaki modellerin doğruluğu üzerine etkisini inceleyen çalışmalarda, 3B yüzey çakıştırmalarında modeli çoğunlukla bütün olarak inceledikleri görülmektedir (15–17). Farklı bölgelerdeki sapmaları niceliksel olarak değerlendirilmesinde daha çok genişlik-uzunluk ölçümlerinden veya noktasal sapma değerlerinden yararlanıldığı görülmüştür (12,105,116). Çalışmamızda diğer araştırmalardan farklı olarak, farklı tasarımlar 3B yüzey çakıştırmalarında diş arkı bölümlere ayrılarak incelenmiştir.

Çalışmamızda anterior bölgede yer alan santral ve lateral dişler ile bu dişlerin ark üzerinde yer alan bukkal ve palatinal alanları 3.bölge olarak adlandırılmış ve modelin bu alandaki doğruluğu RMS bulgusu ile değerlendirilmiştir. RMS ortalama değerleri incelendiğinde, 1 mm ve 2 mm kalınlığındaki modeller için DLP yazıcı en

yüksek doğruluğu, SLA yazıcı ise en düşük doğruluğu göstermiştir. 3 mm kalınlığındaki modeller için DLP ve Polyjet yazıcılarında görülen sapmalar hemen hemen eşit olmakla birlikte SLA'dan daha az ölçülmüştür. Boşluksuz yapıdaki modellerde ise en yüksek doğruluk sırasıyla SLA, DLP ve Polyjet yazıcılarında olmuştur. Çalışma bulgularımıza göre, anterior bölgede DLP daha az kalınlıktaki boşluklu modeller için, SLA ise boşluksuz yapıdaki modeller için daha yüksek doğruluk sergilemiştir.

Lin ve ark. (115), çalışmamızda kullandığımız ASIGA MAX UV- DLP yazıcı ile Form 2-SLA yazıcıdan üretilen boşluksuz yapıdaki modellerin doğruluğunu inceledikleri çalışmalarında, elde ettiğimiz bulgulardan farklı olarak DLP yazıcının anteriorda daha düşük oranda deviasyon gösterdiğini belirtmiştir. Camardella ve ark.'nın (114) SLA ve Polyjet yazıcılar ile boşluksuz yapıdaki modellerde farklı kaide tasarımlarının doğruluğunu değerlendirdikleri araştırmalarında, yüzey çakıştırması ve doğrusal ölçüm sonuçlarına göre bulgularımızdan farklı olarak Polyjet ile üretilen modellerin anterior bölge doğrusal ölçümlerinde neredeyse hiç sapmanın olmadığı ve SLA'ya göre daha yüksek doğruluk sergilediği gözlenmiştir. Çalışmalar arasında görülen bu farklılıklarda, baskı teknolojilerinde kullanılan yazıcı çeşidinin, rezin formülasyonlarının, baskı tablası üzerindeki konumlandırma farklılıklarının, UV ile kürleme süreci gibi baskı sonrası işlemlerin etkisi olduğu düşünülmektedir. Yapılan çalışmalarda, kullanılan teknoloji çeşidi ve yazıcı markası belirtilse de üretim sürecini etkileyen diğer parametreler ile ilgili detaylı bilgiye her zaman ulaşılamamaktadır.

Tasarımların farklı yazıcılardaki doğrulukları incelendiğinde, model kalınlığı arttıkça RMS sapma değerinin azaldığı veya aynı kaldığı gözlenmiştir. Ancak, RMS değerleri incelendiğinde DLP yazıcıda boşluksuz model ile 1 mm kalınlığındaki model arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık görülürken, Polyjet yazıcıda 1 mm kalınlığındaki boşluklu model, diğer tasarımlara göre istatiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek sapma değerine sahip olmuştur. SLA yazıcıda ise tüm tasarımlar arasında istatiksel olarak anlamlı farklılık bulunmuştur. Farklı tasarım ve yazıcıların RMS değerleri arasında belirgin istatistiksel farklılıklar olsa da tüm tasarımların sapma değer ortalamalarının klinik düzeyde anlamlı farklılık sınırı olan ± 0.025

mm'nin altında olduğu görülmüştür. Bu durum, tüm yazıcılar için en düşük kalınlıktaki boşluklu modellerin, boşluksuz modeller yerine üretilebileceğini göstermektedir. Modellerin boşluksuz yapı yerine 1 mm kalınlığındaki boşluklu yapıda üretilmesi ile DLP (%70,8), Polyjet (%37,4) ve SLA (%57,3) yazıcılarında daha az maliyetle üretim yapılabileceği görülmektedir.

5.2.1.2. Posterior bölge (kanin, premolar ve molar dişler) RMS bulgularının değerlendirilmesi

Çalışmamızda kanin ve premolar dişler ile bu dişlerin ark üzerinde yer alan bukkal ve palatinal alanları sağ tarafta 2. Bölge, sol tarafta ise 4. Bölge olarak adlandırılmış ve modelin bu alandaki doğruluğu RMS bulgusu ile değerlendirilmiştir. RMS ortalama değerleri incelendiğinde, 1 mm kalınlığındaki boşluklu yapıdaki modellerde her iki tarafta da SLA yazıcının en yüksek RMS ortalamasına sahip olduğu görülmektedir. 2 mm, 3 mm kalınlığındaki boşluklu ve boşluksuz yapıdaki modellerde ise Polyjet yazıcı en yüksek doğruluğu göstermiştir. Boşluksuz yapıda Polyjet ile SLA benzer RMS ortalama değerine sahip olurken, DLP istatistiksel olarak anlamlı düzeyde diğerlerinden daha düşük doğruluk sergilemiştir. Premolar ve kanin diş bölgelerinde SLA, boşluksuz yapıda anterior bölgedekine benzer şekilde diğer yazıcılara göre eşit veya daha yüksek doğruluğa sahip olmuştur.

Yoo ve ark. (117), SLA, MJP ve DLP yazıcılar ile ürettikleri boşluksuz yapıdaki maksiller modellerin doğruluğunu premolar ve molar dişler bölgesinde ayrı ayrı değerlendirmişler, 3B dijital yüzey çakıştırması ile premolar bölgesi için elde edilen RMS değerlerine göre MJP teknolojisinin (0.054 ± 0.002 mm), DLP (0.064 ± 0.009 mm) ve SLA (0.066 ± 0.005 mm) teknolojilerine istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek doğruluk sergilediğini göstermişlerdir ($p < 0.001$). Park ve ark. (113), SLA, DLP, FFM ve Polyjet teknolojileri ile boşluksuz yapıda mandibular modeller üreterek doğruluklarını değerlendirmiştir. Model üzerinde, kanin, 2. Premolar ve 2. molar dişlerin yerlerine silindirler yerleştirerek boyutsal doğrulukları değerlendirmişlerdir. Araştırma sonucu elde edilen 3B deviasyon miktarları incelendiğinde sol premolar bölgede sırasıyla en az sapma gösteren teknolojiler

Polyjet (116.0 μm), SLA (126.0 μm), DLP 1 (202.0 μm) ve DLP 2 (240.6 μm) olmuştur. Sağ tarafta ise sırasıyla en az sapma gösteren teknolojiler benzer şekilde Polyjet (132.1 μm), SLA (146.6 μm), DLP 1 (236.1 μm) ve DLP 2 (240.1 μm) olmuştur. Kanin bölgesindeki 3B deviasyon miktarları incelendiğinde sol tarafta sırasıyla en az sapma gösteren teknolojiler Polyjet (48.3 μm), SLA (86.6 μm), DLP 1 (111.4 μm) ve DLP 2 (172.9 μm) olmuştur. Sağ tarafta sırasıyla en az sapma gösteren teknolojiler Polyjet (83.5 μm), SLA (140.5 μm), DLP 1 (171.6 μm) ve DLP 2 (167.2 μm) olmuştur. Çalışmamızda da boşluksuz yapıdaki modellerde premolar ve kanin bölgede Park ve ark.'nın bulgularına benzer şekilde Polyjet en yüksek doğruluğu, DLP ise en düşük doğruluğu göstermiştir. Ancak, SLA ve Polyjet arasında fark gözlenmemiştir. Araştırmamızda kullanılan Form 3L yazıcısı, Park ve ark.'nın çalışmalarında kullandıkları Form 2 yazıcısından daha yüksek çözünürlüğe sahiptir. Bu durumun çalışmamızda Park ve ark.'nınkinden farklı olarak SLA ve Polyjet arasında istatiksel olarak anlamlı fark olmamasında etkisi olacağı düşünülmektedir. Bunun, baskı katman kalınlığındaki farklılıklar gibi üretim sürecine ait diğer parametreler ile boşluksuz modeller ait iki bulgu arasındaki farklılığa neden olabileceği düşünülmektedir.

Tasarımların farklı yazıcılardaki doğrulukları incelendiğinde, model kalınlığı arttıkça RMS sapma değerinin azaldığı ya da eşit kaldığı gözlenmiştir. Polyjet yazıcısı ile üretilen modellerde sağ ve sol premolar-kanin dişler bölgesi için, 1 mm kalınlığındaki boşluklu modeller diğer tasarımlara göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha düşük doğruluk sergilemiştir. SLA ve DLP yazıcılarda ise 1 mm kalınlığındaki boşluklu modeller ya yalnızca boşluksuz yapıdaki modellere ya da diğer tüm tasarımlara göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha düşük doğruluk sergilemiştir. Farklı tasarım ve yazıcı gruplarının RMS değerleri arasında belirgin istatistiksel farklılıklar olsa da Polyjet ile üretilen tüm tasarımların sapma değer ortalamalarının klinik düzeyde anlamlı farklılık sınırı olan ± 0.025 mm'nin altında olduğu görülmüştür. DLP ve SLA yazıcıları için ise 1 mm kalınlığındaki boşluklu modellerde yalnızca sağ premolar-kanin bölgesinde bu sınır aşılmaktadır. Bu bulgu, Polyjet ile üretimde boşluksuz modeller yerine en düşük kalınlıktaki boşluklu modellerin üretilebileceğini ve böylece %37,4 oranında rezin tasarrufu yapılabileceğini göstermektedir. DLP ve SLA yazıcılarında ise her iki taraftaki

premolar-kanin bölgenin klinik olarak kabul edilebilir sapma değerlerinde olabilmesi için boşluksuz modeller yerine en az 2 mm kalınlığındaki boşluklu yapıdaki modellerin üretimi uygun olacaktır. Böylece, DLP yazıcı ile üretimde %45,3 oranında, SLA yazıcı ile üretimde %39,7 oranında rezin tasarrufu sağlanabilecektir.

Çalışmamızda 1 ve 2. molar dişler ile bu dişlerin ark üzerinde yer alan bukkal ve palatinal alanları sağ tarafta 1. Bölge, sol tarafta ise 5. Bölge olarak adlandırılmış ve modelin bu alandaki doğruluğu RMS bulgusu ile değerlendirilmiştir. RMS ortalama değerleri incelendiğinde, 1. Bölge 1 mm kalınlığındaki boşluklu yapıdaki modeller hariç Polyjet ile üretilen tasarımlar istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha düşük RMS değerine sahip olmuştur. 1.Bölge'de ise DLP ile Polyjet arasında istatiksel bir farklılık gözlenmezken, DLP yazıcı ile SLA'ya göre daha yüksek doğrulukta modeller üretilmiştir.

Yoo ve ark. (117), SLA, MJP ve DLP yazıcıları ile ürettikleri boşluksuz yapıdaki maksiller modellerde 3B dijital yüzey çakıştırması ile elde ettikleri RMS değerlerine göre MJP teknolojisinin (0.096 ± 0.029 mm), SLA (0.101 ± 0.004 mm) ve DLP (0.117 ± 0.007 mm) teknolojilerine göre molar bölgesinde istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek doğruluk sergilediğini göstermişlerdir ($p <$ 0.001). Çalışmamızda da benzer şekilde 2 mm, 3 mm ve boşluksuz yapıdaki modellerde molar bölgede görülen deviasyon değerinin Polyjet yazıcıda SLA ve DLP'ye göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha düşük olduğu görülmektedir.

Çalışma sonuçlarımıza göre, boşluksuz yapıdaki tasarımlarda iki çalışma sonucu ile benzer şekilde en yüksek doğruluk sırasıyla Polyjet, SLA ve DLP teknolojileri ile üretilen modellerde görülmüştür. Bu bulguların elde edilmesinde, Polyjet teknolojisindeki kullanılabilecek baskı katman kalınlığının (14-16 μm) diğer tekniklere göre daha az olmasıyla daha pürüzsüz yüzey elde edilmesinin etkisi olduğu düşünülmektedir. Ancak, polimerizasyon süreci, üretim sonrası kürleme, kullanılan rezin tipi gibi tekniğe bağlı diğer parametrelerin farklı model geometrilerinde modelin doğruluğuna etkisi olduğu görülmektedir.

Park ve ark.'nın (113), farklı baskı teknolojileri ile ürettikleri modellerdeki 3B deviasyon miktarları incelendiğinde sol molar bölgede sırasıyla en az sapma

gösteren teknolojiler Polyjet (156.5 μm), SLA (266.4 μm), DLP 1 (307.3 μm) ve DLP 2 (266.4 μm) olmuştur. Sağ molar bölgede sırasıyla en az sapma gösteren teknolojiler Polyjet (273.5 μm), SLA (309.2 μm), DLP 1 (340.8 μm) ve DLP 2 (358.8 μm) olmuştur. Yazarlar, DLP teknolojsinde görülen bu farklılığın bir katmanın tek seferde pozlanarak polimerize edilmesinin xy düzleminde eş zamanlı kontraksiyonundan kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir (113).

Tüm yazıcı tiplerinde anterior ve posterior bölgedeki ortalama RMS değerleri karşılaştırıldığında, özellikle boşluklu modellerde anteriordaki sapma miktarının posteriora göre belirgin düzeyde daha düşük olduğu görülmektedir. Yapılan literatür incelemesinde araştırmacıların benzer bulgu ile karşılaştıkları görülmektedir. Shin ve ark. (15), farklı tasarımlarda ürettikleri boşluklu modellerde posterior bölgenin lingual yüzeylerinde diğer bölgelere göre daha fazla büzülme gözlemlemişlerdir. Park ve ark. (113), SLA, DLP, FDM ve Polyjet teknolojileri ile ürettikleri mandibular modellerde, kanin, 2. Premolar ve 2. molar dişlerin yerine silindirler yerleştirmişlerdir. Farklı yazıcıların kanin bölgesindeki 3B deviasyon miktarları sol ve sağ tarafta sırasıyla 101.2 μm -162.2 μm, premolar bölgesinde 140.4 μm - 230.2 μm ve molar bölgesinde 247.2 μm -358.8 μm' dir. Modelin farklı bölgelerindeki deviasyonu anteriordan posteriora doğru doğruluğun azaldığı görülmektedir.

Lin ve ark. (115) arkın anterioru ile posterioru arasında görülen farklılığın, modelin posteriorda açılanması ile sağ ve sol arkın birbirinden uzaklaşmasına ve arklar arası desteğin azalmasından kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir. Yoo ve ark. (117), çalışmalarında molar bölgedeki deviasyonların premolar bölgedekilere göre daha yüksek olduğunu vurgulamışlardır. Yazarlar, molar bölgedeki rezin polimer densitesi ve polimer zincirinin daha yüksek olması ve buna bağlı olarak polimerizasyon sürecinde boyutsal değişimlerin arttığını belirtmişlerdir. Dong ve ark. (6), DLP yazıcıda ürettikleri boşluksuz yapıdaki modellerin doğruluğunu diş arkını her iki kanin diş arasını anterior bölgede, premolar ve molar dişler ise posterior bölgede olacak şekilde ayrı ayrı değerlendirmişlerdir. 3B dijital yüzey çakıştırması ile elde edilen ortalama deviasyon değerlerinin posteriorda anteriora göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Kanin diş, arkı birbirine bağlayan merkezi konumda yer almaktadır. Araştırmacılar bir nesnede görülen deformasyonun merkezden

uzaklaşıldıkça arttığını ve bu nedenle molar bölgede daha çok deviasyon görüldüğünü belirtmişlerdir (6).

Çalışmamızda yer alan RMS değerleri incelendiğinde, önceki çalışmalar ile benzer şekilde, özellikle daha ince yapıdaki boşluklu tasarımlarda molar bölgede, anterior bölgeye göre deviasyonların arttığı görülmüştür. Bunda, molar bölgedeki yüksek densitedeki polimer zincirinin polimerizasyon sırasındaki termal ekspansiyon veya kontraksiyonun yanı sıra, modelin anteriordan posteriora açılanmasının ve bu bölgenin merkezden uzak uç konumunda olmasının etkisi olduğu düşünülmektedir.

Tasarımların farklı yazıcılardaki doğrulukları incelendiğinde, diğer bölgelerde olduğu gibi model kalınlığı arttıkça RMS sapma değerinin azaldığı gözlenmiştir. Sol molar bölgede, 1mm kalınlığındaki boşluklu tasarım tüm yazıcılarda diğer tasarımlara göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek deviasyon göstermiştir. DLP ve SLA yazıcılarında 2 mm kalınlığındaki boşluklu tasarım, boşluksuz yapıdakinden belirgin derecede yüksek sapma göstermiştir. Sağ molar bölgede ise DLP yazıcı için tasarımlar arasında istatiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık gözlenmezken, Polyjet'te 1mm yapıdaki boşluklu model diğer tasarımlara göre istatiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek deviasyon, SLA'da ise boşluksuz yapıdaki model diğer tasarımlara göre istatiksel olarak anlamlı düzeyde düşük deviasyon göstermiştir.

Farklı tasarımlar ve yazıcı gruplarındaki RMS değer ortalamalarına bakıldığında Polyjet yazıcısının 1mm dışındaki tasarımların hem sağ hem de sol molar bölgede klinik anlamlılık sınırı olan ± 0.025 mm'yi geçmediği görülmüştür. Bu bulgu, üretimde boşluksuz yapı yerine 2 mm kalınlığındaki boşluklu yapıda üretilmesi ile Polyjet yazıcıda %26,8 daha az rezin kullanılabileceğini göstermektedir. DLP yazıcıda sağ molar bölgesi için tüm tasarımlar klinik anlamlılık sınırının altındayken, sol molar bölgede sadece boşluksuz yapıdaki model bu sınırı aşmamaktadır. SLA yazıcıda hem sağ hem de sol taraftaki bölgelerde sadece boşluksuz yapıdaki modellerin klinik anlamlılık sınırını aşmadığı görülmüştür. Bu bağlamda, DLP ve SLA yazıcılar ile üretimde hem sağ hem de sol molar bölgelerin klinik olarak kabul edilebilir doğrulukta üretimi için boşluksuz yapıda model tasarımı kullanılmalıdır.

5.1.2. Doğrusal Ölçümlerin Değerlendirilmesi

Çalışmamızda, modellerin transversal boyuttaki değişimlerini değerlendirmek üzere interkanin ve intermolar mesafeler ölçülmüştür. Buna göre, interkanin mesafe ölçümlerinde 3 mm kalınlığındaki boşluklu modeller ile boşluksuz yapıdaki modellerin farklı yazıcılardaki sapma miktarları arasında istatiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık gözlenmemiştir. Ancak, 1 mm ve 2 mm kalınlığındaki boşluklu modellerde en yüksek sapmayı SLA yazıcısı göstermiştir. İntermolar mesafe ölçümlerinde 1 mm ve 2 mm kalınlığındaki boşluklu modellerde en yüksek sapmayı Polyjet gösterirken, 3 mm kalınlığındaki modellerde yazıcılar arasında belirgin bir fark görülmemiştir. Boşluksuz yapıda ise en yüksek sapmayı SLA yazıcısı göstermiştir.

Camardella ve ark.'nın (112) farklı kaide tasarımına sahip boşluksuz modellerin doğruluğunu değerlendirdikleri araştırmalarında, modeller arasındaki transversal farklılıklar her iki taraftaki kanin, premolar ve molar dişler arasında yapılan doğrusal ölçümler ile değerlendirilmiştir. Buna göre, SLA yazıcısı ile üretilen ve at nalı şeklinde kaide sahip modellerde kesintisiz kaideli ve palatal bölgede transversal bar bulunan modellere göre transversal boyutta istatiksel olarak belirgin düzeyde azalma görülmüştür. Polyjette ise hem anterior hem posteriorda belirgin bir değişklik gözlenmemiştir. Yazarlar, SLA ile üretimde at nalı şeklindeki modellerde palatal bölgeye ek bir bar eklemenin kontraksiyonu önlemede etkili olabileceğini belirtmiştir (112). Çalışmamızda benzer şekilde SLA ile üretilen boşluksuz modellerde posteriorda anteriora göre sapma miktarı daha fazladır. İnterkanin mesafedeki sapma miktarı -20 iken, intermolar mesafede bu değer -87 olarak ölçülmüştür. Polyjette ise interkanin ve intermolar mesafe arasındaki fark SLA'ya göre daha az ölçülmüştür. Elde edilen sapmaların azaltılmasında palatal bölgeye ek olarak trsanversal düzlemde destek yapı eklemenin kontraksiyonu azaltacağı düşünülmektedir.

Sherman ve ark. (92), DLP teknolojisi ile üretilen boşluklu ve boşluksuz yapıdaki modelleri, baskı tablasında farklı pozisyonlarda konumlandırmış ve değişen baskı katman kalınlıklarında üretmişlerdir. Sonuçta, intermolar ve interkanin mesafe farklılıkları arasında boşluklu ve boşluksuz yapıdaki modeller için istatistiksel olarak

anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir. Çalışmamızda, DLP ile üretilen farklı tasarımlardaki modellerde benzer şekilde her iki ölçüm için de istatistiksel farklılık görülmemiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

DLP, SLA, Polyjet baskı teknolojileri ile üretilen 1 mm, 2 mm, 3 mm kalınlığındaki boşluklu ve boşluksuz yapıdaki modeller üzerinde gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları ve önerileri aşağıda özetlenmiştir. Çalışmanın sınırları göz önünde bulundurularak şu sonuçlara ulaşılabilir :

1. Farklı kalınlıktaki boşluklu tasarımlar ve baskı teknolojileri, diş arkının şekli, baskı teknolojisinin ve materyallerinin özellikleri ve üretim koşulları gibi çeşitli faktörler nedeniyle diş arkının farklı bölgelerinde değişen sonuçlar göstermiştir.

2. Dijital yüzey çakıştırması sonucu total ark için elde edilen RMS verilerine göre, Polyjet teknolojisi tüm tasarımlarda diğer baskı tekniklerine göre daha doğru üretim sağlamıştır. Polyjet teknolojisini sırasıyla DLP ve SLA teknolojileri izlemiştir. Boşluksuz modeller yerine, Polyjet yazıcısı ile 2 mm ve 3 mm, DLP ve SLA yazıcısı ile 3 mm kalınlığındaki boşluklu modellerin üretimi, doğruluğun klinik açıdan kabul edilebilir sınırlar dahilinde olması nedeniyle önerilmektedir.

3. Anterior bölge için elde edilen RMS verilerine göre, 1 mm, 2 mm ve 3 mm kalınlığındaki boşluklu modeller için DLP yazıcı en yüksek doğruluğu, SLA yazıcı ise en düşük doğruluğu göstermiştir. Boşluksuz yapıdaki modellerde ise en yüksek doğruluk sırasıyla SLA, DLP ve Polyjet yazıcılarında olmuştur. Yazıcılar ve tasarımlar arasında istatiksel farklılıklar olsa da, tüm boşluklu tasarımların üretimi, doğruluğun klinik açıdan kabul edilebilir sınırlar dahilinde olması nedeniyle önerilmektedir.

4. Kanin ve premolar bölge için elde edilen RMS verilerine göre arkın her iki tarafında ortak olarak, boşluksuz yapıdaki modellerde DLP diğer baskı tekniklerine göre daha az doğrulukta üretim yapmıştır. Tüm yazıcılarda, 1 mm kalınlığındaki boşluklu tasarım, 3 mm kalınlığındaki boşluklu ve boşluksuz yapıdaki tasarıma göre istatistiksel olarak belirgin düzeyde yüksek sapma göstermiştir. Boşluksuz modeller yerine, Polyjet yazıcısı ile tüm boşluklu modellerin, DLP ve

SLA yazıcısı en az 2 mm kalınlığındaki boşluklu yapıdaki modellerin üretimi, doğruluğun klinik açıdan kabul edilebilir sınırlar dahilinde olması nedeniyle önerilebilmektedir.

5. Molar bölge için elde edilen RMS verilerine göre arkın her iki tarafında ortak olarak, 2 mm, 3 mm kalınlığındaki boşluklu ve boşluksuz yapıdaki tasarımlar için Polyjet istatistiksel olarak anlamlı düzeyde diğer baskı tekniklerine göre daha iyi sonuç vermiştir. Her iki tarafta klinik olarak kabul edilebilir doğrulukta model üretimi için DLP ve SLA yazıcılarında boşluksuz, Polyjet yazıcısında ise en az 2 mm kalınlığındaki boşluklu yapıdaki modellerin üretimi önerilebilmektedir.

7. KAYNAKLAR

1. McGuinness NJ, Stephens CD. Storage of orthodontic study models in hospital units in the U.K. Br J Orthod. 1992;19(3):227–32.
2. Abizadeh N, Moles DR, O'Neill J, Noar JH. Digital versus plaster study models: How accurate and reproducible are they? J Orthod. 2012;39(3):151–9.
3. Fleming PS, Marinho V, Johal A. Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: A systematic review. Vol. 14, Orthodontics and Craniofacial Research. 2011: 1–16.
4. Martin CB, Chalmers E V., McIntyre GT, Cochrane H, Mossey PA. Orthodontic scanners: What's available? J Orthod. 2015;42(2):136–43.
5. Tarraf NE, Ali DM. Present and the future of digital orthodontics. Semin Ortho. 2018;24(4):376–85.
6. Dong T, Wang X, Xia L, Yuan L, Ye N, Fang B. Accuracy of different tooth surfaces on 3D printed dental models: Orthodontic perspective. BMC Oral Health. 2020;20:1–8.
7. Tsolakis IA, Gizani S, Panayi N, Antonopoulos G, Tsolakis AI. Three-Dimensional Printing Technology in Orthodontics for Dental Models: A Systematic Review. Children. 2022;9(8):1–15.
8. Saccomanno S, Saran S, Vanella V, Mastrapasqua RF, Raffaelli L, Levrini L. The Potential of Digital impression in orthodontics. Dent J. 2022;10(8):1–9.
9. Kravitz ND, Groth C, Jones PE, Graham JW, Redmond WR. Intraoral digital scanners. J Clin Orthod. 2014;48(6):337–47.
10. Agrawal JM, Agrawal MS, Nanjannawar LG, Parushetti AD. CBCT in Orthodontics : The wave of future. 2013;14(February):153–7.
11. Ledingham AD, English JD, Akyalcin S, Cozad BE, Ontiveros JC, Kasper FK. Accuracy and mechanical properties of orthodontic models printed 3-dimensionally from calcium sulfate before and after various postprinting treatments. Am J Orthod Dentofac Orthop. 2016;150(6):1056–62.
12. 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. J Prosthodont. 2020;29(2):124–8.
13. Quan H, Zhang T, Xu H, Luo S, Nie J, Zhu X. Photo-curing 3D printing technique and its challenges. Bioact Mater. 2020;5(1):110–5.
14. Revilla-León M, Piedra-Cascón W, Aragoneses R, Sadeghpour M, Barmak BA, Zandinejad A, et al. Influence of base design on the manufacturing accuracy of vat-polymerized diagnostic casts: An in vitro study. J Prosthet Dent. 2023;129(1):166–73.
15. Shin S-H, Lim J-H, Kang Y-J, Kim J-H, Shim J-S, Kim J-E. Evaluation of the 3D Printing Accuracy of a Dental Model According to Its Internal Structure and Cross-Arch Plate Design:

An In Vitro Study. Materials (Basel). 2020;13(23):5433.

16. Kenning KB, Risinger DC, English JD, Cozad BE, Harris LM, Ontiveros JC, et al. Evaluation of the dimensional accuracy of thermoformed appliances taken from 3D printed models with varied shell thicknesses: An in vitro study. Int Orthod. 2021;19(1):137–46.
17. Chanyawatana, N., Pisitanusorn, A., & Angkasith, P. (2021). Accuracy of LCD Printed Hollow Models with Differences in Thickness and the Presence of Grid. Journal of International Dental and Medical Research, 14(3), 970-976.
18. Kau CH, Olim S, Nguyen JT. The Future of Orthodontic Diagnostic Records. Semin Orthod. 2011;17(1):39–45.
19. Rischen RJ, Breuning KH, Bronkhorst EM, Kuijpers-Jagtman AM. Records needed for orthodontic diagnosis and treatment planning: a systematic review. PLoS One. 2013;8(11):e74186.
20. Zilberman O, Huggare JÅ V., Parikakis KA. Evaluation of the validity of tooth size and arch width measurements using conventional and three-dimensional virtual orthodontic models. Angle Orthod. 2003;73(3):301–6.
21. Balkenhol M, Haunschild S, Erbe C, Wöstmann B. Influence of prolonged setting time on permanent deformation of elastomeric impression materials. J Prosthet Dent. 2010;103(5):288–94.
22. Žilinskas J, Junevičius J, Ramonaitė A, Pavilonis A, Gleiznys A, Sakalauskienė J. Viability changes: Microbiological analysis of dental casts. Med Sci Monit Int Med J Exp Clin Res. 2014;20:932.
23. Yılmaz S, Calikoglu EO, Kosan Z. for an Uncommon Neurosurgical Emergency in a Developing Country. Niger J Clin Pract. 2019;22:1070–7.
24. Shastry S, Park JH. Evaluation of the use of digital study models in postgraduate orthodontic programs in the United States and Canada. Angle Orthod. 2014;84(1):62–7.
25. Jabri MA, Wu S, Pan Y, Wang L. An overview on the veracity of intraoral digital scanning system and utilization of iTero scanner for analyzing orthodontic study models both In-Vivo and Ex-Vivo. Niger J Clin Pract. 2021;24(1):1–7.
26. Kessler A, Hickel R, Reymus M. 3D printing in dentistry-state of the art. Oper Dent. 2020;45(1):30–40.
27. Büyükkaraca, TN., Canan, S, Baykan, ÖK, & Çakı, Mİ 3D Dilimleme Yöntemi ile Kalıp Çıkarma. International Journal Of 3d Printing Technologies And Digital Industry 2:1(2019) 11-14
28. DUMAN, Öğr Gör Dr Burhan; KAYACAN, M. Cengiz. Eklemeli İmalatta Kullanılan Stl Dosyalarının Hataları Ve Onarım Yöntemleri.
29. Angelopoulos C, Scarfe WC, Farman AG. A Comparison of Maxillofacial CBCT and Medical CT. Atlas Oral Maxillofac Surg Clin NA. 2012;20(1):1–17.
30. Hechler SL. Cone-Beam CT : Applications in Orthodontics. 2008;52:809–23.
31. Pittayapat P, Bornstein MM, Imada TSN, Coucke W, Lambrichts I, Jacobs R. Accuracy of

linear measurements using three imaging modalities: two lateral cephalograms and one 3D model from CBCT data. Eur J Orthod. 2015;37(2):202–8.

32. Giudice A Lo, Quinzi V, Ronsivalle V, Farronato M, Nicotra C, Indelicato F, et al. Evaluation of imaging software accuracy for 3-dimensional analysis of the mandibular condyle. A comparative study using a surface-to-surface matching technique. Int J Environ Res Public Health. 2020;17(13):1–15.
33. Chen S, Wang L, Li G, Wu TH, Diachina S, Tejera B, et al. Machine learning in orthodontics: Introducing a 3D auto-segmentation and auto-landmark finder of CBCT images to assess maxillary constriction in unilateral impacted canine patients. Angle Orthod. 2020;90(1):77–84.
34. Giudice A Lo, Ronsivalle V, Grippaudo C, Lucchese A, Muraglie S, Lagravère MO, et al. One step before 3D printing-evaluation of imaging software accuracy for 3-dimensional analysis of the mandible: A comparative study using a surface-to-surface matching technique. Materials (Basel). 2020;13(12).
35. Harari D, Redlich M, Miri S, Hamud T, Gross M. The effect of mouth breathing versus nasal breathing on dentofacial and craniofacial development in orthodontic patients. Laryngoscope. 2010;120(10):2089–93.
36. Akça AB, Şahin HO. Ortodontide modern tanı ve tedavi araçları. J Int Dent Sci. 2018;4(2).
37. Kusnoto B, Evans CA. Reliability of a 3D surface laser scanner for orthodontic applications. Am J Orthod Dentofac Orthop. 2002;122(4):342–8.
38. Thiruvenkatachari B, Al-Abdallah M, Akram NC, Sandler J, O'Brien K. Measuring 3-dimensional tooth movement with a 3-dimensional surface laser scanner. Am J Orthod Dentofac Orthop. 2009;135(4):480–5.
39. Carlson DS, Ferrara AM. Orthodontics in an aging society : this volume includes the proceedings of the Annual Symposium on Craniofacial Growth, February 19-20, 1988, Ann Arbor, Michigan. Vol. i. 1989. 199 p.
40. Lecocq G. Digital impression-taking: Fundamentals and benefits in orthodontics. Int Orthod. 2016;14(2):184–94.
41. Patzelt SBM, Lamprinos C, Stampf S, Att W. The time efficiency of intraoral scanners: an in vitro comparative study. J Am Dent Assoc. 2014;145(6):542–51.
42. Önem E, Baksı Şen G, Turhal RI, Şen BH. Maksiller molar dişlerde kanal duvarı kalınlığının dental volümetrik tomografi ile değerlendirilmesi. Selcuk Dent J. 2020;470:466–70.
43. Tomita Y, Uechi J, Konno M, Sasamoto S, Iijima M, Mizoguchi I. Accuracy of digital models generated by conventional impression/plaster-model methods and intraoral scanning. Dent Mater J. 2018;37(4):628–33.
44. 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.
45. Standard A. Standard terminology for additive manufacturing technologies. ASTM Int F2792-12a. 2012;1–9.

46. Sehrawat S, Kumar A, Prabhakar M, Nindra J. The expanding domains of 3D printing pertaining to the speciality of orthodontics. Mater Today Proc. 2021;50:1611–8.
47. Prabhakar MM, Saravanan AK, Lenin AH, Leno IJ, Mayandi K, Ramalingam PS. A short review on 3D printing methods, process parameters and materials. Mater Today Proc. 2020;45:6108–14.
48. Groth C, Kravitz ND, Jones PE, Graham JW, Redmond WR. Three-dimensional printing technology. J Clin Orthod. 2014;48(8):475–85.
49. Fan D, Li Y, Wang X, Zhu T, Wang Q, Cai H, et al. Progressive 3D Printing Technology and Its Application in Medical Materials. Front Pharmacol. 2020;11:1–12.
50. Dawood A, Marti BM, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. Br Dent J. 2015;219(11):521–9.
51. Mahamood S, Khader MA, Ali H. Applications of 3-D printing in orthodontics: a review. Int J Sci Study. 2016;3(11):267–70.
52. Kumar LJ, Pandey PM, Wimpenny DI. 3D printing and additive manufacturing technologies. Vol. 311. Springer; 2019.
53. Scribante A, Gallo S, Pascadopoli M, Canzi P, Marconi S, Montasser MA, et al. Properties of CAD/CAM 3D printing dental materials and their clinical applications in orthodontics: Where are we now? Appl Sci. 2022;12(2).
54. Junk S, Kuen C. Review of Open Source and Freeware CAD Systems for Use with 3D-Printing. Procedia CIRP. 2016;50:430–5.
55. Bourell D, Kruth JP, Leu M, Levy G, Rosen D, Beese AM, et al. Materials for additive manufacturing. CIRP Ann - Manuf Technol. 2017;66(2):659–81.
56. Özsoy, K., & Duman, B. (2017). Eklemeli İmalat (3 Boyutlu Baski) Teknolojilerinin Eğitimde Kullanilabilirliği. International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, 1(1), 36-48.
57. Dizon JRC, Gache CCL, Cascolan HMS, Cancino LT, Advincula RC. Post-processing of 3D-printed polymers. Technologies. 2021;9(3):61.
58. Hashmi AW, Mali HS, Meena A. The surface quality improvement methods for FDM printed parts: a review. Fused Depos Model Based 3D Print. 2021;167–94.
59. Hull CW. The birth of 3D printing. Res Manag. 2015;58(6):25–30.
60. 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.
61. Tian, Y., Chen, C., Xu, X., Wang, J., Hou, X., Li, K., ... & Jiang, H. B. (2021). A review of 3D printing in dentistry: Technologies, affecting factors, and applications. Scanning, 2021.
62. Katal G, Tyagi N, Joshi A. Digital light processing and its future applications. Int J Sci Res Publ. 2013;3(4):2250–3153.
63. Tsolakis IA, Papaioannou W, Papadopoulou E, Dalampira M, Tsolakis AI. Comparison in terms of accuracy between DLP and LCD printing technology for dental model printing. Dent

J. 2022;10(10):181.

64. Boca M, Sover A, Slătineanu L. The printing parameters effects on the dimensional accuracy of the parts made of photosensitive resin. In: Macromolecular Symposia. Wiley Online Library; 2021. p. 2000287.
65. Xenikakis I, Tsongas K, Tzimtzimis EK, Zacharis CK, Theodoroula N, Kalogianni EP, et al. Fabrication of hollow microneedles using liquid crystal display (LCD) vat polymerization 3D printing technology for transdermal macromolecular delivery. Int J Pharm. 2021;597:120303.
66. Tumbleston, John R., et al. Continuous liquid interface production of 3D objects. *Science*, 2015, 347.6228: 1349-1352.Science (80-). 2015;347(6228):1349–52.
67. Patzelt SBM, Bishti S, Stampf S, Att W. Accuracy of computer-aided design/computer-aided manufacturing–generated dental casts based on intraoral scanner data. J Am Dent Assoc. 2014;145(11):1133–40.
68. Gaynor AT, Meisel NA, Williams CB, Guest JK. Multiple-material topology optimization of compliant mechanisms created via PolyJet three-dimensional printing. J Manuf Sci Eng. 2014;136(6).
69. Sanders J, Wei X, Pei Z. Experimental investigation of Stratasys J750 PolyJet printer: effects of orientation and layer thickness on thermal glass transition temperature. In: International Mechanical Engineering Congress and Exposition: Salt Lake City, UT, USA. 2019.
70. Hong D, Kim H, Kim T, Kim Y-H, Kim N. Development of patient specific, realistic, and reusable video assisted thoracoscopic surgery simulator using 3D printing and pediatric computed tomography images. Sci Rep. 2021;11(1):6191.
71. Sachs E, Cima M, Williams P, Brancazio D, Cornie J. Three Dimensional Printing: Rapid Tooling and Prototypes Directly from a CAD Model. J Eng Ind. 1992 Nov 1;114(4):481–8.
72. Rybicki FJ, Grant GT. 3D printing in medicine a practical guide for medical professionals. 2017. 139 p.
73. Sahin K, Turan BO. Üç Boyutlu YaziTeknolojilerinin KarşilaştirmalAnalizi. Strat ve Sos Araştırmalar Derg. 2018;2(2):97–116.
74. 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. 2021;119:100707.
75. Du W, Ren X, Ma C, Pei Z. Binder jetting additive manufacturing of ceramics: A literature review. In: ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition. American Society of Mechanical Engineers; 2017. p. V014T07A006.
76. Baich L, Manogharan G, Marie H. Study of infill print design on production cost-time of 3D printed ABS parts. Int J Rapid Manuf. 2015;5(3–4):308–19.
77. Oyar P. Laser sintering technology and balling phenomenon. Photomed Laser Surg. 2018;36(2):72–7.
78. Bartkowiak T, Walkowiak-Śliziuk A. 3D printing technology in orthodontics – review of current applications. J Stomatol. 2018;71(4):356–64.

79. Masri R, Driscoll CF. Clinical applications of digital dental technology. Wiley Online Library; 2015.
80. Strub J.R., Rekow E.D., Witkowski S. Computer-aided design and fabrication of dental restorations-Current systems and future possibilities. J Am Dent Assoc. 2016;137:1289–96.
81. Bhushan B, Caspers M. An overview of additive manufacturing (3D printing) for microfabrication. Microsyst Technol. 2017;23(4):1117–24.
82. 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;152(4):557–65.
83. Arnold C, Monsees D, Hey J, Schweyen R. Surface quality of 3D-printed models as a function of various printing parameters. Materials (Basel). 2019;12(12):1–15.
84. McCarty MC, Chen SJ, English JD, Kasper F. Effect of print orientation and duration of ultraviolet curing on the dimensional accuracy of a 3-dimensionally printed orthodontic clear aligner design. Am J Orthod Dentofac Orthop. 2020;158(6):889–97.
85. Rubayo DD, Phasuk K, Vickery JM, Morton D, Lin WS. Influences of build angle on the accuracy, printing time, and material consumption of additively manufactured surgical templates. J Prosthet Dent. 2021;126(5):658–63.
86. Gao H, Yang Z, Lin W. The Effect of Build orientation on the dimensional accuracy of 3D-printed mandibular complete dentures manufactured with a Multijet 3D Pprinter. 2021;30:684–9.
87. Hada, Tamaki, et al. Effect of printing direction on the accuracy of 3D-printed dentures using stereolithography technology. Materials, 2020, 13.15: 3405.
88. 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;80(4):194–204.
89. YOU, Seung-Min, et al. Evaluation of the accuracy (trueness and precision) of a maxillary trial denture according to the layer thickness: An in vitro study. The Journal of prosthetic dentistry, 2021, 125.1: 139-145.
90. Loflin WA, English JD, Borders C, Harris LM, Moon A, Holland JN, et al. Effect of print layer height on the assessment of 3D-printed models. Am J Orthod Dentofac Orthop. 2019;156(2):283–9.
91. Belnap, Bryndon. Effect of build angle and model body type (solid vs shell) on accuracy of 3D-printed orthodontic models using a DLP printer. University of Missouri-Kansas City, 2022.
92. Sherman SL, Kadioglu O, Currier GF, Kierl JP, Li J. Accuracy of digital light processing printing of 3-dimensional dental models. Am J Orthod Dentofac Orthop. 2020;157(3):422–8.
93. English JD, Co-chairman TC, Kasper FK, Co-chairman TC, Cozad BE, Harris LM, et al. Effect of 3D Printed Dental Model Shell Thickness on the Dimensional Fidelity of Thermoformed Appliances.
94. Formlabs Inc. Form Cure time and temperature settings. Formlabs Inc. 2022;14–6.

95. Kim D, Shim J-S, Lee D, Shin S-H, Nam N-E, Park K-H, et al. Effects of post-curing time on the mechanical and color properties of three-dimensional printed crown and bridge materials. Polymers (Basel). 2020;12(11):2762.
96. Ling L, Taremi N, Malyala R. A novel low-shrinkage resin for 3D printing. J Dent. 2022;118:103957.
97. Manapat JZ, Chen Q, Ye P, Advincula RC. 3D printing of polymer nanocomposites via stereolithography. Macromol Mater Eng. 2017;302(9):1600553.
98. Zhao T, Yu R, Huang W, Zhao W, Wang G. Aliphatic silicone-epoxy based hybrid photopolymers applied in stereolithography 3D printing. Polym Adv Technol. 2021;32(3):980–7.
99. Mendes-Felipe C, Oliveira J, Etxebarria I, Vilas-Vilela JL, Lanceros-Mendez S. State-of-the-art and future challenges of UV curable polymer-based smart materials for printing technologies. Adv Mater Technol. 2019;4(3):1800618.
100. 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.
101. Zhang Z, Li P, Chu F, Shen G. Influence of the three-dimensional printing technique and printing layer thickness on model accuracy. J Orofac Orthop der Kieferorthopädie. 2019;80(4):194–204.
102. Phan X, Ling PH. Clinical limitations of invisalign. J Can Dent Assoc (Tor). 2007;73(3):263–6.
103. Tarraf NE, Ali DM. Present and the future of digital orthodontics. Semin Orthod. 2018;24(4):376–85.
104. Revılla-León, Marta, et al. Influence of base design on the manufacturing accuracy of vat-polymerized diagnostic casts: An in vitro study. The Journal of Prosthetic Dentistry, 2021.
105. 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.
106. Cousley RRJ. Introducing 3D printing in your orthodontic practice. J Orthod. 2020;47(3):265–72.
107. Jin M-C, Yoon H-I, Yeo I-S, Kim S-H, Han J-S. The effect of build angle on the tissue surface adaptation of maxillary and mandibular complete denture bases manufactured by digital light processing. J Prosthet Dent. 2020;123(3):473–82.
108. 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 [cited 2020 Jul 19];152(4):557–65.
109. Masood SH, Rattanawong W, Iovenitti P. A generic algorithm for a best part orientation system for complex parts in rapid prototyping. J Mater Process Technol. 2003;139(1):110–6. A
110. Revilla-León M, Gohil A, Barmak AB, Zandinejad A, Raigrodski AJ, Alonso Pérez-Barquero

J. Best-Fit Algorithm Influences on Virtual Casts' Alignment Discrepancies. J Prosthodont. 2022:1–9.

111. Hirogaki Y, Sohmura T, 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.
112. 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;151(6):1178–87.
113. Park J-M, Jeon J, Koak J-Y, Kim S-K, Heo S-J. Dimensional accuracy and surface characteristics of 3D-printed dental casts. J Prosthet Dent. 2021;126(3):427–37.
114. 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;151(6):1178–87.
115. Lin LH, Granatelli J, Alifui-Segbaya F, Drake L, Smith D, Ahmed KE. A Proposed In Vitro Methodology for Assessing the Accuracy of Three-Dimensionally Printed Dental Models and the Impact of Storage on Dimensional Stability. Appl Sci. 2021;11(13):5994.
116. Kim S-Y, Shin Y-S, Jung H-D, Hwang C-J, Baik H-S, Cha J-Y. Precision and trueness of dental models manufactured with different 3-dimensional printing techniques. Am J Orthod Dentofac Orthop. 2018;153(1):144–53.
117. Yoo S-Y, Kim S-K, Heo S-J, Koak J-Y, Kim J-G. Dimensional accuracy of dental models for three-unit prostheses fabricated by various 3D printing technologies. Materials (Basel). 2021;14(6):1550.

8.ÖZGEÇMİŞ

I- Bireysel Bilgiler

Adı-Soyadı : Ebru Yurdakurban

Doğum Yeri ve Tarihi :

Uyruğu :

Medeni Durumu :

İletişim Adresi ve Tel :

Yabancı Dili :

II- Eğitimi (tarih sırasına göre yeniden eskiye doğru)

III- Ünvanları (tarih sırasına göre eskiden yeniye doğru)

Diş Hekimi (2012-2019)

Araştırma Görevlisi (2019-Halen)

IV- Mesleki Deneyimi

Diş Hekimi (2012-2019)

Araştırma Görevlisi (2019-Halen)

V- Üye Olduğu Bilimsel Kuruluşlar

Türk Ortodonti Derneği

VI- Bilimsel İlgi Alanları

Yayınları:

Yurdakurban, Ebru, Gökhan Serhat Duran, and Serkan Görgülü. "Evaluation of an automated approach for facial midline detection and asymmetry assessment: A preliminary study." *Orthodontics & Craniofacial Research* 24 (2021): 84-91.

DURAN, Gökhan Serhat, et al. "Current Trends in Cleft Lip and Palate Publications During the Last 10 Years: A Bibliometric Analysis." *Selcuk Dental Journal* 9.3: 777-784.

Kitap Bölümleri:

Yurdakurban, Ebru ve Duran Gökhan Serhat. "ORTODONTİDE CAD/CAM TEKNOLOJİSİNİN UYGULAMA ALANLARI." Sağlık & Bilim 2022: Medikal Araştırmalar-1: 45.

Bildirileri:

Yurdakurban Ebru, Topsakal Kübra Gülnur, Duran Gökhan Serhat, Görgülü Serkan (2022). İskeletsel Ankraj Destekli Maksiller Molar Distalizasyonu ve Yer Darlığı Düzeltimi: Olgu Sunumu. 5th Internatıonal Congress Of Multidisciplinary Studies In Medical Sciences (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:8291022)

Topsakal Kübra Gülnur, Gökmen Şule, Yurdakurban Ebru, Duran Gökhan Serhat, Görgülü Serkan (2022). Evaluation Of Maxillary Base Length In Individuals With Impacted Canines. 5th International Health Science and Life Congress (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No: 8293360)

Topsakal Kübra Gülnur, Yurdakurban Ebru, Gökmen Şule, Duran Gökhan Serhat, Görgülü Serkan (2022). Comparison Of Maxillary Central Incisors Crown-Root Angle In Skeletal Class 1 And Class 3 Malocclusion Individuals. International Egean Conferences on Natural&Medical Sciences 5. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No: 8290961)

Topsakal Kübra Gülnur, Gökmen Şule, Yurdakurban Ebru, Duran Gökhan Serhat, Görgülü Serkan (2022). Artificial Intelligence (AI) Applications In Orthodontics. International Egean Conferences on Natural&Medical Sciences 5. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No: 8290973)

Topsakal Kübra Gülnur, Yurdakurban Ebru, Gökmen Şule, Duran Gökhan

Serhat, Görgülü Serkan (2022). Evaluation Of The Maxıllary Base Length Of Individuals With Lateral Deficiency In The Maxilla. 8th International Scientific Researches Conference. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No: 8290938)

Bozoğlu Burcu, Yurdakurban Ebru, Topsakal Kübra Gülnur, Duran Gökhan Serhat, Görgülü Serkan (2021). Cad-Cam Teknolojisi ile Aparey Üretimi ve Kişiselleştirilmiş Düzenlemeler/Applience Manufacturing and Personalized Arrangement with CAD/Cam Technology. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi 1. Uluslarası Diş Hekimliği Kongresi. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No: 8288639)

Yurdakurban Ebru, Gökmen Şule, Duran Gökhan Serhat, Topsakal Kübra Gülnur, Görgülü Serkan (2022). Ortodontide Yapay Zeka Konulu Yayınlardaki Güncel Eğilimler: Bibliyometrik Analiz / Current Trends in Publications on Artificial Intelligence in Orthodontics: Bibliometric Analysis. 18. Uluslararası Türk Ortodonti Derneği Kongresi. (Poster/Sözlü Sunum)(Yayın No: 7938705)