



**YAKIN DOĞU ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORTODONTİ ANABİLİM DALI**

**KONİK IŞINLI BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİDEN ELDE
EDİLEN MODELLER ÜZERİNDE YAPILAN LİNEER
ÖLÇÜMLERİN DOĞRULUĞUNUN
KARŞILAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

İsmet ERSALICI

Lefkoşa

Mayıs, 2025

İSMET ERSALICI

**Konik Işınli Bilgisayarlı
Tomografiden Elde Edilen Modeller
Üzerinde Yapılan Lineer Ölçümlerin
Doğruluğunun Karşılaştırılması**

DOKTORA TEZİ

2025

**YAKIN DOĞU ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORTODONTİ ANABİLİM DALI**

**KONİK IŞINLI BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİDEN ELDE
EDİLEN MODELLER ÜZERİNDE YAPILAN LİNEER
ÖLÇÜMLERİN DOĞRULUĞUNUN
KARŞILAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

İsmet ERSALICI

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Beste KAMILOĞLU

Tez Eş Danışmanı

Prof. Dr. Kaan Orhan

Lefkoşa

Mayıs, 2025

Onay

İSMET ERSALICI tarafından hazırlanan **KONİK İŞİNLİ BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİDEN ELDE EDİLEN MODELLER ÜZERİNDE YAPILAN LİNEER ÖLÇÜMLERİN DOĞRULUĞUNUN KARŞILAŞTIRILMASI** başlıklı tez, kapsam ve nitelik açısından kalite standartlarına uygunluğu ile ilgili Ortodonti Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak 2/5/2025 tarihinde kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Adı – Soyadı	İmza
Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Zahir Altuğ	
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Ayşe Tuba Altuğ	
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Seçil Aksoy	
Jüri Üyesi:	Assist. Prof. Dr. Kemal Güldüren	
Danışman:	Assist. Prof. Dr. Beste Kamiloğlu	

İmza

[Handwritten signatures of Prof. Dr. Zahir Altuğ, Prof. Dr. Ayşe Tuba Altuğ, Prof. Dr. Seçil Aksoy, Assist. Prof. Dr. Kemal Güldüren, and Assist. Prof. Dr. Beste Kamiloğlu]

Anabilim/ Anasanat Dalı Başkanı Onayı

02/05/2025

.....*[Handwritten signature of Assist. Prof. Dr. Beste Kamiloğlu]*

Assist. Prof. Dr. Beste KAMILOĞLU

Anabilim/Anasanat Dalı Başkanı

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Onayı

...../...../ 20...

Prof. Dr. Kemal Hüsnü Can Başer



Etik İkelere Uygunluk Beyanı

Bu tezin içinde sunduğum verileri, bilgileri ve belgeleri akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi; tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu; çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce, sonuç ve bilgilere bilimsel etik kurallar gereği olarak eksiksiz şekilde uygun atıf yaptığımı ve kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.



İsmet Ersalıcı

02/05/2025

Teşekkür / Önsöz

Bu uzun ve anlamlı yolculuğun sonunda, hayatımda iz bırakan ve bugünlere gelmemde emeği olan tüm kıymetli insanlara en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, varlıklarıyla beni ben yapan, sevgileriyle güçlendiren biricik aileme... Sevgili annem Aygen Ersalıcı, kıymetli babam Halil Ersalıcı, her daim dualarıyla beni koruyan canım anneannem Hayriye Pişmiş ve adıyla kalbimde ayrı bir yeri olan sevgili dedem İsmet Pişmiş... Varlığınızla ve sınırsız sevginizle uzaklar yakın oldu; yorgunluklar anlamını yitirdi.

Tez danışmanım, kıymetli hocam Yrd. Doç. Dr. Beste Kamiloğlu'na sonsuz teşekkür ederim. Bu süreç boyunca bana yalnızca akademik anlamda değil, aynı zamanda kişisel olarak da rehberlik ettiniz. Sabırla yol gösterdiğiniz, her zorlukta yanımda olduğunuz ve bana olan inancınızı için minnettarım. İyi ki bu yolu sizinle yürüdüm.

Eğitim hayatım boyunca ilham aldığım, akademik duruşu, bilgeliği ve insanlığıyla her zaman örnek aldığım çok kıymetli hocam Prof. Dr. Kaan Orhan'a en derin saygı ve şükranlarımı sunuyorum. Sadece mesleki gelişimime değil, olaylara bakış açıma, akademik değerlere olan bağlılığımıza ve kendime olan inancımıza da katkı sağladı, minnettarım.

Doktora eğitimimin en başından itibaren yanımda olan, bilgi birikimi ve tecrübesiyle yolumu aydınlatan değerli hocam Prof. Dr. Seçil Aksoy'a gönülden teşekkür ederim.

Her zorlu dönemde yolumu bulmamı sağladı, her başarımda içtenlikle sevindi.

Öğrencisi olma şansı yakaladığım ve bilgisinden faydalanma ayrıcalığını yaşadığım değerli hocam Prof. Dr. Zahir Altuğ'a teşekkür ederim.

Fiziksel olarak uzak olsa da, düşünceleriyle ve örnek duruşuyla her zaman yanımda hissettiren, bana ilham veren Doç. Dr. Gürkan Ünsal'a teşekkür ederim.

Her zorluğun ardından beni yeniden ayağa kaldıran, desteğini ve güvenini her zaman hissettiren Yrd. Doç. Dr. Beren Özsoy'a ve Yrd. Doç. Dr. Talal Radwan gönülden teşekkür ederim.

Bu süreçte anlayışları ve desteği ile yanımda olan tüm çalışma arkadaşlarıma içten teşekkür ederim. Sizlerle birlikte yürüdüğüm bu yol, değerli dostlukların da geliştiği bir dönemdi.

Hayatımın her anında, her koşulda yanımda olan, desteği ve varlığıyla beni güçlü kılan canım kardeşim Gencer Vaizoğlu'na sonsuz teşekkür ederim.

Birlikte çalışmanın ötesinde, dostluğun, güvenin ve desteğin en güzel örneğini yaşadığım sevgili kardeşim Mustafa Hacılar'a teşekkür ederim.

Tez sürecimin en yoğun, en zor anlarında bile beni sabırla dinleyen, destekleyen ve her zaman inanan Samiye İçli'ye.....Sadece yanımda değil, kalbimde olduğun için teşekkür ederim.

Bu yolculuk boyunca emeği geçen, destek olan herkese sevgi ve saygılarımla...

Özet

KONİK IŞINLI BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİDEN ELDE EDİLEN MODELLER ÜZERİNDE YAPILAN LİNEER ÖLÇÜMLERİN DOĞRULUĞU

İsmet Ersahcı

Doktora, Ortodonti Anabilim Dalı

Mayıs, 2025, 179 Sayfa

Bu çalışmanın amacı, KIBT görüntülerinden elde edilen STL modelleri üzerinde yapılan lineer ölçümlerin güvenilirliğini değerlendirmektir. STL modeller, hem bir yazılım programı hem de web tabanlı bir yapay zeka tanı aracı kullanılarak oluşturulmuş ve bu ölçümler, sert doku modellerinden elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmaya 100 KIBT taraması dâhil edilmiştir. DICOM dosyaları Maxilim® yazılımına aktarılmış ve sert doku modelleri oluşturulmuştur. Ayrıca, STL görüntüleri oluşturmak için bir yapay zeka algoritması ve Mimics yazılımı kullanılmıştır. Beş mandibular ve üç maksiller ölçüm gerçekleştirilmiştir. Eşleştirilmiş karşılaştırmalar için Tukey testi uygulanmış; üç program arasındaki mutlak uyum, sınıf içi korelasyon katsayısı (ICC) ile değerlendirilmiştir.

Tekrarlanan ölçümler, mandibular ölçümler için yüksek güvenilirlik göstermiştir (ICC: 0.902–0.999); buna karşın maksiller ölçümler daha fazla değişkenlik göstermiştir (ICC: 0.456–0.997). DFPM ölçümünde Mimics-STL kullanılarak yapılan değerlendirmede düşük güvenilirlik gözlenmiştir ($p=0.071$). DIM için ICC ve Pearson korelasyon değerleri orta düzeyde bulunmuşken, diğer ölçümler iyi ile mükemmel arasında değişmiştir. Maksiller mesafe ölçümleri, özellikle DFPM (Mimics-STL ile Maxilim karşılaştırması) ve DSN (Mimics-STL ile AI-STL karşılaştırması) açısından daha düşük güvenilirlik göstermiştir. ANOVA analizinde DCP, DSN, DFI, DMF ve DFPM ölçümlerinde anlamlı farklar bulunmuş; Maxilim yazılımı, DMF hariç tüm ölçümlerde en yüksek ortalama değerleri vermiştir.

Üç boyutlu sert doku modelleri, STL modellere kıyasla daha yüksek ölçüm değerleri sağlamıştır. STL maksiller ölçümlerinde gözlemlenen belirgin değişkenlik, anatomik karmaşıklık ve segmentasyon algoritmalarının ölçüm tutarlılığını etkilediğini göstermektedir. Bu bulgular, klinik ve araştırma ortamlarında segmentasyon yöntemlerinin dikkatle seçilmesinin önemini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: STL modelleri, 3B hacimsel modeller, yapay zeka, DICOM, KIBT

Abstract

Accuracy of Linear Measurements on Models Obtained from Cone Beam Computed Tomography

İsmet Ersahcı

PhD, Department of Orthodontics

May, 2025, 179 Pages

The aim of this study is to assess the reliability of linear measurements obtained from STL models and three-dimensional hard-tissue models of the maxilla and mandible, both derived from CBCT images. The STL models are generated using both a software program and a web-based AI diagnostic tool, and these measurements are compared to those from the hard tissue models.

One-hundred CBCT scans were included in this study. DICOM files were imported into Maxilim® software to create hard-tissue models. An AI algorithm and Mimics software were also used to generate STL images. Five mandibular and three maxillary measurements were taken. Pairwise comparisons were made by performing the Tukey test, and absolute agreement among the three programs was assessed by using the intraclass correlation coefficient (ICC).

The repeated measurements demonstrated high reliability for mandibular measurements (ICC: 0.902–0.999), while maxillary measurements showed more variability (ICC: 0.456–0.997), with poor reliability in DFPM using Mimics-STL ($p=0.071$). ICC and Pearson correlation values were moderate for DIM, while others were good to excellent. Maxillary distances were less reliable, particularly for DFPM (Mimics-STL vs. Maxilim) and DSN (Mimics-STL vs. AI-STL). ANOVA revealed significant differences in DCP, DSN, DFI, DMF, and DFPM, with Maxilim yielding the highest mean values, except for DMF.

3D hard-tissue models provided higher measurement values than STL models. The significant variability observed in STL maxillary measurements suggests that anatomical complexity and segmentation algorithms influence measurement consistency. These findings highlight the importance of carefully selecting segmentation methodologies in clinical and research settings.

Keywords: STL models, 3D volume models, artificial intelligence, DICOM, CBCT

İçindekiler

Etik İlkeler Uyumluk Beyanı	II
Teşekkür / Önsöz	III
Özet	IV
Abstract	V
İçindekiler	VI
Tablolar	VIII
Şekiller	IX
Kısaltmalar	X
BÖLÜM I	1
Giriş	1
BÖLÜM II	3
Genel Bilgiler	3
Ortodontik Tedavi Öncesi Kayıtlar	3
<i>Ortodontik Modeller</i>	<i>8</i>
<i>Ortodontik Modellerin Tarihçesi</i>	<i>9</i>
<i>Geleneksel Yaklaşım</i>	<i>10</i>
<i>Dijital Ortodontik Modeller</i>	<i>11</i>
<i>Dijital Ortodontik Modellerin Avantajları</i>	<i>13</i>
<i>Tarama ve Görüntü İletimi Teknikleri</i>	<i>20</i>
<i>Çağdaş Görüntü İletim Teknikleri</i>	<i>24</i>
<i>Ortodontide Üç Boyutlu Modellerin Uygulanması</i>	<i>34</i>
Ortodontide Radyografik Görüntüleme	46
<i>Panoramik Radyografiler</i>	<i>47</i>
<i>Periapikal Radyografiler</i>	<i>49</i>
<i>El ve El Bileği Radyografileri</i>	<i>49</i>
<i>Sefalometrik Radyografiler</i>	<i>51</i>

<i>Lateral Sefalometrik Radyografi.....</i>	<i>53</i>
<i>Üç Boyutlu Görüntüleme Teknikleri.....</i>	<i>63</i>
<i>Ortodontide Üç Boyutlu Görüntüleme Uygulamaları</i>	<i>68</i>
Yapay Zeka	69
<i>Zeka ve Yapay Zeka</i>	<i>69</i>
<i>Yapay Zekanın Tarihsel Gelişimi</i>	<i>70</i>
<i>Makine Öğrenimi</i>	<i>73</i>
<i>Yapay Sinir Ağları.....</i>	<i>74</i>
<i>Diş Hekimliği ve Ağız Diş Çene Radyolojisinde Yapay Zeka Uygulamaları</i>	<i>83</i>
<i>Ortodontide Yapay Zekanın Rolü.....</i>	<i>87</i>
BÖLÜM III	89
Yöntem.....	89
KIBT Görüntülerin Taranması ve Hasta Datalarının Belirlenmesi	90
Çalışma Tasarımı	90
<i>Segmentasyon Teknikleri.....</i>	<i>90</i>
<i>Anatomik İşaretler ve Mesafeler</i>	<i>95</i>
<i>İstatistiksel Analiz</i>	<i>95</i>
BÖLÜM IV	97
Bulgular ve Yorumlar	97
BÖLÜM V	105
Tartışma	105
BÖLÜM VI.....	115
Sonuç	115
Kaynakça	116
Ekler.....	164

Tablolar

Sayfa Numarası

Tablo 1: Alçı Ve Dijital Modellerin Karşılaştırmalı Analizi	14
Tablo 2: Üç Programın Maksiller Ve Mandibular Ölçümleri İçin Gözlemci İçi Güvenilirlik.....	97
Tablo 3: Üç Farklı Yöntem Arasındaki Lineer Maksiller Ve Mandibular Ölçümlerin Güvenilirliği Ve Yöntemler Arası Korelasyon.....	100
Tablo 4: Tüm Ölçüm Yöntemlerine Göre Lineer Ölçümlerin Karşılaştırılması...	103

Şekiller

Sayfa Numarası

Şekil 1: Tanı Aşamaları Ve Tedavi Planı.....	6
Şekil 2: Dijital modellerin elde edilmesi.....	17
Şekil 3: Ağız İçi Taramadan Elde Edilen STL Modeller.....	19
Şekil 4: Yapay Zekayı Oluşturan Temel Kavramlar.....	71
Şekil 5: Yapay Sinir Ağı Katmanlarının Şematik Gösterimi.....	77
Şekil 6: Konvolüsyonel Sinir Ağı Mimarisinin Şeması.....	78
Şekil 7: Aynı Hastaya Ait Segmentasyon Modelleri, Üç Farklı Teknik Kullanılarak Elde Edilmiştir.....	90
Şekil 8: DICOM Dosyaları Üzerindeki Ölçümler Maxilim® Yazılımı Kullanılarak Yapılmıştır.....	92
Şekil 9: Anatomik Referans Noktaları Ve Lineer Ölçümler, STL Modeller Üzerinde Materialise 3- Matic Yazılımı Kullanılarak Yapılmıştır.....	94

Kısaltmalar

2B: İKİ BOYUTLU

3B: ÜÇ BOYUTLU

AAO: AMERİKAN ORTODONTİSTLER BİRLİĞİ

ABO: AMERİKAN ORTODONTİ KURULU

ASI: AKORDEON SAÇAK İNTERFEROMETRESİ

AWS: AKTİF DALGA CEPHESİ ÖRNEKLEMESİ

BT: BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ

BT: BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ

CAD: BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM-

CAM: BİLGİSAYAR DESTEKLİ ÜRETİM

CI: GÜVEN ARALIĞI

CLSM: KONFOKAL LAZER TARAMALI MİKROSKOPİ

CNN: EVRİŞİMSSEL SİNİR AĞI TABANLI

CPU: MERKEZİ İŞLEM BİRİMİ

ÇKBT: ÇOK KESİTLİ BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ

DAM: SAĞ VE SOL AÇILARI ARASINDAKİ MESAFE

DCP: SAĞ VE SOL KORONOİD PROSESLER ARASINDAKİ MESAFE

DFI: SOL VE SAĞ İNFRAORBİTAL FORAMİNALAR ARASINDAKİ MESAFE

DFP: SAĞ VE SOL PTERYGOİD FOVEALAR ARASINDAKİ MESAFE

DFPM: SOL VE SAĞ MAJOR PALATİN FORAMİNALAR ARASINDAKİ MESAFE

DICOM: TIPTA DİJİTAL GÖRÜNTÜLEME VE İLETİŞİM

DIM: SAĞ VE SOL MANDİBULAR ÇENTİKLER ARASINDAKİ MESAFE

DLP: DOĞRUDAN IŞIK İŞLEME

DMD: DİJİTAL MİKRO AYNA CİHAZI

DMF: SAĞ VE SOL MENTAL FORAMİNALAR ARASINDAKİ MESAFE

DSL: DİJİTAL ABONE HATTI

DSN: ANTERİOR VE POSTERİOR NAZAL OMURGA ARASINDAKİ MESAFE

FDM: KAYNAŞMIŞ BİRİKTİRME MODELLEMESİ

FFF: FUSED FİLAMENT FABRİCATION

GP: GREULİCH-PYLE ATLASI

GPU: GRAFİK İŞLEM BİRİMİ

HU: HOUNSFİELD BİRİMLERİ

ICC: SINIF İÇİ KORELASYON KATSAYISI

İE: İSMET ERSALICI

KİBT: KONİK IŞINLI BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ

LCD: SIVI KRİSTAL EKRANDIR

MRI: MANYETİK REZONANS GÖRÜNTÜLEME

MRS: MANYETİK REZONANS SPEKTROSKOPİSİ

NHP: DOĞAL BAŞ POZİSYONU

OCT: OPTİK KOHERENS TOMOGRAFİ

PA: POSTEROANTERİOR

PLY: POLİGON DOSYA FORMATI

PPP: POLYJET FOTOPOLİMER

PVS: POLİVİNİL SİLOKSAN

R: PEARSON KORELASYON KATSAYISI

RUS: RADIUS, ULNA, KISA KEMİKLER

SLA: STEREOLİTOGRAFİYE

STL: STANDARD TESELLATION LANGUAGE

TSP: GELENEKSEL CERRAHİ PLANLAMASI

TW2: TANNER-WHITEHOUSE 2

TW3: TANNER WHITEHOUSE 3

USG: ULTRASONOGRAFİ

VGG: VİSUAL GEOMETRY GROUP

VSP: SANAL CERRAHİ PLANLAMASI

YZ: YAPAY ZEKA

BÖLÜM I

Giriş

Dijital iş akışları, özellikle ortodonti alanında, diş hekimliğini derinden etkilemiştir. Ancak bu sistemlerin benimsenme oranları; kişisel tercihler, klinik verimlilik, çevresel kaygılar ve sosyoekonomik farklılıklar gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu iş akışlarının temelini görüntüleme teknolojileri oluşturmaktadır ve ölçüm doğruluğu, doğrudan tanısal kesinlik, tedavi planlaması ve klinik sonuçlar üzerinde etkili olmaktadır (Radwan vd., 2023). 1998 yılında tanıtılmasından bu yana, konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT), çok kesitli bilgisayarlı tomografiye kıyasla daha düşük radyasyon dozu ve daha yüksek uzaysal çözünürlük sunarak dentomaksillofasiyal görüntülemelerde devrim yaratmıştır (Kapila & Nervina, 2015; Mozzo vd., 1998; Pauwels vd., 2012; Silva vd., 2008).

KIBT görüntüleri, dijital görüntüleme ve iletişim (DICOM) formatında kaydedilir ve manuel, yarı otomatik ya da yapay zeka (YZ) tabanlı yöntemler dahil olmak üzere çeşitli segmentasyon teknikleri kullanılarak standard triangle language (STL) modellerine dönüştürülebilir. Ancak segmentasyon protokollerindeki farklılıklar, ölçümlerde değişkenliğe yol açarak klinik kararları etkileyebilir. Kamio ve diğerleri araştırmalarında, farklı yazılımlar arasında STL modeli doğruluğunda küçük farklılıklar olduğunu göstermiş ve klinik geçerliliğin sağlanabilmesi için yüksek kaliteli segmentasyonun önemini vurgulamıştır (Kamio vd., 2020). D'Addazio ve diğerleri ve Ferry ve diğerleri ise DICOM-STL veri entegrasyonunu klinik uygulamalarda incelemiş ve bu yöntemin özellikle KIBT temelli verilerin dijital dental modellerle birleştirilerek kapsamlı planlamalarda kullanımını desteklemiştir (D'addazio vd., 2022; Ferry vd., 2022).

STL modelleri, ortodontik tedavi iş akışlarında önemli bir rol oynamaktadır. Bu modeller; dolaylı braket yapıştırma için hassas dijital yerleştirme, mini vida uygulamalarının doğruluğunu artırma, sanal tedavi simülasyonları, büyüme değerlendirmeleri ve tedavi süreci süperpozisyonları gibi uygulamaları mümkün

kılmaktadır. Ayrıca, fiziksel ölçüye ihtiyaç duymadan şeffaf plaklar, pekiştirme apareyleri, splintler ve genişletme cihazları gibi kişiye özel apareylerin üretimini kolaylaştırarak tedavi verimliliğini artırmaktadır. STL-KIBT entegrasyonu, ortognatik cerrahi planlamasında da yaygın olarak kullanılmakta olup, cerrahi splint tasarımı ve hastaya özel anatomik kılavuzların oluşturulmasına olanak sağlamaktadır (Akdeniz vd., 2022).

Bu modellerin yaygın klinik kullanımına rağmen, farklı segmentasyon tekniklerinin lineer iskeletsel ve sefalometrik ölçümler üzerindeki etkisi henüz tam olarak araştırılmamıştır. YZ tabanlı segmentasyon, model üretiminde otomasyonu sağlama açısından umut vaat etse de, bu yöntemin geleneksel yazılım tabanlı yöntemlerle karşılaştırıldığında ölçüm güvenilirliği halen belirsizliğini korumaktadır (Hosny vd., 2018).

Bu çalışmanın amacı, aynı KIBT görüntülerinden elde edilen STL modeller ile üç boyutlu sert doku modellerinden elde edilen lineer ölçümlerin güvenilirliğini ve tutarlılığını değerlendirmektir. STL modelleri, hem geleneksel segmentasyon yazılımı hem de web tabanlı bir YZ tanı aracı kullanılarak oluşturulmuş ve bu modellerden yapılan ölçümler, üç boyutlu sert doku model ölçümleri ile karşılaştırmaktır. Çalışmanın sıfır hipotezi, STL modelleri ile sert doku temsillerinden elde edilen ölçümler arasında anlamlı bir fark olmadığı yönündedir.

BÖLÜM II

Genel Bilgiler

Ortodontik Tedavi Öncesi Kayıtlar

Ortodontik kayıtlar, ortodontide teşhis ve tedavi planlaması için gereklidir (Proffit vd., 2007). Kayıtlar öncelikle bu amaçlar için kullanılsa da, ortodontik müdahaleye gereksinim olmasa dahi yüz büyümesi ve gelişiminin gözlemlenmesi, araştırma ve klinik gözetimde de eşit derecede önemlidir (Cobourne & DiBiase, 2014). Ortodontik tedavi planı, hasta öyküsü analizi, klinik muayene ve panoramik, sefalometrik ve posteroanterior radyografilerin yanı sıra tanısal modeller ve klinik fotoğraflar da dahil olmak üzere hasta kayıtlarının bütüncül değerlendirilmesinden elde edilen tanılara dayanarak oluşturulur. Bu amaca ulaşmak için alçı modeller, ağız içi ve ağız dışı fotoğraflar, çeşitli radyografik görüntüler ve klinik ölçümler sıklıkla kullanılmaktadır. Dijitalleştirilmiş dental modeller, ortodontik tedavi sonuçlarını simüle eden dijital dental kurulumları ve üç boyutlu (3B) yüz görüntüleme sistemleri gibi son teknolojik gelişmeler, hasta dokümantasyonu için alternatif yöntemler sağlamıştır. Çok kesitli bilgisayarlı tomografi (MSBT) ve düşük doz konik ışınlı bilgisayarlı tomografinin (KIBT) gelişmesi, belirli durumlarda ortodontik teşhis ve tedavi planlaması için yeni ve önemli araçlar haline gelmiştir. Geleneksel iki boyutlu (2B) kayıt setleri yaygınlığını korurken, son gelişmeler ortodontik tanı ve tedavi planlamasını geliştirmek için daha kişiselleştirilmiş kayıt seçenekleri sağlamaktadır.

Ortodonti terimi Yunanca Orthos (doğru veya düz) ve dons (diş) terimlerinden türemiştir ve düz diş anlamına gelir. Bu dal; diş anomalilerini, çene iskeleti konumlanmasını ve çenenin yanlış hizalanmasını düzelterek çiğneme, fonasyon ve solunum gibi aktiviteleri geliştirmeyi amaçlamaktadır. Tarih boyunca insanlar gülüş estetiğine öncelik vermiş, bu da estetik açıdan hoş bir diş dizilimi elde etmeyi amaçlayan çok sayıda tedavi yöntemi ve malzemesinin geliştirilmesine yol açmıştır. Araştırmalar, Yunan mumyalarının dişlerine yapıştırılmış metal şeritlerin varlığını ortaya çıkarmış ve

diş boşluklarının kapatılması için günümüz ortodontik diş tellerine benzer malzemelerin kullanıldığını göstermiştir. MÖ 400'lerde Aristoteles ve Hipokrat diş çapraşıklıklarını düzeltmek için çalışmalar yapmış ve çok sayıda teknik geliştirmiştir. Araştırmacılar Mısır'daki Roma mezarlarında yaptıkları kazılarda günümüz ark tellerine benzer altın teller keşfetmişlerdir. MÖ 25 ile MS 50 yılları arasında, antik Yunan-Roma metinlerinde ortodontiye atıflar keşfedilmiştir; Celsus, dişlerin hizasının manuel basınçla ayarlanabileceğini belirtmiştir. Ortodonti ile ilgili önemli çalışmalar ve uygulamalar 18. yüzyılda başlamıştır. 'Ortodonti' terimi ilk olarak 1839 yılında Fransız ortodontist Le Foulon tarafından ortaya atılmıştır. Pierre Fauchard 1728 yılında 'Le Chirurgien Dentiste' adlı kitabında ortodonti için bir bölüm ayırmış ve ortodontik tedavinin 12 örneğini belgelemiştir.(Ülgen M., 2015)

Başlangıçta ortodontik tedavi yalnızca görünen ön dişlerin hizalanmasına odaklanmıştır; ancak tedavi prosedürlerindeki ilerlemelerle birlikte oklüzyonun önemi daha sonra fark edilmiştir. Bu nedenle, ortodontik tedavinin amacı diş oklüzyonunun düzeltilmesi olmuştur. Sonunda, varolan oklüzyonun tek başına yeterli olmadığı, çeneler ve kafa kaidesi arasındaki ilişkinin de çok önemli olduğu ortaya çıkmıştır. “Normal” değerleri belirlemek için sefalometrik ölçümler kullanılmış ve tedavilerin amacı hem iskeletsel hem de dişsel maloklüzyonları düzeltmek olmuştur (Ülgen M., 2015).

Ortodontinin önde gelen isimlerinden Edward H. Angle, "Modern Ortodontinin Babası" olarak kabul edilmektedir. Angle'ın yönetiminde, ortodonti bugün diş hekimliği alanı içinde ayrı bir disiplin olarak varlığını sürdürmektedir (Angle E.H., 1907).

Tıbbi tanıda, hasta gözlemleri yorumlanır ve semptomların kaynakları araştırılarak hastalıkların doğası analiz edilir. Fiziksel olarak değerlendirilen veya tanımlanan objektif sonuçlar ve hasta tarafından bildirilen subjektif semptomlar, hastalığı aydınlatmak için bütünleştirilir (Nanda, 2015).

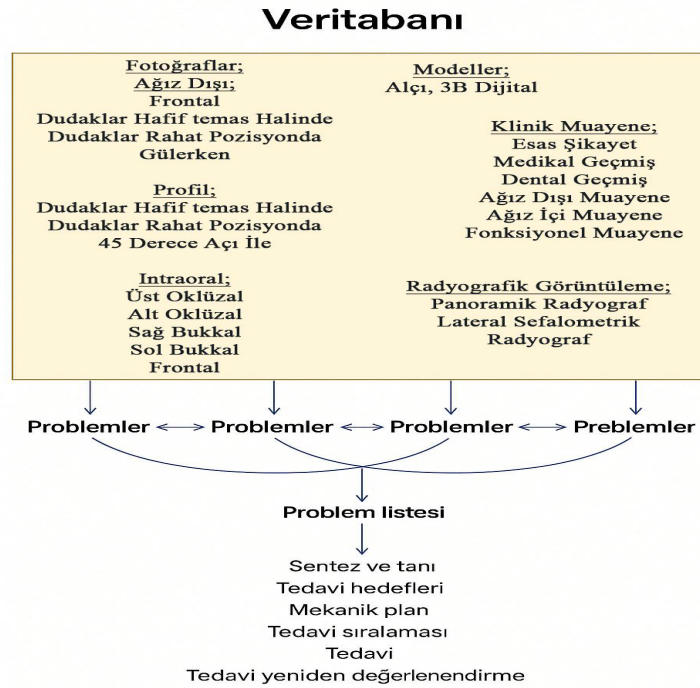
Ortodontik tanı, hasta ve dentofasiyal anomalileri ile ilgili kritik verilerin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesidir. Sadece dişlerin ve çenelerin ölçümlerinin ve

birbirleriyle ilişkilerinin değil, aynı zamanda etiyolojik değişkenlerin, büyüme ve gelişme aşamalarının ve dentofasiyal ve kranial bağlantıların da önemi vurgulanmaktadır. Maloklüzyonlar gelişim sürecinden kaynaklanmaktadır. Gerçek hastalıklar olmasalar da, ortodonti içinde "hastalık" süreçlerini temsil ederler ve ortodontik tanının birincil bileşenleridir. Maloklüzyonlar estetiği ve işlevselliği etkileyebilir; bu nedenle, tedavi alternatiflerinin en iyi şekilde anlaşılmasını kolaylaştıran oluşumlarını ve anormal parametrelerini belirlemek için kesin bir teşhis gereklidir (Nanda, 2015).

Etkili ortodontik tedavi, doğru teşhis ve sistematik tedavi planlaması ile mümkündür. Ortodontik tedavi planlaması, hastanın tıbbi ve dental geçmişini, ebeveynlerin ve kardeşlerin tıbbi ve dental geçmişini, hastanın çene ve diş durumunun değerlendirilmesini, mevcut alışkanlıkları, radyografik değerlendirmeleri, tanısal modelleri, klinik fotoğrafları ve sefalometrik ölçümleri kapsar (Proffit vd., 2007).

Şekil 1:

Tanı Aşamaları ve Tedavi Planı



Ortodontik kayıtlar, durumları teşhis etmek, normal veya anormal klinik bulguları ve anamnezi değerlendirmek, etkili ve verimli hasta tedavisi sunmak, tedavi seçeneklerini değerlendirmek ve takibi sağlamak için toplanır. Ayrıca, herhangi bir tıbbi prosedürde olduğu gibi ortodontik tedavi sırasında veya sonrasında öngörülemeyen zorluklar ortaya çıkabileceğinden, yasal bağlamlarda hasta ve uygulayıcının ortak çıkarlarını korumak avantajlıdır (Jerrold, 2015; Morin, 1992).

Kapsamlı dokümantasyon ortodontistin yetkinliğini yansıtır, hekimin deneyimini ve güvenilirliğini artırır. Sonuç olarak, ortodontistler en yüksek kalitede klinik kayıtlar oluşturmalıdır (Sandler & Murray, 2010).

Ortodontik kayıtlar, ağız yapısının sağlığını, dişlerin dizilimini ve oklüzal etkileşimleri değerlendirmek ve yüz- çene oranlarını analiz etmek için toplanır. Bu amaçla yüz fotoğrafları, sefalometrik radyografiler ve bilgisayarlı tomografi taramalarından yararlanılır. Yüz ve ağız içi fotoğrafları, ortodontik teşhis için gerekli görüntülerdir. Yüz fotoğrafları yüzün estetik özelliklerini ve bunların dişlerle ilişkisini gösterir. Ağız içi fotoğraflar diş morfolojisi, dizilimi ve periodontal durum hakkında bilgi verir (Graber, 2005; Thomas M. vd.; Van Vlijmen vd., 2012).

Sefalometrik radyografiler, anomalinin diş kaynaklı mı yoksa iskeletsel kaynaklı mı olduğunu, özellikle de sadece üst ve alt dişlerin birbirine göre hizalanmasından mı yoksa üst ve alt çenelerin kemik tabanlarının birbirine göre pozisyonel anormalliklerinden mi kaynaklandığını tespit etmek için kullanılır. Sefalometrik radyografiler büyüme, gelişme ve ortodontik müdahale sırasında ve sonrasında meydana gelen değişiklikleri değerlendirmek için kullanılır. Sefalometrik radyografilerden elde edilen ölçümler ortodontik teşhisin önemli bir bileşenidir (Proffit vd., 2007).

Teşhis ifadesi, bir bireyin rahatsızlığının veya durumunun semptomlarına ve belirtilere dayalı olarak tanımlanması anlamına gelir. Bu ifade aynı tıbbi ve dental rahatsızlıklar için geçerli olsa da, çağrışım açısından önemli bir fark vardır.

Tıbbi teşhis, tedavi ve araştırmalarda yapay zekâ uygulamalarının kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Yapay zeka tanımlarının çoğalmasına rağmen, John McCarthy yapay zekayı "akıllı bilgisayar programlarının yaratılması" olarak nitelendirmektedir. Yapay zeka, en temel tanımıyla, bilgisayar bilimi ve veri setlerinin entegrasyonu yoluyla sorunları ele alan bir çerçevedir. Çağdaş yapay zeka, makine öğrenimi ve derin öğrenme alanlarını kapsamaktadır. Bu konular, veri setlerini analiz eden ve elde edilen çıkarlar arasındaki korelasyonları tanımlayarak sınıflandırmalar veya tahminler üreten yapay zeka algoritmalarını kapsamaktadır (McCarthy, 2025). Yapay zekanın, özellikle de makine öğreniminin, görüntü işleme ve karar destek sistemlerindeki güçlü yetenekleri nedeniyle gelecekte ortodontide yaygın olarak kullanılacağı düşünülmektedir.

Ortodontik kayıtlar ağız içi ve ağız dışı resimler, çalışma modelleri ve panoramik ve lateral sefalometrik radyografilerden oluşur.

Teknoloji ilerledikçe, ortodontide teşhis, planlama ve tedavi metodolojileri geleneksel iki boyutlu çerçeveden dijital platformları kullanan üç boyutlu bir paradigmaya geçiş yapmaktadır. Radyolojik görüntüleme ile konik ışınlı bilgisayarlı tomografinin (KIBT) yaygın kullanımının yanı sıra ağız içi ve yüz tarayıcılarının uygulanması da dahil olmak üzere son gelişmeler, ortodontik tedavi sonuçlarının etkinliğini, hassasiyetini, güvenilirliğini ve öngörülebilirliğini artırmıştır (Van Noort, 2012).

Tek başına klinik muayene, alçı modeller ve resimlerle desteklenmesi koşuluyla, hastaların çoğunda ortodontik tedavi planı oluşturmak için yeterli bilgi sağlayabilir (Bruks vd., 1999). Deveraux ve arkadaşları, lateral sefalometrik radyografilerin erişilebilirliğinin ve daha sonra değerlendirilmesinin, incelenen altı hastada tedavi planlama kararlarını önemli ölçüde etkilemediğini tespit etmiş ve bu radyografilerin tedavi planlamasındaki gerekliliğine ilişkin belirsizliği vurgulamıştır (Devereux vd., 2011).

Ortodontik Modeller

Ortodontik modeller, maloklüzyonların sınıflandırılması ve tedavi planlarının oluşturulması için ortodontistler tarafından en sık kullanılan teşhis araçları arasındadır (Peluso vd., 2004). Dental modeller, hastanın oklüzyonunun üç boyutlu bir temsilini sunarak doktorların maloklüzyon tipini yalnızca klinik muayeneye kıyasla daha hassas bir şekilde değerlendirmesini sağlar. Ortodontide, modellerden alınan ölçümler teşhis ve tedavi planlaması için temel olarak kabul edilir (Grünheid vd., 2014).

Modellerden elde edilen veriler ortodontistlere maloklüzyonları kategorize etmede, anomalileri tanımada ve tedavi hedeflerini belirlemede yardımcı olur. Statik bir kayıt tekniği olan dental modeller, dişlerin morfolojisini, dental ark içindeki konumlarını ve maloklüzyonun boyutunu grafiksel olarak tasvir eder (Peluso vd., 2004).

Ortodontik modeller tedavi öncesindeki durumu, tedavinin çeşitli aşamalarını ve tedavi sonrası durumu kaydedebilir. Ayrıca, ortodontistler çalışma modelleri sayesinde tedavi sonuçlarını meslektaşlarına ve hastalarına gösterebilir ya da bilimsel araştırmalarda eğitim amaçlı kullanabilirler (Peluso vd., 2004).

Amerikan Ortodontistler Birliği (AAO) tarafından ortodontistler için hazırlanan 2003 tarihli klinik uygulama kılavuzu, tedavi öncesi ve sonrası kayıtların ağız içi ve ağız dışı fotoğrafları, ortodontik modelleri, ağız içi ve/veya panoramik radyografileri, sefalometrik radyografileri ve gerekli diğer tanı araçlarını içermesi gerektiğini belirtmektedir. Sonuç olarak, çalışma modelleri ortodontik tedavinin temel bileşenlerindendir (Peluso vd., 2004).

Çalışma modelleri ortodontik teşhiste baskın kayıt yaklaşımı olarak tanımlanmıştır (Peluso vd., 2004). Han ve arkadaşları, sadece çalışma modellerini kullanan ortodontistlerin tedavi planlamasında, çalışma modelleri, fotoğraflar, panoramik ve sefalometrik radyografiler ve sefalometrik çizim kullananlara kıyasla herhangi bir farklılık olmadığını belirtmiştir (Han vd., 1991).

Ortodontik modeller, oklüzyon ve dentisyonun çeşitli açılardan incelenmesini kolaylaştıran tanısal kayıtlar olarak hizmet eder. Sonuç olarak, teşhis ve tedavi

planlamasında önemli bir role sahiptirler. Tedavinin başlangıcının, sonucunun ve zaman içindeki ilerlemesinin değerlendirilmesini kolaylaştırır. Ortodontik modeller geleneksel alçı modeller ve dijital modeller ile temsil edilebilir (Erverdi,2020).

Ortodontik Modellerin Tarihçesi. Ölçü alma ve dental model oluşturma uygulaması 1700'lerin başında ortaya çıkmıştır. Philip Pfaff ilk ölçü tekniğini, ısıtılmış balmumu kullanarak dental arkların negatifini yakalama ve ardından balmumuna Paris alçısı dökerek bir model oluşturma yöntemi olarak tanımlamıştır (Glennner, 1997).

1839 yılında Chapin A. Harris, balmumu kalıplar üzerine sert alçı dökümü yoluyla model elde edilmesini teşvik etmiştir. 19. yüzyılın ortalarında Paris alçısı, gutta perka ve çeşitli termoplastik malzemeler popülerlik kazanmıştır (Glennner, 1997). 1900'lerin başında, geri dönüşümlü hidrokolloid aljinatın ve ardından geri dönüşümsüz hidrokolloid aljinatın ortaya çıkışı, daha önce kullanılan malzemelerin eksikliklerini gidererek ölçü sürecini dönüştürmüştür. Bu yeni materyal berraklığı, boyutsal stabilitesi ve maliyet etkinliği nedeniyle tercih edilmiştir (Peluso vd., 2004). Daha sonra, elastik polieter ve polivinilsiloksan gibi ölçü materyalleri geliştirilmiş ve aljinata kıyasla daha hassas ölçüler ve üstün boyutsal stabilite sunmuştur (Champagne, 1992). Bununla birlikte, irreversibl hidrokolloid aljinat ortodonti kliniklerinde kullanılan baskın ölçü materyali olmaya devam etmektedir. Ortodontik modeller için Tip II alçı kullanılmaktadır (Peluso vd., 2004).

Son teknolojik gelişmeler, model üretimi ve manipülasyonunda sayısız kolaylık sunmaktadır. Yeni tekniklerden bazıları hala ortodontist tarafından klinikte alınan geleneksel aljinat baskıyı içermektedir. Klinikte alçı model elde etmek yerine, kalıplar dijital modeller konusunda uzmanlaşmış şirketlere gönderilir. Geleneksel alçı model, CAD-CAM teknolojisi ile diş arklarının üç boyutlu dijital bir temsiline dönüştürülür. Bu görüntü, internet üzerinden seçilen bilgisayara dijital bir dosya olarak indirilebilir. Dijital modellere çok sayıda yazılım uygulamasıyla erişilebilir ve bunlar üzerinde değişiklik yapılabilir (Peluso vd., 2004).

Geleneksel Yaklaşım. Ortodontistler geçmişten günümüze ağırlıklı olarak alçı modelleri kullanmışlardır. Doğru ölçü prosedürleri ve alçı döküm yöntemleri sayesinde bu modeller hastanın diş konturlarını ve komşu dokuları titizlikle tasvir edebilmektedir (Naidu & Freer, 2013; Peluso vd., 2004). Bununla birlikte, alçı modeller kırılmaya, çatlamaya, aşınmaya yatkınlık ve depolama alanı gereksinimi gibi sınırlamalar içermektedir(Kau vd., 2011; Peluso vd., 2004).

Uzun süredir kullanılmalarına rağmen, tipik alçı modeller çok sayıda sınırlama sergilemektedir. Birincil endişe kırılma tehlikesidir. Çeşitli ölçümler için sürekli kullanım alçıda aşınmalara yol açarak modelin netliğini azaltabilir. Alçı modellerin saklanmasıyla yönelik mekânsal gereklilikler hem alansal hem de zamansal zorluklara yol açmaktadır. Modeller, herhangi bir fiziksel veya kimyasal bozulmayı önlemek için genellikle kaplarda muhafaza edilir. Yılda ortalama 300 vakanın tedavi edildiği bir ortodonti kliniğinde, tedavi öncesi, ara dönem ve tedavi sonrası kayıtlarla ilgili modeller için özel olarak bir alan belirlenmelidir. Ayrıca, her bir model olası incelemeler için 5 ila 15 yıl arasında ülkeye göre değişen bir süre boyunca saklanmalıdır (Peluso vd., 2004).

Alçı modellerle ilgili bir diğer sorun da taşınabilirlikleridir. Kırılğanlıkları nedeniyle taşınmaları zordur. Konsültasyon için başka bir yere sevk edilirse, alçı modelin bir kopyasının alınması gerekir. Tüm bu prosedürler hem zamansal hem de mali kayıplara yol açmaktadır (Peluso vd., 2004).

Geleneksel alçı modeller teşhis ve tedavi planlaması için bir ölçüt olarak kabul edilse de, zaman içinde bozulmaya ve kırılmaya karşı hassastırlar ve arşivleme için önemli miktarda depolama alanı gerektirirler. Sonuç olarak, son gelişmeler dijital ortamda incelemeyi kolaylaştıran 3B modeller üretmiştir (Erverdi, 2020).

Dijital Ortodontik Modeller. İlk dijital modeller 1999 yılında OrthoCad (Cadent, Carlstadt, NJ, ABD) ve 2001 yılında Emodels (GeoDigm, Chanhassen, MN, ABD) tarafından başlatılmıştır. Dijital model oluşturma teknikleri farklılık göstermektedir. Emodels, alçı model yüzeyinin kapsamlı bir tarama tekniğini kullanırken OrthoCad, alçı modellerin ince kesitlerinin ayrı ayrı taranmasıyla elde edilen görüntüleri entegre eder. Digimodel (Orthoproof, Albuquerque, NM, ABD), boyutları anında tarayarak alçı modellere olan ihtiyacı tamamen ortadan kaldırmıştır (Flügge vd., 2013).

Teknolojideki gelişmeler, ortodontistlerin dijital modeller üzerinde model analitik ölçümler yapabilmesini sağlayarak alçı modellerle ilgili birçok zorluğu ortadan kaldırmaktadır. Dijital modeller fiziksel hasara karşı dayanıklıdır ve dijital dosyalar olarak dünya çapındaki hekimlere zahmetsizce iletilir. Dijital arşivleme, geleneksel alçı modellerle ilişkili depolama sorunlarını çözmektedir (Rheude vd., 2005; Bell vd., 2003).

Ortodontistler, sayısız avantajları ve artan finansal erişilebilirlikleri nedeniyle dijital modelleri giderek daha fazla kullanmaktadır (Creed vd., 2011; Keim vd., 2008). Günümüzde dijital modellerin çoğu doğrudan veya taranmış aljinat baskılardan elde edilmekte ve öncesinde bir alçı model oluşturulmaktadır (Creed vd., 2011; Kau vd., 2011).

Eğer dijital modellerin sunduğu ölçüm doğruluğu ve etkinliği, tarihsel olarak altın standart kabul edilen alçı modellerle benzerlik göstermeseydi, sahip oldukları tüm avantajlara rağmen tercih edilmeleri mümkün olmazdı. (Naidu & Freer, 2013; Peluso vd., 2004). Çok sayıda çalışma, indirekt yöntemle üretilen stereolitografik modellerin değerlendirilmesi için alçı ve dijital modellerden alınan ölçümleri karşılaştırmaktadır. Literatürde, bilgisayarlı modeller kullanılarak yapılan ortodontik ölçümlerin tekrarlanabilirliği konusunda klinik açıdan önemli olmayan tutarsızlıklar tespit edilmiştir (Cuperus vd., 2012; Okunami vd., 2007; Quimby vd., 2004; Santoro vd., 2003).

OrthoCAD™'de kaydedilen diş boyutları alçı modellerden elde edilenlerle karşılaştırılabilir veya onlardan biraz daha küçük olduğu saptanmıştır. Overjet,

OrthoCAD™ ile önemli ölçüde daha düşük olarak değerlendirilmiştir. Ark uzunluğu sapması, OrthoCAD™ modelleri ile alçı modeller arasında 0,4 mm ile 2,88 mm arasında değişen kayda değer bir fark sergilemiştir (Quimby vd., 2004).

Rossini, 2016 yılında yaptığı sistematik analizde, seçim kriterlerine göre seçilen 35 makaleyi analiz ederek dijital ve alçı modellerin güvenilirliğini ve tekrarlanabilirliğini değerlendirmiştir. Dijital modellerin en az geleneksel alçı modeller kadar güvenilir olduğu belirlenmiştir. Zaman, masraf ve depolama talepleri göz önüne alındığında, dijital modellerin yakında yeni bir ölçüt oluşturabileceği öne sürülmüştür (Rossini vd., 2016).

İleri teknoloji, özellikle ortodonti alanında olmak üzere diş hekimliğine hızla entegre olmuştur. Üç boyutlu baskı, imalat sektöründeki en sofistike teknolojilerden biridir. 3B yazıcıların ortodontideki ilk uygulaması diş modellerinin üretilmesini içeriyordu. Ağız içi tarayıcı, diş hekimlerinin geleneksel yöntemlerle ilişkili rahatsızlık olmadan diş baskıları elde etmelerini sağladı. Ağız içi tarayıcıların uygulanması, baskı için uygun üç boyutlu bir görüntü üretmiştir (Christopoulou vd., 2022; Impellizzeri vd., 2020; Mangano vd., 2017; Tanna vd., 2021).

Üç boyutlu baskı teknolojisi diş hekimliğinde, özellikle de ortodontide çeşitli açılardan araştırma konusu olmuştur. Başlangıçta, üç boyutlu baskı teknolojisi ortodontide diş modelleri üretmek için kullanılmıştır. Bu diş modelleri teşhis ve tedavi uygulamaları için kullanılmıştır. Tedavideki ilk uygulama şeffaf hizalayıcıların üretilmesiydi, bunu diğer özelleştirilmiş cihazların ve sterilize edilebilir aerosol aspiratörlerin oluşturulması izledi. Tarayıcıların ilerlemesi ve ağız içi tarayıcıların geliştirilmesi, klinisyenlerin hastalara rahatsızlık vermeden imprint almalarını sağladı. Bu iki teknoloji, hekimlerin günlük uygulamalarında kapsamlı bir dijital iş akışı oluşturmalarını sağladı (Christopoulou vd., 2022; Impellizzeri vd., 2020; Mangano vd., 2017; Tanna vd., 2021; Thurzo vd., 2021; Thurzo, vd., 2022a; Thurzo, vd., 2022b; Tsolakis vd., 2022).

Dijital Ortodontik Modellerin Avantajları. Dijital modeller, alçı modellerle ilişkili çok sayıda zorluğu hafifletir. Bedensel yaralanma olasılığı yoktur. Dahası, depolanmaları için gerekli alan minimumdur. Her vaka için geliştirilen dijital modeller ofis bilgisayarının sabit diskine, taşınabilir bellek cihazlarına veya dijital model tedarikçisinin merkezi sunucusuna kaydedilebilir (Peluso vd., 2004).

Bir dijital ortodontik model serisi için gereken tipik bellek miktarı 3 megabayttır (The Evolution of Digital Study Models). Dijital modelleri görüntülemek için kullanılan yazılım programlarının boyutu 8 ila 12 megabayt arasında değişmektedir. 20 GB bellek kapasitesi içinde 6000'den fazla vaka barındırılabilir (Marcel & Scholz, 2001). Modeller, hasta adı veya dosya numarasıyla belirtilir ve aranan modelin hızlı bir şekilde tanımlanmasını kolaylaştırır (Peluso vd., 2004). Dijital modellere aynı anda birden fazla bilgisayardan erişilebilir. Sonuç olarak, ortodontist, hasta ve ek bir hekim modeli her an değerlendirebilir ve görüş alışverişinde bulunabilir (Redmond vd., 2000). JPEG formatındaki elektronik dosyalar, çeşitli bakış açılarından çekilen ortodontik model fotoğraflarının meslektaşlara veya sigorta sağlayıcılarına iletilmesine olanak tanır. Bu yaklaşım, model replikasyonu için zaman ve kaynak gereksinimini ortadan kaldırır (Peluso vd., 2004). Sayısız avantajlarının yanı sıra, dijital modeller mükemmel sunum araçları olarak hizmet vermektedir. Vaka sunumlarında, dinleyicilerin ortodontik modeli fiziksel zarar görme tehdidi olmadan incelemelerini sağlarlar. Ortodontist, dijital modeli hastaya ve hasta yakınlarına tedavi planlama aşamasında veya tedavinin sonunda başlangıçtakine kıyasla elde edilen iyileştirmeleri göstermek için kullanabilir. Dijital modeller, klinik uygulamada çağdaş teknolojiyi benimseyen ortodontistler için önemli bir teşhis aracıdır. Bu yöntemin sayısız avantajı ve gelişmiş erişilebilirliği, dünya çapında ortodontistleri bu yöntemi benimsemeye sevk etmiştir.

Tablo 1.

Alçı ve Dijital Modellerin Karşılaştırmalı Analizi

Özellikler	Alçı Modeller	Dijital Modeller
------------	---------------	------------------

Maliyet	Daha ucuz	Daha pahalı
Tedavi Sonuç Öngörüsü	Laboratuvar prosedürü gerekli	Bilgisayarda sanal olarak
Saklama Alanı	Büyük alan ihtiyacı	Sanal depolama
Saklama Maliyeti	Pahalı	Gözardı edilebilir maliyet
Hızlı ve güvenilir model elde etme	Evet	Evet
Aynı anda birden çok yerde incelenebilme	Hayır	Evet
Fiziksel zarara uğrama riski	Evet	Hayır
Modellerin transferi	Laboratuvarda duplikasyon ve kargo	Dijital dosya transferi
Ofis yönetim programlarıyla entegre edilebilme	Hayır	Evet

Hasta bilgilendirmesi

Evet

Evet

Geleneksel aljinat ve polivinilsiloksan (PVS) ölçü malzemeleri, işleme zorlukları, ölçü kopyalamada azalan hassasiyet, kenar yırtılması, yetersiz boyutsal stabilite, kısıtlı çalışma süresi, alçı dökümünde zorluklar ve taşıma ve depolamada komplikasyonlar dahil olmak üzere çok sayıda sorun sergiler. Geleneksel yöntemin birinci dezavantajı, ölçü başarısız olduğunda veya aparey üretimi için ek bir modele ihtiyaç duyulduğunda tüm sürecin yeniden başlatılması gerekliliğidir. Dijital modeller hasta randevularında azalma sağlayarak hem zamanı hem de maliyetleri düşürür. Dijital modellerin gelişmiş doğruluğunun yanı sıra, hasta verilerine klinik ve laboratuvar ortamlarında erişilebilir ve hasarlı veya eksik apareyler gerektiğinde arşivlenmiş dijital dosyalardan çoğaltılabilir (Avula vd., 2012).

Dijital modellerin kullanımını vurgulayan araştırmalardan elde edilen genel sonuç (Joffe, 2004; Peluso vd., 2004; Redmond vd., 2000), bunların birincil avantajının fiziksel depolama alanı ihtiyacını ortadan kaldırmasında yattığıdır. Ayrıca, dijital bir dosya yedeklendiğinde, bozulma ve hasar gibi sorunlar geleneksel modellerde olduğu gibi zaman içinde ortamda ortaya çıkmaz. Dijital gelişmeler, verilerin "bulutta" depolanmasını ve aynı sistem üzerinden küresel olarak erişilmesini sağlar. Ayrıca, alçı modellerle yapılamayan pek çok uygulama dijital modellerle gerçekleştirilebilmektedir. Tedavi sonrası dentoalveolar değişiklikler artık bilgisayarlı modeller kullanılarak değerlendirilebilmektedir, oysa daha önce bunlar yalnızca sefalometrik kaplamalarla ölçülebilmekteydi (Cha vd., 2007). Choi ve arkadaşları 2010 yılında 3 boyutlu dijital modelleri damak bölgesine bindirerek bu yöntemin güvenilirliğini değerlendirmiş ve anterior palatal bölgenin bindirme için uygun olduğunu belirlemiştir (Choi vd., 2010).

Dijital Modellerin Elde Edilmesi. Günümüzde dijital modeller çeşitli görüntüleme yöntemleriyle birleştirilebilmektedir. Dijital modelleri kullanmak için üç temel bileşen gereklidir. İlk gereklilik internet bağlantısı olan bir bilgisayardır. İnternet bağlantısı Dijital Abone Hattı (DSL) , kablo veya çevirmeli bağlantılarla sağlanabilir. Dijital modellerin şirket sisteminden indirilmesini hızlandırmak için DSL ve kablolu internet erişimi tercih edilir. İkinci olarak, bilgisayarda dijital modellerin saklanacağı bir klasör oluşturulmalı ve son olarak modelleri görmek için gerekli yazılım yüklenmelidir (Marcel & Scholz, 2001).

Dijital modeller doğrudan veya dolaylı yöntemler kullanılarak elde edilebilir (Flügge vd., 2013). Doğrudan yaklaşım, görüntüyü bir ağız içi tarayıcı aracılığıyla hastanın ağzının içinden yakalayarak ölçü alma gerekliliğini ortadan kaldırır. İndirekt yöntemde, görüntüler masaüstü veya ağız içi tarayıcı veya tomografi kullanılarak aljınat kalıplardan veya alçı modellerden elde edilir (Taneva, vd., 2015).

Model doğruluğunu belirlemek için küresel bir standart yoktur ve ortodontide yaygın olarak kabul edilen ölçüm hassasiyeti klinik uygulama için 0,1 mm'dir. Model yalnızca bir teşhis aracı olarak kullanılıyorsa bu değer ihmal edilebilir kabul edilir (Taneva, vd., 2015).

Günümüzde çok sayıda ortodontist, tanınmış şirketler tarafından sağlanan bilgisayarlı modelleri kullanmaktadır. Geleneksel baskılar, alçı modeller veya ağız içi tarama kayıtları, Standard Tessellation Language (STL) dosya formatında dijital bir model elde etmek için seçilen sağlayıcıya iletilebilir (Taneva, vd., 2015).

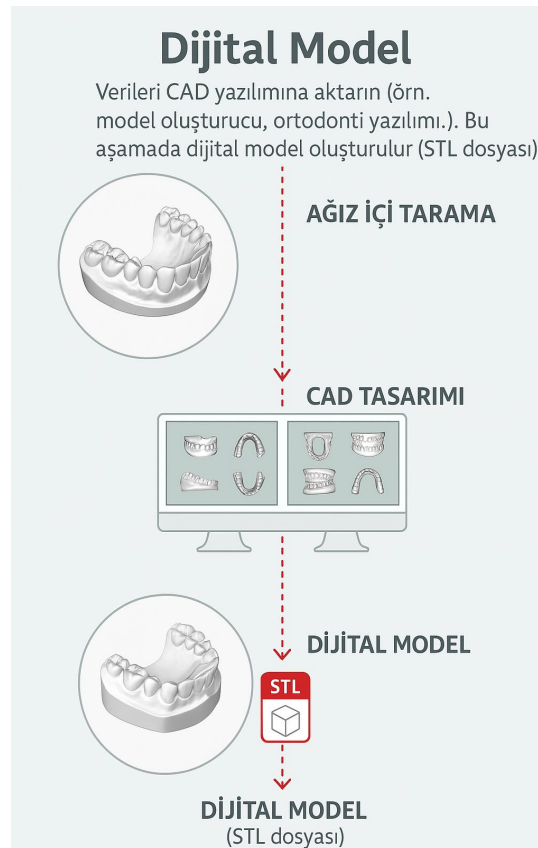
STL, intraoral tarayıcılar için baskın endüstri standardı dosya formatıdır ve bilgisayar destekli üretim gerektiren 3B modellemede yaygın olarak kullanılmaktadır. PLY (poligon dosya formatı; genellikle Stanford üçgen formatı olarak adlandırılır) renk ve/veya şeffaflık verileri gerektiğinde kullanılır (Taneva, vd., 2015).

İlk üç boyutlu (3B) yazıcı 1986 yılında Charles Hull tarafından geliştirilmiştir. O yıl Hull stereolitografiye (SLA) öncülük etti ve ilk 3B baskı sistemini yarattı (Applegate & Thomas, 2011; Brenner, 2002; Bulas vd., 2009; Kleinerman, 2006). Dört yıl sonra Scott

Crump kaynaşmış biriktirme modellemesini (FDM) yarattı (Sadetzki, 2007). SLA baskı teknolojisi, hassasiyeti ve sertliği sayesinde diş hekimliği sektöründe önem kazandı. Şu anda kullanımda olan baskın 3B yazıcılar Lazer-SLA, Doğrudan Işık İşleme (DLP) ve Sıvı Kristal Ekrandır (LCD). Bu üç yazıcı tipi bir kazan ve bir yapı platformundan oluşur. Sıvı fotopolimer reçine, baskı modelini oluşturmak için VAT'de biriktirilir. Öne çıkan bir yazıcı türü de Fused Filament Fabrication'dır (FFF). Bu yazıcılar temel olarak bir ekstrüder ve bir yapı plakasından oluşur. Plastik bazlı bir malzeme, plaka üzerinde modeli oluşturmak için ekstrüderde ısıtılır. PolyJet fotopolimer (PPP) yaygın olarak kullanılan bir 3B baskı yöntemidir. PolyJet yazıcılar bir malzeme haznesi, mürekkep püskürtmeli baskı kafaları ve bir yapı platformundan oluşur (Dawood vd., 2015; Farooqi & Sengupta, 2015; Gross vd., 2014; Mai vd., 2017; Vukicevic vd., 2017).

Şekil 2.

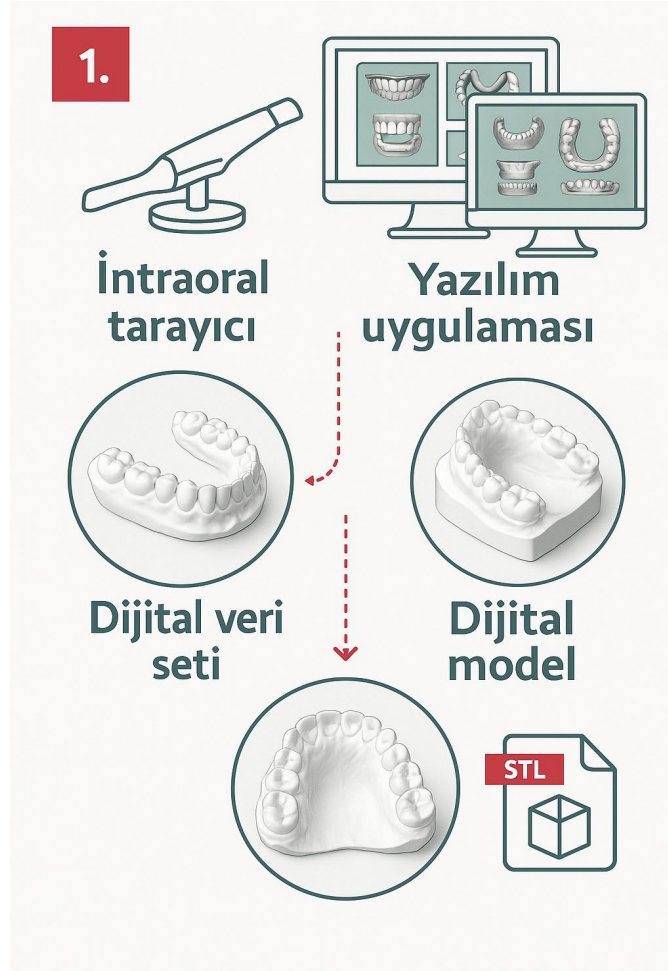
Dijital modellerin elde edilmesi



Dijital teknolojinin hızla ilerlemesi nedeniyle, bilgisayar destekli tasarım-bilgisayar destekli üretim (CAD-CAM) sistemlerinin yaygınlığı belirgin bir şekilde artmıştır. (Kessler vd., 2020) Bununla birlikte, ölçüden CAM'e kadar çeşitli unsurlar CAD-CAM restorasyonlarının üretimini etkileyerek bu restorasyonların yerleştirilmesinde potansiyel yanlışlıklara yol açmaktadır (Liaw & Guvendiren, 2017; Tian vd., 2021). Tarayıcıların ilerlemesiyle eş zamanlı olarak, üç boyutlu (3B) teknolojiler kullanılarak doğruluğun değerlendirilmesi mümkün hale gelmiştir (Kessler vd., 2020; Yu vd., 2021). Metroloji sınıfı endüstriyel yazılımlar diş hekimliği araştırmalarında dijital ölçülerin, tarama gövdelerinin ve restorasyonların üç boyutlu durumunu değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Lerner vd., 2021; Mangano vd., 2020; Schmidt vd., 2020; Xiao vd., 2018). Bu yazılımlar üretim sonrası kalite güvencesi için hassas değerlendirmeler sağlar. Dental restorasyonlar, bir referans taramanın üzerine bir test taramasının yerleştirilmesini gerektiren serbest biçimli yüzeylere sahiptir (Çakmak vd., 2021).

Şekil 3.

Ağız içi taramadan elde edilen STL modeller.



DLP teknolojisi olağanüstü doğruluk göstererek diş hekimliğinde, özellikle ortodontide yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. DLP teknolojisinin bir diğer faydası da SLA 3B yazıcılara kıyasla önemli ölçüde daha kısa sürede 3B baskılı modeller üretebilmesidir (Çakmak vd., 2021). DLP teknolojisi, reçinenin fotopolimerizasyonu için ışık kaynağı olarak hizmet veren dijital bir ışık projektörüne dayanır. Bu projektör, tek bir katmanın resmini sıralı olarak görüntüler, böylece bir katmanın tüm noktaları aynı anda kürlendiğinden süreci hızlandırır. Bir DLP yazıcı, dijital mikro ayna cihazı (DMD) kullanan bir LED ekran ile tanımlanır. Bu küçük mikro aynalar ışığı odaklayabilir ve reçine tankının tabanındaki bir katmanın temeli haline gelebilir. SLA gibi baskı prosedürlerinin tamamlanmasının ardından modelin yıkanması ve kürlenmesi gerekir

(Çakmak vd., 2021). LCD baskı teknolojisi, geleneksel tekne polimerizasyon 3B yazıcılara kıyasla maliyet etkinliği nedeniyle popülerlik kazanmaktadır. LCD 3B yazıcının bileşenleri, özellikle de ışık kaynağı, geleneksel 3B yazıcılarındakinden daha ucuz olduğu için daha uygun maliyetlidirler (Çakmak vd., 2021). Bu yazıcılar ışık kaynağı olarak bir Sıvı Kristal Ekran kullanmaktadır. Bu Sıvı Kristal Ekran, ışığın inşaat alanına paralel olarak iletilmesini sağlayan LCD panellerden oluşur. Bu 3B baskı yöntemi, ışığı genişletmek için lens veya başka cihazlar kullanma zorunluluğunu ortadan kaldırıyor. Bu prosedür, sonuç herhangi bir piksel bozulmasından etkilenmediği için bu 3B baskı teknolojisine bir avantaj sağlamaktadır. Mevcut literatür, LCD 3B baskı teknolojisinin hassasiyetini değerlendiren çalışmaların azlığına işaret etmektedir (Çakmak vd., 2021). Herhangi bir tıbbi cihazın, özellikle de herhangi bir 3B yazıcının hassasiyeti klinik uygulamadan önce değerlendirilmelidir. Araştırma, bir 3B yazıcının doğruluğunu değerlendirmek için en uygun yöntemin çıktıların hassasiyetini ve doğruluğunu analiz etmek olduğunu göstermektedir. Hassasiyet, aynı 3B dosyadan elde edilen sonuçların birbirleriyle karşılaştırılarak değerlendirilmesini ifade eder. Başka bir deyişle, gelişmiş doğruluk, makinenin daha tekrarlanabilir ve tek tip baskılar üretebileceğini gösterir. Doğruluk, her bir sonucun nesnenin gerçek boyutlarından sapma derecesini ifade eder. Yüksek hassasiyet özellikle makinenin dijital 3B ögenin gerçek oranlarına çok yakın veya eşleşen sonuçlar sağlayabileceğini gösterir (Ender & Mehl, 2013 ; Kim vd., 2018; Naeem vd., 2022; Nulty, 2022; Renne vd., 2017; Son vd., 2021; Tsolakis vd., 2022).

Tarama ve Görüntü İletimi Teknikleri

Görüntü aktarımı için en çağdaş teknoloji olan lazer tarayıcıların ortaya çıkmasından önce, diğer alternatif teknikler araştırılmıştır. Bu yaklaşımlar fotokopi, holografi, Moire topografisi ve fotosteometriyi kapsamaktadır (Ayoub vd., 1997; Kanazawa vd., 1984; Leith & Upatnieks, 1965; Takasaki, 1970).

Fotokopi. Yen , fotokopi araştırma modelleri kullanarak dişlerin mezio-distal genişliklerini ölçen bu yöntemi ilk kez kullanmıştır. Bu yöntemin Bolton oranı, kaninler arası ve premolar arası uzunluklar, ark uzunluğu ve diş boyutu hakkında daha hassas ölçümler vermesi beklenmektedir. Doğrudan üç boyutlu bir nesneden alınan doğrusal bir ölçüm önemli ölçüde yanlışlığa eğilimlidir, ancak iki boyutlu bir transfer üzerinde ölçüm yapmak daha basittir ve daha doğru bulgular verir. Bu teknoloji aynı zamanda fotokopilerin bilgisayar ortamına dönüştürülmesine olanak tanıyarak bir bilgisayar programı aracılığıyla referans noktalarının ve düzlemlerin oluşturulmasını sağlar (Schirmer & Wiltshire, 1997). Champagne (1992), fotokopilerin ark uzunluğunu ölçmek ve konum analizleri yapmak için güvenilir olmayan bir teknik olduğunu; ancak bu yöntemin tedavinin başlangıcında ve sonunda ark şeklindeki değişiklikleri izlemek için faydalı olduğunu belirtmiştir. Paredes ve arkadaşları (Paredes vd., 2006) Bolton analizini, milimetrik kağıt üzerine yerleştirilmiş alçı modelleri bir kağıt yüzey tarayıcı kullanarak tarayıp dijitalleştirerek gerçekleştirmiştir. Dijital ve manuel ölçümler kullanılarak 100 modelin karşılaştırılması tutarlı sonuçlar vermiştir ($r = 0,976$; $r = 0,979$).

Holografi. Hologram, sabit bir dalga boyundaki bir noktasal ışık kaynağından (referans ışık) salınan ışık ile aynı sabit dalga boyundaki bir nesneden yayılan ışık (objektif ışık) arasındaki etkileşimden kaynaklanan faz farkının iki veya üç boyutlu olarak kaydedilmesidir. Hologram yalnızca referans ışıkla aydınlatıldığında, orijinal nesneden yayılan ışık dalgaları kırılma desenleri yoluyla yeniden ortaya çıkar ve orijinal nesneden ayırt edilemeyen bir görüntü üretir (Jeong, 2008). 1948 yılında Gabor, Leith ve Upatnieks'in daha sonra lazer ışını teknolojisini holografiye dahil ederek geliştirdikleri bir sistem sunmuştur (Gabor, 1972; Leith & Upatnieks, 1965). Holografi, birkaç mikrometre mertebesindeki üç boyutlu yer değiştirmelerin doğrudan ölçülmesini kolaylaştırır (Rydén vd., 1982; Wedendal & Bjelkhagen, 1974). Dental modellerin holografik kaydı için özel bir holografi kamerası gereklidir. Modeller dört perspektiften belgelenir: oklüzal, frontal, sağ bukkal ve sol bukkal. Holografik görüntülerin üç boyutlu doğasına rağmen, statik bir formatta korunurlar ve fonksiyonel bir model gibi değiştirilemezler. Üretilmeleri zor ve maliyetlidir. Bu teknikle ilgili birincil sorun, modellerin özellikle kesici diş bölgesinde yeterli kalite ve ayrıntıdan yoksun olmasıdır (Harradine vd., 1990). Holografinin bir avantajı, diğer tıbbi bilgilerle birlikte film üzerinde saklanabilmesi ve etkin arşivlemeyi kolaylaştırmasıdır. Bununla birlikte, geleneksel çalışma paradigmalarının yerini almamıştır (Bell vd., 2003).

Moire Topografyası. Araştırmacılar ayrıca çalışma modellerinin arşivlenmesi için hareli topografyayı da denemişlerdir (Kanazawa vd., 1984; Takasaki, 1970). Bu, bir yüzey üzerinde kontur çizgilerinin tanımlanmasını içeren kartografik bir yöntemdir. Bununla birlikte, diş morfolojisinin inceliklerini tanımlamadaki zorluklar nedeniyle sınırlı çözünürlük sergiler (Bell vd., 2003).

Fotostereometri. Ayoub ve arkadaşları (1997) tarafından önerilen fotostereometrik yaklaşım, temel olarak bir bilgisayara bağlı bir çift video kameradan oluşur. Diş modelleri dijital formatta benzersiz şekilde renklendirilmiş çizimler olarak belgelenir. Yakalanan veriler, gerektiğinde operasyonel modeli çoğaltmak için STL formatına dönüştürülebilir. İki veya daha fazla kamera yardımıyla çeşitli perspektiflerden eşzamanlı olarak çekilen çok sayıda fotoğraf kullanılarak bir 3B görüntü oluşturulur (Rosati vd., 2010). Bu teknik, güvenilir yumuşak doku değerlendirmesi sağlayarak kraniyofasiyal anomalileri olan hastalarda maksillofasiyal cerrahi için tedavi planlamasında uygulanabilir hale getirir (Krimmel vd., 2006; Rangel vd., 2008; Weinberg vd., 2004). Fotostereometri yaklaşımında, görüntü derinliği iki kamera arasındaki mesafeye bağlıdır. Mesafe arttıkça derinlik de artar. Bununla birlikte, kameralar arasındaki mesafe aşırı derecede arttığında, her bir kamera tarafından üretilen görüntüler önemli ölçüde farklılaşır. Sonuç olarak, görüntülerin uyumluluğu azalır ve nesnenin her iki kamera tarafından aynı anda görülebildiği bölge azalır; dolayısıyla nesneye ilişkin kapsamlı bilgi elde edilemez (Halazonetis, 2001). Günümüz teknolojisi dental modellerin üç boyutlu dijitalleştirilmesini kolaylaştırmaktadır. Sonuç olarak, dijital modeller ve hastanın yüzünün 3 boyutlu fotoğrafları birleştirilebilir ve böylece doktorlar röntgen çekmeye gerek kalmadan yumuşak dokular ve diş kemerleri arasındaki korelasyonu daha etkili bir şekilde değerlendirebilir (Rangel vd., 2008). Bilgisayarlı diş modellerinin hastanın yüz resimleri ile birleştirilmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Entegrasyon için bilgisayarlı bir diş modeli ve hastanın dişlerini ve oklüzyonunu gösteren dijital 3B görüntüler kullanılmıştır. Üç veri seti belirlenen noktalarda üst üste bindirilmiş ve anatomik yapılar üç boyutlu bir dijital görüntü oluşturmak için doğru bir şekilde konumlandırılmıştır; bu sayede dijital diş modeli hastanın yüzünün şeffaflığının altında fark edilebilir hale gelmiştir. Dijital diş modeli ile 3B fotoğraflar arasındaki mesafe belirlenen alanlarda değerlendirilmiş ve ortalama 0,35 mm'lik bir uyumsuzluk ortaya çıkmıştır. Mesafedeki uyumsuzluk, verilerin kaynaştırılabilirliğinin tatmin edici olduğunu göstermektedir. Üç boyutlu fotoğraflar ve dijital diş modelleri, hastanın yüzünün kapsamlı kayıtlarını yakalamak için birleştirilebilir. Rosati ve arkadaşları (Rosati vd., 2010), 3B stereofotometrik görüntüleme sistemi (Vectra, Canfield Scientific, Fairfield, NJ) kullanarak 11 yetişkinin

dijital diş modellerini yüz bölgelerinin yumuşak doku morfolojileriyle entegre etmiştir. Vectra yazılımı kullanılarak üç yüz ve üç diş referans noktası belirlenmiştir. Aynı altı referans noktası 3B bilgisayarlı elektromanyetik cihaz kullanılarak in vivo olarak sayısallaştırılmıştır. Rekonstrüksiyon ve in vivo resimler üzerinde yedi doğrusal ölçüm yapılmış ve bunların hassasiyeti ve güvenilirliği değerlendirilmiştir. Maksimum hata oranı %1,2'dir ve istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Bu çalışma, stereo fotometri ve lazer tarama tekniklerinin, diş kemerleri de dahil olmak üzere hastanın tüm yüz yapısını doğru bir şekilde yeniden oluşturmak için birleştirilebileceğini göstermektedir.

Çağdaş Görüntü İletim Teknikleri

Günümüzde modellerin üç boyutlu gösterimlerini elde etmek için çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Baskın teknik, yapılandırılmış veya yapılandırılmamış lazer tarayıcılar kullanarak alçı modellerin taranmasını içerir. Bazı masaüstü tarayıcılar da alçı modellerden veya doğrudan ölçümlerden üç boyutlu görüntüler yakalayabilir. Bu tarayıcılar kör alanları ortadan kaldırmak için bir eğirme bileşenine sahiptir (Hayashi vd., 2013). Dijital modeller doğrudan veya dolaylı yöntemler kullanılarak elde edilebilir. Doğrudan teknikte ağız içi tarayıcılar kullanılırken, dolaylı teknikte alçı modelin görüntülerini yakalamak için lazer tarayıcılar veya bilgisayarlı tomografi kullanılır. Toplanan kayıtlar daha sonra dijital fotoğraflara dönüştürülür ve şirketin sisteminde arşivlenir. Kullanıcılar fotoğrafları istedikleri zaman çevrimiçi olarak yükleyebilir ve şirket tarafından sağlanan yazılımı kullanarak rutin ölçümler yapabilirler (Wiranto vd., 2013). Kullanılan diğer teknolojiler arasında bilgisayarlı tomografi (BT), manyetik rezonans görüntüleme (MRI), fotostereometri ve son zamanlarda konik ışınli bilgisayarlı tomografi (KIBT) bulunmaktadır. Bununla birlikte, bu teknolojilerin hiçbiri tüm anatomik yapıları eş zamanlı olarak kaydetme ve entegre etme kapasitesine sahip değildir (Barone vd., 2013). Bugüne kadar kullanılan tüm görüntüleme yöntemlerinin hassasiyetini ve güvenilirliğini değerlendirmek çok önemlidir. Çünkü bunlar hem elde edilen üç boyutlu görüntüdeki ölçümleri hem de görüntülerden geliştirilen ortodontik ekipmanın tutarlılığını etkilemektedir (Hayashi vd., 2013).

Optik Ağız İçi Tarama Teknolojisi. Ortodontide kullanılan ve çeşitli optik unsurları kullanan mevcut tarama ve yapısal aydınlatma teknikleri, konfokal lazer tarama mikroskobu, optik üçgenleme, optik koherens tomografi, akordeon saçak interferometrisi ve aktif dalga cephesi örneklemesini kapsamaktadır. Ağız içi tarayıcılar, klinik ortamlarda gelişmiş güvenilirlikleri ve zaman verimlilikleri nedeniyle popülerlik kazanmaktadır. Yayınlanmış araştırmalar, ağız içi taramanın hassasiyetinin geleneksel ölçümlerle karşılaştırılabilir veya daha üstün olduğunu göstermektedir (Akyalcin, vd., 2013; Rheude vd., 2005 ; Flügge vd., 2013). Dijital ve alçı modeller arasındaki diş genişliği ölçümlerinde ortalama tutarsızlığın 0 ila 0,384 mm arasında değiştiği belgelenmiştir (Cuperus vd., 2012). 2013 yılında Naidu ve Freezer (Naidu & Freer, 2013), iOC (Cadent, Carlstand, NJ) ağız içi tarayıcı kullanılarak alınan görüntülerden elde edilen ölçümlerin tekrarlanabilirliğini doğrulamak için 30 deneğin ağız içi tarama kayıtlarını alçı modellerle birlikte değerlendirmiştir. Diş genişlikleri alçı modeller üzerinde dijital bir kumpas ve dijital modeller üzerinde OrthoCAD™ (Align Technology, Inc., San Jose, CA) kullanılarak ölçülmüştür. Diş genişlikleri ve Bolton oranlarındaki istatistiksel olarak anlamlı farklılıklara rağmen, 0,5 mm kriterine göre diş genişliği ölçümlerindeki 0,024 mm'lik tutarsızlık klinik önemden arz etmiyordu. Çalışmalar, diş genişliği ve Bolton oranının ağız içi tarama kullanılarak klinik olarak kabul edilebilir doğruluk ve olağanüstü güvenilirlikle değerlendirilebileceğini göstermiştir (Cuperus vd., 2012; Okunami vd., 2007; Quimby vd., 2004; Santoro vd., 2003). Cuperus ve arkadaşları (2012), Lava ağız içi tarayıcı ile elde edilen sanal modellerde diş genişliği ölçümlerinin fiziksel stereolitografik modellerdekilere kıyasla tipik olarak daha büyük olduğunu belirtmiştir.

Yapılandırılmış beyaz ışık kullanan SureSmile OraScanner (OraMetrix, Richardson, Tex) gibi cihazlar, diş yapılarını doğrudan ağız boşluğu içinde veya bir alçı modelden taramak için hem in vivo hem de in vitro olarak çalışabilmektedir. iTero (Align Technology, San Jose, California), CEREC (Sirona, Bensheim, Almanya) ve Lava COS (3M Unitek, St. Paul, Minnesota) benzer işlevlerle piyasaya sürülmüştür (Czarnota vd., 2016; van der Meer vd., 2012). Avrupa'da kullanılan baskın sistem, aynı üreticinin Ortho Analyzer yazılımı ile birlikte

R700 masaüstü tarayıcıdır (3Shape). Popülerliğine rağmen, güvenilirliğine ilişkin çalışmalar yetersiz kalmaktadır (Hayashi vd., 2013).

Konfokal lazer taramalı mikroskopi (CLSM). CLSM, yüksek çözünürlüklü ve derinlikli resimler elde etmek için kullanılan bir yöntemdir. Temel fikir 1957 yılında Marvin Minsky tarafından ortaya atılmıştır (Paddock & Eliceiri, 2014). Görüntüler bir mercek aracılığıyla yoğunlaştırılmak yerine, nokta nokta, satır satır veya eşzamanlı çok noktalı kayıt yoluyla toplanır ve daha sonra bir bilgisayarda üç boyutlu olarak yeniden oluşturulur (Carlsson vd., 1985). Konfokal mikroskopinin birincil özelliği, numunelerin yüksek çözünürlük, kontrast ve hassas x, y, z koordinatları ile değişen derinliklerde optik kesitlerini oluşturma yeteneğidir. Odak dışı ışık yansımalarını gidermek için uzamsal filtreleme özelliğine sahiptir. Tarama örneğinin periyodunu değiştirerek görsel ve uzamsal çözünürlüğü artırmak "odak faktörü" olarak adlandırılır (Carlsson vd., 1985; Paddock & Eliceiri, 2014; Shotton, 1989). 1970'ler ve 1980'ler boyunca, görüntü sayısallaştırma için yeni yöntemler, o zamandan beri yaygın uygulamalar haline gelen çağdaş lazer ve bilgisayar teknolojilerinin temelini oluşturmuştur. Modern konfokal mikroskopi sistemleri, dalga boyu seçme cihazları da dahil olmak üzere çeşitli bileşenler içerebilir (Logozzo vd., 2014). Bu tarama teknolojileri günümüzde kimyasalların, canlı hücrelerin ve dokuların işlevsel ve yapısal analizinde kullanılmaktadır (Taneva, vd., 2015). Cadent Ltd. tarafından 2006 yılında yaratılan iTero® dijital ölçü tarayıcısı, Align Technology, Inc. (San Jose, CA) tarafından üretilmekte ve konfokal lazer mikroskopi teknolojisini kullanmaktadır. Cihaz, diş tarama işlemi sırasında 100.000 eşzamanlı kırmızı lazer ışınını bir odaklayıcıya iletir. Yansıyan ışık daha sonra analogdan dijitale dönüştürücüler tarafından dijital verilere dönüştürülür (Taneva, vd. 2015).

Carestream Dental (Atlanta, GA) CS 3500, konfokal mikroskopi teknolojisini kullanan bir başka cihazdır. Gerçek renkleri 2D olarak doğru bir şekilde kaydedebilir ve 2-13 mm derinlikte 45° açıyla 3B tarama gerçekleştirebilir. 2010 yılında 3Shape (Kopenhag, Danimarka), konfokal mikroskopi konseptiyle çalışan TRIOS® hızlı ağız içi tarayıcıyı piyasaya sürmüştür. Odak alanına bağlı olarak çeşitli zamanlarda ve konumlarda çekilen çok sayıda fotoğraf, 3B dijital bir temsil sağlamak için birleştirilir. Yüksek çözünürlüklü

kamera kullanılarak diş tonları belirlenebilir ve doğal renkli ya da standart renksiz fotoğraflar elde edilebilir (Logozzo vd., 2014). Tarama sırasında pudraya gerek yoktur; tarama başlığının ucu otoklavda sterilize edilebilir ve buğulanmayı önleyici bir mekanizmaya sahiptir. Tüm ağız boşluğunun taranması için yaklaşık 5 dakika gerekir. 3Shape'in Ortho Analyzer uygulaması ortodontik model analizini ve tedavi planlamasını kolaylaştırırken konik ışınlı tomografi, hasta resimleri ve panoramik röntgenlerin saklanması da olanak tanır. TRIOS® dijital ölçüleri standart STL dosya formatında saklar (Taneva, vd., 2015).

Optik Üçgenleme. Optik üçgenleme yöntemi, nesnelere mikron hassasiyetinde temassız mesafe ölçümü sağlar (Ji & Leu, 1989). Üçgenleme sensörleri, dokunmanın istenmediği durumlarda kırılğan, yumuşak veya nemli malzemeler üzerinde hızla veri elde etmek için çok etkilidir. Sistem bir lens, bir lazer ışık kaynağı ve ışığa duyarlı doğrusal bir sensörden oluşmaktadır (Logozzo vd., 2014). Lazer ışını nesne üzerindeki bir noktaya yansıtılır ve sensör yüzeyinde bir nokta resmi oluşturur. Sensörden nesnenin yüzeyine olan mesafe, görüntünün sensör yüzeyindeki konumuna bağlı olarak açısal ve doğrusal ölçümlerle belirlenir. Üçgenleme teorisi yüzyıllardır kullanılmaktadır, ancak sensörlerin endüstriyel uygulaması 1971 yılında gerçekleşmiştir. Üçgenleme sensörleri tipik olarak titreşim izleme, yüksek hızda dönen lastiklerin boyutlarını ölçme ve otomatik kapılarda güvenlik özelliği olarak kullanılır (Costa & Manuel, 1994; Ji & Leu, 1989). CEREC sistemi optik üçgenleme prensibine dayalı olarak çalışır. Üç boyutlu uzayda bir noktayı belirlemek için üç doğrusal ışık ışını kullanılır. Işığı tutarsız şekilde yayan, doğru şekilde yansıtamayan veya süreksiz dokulara sahip yüzeyler, üçgenleme yöntemi kullanılarak yapılan taramaları önemli ölçüde bozar. Sonuç olarak, eşit ışık dağılımı sağlamak için titanyum dioksit tozu kullanılır. Identica Blue, faz değişimli optik üçgenleme prensibine dayalı olarak çalışan çift kameralı bir tarayıcıdır.

Optik Koherens Tomografi (OCT). Optik Koherens Tomografi (OCT), biyolojik materyallerin ve dokuların kesitsel iç yapısının yüksek çözünürlüklü görüntülenmesi için kullanılan interferometrik bir yöntemdir (Podoleanu, 2005). Temel prensibi ultrasonik görüntülemeye benzer, ancak ses yerine bir ışık kaynağı kullanır. Mikron ölçeğindeki mesafelerin ve mikro yapıların eşzamanlı in vivo ölçümleri, yansıyan ışık dalgalarından elde edilir. OCT görüntülerinin derinliği ultrasonunkinden daha düşük olsa da, çözünürlük (1-15 μm) tipik klinik ultrasondan 10-100 kat daha üstündür. Uzun dalga boylu ışık ışınları birçok dokunun 2-3 mm içine sızabilir (Logozzo vd., 2014; Prati vd., 2010). Optik Koherens Tomografi (OCT), 1991'deki başlangıcından bu yana tercih edilen bir tıbbi tanı aracı olmuştur. Günümüzde oftalmoloji, gastroenteroloji ve kardiyolojide yaygın olarak kullanılmaktadır ve geleneksel eksizyonel biyopsinin pratik olmadığı veya tehlikeli olduğu durumlarda etkili bir şekilde kullanılmaktadır (Fujimoto vd., 2000). E4D Technologies'in (Richardson, TX) Planmeca PlanScan® tarayıcısı restoratif diş hekimliğinde sıklıkla tercih edilmektedir. Bu cihaz mavi lazer teknolojisini kullanan optik koherens tomografi kullanır (Logozzo vd., 2014).

Akordeon Saçak İnterferometresi (ASI). ASI prensibini kullanan tarayıcılar hem karanlık hem de aydınlık yüzeyleri tarayabilir. Ortam ışığına daha az duyarlı olması nedeniyle, daha geniş bir yüzey ve doku yelpazesini yakalayabilir. Sonuç olarak, tarama prosedürü boyunca özel aydınlatma gerektirmez. Bu teknik hızlı ve çok detaylı bir tarama sunar. Nesne, iki noktasal ışık kaynağından gelen lazer ışınlarıyla aydınlatılır ve görüntü kamera tarafından yakalanır (Mermelstein vd., 2000). Otomotiv ve havacılık endüstrilerinin yanı sıra parça imalatında da kullanılmaktadır. Taranan çeşitli bileşenleri entegre etmek için kalibre edilmiş özel nesneler gereksizdir. Yazılım uygulaması, fotoğrafları doğru konumlara yerleştirerek birleştirebilir (Bloss, 2008). Ormco Corporation (Orange, CA) 2013 yılında Lythos™ dijital ölçü sistemini piyasaya sürmüştür. Ağız içi tarayıcı, görüntüleri yakalamak için akordeon fringe interferometre teknolojisini kullanır. Dış yüzeylerinin çeşitli açılardan karmaşık ve yüksek çözünürlüklü fotoğraflarını çekebilmektedir (Ormco Corporation Introduces Lythostm Dıgital Impression System).

Aktif dalga cephesi örnekleme (AWS). Bu 3B yüzey görüntüleme tekniğinin birincil özelliği, stereoskopik sistemlerin aksine, derinlik bilgisi elde etmek için yalnızca tek bir optik yol ve tek bir kamera gerektirmesidir. Sonuç olarak bu strateji, tipik olarak çok sayıda kamera ve maliyetli lazer hedef aydınlatma bileşenleri için belirlenen paranın sadece yarısı ile uygulanabilir. Şu anda mevcut olan kamera, endoskopi ve mikroskopi dahil olmak üzere 2D sistemlerde kullanılabilmektedir . Yöntem, tek bir lens sistemi kullanarak odak dışı alanların derinlik ölçümlerine dayanır. Üç sensör eşzamanlı olarak ögenin çeşitli açılardan fotoğraflarını çeker. Bu üç fotoğraf, 3B yüzey görüntüsü oluşturmak için odak içi/odak dışı bilgi yöntemleri kullanılarak işlenir (Syrek vd., 2010). Her saniye 24 milyon veri noktası yakalanarak kapsamlı bir tarama gerçekleştirilir. Üretici, sırayla çekilen çok sayıda fotoğrafın, üstün görüntü kalitesi ve yüksek hassasiyet elde etmek için özel bir algoritma kullanılarak işlendiğini belirtmektedir. Bununla birlikte, bu tarayıcının in vivo etkinliğine ilişkin veriler yetersizdir (Syrek vd., 2010). LavaTM Chairside Oral Scanner (Lava C.O.S.), AAS yöntemini kullanan bir ağız içi tarayıcıdır. 3M True Definition tarayıcı 2013 yılında LavaTM Chairside Oral Scanner'ın geliştirilmiş bir iterasyonu olarak tanıtılmıştır. Bu tarayıcı 2006 yılından beri genel ve restoratif diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır. True Definition, ADE kullanarak yapılandırılmış ışık projeksiyonu kavramını kullanır. 3M ESPE bu yöntemi 3B hareketli video teknolojisi' olarak tanımlamıştır. Ekipmanın referans noktalarını tanımlayabilmesi için tüm dental arklar taramadan önce kurutulmalı ve hafifçe toz haline getirilmelidir (Taneva, vd., 2015).

Masaüstü Web Tarayıcıları. Dijital modeller elde etmek için kullanılan ağız içi 3B tarayıcılar hem kalıplardan hem de alçı modellerden görüntü yakalayabilir. Hedef yüzeyin yüksek çözünürlüklü fotoğrafları bir lazer ışını ve birçok dijital kamera kullanılarak elde edilir. Ölçüler, modeller veya kapanış kayıtları cihaz içinde otonom olarak dönen bir platform üzerine yerleştirilir. Dönen platform, modelin herhangi bir perspektiften kapsamlı bir şekilde çekilebilmesini garanti eder. Lazer ışını nesneye yönlendirilir ve kameralar nesnenin yüzeyinden yansıtılmış bir yansımasını yakalar. Tarama prosedürü tamamlandıktan sonra dijital model STL formatında saklanır. 2012'de tanıtılan Ortho Insight 3B™ (Motion View Software, LLC, Chattanooga, TN), 40-200 mikron çözünürlükte robotik tarama yapan bir masaüstü cihazıdır. Tek bir alçı modelin taranması ve ardından sanal bir modelin oluşturulması yaklaşık 5-7 dakika sürer (Correia vd., 2014). 3Shape (Kopenhag, Danimarka), alçı modeller ve ölçümler için her biri çözünürlük ve hız açısından farklılık gösteren üç farklı 3B tarama sistemi üretmektedir. R500 ve R700 serileri, 1,3 megapiksel çözünürlüklü dijital kameralarla 20 mikron hassasiyet sağlayan kırmızı ışık lazer teknolojisini kullanıyor. R500 serisi için tarama süresi alçı modeller için 2 dakika 20 saniye ve ölçü için 6 dakika 40 saniyedir. R700 serisinde ise süreler 1 dakika 30 saniye ve 7 dakikadır. R900 serisi, 4,5 megapiksel sensörlerle 15 mikron renkli görüntü netliği sağlayan mavi LED lazer teknolojisini kullanır. Tarama süresi alçı model için 1 dakika 20 saniye ve ölçüm için 2 dakika 10 saniyedir. Yüksek kapasitede çalışan laboratuvarlarda kullanıma uygundur. Literatürde 3B model tarayıcıların hassasiyeti ile ilgili çok sayıda araştırma yayınlanmıştır. Ortho Insight 3B™ tarayıcının hassasiyeti, hem alçı hem de sanal modellerde diş genişliği, ark uzunluğu ve genişlikleri ölçülerek değerlendirilmiştir. Üsmolarlar, alt premolarlar, alt molarlar ve üst premolarlar arasında ark genişlikleri ve uzunluklarında önemli farklılıklar görülmüştür. Bununla birlikte, kaydedilen uyumsuzlukların %90'ı 0,2 mm'nin altındaydı (Kim vd., 2014).

Ortho Insight dijital modellerinin alçı model üzerindeki kaliper ölçümleriyle karşılaştırıldığı bir araştırma, GeoDigm ve KIBT ile elde edilenlerden daha düşük olan $0,24 \pm 0,67$ mm'lik ortalama ölçüm farklılıkları ortaya koymuştur (Akyalcin, vd., 2013). 2013 yılında Hayashi ve arkadaşları (Hayashi vd., 2013) üç farklı tarama sistemi

(SureSmile OraScanner, Konica Minolta VIVID910, 3Shape R700) kullanılarak elde edilen dijital modellerle altın standart SLP250 Lazerden elde edilen dijital modelleri in vitro olarak karşılaştırmıştır. Sonuçlar, her bir karşılaştırmada görülen farklılıkların minimal olduğunu ($<0,048$ mm) ve her bir tarama teknolojisinin doktorlar için yeterli netlikte dijital modeller ürettiğini göstermektedir (Hayashi vd., 2013). Correia ve arkadaşları (2014), diş boyutu ve ark uzunluğu ölçümlerinin dijital modeller ile 3Shape R700 ile üretilen alçı modeller arasında çok az farklılık gösterdiğini ve bu farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olmadığını keşfetmiştir (Correia vd., 2014). Flügge ve arkadaşları (Flügge vd., 2013) tarafından yürütülen araştırma, masaüstü tarayıcıların ağız içi tarayıcılara kıyasla kavisli ve anizotropik bölgelerin dijitalleştirilmesinde daha üstün netlik sağladığını, ağız içi tarayıcıların ise dişler arası boşlukları yakalamada daha başarılı olduğunu göstermektedir. Identica Blue masaüstü tarayıcı mavi LED ışık teknolojisi kullanmaktadır. Faz değişimli optik üçgenleme tekniği ile çalışır. Tarama yeteneklerini geliştirmek için I.M.V. (Intelligent Multi View) olarak bilinen bir teknoloji yarattılar. Diğer sistemlerde bulunan ikiz kameralara ek olarak, erişilemeyen yerler için üçüncül bir kamera kullanılmaktadır. Taranan modeller STL formatında saklanmaktadır (Wiranto vd., 2013).

Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (KIBT). Lazer tarayıcılarla üretilen modeller, altın standart olarak kabul edilen alçı modellere kıyasla önemli ölçüde güvenilirlik göstermektedir. KIBT taramaları, tanı ve tedavi planlamasında klinisyenler için bir seçenek olarak hizmet vermektedir (Kojima vd., 1999). Hem KIBT hem de lazer tarayıcılardan elde edilen modeller, ortodontik teşhis ve analiz için uygulanabilir ve güvenilir teknikler olarak kabul edilmektedir (Kim vd., 2014; Wiranto vd., 2013). Damak bölgesi referans olarak kullanıldığında, çeşitli 3B dijital model dönüştürme yöntemleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmemiştir (Taneva, vd., 2015). Kaçınılmaz yüksek radyasyon dozuna rağmen, BT kemik görüntüleme için en güvenilir teknik olmaya devam etmektedir. Son yıllarda, Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (KIBT) diş hekimliğinde uygulanmakta ve daha az radyasyona maruz kalınarak görüntü elde edilmesini kolaylaştırmaktadır (Lund vd., 2010). Bununla birlikte, KIBT yumuşak dokuların üç boyutlu rekonstrüksiyonu için yeterli görüntü sağlayamamaktadır. Metal restorasyonlar ve sabit ortodontik aparatlar dental görüntülerin netliğini bozar ve artefaktlar oluşturur. KIBT'nin çözünürlük seviyesi, hassas kenar hizalaması gerektiren sökülebilir ekipmanların tasarımı ve üretimi için yetersizdir. Buna karşılık, optik tarama teknikleri dental arkların dijitalleştirilmesi için olağanüstü netlik sunar ve ağız içi yumuşak dokuları yakalayabilir. Bununla birlikte, optik tarayıcılar yalnızca görünür yüzeyleri yeniden yapılandırabilir ve bunları yakalayamaz (Barone vd., 2013). Öyle, kemik yapıları ve diş kökleri artık çeşitli görüntüleme yöntemlerinin entegrasyonu yoluyla elde edilebilmektedir. Multimodal görüntü füzyon tekniği kullanılarak, hastanın yüz iskeleti BT ve diş kemerleri optik tarayıcılarla görüntülenerek iskelet-diş modelleri oluşturulur. Bu yöntem, optik tarayıcıları etkinleştirerek hastanın iskelet yapısının BT ile görüntülenmesi sırasında diş kemerlerinde artefakt oluşmasını önler. SureSmile, dental arkların üç boyutlu görüntülerini elde etmek için hem ağız boşluğu içinde in vivo hem de modeller kullanarak in vitro konik ışınli bilgisayarlı tomografi kullanmıştır (Hayashi vd., 2013). Grünheid ve arkadaşları (Grünheid vd., 2014) SureSmile KIBT kullanılarak elde edilen dijital modelleri kullanarak alçı modeller üzerinde diş genişliklerini değerlendirmiş ve ölçümlerin güvenilir olduğunu belirlemiştir.

2012 yılında (Tarazona vd., 2012) Bolton indeksinin türetilmesinde tarama alçı modellerinden elde edilen dijital modeller ile ağız içi KIBT kayıtlarından elde edilen dijital modelleri karşılaştırmıştır. Çalışmanın sonuçları, prosedürler arasındaki farklılıklara rağmen, her ikisinin de klinik olarak uygun görüldüğünü göstermektedir.

Ortodontide Üç Boyutlu Modellerin Uygulanması

Dijital dental modeller ortodontide teşhis, tedavi planlaması ve aparey üretimi için kullanılmaktadır. Üç boyutlu baskı ortodonti alanına girmiş ve önemli ölçüde popülerlik kazanmıştır (Hazeveld vd., 2014). Bu teknoloji kullanılarak giderek artan sayıda ortodontik aparey üretilmektedir. Üç boyutlu yazıcıları kullanmak için, cihazların üretimi için gerekli modeli tasarlayacak bir yazılım gereklidir (Lin vd., 2019). Halihazırda, ortodontik çalışma modellerinin oluşturulması, şeffaf plakların üretimi ve in-house plak üretimi için modellerin oluşturulması da dahil olmak üzere ortodontide gelişmiş metodolojileri uygulayabilen çeşitli yazılım uygulamaları mevcuttur. Bir ortodontistin in-house aligner tedavisi oluşturabilmesi için araç setinde dijital tarayıcı, aligner planlama yazılımı, üç boyutlu yazıcı ve termoform makinesi bulunmalıdır.

Değerlendirme. Dental çalışma modelleri ortodontik teşhis için önemli bilgiler sunar. Ortodontik tedavi öncesinde, çalışma modelleri üzerinde oklüzal bağlantıların kapsamlı bir değerlendirmesi ve diş & ark boyutlarının ölçümleri yapılır.

Oklüzyon Analizi. Arşivleme için alçı diş modellerinin kullanılmasının önemli bir dezavantajı, yetersiz saklama koşullarının alçı modellerin bozulmasına veya kaybolmasına yol açarak kritik hasta bilgilerinin geri döndürülemez şekilde kaybolmasına neden olabilmesidir. Buna karşılık, dijital modeller güvenilirdir ve herhangi bir zamanda yeniden değerlendirme için kolayca erişilebilir. Dijital verilerin korunması da aynı derecede önemlidir; hastanın tüm dijital bilgileri tek bir USB sürücüde saklanabilir. Veri kaybının önlenmesi için sistematik yedekleme protokollerinin oluşturulması şarttır. Çok sayıda bulut çözümü, herhangi bir konumdan veri erişimi sağlayarak verimliliği artırır ve hem zamandan hem de mekandan tasarruf sağlar. Dijital diş modellerinin tanısal etkinliği hakkında literatürde çelişkili bulgular olmasına rağmen, mevcut araştırmalar dijital modellerin alçı eşdeğerleriyle karşılaştırılabilir veya onlardan daha üstün olduğunu göstermektedir (Tsolakis, vd. 2022a). Alçı ve dijital modeller üzerinde overjet, overbite ve dental ölçümleri değerlendirmiştir. Alçı modeller ile "altın standart" olarak kabul edilen dijital modeller arasında istatistiksel farklılıklar olsa da, klinik olarak anlamlı olmadığını bulmuşlardır. Mayers ve arkadaşları(2005) Akran Değerlendirme Derecelendirmesi (PAR) puanlarının dijital modellerden etkili bir şekilde elde edilebileceğini göstermiştir. Ek araştırmalar, alçı ve dijital modeller arasında oklüzal temaslar, overjet, bukkolingual eğimler, hizalama ve genel Amerikan Ortodonti Kurulu (ABO) derecelendirme puanları için küçük ancak istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olduğunu göstermiştir (Costalos vd., 2005; Santoro vd., 2003). Yapılan araştırmalar, alçı ve dijital diş modellerinin tanısal etkinliğinde önemli bir fark olmadığını ve dijital modellerin oklüzal ilişkileri değerlendirmek için güvenilir bir şekilde kullanılabileceğini belirlemiştir (Mayers vd., 2005; Okunami vd., 2007; Stevens vd., 2006). Farklılıklar, farklı yazılım algoritmalarına ve metodolojilerine bağlanabilir. Çağdaş ağız içi tarayıcılardaki teknolojik gelişmeler, güvenilirliklerini ve hassasiyetlerini artırmaktadır.

Ark Uzunluğu ve Diş Genişliği. İki boyutlu fotoğraflık ve radyografik çalışmalar için kalibrasyon çizelgeleri ve referanslar kullanılmıştır. Dijital modellemedeki gelişmeler, 3B diş modellerinin önceden kalibre edilmesine olanak tanıyarak çeşitli yazılım uygulamaları aracılığıyla ark uzunluğu ve diş boyutu eşitsizlikleri gibi parametrelerin hem insan hem de otomatik olarak ölçülmesini sağlar. Dental yazılımlar, manuel yaklaşımlara kıyasla Bolton uyumsuzluğu, çapraşıklık analizi ve interkanin genişliği gibi çeşitli model değerlendirmelerinin hızlandırılmış bir şekilde tamamlanmasını kolaylaştırır. Klinisyenler teşhis hazırlığına daha az zaman ayırarak tedavi planlaması için mevcut zamanı artırır. ~~Önceki~~ literatür, ağız içi tarayıcılar tarafından elde edilen dijital 3B modelleri Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (KIBT) ve alçı modellerle elde edilenlerle karşılaştırmıştır. Çok sayıda araştırma, ağız içi tarayıcıların KIBT taramalarından daha fazla güvenilirlik sergilediğini ve özellikle iki noktada doğrusal ölçümler için alçı modellerle karşılaştırılabilir bulgular verdiğini göstermektedir (Nalcaci vd., 2013; Rossini vd., 2016). Alçı modeller ile KIBT görüntülerinden elde edilen dijital modeller arasındaki Bolton indeksi hesaplamasındaki farklılıklar Tarazona ve arkadaşları (2012) tarafından incelenmiştir. Yazarlar, literatürde ağız içi taramadan daha düşük olarak kabul edilmesine rağmen, Bolton indeksinin türetilmesinde KIBT görüntülerinin alçı modellere eşdeğer olduğunu belirlemişlerdir. Daha önceki birkaç araştırma, dijital (Mullen vd., 2007; Quimby vd., 2004) modeller ile alçı modeller arasında ark uzunluğu ve boşluk ölçümleri açısından istatistiksel olarak anlamlı ancak klinik olarak anlamsız farklılıklar olduğunu göstermiştir. Ertan Erdinç ve arkadaşları (2008) dijital ve alçı dental modeller arasında molar ve premolar dişlerin mezio-distal genişliklerinde ve toplam ark uzunluklarında kayda değer farklılıklar tespit etmiş, ancak bu sonuçların klinik olarak kabul edilebilir olduğunun altını çizmiştir. Bu durum, gelişmiş tarayıcıların ve bu deneylerden sonra oluşturulan yazılımların yokluğundan kaynaklanmaktadır. Naidu ve Freer (2013), dijital ve alçı modeller arasındaki anterior ve total Bolton oranlarındaki ortalama tutarsızlıkların 1 milimetrenin altında olduğunu ve yanlışlıkların %95'inin klinik olarak ihmal edilebilir bir aralıkta olduğunu belirtmiştir. Koretsi ve arkadaşları (2018) ortodontik model analizi için dijital iş akışının geleneksel

manuel alçı model analizine göre güvenilirlik açısından daha üstün olduğunu ortaya koymuştur.

Tedavi Planlaması. Dijital dental modeller ortodontide çok sayıda tedavi uygulamasını beraberinde getirmiştir. Çağdaş dijital uygulamalara örnek olarak dijital kurulumlar, tedavi sonuçlarının görselleştirilmesi, tedavilerin kalite değerlendirmesi, diş hareketinin 3B çalışması ve ortodontik cihazların Bilgisayar Destekli Tasarım ve retimi (AD-AM) verilebilir. 3B KIBT görüntüleri ve 3B yüz tarama verileriyle entegre edilen dijital modeller, geleneksel ortodontik ve ortognatik planlama metodolojilerini gölgede bırakmıştır. Dijital 3B teknolojisi, hastalarla kendi modelleri aracılığıyla iletişim kurulmasını sağlayarak, ameliyat öncesinde 3B kurulumlar ve öngörülen senaryolar aracılığıyla önerilen tedavi yöntemlerini görselleştirmelerine ve tartışmalarına olanak tanır.

Model Oluşturma. Gelişmiş 3B teknolojisi, çeşitli kaynaklardan alınan çok sayıda 3B görüntünün entegrasyonunu ve kalibrasyonunu kolaylaştırmıştır. Bireysel kronların, köklerin ve kraniyofasiyal özelliklerin görüntülerini yakalayan bir 3B sistemin oluşturulması, çeşitli tedavi alternatiflerinin belirlenmesini, zaman içindeki değişikliklerin izlenmesini, nihai tedavi sonuçlarının tahmin edilmesini ve görselleştirilmesini ve tedavi sonuçlarının hassas bir şekilde ölçülmesini sağlayarak doktorlara tedavi planlamasında yardımcı olmuştur. Macchi ve arkadaşları (2006) kraniyofasiyal KIBT verilerinden kökleri almış ve dijital bir 3B dentoalveolar kompleks oluşturmak için lazer taramalı 3B dental model verilerini oluşturulan 3B kök görüntüleri üzerine bindirmiştir. Araştırmacılar, dişlerin potansiyel nihai konumlarını ve komşu yapılarla bağlantılarını incelemek için birinci premolar dişleri çıkararak premolar çekimini simüle etmişlerdir. Im ve arkadaşları (2014) alçı model konfigürasyonlarının ve dijital modellerin sanal düzenlemelerinin karşılaştırılabilir ölçümler verdiğini ne srmştir. Barreto ve arkadaşları (2016) dijital modellerin alçı modellere ve hastaların tedavi sonrası diş modellerine karşı güvenilirliğini değerlendirmiş ve dijital modellerin alçı modelleri kadar doğru ve etkili olduğu ve ortodontide güvenilir bir şekilde tekrarlanabilir bir tedavi planlama aracı olarak hizmet ettiği sonucuna varmıştır. Ek laboratuvar görevlerinin ortadan kaldırılması, dijital yapılandırmaların kayda değer bir faydası olmuştur.

Dijital Ortognatik Cerrahi Planlama. Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) görüntüleri, dijital diş modelleri ve stereofotogrametri görüntüleri, dijital ortognatik cerrahi planlaması için bir "sanal hasta" oluşturmak üzere entegre edilmiştir. Bu sayede, facebow transferi de dahil olmak üzere çok sayıda zaman alan geleneksel model cerrahisi prosedürü ortadan kaldırılmıştır. Dijital planlamanın iki aşaması vardır: osteotomi ve wafer üretimi. Modelleme veya ağız içi tarama yoluyla elde edilen dijital modeller, tasarım aşamasında kullanılan oklüzyonlu dişler hakkında gelişmiş veriler sağlar (Cousley & Turner, 2014). Cousley ve arkadaşları (2017) dijital cerrahi planlama ve üretim prosedürlerinin geleneksel facebow ve model cerrahisi ile karşılaştırılabilir bir hassasiyete ulaştığını ortaya koymuştur. De Riu ve arkadaşları (2014) yüz asimetrisinin ortognatik düzeltilmesinde dijital planlamanın geleneksel planlamayı geride bıraktığını belirtmiştir. Chen ve arkadaşları (2021) sanal cerrahi planlama ile geleneksel cerrahi planlamayı karşılaştıran literatürü incelemiştir. Sanal Cerrahi Planlaması (VSP) yaklaşımının ortognatik cerrahi için Geleneksel Cerrahi Planlaması (TSP) tekniğine uygulanabilir bir alternatif olarak ortaya çıktığını belirlemişlerdir.

Gülüş Tasarımı. Son yirmi yılda, ortodontik tedavi planlaması anlayışı, gülüş estetiği ve yumuşak doku çalışmalarını içerecek şekilde gelişmiştir. Gülüş analizi ortodontide yeni bir kavram olmamakla birlikte, tedavi planlarının gülüş estetiği üzerindeki etkisini tahmin etmek için dijital teknolojinin uygulanması yaygın bir uygulama olmuştur. "Gülüş tasarımı" kavramı estetik diş hekimliğinden kaynaklanmış ve birkaç yıl önce ortodontide önem kazanmıştır. Gülüş tasarımı tekniği, özellikle diş formu anomalileri için ortodontik-restoratif müdahaleler gibi multidisipliner bir yaklaşım gerektiren tedaviler için faydalıdır. Bu teknik, tedavinin gülümseme üzerindeki olası etkilerini değerlendirmek için hastanın mevcut gülümsemesinin bir fotoğrafı üzerine tedavi sonrası potansiyel diş yapısının bir görüntüsünün bindirilmesini içerir. Planlama aşaması boyunca sadece bir boyutu ortaya çıkaran sırtış tasarımı için önden görüntüler kullanılmıştır (Hazeveld vd., 2014; Nasef vd., 2014). Dijital modeller ve stereofotogrametri, diş modellerinin 3B yüz yüzeyi görüntüsü üzerine bindirilmesini kolaylaştırarak tedavinin gülüş üzerindeki etkilerinin üç boyutlu analizine olanak sağlamıştır. Tamamlanan 3B tasarım (STL dosyasında), yeni tasarımın somut bir modelini üretmek için bir 3B yazıcıya aktarılabilir. Bu model, maketler ve tedarik için bir matrisin yanı sıra diş hazırlama, kron uzatma ve implant yerleştirme talimatları oluşturabilir. Bu model, şeffaf plak tedavisi gibi dijital olarak tasarlanmış konfigürasyonların kullanıldığı tedavilerde kullanılabilir. Dijital gülüş tasarımı yaklaşımı, tanısal verimliliği ve standartlaştırılmış tedavi rejimlerini geliştirmiştir. Daha rasyonel ve anlaşılır tedavi dizileri sunarak tehlikeleri azaltır ve sonuçları iyileştirir (Da Costa vd., 2012).

Aparey Tasarımı ve Üretimi. Gelişmiş 3B baskı teknolojisi, tutucular, çıkarılabilir apareyler, indirekt braket yerleştirme tepsileri ve oklüzal splintler dahil olmak üzere çeşitli ortodontik cihazların üretiminde kullanılmıştır (Al Mortadi vd., 2012; Wong vd., 2002). Üç boyutlu tasarım ve baskı, evde beyazlatma için şeffaf plakların üretilmesinde kullanılabilir (Taneva vd., 2015). Şu anda, 3B baskı teknolojisinin önemli bir uygulaması şeffaf plakların üretilmesidir. Piyasada belirli braketlerin ve hizalayıcıların tasarımını kolaylaştıran özel yazılım uygulamaları mevcuttur. Herbst ve uyku apnesi apareyleri gibi karmaşık cihazlar, dental anatomiye tam olarak uyacak şekilde dijital olarak tasarlanabilir ve üretilebilir (Ke vd., 2019). Malzeme teknolojisi, dijital aparey tasarımındaki ilerlemelerde çok önemli bir rol oynamaktadır. Gelişmiş özelliklere ve sezgisel tasarım araçlarına sahip materyallerin geliştirilmesi, ortodontik cihazların ofis içi üretimini kolaylaştırarak belirli cihazların özelleştirilmesi ve üretiminde önemli bir ilerlemeye işaret etmektedir. Dijital teknoloji, teşhis ve tedavi planlamasındaki faydalarının yanı sıra, ortodontik aparey iş akışını kolaylaştırmış ve ek ve genellikle standartlaştırılmamış laboratuvar işlemlerinin gerekliliğini ortadan kaldırmıştır.

Şeffaf Plaklar. Align Technology Inc. 1998 yılında, apareyleri üretmek için dijital modeller kullanan ilk şeffaf hizalama sistemi olan Invisalign'ı tanıttı. Çağdaş şeffaf hizalayıcıların üretimi, dijital 3B diş modellerinin kullanımına ve çeşitli teknolojiler kullanılarak hedeflenen diş hareketleri için artan aşamaların stratejik planlamasına dayanır. Dijital konfigürasyonlarda birden fazla potansiyel tedavi seçeneği gözlemlenebilir. Klinisyen tedavi planına erişebilir ve gelişmiş yazılım programlarını kullanarak müdahale edebilir (Khosravi vd., 2017). Klinisyenin önerilen planı onaylamasının ardından, aşamalı hareketler her bir aşama için diş modellerini 3B yazdırmak için kullanılabilir ve ardından poliamid gibi ısıyla şekillendirilmiş hizalayıcı malzemeler kullanılabilir (Breuning & Kau, 2017). Bir zamanlar kısıtlı olan dijital olarak üretilen şeffaf plakların endikasyonları, malzemelerdeki, hesaplama teknolojisindeki ve klinik araştırmalardaki ilerlemeler nedeniyle önemli ölçüde genişlemiştir. Çok sayıda çalışma, şeffaf hizalayıcılarla tedavi edilen vakalarda olumlu sonuçlar elde edildiğini göstermekte ve hafiften şiddetliye maloklüzyonların giderilmesindeki etkinliklerini ortaya koymaktadır (Al Mortadi vd., 2015). Dijital 3B teknolojileri tasarım ve üretimi önemli ölçüde etkilerken, yapay zekanın (AI) entegrasyonu ortodontik tedavilerde umut verici gelişmeler göstermiştir ve tedavi etkinliğini değerlendirmek için de kullanılmaktadır. Şeffaf plak tedavisi, geleneksel sabit ortodontik tedaviye göre bazı avantajlara sahiptir. Khosravi ve arkadaşları (Khosravi vd., 2017) şeffaf plak tedavisinin dikey boyutu etkili bir şekilde düzenlediğini belirtirken, Ke ve arkadaşları (Ke vd., 2019) şeffaf plak tedavisinin bölümlere ayrılmış diş hareketleri ve daha kısa tedavi süreleri gibi faydalar sunduğunu öne sürmüştür.

Dijital Ortodonti Laboratuvarı Çalışması. Ortodontik hareketli aparat

üretiminin otomasyonu üzerine araştırmalar 1990'larda başlamıştır. Dijital 3B modellerin ticari olarak uygulanmasının ardından gelişmeler gözlenmiştir. Dijital modeller, verilerin dijital medya aracılığıyla sorunsuz bir şekilde iletilmesini sağladı. 3B baskının yaygın olarak benimsenmesi nedeniyle ortodonti laboratuvarları dijital modelleri ve aparat tasarım yazılımlarını kullanmaya başlamıştır. Dijital hareketli aparat üretimi için iki farklı prosedür mevcuttur. İlk yaklaşım, laboratuvarların işlevsel modeller oluşturmak için 3B baskı kullanmasını ve ardından cihazları geleneksel yöntemler kullanarak inşa etmesini içerir. Ütilen ekipmanlar daha sonra kliniklere gönderilir. Bu prosedür, ölçü alma, alçı model imalatı ve işlevsel modellerin transferi için gerekli zamanı ortadan kaldırmaktadır. Aparat üretiminin ikinci şekli giderek yaygınlaşmaktadır. Bu süreç, dijital modellerin laboratuvara iletilmesini, burada cihazların sanal olarak tasarlanmasını ve tasarımların daha sonra dijital ortam üzerinden yazdırılabilir STL formatlarında kliniğe geri gönderilmesini içerir. Klinisyenler, cihazı kendi bünyelerinde 3B yazdırma veya STL dosyasını üretim için bir 3B baskı tesisine iletme seçeneğine sahiptir. Çizim doğrudan ofis içinde basılması, alçı veya dijital model ihtiyacını ve transferler için gereken zamanı ortadan kaldırır (Graf vd., 2018). Bazı araştırmacılar, 3B baskı teknolojisini kullanarak metal klipsler ve rezin damak plakalarından oluşan çıkarılabilir bir aparatın tüm bileşenlerini etkili bir şekilde üretmiştir (Wiechmann vd., 2003). Metal 3B yazıcıların ticarileşmesi, karmaşık metal bileşenlerin üretimini kolaylaştırmıştır. Graf ve arkadaşları (Graf vd., 2018) bilgisayar destekli tasarım ve 3B baskı yöntemleriyle geliştirilen mini vida destekli bir genişletme cihazı kullanmıştır. Klinisyenler artık küresel olarak bir cihaz tasarlabilmekte ve tasarımı birkaç gün içinde e-posta yoluyla alabilmektedir.

Kişiye Özel Ortodontik Braketler. Lingual ortodontik braketler, dişlerin lingual yüzeylerine yapıştırıldıkları için mevcut estetik açıdan en hoş apareyler arasındadır. Lingual morfolojideki önemli değişkenlik nedeniyle, geleneksel labial diş tellerinde kullanıldığı gibi standart braket tabanlarının dişlerin lingual yüzeylerine uygulanması tavsiye edilmez. Model kurulumu ve her bir kompozit tabanın hazırlanması yoğun emek gerektiren bir laboratuvar tekniği gerektirmekte ve lingual braketleri çok zahmetli hale getirmekteydi. Çağdaş lingual braket sistemleri, her diş için sanal olarak özel bir temel oluşturmak için dijital diş modellerini kullanır. Braketler 3B baskı teknikleriyle üretilmektedir (Christensen & Cope, 2018). Özelleştirilmiş braket teknolojisi o kadar etkili olmuştur ki, labial braket üretimi için modifiye edilmiştir. Özelleştirilmiş braket sistemleri, hassas konturlu ark telleriyle birlikte kullanıldığında, değişen diş morfolojilerinin yarattığı sorunları etkili bir şekilde ele almış ve tedavi verimliliğini artırmıştır .

Dijital İndirekt Braketleme. Ortodontik braketler genellikle uygulayıcı tarafından doğrudan dişlere yapıştırılır. İndirekt yapıştırma tekniği, doğrudan yapıştırma sırasında dişlerin kısıtlı görünürlüğünden kaynaklanan braket yerleştirme yanlışlıklarını gidermek için oluşturulmuştur. Braketler alçı kalıplar üzerine yerleştirilir ve daha sonra özel olarak üretilmiş transfer tepsileri kullanılarak hastanın ağızına aktarılır. İndirekt yapıştırma tekniğinin dijital iterasyonu, karmaşık laboratuvar ve klinik prosedürlerin gerekliliğini ortadan kaldırmıştır. Dijital indirekt yapıştırma için artık üç farklı yol mevcuttur. Aparey üretimine benzer şekilde, dijital teknolojiyi indirekt yapıştırmaya entegre etmenin temel yöntemi, çalışma modellerinin 3B yazdırılmasını ve tipik olarak alçı modeller üzerinde gerçekleştirilen geleneksel indirekt yapıştırma prosedürlerinin uygulanmasını içerir. Alternatif yaklaşım ise indirekt yapıştırma için özel olarak tasarlanmış bir yazılımın kullanılmasını içerir. Braketler, yazılım içindeki dijital modeller üzerinde etkin bir şekilde konumlandırılır. Bazı programlar, potansiyel tedavi alternatiflerinin bir tahminini sağlamak için diş modelleri üzerinde temel konfigürasyonları yürütebilir. Kullanıcılar, yazılımın özel kütüphanesinde bulunan braketlerin 3B verileri arasından seçim yapabilirler. Braketlerin yapıştırıldığı dijital çalışma modelleri, silikon veya ısıyla şekillendirilmiş malzemelerden transfer tepsileri üretmek için laboratuvar da 3B olarak basılabilir. Braketler daha sonra transfer tepsisinin oluklarına yerleştirilir. Üçüncü olarak, kullanıcılar transfer tepsilerinin oluşturulmasını da kapsayacak şekilde yukarıda bahsedilen işlemin tamamını dijital olarak gerçekleştirebilir. Tepsiler esnek bir reçine kullanılarak 3B baskı ile üretilir ve braketler oluklarına (Ciuffolo vd., 2006) yerleştirilir. Braket yerleştirmelerinin dijital planlamasında dijital konfigürasyonların uygulanması, konumlandırma doğruluğunda bir artış olduğunu göstermiştir (Brown vd., 2015). Dijital indirekt yapıştırma teknolojisinin koltuk süresini ve laboratuvar prosedürlerini en aza indirme potansiyeline rağmen, sistemin yüksek hata oranına ilişkin endişeler devam etmektedir (Computer-Aided Interactive Indirect Bonding). Kim ve arkadaşları (Kim vd., 2018) yerleştirme hatalarının posterior dişlerde daha sık meydana geldiğini ve bunun da prosedürün dikkatli bir şekilde uygulanmasını gerektirdiğini belirtmiştir. Yaklaşımın birincil dezavantajı, kullanıcının yazılımın kütüphanesinde bulunan braket modelleriyle sınırlı olmasıdır.

Mini Vida Yerleştirme Kılavuzları. Mini- vida ankrajı, hasta uyumu gerekliliğini önemli ölçüde azaltmış ve ortodontik tedavi mekaniğinde birçok ilerlemeyi kolaylaştırmıştır. Mini- vidaların manuel olarak yerleştirilmesi sorun potansiyelini artırmıştır; bu nedenle vidaların doğru yerleştirilmesi için cerrahi yerleştirme yardımcıları kullanılabilir. KIBT verilerini ve dijital dental modelleri kullanan dijital yerleştirme kılavuzu implant diş hekimliğinden uyarlanmıştır. KIBT görüntülerini kullanmanın birincil faydası, kullanıcının gerçek 3B morfolojisine göre planlama yapmasını sağlayarak köklerin 3B temsilini üst üste bindirme kapasitesidir (Qiu vd., 2012). Dijital kılavuzlar hem bukkal hem de palatal yerleştirme konumları için uygulanabilir ve doğrudan manuel yerleştirme tekniğine kıyasla kök hasarı tehlikesini önemli ölçüde azaltmıştır (Kitaidb., 2002; Bae vd., 2013).

Ortodontide Radyografik Görüntüleme

Radyografi, bir ögenin film veya monitör üzerindeki görüntüsünü dijital olarak yakalamak için X-ışınlarının uygulanmasıdır. Radyografi, diş hekimliği ve ortodontide çok önemli bir teşhis tekniğidir. Hekimin deneyimine ve radyografik verilere olan ilgisine dayanarak, çeşitli hastalıklar için teşhis ve tedavi planları oluşturulabilir, rutin muayeneler sırasında asemptomatik patolojilerin tanımlanmasına ve erken önleyici tedbirlerin alınmasına olanak tanır (Radyografi ve Diş hekimliğinde İleri Görüntüleme Yöntemleri vd., 2013).

Dental radyografi cihazları 1930'lardan beri diş hekimliğinde kullanılmaktadır. Panoramik radyografi ilk olarak 1933 yılında Japon Hisatugu Numata tarafından kullanılmış, günümüz panoramik uygulamalarının temel çalışmaları ise 1949 yılında Finlandiyalı Yrjo V. Paatero tarafından gerçekleştirilmiştir. Dijital görüntüleme teknolojileri diş hekimliğine 1980'lerde, yani 1984 yılında Dr. Frances Mouyens'in ilk dijital görüntüleme sistemi RVG'yi (Trophy Radiologie, Vincennes, Fransa) bilim camiasına sunmasıyla girmiştir. Son yıllarda dijital sistemlerin yaygınlığı artmıştır (Dişhekimliği Radyolojisi - Harorlı - Akgül - Dağıstan; Radyografi ve Diş hekimliğinde İleri Görüntüleme Yöntemleri vd., 2013).

Geleneksel analog görüntülerin yerini, bir bilgisayar sisteminde saklanabilen ve geliştirmelerin ve ölçümlerin yapılmasına olanak tanıyan dijital görüntüler almıştır. Dijital radyografi zahmetsiz görüntü depolamayı kolaylaştırır ve arşivleme sorunlarını ortadan kaldırır. Dijital görüntüler uygun maliyetli bir şekilde iletilebilir, böylece çeşitli doktorlar veya klinikler tarafından tekrarlanan radyografiler için gerekliliği ortadan kaldırır, bu da hastanın radyasyona maruz kalmasını önlemeye yardımcı olur (Brennan, 2002; Introducing Digital Radiography in the Dental Office: An Overview, n.d.; Evlice vd., 2013).

Dijital radyografi, film masraflarını, banyo işlemiyle ilgili komplikasyonları ve kimyasal atık sorunlarını ortadan kaldırır. Görüntülerin ölçülebilmesi, kontrast ve renk ayarlarının değiştirilebilmesi, belirli alanlara odaklanılabilmesi ve görüntülerin büyütülebilmesi gibi avantajlar sayesinde geleneksel radyografiye kıyasla daha eksiksiz bir inceleme yapılabilmektedir. Ayrıca, dijital radyografi üstün görüntü kalitesi ve çözünürlük sunarak geleneksel radyografiden daha fazla tercih edilmesini sağlar (Mullins vd., 2001; Eisenberg, 1992).

Panoramik Radyografiler

1904 yılında Bouchacourt, tüm dental arkları tek bir filmde yakalama konseptini önermiştir. Bu yöntem 1949 yılında Finlandiyalı Profesör Dr. Yrjo V. Paatero tarafından uygulanmıştır. 1957 yılında Helsinki Üniversitesi'nde üç rotasyon merkezine sahip çağdaş panoramik cihaz icat edilmiştir (Capote vd., 2015). Panoramik radyografi, mandibular ve maksiller arkların komşu anatomik yapılarla birlikte tomografik gösterimini sağlayan, çok az distorsiyon ve süperimpozisyon sergileyen bir görüntüleme modalitesidir (Farman vd., 2007). Ortodontik uygulamasının yanı sıra, diş hekimliğinin tüm alanlarında kullanılmaktadır.

Panoramik radyografiler, ortodontik tedavi planlaması öncesinde dişlerin, diş arklarının, anatomik yapıların, sürme paternlerinin ve karışık dişlenme gösteren çocuklarda dişlerin gelişiminin yanı sıra çenelerin ve gelişimsel anomalilerin değerlendirilmesini sağlar (Capote vd., 2015; Iannucci & Howerton, 2017; White & Pharoah, 2014).

Demirjian ve arkadaşları (1976) 1976 yılında panoramik radyografi üzerine yaptıkları çalışmayı revize ederek diş olgunlaşmasını dişlerin kök gelişimine göre sekiz farklı aşamaya ayırmışlardır. Bu prosedür literatürde Demirjian yöntemi olarak bilinmektedir. Günümüzde dental olgunlaşmanın değerlendirilmesinde baskın teknik olan Demirjian yönteminin etkinliği çeşitli gruplar arasında değerlendirilmiştir. Tunç ve Koyutürk (2008), 4-12 yaş arası bireylerin panoramik radyografilerini değerlendirerek Demirjian (Demirjian & Goldstein, 1976) yönteminin Türk toplumundaki geçerliliğini değerlendiren bir çalışma yürütmüş ve diş büyüme aşamaları ile kronolojik yaş arasında güçlü bir korelasyon bulmuştur. Dental olgunlaşma, yalnızca yaşamın ilk evreleriyle ilgili olduğu için ortodontide tercih edilmemektedir (Mustafa Ülgen, 2015; Yiğit & Kurdoğlu, 2013). Büyüme atağı evresinin tanımlanması, mandibular kanin ve birinci premolar dişlerin kök gelişimini içerir. Tamamlanma bir olgunlaşma sinyali olarak işlev görebilir (Uysal vd., 2006).

Diş olgunlaşmasının hesaplanması, sistemik bozukluklar ve beslenme yetersizlikleri de dahil olmak üzere çeşitli yerel koşulların diş sürme zamanlaması üzerindeki etkisi nedeniyle büyüme ve gelişme dönemlerinin değerlendirilmesinde bazen göz ardı edilmektedir (Cardoso, 2007; Gupta vd., 2013). El-bilek radyografileri kullanılarak tespit edilen diş olgunlaşması ve kemik yaşı arasındaki korelasyonu değerlendiren bir çalışma, 13-15 yaş demografisinde tek yumurta ikizlerinde uyumluluk, çift yumurta ikizlerinde ise uyumsuzluk olduğunu ortaya koymuştur (Gupta vd., 2013). Ayrı bir çalışma, eşdeğer kemik yaşına sahip Türk çocukları arasında kızların diş gelişiminin erkeklere göre daha geç olduğunu ortaya koymuştur (Uysal vd., 2004). Bazı araştırmalar, diş olgunlaşmasının Türk gençlerinde pubertal büyümenin yetersiz bir göstergesi olduğunu göstermektedir (Bala vd., 2010; Şahin Sağlam & Gazilerli, 2002). 2012 yılında, panoramik ve sefalometrik radyografilerden elde edilen bulgulara dayanarak, iskelet olgunlaşmasını değerlendirmek için diş olgunlaşmasının uygulanmasının kısıtlı olduğu bulunmuştur. Sadece alt çene kanin, birinci ve ikinci premolar dişler ve büyüme-gelişme atılımından önceki ikinci molar dişlerin kalsifikasyon sırasındaki büyüme-gelişme atılımı hakkında fikir verebileceği belirtilmiştir (Perinetti vd., 2012). El-bilek ve sefalometrik radyografiler

aracılığıyla diş olgunlaşmasını karşılaştıran bir çalışma, kanin kalsifikasyonunun iskelet olgunluğu için bir belirteç görevi gördüğünü göstermiştir (Sachan vd., 2011). Menteş ve diğerleri (2000), Nur ve diğerleri (2012) ve Kırzioğlu ve Ceyhan (2012) Türk çocuklarında Demirjian tekniği ile elde edilen yaş tahmini bulgularının kronolojik yaşlarından istatistiksel olarak önemli ölçüde büyük olduğunu göstermiştir (Kırzioğlu & Ceyhan, 2012; Menteş, 2000; Nur vd., 2012).

Periapikal Radyografler

Periapikal radyografler, ortodontik bir bakış açısıyla dişlerin ve periodontal yapıların genel durumu hakkında kapsamlı bilgiler sunarak kök morfolojisi ve uzunluğunun, periodontal ligament boşluğunun veya bu boşluğun olmadığı durumlarda ankilozun varlığının ve gömülü veya sürmekte olan dişlerin konumunun değerlendirilmesini kolaylaştırır (Nejat Erverdi,2020).

El ve El Bileği Radyografileri

1896 yılında, X-ışınlarının keşfinden dört ay sonra, Sydney Rowland Londra'da ilk el-bilek radyografisini çekmiştir. ABD'de ikamet eden kişilerin el-bilek radyografileriyle iskelet gelişimini analiz ettikten sonra, erkek çocuklarda kızlara kıyasla gecikmiş gelişim olduğunu kaydetmiş ve bazı bireylerde anormal kemikleşme süreçleri tespit etmiştir. Doktorlar için ilk kılavuz, 1937 yılında Thomas Wingate Todd tarafından yazılan "Elin İskelet Olgunlaşması Atlası" olmuştur. Günümüzde, Greulich-Pyle ve Tanner ve arkadaşları tarafından oluşturulan atlaslar, el-bilek radyografilerini kullanarak kemik yaşını ve büyüme gelişimini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult Height (TW3 Method) - James Mourilyan Tanner vd.; Tanner vd., 1997). W. Greulich ve Pyle, 1917-1942 yılları arasında Cleveland'da doğan 2.500 çocuğun seri radyografilerini analiz ederek bir atlas geliştirmiştir. Bu atlas, erkek ve kadın deneklerdeki kemiklerin farklı gelişim zamanlamaları nedeniyle iki bölüme ayrılmıştır. Greulich-Pyle atlasının (GP) ilk bölümü erkekler için bir yıllık aralıklarla çekilen el-bilek radyografilerinden oluşurken, sonraki bölüm kadınlara aittir. Bir bireyin kemik

yaşını değerlendirmek için bir el-bilek radyografisi elde edildiğinde, atlasta kronolojik yaşına ve cinsiyetine karşılık gelen radyografilerle karşılaştırılır. Kemik gelişimi ilerlemişse daha sonraki standartlar, gecikmişse daha önceki standartlar referans alınarak bir standart seçilir.

Sonuç olarak, standart bir kemik yaşı belirlenir (Greulich, 1957). GP atlasına dayalı değerlendirme zaman alıcıdır ve gözlemciler arasında farklılık gösteren sonuçlarla birlikte uzman analizi gerektirir. Ayrıca, bu atlas tek bir etnik kökene ait olduğu için günümüz çocukları için tam olarak uygun değildir (Cao vd., 2000; Hsieh vd., 2007; Kim & Kim, 2007; Radiographic Atlas of Skeletal Development of the Hand and Wrist). Tanner ve arkadaşları (James Mourilyan Tanner vd., 1997) kemik yaşını ve olgunlaşmasını değerlendirmek için yeni bir teknik geliştirmiştir. Bu yöntem, 1945 ve 1958 yılları arasında 2564 İngiliz çocuktan alınan el-bilek radyografilerindeki 20 kemiğin 0 ile 100 arasında değişen değerlerle numaralandırılmasını içermektedir. Bu değerlerin toplamı, uygun kemik yaşı seviyesini belirlemek için kullanılır. Bu yaklaşımda sekiz ya da dokuz gelişim aşaması vardır (Tanner vd., 1997). Tanner-Whitehouse 2 (TW2) sistemi, bir bireyin kemik görünümünü, her biri belirli bir değerle ilişkilendirilen sekiz gruptan birine sınıflandırır. TW2 yaklaşımı, el-bilek radyografilerindeki kemikleşme aşamalarının cinsiyete göre farklı skorlanmasını içermektedir. TW2 yaklaşımı, otomasyonu ve uzman müdahalesine ihtiyaç duymaması nedeniyle GP yöntemini geride bırakmaktadır. Bununla birlikte, hesaplamadaki karmaşıklığı, araştırmanın belirli bir ırkla sınırlı olması ve gereken zaman nedeniyle tercih edilmemektedir (Avery , 2011). TW2 yaklaşımı daha sonra rafine edilmiş ve 2001 yılında Tanner Whitehouse 3 (TW3) yöntemi olarak piyasaya sürülmüştür. Radyografilerde kemiklerin her aşamasının değerlendirilmesi TW2 ve TW3'te aynıdır. Birincil değişiklik,

bireylerin iskelet olgunlaşma skoruna ulaşma yaşının düşürülmesi olarak özetlenebilir. TW2 ile karşılaştırıldığında, yetişkin olgunluğuna (1000 puan) ulaşma yaşı kızlar için 0,9 yıl, erkekler için ise 1,5 yıl daha erkendir. TW3'teki referans değerler Avrupa, Arjantin, Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri'nde toplanan örneklerden elde edilmiştir. Bu çalışma, radius, ulna ve kısa kemikler için iskelet olgunluğunun erkeklerde 18,2 yıldan 16,5 yıla, kızlarda ise 16 yıldan 15 yıla düştüğünü göstermektedir (Akkan, 2013; ; Tanner vd., 1997; Taylor, 1975).

Sefalometrik Radyografiler

Sefalometrik radyografi görüntüleri lateral ve postero-anterior (frontal) tipler olarak kategorize edilir. Bu klinik yöntem, gelişimi ve morfolojiyi değerlendirmek, anomalileri teşhis etmek, tedaviyi planlamak, tedavi sonrası sonuçları değerlendirmek ve dental ve kraniyal yapılar arasındaki ilişkiyi ayırt etmenin yanı sıra ister dental ister iskeletsel olsun maloklüzyonun kökenini belirlemek için çok önemlidir (Baumrind, 2001). Başlangıçta sefalometrik analiz, kağıt üzerinde anatomik noktaların belirlenmesini ve açıölçer ve cetvelle boyutların ve açıların ölçülmesini içeriyordu. Teknolojik gelişmelerle birlikte, günümüzde yaygın olarak kullanılan bilgisayar sistemleri aracılığıyla sefalometrik analizi kolaylaştırmak için çeşitli yazılım programları oluşturulmuştur. Bilgisayar destekli sefalometri zaman açısından oldukça verimlidir, çünkü radyografideki konumlar doğrudan belirtilirse ölçümler hızlı bir şekilde elde edilebilir. Bu teknik, anatomik işaretlerin belirlenmesinin ötesinde ölçüm yanlışlıklarını da azaltmaktadır (Moyers & Bookstein, 1979). Yapay zekanın (YZ) hızlı ilerlemesi, geniş veri kümelerinin analizi de dahil olmak üzere günlük yaşamın birçok yönüne sızmıştır. Ortodontik teşhis ve tedavi planlaması bağlamında, YZ teknolojisi geliştiricileri, sefalometrik radyograflardan sefalometrik işaretleri minimum insan müdahalesi ile otonom olarak tespit etmeye çalışmaktadır (Bulatova vd., 2021).

Sefalometri Tarihçesi. İnsanlarda baş ve yüz gelişiminin bilimsel olarak değerlendirilmesi, farklı boyut ve şekillerde çok sayıda kafatasını analiz eden antropologlar ve anatomistlerle başlamıştır. Kafatasları üzerinde kraniyometri olarak adlandırılan çok sayıda ölçüm yapılmıştır. Daha sonra, benzer incelemeler canlı organizmalara doğru ilerledi ve sefalometri olarak adlandırıldı (Athanasίου, (1995). Bununla birlikte, ölçümler için deri ve yumuşak dokunun sondalanmasına dayandığından, sonuçlar hiçbir zaman tam doğruluğa ulaşmayacaktır.

Wilhelm Conrad Röntgen tarafından 1895 yılında X-ışınlarının keşfi diş hekimliği disiplininde devrim yaratmıştır. Elde edilen iki boyutlu kafa resimleri kullanılarak, bu görüntülerde gösterilen sert ve yumuşak dokularda belirlenen yerlerde çeşitli ölçümler yapılır. Sonuç olarak, kraniyofasiyal büyüme ve gelişimin analizinde hassas değerlendirmeler yapılabilmektedir (Allen, 1963). 1921 yılında Pacini, X-ışını antropometrisinin hassasiyetinin geleneksel antropometriden çok daha üstün olduğunu ileri sürmüştür. Başın dikey bir kask ile stabilize edildiği ve filmin medyan sagittal düzleme paralel olarak konumlandırıldığı bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntemle elde edilen radyografilerde pogonion, nasion, gonion, spina nasalis anterior, meatus acusticus externus'un üst noktası, acustion ve sella turcica'nın orta noktası gibi yer işaretlerini tanımlamıştır(Allen, 1963). 1931 yılında Broadbent, daha önceki yöntemleri aşan bir tekniği tanıtan bir makale yayınladı. Bu tekniğin ardından sefalometride önemli ilerlemeler kaydedilmiş ve bugünkü çağdaş uygulamasına ulaşılmıştır (Broadbent, B.H., 1931).

İnsan kraniyofasiyal modellerinin bilimsel incelemesi ilk olarak antropologlar ve anatomistler tarafından üstlenilmiş ve antik çürümüş kafataslarının çeşitli ölçümlerini belgelemişlerdir. Kraniyometri olarak bilinen kuru kafatasının osteolojik işaret noktalarından ölçümü, daha sonra 'boylamsal büyüme çalışmasını' kolaylaştırmak için yaşayan insanlara uygulanmıştır. Yaşayan bir bireyin kafasını, palpasyon veya komşu dokulara baskı yoluyla belirlenen kemiksel işaretleri kullanarak değerlendirme yöntemi sefalometri olarak adlandırılır. Bununla birlikte, sefalometrik yaklaşım, ölçümler deri ve yumuşak doku kaplaması üzerinden yapıldığı sürece hiçbir zaman tam doğruluğa

ulaşamaz. Röntgen'in 1895'te X-ışınlarını keşfetmesi diş hekimliği mesleğini dönüştürmüştür. Radyografik kafa görüntüsünün iki boyutlu olarak ölçülebilmesi, kraniyofasiyal büyüme ve gelişimin hassas bir şekilde değerlendirilmesini mümkün kılmıştır. Radyografik görüntülerdeki kemik ve yumuşak doku işaretlerinin siluetlerinden kafatası boyutlarının değerlendirilmesi, röntgenografik sefalometri olarak adlandırılır(Krogman, 1957). 1922 yılında Pacini, lateral kafa filmi üretmek için teleroentgenografik bir teknik icat etmiştir. Bu yöntem, odak-film mesafesini 2 metreye (78,7 inç) uzatarak görüntü boyutunu küçülttü, ancak uzun pozlama sırasında baş hareketi nedeniyle bir miktar bozulma devam etti. 1931 yılında ABD'de Broadbent ve Almanya'da Hofrath eşzamanlı olarak yüksek güçlü bir X-ray cihazı ve sefalostat veya sefalometre olarak bilinen bir baş tutucu kullanarak standart bir sefalometrik teknik geliştirdiler. Bu, bir sefalometri uygulamasının ilk gösterimi oldu (Athanasiou, A.E. (1995) Orthodontic Cephalometry; Broadbent, B.H. (1931) A New X-Ray Technique and Its Application to Orthodontia.; Bergman, 1988).

Lateral Sefalometrik Radyografi. Günümüzde ortodonti, ortodontik maloklüzyonların teşhisi ve tedavi planlaması için klinik muayene sonuçlarını, hasta resimlerini, ağız içi modelleri ve radyografileri kullanmaktadır. Birçok eksikliğine rağmen sefalometri önemli bir klinik tanı tekniği olmaya devam etmektedir.

Lateral Sefalometrik Radyografi Kullanımının Amaçları. Sefalometrik analizler ortodontik maloklüzyonun dental mi yoksa iskeletsel mi olduğunu tespit edebilir. Sefalometri, sıklıkla subjektif olan klinik değerlendirmenin aksine objektif bir tekniktir. Ricketts, sefalometrinin bu özelliklerini 4C kuralını kullanarak tanımlamıştır ve Ricketts'a göre sefalometrik yöntem (Grummons & Kappeyne van de Coppello, 1987):

1. Maloklüzyonun anatomik, fizyolojik veya patolojik kaynaklardan kaynaklanıp kaynaklanmadığına dair morfolojik bir tanımlama ile karakterize edilir.
2. Birkaç birey arasında veya aynı bireyin farklı yaş grupları arasında karşılaştırma yapmayı kolaylaştırır.

3. Çene, kemik veya diş seviyelerindeki çeşitli anatomik durumları hem diş hem de iskelet boyutlarında sınıflandırır.

4. Klinikte hekim tarafından ifade edilen koşulları bireye, aileye veya diğer hekimlere aktarır (Graber,2005).

Kraniyofasiyal görüntüleme, diş ve iskelet yapılarının mevcut durumu, ortodontik tedavinin neden olduğu değişiklikler ve bireysel gelişim sırasında ortaya çıkacak değişiklikler arasındaki karmaşık ilişkiyi analiz etmek veya sonraki kategorilerden birini veya daha fazlasını araştırmak için kullanılır.

- Normal ve patolojik anatomik yapıların tanınması
- Kök uzunluğu ve kök yöneliminin seçimi
- Çene morfolojisi ve gerekli diş aralığı arasındaki korelasyonun analizi
- Maksillo-mandibular bağlantının uzamsal değerlendirmesi
- TME hizalamasının değerlendirilmesi
- Geçmiş, mevcut ve beklenen kraniyofasiyal büyümenin büyüklüğü ve yörüngesinin değerlendirilmesi
- Kraniyofasiyal yapılarda tedavi sonuçlarının değerlendirilmesi
- Süpernümerer ve gömülü dişlerin yerlerinin belirlenmesi (Graber,2005).

Sefalometrik Radyografinin Kısıtlamaları.

- Yaygın kullanımlarına rağmen, sefalometrik radyografiler belirli kısıtlamalara sahiptir. Geleneksel kafa filmi, üç boyutlu yapıların iki boyutlu bir temsidir. Üç boyutlu nesneler iki boyutlu olarak temsil edildiğinde, sergilenen yapılar hem dikey hem de yatay olarak kaydırılır (Hatton & Grainger, 1958).
- Sefalometrik noktalar ve anatomik özellikler ağırlıklı olarak bilateraldir ve midsagittal düzlemde yer almazlar. Sonuç olarak, radyografide çift görüntü sağlarlar.

- Görüntüdeki büyütme, kaynak tarafından yayılan paralel olmayan x-ışınlarından kaynaklanmaktadır (Bergersen, 1980).
- Anatomik işaretlerin tanımlanmasındaki yanlışlıklar, anatomik yapıların yetersiz tanınmasından, zorlu kenar ve gölge tespitinden ve hasta konumlandırma hatalarından kaynaklanabilir (Baumrind & Frantz, 1971; Houston, 1983; Mostafa vd., 1990).

Görüntüleme yöntemlerinin seçimi, pratikte hastaya sağladığı avantaj ve dezavantajlar tartılarak görüntülerin türleri ve standartlarına göre belirlenir. Sonuç olarak, ortodontistler kraniyofasiyal bölgenin üç boyutlu anatomik haritasını çıkarmak için genellikle iki boyutlu görüntüleme yöntemlerini kullanırlar. Lateral sefalometrik radyografiler iskelet, diş ve yumuşak doku morfolojisi ve bunların ön-arka boyuttaki karşılıklı ilişkileri hakkında veri sağlar (Graber,2005).

Sefalometri, ortodonti literatüründe tanımlandığı şekliyle, kafatasının anatomik bileşenlerinin analitik geometri ve terapi ölçümü kullanılarak analiz edilmesini ifade eder (Ricketts vd., 1972). Ölçümler doğrudan baş ve yüz üzerinde ya da baş ve yüzden elde edilen maskeler (yüz kalıpları), resimler ve radyografiler üzerinde yapılabilir. Uygulamada, radyografik ölçümler alternatif ölçüm yöntemlerine göre tercih edilmektedir. Baş ve yüz üzerinde yapılan doğrudan ölçümler veya maskeler ve resimler üzerinde yapılan dolaylı ölçümler, yumuşak dokular ve cilt tarafından gizlenen kemik boyutlarını doğru bir şekilde değerlendiremez; ancak kemik ölçümleri radyografilerden kolayca elde edilebilir. Sefalometrik radyografi, uzaktan radyografi (teleradyografi) ve sefalogram birbirinin yerine kullanılmaktadır (Ülgen, 2015). Kökeni antik çağlara dayanan sefalometri, ilk olarak 1791 yılında araştırmacı Camper tarafından çene kemiğinin sagittal düzlemdeki konumunu belirli kraniyofasiyal işaretlere göre analiz etmek için kullanılmış, daha sonra antropologlar tarafından çeşitli etnik gruplar arasındaki yüz modellerini belirlemek için kullanılmıştır. Antropometrik değerlendirmeler büyüme ve

gelişme, vücut kompozisyonu ve genel beslenme sağlığı hakkında önemli bilgiler vermektedir(Maciej Serda vd., 21).

Profil radyografisi ilk olarak Ketcham ve Ellis ve Percy Brown'ın araştırmalarıyla diş hekimliğinde bir teşhis aracı olarak kullanılmıştır . A.J. Pacini (1921) profil radyografinin insan gelişimi, sınıflandırılması ve gelişimsel sorunların tanımlanması için faydalı olduğunu ileri sürmüştü ve kendi metodolojisini geliştirmiştir. Pacini'nin yaklaşımında, radyografi orta eksenel düzleme paralel olarak konumlandırılmıştır. Baş, dikey bir destekle sabitlenir ve bandajlar kullanılarak bu desteğe sabitlenir. Araştırmacı, bu yöntem kullanılarak elde edilen radyografilerde birkaç klasik antropolojik işaret tespit etmiştir. Bunlar gonion, pogonion, nasion ve spina nasalis anterior'dan oluşmaktadır (Allen, 1963).

M. Hofrath 1931 yılında Almanya'da "Maksiller Anomalilerin Teşhisinde Teleröntgenogramların Önemini" başlıklı bir makale ile yeni bir yöntem önermiştir. Bu yöntemde radyografi almak için sefalostatlı yüksek güçlü bir X-ışını cihazı kullanılıyordu (Hofrath, H. 1931)).

Birdsall Holly Broadbent (1931), 1931 yılında yayınlanan "Yeni Bir X-Ray Tekniği ve Ortodontiye Uygulanması" adlı makalesinde ayrıntılı olarak açıkladığı gibi, canlı deneklerin radyografilerinin, verimlilik ve standardizasyon açısından kafatasının kraniyometrik ölçümleriyle karşılaştırılabilir hassasiyete ulaşabileceğini iddia etti. Broadbent'in tekniğiyle karşılaştırıldığında, önceki uygulamaların yetersiz olduğu görülmüştür (Broadbent, B.H. 1931).

Sefalometrik radyografiler lateral ve posteroanterior (frontal) sefalometrik radyografiler olarak ikiye ayrılır ve morfoloji ve gelişimin belirlenmesine, anomali teşhisine, tedavi planlamasına, tedavi sonucunun değerlendirilmesine, dental ve kraniyal yapılar arasındaki ilişkinin belirlenmesine ve maloklüzyonun dental mi yoksa iskeletsel mi olduğunun belirlenmesine olanak sağlayan önemli bir klinik (Athanasίου, A.E. 1995 ; Junqueira vd., 2015; Moyers &

Bookstein, 1979). Posteroanterior sefalometrik radyografiler, transvers düzlemde diş arklarının kemik tabanlarla genişliğini ve açısal ilişkisini, maksilla ve mandibulanın genişliğini ve transvers konumunu, bilateral kemik ve diş yapılarının dikey ilişkisini, burun boşluğunun genişliğini ve dikey ve transvers yüz asimetrilerinin analizini değerlendirme fırsatı sağlar (Cortella vd., 1997; Jacobson, 1995; Proffit 2007). Lateral sefalometrik radyografiler, kraniyofasiyal yapıların ön-arka ve dikey yönde büyüme gelişimini ve tedavilerle meydana gelen değişiklikleri değerlendirmek için kullanılabilir. Elde edilen radyografilerde birçok anatomik yapıdan yararlanılarak noktalar, çizgiler ve açılar elde edilir. Bu ölçümler hastanın ortodontik tedavi planlaması, tedavi süresince oluşan değişiklikler ve tedavi sonunda elde edilen sonuçlar hakkında bilgi verir (Baumrind & Frantz, 1971; Brodie, 1941; Akın, 2014; Shahidi vd., 2013). Sefalometrik radyografiler, mandibular ilerletmeye yanıt olarak dil tabanı ile posterior farengeal duvar arasındaki hava yolunda meydana gelen değişiklikleri, apareyin hava yolunda neden olduğu gelişim ve iyileşmeleri izlemek ve tedavi sonrası hava yolundaki değişiklikleri değerlendirmek için de kullanılmaktadır (Johal & Battagel, 2001; Knudson vd., 1992; Kurtulmuş vd., 2015). Sefalometri 1931 yılında ortodonti literatürüne girdikten sonra birbiri ardına analiz yöntemleri geliştirilmiş ve araştırmacılar kendi isimleriyle anılan sefalometrik analiz yöntemleri (Broadbent, 1931; Downs, 1948; Jacobson, 1975; McNamara, 1984; Ricketts, 1960; Sassouni, 1958; Steiner, 1953; Tweed, 1946). Sefalometrik analizler, ortodontik bir anomalinin dişsel mi yoksa iskeletsel mi olduğunu belirlemek için kullanılabilir. Sefalometri, genellikle subjektif olan klinik muayenenin aksine objektif bir yöntemdir (Cutrera vd., 2015).

Lateral Sefalometrik Analiz Yöntemleri. Bu yöntem sefalometrik analiz için uzun süredir kullanılmaktadır. Sefalometrik radyografinin üzerine bir asetat levha yerleştirilmesini, ince uçlu bir kalemle sefalometrik işaretlerin belirlenmesini ve bu noktalar arasındaki mesafelerin ve açıların ölçülmesini gerektirir (Leonardi vd., 2008). Bu tekniğin dezavantajları arasında zaman tüketimi ve yüksek oranda sefalometrik yanlışlıklar yer almaktadır (Liu vd., 2000). Geleneksel sefalometrik analizin güvenilirliği aynı zamanda hekimin deneyimine, işaretlerin netliğine ve görüntünün yoğunluğuna ve keskinliğine de bağlıdır (Chen vd., 2004).

Bilgisayar Destekli Dijital Sefalometrik Analiz Teknikleri. Teknolojik gelişmelerle birlikte, çizimler giderek daha fazla bilgisayarda oluşturulmaktadır. Geleneksel sefalometrik radyografilerin dijital versiyonları tarayıcılar kullanılarak üretilmektedir (Brennan, 2002; Quintero vd., 1999). Dijital sefalometrik radyografide referans noktaları belirtilir, ardından bilgisayar yazılımı mesafeleri ve açıları otomatik olarak ölçerek sefalometrik analizi gerçekleştirir. Araştırmacılar, bilgisayar tabanlı bu analizin, manuel yöntemlerin aksine ölçüm hatalarını en aza indirerek ve zamandan tasarruf sağlayarak sefalometrik analizin tanınal değerini artırdığını iddia etmektedir (Liu vd., 2000). Bununla birlikte, referans noktalarını araştırmacı belirlediği için geleneksel sefalometrik analizdekine benzer hataların yine de ortaya çıkabileceği belirtilmiştir (Gravely & Benzies, 1974). Bilgisayarlı analiz sistemleri zaman içinde gelişmiştir ve bu gelişim yörüngesine göre birinci, ikinci ve üçüncü nesil sistemler olarak kategorize edilmektedir.

Birinci nesil bilgisayar analiz sistemlerinde, geleneksel radyografik görüntüler dijital formata dönüştürülür ve sonuçlar yazılım uygulamaları kullanılarak sayısallaştırılır.

İkinci nesil bilgisayar tabanlı analiz sistemlerinde, dijital tarayıcılardan ve kameralardan elde edilen resimler, ölçüm amacıyla bilgisayar ortamında işlenir.

Üçüncü nesil bilgisayar tabanlı analiz sistemlerinde, dijital olarak elde edilen radyografiler, ışığa duyarlı fosfor plakalar veya doğrudan dijital sistemler kullanılarak

Çizimlerin ve ölçümlerin bilgisayar ortamında anında oluşturulmasını kolaylaştırır (Brennan, 2002).

Bilgisayar Destekli Dijital Sefalometrik Analiz için Yazılım. Şu anda piyasada Ceph Smile Plus, Dentrax Image, Dr Ceph, IOPS, JOE, Niamtu Imaging Systems, Quick Ceph 2000, Onyx Ceph, OPAL, Orthoview-Ceph, Dolphin, Prescription Planner/Portrait, Screenceph, T PhotoEze, Nemoceph, Vistadent ve Dentofacial Planner gibi çeşitli markalar altında çok sayıda ticari bilgisayar destekli dijital sefalometrik analiz programı mevcuttur. Dijital sefalometrik analiz programlarının hem kendi içlerinde hem de geleneksel yöntemlerle karşılaştırmalı çalışmaları, bu tekniklerin başlangıç referans noktası tahminleri sağlayarak klinik uygulamaya önemli ölçüde yardımcı olabileceğini göstermektedir. Gerçekten de, referans sefalometrik analiz özelliklerine sahip bilgisayar destekli otomatik sistemler kullanan ortodontistler, gelecekte zaman verimliliği ve sefalometrik analizde gelişmiş doğruluk açısından avantajlar elde edebilirler (Leonardi vd., 2008; Sayinsu vd., 2007; Vithanaarachchi vd., 2020).

Görüntünün Elde Edilme Şekline Dayalı Sefalometrik Radyografi Türleri

Konvansiyonel Sefalometrik Radyografi. Geleneksel sefalometrik radyografiler, kafatası kemiklerinin, yüzün ve çene kemiklerinin lateral yönden görüntülenebildiği ağız dışı radyografilerdir. Görüntü, kaset içerisine yerleştirilen röntgen filmi üzerine X-ışınlarının düşürülmesi ile elde edilir. Film kaset içinde 2 radyatör arasına yerleştirilir. Filmler dıştan içe doğru sırasıyla koruyucu tabaka, emülsiyon tabakası, yapışkan tabaka ve taban tabakasından oluşur. Taban katmanı, tahmini kalınlığı 0,2 mm olan polyester polietilen veya selüloz asetattan oluşur. Yapışkan tabaka emülsiyonun taban tabakasına yapışmasını sağlar. Emülsiyon katmanı görüntünün oluştuğu yerdir, görüntü bu katmandaki X-ışınına duyarlı gümüş halojenür kristallerinin banyo solüsyonu ile reaksiyona girmesi sonucu oluşur. En dıştaki koruyucu tabaka emülsiyon tabakasını dış etkenlerden korur. Dokuların farklı yoğunlukları nedeniyle X ışınları dokuya ulaştığında farklı oranlarda emilir ve bu nedenle film üzerinde açık ve koyu renkli alanlar oluşur. Işınlanan film banyo edildikten sonra radyografik görüntüye dönüştürülür. Günümüzde yaygın olarak kullanılmasına rağmen geleneksel sefalometrik radyografinin dijital görüntüleme tekniklerine kıyasla dezavantajları vardır. Bu görüntüleme şeklinde görüntü oluşturma süreci zaman alıcıdır. Görüntü kalitesi filme uygulanan kimyasal işlemlerin süresine göre değişebilir. Görüntü oluştuktan sonra işlenmesi mümkün değildir (Versteeg vd., 1997).

Dijital Sefalometrik Radyografi. Bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler nedeniyle dijital sefalometrik radyografilere olan talep giderek artmıştır. Dijital sensörler, görüntü alıcıları olarak X-ışını filminin yerini almıştır. Görüntü, bu sensörlerin X ışınlarına maruz bırakılmasıyla yakalanır ve sonuçta elde edilen görüntü bir bilgisayara aktarılır ve depolanır (Brennan, 2002). Dijital görüntü "piksel" olarak bilinen birimlerden oluşur. Piksel boyutu küçüldükçe ve piksel sayısı arttıkça, görüntü çözünürlüğü iyileşir ve daha fazla ayrıntı elde edilir . Dijital olarak elde edilen görüntüler geleneksel yöntemlere göre daha hızlı üretilir ve kimyasal işlem yapılmadığı için çevre kirliliği azalır. Görüntüler dijital formatta daha kolay paylaşılabilir, değişiklikler yapılabilir ve ışınlama hataları düzeltilebilir. Ağız içi görüntüleme geleneksel yöntemlere kıyasla daha düşük radyasyon maruziyetine neden olurken, ağız dışı görüntülemelerde önemli bir fark gözlenmemiştir.

Posteroanterior (PA) Sefalometrik Radyograflar. Posteroanterior sefalometrik radyograflar, yatay düzlemde maksilla ve mandibula genişliğinin değerlendirilmesinde, bilateral iskelet ve dental yapıların dikey yön ilişkilerinin belirlenmesinde, dental arkların genişliğinin ve kemik tabanı ile açısal ilişkisinin değerlendirilmesinde, burun boşluğunun genişliğinin ölçülmesinde, maksilla ve mandibuladaki iskeletsel ve dental asimetrilerin tespit edilmesinde ve dikey ve transvers yüz asimetrilerinin belirlenmesinde yardımcıdır (Bergman, 1988). Daha yaygın olarak kullanılan lateral sefalometrik radyografilere ek olarak, posteroanterior sefalometrik radyograflar de dentofasiyal bölgenin incelenmesinde önemli bir faktördür(Athanasio, 1995).

Otomatik Sefalometrik Analiz Tekniği. Bu yöntemin amacı, manuel analiz sırasında yapılan hataları ve harcanan zamanı azaltmaktır (Leonardi vd., 2008). Sefalometrik analizdeki hatalar genellikle anatomik noktaların işaretlenmesinde, çizim sırasında veya ölçüm sırasında yapılan sistematik hatalardır (Baumrind & Miller, 1980; Houston, 1983; Houston vd., 1986). Bilgisayar destekli sefalometrik analiz programları ölçüm sırasında mekanik hataları önler, ancak anatomik noktaların işaretlenmesindeki tutarsızlık önlenemez (Houston, 1983; Houston vd., 1986). Bilgisayar destekli sefalometrik analiz, geleneksel yöntem kadar zaman alıcı olmasa da hala zaman alıcı bir yöntemdir (Leonardi vd., 2008). Analiz için gereken zamanı azaltmak ve referans noktalarını daha doğru belirlemek için otomatik sefalometrik analiz girişimleri olmuştur (Hutton vd., 2000). Bu analizde referans noktaları yazılım tarafından otomatik olarak belirlenir ve gerekli ölçümler yapılır. Otomatik analizde en önemli unsur anatomik noktaların belirlenmesidir çünkü bilgisayar destekli sefalometrik analiz yöntemlerinde ölçüm işlemleri neredeyse hatasızdır (Leonardi vd., 2008).

Üç Boyutlu Görüntüleme Teknikleri

Ultrasonografi (USG). Son zamanlarda baş ve boyun bölgesinde büyük ilgi gören ultrasonografi, radyasyon veya elektromanyetik alan kullanmaması nedeniyle diğer modalitelerden ayrılır. Ultrasonografide ses enerjisi kullanılır. Ultrasonografi cihazları, iletilen sesin vücuttaki doku yüzeylerinden yansısıyla oluşan ekoları yakalayarak bir görüntü oluşturur. Yansımaları etkileyen bileşen, dokuların değişen ses direncidir. İki komşu doku arasındaki akustik empedans farklılığı daha yüksekse, arayüzdeki yansıma daha belirgin olacaktır; tersine, daha azsa, yansıma azalacaktır. Yansımalar cihazın ekranında parlak beyaz noktalar olarak ortaya çıkar (Aldrich, 2007).

Ultrasonografik görüntüleme, bilgisayarlı tomografi (BT) ve manyetik rezonans görüntülemenin (MRG) aksine, iyonlaştırıcı radyasyon içermeyen, hızlı, uygun maliyetli, tekrarlanabilir ve non-invaziv bir tanı tekniğidir (Kiliaridis & Kálebo, 1991).

Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG). Nükleer manyetik rezonans ilk olarak 1940'larda bulunmuş ve otuz yıl sonra görüntüleme uygulamaları için önerilmiştir. O zamandan bu yana, manyetik rezonans görüntüleme (MRG) tanısal klinik tıp ve biyolojik araştırmalarda en güçlü yöntemlerden biri olarak ortaya çıkmıştır. Günümüzde MRG ağırlıklı olarak anatomik görüntüler elde etmek için kullanılmakla birlikte, hareket ve akışa ilişkin işlevsel veriler de sunmaktadır (Månsson vd., 2006). MRG yumuşak dokuyu aydınlatır ve karmaşık morfolojik ayrıntılar sunarken, manyetik rezonans spektroskopisi (MRS) fizikokimyasal duruma ilişkin içgörüler aktararak in vivo biyolojik araştırmalarda bir araç olarak etkinliğini gösterir. MRG'nin çalışma prensibi diğer görüntüleme yöntemlerinden farklıdır. Ortodontide MRG'nin temel sınırlaması, ekonomik kaygıların yanı sıra, görüntülenen dokularda önemli miktarda hidrojen çekirdeğine dayanmasıdır. Kemik, mine ve dentin gibi sert dokularda çok az serbest hidrojen çekirdeğinin bulunması, bu güçlü tanı aracının ortodontide temporomandibular eklem kıkırdak elemanlarının görüntülenmesine uygulanmasını kısıtlamaktadır (Baumrind, 2001).

Bilgisayarlı Tomografi. 1972 yılında Godfrey Hounsfield tarafından geliştirilen bilgisayarlı tomografide kesitsel görüntüler elde edilir (Dawood vd., 2009; Kamburoğlu vd., 2012). Bilgisayarlı tomografide bu görüntüler, X-ışını tüpü ve dedektörlerin vücut etrafında döndürülmesiyle elde edilir. Elde edilen görüntüler, sert ve yumuşak dokuların değerlendirilmesi, baş ve boyun patolojileri ve TME muayeneleri ile birlikte anomalilerin ve neoplastik durumların tanımlanmasını kolaylaştırır (Zinreich vd., 1987). Ancak bilgisayarlı tomografi cihazlarının büyük boyutları, kapladıkları alanın genişliği, yüksek radyasyon maruziyeti, yetersiz sert doku çözünürlüğü ve erişilebilirlik zorlukları diş hekimliğindeki uygulamalarını kısıtlamaktadır (White, 2008).

Ortodontide görüntüleme teknikleri çoğunlukla sınıflandırılmış anatomik yapıların durumunu değerlendirmek için kullanılır. Sonuç olarak, geleneksel radyografik tekniklerin yanı sıra video ve fotoğraf gibi iki boyutlu görüntüleme teknolojileri uzun yıllardır ortodontik dokümantasyonun ayrılmaz bir parçası olmuştur. Bilgisayarlı tomografi (BT) gibi kesitsel görüntüleme yöntemleri, karmaşık tanısal zorlukları çözmek için sıklıkla kullanılmaktadır (Maciej Serda vd., 2015).

Başlangıçta bir kraniyal tarayıcı olarak tasarlanan bilgisayarlı tomografi (BT), başlangıcından bu yana orofasiyal anatominin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, BT makineleri diş hekimliğinde önemli maliyetleri, büyük boyutları ve yüksek radyasyon maruziyeti gibi kısıtlamalara sahiptir (White, 2008).

Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi. 1998 yılında Mozzo ve arkadaşları tarafından KIBT geliştirilmiş ve diş hekimliğinde kullanılmaya başlanmıştır (Mozzo vd., 1998). KIBT'de, spiral bilgisayarlı tomografide kullanılan yelpaze şeklindeki X-ışını, konik şekilli X-ışını fotonları ile ikame edilir. Görüntülenmesi amaçlanan yapının etrafında 360 derecelik kapsamlı bir tarama gerçekleştirilir. Görüntü verilerinden elde edilen ham resimler, üç boyutlu hacimsel görüntüler üretmek için yazılım programları tarafından işlenir (White & Pharoah, 2014). Bu görüntüleme yöntemi, Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (KIBT) cihazlarının Bilgisayarlı Tomografi'ye (BT) göre daha düşük maliyetli olması ve kompakt boyutları nedeniyle diş hekimliğinde sıklıkla tercih edilmektedir (Barghan vd., 2012).

KIBT, iki boyutlu bir dedektöre yönlendirilen konik bir X-ışını demeti kullanan bir görüntüleme tekniğidir. Kaynak dedektör sistemi, nesnenin etrafında dönme hareketi gerçekleştirerek bir dizi iki boyutlu görüntü oluşturur (Topsakal & Korkmaz, 2018). Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi olarak da adlandırılan konik ışınlı görüntüleme (KIBT), genellikle panoramik görüntüleme, bilgisayarlı tomografi, manyetik rezonans görüntüleme (MRI) ve sintigrafiyi kapsayan görüntüleme yöntemleri yelpazesini genişletir. Konik ışınlı görüntülemenin ayırt edici avantajları, kemik ve dişlerin mükemmel uzaysal çözünürlüğü, anatomik olarak karmaşık bölgelerdeki yapısal ilişkilerin doğru bir şekilde anlaşılmasını kolaylaştırması, daha az radyasyona maruz kalması ve görüntüleme maliyetlerini düşürmesidir. Konik ışınlı görüntüleme, diş hekimliğinde yumuşak dokuların ayırt edilmesini gerektiren senaryoların aksine diş ve kemik gibi yüksek kontrastlı yapıları görselleştirmek için kullanılır. Konik ışınlı görüntülemenin yüksek uzaysal çözünürlüğü, diş implantları için tedavi planlaması ve değerlendirmesi de dahil olmak üzere çok sayıda uygulama için çok önemlidir. Orofasiyal yapıları etkileyen çok çeşitli kistler, tümörler, enfeksiyonlar, gelişimsel anomaliler ve travmatik yaralanmalar, konik ışınlı görüntülemenin sağladığı yüksek

uzaysal çözünürlük kullanılarak etkili bir şekilde değerlendirilebilir. Ortodontik yüz kemikleri geniş görüntü kapsamı gerektirir ve düşük görüntü çözünürlüğüne uyum sağlayabilir. Çok sayıda DICOM görüntüleyicisinin yanı sıra, çeşitli uygulamaya özel yazılım araçlarının devam eden gelişimi, diş hekimlerine çok sayıda tanısal zorluk için kapsamlı çözümler sunmaktadır (White, 2008). KIBT önemli avantajlar sunsa da bazı dezavantajlara da sahiptir. Dezavantajlardan biri görsel kaliteyi düşüren artefaktlardır. Artefakt, nesnenin kendisiyle ilgisi olmayan bir kusurdur. Artefaktlar öncelikle metalik restoratif materyallere veya braketlere atfedilebilir. Ayrıca, radyasyon dağılımından kaynaklanan ve görüntünün görünürlüğünü engelleyen gürültüler de oluşabilir. KIBT'nin bir diğer önemli dezavantajı da yumuşak dokuların kısıtlı görüntülenmesidir (Topsakal & Korkmaz, 2018).

Ortodontide Üç Boyutlu Görüntülemenin Gerekliliği Nedir ? Geleneksel ve dijital yöntemler, anatomik yapıların yatay ve dikey olarak yer değiştirdiği ve dokuların birbirine karıştığı iki boyutlu görüntüler verir . Medyan düzlemin her iki tarafındaki anatomik noktaların çift görüntüsünün yanı sıra yetersiz görüntü netliği nedeniyle belirsiz kenarlar ve gölgelerin varlığı, anatomik noktaların kesin olarak tanımlanmasını engeller (van Vlijmen vd., 2010). Sonuç olarak, bu durum üç boyutlu anatomik yapılara ilişkin temel bilgilerin elde edilmesini engellemekte ve tamamen doğru bir tedavi planının formüle edilmesinin uygulanabilirliği konusunda tartışmalara yol açmaktadır (Baumrind & Frantz, 1971; Scarfe vd., 2012). Bu sorunlar ışığında, klinik uygulamada üç boyutlu sefalometrik analizin rutin olarak uygulanmasını teşvik etmek için araştırmalar yapılmıştır. Baumrind 1970'lerde ve 1980'lerde bu araştırmalara öncülük etmiştir (Baumrind, 2001). Daha sonra, üç boyutlu görüntüleme teknolojisinin ortaya çıkmasıyla üç boyutlu sefalometrik analiz klinik ortamlarda yaygınlaşmıştır.

KIBT'nin Avantajları.

- Daha küçük alanların taranmasına izin verdiği için hastanın maruz kaldığı radyasyon dozu azalır.
- CT cihazlarına kıyasla, CIBT cihazları daha kompakttır ve bu nedenle daha az yer kaplar.
- İzotropik voksellerin kullanımı, anizotropik voksel boyutları kullanan bilgisayarlı tomografi tekniklerine kıyasla görüntü netliğini artırır. BT'ye göre azaltılmış voksel boyutu çözünürlük kalitesini artırır.
- Giderler BT'ye kıyasla azalmıştır
- Işınlama süresinin kısalması nedeniyle, metal nesneleri çevreleyen artefaktlar KIBT'den elde edilen görüntülerde BT ile elde edilenlere kıyasla daha azdır.

KIBT'nin Dezavantajları

- KIBT, üstün kontrast çözünürlüğüne sahip olan BT'ye kıyasla yumuşak dokuyu görüntülemeye daha az etkilidir.
- Tıbbi BT'den daha ucuz olsalar da, maliyetleri geleneksel görüntüleme sistemlerine göre yüksek kalmakta ve normal kullanımlarını zorlaştırmaktadır.
- Uygulanması teknik doğruluk gerektirir. Cihazın çalışma prensiplerine hakim olmak çok önemlidir; bununla birlikte, dozaj ayarlamaları taranan belirli alana göre uyarlanmalıdır. Elde edilen görüntülerin doğru yorumlanması için programın işletim sistemi konusunda eğitim şarttır.
- Metal restorasyonlar, implantlar ve kök kanal dolguları metal artefaktları oluşturur.

Ortodontide Üç Boyutlu Görüntüleme Uygulamaları

Gömülü Dişlerin Görüntülenmesi. Gömülü dişler ortodontide odak noktasıdır. Ağırlıklı olarak üçüncü molar dişler etkilenirken, bunu maksiller kanin ve maksiller santral kesici dişler takip eder. Bu dişlerin kesin konumunu tespit etmek ve çekimin gerekli olup olmadığı konusunda cerraha yardımcı olmak için geleneksel yöntemlerin yerine Konik Işın Bilgisayarlı Tomografi (KIBT) kullanılmaktadır (Pathak vd., 2014). Uygun şekilde elde edilen bir KIBT görüntüsü hem cerrahı hem de ortodontisti yönlendirerek ektopik olarak sürmüş veya tam olarak sürmemiş gömülü kanin dişlerinin yeniden konumlandırılmasını kolaylaştırır ve böylece cerrahi müdahaleyi daha az invaziv hale getirir (Mah vd., 2003).

Kök Rezorpsiyonunun Değerlendirilmesi. Ortodontik tedavide önemli olan kök rezorpsiyonu, periapikal radyografilerde kolayca tespit edilebilir. Bununla birlikte, iki boyutlu görüntüleme kullanarak dişin lingual veya bukkal bölgelerindeki kök rezorpsiyonunu değerlendirmek son derece zordur. KIBT, herhangi bir dişin herhangi bir yüzeyindeki rezorpsiyonun ayrıntılı olarak görüntülenmesini sağlar (Herring, 2006).

Temporomandibular Eklem Üzerindeki Zararlı Etkilerin Değerlendirilmesi. Hastaların ağrı ve işlev bozukluğu nedeniyle ortodonti kliniklerinde tedavi görmek istedikleri TME bozuklukları, temporal kemiğin TME'ye yakınlığı nedeniyle geleneksel radyografi yöntemleriyle yeterince görüntülenemez. KIBT düşük dozda, yüksek kaliteli fotoğraflar sunar. Ayrıca, kondil başı ve eklem fossası lateral sefalometrik görüntülerde yalnızca sagittal düzlemde gözlemlenebilirken, KIBT ile hem frontal hem de aksiyal kesitler elde edilebilir (Honda vd., 2006; Tsiklakis vd., 2004).

Dudak ve Damak Yarıklarının Değerlendirilmesi. İki boyutlu radyografik teknikler kullanarak yüz asimetrisini değerlendirmek zordur ve çeşitli sorunlar ortaya çıkarır. Başlıca sorunlar arasında görüntü süperpozisyonu, hasta yerleştirme yanlışlıkları ve görüntü bozulması yer alır. KIBT görüntüleri doğrudan ölçümleri kolaylaştırarak kondil ve ramus uzunluklarının net bir şekilde karşılaştırılmasına olanak tanır. Mandibular asimetrinin KIBT görüntüleri kullanılarak değerlendirilmesi de konumlandırma hatalarını en aza indirir (Domeshek vd., 2009).

Asimetri Değerlendirmesi. İki boyutlu radyografileri kullanarak yüz asimetrisini değerlendirmek, süperpozisyon, hasta yerleştirme yanlışlıkları ve resim distorsiyonu gibi sorunlar nedeniyle zordur. Kondil ve ramus uzunlukları, KIBT görüntülerinden doğrudan ölçüm yoluyla karşılaştırılabilir. KIBT görüntüleri kullanılarak mandibulanın asimetrisi değerlendirilirken, yerleştirme ile ilgili sorunlar da çözülebilir (De Moraes vd., 2011).

Solunum Sisteminin Değerlendirilmesi. KIBT kayıtları ile üç boyutlu hava yolu görüntüleri elde edilebilir ve böylece hava yolu ve sinüs hacimleri ölçülebilir. Bu prosedür, hava yolunun en dar segmentinin tanımlanmasını sağlar ve aksiyal boyutlarının ölçülmesini kolaylaştırır (Jakobsone vd., 2010).

Kraniyofasiyal Anatominin Değerlendirilmesi. Geleneksel sefalometri, görüntü büyütmeye neden olan x-ışını ışını geometrisi, sol ve sağ taraflar arasındaki asimetri ve başın konumu gibi çeşitli parametreler tarafından kısıtlanır. Lateral sefalogramların fiziği, ortaya çıkan görüntü üzerinde önemli sınırlamalar getirir ve potansiyel olarak bir büyütme hatasına işaret eder. Filme yakın olan taraf, filmde en uzak olan tarafa göre daha az büyütülür ve bu da lateral sefalogramlarda gözlemlenebilen mandibular çift sınırı açar. KIBT, x-ışınlarının paralel olmayan doğasından bağımsız olarak büyütme faktörünü hesaplayan ve kaldıran matematiksel bir teknik kullanarak ham verilerden 3B nesneyi yeniden yapılandırarak büyütme sorunlarını ortadan kaldırır. KIBT tarafından üretilen izotropik görüntüler, 3B görüntüleme yazılımında bulunan doğrusal ve açısal ölçüm araçları kullanılarak doğrulanabilen asimetri ve anomalilerin görsel olarak değerlendirilmesini sağlar. Ölçümler güvenilir ve anatomik olarak kesindir (Mah vd., 2010).

Yapay Zeka

Zeka ve Yapay Zeka

Yapay zeka, bir bilgisayarın veya bilgisayar destekli bir cihazın, insan beyninin işleyişine benzer şekilde, sorunlara çözüm üretme, koşulları anlama, değerlendirme, durumları yorumlama ve deneyimlerden öğrenme gibi ileri düzeyde mantık gerektiren

süreçleri yürütme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. John McCarthy, yapay zeka kavramını ilk olarak 1956 yılında Dortmund konferansında ortaya atmış ve "akıllı makineler ve akıllı bilgisayar programları yapma bilimi ve mühendisliği" olarak tanımlamıştır (Mccarthy, 2007).

İki yapay zeka kategorisi vardır. Genel yapay zeka; insan bilişini, duygularını ve muhakemesini tamamen taklit eden robotlar yaratmayı amaçlarken, dar yapay zeka tek bir faaliyeti insanlar kadar etkili veya daha etkili bir şekilde yapabilen makineler geliştirmeye odaklanmaktadır (Jones vd., 2018; Sunali vd., 2017).

Yapay Zekanın Tarihsel Gelişimi

Yapay zeka ile ilgili ilk araştırmalar 1940 yılında başlamıştır (El Naqa vd., 2020). McCulloch ve Pitts 1943 yılında nöronların çalışma prensiplerini matematiksel olarak kopyalayan "Beynin Boole Devresi Modeli"ni geliştirmiştir. Bu model, yapay zeka araştırmalarındaki en önemli ilerleme olarak kabul edilmektedir (Arslan vd., 2020).

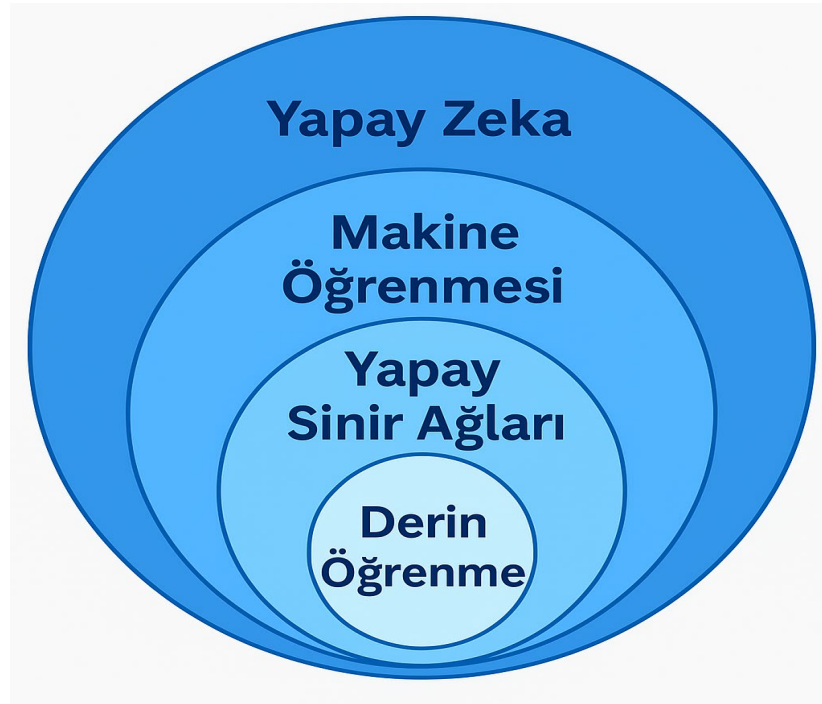
1948 yılında, bilgisayarların elli algoritma kullanarak matematiksel teoremleri gösterebileceği kavramı ortaya atılmıştır. 1950'de Alan Turing "makinelere düşünebilir mi?" sorusunu ele alan bir makale yayınlamış ve burada insanlar mevcut bilgileri kullanarak karar verebiliyor veya sorunları çözebiliyorsa, robotların da aynı şeyi yapabilmesi gerektiği iddiasının arkasındaki mantığı araştırmıştır. İnceleme, bir bilgisayarın insan bilişini taklit edip edemeyeceğini tespit etmek için yapay zekayı kullanan bir sorgulama çerçevesi içermektedir.

Turing testi, iki insan katılımcı ve bir makineden oluşan üç terminali içerir. Bir insana sorgulayıcı rolü verilirken, diğer insan katılımcı ve bilgisayar sorulara yanıt vermekle görevlendirilir. İnsan sorgulayıcı belirli bir yapıda sorular sorar ve önceden belirlenmiş bir süre ve sayıda sorudan sonra, insanın hangi yanıtların diğer insan katılımcıdan kaynaklandığını ve hangilerinin bilgisayar tarafından üretildiğini ayırt etmesi gerekir. Test birçok kez gerçekleştirilir ve bilgisayar örneklerin en az yarısında zafere ulaşırsa "akıllı makine" olarak tanımlanır (Arslan vd., 2020).

1965 yılında yapay zeka metodolojilerine ilişkin ilk perspektifler ortaya konmuş ve bulanık küme teorisi 1969 yılında tıp alanında uygulanmıştır. Tıp alanındaki ilk uygulamalar kardiyojoloji alanında gerçekleştirilmiştir. Araştırmaların başarısı radyoloji ve diğer tıbbi disiplinlerdeki araştırmaları da ilerletmiştir (Application of Fuzzy-Classifer System to Coronary Artery Disease and Breast Cancer; Guo vd., 1993; Kalmanson & Stegall, 1975).

Şekil 4:

Yapay Zekayı Oluşturan Temel Kavramlar



Yapay Zeka Algoritmaları

Yapay zeka algoritmaları, uzman sistemler, bulanık mantık, genetik algoritmalar, yapay sinir ağları ve makine öğrenmesi gibi sınıflandırmalar altında kategorize edilerek incelenmektedir.

Uzmanlaşmış Sistemleri. Uzman sistemler, veriye dayalı sorunların çözümü için belirli bir alandaki bir uzmanın uzmanlığını taklit etmek üzere tasarlanmış sofistike bilgisayar programlarıdır. Uzman sistemler ile yapay zeka arasındaki fark, yapay zekanın insanlar tarafından çözülebilen sorunları ele alması, uzman sistemlerin ise alan uzmanları tarafından ele alınan sorunlara odaklanmasıdır. Uzman sistemler uzmanların yerini almak üzere tasarlanmamıştır. Bu araçlar, uzmanlara erişimin gerçekte kısıtlı olduğu alanlarda problem çözmeyi kolaylaştırır. İlk uzman sistem 1970 yılında Stanford Üniversitesi'ndeki doktorlar tarafından bakteriyel menenjitin teşhis ve tedavisi için oluşturulmuştur.

Uzman sistemler, özellikle tıp alanında, birden fazla uzmanın bakış açısını sentezleyerek sonuçların doğru bir şekilde yorumlanmasına yardımcı olur. Sistemin amacı, hastanın tercihlerini analiz ederek hekime öneriler sunmaktır (Ahmet Babalık vd., 2007).

Bulanık Mantık. Bulanık mantık ilk olarak Berkeley Üniversitesi'nden Prof. Dr. Lotfi Aliasker Zadeh tarafından yayınlanan çalışmalarla bilim camiasına tanıtılmıştır. Bulanık mantık, doğru veya yanlış, 0 veya 1 gibi ikili değerlendirmelerin ötesinde ara değerleri kapsayan uygulamaları karakterize etmek için kullanılır. Bulanık mantık, günlük hayatta karşılaşıldığı gibi basitçe ikili bir şekilde değerlendirilemeyen senaryoları karakterize etmek için uygundur. Girdi ve çıktı arasında kesin bir korelasyonun olmadığı durumlarda, özellikle ikili sınıflandırmaların mümkün olmadığı sistemlerde, gri bölgeler kavramı bulanık mantığın çalışma prensibini açıklar.

Bulanık mantık teorisi, kalite kontrol, ürün planlama, ulaşım, iletişim, tarım ve tıp gibi bilimsel alanlarda etkili bir şekilde kullanılmıştır (Gilboy vd., 1999).

Genetik Algoritmalar. Genetik algoritmalar, canlı organizmaların öğrenme süreçlerini taklit eden yazılım sistemleri olarak işlev görür. Doğal seçilime benzer kalıtım özelliklerine dayanan matematiksel modeller olarak karakterize edilirler ve ilgili konuları ele alırken biyolojik varlıklara benzerler. Bu algoritma, biyolojik mutasyon ve çaprazlama kavramlarına karşılık gelen iki temel işlemi kapsar. Genetik algoritmalar tarafından ele alınan konuların yelpazesi geniştir. Genel olarak, fonksiyon optimizasyonunda etkili sonuçlar verir.

Makine Öğrenimi

Yapay zeka, makine öğrenimi ve derin öğrenme günlük söylemde sıklıkla eşanlamlı olarak kullanılsa da, farklı kapsam ve kısıtlamalara sahiptirler. Yapay zeka, yapay zekanın bir alt kümesini oluşturan makine öğrenimi ve makine öğreniminin bir alt kümesini temsil eden derin öğrenme ile birlikte geniş kapsamlı bir kavramdır. Makine öğreniminin amacı, makinelerin veriler aracılığıyla bilgi edinmesini kolaylaştırmak ve sorunları otonom olarak çözmelerini sağlamaktır.

Makine öğrenimi, sağlanan veri kümelerinden özerk olarak öğrenen, açık programlama olmadan tahminler üreten, karar verme yeteneklerini geliştiren ve eğitim örneklerine dayalı matematiksel modeller formüle eden bir algoritmalar topluluğu olarak tanımlanmaktadır. Yapay sinir ağları ve makine öğrenimi gibi yapay zekanın alt alanlarında, sistem bir eğitim seti ve bir test setinden oluşur. Eğitim seti, makine öğreniminde kullanılan etiketli ve etiketsiz veri koleksiyonundan oluşur. Test kümesi ise sistemin daha önce karşılaşmadığı verilerden oluşur. Makine öğrenimi, eğitim setinden bilgi edinen ve daha sonra test setini kullanarak performansını değerlendiren bir sistem oluşturmayı amaçlar.

Makine öğrenimi genellikle iki farklı veri kategorisi kullanır. Denetimli öğrenmede, her veri örneği, veri içindeki öznitelikleri tanımlamak için uzmanlar tarafından açıklanır. Örneğin, görüntü analizinde, bir uzman tarafından tasarlanan algoritmalar, girdi fotoğraflarını kenarlar, gradyanlar ve dokular gibi temel öğelere ayırır. Görüntüler bu unsurların istatistiksel analizi yoluyla kategorize edilir. Denetimsiz öğrenmede veriler uzmanlar tarafından etiketlenmeden kalır. Bu sistemlerde uzman güdümlü özellik

çıkarımı kullanılmaz. Algoritmalar, eğitim örneklerini kullanarak sağlanan verileri kümelemek için en uygun nitelikleri belirler. Bu öğrenme biçimindeki zorluk, işlenmemiş girdiden karmaşık özelliklerin elde edilmesinde yatmaktadır. Yeterli eğitim verisi ile bu sistemler uzmanlar tarafından belirlenen niteliklerden daha iyi performans gösterebilir. Bu iki öğrenme metodolojisinin ötesinde alternatif sistemler de mevcuttur. Yarı denetimli öğrenme, sınırlı miktarda etiketlenmiş veri ile birlikte önemli miktarda etiketlenmemiş veri kullanır. Takviyeli öğrenmede öğrenme süreci, sistem tarafından elde edilen sonuçların olumlu ya da olumsuz olarak değerlendirilmesiyle yönlendirilir (Chartrand vd., 2017; Erickson, 2019). Geleneksel makine öğrenimi metodolojisinde, mevcut veriler iki veya üç alt kümeye ayrılır: eğitim ve bazen de doğrulama ve test kümeleri. Her set belirlenmiş bir işleve sahiptir. Eğitim setleri, ağırlıkları değiştirmek için düzenli olarak iletilir. Doğrulama setleri, eğitim sırasında modelin performansını değerlendirmek ve dağıtım için uygun modeli belirlemek için kullanılır. Test setleri ise modelin eğitim sonrası performansını değerlendirmek için kullanılır (Chartrand vd., 2017).

Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları, insan beynindeki nöronların işlevlerini taklit ederek akıl yürütme, öğrenme, edinilen bilgilerden çıkarım yapma ve yeni bilgiler üretme gibi görevleri otonom olarak yerine getirmek üzere tasarlanmış bilgisayar programlama sistemleridir. Geleneksel programlama teknikleri kullanılarak çözülmesi zor olan, genellikle çözüm için uzun zaman gerektiren ve hatta çözülemez olarak kabul edilebilecek karmaşık problemler için uyarlanmış, uyarlanabilir bilgi işlemeye odaklanan bir bilgisayar bilimi alanını temsil ederler. Gerçek bireyler tarafından sağlanan örnekler aracılığıyla öğrenme yeteneklerini geliştiren bu sistemler, edinilen bilgilere dayalı yanıtlar üretebilir. Yapay sinir ağları, ilgili sisteme sunulan yapılarla hiyerarşik olarak birbirine bağlı olan ve eş zamanlı olarak çalışabilen yapay olarak inşa edilmiş hücrelerden oluşur. Genellikle işlevsel unsurlar olarak adlandırılan bu yapay hücreler birbirleriyle bağlantılıdır ve her birinin içsel bir değere sahip olduğu kabul edilmektedir. İnsan beyninin yapısal özelliklerine benzer şekilde, bu sistemler öğrenme, olay ve durumları ilişkilendirme, kümeleme, özellik çıkarma, genelleme ve optimizasyon gibi alanlarda etkili sonuçlar

vermektedir. Bu bağlamda, yapay sinir ağları birçok güncel soruna cevap üretme kapasitesine sahiptir. Yapay sinir ağlarının temel işlevsel bileşeni yapay sinir ağı hücresi olarak adlandırılır.

Bir yapay sinir ağı hücresinin çalışma mekanizmasını anlamak için, aktivasyon fonksiyonunu ve giriş ve çıkış sinyalleri arasındaki ağırlıklı bağlantıların yapılandırmasını analiz etmek önemlidir. Yapay sinir ağlarının mimarisinde, her katman, kendisini oluşturan hücreler içinde ağırlıklı olarak tek tip aktivasyon fonksiyonları ve bağlantı yapıları sergiler. Çok sayıda yapay sinir ağı mimarisinde, bir katmandaki nöronlar ya tamamen birbirine bağlıdır ya da tamamen izole edilmiştir. Bir katmandaki (örneğin gizli katman) herhangi bir nöron başka bir katmana (örneğin çıkış katmanı) bağlıysa, gizli katmandaki tüm nöronlar çıkış katmanındaki tüm nöronlarla birbirine bağlıdır. Yapay sinir ağlarıyla ilişkili önemli bir terim de ağ mimarisidir. Yapay sinir ağı hücrelerinin seviyeler boyunca yapılandırılması ve bu katmanlar içindeki ve arasındaki ara bağlantılar ağ mimarisi kavramını tanımlar. Çok sayıda yapay sinir ağı mimarisinde, girdi katmanı aktivasyon fonksiyonu ile girdi sinyalleri arasında bir eşdeğerlik sergiler. Yapay sinir ağı sistemleri tek katmanlı ve çok katmanlı konfigürasyonlar olarak kategorize edilebilir. Sistemlerdeki katman sayısı belirlenirken girdi birimleri hariç tutulur.

Yapay sinir ağları, örnek verileri toplayan, korelasyonlar kuran ve yeni bir örnekle karşılaştığında edindiği içgörülere dayanarak yargıda bulunan sistemlerdir. Yapay sinir ağları, genelleme ve öğrenme yetenekleri sayesinde çeşitli bilimsel disiplinlerde kullanım potansiyeline sahiptir.

Yapay sinir ağları, görüntü ve ses tanıma sistemleri, tıbbi ve dental teşhis ve tedavi planlaması, iletişim, trafik yönetimi, üretim yönetimi, kontrol ve sistem tanımlama gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Pirim, 2006). Sistemin avantajları arasında hızlılığı, sinir sistemini taklit ederek sorunları öğrenme ve ele alma kapasitesi, karmaşık işlevleri verimli bir şekilde çözmeye yeterliliği ve operasyonel bileşenlerinden herhangi biri arızalandığında bir bilgisayarın tamamen etkisiz hale gelmesinin aksine, çeşitli bileşenlerin hasar görmesi analitik başarıyı önemli ölçüde etkilemediği için esnekliği sayılabilir. Yapay sinir ağları, insan modeline benzer şekilde örnekler kullanılarak

eğitilir. Bir yapay sinir ağının eğitiminde kullanılan örnek sayısı arttıkça, teşhis yetenekleri de o kadar hassas hale gelir. Özetle, artan deneyim, sonuçların doğruluğunun artmasıyla ilişkilidir (Fırat & Güngör, 2004).

Yapay Sinir Ağlarının Mimarisi. Yapay sinir ağları, yapay sinir hücrelerinin birden fazla seviyede paralel olarak birbirine bağlanması ve bu katmanların entegrasyonundan oluşur. Yapay bir beyin hücresi, biyolojik bir hücre yapısının matematiksel bir temsidir (Aydin, 2005).

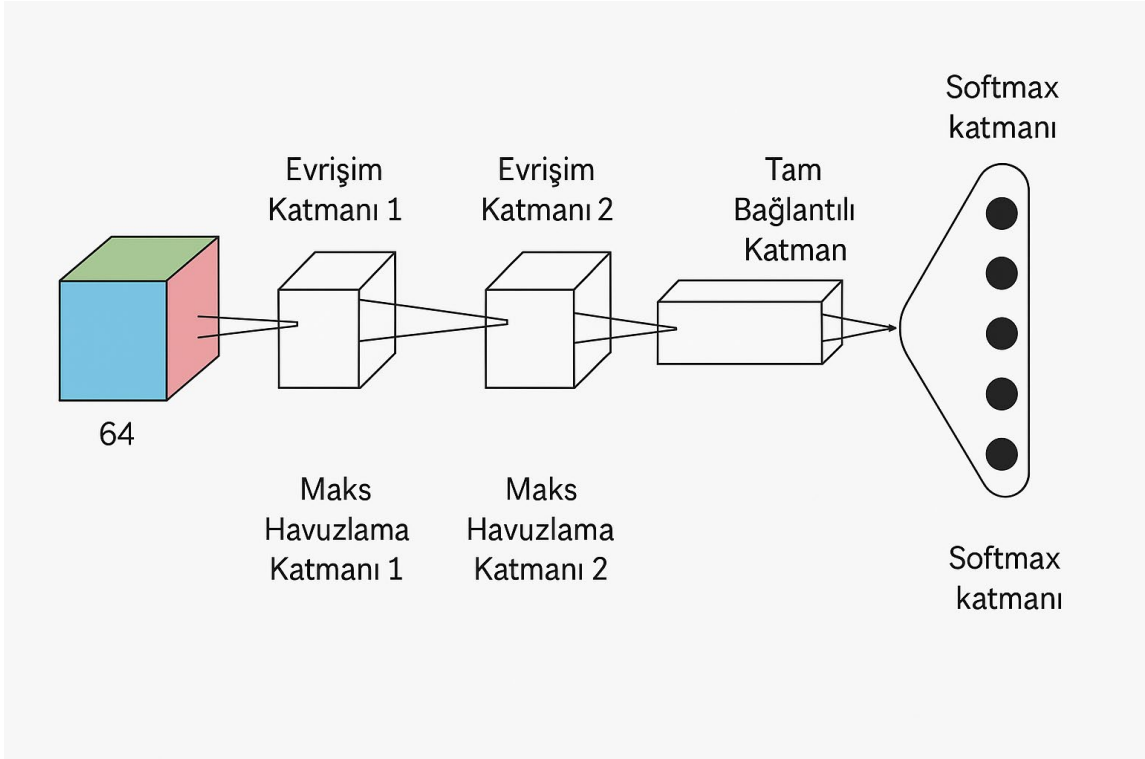
Yapay sinir ağlarındaki nöronlar, sayısal bir değerin grafiksel gösterimi olarak karakterize edilebilir. Yapay nöronların ara bağlantıları aksonlar olarak tanımlanmaktadır (Schmidhuber, 2015). Bu nöronlar arasında bağlantıların oluşturulması ve ilgilerin iletilmesi, sayısal değerler olarak adlandırılan ağırlıklar aracılığıyla gerçekleştirilecektir (Nielsen, 2025).

Yapay sinir ağlarındaki nöronlar arasındaki bağlantıların yoğunluğu ve ağırlık değerleri eğitim süreci boyunca dalgalanır. Bir sınıflandırma görevinde, verileri ilgili kategorilere ayırmak için uygun ağırlıklar belirlenir (Nielsen,2025). Ağırlıklar her iş ve her veri kümesi için farklılık gösterir. Ağırlık değerleri önceden belirlenemez; ancak bunların edinilmesi yapay sinir ağlarının çalışması sırasında gerçekleşir. Bu prosedür “eğitim” olarak adlandırılır (Kriegeskorte & Golan, 2019).

Sinir ağı mimarisi, ilk katmanı giriş katmanı olmak üzere birden fazla katmandan oluşur. Giriş katmanı, sinir ağını eğitmek için verilerin eklendiği aşamadır. Ağ, girdi katmanından gelen girdi verileri üzerinde belirli matematiksel işlemler gerçekleştirilerek eğitilir. Faaliyetler, gizli katmanlar olarak adlandırılan girdi ve çıktı katmanları arasındaki alanda gerçekleşir (Nielsen, 2025.).

Şekil 6:

Konvolüsyonel sinir ağı mimarisinin şeması



Konvolüsyon katmanı, konvolüsyon ve aktivasyon süreçlerinin kullanımı yoluyla özellik çıkarımını kolaylaştıran konvolüsyonel sinir ağlarının temel mimarisini oluşturmaktadır (Gu vd., 2015). Havuzlama katmanı, görüntünün boyutsallığını azaltmakla görevlidir. Resim boyutluluğunun azaltılması, veri işleme için gerekli hesaplama masrafını azaltır. Havuzlama katmanı, en önemli özellikleri korurken görüntülerin boyutsallığını azaltır. Bu katman genellikle evrşimsel katmanlar arasında yer alır (Habibi Aghdam & Jahani Heravi, 2017). Tam bağlı katmanın işlevi, önceki katmanlarda tanımlanan özelliklere dayalı olarak giriş görüntüsünü en iyi şekilde sınıflandırmaktır (Lavin & Gray, n.d.).

Şu anda, en önde gelen evrşimsel sinir ağı topolojilerinden birkaçını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

VGGNet: VGG (Visual Geometry Group) görsel geometri grubunu temsil eder. Birçok katmandan oluşan geleneksel bir derin konvolüsyonel sinir ağı mimarisidir (Lavin & Gray, n.d.).

ResNet: Birincil konsepti ağırlıklı olarak kısayol bağlantıları veya atlama bağlantıları kullanmaktır. Bu bağlantılar çoğunlukla bir veya daha fazla katmanı atlayarak işlev görür, böylece aralarında kısayollar oluşturur. Bu kısayol bağlantılarının kullanılması, derin ağların karşılaştığı eğitim süresi sorununu çözmeyi amaçlamaktadır. ResNet modeli, bugüne kadarki en önde gelen ve başarılı derin öğrenme modellerinden biri olarak kabul edilmektedir (Chandola vd., 2021).

GoogleNet (Başlangıç Blokları): Diğer derin öğrenme mimarilerinden farklı olarak GoogleNet, performansı ve doğruluğu artırmak için derinliği artırırken hesaplama verimliliğini korur. Hem hız hem de hassasiyet için performansı artırabilecek çok sayıda özelliğe sahiptir.

İlk model 2014 yılında ImageNet resim sınıflandırma yarışmasının galibi oldu ve benzerlerine göre nispeten düşük bir hata oranı gösterdi.

Xception: "Aşırı başlatma konumlarını" temsil eden başlatma konumları tasarımının temelini oluşturan fikrin geliştirilmiş bir yinelemesidir. Xception tasarımı, ağıın özellik çıkarma bileşenini oluşturan 36 konvolüsyonel katmandan oluşur (Chandola vd., 2021).

MobileNet: MobileNet verimli ve taşınabilir bir konvolüsyonel sinir ağı tasarımıdır. MobileNet'ler, daha hafif modeller oluşturmak için önceki mimarilerde kullanılan geleneksel konvolüsyonlar yerine ağırlıklı olarak derinliği ayrıştırılabilir konvolüsyonlar kullanır. Bu model, geliştiricilerin spesifikasyonlarına bağlı olarak hızlı çalışmasını ve düşük boyutluluğu korumasını sağlayan iki yeni küresel hiper parametreye sahiptir (Chandola vd., 2021).

DenseNet: DenseNet, son teknoloji bir evrimsel sinir ağı tasarımıdır. Temelde ResNet'e benzer bir yapıya sahiptir; ancak ikisi arasında önemli farklar vardır. DenseNet, bir önceki katmanın çıktısını, birleştirilmiş özellikleriyle birlikte sonraki

katmanınkiyle bütünleştirirken, ResNet önceki katmanı sonraki katmanlara bağlamak için eklemeli özellikler kullanır (Zhu & Newsam, 2017).

NasNet: Nöral mimari aramayı temsil eden bu model, yapay sinir ağlarının oluşturulmasını otomatikleştiren makine öğreniminde yaygın bir tekniktir. Başka bir deyişle, belirli bir görev için performansı optimize etmek amacıyla sinir ağı topolojilerinin oluşturulmasını otomatikleştirme sürecidir (Qin & Wang, 2019).

YamNet: Ses tanıma görevleri için tasarlanmış önceden eğitilmiş bir konvolüsyonel sinir ağı modelidir. Bu model, 2 milyondan fazla YouTube videosundan elde edilen 632 ses sınıfını içeren bir veri kümesi olan AudioSet kullanılarak eğitilmiştir (Gemmeke vd., 2025).

Gelişmiş Sinir Ağları. Uzun bir süredir, yapay zeka sistemlerinde yüzeysel olarak yapılandırılmış tasarımlar kullanılmaktadır. Sığ yapılandırılmış mimariler çoğunlukla doğrusal olmayan dönüşümler içeren iki katmanlı sistemlerden oluşur. Bu yüzeysel yapıları tasarımlara örnek olarak lojistik regresyon sistemleri, maksimum entropi modelleri ve doğrusal olmayan dinamik sistemler verilebilir. Bu yapılar, çok sayıda sorunu ele almada etkili olmakla birlikte, daha karmaşık sinyallere sahip verilerdeki zorlukları çözmede yetersiz kalmaktadır. Veri setlerinin artan karmaşıklığı ve miktarına karşılık olarak, yapay sinir ağlarının öğrenme kapasitesini artırmak için çok sayıda yenilikçi metodoloji geliştirilmiştir. Bu amaçla formüle edilen metodolojilerden biri de derin öğrenme algoritmalarıdır. Derin öğrenme algoritmaları, veri işleme ve karmaşık veri setleriyle ilgili sorunların anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır. Derin öğrenme sistemleri, yapay sinir ağlarının mimarisinden sonra modellenen algoritmaları kullanan makine öğrenme sistemlerinin bir alt kümesidir. Çokkatmanlı yapay sinir ağlarının belirli veriler üzerinde düzenlenmesi, derin öğrenmenin temel yapısıdır. İnsan seslerinin bilgisayarlar tarafından ayırt edilmesi ve görüntü veri kümelerindeki piksellerin nesnelerle ilişkilendirilmesi gibi karmaşık verileri içeren zorlukların geleneksel yapay zeka teknikleriyle ele alınması son derece zordur. Günümüzde derin öğrenme algoritmaları, veri setini hiyerarşik olarak kategorize ederek karmaşık sorunların çözümünü kolaylaştırmaktadır. Geleneksel bir derin öğrenme mimarisi, veri setinin yapılarını somutlaştıran bir girdi katmanı, birkaç gizli katman ve bir çıktı katmanından oluşur. Gizli katman kavramı, sistemin veri kümesi içindeki ara bağlantıları kavramasını sağlayan bağlantıları kapsar.

Derin Öğrenme

Derin öğrenme, yapay nöronların ve bu nöronlardan oluşan katmanlı ağların matematiksel süreçler kullanılarak entegre edilmesi yoluyla görüntü sınıflandırma gibi belirli görevleri yerine getirebilen bir ağ olarak yapılandırılan yapay zeka algoritmalarının temel bir bileşenini oluşturmaktadır. Derin öğrenme, makine öğrenimi alanındaki zorlukları ele almak için ortaya çıkan makine öğreniminin bir alt bölümüdür (Schulz & Behnke, 2012).

Derin öğrenme, özellik çıkarma sürecinin önemli bir kısmını otomatikleştirerek manuel insan müdahalesini en aza indirir ve daha kapsamlı veri setlerinin kullanılmasını sağlar. Evrişimli sinir ağları, akıllı sistemlerin geliştirilmesinde kayda değer ilerlemeler elde edilmesinde derin öğrenmeyi kolaylaştıran birincil algoritmadır. Evrişimli sinir ağları, çeşitli özelliklere öğrenilebilir önyargılar ve ağırlıklar atayarak girdi verilerini işleyen ve sonuçta verilerin farklı kategoriler arasında farklılaştırılmasını sağlayan özel bir yapay sinir ağı türüdür (Deng & Yu, 2014).

Derin öğrenme alanındaki ilk çalışmalar daha önceki yıllarda ortaya çıkmış olsa da, son yıllardaki başarı ve popüleritesindeki artışın temel katalizörü, sistem eğitimi kolaylaştıran veri kümelerinin erişilebilirliğinin artmasıdır. Günümüzde çok daha karmaşık görevler için kullanılan derin öğrenme modellerini eğitmek için kullanılan algoritmalar, 1980'lerde asit oyunu süreçlerini çözmek için kullanılan öğrenme algoritmalarına benzemekle birlikte, bu algoritmalarla geliştirilen modeller, önemli ölçüde daha derin ağların oluşturulmasını kolaylaştıran mimarilerin eğitimi geliştiren dönüşümleri hızlandırmıştır. Bu algoritmaların etkinliğini garanti altına almak için gerekli kaynakların sağlanması, derin öğrenme modellerinin ilerlemesini kolaylaştırmaktadır. Birincil ve en önemli kaynak veridir; bol miktarda veri, sistem eğitiminin etkinliğini artırır.

Son yıllarda toplumların giderek dijitalleşmesi veri toplamayı kolaylaştırmış ve bilgisayar tabanlı faaliyetlerin artmasıyla birlikte giderek daha fazla sayıda işlem belgelenmeye başlamıştır. Bilgisayarlar giderek daha fazla ağa bağlandıkça, bu kayıtları merkezileştirmek ve verileri makine öğrenimi çalışmaları için uygun bir veri kümesine dönüştürmek çok daha zor hale geldi. Kaydedilen veri yapılarının hızla çoğalması, "Büyük Veri" olarak bilinen yeni bir alanın ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Hesaplama kaynaklarının ve daha büyük modelleri çalıştırabilen bilgisayar arayüzlerinin erişilebilirliği, derin öğrenmenin artan popüleritesine katkıda bulunmuştur; ancak ağın genişlemesi daha fazla sayıda gizli katman gerektirmekte, dolayısıyla daha hızlı bilgisayarlar ve daha büyük bellek kapasiteleri talep etmektedir. Özellikle ImageNet yarışma veri kümesindeki 1,2 milyon gibi birçok veri kümesinin milyonlarca girdiden oluştuğu düşünüldüğünde, gerekli belleğin önemi ortaya çıkmaktadır. Birden

fazla gizli katmana sahip bir ağıın eğitilmesinde geri yayılım yaklaşımının kullanılmasına yönelik hesaplamalar paralel işlemciler kullanılarak hızlandırılabilir. Sonuç olarak, başlangıçta genel amaçlı uygulamalar için tasarlanmış olan Grafik İşlem Birimi (GPU), derin ağıları eğitmek için Merkezi İşlem Birimi (CPU) yerine kullanılmaktadır (Bengio vd., 2013).

Diş Hekimliği ve Ağız Diş Çene Radyolojisinde Yapay Zeka Uygulamaları

Son yıllarda, diş hekimliği uygulamaları için yapay zeka algoritması tabanlı bilgisayar destekli sanal asistan uygulamaları geliştirilmiştir. Bu sanal asistanlar klinik operasyonlarında insan emeğine olan bağımlılığı en aza indiriyor ve kendilerine verilen işleri hassasiyetle yerine getiriyor. Bu faaliyetler arasında evrak işlerinin yönetilmesi, hastalara randevularının bildirilmesi, sağlık sigortası işlemlerinin yürütülmesi ve hastaların diş hekimliği ile ilgili alerjileri konusunda hekimin uyarılması yer alıyor (Sunali vd., 2017).

Yapay zeka araştırmalarının hızla yaygınlaşması, çene-yüz radyolojisindeki gelişmeleri de hızlandırdı. Standart klinik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan ağız içi ve ağız dışı radyografiler, yapay zeka araştırmaları için önemli bir kaynak teşkil etmektedir. Radyolojik uygulamada, radyologlar radyografilerde sunulan sonuçları değerlendirir ve yorumlar. Bu değerlendirme sıklıkla gözlemcinin öznelliğinden etkilenir. Ayrıca zaman açısından da yoğun olabilir. Günümüzde yapay zeka uygulamaları, radyolojik görüntülerdeki karmaşık desenlerin otomatik olarak tanınmasını ve nicel analizler yapılmasını kolaylaştırmaktadır. Sonuç olarak, bu uygulamalar klinisyenler için değerli araçlar olarak hizmet etmekte, tekrarlanabilir radyolojik değerlendirmelere olanak sağlamakta ve tanısal doğruluğu artırmaktadır. Ayrıca, yapay zeka alanındaki gelişmeler, klinik verilerin prognozla ilgili öngörülebilir, kişiselleştirilmiş bir tedavi planının oluşturulmasını kolaylaştırmak için analiz edilebileceğini göstermektedir. Ağız, diş ve çene radyolojisinde yapay zeka kullanan çalışmalar incelendiğinde, derin öğrenme tekniklerinin araştırmaların %59'unu oluşturarak kullanılan baskın yöntem olduğu ortaya çıkmıştır. Bunu %26'lık bir oranla makine öğrenimi kullanan deneyler takip etmiştir. Ağız, diş ve çene radyografisi alanındaki araştırmalar, amaçlarına göre farklı

kategorilerde sınıflandırılabilir. Bu kategoriler şunlardır: diş çürüklerinin analizi, periapikal patolojiler, periodontal kemik kaybının teşhisi, kist ve tümörlerin sınıflandırılması, sefalometrik analiz, osteoporoz taraması, radyolojik görüntülerde dişlerin tanınması ve segmentasyonuna yönelik çalışmalar, adli diş hekimliği ve görüntü kalitesinin artırılması.

Yapay zeka uygulamaları, radyografik görüntülerdeki çeşitli artefaktlar veya düşük kontrast nedeniyle insan gözü tarafından tespit edilemeyen aproksimal çürükler ve periapikal durumlar gibi belirli patolojilerin teşhisine yardımcı olabilir. Bunu ele almak için Devito ve arkadaşları, ısırık-kanat radyografilerinde aproksimal çürüklerin teşhisini geliştirmek için çok katmanlı bir perceptron sinir ağı tekniği kullanan bir sistem önermiştir (Devito vd., 2008). Araştırmacılar aproksimal çürüklerin teşhisinde %39,4'lük bir iyileşme olduğunu belirtmişlerdir. Geetha ve diğerleri, Yu ve diğerleri, Li ve diğerleri, Singh ve Sehgal tarafından makine öğrenimi sınıflandırıcılarının yanı sıra çeşitli görüntü işleme tekniklerinin kullanıldığı çok sayıda çalışma yürütülmüş ve radyografilerdeki diş çürüklerinin sınıflandırılmasında %86 ile %97 arasında doğrulukla yüksek performanslı sonuçlar elde edilmiştir (Geetha vd., 2020; Li vd., 2007; Singh & Sehgal, 2017; Yu vd., 2006). Ayrıca, periapikal radyografilerde diş çürüklerinin hem sınıflandırılması hem de teşhisi için derin öğrenme metodolojilerinden konvolüsyonel sinir ağlarını kullanan çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Lee ve arkadaşları, diş çürüklerinin otomatik teşhisi için konvolüsyonel sinir ağı mimarilerinden transfer öğrenmeyi kullanan bir sistem geliştirmiştir (J. H. Lee vd., 2018). Periapikal patolojilerin teşhisi ile ilgili olarak, derin öğrenme tekniklerini kullanan bilgisayar destekli yapay zeka sistemleri Endres ve diğerleri, Mol ve van der Stelt tarafından bu patolojileri boyuta göre tespit etmek ve sınıflandırmak için tanıtılmıştır (Endres vd., 2020; Mol & van der Stelt, 1992). Ayrıca, Okla ve arkadaşları, makine öğrenimi mimarilerini kullanarak KIBT görüntülerinde granülomlar ve radiküler kistler arasında ayırım yapmak için bilgisayar destekli tanı sistemleri önermişlerdir (Okla vd., 2015).

Literatür raporları, önerilen sistemler ile deneyimli radyologlar ve çene cerrahları tarafından yapılan manuel teşhisler arasında önemli bir performans farkı olmadığını göstermektedir (Putra vd., 2022). Periodontal kemik kaybını araştırmak için yapay zeka

kullanan çalışmalar arasında Lin ve arkadaşları (2017), hibrit bir mimari kullanarak kemik kaybı segmentasyonu yoluyla periapikal radyograflarda kemik kaybının otomatik olarak lokalizasyonu için bir sistem geliştirmiştir. Ardından, aynı araştırmacılar alveolar kret apeksi, mine-sementum birleşimi ve dişlerin pozisyonu ile ilişkili olarak kemik kaybının derecesini ölçmek için bir model oluşturdular. Mikulka ve arkadaşları ile Nurtanio ve arkadaşları panoramik radyografları kullanırken, Yılmaz ve arkadaşları KIBT görüntülerini kullanarak odontojenik tümörler ve kistler için bilgisayar destekli bir sınıflandırma sistemi oluşturmak için çeşitli makine öğrenme yöntemleri kullanmıştır (Mikulka vd., 2025.; Yılmaz vd., 2017).

Çok sayıda araştırma, odontojenik kistleri ve tümörleri sınıflandırmak için bir araç olarak konvolüsyonel sinir ağlarını kullanmıştır. Poedjiastoeti ve Suebnukarn, panoramik radyograflarda ameloblastoma ve keratokistik odontojenik tümörlerin tespiti için konvolüsyonel sinir ağı tabanlı bir yaklaşım önermiştir (Poedjiastoeti & Suebnukarn, 2018).

Ariji ve arkadaşları, panoramik radyografilerdeki radyolüsent lezyonları tanımlamak ve kategorize etmek için derin öğrenmeyi kullanan bir çalışma yürütmüştür (Ariji, Yanashita, vd., 2019). Çalışma, özellikle ameloblastoma, keratokistik odontojenik tümör, dentigeröz kist, radiküler kist veya basit kemik kisti dahil olmak üzere çapı 10 mm'yi aşan radyolüsent lezyonlar sergileyen 210 kişinin panoramik radyografilerini kapsamıştır. Watanabe ve arkadaşları, derin öğrenme nesne algılama teknolojisinin panoramik radyograflar aracılığıyla maksilladaki kist benzeri yapıları tanımlamadaki etkinliğini değerlendirmek için bir araştırma yürütmüştür. Çalışma, maksiller bölgede kist benzeri oluşumları olan kişilerin panoramik radyografilerini içermektedir (Watanabe vd., 2021).

Lee ve arkadaşları, panoramik radyograflar ve KIBT görüntüleri üzerinde derin evrişimli sinir ağları kullanarak keratokistik odontojenik tümörleri, dentigeröz kistleri ve periapikal kistleri tanımlamak için bir çalışma yürütmüştür (Lee vd., 2020). Literatürde odontojenik kistler ve tümörler üzerine yapılan makine öğrenmesi ve derin öğrenme çalışmalarının etkinliği cesaret verici olsa da değişkenlik göstermektedir.

Önerilen gerekçe, odontojenik kist ve tümörlerin şekil, konum ve iç yapı bakımından çeşitlilik göstermesi ve önemli değişkenlik sergilemesidir. Ayrıca, yapay zeka teknolojileri ağız, diş ve çene radyolojisinde sefalometrik analiz alanında önemli bir araştırma alanı oluşturmuştur. Klinisyenin iş yükünü hafifletmek ve sefalometrik analizi hızlandırmak için çok sayıda yapay zeka tekniği geliştirilmiştir. Yu ve arkadaşları ile Park ve arkadaşları, anatomik noktaların otomatik olarak tespit edilmesi için derin öğrenme mimarilerini kullanan sistemler geliştirmiştir (Park vd., 2019; H. J. Yu vd., 2020). Gupta ve arkadaşları 2015 ve 2016 yıllarında yaptıkları çalışmalarda, anatomik noktaları tespit edebilen ve bilgi tabanlı algoritmalar aracılığıyla otomatik sefalometrik ölçümler gerçekleştirebilen yapay zeka sistemlerini tanıtmışlardır (Gupta vd., 2016). Literatürde yapay zeka kullanarak osteoporozu sınıflandırmak için çok sayıda çalışma yapılmıştır. Chu ve arkadaşları ile Lee ve arkadaşları panoramik radyografileri kullanarak osteoporozun sınıflandırılması için yapay zeka yöntemleri geliştirmişlerdir (Chu vd., 2018; Lee vd., 2020).

Metodoloji olarak derin evrişimli sinir ağı mimarilerini kullanan çok sayıda sistem oluşturmuşlardır. Bu araştırmalarda oluşturulan sistemlerin etkinliği %86 ile %99 arasında değişen oranlarda belgelenmiştir. Osteoporozda bilgisayar destekli tanı araçlarının ilerlemesi son yıllarda cesaret verici sonuçlar doğurmuştur. Yapay zeka sistemlerinin yakın gelecekte osteoporozun erken teşhisinde klinik kullanım için uygun olacağı öngörülmektedir.

Literatürde radyografilerin görüntü kalitesini artırmak için yapay zeka kullanan araştırmalar yapılmıştır. Du ve arkadaşları, panoramik radyografilerde hasta yerleştirme sorunlarından kaynaklanan düşük kaliteli görüntüleri düzeltebilen evrişimsel sinir ağlarına dayalı bir mimari önermişlerdir. Araştırmacılar, çalışmada açıklanan sistem kullanılarak düzeltilmiş panoramik görüntü yeniden yapılandırıldığında görüntüdeki bulanıklığın azaldığını ve görüntü kalitesinin arttığını belirtmişlerdir (Du vd., 2018).

Liang ve diğerleri, Minnema ve diğerleri ve Hegazi ve diğerleri, KIBT görüntülerindeki metal artefaktlarını azaltmak için derin öğrenme yaklaşımlarını kullanan çalışmaları tamamlamıştır (Hegazy vd., 2019; Liang vd., 2019; Minnema vd., 2019). Literatürde, derin öğrenme tabanlı metodolojiler diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

(Prajapati vd., 2017) ve arkadaşları diş hastalıklarının otomatik teşhisi için konvolüsyonel sinir ağları ve transfer öğrenme çerçeveleri kullanmıştır. Murata ve diğerleri, Kuwana ve diğerleri ve Kim ve diğerleri maksiller sinüs patolojilerinin teşhisi için derin öğrenme metodolojilerini kullanmıştır (Y. Kim vd., 2019; Kuwana vd., 2021; Murata vd., 2019). Kann ve arkadaşları ile Ariji ve arkadaşları lenf nodu metastazlarının tanımlanması ve sınıflandırılması için derin öğrenme sistemleri uygulamıştır (Ariji, Fukuda, vd., 2019; Kann vd., 2018). Vinayahalingam ve diğerleri, Fukuda ve diğerleri, Jaskari ve diğerleri ve Kwak ve diğerleri mandibular kanal segmentasyonu ile mandibular üçüncü molar dişlerin konumlandırılması arasındaki korelasyonu tespit etmek için derin öğrenme mimarileri uygulamıştır (Ariji, vd., 2020; Jaskari vd., 2020; Kwak vd., 2020; Vinayahalingam vd., 2019). Vranckx ve arkadaşları, mandibular üçüncü molar dişlerin otomatik segmentasyonu ve sürme potansiyellerinin değerlendirilmesi için konvolüsyonel sinir ağlarını kullanan bir çalışma yürütmüştür (Vranckx vd., 2020). Qian ve arkadaşları, gömülü mandibular üçüncü molar dişlerin tespitinde derin evrimsel sinir ağları ile insan gözlemciler arasındaki uyumu değerlendiren bir çalışma yürütmüştür. Araştırmacılar, yapay zeka destekli yaklaşımın %86,2'lik bir teşhis doğruluğu gösterdiğini ve insan gözlemci ile güçlü bir korelasyon sergilediğini belirtmişlerdir (Qian vd., 2021). Johari ve arkadaşları ile Fukuda ve arkadaşları, dikey kök kırıklarının tanımlanması için yapay zeka yöntemleri kullanmışlardır (Fukuda, vd., 2020; Johari vd., 2017).

Kuwada ve arkadaşları, gömülü maksiller süpernumerer dişlerin tanımlanması ve kategorize edilmesi için derin öğrenme metodolojileri kullanmıştır (Kuwada vd., 2020). Kise ve arkadaşları, bilgisayarlı tomografi görüntülerini kullanarak Sjögren sendromlu hastalar için teşhis yardımı sunan derin öğrenme güdümlü bir sistem kurmuştur (Kise vd., 2019).

Ortodontide Yapay Zekanın Rolü

Yapay zeka, ortodontide bilim ve mühendislik alanları içinde gelecek vaat eden bir alandır. Yapay zeka, ortodontide teşhis-tedavi protokolleri, çekime karşı çekimsiz tedavi kararları, iskelet sınıflandırması, dönüm noktası tespiti, büyüme ve gelişme dönemi

tanımlaması ve ortognatik cerrahi planlaması için kullanılabilir (Kök vd., 2019; Xie vd., 2010). Yu ve arkadaşları (2020), hassas iskelet teşhisi için evrişimsel sinir ağlarını kullanan tek adımlı uçtan uca bir teşhis sistemi kullanan bir çalışma yürütmüştür. Sistem, sagital ve dikey iskelet teşhisinde %90 hassasiyet, doğruluk ve özgüllük göstermiştir. Xie ve arkadaşları (2010) maloklüzyonların tedavisinde diş çekiminin gerekliliğini değerlendirmek için bir yapay zeka modeli kullanmıştır. Yapay zeka modellemesi, tedavi için diş çekimi gerekliliğini %80'lik bir kesinlik oranıyla doğru bir şekilde tanımlamıştır.

Kök ve ark. (2019) sefalometrik radyografileri kullanarak servikal vertebral olgunlaşma ve büyüme gelişimini tespit etmek için yapay zeka modellemesi kullanmış ve diş hekimlerinin doğasında var olan öznelliği ve potansiyel yanlışlıkları kabul etmiştir. Yapay zekanın, büyüme ve gelişme değerlendirmesinin önemli olduğu ortodonti, adli tıp ve ortopedi dahil olmak üzere çeşitli alanlarda kesin teşhis için etkinliği gösterilmiştir. Choi ve ark. yapay zeka modelleri kullanarak hastalar için ortognatik cerrahi gerekliliğini incelemiş ve olumlu sonuçlar elde etmiştir (Choi vd., 2019).

Ortodontide YZ, teşhis-tedavi değerlendirmeleri, dönüm noktası tanımlama, çekimli ve çekimsiz ortodontik tedavi, iskelet sınıflandırması, büyüme ve gelişim aşamalarının değerlendirilmesi ve ortognatik cerrahi dahil olmak üzere birçok analizi kolaylaştırabilir. Yapay zeka, ortodontide anatomik noktaların tespiti ile ilgili çalışmalarda kullanılmıştır.

BÖLÜM III

Yöntem

Çalışma Helsinki Deklarasyonu'nda belirtilen kurallara uygun olarak yürütülmüştür. Toplanan verilere yalnızca araştırmacıların erişimine açıktır. KIBT görüntülemesinden önce hastalardan veya yasal vasilerinden yazılı bilgilendirilmiş onam alınmıştır. Yerel kurumsal etik kurul çalışmayı incelemiş ve onaylamıştır. (YDU/2023/114-1733).

Güç analizi, 3 grup içeren bir χ^2 uyum iyiliği testi kullanılarak orta düzeyde bir etki büyüklüğünü ($w = 0.3$) tespit etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Anlamlılık düzeyi (α) 0.05 olarak belirlenmiş, %20'lik Tip II hata oranı ($\beta = 0.2$) kullanılmış ve bu da %80 istatistiksel güce karşılık gelmektedir. Bu parametrelere dayanarak, 80-95 arasında bir örneklem büyüklüğü olması gerektiği hesaplanmıştır. Güvenilirliği artırmak için 100 KIBT veri seti çalışmaya dahil edilmiştir. Bu çalışma için dahil etme ve araştırma dışı bırakma kriterleri aşağıda belirtildiği gibidir:

Dahil Etme Kriterleri:

- Maksilla ve mandibulanın her ikisinde bulunduğu KIBT görüntüleri
- Kraniyofasiyal deformitesi olmayan hastalar
- Kemik patolojisi veya sendromu olmayan hastalar
- Belirgin iskeletsel asimetrisi olmayan hastalar
- İncelenecek bölgelerde herhangi bir patolojisi olmayan hastalar

Dışlama Kriterleri:

- Kraniyofasiyal deformiteler
- Sendromu bulunan hastalar
- Maksilla/ mandibulada cerrahi işlem öyküsü
- Belirgin iskeletsel asimetri
- Patolojik durumlar
- Maksilla ve mandibulanın ikisinin birden görüntüleme alanına girmediği KIBT görüntüleri

KIBT Görüntülerin Taranması ve Hasta Verilerinin Belirlenmesi

Yakın Doğu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi'ne çeşitli nedenlerle başvuran 100 hastanın KIBT görüntüleri retrospektif olarak analiz edilmiş, çalışma için belirlenen kriterleri karşılayan olgular çalışmaya dahil edilmiştir. Görüntüler Newtom 3G sistemi (Quantitative Radiology s.r.l., Verona, İtalya) kullanılarak 12 inç görüntüleme alanı, 120 kVp, 3-5 mA ve 36 saniye tarama süresi ile elde edilmiştir. Voksel boyutu izotropik olup aksiyel kesit kalınlığı 0,3 mm olarak ayarlanmıştır. Hastaların dişleri doğal oklüzyonda, ağızları kapalı olarak yatay şekilde konumlandırılmıştır. Aksiyel görüntüler 512×512 matris DICOM dosya formatında dışa aktarılmıştır.

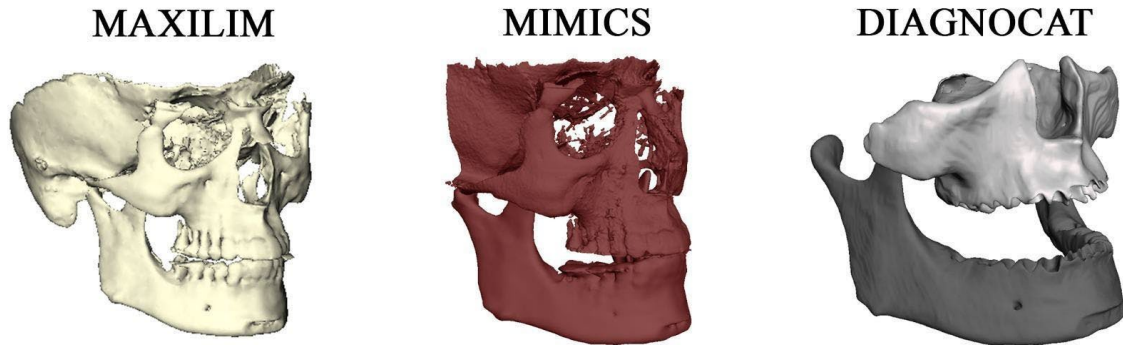
Çalışma Tasarımı

Segmentasyon Teknikleri

3B sert doku hacimleri oluşturmak için Maxilim® yazılımı (Sürüm 2.3.0, Medicim - Medical Image Computing, Mechelen, Belçika) kullanılmıştır. Ek olarak, DICOM verilerinden evrimsel sinir ağı tabanlı (CNN) bir derin öğrenme algoritması (Diagnocat Inc., San Francisco, CA, ABD) ve Mimics Innovation Suite (Sürüm 25, Materialise, Leuven, Belçika) kullanılarak STL dosyaları oluşturulmuştur (Şekil 7).

Şekil 7:

Aynı hastaya ait görüntülerin farklı segmentasyon teknikleri kullanılarak elde edilmiş modelleri.



Sert doku modeli, kemik ve diş gibi anatomik sert dokuların tipik olarak BT veya KIBT'den elde edilen dijital veya fiziksel bir temsildir. Bu modeller morfolojik ve

yoğunlukla ilgili veriler sağlayarak ortodonti ve maksillofasiyal cerrahide teşhis, tedavi planlaması ve cerrahi uygulamalar için gerekli hale getirir. Buna karşılık, bir STL modeli, birbirine bağlı üçgenlerden oluşan bir ağ olarak depolanan yüzey tabanlı bir 3B temsildir. Sert doku modellerinin aksine, STL modelleri yoğunluk bilgisinden yoksundur ve yalnızca dış geometriyi temsil eder. Öncelikle 3B baskıda, CAD/CAM iş akışlarında ve ortodontik simülasyonlarda kullanılırlar ve cihazların, cerrahi kılavuzların ve restorasyonların dijital manipülasyonuna ve üretimine izin verirler.

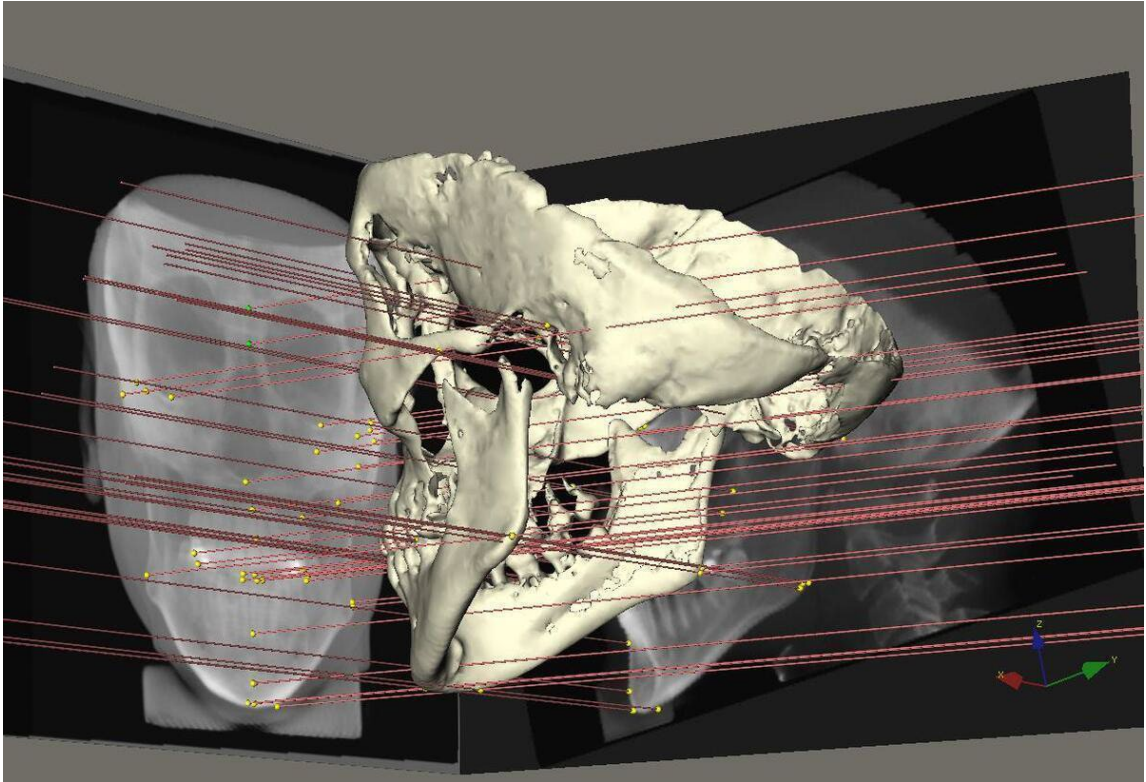
Maxilim Segmentasyonu. Çalışmamızda kullanılan DICOM dosyaları sert doku modeli oluşturmak için Maxilim yazılımına aktarılmıştır. Segmentasyon, kemik yapılarını doğru şekilde izole etmek amacıyla, gürültüyü azaltırken kemik anatomisini koruyan ve Hounsfield birimleri (HU) cinsinden radyografik yoğunluk değerlerine dayanan bir eşik uygulanmasını içermektedir. Sert dokuları çevreleyen yapılardan ayırmak için önceden tanımlanmış bir HU aralığı kullanılmış ve iskelet bileşenlerinin hassas bir şekilde segmentasyonu sağlanmıştır. İnce anatomik ayrıntıların kaybını önlemek ve segmente edilmiş bölgelerin doğruluğunu artırmak için gürültü azaltma algoritmaları ve morfolojik filtreler gibi ek iyileştirmeler uygulanmıştır. Segmentasyon tamamlanmasıyla birlikte kafatasının 3 boyutlu sert doku hacimleri oluşturulmuş ve anatomik değerlendirme ve analiz yapılmasına hazır hale getirilmiştir. Bu modeller daha sonra anatomik nokta tanımlamaları ve ölçümler için kullanılmıştır (Oz vd., 2016; Swennen & Schutyser, 2006).

Anatomik işaret noktalarının doğru yerleşimlerini ve ölçüm güvenilirliğini sağlamak için standart kafatası oryantasyonu sağlanmıştır. Doğal baş pozisyonu sefalometrik analiz için yaygın olarak kullanılsa da, KIBT görüntüleri doğal olarak ektrakraniyal referans noktaları (örn. orta sagittal cetvel, zincir) içermez. Bu nedenle, oryantasyon orta yüz anatomik işaret noktaları kullanılarak yazılım içinde standardize edilmiştir. Kafatası, medyan sagittal düzleme; eşleştirilmiş orta yüz yapıları olan orbitler, maksillanın frontal çıkıntısı ve frontozigomatik sütür referans alınarak hizalanmıştır. Ayrıca, Frankfurt horizontal düzleme hizalama işlemi, porion ve orbitale noktaları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm segmentasyonlar, hastaların klinik durumları hakkında önceden bilgi sahibi olmayan 17 yıllık deneyime sahip bir

dentomaksillofasiyal radyolog tarafından; tüm anatomik nokta işaretlemeleri ve doğrusal ölçümler ise aynı şekilde ön bilgiye sahip olmayan 4 yıllık deneyimli bir ortodontist tarafından gerçekleştirildi. Segmentasyondan sonra, ölçümler 3B yüzey-render sert doku modelleri üzerinde yapıldı. Oluşturulan üç boyutlu görüntüler, ölçüm noktalarının belirlenip işaretlenebilmesi için döndürme ve translasyon işlemleriyle ayarlandı. Anatomik referans noktaları ise, hassas konumlandırma amacıyla imleç kontrollü bir işaretleyici kullanılarak tanımlandı (Şekil 8).

Şekil 8:

*DICOM dosyalarından elde edilen 3B hacimsel görüntüler üzerindeki ölçümler
Maxilim® yazılımı kullanılarak yapılması*



Yapay Zeka Tabanlı Segmentasyon. DICOM dosyaları, STL dosyaları oluşturmak için web tabanlı dental yapay zeka yazılımına (Diagnocat) aktarılmıştır. Bu program büyük hacim boyutlarını yönetmek için daha kaba aşamalardan elde edilen bulguların rehberliğinde çıkarımın giderek daha ince ölçeklerde gerçekleştirildiği bir kabadan inceye tekniği kullanmaktadır. Bir kaba aşama ve bir ince aşama bu iki aşamalı modeli oluşturur.

Veri seti, eğitim, doğrulama ve test setleri arasında herhangi bir veri sızıntısını önlemek için benzersiz hasta BT dizinlerine göre bölünmüştür. Model geliştirme sürecinde, kaba segmentasyonda doku sınırlarındaki belirsizlikleri dikkate alan olasılıksal etiketler olan 'yumuşak hedefler' (soft targets) kullanıldı. İnce model ise, tam veri kümesinin alt hacimleri olan lokalize 3B görüntü yamaları (patch'ler) üzerinde eğitildi. Bu yama tabanlı strateji, hesaplama verimliliği ve detay çözünürlüğünü dengelemektedir.

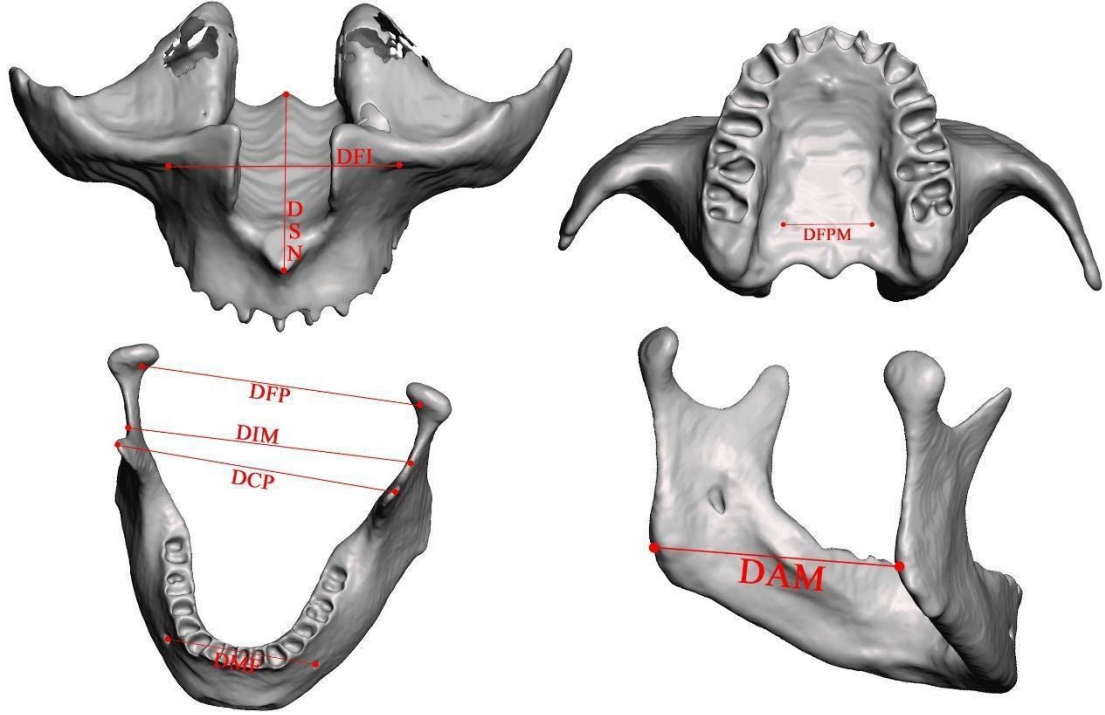
Model eğitimi, NVIDIA RTX A2000 GPU üzerinde çalıştırılan Python uygulamalı bir 3B U-Net mimarisi kullanılarak çevrimdışı olarak gerçekleştirilmiştir. Diagnocat'ın web tabanlı platformu, çıkarım yapmak için önceden eğitilmiş modeli kullanmaktadır. Model, sınıf dengesizliğini azaltmak amacıyla Dice kaybı (benzerlik katsayısına dayalı) ve çapraz entropi kaybının birleştirildiği bileşik bir kayıp fonksiyonu kullanılarak eğitilmiştir. Temel eğitim parametreleri arasında 2'lik bir yığın boyutu, 0,001'lik bir öğrenme oranı ve 150 epok yer almıştır. Veri artırma stratejileri, sağlamlığı artırmak için rastgele rotasyonlar, ölçeklendirme ve elastik deformasyonları içermektedir.

Yama tabanlı segmentasyona özgü sınır artefaktlarını azaltmak için her bir BT hacminde örtüşen yamalar kullanılmıştır. Çıkarım sırasında, her vokselle tahmininin ortalaması, merkezi vokseller daha ağırlıklı olmak üzere, örtüşen yamalar arasında alınmıştır. Bu yaklaşımda hasta başına birden fazla segmentasyon veya BT dizini kullanılmamıştır.

STL modelleri Yapay Zeka Tabanlı yazılımdan dışa ve ardından kantitatif analiz için Materialise 3-Matic yazılımına (Mimics Innovation Suite, Version 25, Materialise, Leuven, Belçika) aktarılmıştır (Şekil 9).

Şekil 9:

Anatomik referans noktaları ve lineer ölçümler, yapay zeka programı ile oluşturulan STL modeller üzerinde Materialise 3-Matic yazılımı kullanılarak işaretlenmiş anatomik referans noktaları ve yapılmış doğrusal ölçümler



Mimics Segmentasyonu. STL modelleri oluşturmak için kullanılan diğer bir program Mimics Innovation Suite 25'tir. Segmentasyon, sert doku yapılarını izole etmek için histogram analizi yoluyla belirli HU aralıkları seçilerek gerçekleştirildi. Anatomik sınırların doğru şekilde belirlenebilmesi için HU eşik değerlerinin hassas ayarlanmasında ve bölge büyütme araçlarının uygulanmasında önemli ölçüde öznel müdahale gerekmiştir. Ayrıca, segmentasyon sonuçlarını iyileştirmek amacıyla maskeleme ve Boolean işlemleri gibi manuel düzenleme araçları da kullanılmıştır.

STL modelleri Materialise Mimics'ten (Mimics Innovation Suite Version 25, Materialise, Leuven, Belçika) dışa ve ardından kantitatif analiz için Materialise 3-Matic

yazılımına (Mimics Innovation Suite, Version 25, Materialise, Leuven, Belçika) aktarılmıştır.

Anatomik İşaretler ve Mesafeler

Maksillada altı anatomik işaret;

- İnfracorbital foramen,
 - Palatin foramen,
 - Anterior ve Posterior Nazal Spina
- olarak belirlenmiş ve üç doğrusal ölçüm yapılmıştır;
- sol ve sağ infracorbital foraminaller arasındaki mesafe (DFI),
 - sol ve sağ major palatin foraminaller arasındaki mesafe (DFPM) ve
 - anterior ve posterior nazal omurga arasındaki mesafe (DSN).

Buna karşılık, mandibula on anatomik işaret;

- Mandibula angulusu,
- Koronoid proses,
- Pterygoid fovea,
- Mandibular çentik,
- Mental foramen

sunarak beş doğrusal boyutun ölçülmesini sağlamıştır. Bu ölçümler arasında;

- Mandibulanın sağ ve sol açıları arasındaki mesafe (DAM),
- Sağ ve sol koronoid prosesler arasındaki mesafe (DCP),
- Sağ ve sol pterygoid fovealar arasındaki mesafe (DFP),
- Sağ ve sol mandibular çentikler arasındaki mesafe (DIM) ve
- Sağ ve sol mental foraminaller arasındaki mesafe (DMF) yer almıştır.

İstatistiksel Analiz

AI STL, Mimics STL ve Maxilim 3D sert doku modeli ölçümlerinin karşılaştırılabilirliğini değerlendirmek için Shapiro-Wilk testi, normallik grafikleri ve çarpıklık-basıklık istatistikleri kullanılmıştır. Yöntemlerin gözlemci içi güvenilirliğini göstermek için tüm ölçümler 4 hafta aradan sonra tekrarlanmıştır. Tüm örneklem için

mesafe ölçümlerinin güvenilirliği Sınıf İçi Korelasyon Katsayısı (ICC) kullanılarak değerlendirilmiştir. Yöntemler için gözlemci içi uyumlar ICC değerlerine göre kategorize edilmiştir; $<0,5$ zayıf güvenilirliği, $0,5-0,75$ orta güvenilirliği, $0,75-0,9$ iyi güvenilirliği ve $>0,9$ mükemmel güvenilirliği göstermektedir (Koo & Li, 2016). Üç program boyunca tutarlı bir gözlemci (IE) tarafından gerçekleştirilen mesafe ölçümleri, karşılaştırma için tekrarlanan ölçümler ANOVA'sına tabi tutulmuştur. İkili karşılaştırmalar Tukey testi (Post-hoc testi) yöntemi kullanılarak düzeltilmiştir. Üç metodoloji arasındaki ve program çiftleri arasındaki mutlak uyum, hem tek dereceli hem de iki yönlü karma etki modelleri kullanılarak Pearson r korelasyonu ve bunun %95 güven aralığı (CI) ile değerlendirilmiştir.

P-değerinin 0.05'ten küçük veya eşit olması istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir. Tüm istatistiksel analizler IBM SPSS Statistics 22.0 (IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. Armonk, NY: IBM Corp.) aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM IV

Bulgular ve Yorumlar

Tekrarlanan ölçümlerin sonuçları, Tablo 2'de gösterildiği gibi her bir yöntemin bireysel güvenilirliğini göstermek için kullanılmıştır. Sonuçlar, tüm mandibular ölçümlerde 0,902 ile 0,999 arasında değişen ICC değerleri ile yüksek güvenilirlik göstermiştir, bu da ilk ve ikinci ölçümler arasında mükemmel uyum anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, maksiller ölçümlerde gözlemci içi güvenilirlik 0,456 ila 0,997 arasında değişen daha değişken bir yapıya sahipti ve Mimics STL özellikle majör palatin foraminaller arasındaki mesafelerde zayıf güvenilirlik gösteriyordu ($p=0,071$).

Tablo 2:

Üç programın maksiller ve mandibular ölçümleri için gözlemci içi güvenilirlik.

Mandibular Ölçümler					
Yazılım	Ölçüm Açıklaması	ICC	Alt Sınır	Üst Sınır	p-değeri
MIMICS STL		0.994	0.986	0.997	0.0001
AI Generated STL	Mandibula köşeleri arası mesafe (DAM)	0.984	0.962	0.993	0.0001
MAXILIM		0.987	0.969	0.995	0.0001
MIMICS STL		0.981	0.956	0.992	0.0001
	Koronoid çıkıntılar arası mesafe (DCP)				

Tablo 2 (Devamı).

AI Generated STL		0.992	0.981	0.997	0.0001
MAXILIM		0.991	0.978	0.996	0.0001
MIMICS STL		0.916	0.806	0.964	0.0001
AI Generated STL	Fovea pterygoidea arası mesafe (DFP)	0.953	0.891	0.981	0.0001
MAXILIM		0.999	0.999	1.000	0.0001
MIMICS STL		0.985	0.964	0.993	0.0001
AI Generated STL	Incisura mandibulae arası mesafe (DIM)	0.989	0.974	0.995	0.0001
MAXILIM		0.996	0.990	0.998	0.0001
MIMICS STL		0.922	0.821	0.966	0.0001
AI Generated STL	Mental foramenler arası mesafe (DMF)	0.902	0.771	0.959	0.0001
MAXILIM		0.997	0.993	0.999	0.0001

Tablo 2 (Devamı).

Maksiller Ölçümler					
Yazılım	Ölçüm Açıklaması	ICC	Alt Sınır	Üst Sınır	p-değeri
MIMICS STL		0.643	0.191	0.843	0.007
AI Generated STL	Infraorbital foramenler arası mesafe (DFI)	0.882	0.727	0.949	0.0001
MAXILIM		0.997	0.993	0.999	0.0001
MIMICS STL		0.456	-0.234	0.761	0.071*
AI Generated STL	Majör palatin foramenler arası mesafe (DFPM)	0.517	-0.118	0.791	0.044
MAXILIM		0.997	0.992	0.999	0.0001
MIMICS STL		0.741	0.409	0.885	0.001
AI Generated STL	Spina nasalis anterior-posterior arası mesafe (DSN)	0.897	0.761	0.955	0.0001
MAXILIM		0.997	0.993	0.999	0.0001

* ile işaretlenmiş değişken, ölçümler arasında anlamlı bir uyum olmadığını göstermektedir ($p > 0.05$). Diğer değişkenler için ise ölçümler arasında anlamlı bir uyum gözlemlenmiştir ($p < 0.05$).

Farklı programlar kullanılarak yapılan doğrusal ölçümlerin tutarlılığı için ICC ve Pearson korelasyon katsayısı (r) Tablo 3'de gösterilmiştir. Her ne kadar mandibular lineer ölçümler açısından tutarlılık gösterse de, DIM ve DFP için ICC ve Pearson korelasyon katsayısı değerleri bazı programlar arasında orta derecede güvenilirlik gösterirken, diğer ölçümler iyi ila mükemmel güvenilirlik göstermektedir. Öte yandan, maksiller mesafelerin ölçümleri daha düşük tutarlılık göstermiş ve bazı değerler 0,5'in altına düşmüştür. Bununla birlikte, gözlenen tek farklılık Mimics STL ve Maxilim kullanılarak ölçülen majör palatin foraminaller (DFPM) arasındaki mesafe ile Mimics STL ve AI STL kullanılarak ölçülen spina nasalis anterior ve posterior (DSN) arasındaki mesafedir.

Tablo 3:

Üç farklı yöntem arasındaki lineer maksiller ve mandibular ölçümlerin güvenilirliği ve yöntemler arası korelasyon.

Mandibular Mesafeler	Karşılaştırılan Programlar	ICC	P	r	P
Angulus mandibulae arası mesafe (DAM)	MIMICS STL - AI STL	0.968	0.0001	0.939	0.0001
	MIMICS STL - MAXILIM	0.961	0.0001	0.930	0.0001
	AI STL - MAXILIM	0.934	0.0001	0.876	0.0001
Coronoid çıkıntıları arası mesafe (DCP)	MIMICS STL - AI STL	0.935	0.0001	0.877	0.0001

Tablo 3 (Devamı).

	MIMICS STL - MAXILIM	0.941	0.0001	0.963	0.0001
	AI STL - MAXILIM	0.895	0.0001	0.886	0.0001
	MIMICS STL - AI STL	0.925	0.0001	0.859	0.0001
Fovea pterygoidea arası mesafe (DFP)	MIMICS STL - MAXILIM	0.898	0.0001	0.831	0.0001
	AI STL - MAXILIM	0.922	0.0001	0.922	0.0001
	MIMICS STL - AI STL	0.551	0.001	0.654	0.001
Incisura mandibulae arası mesafe (DIM)	MIMICS STL - MAXILIM	0.948	0.0001	0.903	0.0001
	AI STL - MAXILIM	0.501	0.001	0.426	0.001
	MIMICS STL - AI STL	0.793	0.0001	0.748	0.0001
Mental foramina arası mesafe (DMF)	MIMICS STL - MAXILIM	0.886	0.0001	0.827	0.0001
	AI STL - MAXILIM	0.892	0.0001	0.801	0.0001
Maksiller Mesafeler	Karşılaştırılan Programlar	ICC	P	r	P
	MIMICS STL - AI STL	0.712	0.0001	0.754	0.0001

Tablo 3 (Devamı).

	MIMICS STL - MAXILIM	0.402	0.005	0.425	0.001
Infraorbital foramina arası mesafe (DFI)	AI STL - MAXILIM	0.542	0.0001	0.642	0.0001
	MIMICS STL - AI STL	0.362	0.011	0.240	0.019
Majör palatin foramina arası mesafe (DFPM)	MIMICS STL - MAXILIM	0.116	0.696*	0.080	0.461*
	AI STL - MAXILIM	0.369	0.008	0.389	0.006
	MIMICS STL - AI STL	0.149	0.218*	0.087	0.401*
Spina nasalis anterior ile posterior arası mesafe (DSN)	MIMICS STL - MAXILIM	0.359	0.008	0.254	0.017
	AI STL - MAXILIM	0.414	0.002	0.320	0.003

* ile işaretlenmiş değişkenler, yöntemler arasında anlamlı bir uyum olmadığını göstermektedir ($p > 0.05$). Diğer değişkenlerde ise yöntemler arasında anlamlı bir uyum gözlemlenmiştir ($p < 0.05$).

Tablo 4'teki ANOVA sonuçları, farklı metodolojiler arasında ortalama mesafe ölçümlerinde önemli farklılıklar olduğunu göstermektedir. Özellikle, DCP, DSN, DFI ve DFPM Maxilim ve diğer gruplar arasında anlamlı farklılıklar gösterirken, Maxilim grubu bu ölçümler için en yüksek ortalama değerleri göstermiştir. Öte yandan, mental foramina arasındaki mesafe AI STL grubu ile diğer gruplar arasında anlamlı farklılıklar gösterirken, AI STL en düşük ortalama değerleri sergilemiştir. Diğer ölçümler üç grup arasında anlamlı farklılıklar göstermemiştir.

Tablo 4:

Tüm ölçüm yöntemlerine göre lineer ölçümlerin karşılaştırılması

		Measurement Code						ANOVA		
		n	Mean	Median	Min	Max	SD	F	p	Tukey (Posthoc Test)
Angulus mandibulae arası mesafe (DAM)	MIMICS STL	100	93.24	93.13	65.83	110.97	7.47	0.087	0.917	-
	AI GENERATED STL	100	92.84	92.28	66.72	110.59	7.52			
	MAXILIM	100	92.88	92.80	72.90	111.80	7.21			
Coronoid çıkıntılar arası mesafe (DCP)	MIMICS STL	100	95.54	94.46	82.51	112.26	6.33	6.390	0.002	(P=0,035) 1-3
	AI GENERATED STL	100	95.29	94.15	83.73	112.91	6.45			(p=0,028) 2-3
	MAXILIM	100	98.32	96.20	85.50	116.00	6.32			
Fovea pterygoidea arası mesafe (DFP)	MIMICS STL	100	97.44	97.21	76.81	112.26	6.92	2.091	0.125	-
	AI GENERATED STL	100	97.20	97.54	75.18	113.01	6.95			
	MAXILIM	100	99.13	97.70	84.80	118.90	7.09			
Incisura mandibulae arası mesafe (DIM) (DIM)	MIMICS STL	100	96.83	96.50	79.32	114.21	5.74	1.442	0.238	-
	AI GENERATED STL	100	95.44	95.92	6.94	111.81	10.71			
	MAXILIM	100	97.28	96.50	86.30	111.00	5.38			
Mental foramina arası mesafe (DMF)	MIMICS STL	100	48.27	48.37	40.18	58.26	3.75	6.252	0.002	(p=0,041) 2-1
	AI GENERATED STL	100	46.42	46.45	35.12	54.52	3.40			(p=0,045) 2-3
	MAXILIM	100	47.19	47.40	39.30	58.40	3.85			
Infraorbital foramina arası mesafe (DFI)	MIMICS STL	100	51.65	50.94	42.42	65.85	4.70	6.940	0.001	(p=0.028) 1-3
	AI GENERATED STL	100	51.78	51.68	42.83	61.97	4.44			(p=0,033) 2-3
	MAXILIM	100	54.10	53.70	43.50	79.20	5.87			

Tablo 4 (Devamı).

	MIMICS STL	100	32.71	32.14	19.26	49.02	5.21				(p=0,001) 1-3
Majör palatin foramina arası mesafe (DFPM)	AI GENERATED STL	100	31.19	30.76	23.72	57.24	4.17	7.089	0.000		(p=0,003) 2-3
	MAXILIM	100	50.62	50.70	28.70	65.90	6.76				
Spina nasalis anterior ile posterior arası mesafe (DSN)	MIMICS STL	100	46.80	47.96	22.65	59.29	6.83				(p=0,028) 1-3
	AI GENERATED STL	100	47.30	46.97	37.20	75.55	4.54	10.612	0.000		(p=0,038) 2-3
	MAXILIM	100	50.62	50.70	28.70	65.90	6.76				

BÖLÜM V

Tartışma

Bilgisayarlı tomografi, konik ışınlı bilgisayarlı tomografi, Bilgisayar Destekli Tasarım, Bilgisayar Destekli Üretim ve 3B baskı, erişilebilir teknolojinin ortaya çıkmasıyla birlikte mini implantların doğru implantasyonu için kolaylaştırıcı araçlar olarak görülmüştür. Çok sayıda araştırmacı, doğru mini implant yönlendirmesi ve uygulaması için KIBT görüntülemeyi kullanmıştır (Bae vd., 2013; Landin vd., 2015; Qiu vd., 2012). Yumuşak ve sert dokunun durumuna ilişkin verileri entegre etmek için, diğerleri KIBT'yi ağız içi taramaları ve diş alçı taramaları ile birlikte kullanmıştır. Bazı araştırmacılar stereolitografik modellerle cerrahi stentler elde etmiştir (Kalra vd., 2014; J. J. Yu vd., 2012). STL dosyalarının entegre edilmesiyle oluşturulan dijital modeller kullanılarak cerrahi kılavuzlar geliştirilmiştir (Jackson vd., 2013; M. S. Lee vd., 2010; Wang vd., 2017; J. H. Yu vd., 2018). Sonuç olarak, görüntüleme, tasarım ve üretimde 3B teknolojisi, küçük implantların doğru şekilde yerleştirilmesini kolaylaştırmıştır (Masuoka, vd.). Bununla birlikte, bazı araştırmalar ise KIBT'yi bir cerrahi kılavuz oluşturmak yerine yalnızca kesin yerleştirme konumunu tespit etmek için kullanmıştır. (Masuoka vd., 2007) Bazı çalışmalarda, kılavuzsuz mini implant yerleştirme ya da yalnızca DICOM verilerine dayalı ölçümler gibi, cerrahi hassasiyeti riske atabilecek yöntemler kullanılmıştır (D'Ettorre vd., 2022; Knoops vd., 2017).

Alsayegh ve arkadaşları (2022), yetişkin bireylerde maksiller genişletme amacıyla Damon kendinden kapaklı braket sistemi, Mini-implant Destekli Hızlı Palatal Genişletme (MARPE) ve Periodontal Olarak Hızlandırılmış Osteojenik Ortodonti (PAOO) tekniklerini karşılaştıran retrospektif bir kohort çalışması yürütmüştür. Çalışmada, tedavi öncesi ve sonrası alınan STL formatındaki dijital çalışma modelleri kullanılarak maksiller ark genişliği ve palatal morfoloji değerlendirilmiştir. Üç tedavi yönteminin tamamı maksiller genişleme sağlamış olmakla birlikte, MARPE grubunda inter-molar mesafedeki artış diğer gruplara göre anlamlı düzeyde daha fazladır. Ayrıca yalnızca MARPE grubunda palatal kubbe hacminde istatistiksel olarak anlamlı bir artış saptanmıştır (Alsayegh vd., 2022).

Vasoglou ve arkadaşları (2022), mini implant yerleştirme doğruluğunu değerlendirmek amacıyla, ağız içi tarama ve Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (KIBT) verilerini birleştirerek bilgisayar destekli tasarlanmış cerrahi kılavuzların kullanımını araştıran bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada, 15 ortodontik hastanın maksilla ve mandibulasına toplam 35 mini implant (Aarhus®: n=20, Ø: 1.5 mm; AbsoAnchor®: n=15, Ø: 1.3–1.4 mm) yerleştirilmiştir. Bu implantlardan 18'i, ağız içi tarama ve KIBT verileri kullanılarak oluşturulan cerrahi kılavuzlarla (çalışma grubu), geri kalan 16'sı ise yalnızca ağız içi tarama ve panoramik görüntülerle oluşturulan kılavuzlarla (kontrol grubu) yerleştirilmiştir. Mini implantların yerleştirme doğruluğu, dijital modellerde (DICOM ve STL dosyalarının birleşimi) yapılan açısal ve doğrusal ölçümlerle değerlendirilmiştir. Sonuçlar, çalışma grubunda pre- ve post-operatif açısal ölçümler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını gösterirken, kontrol grubunda koronal açıda (13.6° pre-op ve 22.7° post-op, $p=0.002$) ve aksiyel açıda (13.4° pre-op ve 15.9° post-op, $p=0.034$) anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Her iki grupta da doğrusal ölçümler arasında anlamlı bir fark saptanmamıştır. Bu bulgular, KIBT ve ağız içi tarama verileri kullanılarak oluşturulan 3B tasarımı cerrahi kılavuzların, mini implant yerleştirme doğruluğunu artırdığını ve özellikle implantın eğimi açısından daha hassas bir yerleştirme sağladığını göstermektedir (Vasoglou vd., 2022).

Koenig ve arkadaşları, doğrudan baskılı ve ısıyla şekillendirilmiş hizalayıcıların boyutsal doğruluğunu değerlendirmek için STL modellerini kullanan bir çalışma yürütmüştür. Numuneler opak bir tarama spreyi ile kaplanmış, taranmış, Geomagic® Control XTM metroloji yazılımına aktarılmış ve optimize edilmiş bir hizalama tekniği kullanılarak referans bir STL dosyası ile hizalanmıştır. Hizalayıcı ağlar ile referans STL dosyası arasındaki mesafelerin ölçümleri dokuz anatomik bölgede gerçekleştirilmiştir (Koenig vd., 2022).

Bizim çalışmamızda çeşitli yazılım programları kullanılarak oluşturulan STL'lerin ölçüm doğruluğu değerlendirilmiştir. Bu konuda yapay zeka programları tarafından oluşturulan STL'lerin ölçüm doğruluğunu diğer yöntemlerle oluşturulanlarla karşılaştıran yalnızca bir çalışma vardır. Çalışmamızın bulguları, yapay zeka tarafından oluşturulan diş segmentasyonunun geçerliliğini ve güvenilirliğini değerlendirmek için CephX® ve InsigniaTM sistemlerini kullanan Al-Ubaydi ve Al-Groosh'un bulgularıyla

karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, daha fazla araştırmaya değer önemli farklılıklar ve benzerlikler göstermektedir, ancak her iki çalışma da dental görüntülemeye yapay zekanın beklentilerini kabul etmektedir (Al-Ubaydi & Al-Groosh, 2023).

Al-Ubaydi ve Al-Groosh tarafından yapılan çalışma, KIBT kullanan Insignia™ sistemi ile karşılaştırıldığında meziyodistal, labiolingual ve apekso-oklüzal boyut doğruluğu veya kök hacminde önemli bir fark olmaksızın CephX® AI programı tarafından üretilen segmentli STL diş modelleri arasında iyi bir uyum olduğunu göstererek yapay zeka ile üretilen ortodontik modellerdeki önemli gelişmeleri vurgulamaktadır. Çalışmalarında, formatlar arasında mükemmel bir uyum bulmuşlar ve yapay zeka kullanılarak oluşturulan STL modellerinin DICOM ve IOS metodolojilerine kıyasla yüksek derecede güvenilirliğe sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ancak bizim çalışmamızda, farklı segmentasyon teknikleri arasında maksiller ölçümlerde önemli bir varyasyon bulunmaktadır. Mimics ve Maxilim yazılımlarıyla karşılaştırıldığında, yapay zeka STL modelleri, majör palatin foramina ve infraorbital bölge gibi çeşitli maksiller referans noktalarından yapılan ölçümlerde daha küçük ortalama değerlere sahipti. Maksilla ölçümleri için gözlemlenen düşük ICC değerleri, özellikle ilgili boyutların 0.5'in altında olduğu Mimics grubunda, bu farklılıkların varlığını daha da desteklemiştir. Bununla birlikte, mandibular ölçümler tüm tekniklerde çok iyi tekrarlanabilirliğe sahipti ve ICC değerleri sürekli olarak 0,8'in üzerindeydi. Bu da maksiller ölçümlerin değişkenliğe ve potansiyel yanlışlığa daha yatkın olduğunu, mandibular segmentasyonun ise sistemler arasında yeniden üretilebilir olduğunu göstermektedir.

Çalışmamızda segmentasyon sırasında, örtüşmeyen yamaların kenarlarına yakın tahminlerin daha düşük doğruluk sergilediğini gözlenmiştir. Bu sorun, örtüşen yamalar uygulayarak ve çıkarım sırasında ağırlıklı ortalama kullanarak, sınır hassasiyetini ve model güvenilirliğini artırarak ele alınmıştır.

İki çalışmanın sonuçları birkaç nedenden dolayı büyük farklılıklar göstermiştir. İlk olarak, ilgilenilen anatomik bölgelerde farklılık bulunmaktadır. Çalışmamız, kayda değer değişkenliğin olduğu maksilladaki doğrusal ölçümlere odaklanmış ve hem mandibular hem de maksiller işaretleri içermiştir. Al-Ubaydi ve Al-Groosh (2023) ise sadece tek tek dişleri ölçmüş ve daha lokalize oldukları için doğal olarak daha az değişkenlik gösterebilecek hacimsel verileri değerlendirmiştir. Ayrıca, çalışmanın

örneklem büyüklüğü ve özellikleri, 10 hastanın görüntüsünü analiz eden Al-Ubaydi ve Al-Groosh çalışmasının oluşan daha küçük kohortundan farklı olarak 100 hastanın KIBT görüntüleri üzerinden yürütülmüştür. Sonuçlardaki değişkenlik muhtemelen çalışma tasarımındaki bu farklılıklardan kaynaklanmıştır. Bu farklılıklara rağmen, her iki çalışma da özellikle mandibula ölçümleri ve tek tek dişlerin değerlendirilmesi için klinik bağlamlarda YZ tabanlı segmentasyonun doğruluğunu vurgulamaktadır. Bu çalışmada gösterilen maksiller ölçüm aralığı, özellikle karmaşık anatomik alanlarda YZ tarafından oluşturulan STL modellerini kullanırken dikkatli olunması gerektiğini vurgulamaktadır. Organların veya anatomik yapıların 3B baskısı için DICOM veri kümelerinin çıkarılması ve 3B yazıcılarla uyumlu ortak bir format olan STL dosyalarına bölünmesi gerekir.

Kamio ve arkadaşları (2020), BT görüntüleme için fantom olarak iki metal bilyeli kuru bir çene kemiği kullanmış ve DICOM görüntülerini dokuz farklı yazılım paketi kullanarak STL dosyalarına dönüştürmüştür. STL modellerinin formunda yazılım programları arasında küçük farklılıklar olduğunu belirtmişler ve STL verilerinin kalitesinin 3B baskının başarısını önemli ölçüde etkilediğini vurgulamışlardır; düşük kaliteli STL verileri model imalatında başarısızlıklara yol açabilir (Kamio vd., 2020).

Başka bir çalışmada, Ferry ve arkadaşları (2022) kemik sondajı, tek başına DICOM verileri ve DICOM+STL kayıtlarını kullanarak yumuşak doku kalınlığı tahminlerini histomorfolojik değerlerle karşılaştırmıştır. Yumuşak doku kalınlığı tahminlerinde histolojik ölçümlerle en yakın uyumu DICOM+STL kayıtlarının sağladığını bulmuşlardır (Ferry vd., 2022). Buna karşılık, D'Addazio ve arkadaşları (2022) implant yerleştirmede DICOM-DICOM ve DICOM-STL cerrahi şablon klinik doğruluğu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulamamıştır.

DICOM'dan STL'ye geçişteki zorluklar ve maksiller yapılardaki potansiyel hatalar literatürle uyumludur (Huotilainen vd., 2014). Farklı YZ algoritmalarının ve segmentasyon yazılımlarının karşılaştırılması ve ek anatomi bölgelerinin değerlendirilmesi gerekmektedir ve gelecekteki çalışmalar bu varyasyonları daha kapsamlı bir şekilde araştırmalıdır. Tutarlılığı ve güvenilirliği sağlamak için anatomik nokta tespitinde ve DICOM'dan STL'ye dönüştürme işlemlerinde standartlaştırılmış adımlar uygulanmalıdır. Yapay zeka ile sentezlenen modellerin daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesi, çalışmanın doğrusal ölçümlere ek olarak hacimsel analizi de içerecek

şekilde genişletilmesiyle gerçekleştirilebilir. Genel olarak bu çalışma, hem bizim çalışmamızın hem de Al-Ubaydi ve Al-Groosh'un çalışmasının YZ'nin dental görüntüleme devrim niteliğindeki etkisini öngörmesine rağmen, daha ayrıntılı inceleme gerektiren önemli maksiller boyut varyasyonuna işaret etmektedir. Bu sonuçlar, özellikle cerrahi ve ortodontik planlama gibi yüksek hassasiyetli uygulamalar için, yapay zeka tarafından üretilen STL modellerinin çeşitli klinik ortamlarda doğrulanmasının ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır.

Abdullah ve arkadaşları (2016) beş BT görüntüsü üzerinde Mimics Innovation Suite ve açık kaynaklı MITK yazılımı kullanılarak segmente edilen üç boyutlu mandibula rekonstrüksiyonlarını karşılaştırmıştır. Analizleri, infradentale-gnathion, mental forameninden mandibular krete, mental forameninden inferior mandibular sınıra, bikondiler genişlik ve sol mental forameninden sağ mental foramene yüzey üzerindeki mesafe dahil olmak üzere landmark ölçümlerinde önemli farklılıklar olmadığını ve ortalama çözünürlük hatalarının %1'in altında olduğunu göstermiştir. Bu bulgu, ister ticari ister açık kaynaklı yazılımlardan üretilmiş olsun, STL formatlarının boyutsal doğruluğu korumadaki güvenilirliğini vurgulamaktadır (Abdullah vd., 2016). Bununla birlikte, araştırmamız sadece farklı STL oluşturma yöntemlerini değil, aynı zamanda maksilla ve mandibulanın orijinal DICOM ölçümleriyle doğrudan karşılaştırmalarını da dahil ederek bu karşılaştırmayı genişletmektedir. STL modelleri ve DICOM verileri arasındaki uyumu değerlendiren çalışmamız, çeşitli dijital iş akışlarından türetilen STL modellerinin hassasiyeti ve güvenilirliği hakkında daha kapsamlı bir değerlendirme sunmayı ve bunların cerrahi planlama ve tedavi sonuçlarında uygulanabilirliği hakkında daha derin bilgiler sunmaktadır.

Barker ve arkadaşları (1994), modern görüntüleme yöntemleriyle üretilen anatomik reproduksiyonların doğruluğunun belirlenmesinde, bilgisayarlı tomografi taramalarından üretilen stereolitografi (SLA) kopyalarının boyutsal doğruluğunu araştırmışlardır.

Çalışmaları, SLA kopyalarının orijinal kemik anatomisinden +0,85 mm ortalama boyutsal farklılık gösterdiğini ve +0,1 mm ile +4,62 mm arasında farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, klinik bağlam göz önüne alındığında küçük farklılıklar hayati olabileceğinden, doğruluğu artırmak için daha yüksek görüntüleme çözünürlüklerine olan ihtiyacı ve aciliyeti vurgulamaktadır (Barker vd., 1994). Bulgular,

model doğruluğunda aynı değişkenlikleri kaydettiğimiz çalışmamızdaki sonuçlarla tutarlıdır, bu nedenle klinik ortamda 3B baskılı modellerin uygulanmasını en üst düzeye çıkarmak için görüntüleme ve modelleme teknolojilerinin sürekli geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Huotilainen ve arkadaşları (2014), tıbbi kafatası modelleri oluştururken DICOM'un STL dönüşümüne getirdiği varyasyonları ve hataları incelemiştir. Çalışmalarında, tümör ameliyatı geçiren bir hastadan alınan KIBT verileri, her biri tercih ettikleri yazılımı kullanarak verileri otomatik olarak STL dosyalarına yeniden yapılandırmakla görevlendirilen üç farklı kuruma göndermiştir. Bu STL dosyaları daha sonra kurumlar tarafından gerçek tıbbi kafatası modelleri oluşturmak için kullanılmıştır. Modeller daha sonra taranmış ve yerleşik CAD inceleme yazılımı yöntemleri kullanılarak geometrik tutarsızlıklar açısından analiz edilmiştir. Bu değerlendirme, üretilen üç kafatası modeli arasında boyut ve anatomik geometriler açısından önemli farklılıklar olduğunu ortaya koyarak, dönüştürme yazılımının ve teknik parametrelerin, özellikle maksillada cerrahi planlama için önemli olan karmaşık anatomik alanlarda klinik olarak kullanılan modellerin doğruluğu üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceğinin altını çizmiştir. Analizleri ayrıca farklı kurumlar tarafından üretilen modeller arasında orbital duvarların (superior, inferior ve medial), maksiller sinüsün ve nazal kavite bölgelerinin temsilindeki yetersizliklerin altını çizmiştir (Huotilainen vd., 2014). Benzer şekilde, bizim çalışmamızda da STL modelleri ile DICOM ölçümleri arasındaki en büyük farklar maksiller ölçümlerde gözlemlenmiştir.

Stevens ve arkadaşları (2006), ABO kriterlerine göre 8 farklı maloklüzyon formu sergileyen 24 hastadan elde edilen modelleri incelemiştir. Dijital ölçümler için Emodels yazılımını kullanmışlar ve dijital modellerin tekrarlanabilirliğini değerlendirmek için bunları alçı modellerle karşılaştırmışlardır. Bolton analizi ve PAR indeksi, alçı ve dijital modeller arasında önemli bir fark olmadığını göstermiştir. Raporları, dijital modellerin kullanımının ortodontik tedavi planlarını değiştirmeyeceğini göstermiştir (Stevens vd., 2006).

Daimi diş yapısına ve Angle Sınıf I oklüzyona sahip 25 bireyin aljinat baskılarından alçı modeller oluşturulmuş ve OrthoCad kullanılarak dijital modeller üretilmiştir. Manuel ve dijital metodolojiler arasında diş genişlikleri, ark uzunluğu ve ark uzunluğu varyasyonu

ölçümlemlerini karşılaştırmışlardır. Çalışma, OrthoCad dijital modellerinin ark uzunluğu sapmasını ölçmek için güvenilir olduğunu belirlemiştir.(Naidu ve Freezer, 2013)

Yirmi alçı model 3Shape D-250 yüzey lazer tarayıcı kullanılarak sayısallaştırılmış ve on bir doğrusal ölçüm hem manuel hem de dijital olarak gerçekleştirilmiştir. Lazer tarama kullanılarak elde edilen dijital modellerin, doğrusal ölçümlerde alçı modellerle karşılaştırılabilir güvenilirliğe sahip olduğu iddia edilmiştir. Hem manuel hem de dijital formatları kullanarak örneklerin ilk modellerini oluşturarak ABO kriter ölçümlerini analiz etmiştir. Dijital modellerde üst ve alt çenedeki ark uzunluğunun azaldığı tespit edilmiştir. Dijital modellerin overjet ve overbite için çok daha düşük değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Ancak gözlenen farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Araştırmacılar, dijital ve manuel kurulumların karşılaştırılabilir sonuçlar verdiğini, ancak dijital modellerin proksimal ve oklüzal temaslardaki tutarsızlıkları önlemek için daha dikkatli olunması gerektiğini belirtmişlerdir (Im vd., 2014).

Reuschl ve arkadaşları, 19 alçı modelin dijitalleştirilmesini ve diş boyutlarının, azı dişleri arası mesafelerin ve overjet ölçümlerinin manuel yöntemlerle karşılaştırılmasını içeren araştırmalarında dijital ölçümlerin çok daha yüksek değerler verdiğini bildirmişlerdir. Bulguları, gözlemlenen tutarsızlıkların klinik açıdan önemli olmadığını, dijital modellerin model analizi için hem güvenli hem de verimli olduğunu ve geleneksel modellere alternatif olarak hizmet edebileceğini göstermiştir (Reuschl vd., 2016).

2016 yılında yapılan bir çalışmada, on adet dental model seti taranarak dijital formata dönüştürülmüş ve bu dijital modeller üzerinde toplam on bir farklı parametre incelenmiştir. Bu pilot çalışma sonucunda araştırmacılar, dijital modellerin büyük çoğunlukla güvenilir ölçüm sonuçları verdiğini ve özellikle maliyet avantajları göz önünde bulundurulduğunda, gelecekte geleneksel alçı modellere olan ihtiyacın azalabileceğini belirtmişlerdir (Kim & Lagravère, 2016). Diğer bir çalışmada, Bolton analizi kapsamında ön dişler ve tüm dişler için yapılan ölçümler, manuel yöntemlerle, lazer tarama teknolojisiyle oluşturulan dijital modeller ve konik ışınli bilgisayarlı tomografi (KIBT) ile elde edilen dijital modeller karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, lazer tarama ile oluşturulan dijital modeller, alçı modellerle istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon göstermiştir (Dowling vd., 2013). Ayrıca, alçı ve dijital modeller üzerinde yapılan Little çapraşıklık indeksi değerlendirmelerinde ölçümler arasında

yüksek uyum olduğu tespit edilmiştir. Araştırmacılar, kumpas kullanımı sırasında ortaya çıkan kullanıcı kaynaklı sorunların dijital modellerle giderilebileceğini vurgulamış, ancak çapraşıklık ölçümlerinde kullanılan yazılımların daha da geliştirilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Burns ve arkadaşları (Burns vd., 2014), Little's indeksinin (Little, 1975) dijital hesaplamasının, çapraşıklık 2 mm'den az olduğunda araştırma amaçları için güvenilir olmadığını belirtmiştir. Goonewardene ve arkadaşları (Goonewardene vd., 2008), 50 set modeldeki yay uzunluğu sapmasını hesapladığı araştırmada, alçı ve sanal modeller arasında güçlü bir korelasyon keşfetmiştir (%98,6-99,9).

El-Zanaty ve arkadaşları (2010) 34 ortodonti hastasının ölçülerinden elde edilen alçı modelleri dijital ortama aktarmış ve araştırmacı üç tekrarlı değerlendirme yapmıştır. Dijital modeller, üç uzamsal boyutun tamamında alçı modellerle güçlü bir uyum sergilemiştir; ancak uyum, diğer özelliklere kıyasla bazı dişlerin genişlikleri için azalmıştır (El-Zanaty vd., 2010).

Bootvong ve arkadaşları (2010) 80 model üzerinde ölçümler yapmış ve daha sonra rastgele seçilen 10 model üzerinde ölçümleri tekrarlamıştır. Ölçülen faktörler arasında diş genişlikleri, overjet, overbite ve molar ve kanin dişler arasındaki mesafe yer almıştır. Sjögren ve arkadaşları, Dijital ve manuel ölçümlerin uyumlu olduğunu ve dijital modellerin altın standart alçı modellerle karşılaştırılabilir güvenilirliğe sahip olduğunu belirtmişlerdir (Sjögren vd., 2010).

Nouri ve arkadaşları (2014), dijital modellerdeki açı ölçümlerinin güvenilirliğini değerlendirmeye yönelik iki aşamalı bir çalışma yürütmüşlerdir. İlk aşamada, 20 farklı model üzerinde kesici diş rotasyonu, diş açılanması ve çapraşıklık miktarı hem dijital hem de manuel yöntemlerle ölçülerek karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, geleneksel manuel ölçüm yöntemlerinin dijital yöntemlere kıyasla daha yüksek tekrarlanabilirlik sağladığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, dijital modellerin klinik kullanım açısından yeterli doğrulukta olduğu ve pratik bir alternatif sunduğu vurgulanmıştır. İkinci aşamada ise, Angle Sınıf I oklüzyona ve düzgün diş dizilimine sahip modellerde maksiller ve mandibular dişlerin eğim açıları, oklüzal düzleme referansla hem dijital hem de alçı modeller üzerinde değerlendirilmiştir. Bu ölçümler, her iki model türü arasında yüksek düzeyde güvenilirlik ve tekrarlanabilirlik göstermiştir.

Radeke ve arkadaşları (Radeke vd., 2014), farklı deneyim seviyelerine sahip üç araştırmacı ile dijital ve manuel sistemleri karşılaştıran bir çalışma yürütmüş ve deneyimsiz araştırmacıların dijital yöntemi kullanarak özellikle diş boyutu parametreleri açısından kumpaslara kıyasla daha hızlı ölçümler elde ettiğini ortaya koymuştur. ICON indeksinin dijital ve alçı modellerde uygulanabilirliğini değerlendirmiştir. Tedavi öncesi ve sonrası 30 hastanın modellerinin değerlendirildiği çalışmada, sanal modellerin güvenilirliği ve tekrar üretilebilirliğinin en azından alçı modellerinkiyle karşılaştırılabilir olduğu ortaya çıkmıştır (Hildebrand vd., 2008).

Bazı çalışmalarda, dijital ve alçı modellerin değerlendirilmesi arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar tespit edilmiş ve bu durum dijital modellerin Amerikan Boardu Ortodonti (ABO) kriterlerine göre yapılan değerlendirmeler için her zaman uygun olmayabileceğini göstermiştir. Ancak Costalos ve arkadaşları (2005), dijital modellerin genel olarak ABO skorlaması için yeterli olduğunu belirtmiştir. Bununla birlikte, yalnızca “hizalama” ve “bukkolingual eğim” kriterlerinin dijital ortama özgü bazı sınırlamalar nedeniyle yeniden gözden geçirilmesi gerektiğine dikkat çekmişlerdir. Mayer ve arkadaşları (2005) PAR indeks skorlamasını karşılaştırmış ve dijital modellerin değerlendirme için uygun olduğu sonucuna varmıştır.

Dijital çalışma modelleri, geleneksel alçı modellerin kullanıldığı tüm alanlarda uygulanabilir. Araştırmalar, dijital modellerin alçı modellerle karşılaştırılabilir gerçekçilikleri ve zaman ve alan verimliliğindeki avantajları nedeniyle yeni altın standart haline gelmesinin beklendiğini göstermektedir (Fleming vd., 2011).

Dijital modellerin geleneksel alçı modellere kıyasla avantajları, dijital formatlara hızlı ve zahmetsiz dönüştürme, aktarılan modellere kolay erişilebilirlik, depolama gereksinimlerinin ortadan kaldırılması ve dijital resimler veya radyografi ile uyumluluğu kapsamaktadır (Keim vd., 2008).

Teknoloji ilerledikçe ortodontik materyallerin, radyografilerin ve fotoğrafların bilgisayar hafızasında elektronik dosyalar olarak saklanabilmesi, bu kayıtlardan biri olan geleneksel alçı modellere bir alternatif geliştirilmesini gerektirmektedir. Sonuç olarak, 3 boyutlu modellerin bilgisayarlarda analiz edilmesine ve bu modellerden dijital tasarımlar üretilmesine odaklanan yeni bir iş kolu ortaya çıkmıştır. Alçı modeller uzun yıllar boyunca dental analizler için geleneksel bir dental kayıt ortamı olarak hizmet vermiştir.

Alçı modeller, fiziksel depolama alanı gereksinimi, uygun depolama koşullarının sürdürülmesi gerekliliği, artan iş gücü talebi, kırılabilirlik ve nakliye sırasında kaybolma riski gibi çeşitli dezavantajlara sahiptir (Akyalcin, Cozad, vd., 2013). Dijital çalışma modelleri ortodontik teşhis ve tedavi planlamasında verimli elektronik veri aktarımı, hızlı erişim ve daha az depolama gereksinimi gibi faydalar sağlamaktadır (Rheude, B vd., 2005).

Dijital modeller hasta kayıt sistemlerinde fotoğraflar, radyograflar ve klinik notlarla birlikte belgelenebilir. Dijital modeller ark formu tanımlama, Bolton uyumsuzluğu değerlendirmesi, boşluk darlığı analizi ve maloklüzyon tipi sınıflandırması için kullanılabilir. Overjet, overbite, diş tabanı uzunluğu, toplam diş boyutları, transvers stenoz ve Bolton uyumsuzluğu ölçümleri elde edilebilir. Ayrıca, bilgisayarda bir model konfigürasyonu tasarlama, ataşman bölgesini belirleme ve indirekt yapıştırma kolaylaştırma olanağı sağlar (Fleming vd., 2011).

Bu çalışmada segmentasyon güvenilirliğini değerlendirmek için parametre bazlı lineer ölçümler kullanılmış olsa da, voksel bazlı süperimpozisyon teknikleri özellikle kraniyofasiyal takip ve ortognatik planlamada yüksek hassasiyetleri ve otomasyonlarıyla tanınmıştır (Dot vd., 2020). Parametre bazlı değerlendirmeler, basitlikleri, anatomik netlikleri ve geleneksel tedavi iş akışlarıyla uyumları nedeniyle klinik ortodontide baskın olmaya devam etmektedir. Bununla birlikte, tam hacim kaydı ve renk kodlu sapma eşlemesi yapabilen voksel tabanlı yöntemler, daha objektif ve kapsamlı analizler için umut verici yollar sunmaktadır. Yapay zeka ve bilgisayar destekli tanı araçları geliştikçe, yüksek boyutlu veri işlemenin entegrasyonu yeni klinik standartların oluşturulmasına yardımcı olabilir. Gelecekteki çalışmalar, hem hassasiyeti hem de klinik uygulanabilirliği optimize etmek için voksel tabanlı ve parametre bazlı yaklaşımları birleştirmeyi keşfedebilir.

BÖLÜM VI

Sonuç

STL Model Kalitesinde Değişkenlik:

Çalışmamızda, KIBT verilerinden elde edilen STL modellerin kalitesi, kullanılan segmentasyon yöntemi ve yazılım türüne bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Bu değişkenlik, özellikle maksilla bölgesine ait ölçümlerde anlamlı düzeyde farklılıklar doğurmuştur.

KIBT vs. Yapay Zekâ Tabanlı Modeller:

Maksilla bölgesinden elde edilen ölçümlerde, KIBT tabanlı hacim modelleri sistematik olarak daha yüksek değerler sunmuştur. Bu bulgu, özellikle yapay zekâ destekli otomatik segmentasyonla oluşturulan modellerin, bazı bölgelerde ölçümsel sapmalara neden olabileceğini ortaya koymuştur.

Klinik Kullanımda Dikkat Gerekliliği:

Elde edilen sonuçlar, STL dosyalarının doğruluğunun modelleme yöntemine göre değişebildiğini ve bu durumun klinik kararları etkileyebileceğini göstermektedir. Özellikle cerrahi planlama ya da hassas ölçüm gerektiren durumlarda, dijital modellerin yalnızca doğrulama süreçleriyle güvence altına alındıktan sonra kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

3B Baskı Uygulamaları:

Üç boyutlu baskı ile elde edilen modellerin klinik uygulamalara etkin entegrasyonu için doğruluklarının titizlikle değerlendirilmesi gerektiği saptanmıştır. Standartlaştırılmış protokoller ve kalite kontrol süreçleri, bu modellerin güvenli kullanımı açısından kritik önem taşımaktadır.

Kaynakça

- A stent fabricated on a selectively colored stereolithographic model for placement of orthodontic mini-implants - PubMed. (n.d.). Retrieved December 11, 2024, from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12592997/>
- A syllabus in roentgenographic cephalometry – ScienceOpen. (n.d.). Retrieved April 1, 2025, from <https://www.scienceopen.com/document?vid=b5ce5ad0-6839-4815-8f12-b20459bbad5b>
- Abdullah, J. Y., Omar, M., Pritam, H. M. H., Husein, A., & Rajion, Z. A. (2016). Comparison of 3D reconstruction of mandible for pre-operative planning using commercial and open-source software. 020001. <https://doi.org/10.1063/1.4968856>
- Accuracy and validity of space analysis and irregularity index measurements using digital models - PubMed. (n.d.). Retrieved December 11, 2024, from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19113071/>
- Akdeniz, B. S., Aykaç, V., Turgut, M., Çetin, S. (2022). Digital dental models in orthodontics: A review. *Deneysel Ve Klinik Tıp Dergisi*, 39(1), 250-255.
- Akkan, N. (2013). Kemik Yaşı Saptanmasında Kullanılan Greulich-Pyle ve Tanner-Whitehouse Metodlarının Karşılaştırılması. *Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry*, 16(1), 1–9. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jiufd/issue/8951/111528>
- Akyalcin, S., Cozad, B. E., English, J. D., Colville, C. D., & Laman, S. (2013). Diagnostic accuracy of impression-free digital models. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 144(6), 916–922. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2013.04.024>
- Akyalcin, S., Dyer, D. J., English, J. D., & Sar, C. (2013). Comparison of 3-dimensional dental models from different sources: diagnostic accuracy and surface registration analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 144(6), 831–837. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2013.08.014>
- Al Mortadi, N., Eggbeer, D., Lewis, J., & Williams, R. J. (2012). CAD/CAM/AM applications in the manufacture of dental appliances. *American Journal of Orthodontics*

- and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics, 142(5), 727–733. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2012.04.023>
- Al Mortadi, N., Jones, Q., Eggbeer, D., Lewis, J., & Williams, R. J. (2015). Fabrication of a resin appliance with alloy components using digital technology without an analog impression. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 148(5), 862–867. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2015.06.014>
- Aldrich, J. E. (2007). Basic physics of ultrasound imaging. *Critical Care Medicine*, 35(5 Suppl). <https://doi.org/10.1097/01.CCM.0000260624.99430.22>
- Allen, W. I. (1963). Historical aspects of roentgenographic cephalometry. *American Journal of Orthodontics*, 49(6), 451–459. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(63\)90168-4](https://doi.org/10.1016/0002-9416(63)90168-4)
- Alsayegh, E., Balut, N., Ferguson, D. J., Makki, L., Wilcko, T., Hansa, I., & Vaid, N. R. (2022). Maxillary Expansion: A Comparison of Damon Self-Ligating Bracket Therapy with MARPE and PAOO. *BioMed Research International*, 2022(1), 1974467. <https://doi.org/10.1155/2022/1974467>
- Al-baydi, A. S., & Al-Groosh, D. (2023). The Validity and Reliability of Automatic Tooth Segmentation Generated Using Artificial Intelligence. *The Scientific World Journal*, 2023(1), 5933003. <https://doi.org/10.1155/2023/5933003>
- Angle, E.H. Treatment of Malocclusion of the Teeth: Angle's System. 7th Ed. 1907, S.S. White dental manufacturing Company
- Applegate, K. E., & Thomas, K. (2011). Pediatric CT--the challenge of dose records. *Pediatric Radiology*, 41 Suppl 2, 523–527. <https://doi.org/10.1007/S00247-011-2161-9>
- Application of fuzzy-classifier system to coronary artery disease and breast cancer - PubMed. (n.d). Retrieved Jan 09, 2023, from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9848948/>
- Ariji, E., Kutsuna, S., Muramatsu, C., Fukuda, M., Kise, Y., Nozawa, M., Yanashita, Y., Fujita, H., Katsumata, A., & Ariji, E. (2019). Automatic detection and segmentation of lymph node metastases in head and neck cancer using fuzzy logic system of artificial intelligence. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 127(5), 458–463. <https://doi.org/10.1016/J.OOOO.2018.10.002>
- Ariji, Y., Yanashita, Y., Kutsuna, S., Muramatsu, C., Fukuda, M., Kise, Y., Nozawa, M., Kuwada, C., Fujita, H., Katsumata, A., & Ariji, E. (2019). Automatic detection and

- classification of radiolucent lesions in the mandible on panoramic radiographs using a deep learning object detection technique. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 128(4), 424–430. <https://doi.org/10.1016/J.OOOO.2019.05.014>
- Arslan, K., Üyesi, Ö., & Eylül Üniversitesi, D. (2020). Eğitimde Yapay Zeka ve Uygulamaları Artificial Intelligence and Applications in Education. *Derleme Makale Western Anatolia Journal of Educational Sciences*, 11(1), 71–80.
- Artificial Intelligence in Dento-Maxillofacial Radiology. (n.d.). Retrieved April 8, 2025, from https://www.researchgate.net/publication/336579823_Artificial_Intelligence_in_Dento-Maxillofacial_Radiology
- Assessment of Dental and Skeletal Maturity | The Angle Orthodontist. (n.d.). Retrieved December 15, 2024, from <https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article/57/3/194/56797/Assessment-of-Dental-and-Skeletal-MaturityA-New>
- Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult Height (TW3 Method) - James Mourilyan Tanner, Michael J. R. Healy, N. Cameron, H. Goldstein - Google Kitaplar. (n.d.). Retrieved March 30, 2025, from https://books.google.com.cy/books/about/Assessment_of_Skeletal_Maturity_and_Pred.html?id=KKdxQgAACAAJ&redir_esc=y
- Athanasiou, A. E., Miethke, R., & Van Der Meij, A. J. (1999). Random errors in localization of landmarks in postero-anterior cephalograms. *British Journal of Orthodontics*, 26(4), 273–284. <https://doi.org/10.1093/ORTHO/26.4.273>
- Athanasiou, A.E. (1995) *Orthodontic Cephalometry*. Mosby-Wolfe, London. - References - Scientific Research Publishing. (n.d.). Retrieved December 16, 2024, from <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2009815>
- Avery J. K. (2011). *Dentistry | Oral Development and Histology*. 480. <https://shop.thieme.com/Oral-Development-and-Histology/9783131001931>
- Avula, T., Nela, M. K., Gudapati, R., Velagapudi, S., Avula, T., Nela, M. K., Gudapati, R., & Velagapudi, S. (2012). Efficient Use of Cloud Computing in Medical Science. *American Journal of Computational Mathematics*, 2(3), 240–243. <https://doi.org/10.4236/AJCM.2012.23032>
- Aydin, Ö. (2005). Yapay sinir ağlarını kullanarak bir ses tanıma sistemi geliştirilmesi. <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/504111>

- Ayoub, A. F., Wray, D., Moos, K. F., Jin, J., Niblett, T. B., Urquhart, C., Mowforth, P., & Siebert, P. (1997). A three-dimensional imaging system for archiving dental study casts: a preliminary report. *The International Journal of Adult Orthodontics and Orthognathic Surgery*, 12(1), 79–84. <https://europepmc.org/article/med/9456620>
- Bae, M. J., Kim, J. Y., Park, J. T., Cha, J. Y., Kim, H. J., Yu, H. S., & Hwang, C. J. (2013). Accuracy of miniscrew surgical guides assessed from cone-beam computed tomography and digital models. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 143(6), 893–901. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2013.02.018>
- Bala, M., Pathak, A., & Jain, R. L. (2010). Assessment of skeletal age using MP3 and hand-wrist radiographs and its correlation with dental and chronological ages in children. *Journal of the Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry*, 28(2), 95–99. <https://doi.org/10.4103/0970-4388.66746>
- Barghan, S., Tetradis, S., & Mallya, S. M. (2012). Application of cone beam computed tomography for assessment of the temporomandibular joints. *Australian Dental Journal*, 57 Suppl 1, 109–118. <https://doi.org/10.1111/J.1834-7819.2011.01663.X>
- BARKER, T. M., EARWAKER, W. J. S., & LISLE, D. A. (1994). Accuracy of stereolithographic models of human anatomy. *Australasian Radiology*, 38(2), 106–111. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1673.1994.tb00146.x>
- Barone, S., Paoli, A., & RZIONALE, A. V. (2013). Creation of 3D Multi-Body Orthodontic Models by Using Independent Imaging Sensors. *Sensors* 2013, Vol. 13, Pages 2033–2050, 13(2), 2033–2050. <https://doi.org/10.3390/S130202033>
- Barreto, M. S., Faber, J., Vogel, C. J., & Araujo, T. M. (2016). Reliability of digital orthodontic setups. *The Angle Orthodontist*, 86(2), 255–259. <https://doi.org/10.2319/120914-890.1>
- Baumrind, S. (2001). Integrated three-dimensional craniofacial mapping: Background, principles, and perspectives. *Seminars in Orthodontics*, 7(4), 223–232. <https://doi.org/10.1053/SODO.2001.25424>

- Baumrind, S., & Frantz, R. C. (1971). The reliability of head film measurements. 1. Landmark identification. *American Journal of Orthodontics*, 60(2), 111–127.
[https://doi.org/10.1016/0002-9416\(71\)90028-5](https://doi.org/10.1016/0002-9416(71)90028-5)
- Baumrind, S., & Miller, D. M. (1980). Computer-aided head film analysis: the University of California San Francisco method. *American Journal of Orthodontics*, 78(1), 41–65.
[https://doi.org/10.1016/0002-9416\(80\)90039-1](https://doi.org/10.1016/0002-9416(80)90039-1)
- Bell, A., Ayoub, A. F., & Siebert, P. (2003). Assessment of the Accuracy of a Three-Dimensional Imaging System for Archiving Dental Study Models.
<https://doi.org/10.1093/Ortho.30.3.219>, 30(3), 219–223.
<https://doi.org/10.1093/ORTHO.30.3.219>
- Bengio, Y., Courville, A., & Vincent, P. (2013). Representation learning: A review and new perspectives. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 35(8), 1798–1828. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2013.50>
- Bergman, R. (1988). Practical applications of the PA cephalometric headfilm. *Orthodontic Review*, 2(2), 20–26.
- Bloss, R. (2008). Accordion fringe interferometry: a revolutionary new digital shape-scanning technology. *Sensor Review*, 28(1), 22–26.
<https://doi.org/10.1108/02602280810849983>
- Bootvong, K., Liu, Z., McGrath, C., Hägg, U., Wong, R. W. K., Bendeus, M., & Yeung, S. (2010). Virtual model analysis as an alternative approach to plaster model analysis: reliability and validity. *European Journal of Orthodontics*, 32(5), 589–595.
<https://doi.org/10.1093/EJO/CJP159>
- Brennan, J. (2002). An introduction to digital radiography in dentistry. *Journal of Orthodontics*, 29(1), 66–69. <https://doi.org/10.1093/ORTHO/29.1.66>
- Brenner, D. J. (2002). Estimating cancer risks from pediatric CT: going from the qualitative to the quantitative. *Pediatric Radiology*, 32(4), 228–231.
<https://doi.org/10.1007/S00247-002-0671-1>
- Breuning, K. Hero., & Kau, C. How. (2017). Digital planning and custom orthodontic treatment.
- Broadbent, B.H. (1931) A new X-ray technique and its application to orthodontia. *Angle Orthodontist*, 1, 45-66. - References - Scientific Research Publishing. (n.d.). Retrieved

December 16, 2024, from

<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=223831>

Brodie, A. G. (1941). On the growth pattern of the human head. From the third month to the eighth year of life. *American Journal of Anatomy*, 68(2), 209–262.

<https://doi.org/10.1002/AJA.1000680204>

Brown, M. W., Koroluk, L., Ko, C. C., Zhang, K., Chen, M., & Nguyen, T. (2015).

Effectiveness and efficiency of a CAD/CAM orthodontic bracket system. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 148(6), 1067–1074.

<https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2015.07.029>

Bruks, A., Enberg, K., Nordqvist, I., Hansson, A. S., Jansson, L., & Svenson, B. (1999).

Radiographic examinations as an aid to orthodontic diagnosis and treatment planning. *Swedish Dental Journal*, 23(2–3), 77–85.

Bulas, D. I., Goske, M. J., Applegate, K. E., & Wood, B. P. (2009). Image Gently: why we should talk to parents about CT in children. *AJR. American Journal of Roentgenology*, 192(5), 1176–1178. <https://doi.org/10.2214/AJR.08.2218>

Bulatova, G., Kusnoto, B., Grace, V., Tsay, T. P., Avenetti, D. M., & Sanchez, F. J. C.

(2021). Assessment of automatic cephalometric landmark identification using artificial intelligence. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 24 Suppl 2(S2), 37–42.

<https://doi.org/10.1111/OCR.12542>

Burns, A., Dowling, A. H., Garvey, T. M., & Fleming, G. J. P. (2014). The reliability of Little's Irregularity Index for the upper dental arch using three dimensional (3D) digital models. *Journal of Dentistry*, 42(10), 1320–1326.

<https://doi.org/10.1016/J.JDENT.2014.07.012>

Cabral Correia, G. D., Lima Habib, F. A., & Vogel, C. J. (2014). Tooth-size discrepancy: a comparison between manual and digital methods. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 19(4), 107–113. <https://doi.org/10.1590/2176-9451.19.4.107-113.OAR>

Çakmak, G., Donmez, M. B., Atalay, S., Yilmaz, H., Kökat, A. M., & Yilmaz, B. (2021).

Accuracy of single implant scans with a combined healing abutment-scan body system

- and different intraoral scanners: An in vitro study. *Journal of Dentistry*, 113.
<https://doi.org/10.1016/J.JDENT.2021.103773>
- Can Cephalometric Indices and Subjective Evaluation Be Consistent for Facial Asymmetry? | The Angle Orthodontist. (n.d.). Retrieved December 11, 2024, from
<https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article/75/4/651/58166/Can-Cephalometric-Indices-and-Subjective>
- Cao, F., Huang, H. K., Pietka, E., & Gilsanz, V. (2000). Digital hand atlas and web-based bone age assessment: system design and implementation. *Computerized Medical Imaging and Graphics : The Official Journal of the Computerized Medical Imaging Society*, 24(5), 297–307. [https://doi.org/10.1016/S0895-6111\(00\)00026-4](https://doi.org/10.1016/S0895-6111(00)00026-4)
- Capote, T. S. de O., Almeida Gonçalves, M. de, Gonçalves, A., Gonçalves, M., Capote, T. S. de O., Almeida Gonçalves, M. de, Gonçalves, A., & Gonçalves, M. (2015). Panoramic Radiography — Diagnosis of Relevant Structures That Might Compromise Oral and General Health of the Patient. *Emerging Trends in Oral Health Sciences and Dentistry*.
<https://doi.org/10.5772/59260>
- Cardoso, H. F. V. (2007). Accuracy of developing tooth length as an estimate of age in human skeletal remains: the deciduous dentition. *Forensic Science International*, 172(1), 17–22. <https://doi.org/10.1016/J.FORSCIINT.2006.11.006>
- Carlsson, K., Danielsson, P. E., Liljeborg, A., Majlöf, L., Lenz, R., & Åslund, N. (1985). Three-dimensional microscopy using a confocal laser scanning microscope. *Optics Letters*, 10(2), 53. <https://doi.org/10.1364/OL.10.000053>
- Céphalométrie et orthodontie - Louis Muller - Google Kitaplar. (n.d.). Retrieved December 16, 2024, from
https://books.google.com.cy/books/about/C%C3%A9phalom%C3%A9trie_et_orthodontie.html?id=9WSdmgEACAAJ&redir_esc=y
- Cha, B. K., Choi, J. I., Jost-Brinkmann, P. G., & Jeong, Y. M. (2007). Applications of three-dimensionally scanned models in orthodontics. *International Journal of Computerized Dentistry*, 10(1), 41–52.
- Champagne, M. (1992). Reliability of measurements from photocopies of study models. *Journal of Clinical Orthodontics*.

- Chandola, Y., Virmani, J., Bhadauria, H. S., & Kumar, P. (2021). End-to-end pre-trained CNN-based computer-aided classification system design for chest radiographs. *Deep Learning for Chest Radiographs*, 117–140. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90184-0.00011-4>
- Chartrand, G., Cheng, P. M., Vorontsov, E., Drozdal, M., Turcotte, S., Pal, C. J., Kadoury, S., & Tang, A. (2017). Deep Learning: A Primer for Radiologists. *Radiographics : A Review Publication of the Radiological Society of North America, Inc*, 37(7), 2113–2131. <https://doi.org/10.1148/RG.2017170077>
- Chen, Z., Mo, S., Fan, X., You, Y., Ye, G., & Zhou, N. (2021). A Meta-analysis and Systematic Review Comparing the Effectiveness of Traditional and Virtual Surgical Planning for Orthognathic Surgery: Based on Randomized Clinical Trials. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery : Official Journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 79(2), 471.e1-471.e19. <https://doi.org/10.1016/J.JOMS.2020.09.005>
- Choi, D. S., Jeong, Y. M., Jang, I., Jost-Brinkmann, P. G., & Cha, B. K. (2010). Accuracy and reliability of palatal superimposition of three-dimensional digital models. *The Angle Orthodontist*, 80(4), 497–503. <https://doi.org/10.2319/101309-569.1>
- Choi, H. Il, Jung, S. K., Baek, S. H., Lim, W. H., Ahn, S. J., Yang, I. H., & Kim, T. W. (2019). Artificial Intelligent Model With Neural Network Machine Learning for the Diagnosis of Orthognathic Surgery. *The Journal of Craniofacial Surgery*, 30(7), 1986–1989. <https://doi.org/10.1097/SCS.00000000000005650>
- Christensen, L. R., & Cope, J. B. (2018). Digital technology for indirect bonding. *Seminars in Orthodontics*, 24(4), 451–460. <https://doi.org/10.1053/j.sodo.2018.10.009>
- Christopoulou, I., Kaklamanos, E. G., Makrygiannakis, M. A., Bitsanis, I., Perlea, P., & Tsolakis, A. I. (2022). Intraoral Scanners in Orthodontics: A Critical Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3). <https://doi.org/10.3390/IJERPH19031407>
- Chu, P., Bo, C., Liang, X., Yang, J., Megalooikonomou, V., Yang, F., Huang, B., Li, X., & Ling, H. (2018). Using Octuplet Siamese Network for Osteoporosis Analysis on Dental Panoramic Radiographs. *Proceedings of the Annual International Conference of the*

- IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS, 2018-July, 2579–2582.
<https://doi.org/10.1109/EMBC.2018.8512755>
- Ciuffolo, F., Epifania, E., Duranti, G., De Luca, V., Raviglia, D., Rezza, S., & Festa, F. (2006). Rapid prototyping: a new method of preparing trays for indirect bonding. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 129(1), 75–77. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2005.10.005>
- Classifying Cyst and Tumor Lesion Using Support Vector Machine Based on Dental Panoramic Images Texture Features. (n.d.). Retrieved January 6, 2025, from https://www.researchgate.net/publication/287165581_Classifying_Cyst_and_Tumor_Lesion_Using_Support_Vector_Machine_Based_on_Dental_Panoramic_Images_Texture_Features
- Cobourne, M. T. ., & DiBiase, A. T. . (2014). *Handbook of Orthodontics*. 439.
https://books.google.com/books/about/Handbook_of_Orthodontics_E_Book.html?hl=tr&id=WT-6wq2wE7MC
- Computer-aided interactive indirect bonding - PubMed. (n.d.). Retrieved December 11, 2024, from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16276430/>
- Cortella, S., Shofer, F. S., & Ghafari, J. (1997). Transverse development of the jaws: norms for the posteroanterior cephalometric analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 112(5), 519–522. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(97\)70079-9](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(97)70079-9)
- Costa, & M., M. F. (1994). Surface inspection by optical triangulation. *SPIE*, 2248, 151–159.
<https://doi.org/10.1117/12.194314>
- Costalos, P. A., Sarraf, K., Cangialosi, T. J., & Efstratiadis, S. (2005). Evaluation of the accuracy of digital model analysis for the American Board of Orthodontics objective grading system for dental casts. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its*

- Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics, 128(5), 624–629.
<https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2004.08.017>
- Cousley, R. R. J., Bainbridge, M., & Rossouw, P. E. (2017). The accuracy of maxillary positioning using digital model planning and 3D printed wafers in bimaxillary orthognathic surgery. *Journal of Orthodontics*, 44(4), 256–267.
<https://doi.org/10.1080/14653125.2017.1383708>
- Cousley, R. R., & Turner, M. J. (2014). Digital model planning and computerized fabrication of orthognathic surgery wafers. *Journal of Orthodontics*, 41(1), 38–45.
<https://doi.org/10.1179/1465313313Y.0000000075>
- Craniofacial imaging in orthodontics: Historical perspective, current status, and future developments | The Angle Orthodontist. (n.d.). Retrieved December 17, 2024, from <https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article/69/6/491/57393/Craniofacial-imaging-in-orthodontics-Historical>
- Creed, B., Kau, C. H., English, J. D., Xia, J. J., & Lee, R. P. (2011). A Comparison of the Accuracy of Linear Measurements Obtained from Cone Beam Computerized Tomography Images and Digital Models. *Seminars in Orthodontics*, 17(1), 49.
<https://doi.org/10.1053/J.SODO.2010.08.010>
- Cuperus, A. M. R., Harms, M. C., Rangel, F. A., Bronkhorst, E. M., Schols, J. G. J. H., & Breuning, K. H. (2012). Dental models made with an intraoral scanner: a validation study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 142(3), 308–313.
<https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2012.03.031>
- Cutrer, A., Barbato, E., Maiorana, F., Giordano, D., & Leonardi, R. (2015). Reproducibility and speed of landmarking process in cephalometric analysis using two input devices: mouse-driven cursor versus pen. *Annali Di Stomatologia*, 6(2), 47.
<https://doi.org/10.11138/ads/2015.6.2.047>
- Czarnota, J., Hey, J., & Fuhrmann, R. (2016). Measurements using orthodontic analysis software on digital models obtained by 3D scans of plaster casts : Intrarater reliability and validity. *Journal of Orofacial Orthopedics = Fortschritte Der Kieferorthopädie* :

- Organ/Official Journal Deutsche Gesellschaft Fur Kieferorthopadie, 77(1), 22–30.
<https://doi.org/10.1007/S00056-015-0004-2>
- Da Costa, J. B., McPharlin, R., Hilton, T., Ferracane, J. L., & Wang, M. (2012). Comparison of two at-home whitening products of similar peroxide concentration and different delivery methods. *Operative Dentistry*, 37(4), 333–339. <https://doi.org/10.2341/11-053-C>
- D’addazio, G., Xhajanka, E., Traini, T., Santilli, M., Rexhepi, I., Murmura, G., Caputi, S., & Sinjari, B. (2022). Accuracy of DICOM–DICOM vs. DICOM–STL Protocols in Computer-Guided Surgery: A Human Clinical Study. *Journal of Clinical Medicine* 2022, Vol. 11, Page 2336, 11(9), 2336. <https://doi.org/10.3390/JCM11092336>
- Dawood, A., Marti, B. M., Sauret-Jackson, V., & Darwood, A. (2015). 3D printing in dentistry. *British Dental Journal*, 219(11), 521–529.
<https://doi.org/10.1038/SJ.BDJ.2015.914>
- Dawood, A., Patel, S., & Brown, J. (2009). Cone beam CT in dental practice. *British Dental Journal*, 207(1), 23–28. <https://doi.org/10.1038/SJ.BDJ.2009.560>
- De Moraes, M. E. L., Hollender, L. G., Chen, C. S. K., Moraes, L. C., & Balducci, I. (2011). Evaluating craniofacial asymmetry with digital cephalometric images and cone-beam computed tomography. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics, 139(6).
<https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2010.10.020>
- De Riu, G., Meloni, S. M., Baj, A., Corda, A., Soma, D., & Tullio, A. (2014). Computer-assisted orthognathic surgery for correction of facial asymmetry: results of a randomised controlled clinical trial. *The British Journal of Oral & Maxillofacial Surgery*, 52(3), 251–257. <https://doi.org/10.1016/J.BJOMS.2013.12.010>
- Demirjian, A., & Goldstein, H. (1976). New systems for dental maturity based on seven and four teeth. *Annals of Human Biology*, 3(5), 411–421.
<https://doi.org/10.1080/03014467600001671>
- Deng, L., & Yu, D. (2014). Deep Learning: Methods and Applications. *Foundations and Trends® in Signal Processing*, 7(3–4), 197–387. <https://doi.org/10.1561/20000000039>

Dental 3D Scanners & Software for CAD/CAM Dentistry | 3shape. (n.d.). Retrieved December 13, 2024, from <https://www.3shape.com/>

D’Ettorre, G., Farronato, M., Candida, E., Quinzi, V., & Grippaudo, C. (2022). A comparison between stereophotogrammetry and smartphone structured light technology for three-dimensional face scanning. *The Angle Orthodontist*, 92(3), 358–363.
<https://doi.org/10.2319/040921-290.1>

Devereux, L., Moles, D., Cunningham, S. J., & McKnight, M. (2011). How important are lateral cephalometric radiographs in orthodontic treatment planning? *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 139(2). <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2010.09.021>

Devito, K. L., de Souza Barbosa, F., & Filho, W. N. F. (2008). An artificial multilayer perceptron neural network for diagnosis of proximal dental caries. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics*, 106(6), 879–884.
<https://doi.org/10.1016/J.TRIPLEO.2008.03.002>

Digital imaging of cephalometric radiography, part 1: advantages and limitations of digital imaging | *The Angle Orthodontist*. (n.d.). Retrieved April 3, 2025, from <https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article/66/1/37/57267/Digital-imaging-of-cephalometric-radiography-part>

Digital Program for Space Analysis Calculations. (n.d.-a). Retrieved December 12, 2024, from <https://www.jco-online.com/archive/1991/04/236-computer-aided-space-analysis/>

Domeshek, L. F., Mukundan, S., Yoshizumi, T., & Marcus, J. R. (2009). Increasing concern regarding computed tomography irradiation in craniofacial surgery. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 123(4), 1313–1320.
<https://doi.org/10.1097/PRS.0B013E31819E26D5>

Dot, G., Rafflenbeul, F., & Salmon, B. (2020). Voxel-based superimposition of Cone Beam CT scans for orthodontic and craniofacial follow-up: Overview and clinical

- implementation. *International Orthodontics*, 18(4), 739–748.
<https://doi.org/10.1016/J.ORTHO.2020.08.001>
- Dowling, A. H., Burns, A., Macauley, D., Garvey, T. M., & Fleming, G. J. P. (2013). Can the intra-examiner variability of Little’s Irregularity Index be improved using 3D digital models of study casts? *Journal of Dentistry*, 41(12), 1271–1280.
<https://doi.org/10.1016/J.JDENT.2013.08.020>
- Downs, W. B. (1948). Variations in facial relationships; their significance in treatment and prognosis. *American Journal of Orthodontics*, 34(10), 812–840.
[https://doi.org/10.1016/0002-9416\(48\)90015-3](https://doi.org/10.1016/0002-9416(48)90015-3)
- Du, X., Chen, Y., Zhao, J., & Xi, Y. (2018). A Convolutional Neural Network Based Auto-Positioning Method For Dental Arch In Rotational Panoramic Radiography. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference*, 2018, 2615–2618. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2018.8512732>
- Edward Hartley Angle’s Contributions to Orthodontics Revisited. (n.d.). Retrieved December 5, 2024, from
https://www.researchgate.net/publication/350591419_Edward_Hartley_Angle’s_Contributions_to_Orthodontics_Revisited
- Edwards, M. K. (1993). Magnetic resonance imaging of the head and neck. *Dental Clinics of North America*, 37(4), 591–611.
- El Naqa, I., Haider, M. A., Giger, M. L., & Ten Haken, R. K. (2020). Artificial Intelligence: reshaping the practice of radiological sciences in the 21st century. *The British Journal of Radiology*, 93(1106), 20190855. <https://doi.org/10.1259/BJR.20190855>
- El-Zanaty, H. M., El-Beialy, A. R., Abou El-Ezz, A. M., Attia, K. H., El-Bialy, A. R., & Mostafa, Y. A. (2010). Three-dimensional dental measurements: An alternative to plaster models. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 137(2), 259–265.
<https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2008.04.030>

- Ender, A., & Mehl, A. (2013). Accuracy of complete-arch dental impressions: a new method of measuring trueness and precision. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 109(2), 121–128. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(13\)60028-1](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(13)60028-1)
- Ender, A., & Mehl, A. (2014). Accuracy in dental medicine, a new way to measure trueness and precision. *Journal of Visualized Experiments : JoVE*, 86. <https://doi.org/10.3791/51374>
- Endres, M. G., Hillen, F., Salloumis, M., Sedaghat, A. R., Niehues, S. M., Quatela, O., Hanken, H., Smeets, R., Beck-Broichsitter, B., Rendenbach, C., Lakhani, K., Heiland, M., & Gaudin, R. A. (2020). Development of a Deep Learning Algorithm for Periapical Disease Detection in Dental Radiographs. *Diagnostics*, 10(6), 430. <https://doi.org/10.3390/DIAGNOSTICS10060430>
- Enfeksiyonların Teşhis tedavisinde Uzman Sistem Kullanımı Ahmet BABALIK, B. V., Güler, İ., Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, S., & Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, G. (2007). BOĞAZ ENFEKSİYONLARININ TEŞHİS VE TEDAVİSİNDE UZMAN SİSTEM KULLANIMI. *Selcuk University Journal of Engineering Sciences*, 6(2), 109–119. <https://sujes.selcuk.edu.tr/sujes/article/view/40>
- Enhanced Speed and Precision of Measurement in a Computer-Assisted Digital Cephalometric Analysis System | *The Angle Orthodontist*. (n.d.). Retrieved December 17, 2024, from <https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article/74/4/501/57881/Enhanced-Speed-and-Precision-of-Measurement-in-a>
- Enlargement and Distortion in Cephalometric Radiography: Compensation Tables for Linear Measurements | *The Angle Orthodontist*. (n.d.). Retrieved December 16, 2024, from <https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article/50/3/230/56142/Enlargement-and-Distortion-in-Cephalometric>
- Erickson, B. J. (2019). Deep learning and machine learning in imaging: Basic principles. *Artificial Intelligence in Medical Imaging: Opportunities, Applications and Risks*, 39–46. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94878-2_4
- Ertan Erdiñç, A. M., Doğan, S., & Dinçer, B. (2008). Dijital Modellerde Güvenirlilik. *Ege Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 29(2), 99–103.
- Evlice BK, Öztunç H. Dijital Radyografi ve Dış hekimliğinde İleri Görüntüleme Yöntemleri. *aktd. Haziran 2013;22(2):230-238.*

- Farman, A. G., Clark, S. J., Friedlander, A. H., Jacobs, W. R., Khan, Z., Kushner, G. M., Norman, K. M., Nortjé, C. J., Silveira, A., Wood, R. E., & Yaggy, S. T. (2007). Panoramic radiology: Seminars on maxillofacial imaging and interpretation. *Panoramic Radiology: Seminars on Maxillofacial Imaging and Interpretation*, 1–231.
<https://doi.org/10.1007/978-3-540-46230-9/COVER>
- Farooqi, K. M., & Sengupta, P. P. (2015). Echocardiography and three-dimensional printing: sound ideas to touch a heart. *Journal of the American Society of Echocardiography : Official Publication of the American Society of Echocardiography*, 28(4), 398–403.
<https://doi.org/10.1016/J.ECHO.2015.02.005>
- Ferry, K., AlQallaf, H., Blanchard, S., Dutra, V., Lin, W., & Hamada, Y. (2022). Evaluation of the accuracy of soft tissue thickness measurements with three different methodologies: An in vitro study. *Journal of Periodontology*, 93(10), 1468–1475.
<https://doi.org/10.1002/JPER.21-0692>
- Fishman, S., Erez, T.A. and Couvillon, G.A. (1987) The Temperature Dependence of Dormancy Breaking in Plants Mathematical Analysis of a Two-Step Model Involving a Cooperative Transition. *Journal of Theoretical Biology*, 124, 473-483. - References - Scientific Research Publishing. (n.d.). Retrieved March 30, 2025, from
<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3688770>
- Fırat, M., & Güngör, M. (2004). Askı Madde Konsantrasyonu ve Miktarının Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi. *Teknik Dergi*, 15(73), 219.
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tekderg/issue/12782/155327>
- Fleming, P. S., Marinho, V., & Johal, A. (2011). Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 14(1), 1–16. <https://doi.org/10.1111/J.1601-6343.2010.01503.X>
- Flügge, T. V., Schlager, S., Nelson, K., Nahles, S., & Metzger, M. C. (2013). Precision of intraoral digital dental impressions with iTero and extraoral digitization with the iTero and a model scanner. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 144(3), 471–478.
<https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2013.04.017>

- Fujimoto, J. G., Pitris, C., Boppart, S. A., & Brezinski, M. E. (2000). Optical coherence tomography: an emerging technology for biomedical imaging and optical biopsy. *Neoplasia* (New York, N.Y.), 2(1–2), 9–25. <https://doi.org/10.1038/SJ.NEO.7900071>
- Fukuda, M., Arijji, Y., Kise, Y., Nozawa, M., Kuwada, C., Funakoshi, T., Muramatsu, C., Fujita, H., Katsumata, A., & Arijji, E. (2020). Comparison of 3 deep learning neural networks for classifying the relationship between the mandibular third molar and the mandibular canal on panoramic radiographs. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 130(3), 336–343. <https://doi.org/10.1016/J.OOOO.2020.04.005>
- Fukuda, M., Inamoto, K., Shibata, N., Arijji, Y., Yanashita, Y., Kutsuna, S., Nakata, K., Katsumata, A., Fujita, H., & Arijji, E. (2020). Evaluation of an artificial intelligence system for detecting vertical root fracture on panoramic radiography. *Oral Radiology*, 36(4), 337–343. <https://doi.org/10.1007/S11282-019-00409-X>
- Gabor, D. (1972). Holography 1948-1971 - Abstract of Nobel lecture, 11 December 1971. *Europhysics News*, 3(3), 8–9. <https://doi.org/10.1051/EPN/19720303008>
- Geetha, V., Aprameya, K. S., & Hinduja, D. M. (2020). Dental caries diagnosis in digital radiographs using back-propagation neural network. *Health Information Science and Systems*, 8(1), 8. <https://doi.org/10.1007/S13755-019-0096-Y>
- Gemmeke, J. F., Ellis, D. P. W., Freedman, D., Jansen, A., Lawrence, W., Channing Moore, R., Plakal, M., & Ritter, M. (n.d.). AUDIO SET: AN ONTOLOGY AND HUMAN-LABELED DATASET FOR AUDIO EVENTS. Retrieved January 6, 2025, from <http://en.wikipedia.org/wiki/Bird>
- Gilboy, N., Travers, D., & Wuerz, R. (1999). Re-evaluating triage in the new millennium: A comprehensive look at the need for standardization and quality. *Journal of Emergency Nursing*, 25(6), 468–473. [https://doi.org/10.1016/S0099-1767\(99\)70007-3](https://doi.org/10.1016/S0099-1767(99)70007-3)
- Glenner, R. A. (1997). Dental impressions. *Journal of the History of Dentistry*, 45(3), 127–130.
- Goonewardene, R. W., Goonewardene, M. S., Razza, J. M., & Murray, K. (2008). Accuracy and validity of space analysis and irregularity index measurements using digital models. *Australian orthodontic journal*, 24(2), 83–90.

- Graf, S., Vasudavan, S., & Wilmes, B. (2018). CAD-CAM design and 3-dimensional printing of mini-implant retained orthodontic appliances. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 154(6), 877–882. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2018.07.013>
- Gravely, J. F., & Benzies, P. M. (1974). The clinical significance of tracing error in cephalometry. *British Journal of Orthodontics*, 1(3), 95–101. <https://doi.org/10.1179/BJO.1.3.95>
- Greulich, W. W. (1957). A comparison of the physical growth and development of American-born and native Japanese children. *American Journal of Physical Anthropology*, 15(4), 489–515. <https://doi.org/10.1002/AJPA.1330150403>
- Gross, B. C., Erkal, J. L., Lockwood, S. Y., Chen, C., & Spence, D. M. (2014). Evaluation of 3D printing and its potential impact on biotechnology and the chemical sciences. *Analytical Chemistry*, 86(7), 3240–3253. https://doi.org/10.1021/AC403397R/ASSET/IMAGES/LARGE/AC-2013-03397R_0009.JPEG
- Grummons, D. C., & Kappeyne van de Coppello, M. A. (1987). A frontal asymmetry analysis. *Journal of Clinical Orthodontics : JCO*, 21(7), 448–465.
- Grünheid, T., Patel, N., De Felipe, N. L., Wey, A., Gaillard, P. R., & Larson, B. E. (2014). Accuracy, reproducibility, and time efficiency of dental measurements using different technologies. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 145(2), 157–164. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2013.10.012>
- Gu, J., Wang, Z., Kuen, J., Ma, L., Shahroudy, A., Shuai, B., Liu, T., Wang, X., Wang, L., Wang, G., Cai, J., & Chen, T. (2015). Recent Advances in Convolutional Neural Networks. <https://arxiv.org/abs/1512.07108v6>
- Guo, Z., Durand, L. G., Allard, L., Cloutier, G., Lee, H. C., & Langlois, Y. E. (1993). Cardiac Doppler blood-flow signal analysis - Part 2 time/frequency representation based on autoregressive modelling. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 31(3), 242–248. <https://doi.org/10.1007/BF02458043/METRICS>

- Gupta, A., Kharbanda, O. P., Sardana, V., Balachandran, R., & Sardana, H. K. (2016). Accuracy of 3D cephalometric measurements based on an automatic knowledge-based landmark detection algorithm. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 11(7), 1297–1309. <https://doi.org/10.1007/S11548-015-1334-7>
- Gupta, M., Divyashree, R., Abhilash, P., Bijle, M. N. A., & Murali, K. (2013). Correlation between Chronological Age, Dental Age and Skeletal Age among Monozygotic and Dizygotic Twins. *Journal of International Oral Health : JIOH*, 5(1), 16. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3768084/>
- Habibi Aghdam, H., & Jahani Heravi, E. (2017). Guide to Convolutional Neural Networks. Guide to Convolutional Neural Networks. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57550-6>
- Halazonetis, D. J. (2001). Acquisition of 3-dimensional shapes from images. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 119(5), 556–560. <https://doi.org/10.1067/MOD.2001.115459>
- Han, U. K., Vig, K. W. L., Weintraub, J. A., Vig, P. S., & Kowalski, C. J. (1991). Consistency of orthodontic treatment decisions relative to diagnostic records. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 100(3), 212–219. [https://doi.org/10.1016/0889-5406\(91\)70058-5](https://doi.org/10.1016/0889-5406(91)70058-5)
- Harradine, N., Ortho., M., Suominen, R., Stephens, C., Ortho., M., Hathorn, I., Ortho., D., & Brown, I. (1990). Holograms as substitutes for orthodontic study casts: a pilot clinical trial. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 98(2), 110–116. [https://doi.org/10.1016/0889-5406\(90\)70004-V](https://doi.org/10.1016/0889-5406(90)70004-V)
- Hatton, M. E., & Grainger, R. M. (1958). Reliability of measurements from cephalograms at the Burlington Orthodontic Research Centre. *Journal of Dental Research*, 37(5), 853–859. <https://doi.org/10.1177/00220345580370051301>
- Hayashi, K., Sachdeva, A. U. C., Saitoh, S., Lee, S. P., Kubota, T., & Mizoguchi, I. (2013). Assessment of the accuracy and reliability of new 3-dimensional scanning devices. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of*

- the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics, 144(4), 619–625. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2013.04.021>
- Hazeveld, A., Huddleston Slater, J. J. R., & Ren, Y. (2014). Accuracy and reproducibility of dental replica models reconstructed by different rapid prototyping techniques. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 145(1), 108–115. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2013.05.011>
- Hegazy, M. A. A., Cho, M. H., Cho, M. H., & Lee, S. Y. (2019). U-net based metal segmentation on projection domain for metal artifact reduction in dental CT. *Biomedical Engineering Letters*, 9(3), 375. <https://doi.org/10.1007/S13534-019-00110-2>
- Herring, J. T. (2006). The effectiveness of orthodontists and oral radiologists in the diagnosis of impacted maxillary canines. <https://doi.org/10.17615/GGZ7-4G14>
- Hildebrand, J. C., Palomo, J. M., Palomo, L., Sivik, M., & Hans, M. (2008). Evaluation of a software program for applying the American Board of Orthodontics objective grading system to digital casts. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 133(2), 283–289. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2006.03.035>
- Hofrath, H. (1931) Die bedeutung der roentgenfern der kiefer anomalien. *Fortschr Orthodontic*, 1, 232-248. - References - Scientific Research Publishing. (n.d.). Retrieved December 16, 2024, from <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=223832>
- Honda, K., Larheim, T. A., Maruhashi, K., Matsumoto, K., & Iwai, K. (2006). Osseous abnormalities of the mandibular condyle: diagnostic reliability of cone beam computed tomography compared with helical computed tomography based on an autopsy material. *Dento Maxillo Facial Radiology*, 35(3), 152–157. <https://doi.org/10.1259/DMFR/15831361>
- Hosny, A., Parmar, C., Quackenbush, J., Schwartz, L. H., & Aerts, H. J. W. L. (2018). Artificial intelligence in radiology. *Nature Reviews. Cancer*, 18(8), 500. <https://doi.org/10.1038/S41568-018-0016-5>
- Houston, W. J. B. (1983). The analysis of errors in orthodontic measurements. *American Journal of Orthodontics*, 83(5), 382–390. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(83\)90322-6](https://doi.org/10.1016/0002-9416(83)90322-6)

- Houston, W. J. B., Maher, R. E., Mcelroy, D., & Sherriff, M. (1986). Sources of error in measurements from cephalometric radiographs. *European Journal of Orthodontics*, 8(3), 149–151. <https://doi.org/10.1093/EJO/8.3.149>
- Hsieh, C. W., Jong, T. L., & Tiu, C. M. (2007). Bone age estimation based on phalanx information with fuzzy constrain of carpals. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 45(3), 283–295. <https://doi.org/10.1007/S11517-006-0155-9>
- Huutilainen, E., Jaanimets, R., Valášek, J., Marcián, P., Salmi, M., Tuomi, J., Mäkitie, A., & Wolff, J. (2014). Inaccuracies in additive manufactured medical skull models caused by the DICOM to STL conversion process. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 42(5), e259–e265. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2013.10.001>
- Hutton, T. J., Cunningham, S., & Hammond, P. (2000). An evaluation of active shape models for the automatic identification of cephalometric landmarks. *European Journal of Orthodontics*, 22(5), 499–508. <https://doi.org/10.1093/EJO/22.5.499>
- Iannucci, J. M. ., & Howerton, L. Jansen. (2017). *Dental radiography : principles and techniques*.
https://books.google.com/books/about/Dental_Radiography_E_Book.html?hl=tr&id=u9SZCwAAQBAJ
- Im, J., Cha, J. Y., Lee, K. J., Yu, H. S., & Hwang, C. J. (2014). Comparison of virtual and manual tooth setups with digital and plaster models in extraction cases. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 145(4), 434–442. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2013.12.014>
- Impellizzeri, A., Horodyski, M., De Stefano, A., Palaia, G., Polimeni, A., Romeo, U., Guercio-Monaco, E., & Galluccio, G. (2020). CBCT and Intra-Oral Scanner: The Advantages of 3D Technologies in Orthodontic Treatment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(24), 1–15.
<https://doi.org/10.3390/IJERPH17249428>
- Intraoral digital scanners. (n.d.). Retrieved December 13, 2024, from
https://www.researchgate.net/publication/264431581_Intraoral_digital_scanners
- Introducing Digital Radiography in the Dental Office: An Overview. (n.d.). Retrieved December 15, 2024, from <http://www.cda-adc.ca/jcda/vol-71/issue-9/651.html>

- ISO 5725-1:1994 - Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 1: General principles and definitions. (n.d.). Retrieved December 10, 2024, from <https://www.iso.org/standard/11833.html>
- Jacobson, A. (1995). Radiographic cephalometry : from basics to videoimaging / edited by Alexander Jacobson. 39–40.
https://books.google.com/books/about/Radiographic_Cephalometry.html?hl=tr&id=4AZqAAAAMAAJ
- Jackson, T. H., Mitroff, S. R., Clark, K., Proffit, W. R., Lee, J. Y., & Nguyen, T. T. (2013). Face symmetry assessment abilities: Clinical implications for diagnosing asymmetry. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 144(5), 663–671. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2013.06.020>
- Jacobson, A. (1975). The “Wits” appraisal of jaw disharmony. *American Journal of Orthodontics*, 67(2), 125–138. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(75\)90065-2](https://doi.org/10.1016/0002-9416(75)90065-2)
- Jakobsone, G., Neimane, L., & Krumina, G. (2010). Two- and three-dimensional evaluation of the upper airway after bimaxillary correction of Class III malocclusion. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics*, 110(2), 234–242. <https://doi.org/10.1016/J.TRIPLEO.2010.03.026>
- Jaskari, J., Sahlsten, J., Järnstedt, J., Mehtonen, H., Karhu, K., Sundqvist, O., Hietanen, A., Varjonen, V., Mattila, V., & Kaski, K. (2020). Deep Learning Method for Mandibular Canal Segmentation in Dental Cone Beam Computed Tomography Volumes. *Scientific Reports* 2020 10:1, 10(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62321-3>
- Jayaraman, J., Wong, H. M., King, N. M., & Roberts, G. J. (2013). The French-Canadian data set of Demirjian for dental age estimation: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 20(5), 373–381. <https://doi.org/10.1016/J.JFLM.2013.03.015>
- Jeong, T. (2008). Basic Principles and Applications of Holography. *Fundamentals of Photonics*, 381–417. <https://doi.org/10.1117/3.784938.CH10>
- Jerrold, L. (2015). What record is playing? *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 147(5), 627–631. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2015.01.017>

- Ji, Z., & Leu, M. C. (1989). Design of optical triangulation devices. *Optics & Laser Technology*, 21(5), 339–341. [https://doi.org/10.1016/0030-3992\(89\)90068-6](https://doi.org/10.1016/0030-3992(89)90068-6)
- Joffe, L. (2004). OrthoCAD: digital models for a digital era. *Journal of Orthodontics*, 31(4), 344–347. <https://doi.org/10.1179/146531204225026679>
- Johal, A., & Battagel, J. M. (2001). Current principles in the management of obstructive sleep apnoea with mandibular advancement appliances. *British Dental Journal*, 190(10), 532–536. <https://doi.org/10.1038/SJ.BDJ.4801025>
- Johari, M., Esmacili, F., Andalib, A., Garjani, S., & Saberkari, H. (2017). Detection of vertical root fractures in intact and endodontically treated premolar teeth by designing a probabilistic neural network: an ex vivo study. *Dento Maxillo Facial Radiology*, 46(2). <https://doi.org/10.1259/DMFR.20160107>
- John McCarthy. (n.d.). Retrieved January 8, 2025, from <https://www-formal.stanford.edu/jmc/>
- Jones, L. D., Golan, D., Hanna, S. A., & Ramachandran, M. (2018). Artificial intelligence, machine learning and the evolution of healthcare: A bright future or cause for concern? *Bone & Joint Research*, 7(3), 223. <https://doi.org/10.1302/2046-3758.73.BJR-2017-0147.R1>
- Junqueira, C. H. Z., Janson, G., Junqueira, M. H. Z., Mendes, L. M., Favilla, E. E., & Garib, D. G. (2015). Comparison between full face and hemifacial CBCT cephalograms in clinically symmetrical patients: a pilot study. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 20(2), 83–89. <https://doi.org/10.1590/2176-9451.20.2.083-089.OAR>
- Kalmanson, D., & Stegall, H. F. (1975). Cardiovascular investigations and fuzzy sets theory. *The American Journal of Cardiology*, 35(1), 80–84. [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(75\)90562-7](https://doi.org/10.1016/0002-9149(75)90562-7)
- Kalra, S., Tripathi, T., Rai, P., & Kanase, A. (2014). Evaluation of orthodontic mini-implant placement: a CBCT study. *Progress in Orthodontics*, 15(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/S40510-014-0061-X>
- Kamburoğlu, K., Acar, B., Yakar, E. N., & Paksoy, C. S. (2012). Dentomaksillofasiyal Konik Işın Demetli Bilgisayarlı Tomografi Bölüm 1: Temel Prensipler. *ADO Klinik Bilimler Dergisi*, 6(1), 1125–1136. <https://dergipark.org.tr/pub/adoklinikbilimler/issue/54009/728300>

- Kamio, T., Suzuki, M., Asaumi, R., & Kawai, T. (2020). DICOM segmentation and STL creation for 3D printing: a process and software package comparison for osseous anatomy. *3D Printing in Medicine*, 6(1), 17. <https://doi.org/10.1186/s41205-020-00069-2>
- Kanazawa, E., Sekikawa, M., & Ozaki, T. (1984). Three-dimensional measurements of the occlusal surfaces of upper molars in a Dutch population. *Journal of Dental Research*, 63(11), 1298–1301. <https://doi.org/10.1177/00220345840630110901>
- Kann, B. H., Aneja, S., Loganadane, G. V., Kelly, J. R., Smith, S. M., Decker, R. H., Yu, J. B., Park, H. S., Yarbrough, W. G., Malhotra, A., Burtness, B. A., & Husain, Z. A. (2018). Pretreatment Identification of Head and Neck Cancer Nodal Metastasis and Extranodal Extension Using Deep Learning Neural Networks. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/S41598-018-32441-Y>
- Kapila, S. D., & Nervina, J. M. (2015). CBCT in orthodontics: assessment of treatment outcomes and indications for its use. *Dentomaxillofacial Radiology*, 44(1), 20140282. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20140282>
- Kau, C. H., Olim, S., & Nguyen, J. T. (2011). The Future of Orthodontic Diagnostic Records. *Seminars in Orthodontics*, 1(17), 39–45. <https://doi.org/10.1053/J.SODO.2010.08.008>
- Ke, Y., Zhu, Y., & Zhu, M. (2019). A comparison of treatment effectiveness between clear aligner and fixed appliance therapies. *BMC Oral Health*, 19(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/S12903-018-0695-Z/TABLES/4>
- Keim, R. G., Gottlieb, E. L., Nelson, A. H., & Vogels, D. S. (2008). 2008 JCO study of orthodontic diagnosis and treatment procedures, part 1: results and trends. *Journal of Clinical Orthodontics : JCO*, 42(11), 625–640.
- Kessler, A., Hickel, R., & Reymus, M. (2020). 3D Printing in Dentistry-State of the Art. *Operative Dentistry*, 45(1), 30–40. <https://doi.org/10.2341/18-229-L>
- Khanagar, S. B., Al-ehaideb, A., Maganur, P. C., Vishwanathaiah, S., Patil, S., Baeshen, H. A., Sarode, S. C., & Bhandi, S. (2021). Developments, application, and performance of artificial intelligence in dentistry - A systematic review. *Journal of Dental Sciences*, 16(1), 508–522. <https://doi.org/10.1016/J.JDS.2020.06.019>
- Khosravi, R., Cohanin, B., Hujoel, P., Daher, S., Neal, M., Liu, W., & Huang, G. (2017). Management of overbite with the Invisalign appliance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American*

- Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics, 151(4), 691-699.e2. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2016.09.022>
- Kiliaridis, S., & Kålebo, P. (1991). Masseter muscle thickness measured by ultrasonography and its relation to facial morphology. *Journal of Dental Research*, 70(9), 1262–1265. <https://doi.org/10.1177/00220345910700090601>
- Kim, H. J., & Kim, W. Y. (2007). Computerized Bone Age Assessment Using DCT and LDA. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 4418 LNCS, 440–448. https://doi.org/10.1007/978-3-540-71457-6_40
- Kim, J., Chun, Y. S., & Kim, M. (2018). Accuracy of bracket positions with a CAD/CAM indirect bonding system in posterior teeth with different cusp heights. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 153(2), 298–307. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2017.06.017>
- Kim, J., Heo, G., & Lagravère, M. O. (2014). Accuracy of laser-scanned models compared to plaster models and cone-beam computed tomography. *The Angle Orthodontist*, 84(3), 443–450. <https://doi.org/10.2319/051213-365.1>
- Kim, J., & Lagravère, M. O. (2016). Accuracy of Bolton analysis measured in laser scanned digital models compared with plaster models (gold standard) and cone-beam computer tomography images. *Korean Journal of Orthodontics*, 46(1), 13. <https://doi.org/10.4041/KJOD.2016.46.1.13>
- Kim, S. Y., Shin, Y. S., Jung, H. D., Hwang, C. J., Baik, H. S., & Cha, J. Y. (2018). Precision and trueness of dental models manufactured with different 3-dimensional printing techniques. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 153(1), 144–153. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2017.05.025>
- Kim, Y., Lee, K. J., Sunwoo, L., Choi, D., Nam, C. M., Cho, J., Kim, J., Bae, Y. J., Yoo, R. E., Choi, B. S., Jung, C., & Kim, J. H. (2019). Deep Learning in Diagnosis of Maxillary Sinusitis Using Conventional Radiography. *Investigative Radiology*, 54(1), 7–15. <https://doi.org/10.1097/RLI.0000000000000503>

- Kirzioğlu, Z., & Ceyhan, D. (2012). Accuracy of different dental age estimation methods on Turkish children. *Forensic Science International*, 216(1–3), 61–67.
<https://doi.org/10.1016/J.FORSCIINT.2011.08.018>
- Kise, Y., Ikeda, H., Fujii, T., Fukuda, M., Arijii, Y., Fujita, H., Katsumata, A., & Arijii, E. (2019). Preliminary study on the application of deep learning system to diagnosis of Sjögren's syndrome on CT images. *Dento Maxillo Facial Radiology*, 48(6). <https://doi.org/10.1259/DMFR.20190019>
- Kitai, N., Yasuda, Y., & Takada, K. (2002). A stent fabricated on a selectively colored stereolithographic model for placement of orthodontic mini-implants. *The International journal of adult orthodontics and orthognathic surgery*, 17(4), 264–266.
- Kleinerman, R. A. (2006). Cancer risks following diagnostic and therapeutic radiation exposure in children. *Pediatric Radiology*, 36 Suppl 2(Suppl 2), 121–125.
<https://doi.org/10.1007/S00247-006-0191-5>
- Klinische Kephalometrie für die Bergen-Technik - Asbjørn Hasund - Google Kitaplar. (n.d.). Retrieved December 16, 2024, from
https://books.google.com.cy/books/about/Klinische_Kephalometrie_f%C3%BCr_die_Bergen.html?id=rd3TSgAACAAJ&redir_esc=y
- Knoops, P. G. M., Beaumont, C. A. A., Borghi, A., Rodriguez-Florez, N., Breakey, R. W. F., Rodgers, W., Angullia, F., Jeelani, N. U. O., Schievano, S., & Dunaway, D. J. (2017). Comparison of three-dimensional scanner systems for craniomaxillofacial imaging. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery : JPRAS*, 70(4), 441–449.
<https://doi.org/10.1016/J.BJPS.2016.12.015>
- Knudson, R. C., Meyer, J. B., & Montalvo, R. (1992). Sleep apnea prosthesis for dentate patients. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 68(1), 109–111.
[https://doi.org/10.1016/0022-3913\(92\)90295-L](https://doi.org/10.1016/0022-3913(92)90295-L)
- Koenig, N., Choi, J. Y., McCray, J., Hayes, A., Schneider, P., & Kim, K. B. (2022). Comparison of dimensional accuracy between direct-printed and thermoformed aligners. *Korean Journal of Orthodontics*, 52(4), 249–257. <https://doi.org/10.4041/KJOD21.269>
- Kojima, T., Sohmura, T., Wakabayashi, K., Nagao, M., Nakamura, T., Takashima, F., Takahashi, J., & Maruyama, T. (1999). Development of a new high-speed measuring system to analyze the dental cast form. *Dental Materials Journal*, 18(4), 354–365.
<https://doi.org/10.4012/DMJ.18.354>
- Kök, H., Acilar, A. M., & İzgi, M. S. (2019). Usage and comparison of artificial intelligence algorithms for determination of growth and development by cervical vertebrae stages in

- orthodontics. *Progress in Orthodontics*, 20(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/S40510-019-0295-8/TABLES/5>
- Konvansiyonel ve dijital sefalometrik ölçüm yöntemlerinin karşılaştırılması. (2014). 5(3), 94–97. /en/yayin/detay/171231/konvansiyonel-ve-dijital-sefalometrik-olcum-yontemlerinin-karsilastirilmesi
- Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of Chiropractic Medicine*, 15(2), 155–163. <https://doi.org/10.1016/J.JCM.2016.02.012>
- Koretsi, V., Tingelhoff, L., Proff, P., & Kirschneck, C. (2018). Intra-observer reliability and agreement of manual and digital orthodontic model analysis. *European Journal of Orthodontics*, 40(1), 52–57. <https://doi.org/10.1093/EJO/CJX040>
- Kriegeskorte, N., & Golan, T. (2019). Neural network models and deep learning. *Current Biology : CB*, 29(7), R231–R236. <https://doi.org/10.1016/J.CUB.2019.02.034>
- Krimmel, M., Kluba, S., Bacher, M., Dietz, K., & Reinert, S. (2006). Digital surface photogrammetry for anthropometric analysis of the cleft infant face. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal : Official Publication of the American Cleft Palate-Craniofacial Association*, 43(3), 350–355. <https://doi.org/10.1597/05-077.1>
- Kurtulmuş, H., Çöttert, S., & Tuncer, A. V. (n.d.). Obstrüktif Uyku Apnesinin Tanısında Lateral Sefalometrik Yaklaşım ve Mandibular İlerletici Splint ile Tedavisi. 28(2), 113–122.
- Kuwada, C., Arijji, Y., Fukuda, M., Kise, Y., Fujita, H., Katsumata, A., & Arijji, E. (2020). Deep learning systems for detecting and classifying the presence of impacted supernumerary teeth in the maxillary incisor region on panoramic radiographs. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 130(4), 464–469. <https://doi.org/10.1016/J.OOOO.2020.04.813>
- Kuwana, R., Arijji, Y., Fukuda, M., Kise, Y., Nozawa, M., Kuwada, C., Muramatsu, C., Katsumata, A., Fujita, H., & Arijji, E. (2021). Performance of deep learning object detection technology in the detection and diagnosis of maxillary sinus lesions on panoramic radiographs. *Dento Maxillo Facial Radiology*, 50(1). <https://doi.org/10.1259/DMFR.20200171>

- Kwak, G. H., Kwak, E. J., Song, J. M., Park, H. R., Jung, Y. H., Cho, B. H., Hui, P., & Hwang, J. J. (2020). Automatic mandibular canal detection using a deep convolutional neural network. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/S41598-020-62586-8>
- Landin, M., Jadhav, A., Yadav, S., & Tadinada, A. (2015). A comparative study between currently used methods and Small Volume-Cone Beam Tomography for surgical placement of mini implants. *The Angle Orthodontist*, 85(3), 446–453. <https://doi.org/10.2319/042214-298.1>
- Lavin, A., & Gray, S. (n.d.). Fast Algorithms for Convolutional Neural Networks.
- Lee, J. H., Kim, D. H., & Jeong, S. N. (2020). Diagnosis of cystic lesions using panoramic and cone beam computed tomographic images based on deep learning neural network. *Oral Diseases*, 26(1), 152–158. <https://doi.org/10.1111/ODI.13223>
- Lee, J. H., Kim, D. H., Jeong, S. N., & Choi, S. H. (2018). Detection and diagnosis of dental caries using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. *Journal of Dentistry*, 77, 106–111. <https://doi.org/10.1016/J.JDENT.2018.07.015>
- Lee, K. S., Jung, S. K., Ryu, J. J., Shin, S. W., & Choi, J. (2020). Evaluation of Transfer Learning with Deep Convolutional Neural Networks for Screening Osteoporosis in Dental Panoramic Radiographs. *Journal of Clinical Medicine*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/JCM9020392>
- Lee, M. S., Chung, D. H., Lee, J. W., & Cha, K. S. (2010). Assessing soft-tissue characteristics of facial asymmetry with photographs. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 138(1), 23–31. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2008.08.029>
- Leith, E. N., & Upatnieks, J. (1965). Photography by Laser. *Scientific American*, 212(6), 24–35. <https://doi.org/10.1038/SCIENTIFICAMERICAN0665-24>
- Leonardi, R., Giordano, D., Maiorana, F., & Spampinato, C. (2008). Automatic cephalometric analysis. *The Angle Orthodontist*, 78(1), 145–151. <https://doi.org/10.2319/120506-491.1>
- Lerner, H., Nagy, K., Luongo, F., Luongo, G., Admakin, O., & Mangano, F. (2021). Tolerances in the production of six different implant scanbodies: a comparative study.

- The International Journal of Prosthodontics, 34(5), 591–599.
<https://doi.org/10.11607/IJP.7379>
- Li, W., Kuang, W., Li, Y., Li, Y. J., & Ye, W. P. (2007). Clinical X-ray image based tooth decay diagnosis using SVM. Proceedings of the Sixth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, ICMLC 2007, 3, 1616–1619.
<https://doi.org/10.1109/ICMLC.2007.4370404>
- Liang, K., Zhang, L., Yang, H., Yang, Y., Chen, Z., & Xing, Y. (2019). Metal artifact reduction for practical dental computed tomography by improving interpolation-based reconstruction with deep learning. Medical Physics, 46(12), e823–e834.
<https://doi.org/10.1002/MP.13644>
- Liaw, C. Y., & Guvendiren, M. (2017). Current and emerging applications of 3D printing in medicine. Biofabrication, 9(2). <https://doi.org/10.1088/1758-5090/AA7279>
- Lin, L., Fang, Y., Liao, Y., Chen, G., Gao, C., & Zhu, P. (2019). 3D Printing and Digital Processing Techniques in Dentistry: A Review of Literature. Advanced Engineering Materials, 21(6). <https://doi.org/10.1002/ADEM.201801013>
- Lin, P. L., Huang, P. Y., & Huang, P. W. (2017). Automatic methods for alveolar bone loss degree measurement in periodontitis periapical radiographs. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 148, 1–11. <https://doi.org/10.1016/J.CMPB.2017.06.012>
- Little, R. M. (1975). The irregularity index: a quantitative score of mandibular anterior alignment. American Journal of Orthodontics, 68(5), 554–563.
[https://doi.org/10.1016/0002-9416\(75\)90086-X](https://doi.org/10.1016/0002-9416(75)90086-X)
- Liu, J., Chen, Y., Li, S., Zhao, Z., & Wu, Z. (2021). Machine learning in orthodontics: Challenges and perspectives. Advances in Clinical and Experimental Medicine : Official Organ Wroclaw Medical University, 30(10). <https://doi.org/10.17219/ACEM/138702>
- Liu, J. K., Chen, Y. T., & Cheng, K. S. (2000). Accuracy of computerized automatic identification of cephalometric landmarks. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics, 118(5), 535–540. <https://doi.org/10.1067/MOD.2000.110168>
- Logozzo, S., Zanetti, E. M., Franceschini, G., Kilpelä, A., & Mäkyne, A. (2014). Recent advances in dental optics – Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. Optics

and Lasers in Engineering, 54, 203–221.

<https://doi.org/10.1016/J.OPTLASENG.2013.07.017>

Lund, H., Gröndahl, K., & Gröndahl, H. G. (2010). Cone beam computed tomography for assessment of root length and marginal bone level during orthodontic treatment. *The Angle Orthodontist*, 80(3), 466–473. <https://doi.org/10.2319/072909-427.1>

Macchi, A., Carrafiello, G., Cacciafesta, V., & Norcini, A. (2006). Three-dimensional digital modeling and setup. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 129(5), 605–610.

<https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2006.01.010>

Maciej Serda, Becker, F. G., Cleary, M., Team, R. M., Holtermann, H., The, D., Agenda, N., Science, P., Sk, S. K., Hinnebusch, R., Hinnebusch A, R., Rabinovich, I., Olmert, Y., Uld, D. Q. G. L. Q., Ri, W. K. H. U., Lq, V., Frxqw, W. K. H., Zklfk, E., Edvhg, L. V, ... فاطمی, ح. (2001). Türk Erkeklerinde Üst Ekstremit'e Ait Bazı Ölçüm Ve Oranlar. *T.PEŞTEMALCI, G.KAHRAMAN. Morfoloji Dergisi*, 9(2), 343–354.

<https://doi.org/10.2/JQUERY.MIN.JS>

Maciej Serda, Becker, F. G., Cleary, M., Team, R. M., Holtermann, H., The, D., Agenda, N., Science, P., Sk, S. K., Hinnebusch, R., Hinnebusch A, R., Rabinovich, I., Olmert, Y., Uld, D. Q. G. L. Q., Ri, W. K. H. U., Lq, V., Frxqw, W. K. H., Zklfk, E., Edvhg, L. V, ... فاطمی, ح. (2015). Ortodontide konik ışınli bilgisayarlı tomografi endikasyonları. *Uniwersytet Śląski*, 7(1), 343–354. <https://doi.org/10.2/JQUERY.MIN.JS>

Mah, J. K., Danforth, R. A., Bumann, A., & Hatcher, D. (2003). Radiation absorbed in maxillofacial imaging with a new dental computed tomography device. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics*, 96(4), 508–513. [https://doi.org/10.1016/S1079-2104\(03\)00350-0](https://doi.org/10.1016/S1079-2104(03)00350-0)

Mah, J. K., Huang, J. C., & Choo, H. R. (2010). Practical applications of cone-beam computed tomography in orthodontics. *Journal of the American Dental Association* (1939), 141 Suppl 3(10 SUPPL.), 7S-13S.

<https://doi.org/10.14219/JADA.ARCHIVE.2010.0361>

- Mai, H. N., Lee, K. B., & Lee, D. H. (2017). Fit of interim crowns fabricated using photopolymer-jetting 3D printing. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 118(2), 208–215. <https://doi.org/10.1016/J.PROSDENT.2016.10.030>
- Mangano, F., Gandolfi, A., Luongo, G., & Logozzo, S. (2017). Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. *BMC Oral Health*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/S12903-017-0442-X>
- Mangano, F., Lerner, H., Margiani, B., Solop, I., Latuta, N., & Admakin, O. (2020). Congruence between Meshes and Library Files of Implant Scanbodies: An In Vitro Study Comparing Five Intraoral Scanners. *Journal of Clinical Medicine*, 9(7), 1–18. <https://doi.org/10.3390/JCM9072174>
- Månsson, S., Johansson, E., Magnusson, P., Chai, C. M., Hansson, G., Petersson, J. S., Ståhlberg, F., & Golman, K. (2006). 13C imaging-a new diagnostic platform. *European Radiology*, 16(1), 57–67. <https://doi.org/10.1007/S00330-005-2806-X>
- Marcel, T. J., & Scholz, R. P. (2001). Three-dimensional on-screen virtual models. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 119(6), 666–668. <https://doi.org/10.1067/MOD.2001.116502>
- Masuoka, N., Momoi, Y., Ariji, Y., Nawa, H., Muramatsu, A., Goto, S., & Ariji, E. (2005). Can cephalometric indices and subjective evaluation be consistent for facial asymmetry?. *The Angle orthodontist*, 75(4), 651–655. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2005\)75\[651:CCIASE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2005)75[651:CCIASE]2.0.CO;2)
- Masuoka, N., Muramatsu, A., Ariji, Y., Nawa, H., Goto, S., & Ariji, E. (2007). Discriminative thresholds of cephalometric indexes in the subjective evaluation of facial asymmetry. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 131(5), 609–613. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2005.07.020>
- Mayers, M., Firestone, A. R., Rashid, R., & Vig, K. W. L. (2005). Comparison of peer assessment rating (PAR) index scores of plaster and computer-based digital models. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of*

- the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics, 128(4), 431–434. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2004.04.035>
- Mccarthy, J. (2007). WHAT IS ARTIFICIAL INTELLIGENCE? <http://www-formal.stanford.edu/jmc/>
- McNamara, J. A. (1984). A method of cephalometric evaluation. *American Journal of Orthodontics*, 86(6), 449–469. [https://doi.org/10.1016/S0002-9416\(84\)90352-X](https://doi.org/10.1016/S0002-9416(84)90352-X)
- MENTEŞ, A. R. (2000). Applicability of Demirjian s standards to the Turkish children s dental age estimation. <https://hdl.handle.net/11424/297796>
- Mermelstein, M. S., Feldkhun, D. L., Shirley, L. G., Mermelstein, M. S., Feldkhun, D. L., & Shirley, L. G. (2000). Video-rate surface profiling with acousto-optic accordian fringe interferometry. *OptEn*, 39(1), 106–113. <https://doi.org/10.1117/1.602342>
- Mikulka, J., Gescheidtová, E., Kabrda, M., & Peřina, V. (n.d.). Classification of Jaw Bone Cysts and Necrosis via the Processing of Orthopantomograms.
- Minnema, J., van Eijnatten, M., Hendriksen, A. A., Liberton, N., Pelt, D. M., Batenburg, K. J., Forouzanfar, T., & Wolff, J. (2019). Segmentation of dental cone-beam CT scans affected by metal artifacts using a mixed-scale dense convolutional neural network. *Medical Physics*, 46(11), 5027–5035. <https://doi.org/10.1002/MP.13793>
- Mol, A., & van der Stelt, P. F. (1992). Application of computer-aided image interpretation to the diagnosis of periapical bone lesions. *Dento Maxillo Facial Radiology*, 21(4), 190–194. <https://doi.org/10.1259/DMFR.21.4.1299632>
- Morin, D. R. (1992). The patient's records and the defense of dental malpractice claims. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 102(6), 569–570. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(05\)80810-8](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(05)80810-8)
- Mostafa, Y. A., El-Mangoury, N. H., Salah, A., & Rasmy, E. M. (1990). Automated cephalographic soft-tissue analysis. *Journal of Clinical Orthodontics : JCO*, 24(9), 539–543.
- Moyers, R. E., & Bookstein, F. L. (1979). The inappropriateness of conventional cephalometrics. *American Journal of Orthodontics*, 75(6), 599–617. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(79\)90093-9](https://doi.org/10.1016/0002-9416(79)90093-9)

- Mozzo, P., Procacci, C., Tacconi, A., Tinazzi Martini, P., & Bergamo Andreis, I. A. (1998). A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *European Radiology*, 8(9), 1558–1564.
<https://doi.org/10.1007/S003300050586>
- Mullen, S. R., Martin, C. A., Ngan, P., & Gladwin, M. (2007). Accuracy of space analysis with emodels and plaster models. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 132(3), 346–352.
<https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2005.08.044>
- Mullins, M. E., Mehta, A., Patel, H., McLoud, T. C., & Novelline, R. A. (2001). Impact of PACS on the education of radiology residents: the residents' perspective. *Academic Radiology*, 8(1), 67–73. [https://doi.org/10.1016/S1076-6332\(03\)80745-6](https://doi.org/10.1016/S1076-6332(03)80745-6)
- Murata, M., Arijji, Y., Ohashi, Y., Kawai, T., Fukuda, M., Funakoshi, T., Kise, Y., Nozawa, M., Katsumata, A., Fujita, H., & Arijji, E. (2019). Deep-learning classification using convolutional neural network for evaluation of maxillary sinusitis on panoramic radiography. *Oral Radiology*, 35(3), 301–307. <https://doi.org/10.1007/S11282-018-0363-7>
- Naeem, O. A., Bencharit, S., Yang, I. H., Stilianoudakis, S. C., Carrico, C., & Tüfekçi, E. (2022). Comparison of 3-dimensional printing technologies on the precision, trueness, and accuracy of printed retainers. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 161(4), 582–591.
<https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2021.03.016>
- Naidu, D., & Freer, T. J. (2013). Validity, reliability, and reproducibility of the iOC intraoral scanner: a comparison of tooth widths and Bolton ratios. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 144(2), 304–310. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2013.04.011>
- Nalcaci, R., Topcuoglu, T., & Ozturk, F. (2013). Comparison of Bolton analysis and tooth size measurements obtained using conventional and three-dimensional orthodontic

- models. *European Journal of Dentistry*, 7(Suppl 1). <https://doi.org/10.4103/1305-7456.119077>
- Nanda, Ravindra. (2015). Esthetics and biomechanics in orthodontics. 612.
https://books.google.com/books/about/Esthetics_and_Biomechanics_in_Orthodonti.html?hl=tr&id=_XDkAwAAQBAJ
- Nasef, A. A., El-Beialy, A. R., & Mostafa, Y. A. (2014). Virtual techniques for designing and fabricating a retainer. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 146(3), 394–398.
<https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2014.01.025>
- Nejat Erverdi. (n.d.). Çağdaş Ortodonti (N. Erverdi, Ed.). Quintessence Yayıncılık.
- Nielsen, M. (n.d.). Neural Networks and Deep Learning. Retrieved January 6, 2025, from www.liuhao.me
- Nouri, M., Abdi, A. H., Farzan, A., Mokhtarpour, F., & Baghban, A. A. (2014). Measurement of the buccolingual inclination of teeth: manual technique vs 3-dimensional software. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 146(4), 522–529. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2014.06.018>
- Nulty, A. (2022). A comparison of trueness and precision of 12 3D printers used in dentistry. *BDJ Open* 2022 8:1, 8(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41405-022-00108-6>
- Nur, B., Kusgoz, A., Bayram, M., Celikoglu, M., Nur, M., Kayipmaz, S., & Yildirim, S. (2012). Validity of demirjian and nolla methods for dental age estimation for Northeastern Turkish children aged 5–16 years old. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*, 17(5), e871. <https://doi.org/10.4317/MEDORAL.18034>
- Okada, K., Rysavy, S., Flores, A., & Linguraru, M. G. (2015). Noninvasive differential diagnosis of dental periapical lesions in cone-beam CT scans. *Medical Physics*, 42(4), 1653–1665. <https://doi.org/10.1118/1.4914418>
- Okunami, T. R., Kusnoto, B., BeGole, E., Evans, C. A., Sadowsky, C., & Fadavi, S. (2007). Assessing the American Board of Orthodontics objective grading system: digital vs plaster dental casts. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent*

Societies, and the American Board of Orthodontics, 131(1), 51–56.

<https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2005.04.042>

Orhan, K., Bilgir, E., Bayrakdar, I. S., Ezhov, M., Gusarev, M., & Shumilov, E. (2021).

Evaluation of artificial intelligence for detecting impacted third molars on cone-beam computed tomography scans. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*, 122(4), 333–337. <https://doi.org/10.1016/J.JORMAS.2020.12.006>

ORMCO CORPORATION INTRODUCES LYTHOSTM DIGITAL IMPRESSION

SYSTEM. (n.d.). Retrieved December 12, 2024, from

<https://orthopracticeus.com/industry-news/ormco-corporation-introduces-lythos-digital-impression-system/>

Orthodontics. Current principles & techniques, 4th edition (2005): Authors: Thomas M.

Graber, Robert L. Vanarsdall Jr and Katherine W. L. Vig * Publisher: Elsevier, St Louis, Missouri, USA * Price: {pound}117.00 * ISBN: 0-323-02621-4. (n.d.). Retrieved December 16, 2024, from

https://www.researchgate.net/publication/30955620_Orthodontics_Current_principles_techniques_4th_edition_2005_Authors_Thomas_M_Graber_Robert_L_Vanarsdall_Jr_and_Katherine_W_L_Vig_Publisher_Elsevier_St_Louis_Missouri_USA_Price_pound117_00_ISBN_0-323-02

Ortodonti: anomaliler, sefalometri, etoloji, büyüme ve gelişim, tanı - Mustafa Ülgen - Google

Kitaplar. (n.d.). Retrieved December 15, 2024, from

https://books.google.com.cy/books/about/Ortodonti.html?id=12LtZwEACAAJ&redir_esc=y

Ortodontide Prensipler ve Pratikler. (n.d.). Retrieved December 6, 2024, from

<https://www.nobelkitabevi.com.tr/dis-hekimligi-kitaplari/11685-ortodontide-prensipler-ve-pratikler-9786058639263.html>

O'Shea, K., & Nash, R. (2015). An Introduction to Convolutional Neural Networks.

International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, 10(12), 943–947. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.47789>

Oz, U., Orhan, K., Aksoy, S., Ciftci, F., Özdoğanoglu, T., & Rasmussen, F. (2016).

Association between pterygoid hamulus length and apnea hypopnea index in patients with obstructive sleep apnea: a combined three-dimensional cone beam computed

- tomography and polysomnographic study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 121(3), 330–339. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2015.10.032>
- Paddock, S. W., & Eliceiri, K. W. (2014). Laser scanning confocal microscopy: history, applications, and related optical sectioning techniques. *Methods in Molecular Biology* (Clifton, N.J.), 1075, 9–47. https://doi.org/10.1007/978-1-60761-847-8_2
- Paredes, V., Gandia, J. L., & Cibrian, R. (2005). New, fast, and accurate procedure to calibrate a 2-dimensional digital measurement method. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 127(4), 518–519. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2004.11.025>
- Paredes, V., Gandia, J. L., & Cibrian, R. (2006). Determination of Bolton tooth-size ratios by digitization, and comparison with the traditional method. *European Journal of Orthodontics*, 28(2), 120–125. <https://doi.org/10.1093/EJO/CJI077>
- Park, J. H., Hwang, H. W., Moon, J. H., Yu, Y., Kim, H., Her, S. B., Srinivasan, G., Aljanabi, M. N. A., Donatelli, R. E., & Lee, S. J. (2019). Automated identification of cephalometric landmarks: Part 1—Comparisons between the latest deep-learning methods YOLOV3 and SSD. *The Angle Orthodontist*, 89(6), 903. <https://doi.org/10.2319/022019-127.1>
- Pathak, S., Mishra, N., Rastogi, M. K., & Sharma, S. (2014). Significance of radiological variables studied on orthopantomogram to predict post-operative inferior alveolar nerve paresthesia after third molar extraction. *Journal of Clinical and Diagnostic Research : JCDR*, 8(5), 62–64. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2014/8392.4399>
- Pauwels, R., Beinsberger, J., Collaert, B., Theodorakou, C., Rogers, J., Walker, A., Cockmartin, L., Bosmans, H., Jacobs, R., Bogaerts, R., & Horner, K. (2012). Effective dose range for dental cone beam computed tomography scanners. *European Journal of Radiology*, 81(2), 267–271. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2010.11.028>
- Peluso, M. J., Josell, S. D., Levine, S. W., & Lorei, B. J. (2004). Digital models: An introduction. *Seminars in Orthodontics*, 10(3), 226–238. <https://doi.org/10.1053/j.sodo.2004.05.007>
- Perinetti, G., Contardo, L., Gabrieli, P., Baccetti, T., & Di Lenarda, R. (2012). Diagnostic performance of dental maturity for identification of skeletal maturation phase. *European Journal of Orthodontics*, 34(4), 487–492. <https://doi.org/10.1093/EJO/CJR027>

- Perspectives in the Clinical Application of Cephalometrics | The Angle Orthodontist. (n.d.). Retrieved December 17, 2024, from <https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article/51/2/115/56838/Perspectives-in-the-Clinical-Application-of>
- Physiologic Timing of Orthodontic Treatment | The Angle Orthodontist. (n.d.). Retrieved March 30, 2025, from <https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article/50/4/322/56871/Physiologic-Timing-of-Orthodontic-Treatment>
- Pirim, Arş. Gör. H. (2006). YAPAY ZEKA. Yaşar Üniversitesi E-Dergisi, 1(1), 81–93. <https://doi.org/10.19168/JYU.72783>
- Podoleanu, A. G. (2005). Optical coherence tomography. *British Journal of Radiology*, 78(935), 976–988. <https://doi.org/10.1259/BJR/55735832>
- Poedjiastoeti, W., & Suebnukarn, S. (2018). Application of Convolutional Neural Network in the Diagnosis of Jaw Tumors. *Healthcare Informatics Research*, 24(3), 236–241. <https://doi.org/10.4258/HIR.2018.24.3.236>
- Prajapati, S. A., Nagaraj, R., & Mitra, S. (2017). Classification of dental diseases using CNN and transfer learning. 5th International Symposium on Computational and Business Intelligence, ISCBI 2017, 70–74. <https://doi.org/10.1109/ISCBI.2017.8053547>
- Prati, F., Regar, E., Mintz, G. S., Arbustini, E., Di Mario, C., Jang, I. K., Akasaka, T., Costa, M., Guagliumi, G., Grube, E., Ozaki, Y., Pinto, F., & Serruys, P. W. J. (2010). Expert review document on methodology, terminology, and clinical applications of optical coherence tomography: physical principles, methodology of image acquisition, and clinical application for assessment of coronary arteries and atherosclerosis. *European Heart Journal*, 31(4), 401–415. <https://doi.org/10.1093/EURHEARTJ/EHP433>
- Proffit, W. R. ., Fields, H. W. ., & Sarver, D. M. . (2007). Contemporary orthodontics. 751.
- Putra, R. H., Doi, C., Yoda, N., Astuti, E. R., & Sasaki, K. (2022). Current applications and development of artificial intelligence for digital dental radiography. *Dento Maxillo Facial Radiology*, 51(1). <https://doi.org/10.1259/DMFR.20210197>
- Qin, X., & Wang, Z. (2019). NASNet: A Neuron Attention Stage-by-Stage Net for Single Image Deraining. <https://arxiv.org/abs/1912.03151v2>
- Qiu, L., Haruyama, N., Suzuki, S., Yamada, D., Obayashi, N., Kurabayashi, T., & Moriyama, K. (2012). Accuracy of orthodontic miniscrew implantation guided by stereolithographic

- surgical stent based on cone-beam CT-derived 3D images. *The Angle Orthodontist*, 82(2), 284–293. <https://doi.org/10.2319/033111-231.1>
- Quimby, M. L., Vig, K. W. L., Rashid, R. G., & Firestone, A. R. (2004). The accuracy and reliability of measurements made on computer-based digital models. *The Angle Orthodontist*, 74(3), 298–303. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2004\)074<0298:TAAROM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2004)074<0298:TAAROM>2.0.CO;2)
- Radeke, J., Von Der Wense, C., & Lapatki, B. G. (2014). Comparison of orthodontic measurements on dental plaster casts and 3D scans. *Journal of Orofacial Orthopedics = Fortschritte Der Kieferorthopadie : Organ/Official Journal Deutsche Gesellschaft Fur Kieferorthopadie*, 75(4), 264–274. <https://doi.org/10.1007/S00056-014-0217-9>
- Radiographic Atlas of Skeletal Development of the Hand and Wrist: Copy Requests | Stanford University Press. (n.d.). Retrieved December 16, 2024, from <https://www.sup.org/books/science/radiographic-atlas-skeletal-development-hand-and-wrist/desk-examination-copy-requests>
- Radiographic Evaluation of Skeletal Maturation | The Angle Orthodontist. (n.d.). Retrieved March 30, 2025, from <https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article/52/2/88/56416/Radiographic-Evaluation-of-Skeletal-Maturation>
- Radwan, H. A., Alsharif, A. T., Alsharif, M. T., Aloufi, M. R., & Alshammari, B. S. (2023). Digital technologies in dentistry in Saudi Arabia: Perceptions, practices and challenges. *https://doi.org/10.1177/20552076231197095*, 9. <https://doi.org/10.1177/20552076231197095>
- Radyografi ve Diş hekimliğinde İleri Görüntüleme Yöntemleri, D., Keleş Evlice, B., Öztunç, H., Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ç., & Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı, A. (2013). Dijital Radyografi ve Diş hekimliğinde İleri Görüntüleme Yöntemleri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 22(2), 230–238. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/aktd/issue/2208/29369>
- Rangel, F. A., Maal, T. J. J., Bergé, S. J., van Vlijmen, O. J. C., Plooi, J. M., Schutyser, F., & Kuijpers-Jagtman, A. M. (2008). Integration of digital dental casts in 3-dimensional facial photographs. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 134(6), 820–826. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2007.11.026>

- Redmond, W. R., Redmond, W. J., & Redmond, M. J. (2000). Clinical implications of digital orthodontics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 117(2), 240–241. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(00\)70049-7](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(00)70049-7)
- Relations Between Cervical Vertebral Maturation And Chronological Age – Romanian Journal of Oral Rehabilitation. (n.d.). Retrieved December 16, 2024, from <https://rjor.ro/relations-between-cervical-vertebral-maturation-and-chronological-age/>
- Relationships Between Dental and Skeletal Maturity in Turkish Subjects | The Angle Orthodontist. (n.d.). Retrieved March 30, 2025, from <https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article/74/5/657/58034/Relationships-Between-Dental-and-Skeletal-Maturity>
- Renne, W., Ludlow, M., Fryml, J., Schurch, Z., Mennito, A., Kessler, R., & Lauer, A. (2017). Evaluation of the accuracy of 7 digital scanners: An in vitro analysis based on 3-dimensional comparisons. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 118(1), 36–42. <https://doi.org/10.1016/J.PROSDENT.2016.09.024>
- Reproducibility of Cephalometric Landmarks and Errors of Measurements of Cephalometric Cranial Distances | The Angle Orthodontist. (n.d.). Retrieved March 30, 2025, from <https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article/44/1/56/56492/Reproducibility-of-Cephalometric-Landmarks-and>
- Resultados de una encuesta realizada entre ortodoncistas exclusivos españoles en el año 2003. (2004). *Revista Española de Ortodoncia*, 34(3).
- Reuschl, R. P., Heuer, W., Stiesch, M., Wenzel, D., & Dittmer, M. P. (2016). Reliability and validity of measurements on digital study models and plaster models. *European Journal of Orthodontics*, 38(1), 22–26. <https://doi.org/10.1093/EJO/CJV001>
- Rheude, B., Sadowsky, P. L., Ferriera, A., & Jacobson, A. (2005). An evaluation of the use of digital study models in orthodontic diagnosis and treatment planning. *The Angle orthodontist*, 75(3), 300–304. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2005\)75\[300:AEOTUO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2005)75[300:AEOTUO]2.0.CO;2)
- Ricketts, R. M. (1960). A foundation for cephalometric communication. *American Journal of Orthodontics*, 46(5), 330–357. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(60\)90047-6](https://doi.org/10.1016/0002-9416(60)90047-6)

- Ricketts, R. M., Bench, R. W., Hilgers, J. J., & Schulhof, R. (1972). An overview of computerized cephalometrics. *American Journal of Orthodontics*, 61(1), 1–28.
[https://doi.org/10.1016/0002-9416\(72\)90172-8](https://doi.org/10.1016/0002-9416(72)90172-8)
- Ronald L Eisenberg. (1992). *Radiology : an illustrated history* St Louis, Mosby Yearbook, 1992. 606. <https://search.worldcat.org/title/24468177>
- Rosati, R., De Menezes, M., Rossetti, A., Sforza, C., & Ferrario, V. F. (2010). Digital dental cast placement in 3-dimensional, full-face reconstruction: a technical evaluation. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 138(1), 84–88. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2009.10.035>
- Rossini, G., Parrini, S., Castroflorio, T., Deregibus, A., & Debernardi, C. L. (2016). Diagnostic accuracy and measurement sensitivity of digital models for orthodontic purposes: A systematic review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 149(2), 161–170.
<https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2015.06.029>
- Rydén, H., Bjelkhagen, H., & Mårtensson, B. (1982). Tooth position measurements on dental casts using holographic images. *American Journal of Orthodontics*, 81(4), 310–313.
[https://doi.org/10.1016/0002-9416\(82\)90217-2](https://doi.org/10.1016/0002-9416(82)90217-2)
- Sachan, K., Sharma, V. P., & Tandon, P. (2011). A correlative study of dental age and skeletal maturation. *Indian Journal of Dental Research : Official Publication of Indian Society for Dental Research*, 22(6), 882. <https://doi.org/10.4103/0970-9290.94698>
- Sadetzki, S. (2007). Excess lifetime cancer mortality risk attributed to radiation exposure from pediatric computed tomography scan. *Israel Medical Association Journal*, 9(8), 607–609.
- Şahin Sağlam, A. M., & Gazilerli, Ü. (2002). The relationship between dental and skeletal maturity. *Journal of Orofacial Orthopedics = Fortschritte Der Kieferorthopädie : Organ/Official Journal Deutsche Gesellschaft Fur Kieferorthopädie*, 63(6), 454–462.
<https://doi.org/10.1007/S00056-002-0029-1>

- Sandler, J., & Murray, A. (2010). Clinical photography in an orthodontic practice environment part 1. *Orthodontic Update*, 3(3), 70–75.
<https://doi.org/10.12968/ORTU.2010.3.3.70>
- Santoro, M., Galkin, S., Teredesai, M., Nicolay, O. F., & Cangialosi, T. J. (2003). Comparison of measurements made on digital and plaster models. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 124(1), 101–105.
[https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(03\)00152-5](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(03)00152-5)
- Sassouni, V. (1958). Diagnosis and treatment planning via roentgenographic cephalometry. *American Journal of Orthodontics*, 44(6), 433–463. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(58\)90003-4](https://doi.org/10.1016/0002-9416(58)90003-4)
- Sayinsu, K., Isik, F., Trakyalı, G., & Arun, T. (2007). An evaluation of the errors in cephalometric measurements on scanned cephalometric images and conventional tracings. *European Journal of Orthodontics*, 29(1), 105–108.
<https://doi.org/10.1093/EJO/CJL065>
- Scarfe, W. C., Li, Z., Aboelmaaty, W., Scott, S. A., & Farman, A. G. (2012). Maxillofacial cone beam computed tomography: essence, elements and steps to interpretation. *Australian Dental Journal*, 57 Suppl 1, 46–60. <https://doi.org/10.1111/J.1834-7819.2011.01657.X>
- Schirmer, U. R., & Wiltshire, W. A. (1997). Manual and computer-aided space analysis: a comparative study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 112(6), 676–680.
[https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(97\)70234-8](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(97)70234-8)
- Schmidhuber, J. (2015). Deep learning in neural networks: An overview. *Neural Networks*, 61, 85–117. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2014.09.003>
- Schmidt, A., Benedickt, C. R., Schlenz, M. A., Rehmann, P., & Wöstmann, B. (2020). Torsion and linear accuracy in intraoral scans obtained with different scanning principles. *Journal of Prosthodontic Research*, 64(2), 167–174.
<https://doi.org/10.1016/J.JPOR.2019.06.006>

- Schulz, H., & Behnke, S. (2012). Deep Learning: Layer-Wise Learning of Feature Hierarchies. *KI - Kunstliche Intelligenz*, 26(4), 357–363.
<https://doi.org/10.1007/S13218-012-0198-Z/FIGURES/4>
- Shahidi, S., Oshagh, M., Gozin, F., Salehi, P., & Danaei, S. M. (2013). Accuracy of computerized automatic identification of cephalometric landmarks by a designed software. *Dento Maxillo Facial Radiology*, 42(1).
<https://doi.org/10.1259/DMFR.20110187>
- Sheridan, J. J. (2009). The readers' corner. *Journal of Clinical Orthodontics : JCO*, 43(9), 577–579.
- Shotton, D. M. (1989). Confocal scanning optical microscopy and its applications for biological specimens. *Journal of Cell Science*, 94(2), 175–206.
<https://doi.org/10.1242/JCS.94.2.175>
- Silva, M. A. G., Wolf, U., Heinicke, F., Bumann, A., Visser, H., & Hirsch, E. (2008). Cone-beam computed tomography for routine orthodontic treatment planning: A radiation dose evaluation. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 133(5), 640.e1-640.e5. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2007.11.019>
- Singh, P., & Sehgal, P. (2017). Automated caries detection based on Radon transformation and DCT. *International Conference on Computing Communication and Networking Technologies*. <https://doi.org/10.1109/ICCCNT.2017.8204030>
- Sjögren, A. P. G., Lindgren, J. E., & Huggare, J. Å. V. (2010). Orthodontic study cast analysis--reproducibility of recordings and agreement between conventional and 3D virtual measurements. *Journal of Digital Imaging*, 23(4), 482–492.
<https://doi.org/10.1007/S10278-009-9211-Y>
- Son, K., Lee, J. H., & Lee, K. B. (2021). Comparison of Intaglio Surface Trueness of Interim Dental Crowns Fabricated with SLA 3D Printing, DLP 3D Printing, and Milling Technologies. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, 9(8).
<https://doi.org/10.3390/HEALTHCARE9080983>
- Steiner, C. C. (1953). Cephalometrics for you and me. *American Journal of Orthodontics*, 39(10), 729–755. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(53\)90082-7](https://doi.org/10.1016/0002-9416(53)90082-7)
- Stevens, D. R., Flores-Mir, C., Nebbe, B., Raboud, D. W., Heo, G., & Major, P. W. (2006). Validity, reliability, and reproducibility of plaster vs digital study models: comparison of peer assessment rating and Bolton analysis and their constituent measurements.

- American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics, 129(6), 794–803. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2004.08.023>
- Sunali, D., Khanna, S., Dhaimade, P. A., & Khanna, S. (2017). Artificial Intelligence: Transforming Dentistry Today. *Indian Journal of Basic and Applied Medical Research*, 6, 161–167. www.ijbamr.com
- Surgical-orthodontic Treatment - William R. Proffit, Raymond P. White - Google Kitaplar. (n.d.). Retrieved December 16, 2024, from https://books.google.com.cy/books/about/Surgical_orthodontic_Treatment.html?id=LiNqAAAAMAAJ&redir_esc=y
- Swennen, G. R. J., & Schutyser, F. (2006). Three-dimensional cephalometry: spiral multi-slice vs cone-beam computed tomography. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 130(3), 410–416. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2005.11.035>
- Syrek, A., Reich, G., Ranftl, D., Klein, C., Cerny, B., & Brodesser, J. (2010). Clinical evaluation of all-ceramic crowns fabricated from intraoral digital impressions based on the principle of active wavefront sampling. *Journal of Dentistry*, 38(7), 553–559. <https://doi.org/10.1016/J.JDENT.2010.03.015>
- Takasaki, H. (1970). Moiré Topography. *Applied Optics*, Vol. 9, Issue 6, Pp. 1467-1472, 9(6), 1467–1472. <https://doi.org/10.1364/AO.9.001467>
- Taneva, E., Johnson, A., Viana, G., & Evans, C. (2015). 3D evaluation of palatal rugae for human identification using digital study models. *Journal of Forensic Dental Sciences*, 7(3), 244. <https://doi.org/10.4103/0975-1475.172451>
- Taneva, E., Kusnoto, B., Evans, C. A., Taneva, E., Kusnoto, B., & Evans, C. A. (2015). 3D Scanning, Imaging, and Printing in Orthodontics. *Issues in Contemporary Orthodontics*. <https://doi.org/10.5772/60010>
- Tanna, N. K., AlMuzaini, A. A. A. Y., & Mupparapu, M. (2021). Imaging in Orthodontics. *Dental Clinics of North America*, 65(3), 623–641. <https://doi.org/10.1016/J.CDEN.2021.02.008>

- Tanner, J., Oshman, D., Bahhage, F., & Healy, M. (1997). Tanner-Whitehouse bone age reference values for North American children. *The Journal of Pediatrics*, 131(1 Pt 1), 34–40. [https://doi.org/10.1016/S0022-3476\(97\)90000-7](https://doi.org/10.1016/S0022-3476(97)90000-7)
- Tarazona, B., Llamas, J. M., Cibrián, R., Gandía, J. L., & Paredes, V. (2012). Evaluation of the validity of the Bolton Index using cone-beam computed tomography (CBCT). *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*, 17(5), e878. <https://doi.org/10.4317/MEDORAL.18069>
- Taylor, J. R. (1975). Growth of human intervertebral discs and vertebral bodies. *Journal of Anatomy*, 120(Pt 1), 49. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1231723/>
- The Effect of Image Quality on the Identification of Cephalometric Landmarks | The Angle Orthodontist. (n.d.). Retrieved December 16, 2024, from <https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article/48/1/49/56418/The-Effect-of-Image-Quality-on-the-Identification>
- The evolution of digital study models - PubMed. (n.d.). Retrieved December 10, 2024, from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17921602/>
- Three-dimensional printing technology - PubMed. (n.d.). Retrieved December 11, 2024, from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25226040/>
- Thurzo, A., Kočiš, F., Novák, B., Czako, L., & Varga, I. (2021). Three-dimensional modeling and 3d printing of biocompatible orthodontic power-arm design with clinical application. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(20), 9693. <https://doi.org/10.3390/APP11209693/S1>
- Thurzo, A., Urbanová, W., Novák, B., Waczulíková, I., & Varga, I. (2022a). Utilization of a 3D Printed Orthodontic Distalizer for Tooth-Borne Hybrid Treatment in Class II Unilateral Malocclusions. *Materials (Basel, Switzerland)*, 15(5). <https://doi.org/10.3390/MA15051740>
- Thurzo, A., Urbanová, W., Waczulíková, I., Kurilová, V., Mriňáková, B., Kosnáčová, H., Gális, B., Varga, I., Matajs, M., & Novák, B. (2022b). Dental Care and Education Facing Highly Transmissible SARS-CoV-2 Variants: Prospective Biosafety Setting: Prospective, Single-Arm, Single-Center Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(13). <https://doi.org/10.3390/IJERPH19137693>

- Tian, Y., Chen, C. X., Xu, X., Wang, J., Hou, X., Li, K., Lu, X., Shi, H. Y., Lee, E. S., & Jiang, H. B. (2021). A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications. *Scanning*, 2021(1), 9950131.
<https://doi.org/10.1155/2021/9950131>
- Topsakal, K. G., & Korkmaz, Y. N. (2018). ORTODONTİDE ÜÇ BOYUTLU GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİ: LİTERATÜR DERLEMESİ. *Selcuk Dental Journal*, 5(2), 186–193. <https://doi.org/10.15311/SELCUKDENTJ.306153>
- Treatment of Malocclusion of the Teeth: Angle's System. 7th Ed., Greatly Enl ... - Edward Hartley Angle - Google Kitaplar. (n.d.). Retrieved December 5, 2024, from https://books.google.com.cy/books/about/Treatment_of_Malocclusion_of_the_Teeth.html?id=BvkzAQAAMAAJ&redir_esc=y
- Treatment time: SureSmile vs conventional - PubMed. (n.d.). Retrieved December 12, 2024, from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22567618/>
- Tsiklakis, K., Syriopoulos, K., & Stamatakis, H. C. (2004). Radiographic examination of the temporomandibular joint using cone beam computed tomography. *Dento Maxillo Facial Radiology*, 33(3), 196–201. <https://doi.org/10.1259/DMFR/27403192>
- Tsolakis, I. A., Gizani, S., Panayi, N., Antonopoulos, G., & Tsolakis, A. I. (2022a). Three-Dimensional Printing Technology in Orthodontics for Dental Models: A Systematic Review. *Children (Basel, Switzerland)*, 9(8).
<https://doi.org/10.3390/CHILDREN9081106>
- Tsolakis, I. A., Gizani, S., Tsolakis, A. I., & Panayi, N. (2022b). Three-Dimensional-Printed Customized Orthodontic and Pedodontic Appliances: A Critical Review of a New Era for Treatment. *Children (Basel, Switzerland)*, 9(8).
<https://doi.org/10.3390/CHILDREN9081107>
- Tweed, C. H. (1946). The Frankfort-mandibular plane angle in orthodontic diagnosis, classification, treatment planning, and prognosis. *American Journal of Orthodontics and Oral Surgery*, 32(4), 175–230. [https://doi.org/10.1016/0096-6347\(46\)90001-4](https://doi.org/10.1016/0096-6347(46)90001-4)
- Uysal, T., Ramoglu, S. I., Basciftci, F. A., & Sari, Z. (2006). Chronologic age and skeletal maturation of the cervical vertebrae and hand-wrist: is there a relationship? *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the*

- American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics, 130(5), 622–628. <https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2005.01.031>
- Validity and Reliability of a New Edge-based Computerized Method for Identification of Cephalometric Landmarks | The Angle Orthodontist. (n.d.). Retrieved March 30, 2025, from <https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article/76/4/619/58460/Validity-and-Reliability-of-a-New-Edge-based>
- van der Meer, W. J., Andriessen, F. S., Wismeijer, D., & Ren, Y. (2012). Application of intra-oral dental scanners in the digital workflow of implantology. *PloS One*, 7(8). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0043312>
- Van Noort, R. (2012). The future of dental devices is digital. *Dental Materials : Official Publication of the Academy of Dental Materials*, 28(1), 3–12. <https://doi.org/10.1016/J.DENTAL.2011.10.014>
- Van Vlijmen, O. J. C., Kuijpers, M. A. R., Bergé, S. J., Schols, J. G. J. H., Maal, T. J. J., Breuning, H., & Kuijpers-Jagtman, A. M. (2012). Evidence supporting the use of cone-beam computed tomography in orthodontics. *Journal of the American Dental Association* (1939), 143(3), 241–252. <https://doi.org/10.14219/JADA.ARCHIVE.2012.0148>
- van Vlijmen, O. J. C., Maal, T., Bergé, S. J., Bronkhorst, E. M., Katsaros, C., & Kuijpers-Jagtman, A. M. (2010). A comparison between 2D and 3D cephalometry on CBCT scans of human skulls. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 39(2), 156–160. <https://doi.org/10.1016/J.IJOM.2009.11.017>
- Vasoglou, G., Stefanidaki, I., Apostolopoulos, K., Fotakidou, E., & Vasoglou, M. (2022). Accuracy of Mini-Implant Placement Using a Computer-Aided Designed Surgical Guide, with Information of Intraoral Scan and the Use of a Cone-Beam CT. *Dentistry Journal*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/DJ10060104>
- Versteeg, C. H., Sanderink, G. C. H., & Van Der Stelt, P. F. (1997). Efficacy of digital intra-oral radiography in clinical dentistry. *Journal of Dentistry*, 25(3–4), 215–224. [https://doi.org/10.1016/S0300-5712\(96\)00026-7](https://doi.org/10.1016/S0300-5712(96)00026-7)
- Vinayahalingam, S., Xi, T., Bergé, S., Maal, T., & de Jong, G. (2019). Automated detection of third molars and mandibular nerve by deep learning. *Scientific Reports* 2019 9:1, 9(1), 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45487-3>

- Vithanaarachchi, N., Chandrasiri, A., & Nawarathna, L. (2020). A comparison of cephalometric measurements obtained using conventional and digital methods. *The Ceylon Medical Journal*, 65(3), 39. <https://doi.org/10.4038/CMJ.V65I3.9184>
- Vranckx, M., Van Gerven, A., Willems, H., Vandemeulebroucke, A., Leite, A. F., Politis, C., & Jacobs, R. (2020). Artificial Intelligence (AI)-Driven Molar Angulation Measurements to Predict Third Molar Eruption on Panoramic Radiographs. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(10). <https://doi.org/10.3390/IJERPH17103716>
- Vukicevic, M., Mosadegh, B., Min, J. K., & Little, S. H. (2017). Cardiac 3D Printing and its Future Directions. *JACC. Cardiovascular Imaging*, 10(2), 171–184. <https://doi.org/10.1016/J.JCMG.2016.12.001>
- Wang, Y. T., Yu, J. H., Lo, L. J., Hsu, P. H., & Lin, C. L. (2017). Developing Customized Dental Miniscrew Surgical Template from Thermoplastic Polymer Material Using Image Superimposition, CAD System, and 3D Printing. *BioMed Research International*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/1906197>
- Watanabe, H., Ariji, Y., Fukuda, M., Kuwada, C., Kise, Y., Nozawa, M., Sugita, Y., & Ariji, E. (2021). Deep learning object detection of maxillary cyst-like lesions on panoramic radiographs: preliminary study. *Oral Radiology*, 37(3), 487–493. <https://doi.org/10.1007/S11282-020-00485-4>
- Wedendal, P. R., & Bjelkhagen, H. I. (1974). Dental holographic interferometry in vivo utilizing a ruby laser system. I. Introduction and development of methods for precision measurements on the functional dynamics of human teeth and prosthodontic appliances. *Acta Odontologica Scandinavica*, 32(2), 131–145. <https://doi.org/10.3109/00016357409002542>
- Weinberg, S. M., Scott, N. M., Neiswanger, K., Brandon, C. A., & Marazita, M. L. (2004). Digital three-dimensional photogrammetry: evaluation of anthropometric precision and accuracy using a Genex 3D camera system. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal : Official Publication of the American Cleft Palate-Craniofacial Association*, 41(5), 507–518. <https://doi.org/10.1597/03-066.1>
- White, S. C. (2008). Cone-beam imaging in dentistry. *Health Physics*, 95(5), 628–637. <https://doi.org/10.1097/01.HP.0000326340.81581.1A>

- White, S. C. ., & Pharoah, M. J. . (2014). Oral Radiology - E-Book : Principles and Interpretation. 696.
https://books.google.com/books/about/Oral_Radiology_E_Book.html?hl=tr&id=V7PwAwAAQBAJ
- Wiechmann, D., Rummel, V., Thalheim, A., Simon, J. S., & Wiechmann, L. (2003). Customized brackets and archwires for lingual orthodontic treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 124(5), 593–599.
<https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2003.08.008>
- Wiranto, M. G., Engelbrecht, W. P., Tutein Nolthenius, H. E., Van Der Meer, W. J., & Ren, Y. (2013). Validity, reliability, and reproducibility of linear measurements on digital models obtained from intraoral and cone-beam computed tomography scans of alginate impressions. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics : Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 143(1), 140–147.
<https://doi.org/10.1016/J.AJODO.2012.06.018>
- Wong, B. H., Scholz, R. P., & Turpin, D. L. (2002). Invisalign A to Z. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 121(5), 540–541.
<https://doi.org/10.1067/mod.2002.123036>
- Xiao, Z., Yang, Y., Xiao, R., Bai, Y., Song, C., & Wang, D. (2018). Evaluation of topology-optimized lattice structures manufactured via selective laser melting. *Materials and Design*, 143, 27–37. <https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2018.01.023>
- Xie, X., Wang, L., & Wang, A. (2010). Artificial neural network modeling for deciding if extractions are necessary prior to orthodontic treatment. *The Angle Orthodontist*, 80(2), 262–266. <https://doi.org/10.2319/111608-588.1>
- Yiğit, M., & Kurdoğlu, S. (2013). KRONOLOJİK YAŞ, DİŞ YAŞI VE KEMİK YAŞI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ-THE EVALUATION OF RELATION BETWEEN CHRONOLOGICAL AGE, DENTAL AGE AND SKELETAL AGE. *Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry*, 24(1), 21–28.
<https://dergipark.org.tr/en/pub/jiufd/issue/8956/111586>
- Yilmaz, E., Kayikcioglu, T., & Kayipmaz, S. (2017). Computer-aided diagnosis of periapical cyst and keratocystic odontogenic tumor on cone beam computed tomography.

- Computer Methods and Programs in Biomedicine, 146, 91–100.
<https://doi.org/10.1016/J.CMPB.2017.05.012>
- Yu, B. Y., Son, K. B. Da, & Lee, K. B. (2021). Evaluation of intaglio surface trueness and margin quality of interim crowns in accordance with the build angle of stereolithography apparatus 3-dimensional printing. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 126(2), 231–237.
<https://doi.org/10.1016/J.PROSDENT.2020.04.028>
- Yu, H. J., Cho, S. R., Kim, M. J., Kim, W. H., Kim, J. W., & Choi, J. (2020). Automated Skeletal Classification with Lateral Cephalometry Based on Artificial Intelligence. *Journal of Dental Research*, 99(3), 249–256. <https://doi.org/10.1177/0022034520901715>
- Yu, J. H., Wang, Y. T., & Lin, C. L. (2018). Customized surgical template fabrication under biomechanical consideration by integrating CBCT image, CAD system and finite element analysis. *Dental Materials Journal*, 37(1), 6–14.
<https://doi.org/10.4012/DMJ.2016-312>
- Yu, J. J., Kim, G. T., Choi, Y. S., Hwang, E. H., Paek, J., Kim, S. H., & Huang, J. C. (2012). Accuracy of a cone beam computed tomography-guided surgical stent for orthodontic mini-implant placement. *The Angle Orthodontist*, 82(2), 275–283.
<https://doi.org/10.2319/060811-374.1>
- Yu, Y., Li, Y., Li, Y. J., Wang, J. M., Lin, D. H., & Ye, W. P. (2006). Tooth Decay Diagnosis using Back Propagation Neural Network. *International Conference on Machine Learning and Computing*, 2006, 3956–3959. <https://doi.org/10.1109/ICMLC.2006.258789>
- Zhu, Y., & Newsam, S. (2017). DenseNet for Dense Flow. *Proceedings - International Conference on Image Processing, ICIP, 2017-September*, 790–794.
<https://doi.org/10.1109/ICIP.2017.8296389>
- Zinreich, S. J., Kennedy, D. W., Rosenbaum, A. E., Gayler, B. W., Kumar, A. J., & Stammberger, H. (1987). Paranasal sinuses: CT imaging requirements for endoscopic surgery. *Radiology*, 163(3), 769–775.
<https://doi.org/10.1148/RADIOLOGY.163.3.3575731>

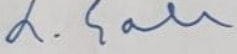
Ekler

Ek 1.


YAKIN DOĞU ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU
ARAŞTIRMA PROJESİ DEĞERLENDİRME RAPORU

Toplantı Tarihi :31.05.2023
Toplantı No :2023/114
Proje No :1733

Yakın Doğu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi öğretim üyelerinden Prof. Dr. Seçil Aksoy'un sorumlu araştırmacısı olduğu, YDU/2023/114-1733 proje numaralı ve **"Yapay Zeka Ve Farklı Yazılımlar Kullanılarak KIBT Görüntülerinden Elde Edilen STL Modeller Üzerinde Yapılan Doğrusal Ölçümlerin Güvenilirliği"** başlıklı proje önerisi kurulumuzca değerlendirilmiş olup, etik olarak uygun bulunmuştur.


 Prof. Dr. Şanda Çalı
 Yakın Doğu Üniversitesi
 Bilimsel Araştırmalar Etik Kurulu Başkanı

Kurul Üyesi	Toplantıya Katılım	Karar
	Katıldı(✓)/ Katılmadı(X)	Onay(✓)/ Ret(X)
Prof. Dr. Tamer Yılmaz	✓	✓
Prof. Dr. Şahan Saygı	✓	✓
Prof. Dr. İlker Etikan	✓	✓
Doç. Dr. Mehtap Tınazlı	✓	✓
Prof. Dr. Nilüfer Galip Çelik	X	X
Doç. Dr. Dilek Sarpkaya Güder	✓	✓
Doç. Dr. Gulifeiya Abuduxike	✓	✓
Doç. Dr. Burçin Şanlıdağ	X	X

<https://etikkurul.neu.edu.tr/>

Ek 2.

Sayfa 2 of 123 - Bütünlük Genel Bakış

Gönderi Kimliği trn:oid::1:3221584750

12% Genel Benzerlik

Her veri tabanı için çıkarılan kaynaklar da dâhil tüm eşleşmelerin kombine toplamı.

Hariç tutulacaklar

- 3 Çıkarılan Kaynak

Ön Sıradaki Kaynaklar

- 11% İnternet kaynakları
- 5% Yayınlar
- 3% Gönderilen çalışmalar (Öğrenci Makaleleri)

Özgeçmiş

AKADEMİK ÖZGEÇMİŞ

1. **Ad Soyad:** İsmet Ersalıcı
2. **Doğum Tarihi:** 09.05.1998
3. **Görevi:** Araştırma Görevlisi
4. **Eğitim Düzeyi:** Diş Hekimi (DDS)
5. **Çalıştığı Kurumlar:**
Yakın Doğu Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı

Eğitim Bilgileri

Derece	Fakülte/Bölüm	Üniversite	Yıl
DDS	Diş Hekimliği	Yakın Doğu Üniversitesi	2021
Doktora	Ortodonti	Yakın Doğu Üniversitesi	2021–2025

6. Sunumlar

6.1 Uluslararası Bilimsel Kongre Sunumları

- KIBT’de Doğrusal ve Açısal Sefalometrik Ölçümlerin Yarı Otomatik Yazılım ve Yapay Zeka ile Oluşturulan Sefalometri Görüntüleri Kullanılarak Karşılaştırılması, Kaan Orhan, İsmet Ersalıcı, Nora Saif, Nora Saif, Seçil Aksoy, Maxim Gusarev, Matvey Ezhov, Alex Sanders, XIX. ULUSLARARASI TÜRK ORTODONTİ DERNEĞİ KONGRESİ, 02-06 KASIM 2024
- GÖMÜLÜ MAKSİLLER KANİN DİŞİN ORTODONTİK SÜRDÜRME ÖNCESİ CERRAHİ OPERASYONUNA BAĞLI NAZOPALATİN KANALI DESTEKLEYEN KORTİKAL KEMİK FRAKTÜRÜ: BİR VAKA RAPORU, İsmet Ersalıcı, Beren Özsoy, Gürkan Ünsal, XIX. ULUSLARARASI TÜRK ORTODONTİ DERNEĞİ KONGRESİ, 02-06 KASIM 2024
- Ersalıcı İ, Euphorbia bitki türlerinin Kıbrıs'ta Burkitt Lenfoma insidansındaki rolü var mı? Bir Hipotez, 1. Uluslararası Türk Japon Diş Hekimliği Kongresi, Ankara, 24–26 Haziran 2021
- Ersalıcı İ, Euphorbia Lemesiana ile Burkitt Lenfoma Arasında Bir İlişki Var mı? Hipotez Çalışması, Yakın Doğu Üniversitesi Tıp Fakültesi 1. Uluslararası Tıp Fakültesi Öğrenci Kongresi, 14 Nisan 2022
- Ali Temelci, Revan Birke Koca Ünsal, İsmet Ersalıcı, Gürkan Ünsal, B12 Vitamini Eksikliğine Bağlı Oral Ülserasyonlar: Bir Olgu Sunumu, TDB Uluslararası Kongresi, 8–11 Eylül 2022
- Şerife Tuğçe Hasoğlu, İsmet Ersalıcı, Mohamed Talal Radwan, Aseel Anees Moqbel, Beste Kamiloğlu, Treacher-Collins Sendromu'nun Klinik ve Radyolojik Bulguları: Nadir Bir Sendrom Sunumu, TDB Uluslararası Kongresi, 8–11 Eylül 2022

- İsmet Ersalıcı, Zeki Besim, Gürkan Ünsal, Majör Palatal Kanallarda Obliterasyona Neden Olan Bilateral Ektopik Distomolar Dişler: Nadir Bir Lokalizasyon Sunumu, TDB Uluslararası Kongresi, 8–11 Eylül 2022
- Ersalıcı İ, Aksoy S, Alkan A, Kamiloğlu B, Bayrakdar İŞ, Orhan K, İki Farklı Yazılım Programı ve Yapay Zeka ile Oluşturulan CBCT Tabanlı STL Modellerde Doğrusal Ölçümlerin Hassasiyeti, 4. Uluslararası Ağız Tanısı ve Maksillofasiyal Radyoloji Derneği Kongresi, 19–24 Ekim
- Ersalıcı İ, Kamiloğlu B, Cornelia De Lange Sendromlu Hastalarda Klinik Bulgular: Nadir Bir Sendrom Sunumu ve Literatür İncelemesi, 2022 XVIII. Türk Ortodonti Derneği Uluslararası Kongresi
- Ersalıcı İ, Besim Z, Ünsal G, Çene Osteomalasisi: Klinik ve Panoramik Radyografi Bulguları ile Olgu Sunumu
- Ünsal G, Ersalıcı İ, Orhan K, Özcan İ, Çenelerin Desmoplastik Fibroması: Bir Olgu Serisi ve Derleme

6.2 Ulusal Bilimsel Kongre Sunumları

- Ersalıcı İ, Ünsal G. Apert Sendromunun Kraniyofasiyal Bulguları, Yakın Doğu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi 3. Bilim Günleri, 13 Mayıs 2022

7. Bilimsel ve Mesleki Üyelikler

- International Association of Dental Students
- Kuzey Kıbrıs Diş Hekimliği Öğrencileri Derneği
- Colgate Oral Health Network
- Uluslararası Lions Kulüpleri Derneği

8. Ödüller ve Başarılar

- Uluslararası Diş Hekimliği Öğrencileri Derneği (IADS) En İyi Ekip Üyesi (2020)
- DentSply Küresel Klinik Vaka Yarışması: Türkiye 2.si
- ODMFR Sözlü Sunum Ödülü Oturumu: 2.lık

9. Gönüllülük Deneyimleri

- Ulusal Değişim Sorumlusu, NCADS (2018–Eylül 2019)
- Bölgesel Değişim Sorumlusu, International Association of Dental Students (2019–2020)
- Başkan, NCADS (Eylül 2019 – 2021)
- Ortadoğu Bölge Temsilcisi, International Association of Dental Students (Eylül 2020–2021)
- NCADS Danışman Eğitimci (2021–Devam Ediyor)
- Kıbrıs Türk Diş Tabipleri Odası ExCo Üyesi (2024–)

Yayınlar

- Ersalıcı, İ., Aksoy, S., Kamiloglu, B. *et al.* AI-Generated vs. Traditional STL Models in CBCT Imaging: A Pilot Study on Measurements Accuracy and Reliability. *J Digit Imaging. Inform. med.* (2025). <https://doi.org/10.1007/s10278-025-01502-w>
- Friend or foe: association of Euphorbia spp. with Epstein–Barr virus and Burkitt's lymphoma, an in silico approach, Emine Erdag, Ismet Ersalici, and Cenk Serhan Ozverel, *Future Virology*, 2023 18:9, 583-594
- Ünsal G, Yelken Kendirci M, Ersalıcı İ. The Oral-Dental Findings of Patients Treated with Antineoplastic Treatments Targeting Non-Head and Neck Tumors in Childhood. *EDR*. 2024;2(1):9-13.
- Özant, A., Ersalıcı, İ., Temelci, A., Minervini, G. (2024). Combined Surgical and Orthodontic Treatment for Eruption of the Impacted Premolar Due to a Dentigerous Cyst. In: Badnjević, A., Gurbeta Pokvić, L. (eds) *MEDICON'23 and CMBEBIH'23. MEDICON CMBEBIH 2023*. IFMBE Proceedings, vol 94. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-49068-2_68
- Ersalıcı İ, Ünsal G, Kamiloğlu B. A Cornelia De Lange Syndrome Patient with Cleft Palate: A Case Report with Intraoral and Extraoral Findings. *EADS*. 2023;50(3):138-42.

10.2 Bilimsel Etkinlik Organizasyonları

- 2023 9. Uluslararası Yarık Dudak ve Damak Derneği Kongresi
- 2022 Ulusal Kanser Haftası Etkinliği: Oral Kanser Webinarı
- 2021 Yakın Doğu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Bahar Sempozyumu
- 2020 Yakın Doğu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Güz Sempozyumu