



**YAPAY ZEKA DESTEKLİ YAZILIMLARLA TASARLANMIŞ
İNDİREKT RESTORASYONLARIN ÇOK YÖNLÜ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

NEŞE EZGİ KARAOĞLAN

UZMANLIK TEZİ

RESTORATİF DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN:
DR. ÖĞR. ÜYESİ GÜLÇİN BİLGİN GÖÇMEN

İSTANBUL- 2025

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışması ile elde edilmemiş bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığı beyan ederim.

NEŞE EZGİ KARAOĞLAN



TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim süresince kıymetli bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan, hiçbir ricamı ve çalışma isteğimi geri çevirmeyen, her zaman destek olmak için elinden geleni yapan değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Gülçin Bilgin Göçmen'e;

Eğitim sürecim boyunca bölümümüzün tüm üyelerine destek veren ve her konuda yanımda olan Anabilim Dalı Başkanımız Sayın Prof. Dr. Cafer Türkmen'e;

Tez jürimde de bulunarak değerli bilgileriyle bana ve akademik gelişimime büyük katkı sağlayan Sayın Prof. Dr. Dilek Tağtekin'e;

Konuları ele alış biçimi, duruşu ve bana kazandırdığı değerli bakış açıları için kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Bilge Tarçın'a;

Her zaman değerli bilgilerini nezaketle paylaşan değerli hocam sayın Prof. Dr. Pınar Yılmaz Atalı'ya;

Deneyim ve rehberliğinden çok şey öğrendiğim Doç. Dr. Bora Korkut'a;

Klinikte ve tez sürecimde kişisel ihtiyaçlarımda bana destek olan, beni çokça geliştiren Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Aslı Şenol'a;

İzlemekten çok keyif aldığım ve değerli desteklerinden her seferinde çok şey öğrendiğim Dr. Öğr. Üyesi Ezgi Tüter Bayraktar'a

İçtenliği, geniş bilgisi ve enerjisi ile beni her zaman etkileyen, sohbetinden çok keyif aldığım sayın Dr. Öğr. Üyesi Elif Alkan'a;

Tez çalışmamın kurgusu sürecindeki destekleri için müteşekkir olduğum sayın Prof. Dr. Safa Tuncer'e;

Uzmanlık eğitimim boyu desteğini esirgemeyen, moral ve motivasyonu her zaman yanımda hissettiğim tez ağabeyim Uzm. Dt. İbrahim Oğrak'a;

Uzmanlık eğitimimizin ilk gününden bugüne birlikte yürümekten mutluluk duyduğum; bu sürecin her aşamasında desteklerini ve dostluklarını yanımda hissettiğim, her zorluğu paylaşıp bu yolu birlikte tamamladığımız canlarım ve eş kıdemlilerim Arş. Gör. Dt. Ezgi Kızıl Öztürk, Arş. Gör. Dt. Elif Nur Kaya, Arş. Gör. Dt. Cevdet Can Saygılı'ya;

Bu süreçte birlikte çalışma fırsatı bulduğum, samimiyetlerini her zaman hissettiğim değerli arkadaşlarım, Arş. Gör. Dt. Enise Akın ve Dt. Niloofar Dadgar Ghareh Bagh'a;

Lisans eğitimimden uzmanlık tez sunumuma yanımda olup mesleğe beraber atıldığımız canım dostlarım Dt. Elifnur Benna Ağca Peker ve Dt. Mustafa Sami Peker'e

Tez sürecim boyunca her koşulda yanımda olan, desteğini ve inancını daima hissettiren, her zor anımda yardımına koşan çok değerli Mustafa Can Yıldız'a;

Hayatım boyunca sevgileri, sabırları ve sonsuz destekleriyle daima yanımda olan, bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan en değerli varlıklarım annem Ayşegül Karaoğlan, babam Sezgin Karaoğlan ve kardeşim Işık Beste Karaoğlan'a

En içten teşekkürlerimi sunarım.



Bu tez, Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı tarafından "Yapay Zeka Destekli Yazılımlarla Tasarlanmış İndirekt Restorasyonların Çok Yönlü Değerlendirilmesi" başlıklı ve "TDH-2024-11405" numaralı proje ile desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR LİSTESİ	i
ŞEKİL LİSTESİ	ii
TABLO LİSTESİ	iii
1. ÖZET	1
2. SUMMARY	3
3. GİRİŞ ve AMAÇ	5
4. GENEL BİLGİLER	8
4.1. İndirekt Restorasyonlar	7
4.1.1. İndirekt restorasyonların sınıflandırılması	8
4.1.2. İndirekt restorasyonların endikasyonları	11
4.1.3. İndirekt restorasyonların üretim yöntemleri.....	12
4.1.3.1. Döküm yöntemi ile üretim	13
4.1.3.2. Presleme yöntemi ile üretim	14
4.1.3.3. CAD/CAM ile üretim	14
4.2. Ağız İçi Tarayıcılar	16
4.3. Bilgisayar Destekli Tasarım Yazılımları (CAD)	18
4.3.1. CAD yazılımlarında kullanılan dosya tipleri	19
4.4. Yapay Zeka	21
4.4.1. Yapay zekanın tarihçesi.....	21
4.4.2. Yapay zekanın diş hekimliğindeki kullanım alanları	23
4.4.2.1. Eğitim ve simülasyon sistemleri	23
4.4.2.2. Klinik karar destek sistemleri	25
4.4.2.3. Görüntüleme ve tanı.....	26
4.4.2.4. Restoratif ve protetik planlama	27
4.4.2.5. Ortodontik değerlendirme ve planlama	28
4.4.2.6. Telediş hekimliği ve uzaktan izlem	29
4.4.2.7. Yönetim ve operasyonel iş akışı	30
4.4.2.8. Hasta iletişimi ve danışmanlık	31
4.4.2.9. Etik, hukuki ve veri güvenliği uygulamaları.....	32

4.4.2.10. Gelecek perspektifi: Kişiselleştirilmiş diş hekimliği.....	33
4.4.3. Cad ve yapay zeka	33
4.4.4. Yapay zekanın avantaj ve dezavantajları	35
4.4.4.1. Yapay zekanın avantajları.....	35
4.4.4.2. Yapay zekanın dezavantajları	36
4.5. Dijital Olarak Tasarlanan Restorasyonları Değerlendirme Kriterleri.....	37
4.5.1. Tasarımda geçen zaman	37
4.5.2. Restorasyon sınır ve yüzeyleri.....	38
4.5.2.1.Skorlama.....	39
4.5.3. Doğruluk ve kesinlik	44
4.5.3.1. 3 boyutlu tasarımlarda boyutsal değerlendirmeler.....	45
5. GEREÇ ve YÖNTEM	48
5.1. İstatistiksel Güç Analizi	48
5.2. Vaka Seçimi ve Dijital Hazırlık.....	48
5.3. Yapay Zeka Destekli Yazılımlar ile Restorasyon Tasarımı.....	50
5.4. Referans Model ve Boyutsal Analiz	54
6. BULGULAR.....	56
6.1. Marjin Skorlarının Dağılımı	56
6.2. Restorasyon Yüzey Skorlarının Dağılımı	61
6.3. Restorasyon Tasarım Sürelerinin Dağılımı	71
6.4. Doğruluk Değerlerinin Dağılımı.....	72
6.5. Kesinlik Değerlerinin Dağılımı.....	74
7. TARTIŞMA ve SONUÇ	77
7.1. Gereç ve Yöntemin Belirlenmesi	78
7.2. Tasarımda Geçen Zaman	81
7.3. Restorasyon Sınır ve Yüzey Skorları	82
7.4. Doğruluk	89
7.5. Kesinlik	91
7.6. Özgün Değer ve Limitasyonlar	95

8. KAYNAKLAR	98
9. ÖZGEÇMİŞ	110
10. BİLİMSEL FAALİYETLER	111



KISALTMALAR LİSTESİ

°	:	Derece
µm	:	Mikro metre
<	:	Küçüktür işareti
%	:	Yüzde
±	:	Artı-Eksi
3B	:	3 Boyutlu
3MF	:	3D Manufacturing Format
ABD	:	Amerika Birleşik Devletleri
CAD	:	Bilgisayar Destekli Tasarım
CAM	:	Bilgisayar Destekli Üretim
CBCT	:	Koni Işınlı Bilgisayarlı Tomografi
Cerec	:	Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics
ChatGPT	:	Chat Generative Pre-trained Transformer
CNN	:	Evrimsel Sinir Ağı
DLP	:	Dijital Işık İşleme
EBD	:	En Büyük Değer
F	:	Force
FDI	:	Dünya Dış Hekimleri Birliği
GAN	:	Generative Adversarial Networks
GNN	:	Graph Neural Network
ISO	:	International Organization for Standardization
Mm	:	Milimetre
N	:	Örneklem büyüklüğü
NEBD	:	Negatif En Büyük Değer
OBJ	:	3D Object File Format
PLY	:	Polygon File Format
RMS	:	Root Mean Square
RMSE	:	Root Mean Square Error
SS	:	Standart Sapma
STL	:	Stereolithography File Format
VAE	:	Variational Autoencoder
YZ	:	Yapay Zeka

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa Numarası

Şekil 1.	Geleneksel ve dijital iş akışı	13
Şekil 2.	CEREC 1, CEREC 2, ve CEREC PrimeScan	15
Şekil 3.	Modifiye USPHS Klinik Değerlendirme Kriterleri	40
Şekil 4.	FDI Estetik Klinik Değerlendirme Kriterleri	41
Şekil 5.	FDI Fonksiyonel Klinik Değerlendirme Kriterleri	42
Şekil 6.	FDI Biyolojik Klinik Değerlendirme Kriterleri.....	42
Şekil 7.	Doğruluk ve kesinlik kavramlarının şematize anlatımı	44
Şekil 8.	Tipodont model çenenin tarama sonrası renkli görüntüsü	48
Şekil 9.	Bu çalışmada kullanılan 16 no'lu diş	49
Şekil 10.	Yüksek çözünürlüklü ağız içi tarayıcı	49
Şekil 11.	Bulut tabanlı tam otomatik yazılım arayüzü	51
Şekil 12.	Kompleks overley preparasyonu üzerine Automate'in otomatik çizdiği marjin sınırları	51
Şekil 13.	Her bir tasarımda optimal morfolojinin sağlanması ve klinik olarak kabul edilebilir bir restorasyon elde edilmesi amacıyla ön ayar parametreleri panelinin Automate'de görüntüsü	52
Şekil 14.	Sanal restorasyon için marjin skorum kriterleri	53
Şekil 15.	Sanal restorasyon skorum kriterleri	53
Şekil 16.	Yapay zeka destekli yazılımlara göre tüm yüzeylerde marjin skorlarının dağılımı.....	58
Şekil 17.	Farklı preparasyon tiplerine göre tüm yüzeylerde marjin skorlarının dağılımı.....	61
Şekil 18.	Automate yazılımında kron preparasyonu üzerine hazırlanan restorasyonun aproksimal ve oklüzal kontakt alanları ve oklüzal morfolojisi	65
Şekil 19.	ClinicCad yazılımında kron preparasyonu üzerine hazırlanan restorasyonun aproksimal ve oklüzal kontakt alanları ve oklüzal morfolojisi	65
Şekil 20.	Yapay Zeka Destekli Yazılımlara Göre Tüm Yüzeylerde Restorasyon Yüzey Skorlarının Dağılımı.....	66
Şekil 21.	Farklı preparasyon tiplerine göre tüm yüzeylerde restorasyon yüzey skorlarının dağılımı.....	70
Şekil 22.	Yapay zeka destekli yazılımlara ve farklı preparasyon tiplerine göre restorasyon tasarım sürelerinin dağılımı	71

Şekil 23.	Yapay zeka destekli yazılımlara göre sağlam diş ile olan benzerliklerine ilişkin teknik karşılaştırma verilerinin dağılımı	74
Şekil 24.	Yapay zeka destekli yazılımlara göre aynı yazılımla tasarlanan restorasyonların birinci tasarıma olan benzerliklerine ilişkin teknik karşılaştırma verilerinin dağılımı	76
Şekil 25.	İntraoral tarayıcı ile üretici talimatlarına uygun tarama yöntemi	79
Şekil 26.	Dentbird tarafından kullanılan metodun şeması	84



TABLO LİSTESİ

	Sayfa Numarası
Tablo 1. İndirekt restorasyon türleri ve endikasyonları	10
Tablo 2. Sık kullanılan CAD/CAM sistemleri	20
Tablo 3. Restoratif diş hekimliği alanında kullanılan yapay zeka destekli programlar..	34
Tablo 4. Sanal kron tasarımlarının kalitatif değerlendirilmesi	43
Tablo 5. Bu tezde kullanılan yapay zeka destekli yazılım programları ve özellikleri ...	50
Tablo 6. Yapay zeka destekli yazılımlara göre bukkal yüzeyde marjin skorlarının dağılımı	56
Tablo 7. Yapay zeka destekli yazılımlara göre mezial yüzeyde marjin skorlarının dağılımı	56
Tablo 8. Yapay zeka destekli yazılımlara göre distal yüzeyde marjin skorlarının dağılımı	57
Tablo 9. Yapay zeka destekli yazılımlara göre palatal yüzeyde marjin skorlarının dağılımı	57
Tablo 10. Farklı preparasyon tiplerine göre bukkal yüzeyde marjin skorlarının dağılımı.....	59
Tablo 11. Farklı preparasyon tiplerine göre mezial yüzeyde marjin skorlarının dağılımı.....	59
Tablo 12. Farklı preparasyon tiplerine göre distal yüzeyde marjin skorlarının dağılımı	60
Tablo 13. Farklı preparasyon tiplerine göre palatal yüzeyde marjin skorlarının dağılımı	60
Tablo 14. Yapay zeka destekli yazılımlara göre bukkal yüzeyde restorasyon yüzey skorlarının dağılımı	62
Tablo 15. Yapay zeka destekli yazılımlara göre mezial yüzeyde restorasyon yüzey skorlarının dağılımı	62
Tablo 16. Yapay zeka destekli yazılımlara göre distal yüzeyde restorasyon yüzey skorlarının dağılımı	63
Tablo 17. Yapay zeka destekli yazılımlara göre palatal yüzeyde restorasyon yüzey skorlarının dağılımı	63
Tablo 18. Yapay zeka destekli yazılımlara göre oklüzal yüzeyde restorasyon yüzey skorlarının dağılımı	64
Tablo 19. Yapay zeka destekli yazılımlara göre oklüzyonda restorasyon yüzey skorlarının dağılımı	64
Tablo 20. Farklı preparasyon tiplerine göre bukkal yüzeyde restorasyon yüzey skorlarının dağılımı	67
Tablo 21. Farklı preparasyon tiplerine göre mezial yüzeyde restorasyon yüzey skorlarının dağılımı	67

Tablo 22.	Farklı preparasyon tiplerine göre distal yüzeyde restorasyon yüzey skorlarının dağılımı	68
Tablo 23.	Farklı preparasyon tiplerine göre palatal yüzeyde restorasyon yüzey skorlarının dağılımı	68
Tablo 24	Farklı preparasyon tiplerine göre oklüzal yüzeyde restorasyon yüzey skorlarının dağılımı	69
Tablo 25.	Farklı preparasyon tiplerine göre oklüzyonda restorasyon yüzey skorlarının dağılımı	69
Tablo 26.	Yapay zeka destekli yazılımlara göre restorasyon tasarım sürelerinin dağılımı	71
Tablo 27.	Farklı preparasyon tiplerine göre restorasyon tasarım sürelerinin dağılımı	72
Tablo 28.	Yapay zeka destekli yazılımlara göre sağlam diş ile olan benzerliklerine ilişkin teknik karşılaştırma verilerinin dağılımı	74
Tablo 29.	Yapay zeka destekli yazılımlara göre aynı yazılımla tasarlanan restorasyonların birinci tasarıma olan benzerliklerine ilişkin teknik karşılaştırma verilerinin dağılımı	76

1. ÖZET

Amaç: Bu çalışmanın amacı, farklı yapay zeka (YZ) destekli yazılımların, çeşitli diş preparasyon tiplerinde oluşturulan indirekt restorasyonların tasarım kalitesi üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak incelemektir. Özellikle sınır ve yüzey uyumu, tasarım süresi, doğruluk kesinlik parametreleri temel alınarak, hem yazılım türünün hem de preparasyon morfolojisinin restoratif çıktılar üzerindeki etkisi çok yönlü biçimde analiz edilmiştir.

Gereç ve Yöntem: Çalışma kapsamında, CEREC (Dentsply Sirona), Automate (3Shape), Dentbird (Imagoworks), ClinicCAD (Medit) ve Atomica (Atomica Tech) olmak üzere beş farklı YZ destekli yazılım kullanılmıştır. Yazılımlar; inley, onley, overley, kompleks overley ve kron olmak üzere farklı preparasyon tipine sahip modellerde (P-OCLUSAL) toplam 125 (n=5) dijital restorasyon tasarımı üretmiştir. Preparasyonlar, intraoral tarayıcı (Primescan, Dentsply Sirona) ile .stl formatında dijitalleştirilmiş ve yazılımlara aktararak otomatik olarak tasarlanmıştır. Oluşturulan restorasyonlar, Control X (Geomagic) yazılımında dijital referans modellerle karşılaştırılarak; marjin çizimi, yüzey düzgünlüğü, tasarım süresi ve dijital doğruluk analizleri yapılmıştır. Root Mean Square Error, En Büyük Değer, Negatif EnBüyük Değer ve Standart Sapma gibi parametrik ölçümler elde edilmiştir. İstatistiksel analizler SPSS 29 (IBM) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş; parametrik veriler için ANOVA ve Welch ANOVA, anlamlı farklılıklar için ise Tukey HSD ve Tamhane T2 post-hoc testleri uygulanmıştır. Sınır ve yüzey skorları gibi kategorik veriler Fisher-Freeman-Halton testi ile analiz edilmiştir.

Bulgular: Elde edilen sonuçlar, farklı yapay zekâ destekli yazılımların restoratif tasarım çıktıları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı farklar yarattığını ortaya koymuştur ($p < 0.001$). CEREC, özellikle kron ve overley preparasyonlarında marjin ve yüzey skorları açısından en yüksek başarıyı göstermiştir. Automate, inley ve onley preparasyonlarında hem yüksek yüzey skorları hem de en kısa tasarım süresi ile öne çıkmıştır. Dentbird ve ClinicCAD yazılımları, bazı parametrelerde istatistiksel olarak kabul edilebilir sonuçlar sunsa da overley ve onley restorasyonlarda varyans aralıklarının geniş olduğu, bu durumun algoritmik istikrar açısından sınırlılık teşkil ettiği gözlemlenmiştir. Atomica ise özellikle tasarım süresi açısından dezavantajlı sonuçlar üretmiş, dijital doğruluk ölçütlerinde orta derecede başarılı bulunmuştur. Preparasyon tipi, yüzey ve sınır skorları üzerinde anlamlı düzeyde etkili olmuş; ancak tasarım süresi üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p > 0.05$). Benzerlik analizleri, CEREC ve Automate yazılımlarının kendi içinde tutarlı sonuçlar verdiğini ve algoritmik öngörülebilirliğin bu sistemlerde daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Sonuç: Bu çalışma, YZ destekli yazılımların restorasyon tasarım kalitesinde gösterdiği performansın, kullanılan yazılıma ve preparasyon tipine göre anlamlı şekilde değiştiğini gösterebilir. Özellikle anatomik olarak daha basit konturlara sahip preparasyonlarda sistemler benzer sonuçlar üretirken; kompleks morfolojilerde algoritmalar arası farklar belirginleşebilir. Klinik olarak tüm restorasyonlar kabul edilebilir sınırlar içinde olsa da, marjin uyumu, yüzey düzgünlüğü ve dijital doğruluk açısından CEREC ve Automate yazılımları öne çıkmıştır. Yazılım tercihinin, uygulanan restorasyon tipi ve klinik hedeflere göre bireyselleştirilerek yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atomica, Automate, CAD, CEREC, ClinicCAD, Dentbird, indirekt restorasyon, RMSE, yapay zeka.



2. SUMMARY

Objective: The aim of this study was to comparatively evaluate the impact of different artificial intelligence (AI)-assisted software on the design quality of indirect restorations created for various dental preparation types. The analysis focused on margin and surface adaptation, design duration, and parameters of accuracy and precision, with the goal of assessing how both the software type and preparation morphology influence restorative outcomes from multiple perspectives.

Materials and Methods-: Five different AI-assisted design software platforms were utilized in this study: CEREC (Dentsply Sirona), Automate (3Shape), Dentbird (Imageworks), ClinicCAD (Medit), and Atomica (Atomica Tech). A total of 125 digital restoration designs (n=5) were generated using five preparation types: inlay, onlay, overlay, complex overlay, and full crown models (P-OCLUSAL). The preparations were scanned using an intraoral scanner (Primescan, Dentsply Sirona) and digitized in .stl format, then automatically processed by the software. The resulting restorations were compared to reference digital models in Control X (Geomagic), and evaluated in terms of margin tracing, surface smoothness, design time, and digital accuracy. Parametric measurements such as Root Mean Square Error (RMSE), Extreme Positive Deviation (Min), Extreme Negative Deviation (Max), and Standard Deviation (SD) were obtained. Statistical analyses were performed using SPSS 29 (IBM); ANOVA and Welch ANOVA were used for parametric data, while Tukey HSD and Tamhane T2 post-hoc tests were applied for multiple comparisons. Categorical variables such as margin and surface scores were evaluated with the Fisher-Freeman-Halton test.

Results: The results revealed statistically significant differences between the AI-assisted software in terms of restorative design outcomes ($p < 0.001$). CEREC demonstrated the highest success in margin and surface scores, particularly in crown and overlay preparations. Automate excelled in inlay and onlay designs by producing both high surface scores and the shortest design durations. While Dentbird and ClinicCAD presented acceptable performance in some parameters, they showed greater variance ranges in overlay and onlay preparations, indicating lower algorithmic consistency. Atomica, on the other hand, yielded the slowest design times and only moderate performance in accuracy. Preparation type significantly affected both surface and margin scores; however, its effect on design duration was not statistically significant ($p > 0.05$). Similarity analysis confirmed that CEREC and Automate provided the most consistent and predictable outcomes within their respective groups.

Conclusion: This study suggests that the design performance of AI-supported software in indirect restorations varies significantly depending on the software and the type of preparation. While systems performed similarly in simpler morphologies, pronounced differences were observed in complex restorations. Although all restorations fell within clinically acceptable ranges, CEREC and Automate outperformed others in terms of margin adaptation, surface quality, and digital accuracy. Therefore, it is recommended that clinicians select software based on the type of restoration and specific clinical goals rather than convenience or familiarity.

Keywords: Artificial intelligence, Atomica, Automate, CAD, CEREC, ClinicCAD, Dentbird, indirect restoration, RMSE.



3. GİRİŞ ve AMAÇ

Dental indirekt restorasyonlar, dişlerin yapısal bütünlüğünü ve fonksiyonunu yeniden kazandırmak amacıyla laboratuvar ortamında hazırlanan restorasyonlardır (Fan ve ark., 2021). İndirekt restorasyonlar direkt restorasyonlara göre estetik, dayanıklılık ve biyouyumluluk açısından birçok avantaj sunar ve sıkça kullanılmaktadır. Geleneksel yöntemlerde indirekt restorasyonlar için diş hekimi tarafından hastadan ölçü alınır. Ölçüye göre restorasyon hazırlanır ve ilgili dişe yapıştırılır fakat bu geleneksel üretim adımları zaman alıcı, düşük verimli ve yoğun iş gücü gerektiren süreçlerdir (Manhart ve ark., 2004) Günümüzde, malzeme ve endüstriyel teknolojilerdeki gelişmeler sayesinde indirekt restorasyonlar geleneksel yöntemlerle üretilbildiği gibi bilgisayar destekli yöntemlerle de dijital olarak üretilmektedir. (Dobrzański & Dobrzański, 2020). Bu dijital dönüşüm kapsamında, ölçülerin ağız içi tarayıcılarla dijital olarak alınması sağlanmaktadır. Diş teknisyenleri, bilgisayar destekli tasarım/bilgisayar destekli üretim (CAD/CAM) sistemleri aracılığıyla restorasyonları oluşturarak üretim sürecindeki adımları önemli ölçüde azaltmaktadır (Andersson ve ark., 1996). Dijital yöntemlerle üretilen restorasyonlar, uyum, hasta konforu ve verimlilik açısından geleneksel yöntemlere göre daha üstün özellikler sunmaktadır (Ahrberg ve ark., 2016).

Dijitalleşmenin yükselişi ve dental materyallerin evrimiyle, dental restorasyonların üretiminde estetik açıdan yetersiz metal malzemelerden, feldspatik seramikler, cam seramikler ve metal alt yapıli zirkonyum gibi daha estetik materyaller kullanılmaya başlamıştır. Estetik açıdan üstün bu tür seramik materyaller, bilgisayar destekli tasarım/bilgisayar destekli üretim (CAD/CAM) teknolojisi aracılığıyla üretilmekte ve klinik diş hekimliği pratiğinde uygulanabilmektedir (Leeson, 2020). Bu materyallerin yanında eklemeli yöntemlerle üretilen restorasyonlar da popülerite kazanmakta ve günden güne yaygınlaşmaktadır (Son ve ark., 2021).

Bilgisayar destekli üretim şekilleri için üretilen restorasyonun dijital dosya formunun elde bulunması gerekir. Bu form, restorasyon geleneksel yöntemlerle tasarlandıktan sonra dijital ortama aktarılabilir veya direkt olarak dijital ortamda tasarlanabilir (Liu ve ark., 2024).

Dijital tasarımlar teknik bilgi, tecrübe ve zaman gerektirir. Bu süreci kolaylaştırmak ve süreyi kısaltmak amacıyla otomasyon ve yapay zekadan destek alınması fikri ortaya çıkmıştır (Fruehwirt & Duckworth, 2021). Zaten günlük hayatın birçok noktasında kullanılan bu karar verici gücün diş hekimliğinde kullanılmasının temelleri yıllar öncesine dayanmaktadır. Biyojenerik diş modeli fikri ile dişlerin kayıp dokularının matematiksel olarak

hesaplanabileceği düşünölmüş ve bu temsil, tasarım programları içerisine entegre edilmiştir (Mehl ve ark., 2005). Bu gelişmelerin ışığında günümüzde piyasada otomasyon ve yapay zekadan destek alan çeşitli yazılımlar mevcuttur ve gelecek vaat etmektedir (Grischke ve ark., 2020). Bunlardan bazıları yalnızca matematiksel formüllerle çalışırken bazıları aynı zamanda bulut desteklidir ve kendisine öğretilen vakalar üzerinden de gelişmeye açıktır (Liu ve ark., 2024; Sawangsri ve ark., 2025).

Bu tez çalışmasının amacı; farklı yapay zeka destekli yazılımların ürettiği farklı konfigürasyondaki indirekt restorasyon tasarımlarının zaman, doğruluk, kesinlik, marjin çizme ve restorasyonların klinik kabul edilebilirliği yönünden incelenmesi ve karşılaştırılmasıdır.

Bu çalışmanın hipotezleri;

1. Farklı yapay zeka destekli yazılımlar, tasarlanan restorasyonların sınır skorlarına etki eder.
2. Farklı yapay zeka destekli yazılımlar, tasarlanan restorasyonların yüzey skorlarına etki eder.
3. Farklı yapay zeka destekli yazılımlar, restorasyonların tasarlanma süresine etki eder.
4. Farklı yapay zeka destekli yazılımlar, tasarlanan restorasyonların doğruluğuna etki eder.
5. Farklı yapay zeka destekli yazılımlar, tasarlanan restorasyonların kesinliğine etki eder.
6. Farklı preparasyon tipleri, yapay zeka destekli yazılımların ürettiği sınır skorlarına etki eder.
7. Farklı preparasyon tipleri, yapay zeka destekli yazılımların ürettiği yüzey skorlarına etki eder.
8. Farklı preparasyon tipleri, yapay zeka destekli yazılımların üretiminde tasarım süresine etki eder.

9. Farklı preparasyon tipleri, tasarlanan restorasyonların doğruluğuna etki eder.
10. Farklı preparasyon tipleri, tasarlanan restorasyonların kesinliğine etki eder.



4. GENEL BİLGİLER

4.1. İndirekt Restorasyonlar

Diş hekimliğinde hem dayanıklılığı hem de estetik özellikleri bir arada sunabilen indirekt restoratif materyallere yönelik ilgi, 1903 yılında Land'ın feldspatik seramik kronları tanıtmasıyla başlamış; bu eğilim, 1965 yılında McLean'in feldspatik porselene alüminyum oksit ilave ederek mekanik özellikleri artırılmış seramikleri geliştirmesiyle daha da ivme kazanmıştır. (Anusavice ve ark., 2012). Son otuz yıl içerisinde, hem hastaların hem de diş hekimlerinin yüksek estetik, biyouyumluluk ve uzun ömür gibi özelliklere sahip restoratif çözümlere yönelik artan beklentileri doğrultusunda, diş hekimliği alanında metal içermeyen restorasyonlara yönelik belirgin bir yönelim ortaya çıkmıştır. (Guess ve ark., 2011). 2000'li yıllar boyunca, teknolojik yenilikler ve adeziv sistemlerdeki önemli gelişmelerin etkisiyle, dental sektörde dikkate değer bir çeşitlilikte seramik ve polimer esaslı restoratif materyaller kullanım alanı bulmuştur. (Hickel ve ark., 2023).

Bir dişin restorasyonu sırasında uygulanan tedavi yöntemleri, genel olarak direkt ve indirekt yaklaşımlar olmak üzere iki temel kategori altında sınıflandırılabilir. (Wiskott, 2011). Restoratif diş hekimliğinde direkt uygulama yöntemleri, çoğunlukla servikal mine dokusunun korunduğu küçük ve orta ölçekli Sınıf I ve II kavitelerde tercih edilmektedir. Bu klinik senaryolarda öncelikli seçenek olarak değerlendirilen direkt teknikler, minimal invaziv yaklaşıma olanak tanıyarak hem uzun süreli dayanıklılık hem de öngörülebilir ve tekrarlanabilir klinik başarı sağlamaktadır. (Magne ve ark., 1996). Bununla birlikte, servikal mine dokusunun bulunmadığı ve ileri düzeyde madde kaybının söz konusu olduğu olgularda direkt restorasyon yaklaşımlarının kullanımı, bilimsel dayanaklardan uzak, başarısızlık riski yüksek tedavi planlamalarına yol açabilmektedir. Bu doğrultuda, sert doku kaybının artış gösterdiği durumlarda, indirekt restoratif yöntemlerin değerlendirilmesi ve öncelikli tercih olarak ele alınması klinik açıdan daha rasyonel bir yaklaşım sunmaktadır.

4.1.1. İndirekt restorasyonların sınıflandırılması

İnley: İnley restorasyon, dişin tüberküllerini kapsamadan yalnızca fissür ve olukları takip edecek şekilde yerleştirilen bir indirekt restorasyon tipidir. Metal, seramik/porselen ya da kompozit esaslı materyallerden üretilebilen bu restorasyonlar, yalnızca sentrik oklüzyon desteği sağlamakta olup, lateral hareketlere katkı sağlamaz. İnleyleyler, çiğneme yüzeyindeki yapısal kayıpların minimal invaziv yaklaşımla onarılmasına olanak tanıyarak hem diş dokusunun

korunmasını hem de fonksiyonel bütünlüğün yeniden sağlanmasını amaçlar. (Schaefer ve ark., 2014).

Onley: Onley restorasyonlar, en az bir tüberkülü içerecek şekilde tasarlanarak bukkal, lingual ve proksimal yüzeylere kadar uzanan indirekt restoratif çözümler arasında yer alır. Tüberküller arası yüksekliği restore ettiklerinden dolayı, özellikle lateral oklüzal hareketler ve parafonksiyonel alışkanlıklar söz konusu olduğunda dikkatle planlanmaları gerekmektedir. İnley restorasyonlara kıyasla daha geniş bir alanı kapsayan onleyler, ciddi yapısal kayıplarda bile dişin korunmasına olanak tanıyarak fonksiyonel ve estetik bütünlüğün sürdürülebilmesine katkı sağlar. (Angeletaki ve ark., 2016).

Overley: Overley restorasyonlar, dişin tüm tüberküllerinin kayba uğradığı ya da ciddi şekilde zayıfladığı durumlarda tercih edilen, geniş kapsamlı indirekt restoratif yaklaşımlardır. Bu restorasyonlar, dişin büyük bölümünü kaplayarak mevcut yapıyı destekler, kalan sağlam dokuyu koruma altına alır ve böylece yapısal bütünlüğü yeniden sağlar. Genellikle yüksek mukavemetli seramik veya kompozit esaslı materyallerden üretilen overleyler, hem fonksiyonel dayanıklılık hem de estetik açıdan tatmin edici bir restoratif çözüm sunar. (Nestler ve ark., 2021).

Endokron: Adeziv teknikle uygulanan endokron restorasyonlar, ilk kez 1995 yılında Pissis tarafından tanımlanmış olup, pulpa odasından — gerektiğinde kök kanallarından da — destek alan, yeterli dayanımı adeziv sistemler aracılığıyla sağlayan ve hem kor hem de kuron bölgesini tek bir yapı içerisinde birleştiren monolitik restoratif çözümler olarak ortaya konmuştur. Bu yaklaşım, 1999 yılında Bindl ve Mörmann'ın gerçekleştirdiği klinik çalışmalarda elde ettikleri bulgular doğrultusunda, post-kor destekli kuronlara alternatif bir tedavi seçeneği olarak önerilmiştir. (ŞİRİNSÜKAN & CAN, 2019).

Lamina: Lamina veneerler, dişlerin vestibül yüzeylerine yapıştırılan ince yapılı porselen ya da kompozit reçine esaslı restorasyonlardır. Temel olarak estetik amaçlarla uygulanan bu restorasyonlar, dişlerin formunu, rengini ve boyutunu iyileştirmek için etkili ve konservatif bir seçenektir. Minimal invaziv yaklaşım gerektiren lamina veneer uygulamalarında, diş dokusunun büyük bir kısmı korunarak doğal yapıya mümkün olduğunca az müdahale edilir. Bu restorasyonlar; renklenme, mine aşınmaları, hafif malpozisyonlar ve diastema gibi estetik problemler üzerinde başarılı sonuçlar sunmaktadır. (Pini ve ark., 2012).

Kron: Kron restorasyonlar, ileri düzeyde madde kaybına uğramış dişlerin tamamını örtecek şekilde tasarlanan ve dişin hem fonksiyonunu hem de morfolojisini yeniden kazandırmayı

amaçlayan sabit protetik çözümlerdir. Bu restorasyonlar, dişin üzerine oturtularak yapısal destek sağlar ve uzun dönemli kullanım için stabilite sunar. Kronlar; porselen, metal veya metal destekli porselen gibi çeşitli materyallerden üretilebilir. Porselen kronlar, doğal diş rengini yüksek düzeyde taklit edebilme özellikleri sayesinde estetik gereksinimlerin ön planda olduğu bölgelerde tercih edilirken; metal kronlar, yüksek dayanıklılıkları nedeniyle posterior bölgelerde kullanım için uygundur. Metal destekli porselen kronlar ise, estetik ve mekanik dayanımı dengeli bir biçimde birleştirerek geniş bir endikasyon yelpazesi sunar.

Köprü: Köprü restorasyonları, bir ya da birden fazla diş eksikliğini gidermek amacıyla uygulanan sabit protez çözümleridir. Eksik dişlerin bulunduğu boşluklara komşu dişler veya dental implantlar üzerine sabitlenerek işlev görürler. Bu restorasyonlar, genellikle porselen, metal ya da metal altyapılı porselen malzemelerle üretilir. Tam seramik köprüler, doğal diş estetiğini taklit etme yetenekleri sayesinde özellikle anterior bölgelerde tercih edilirken; metal köprüler, yüksek mekanik dayanımları sebebiyle posterior bölgelerde yaygın şekilde kullanılır. Metal destekli porselen köprüler ise, estetik görünüm ile dayanıklılığı bir araya getirerek çok yönlü bir restoratif çözüm sunar. Köprü uygulamaları, diş eksikliğine bağlı olarak ortaya çıkan çiğneme fonksiyon bozukluklarını ve konuşma problemlerini giderirken, aynı zamanda dental arkın stabilitesini koruyarak oklüzal dengeyi destekler. (Ograk İH, 2024; Smith ve ark., 1986).

Tablo 1. İndirekt restorasyon türleri ve endikasyonları

Tür	Endikasyon
İnley	Dişin oluklarına uyan ve dişin tüberkülleri arasındaki alanı kaplayan restorasyonlar
Onley	Bir veya daha fazla tüberkülü kaplayan restorasyonlar
Overley	Dişin tüm tüberküllerini ve çiğneme yüzeyini kapsayan restorasyonlar
Endokron	Pulpa odasından ve/veya kök kanallarından destek alan restorasyonlar
Lamina	Dişlerin ön yüzeyini kaplayan genellikle ince olan restorasyonlar
Kron	Dişin tüm yüzeyini kaplayan restorasyonlar
Köprü	Ardışık dişlere veya implantlara tutunan ve bir veya daha fazla eksik dişi yerine koyan restorasyonlar

4.1.2. İndirekt restorasyonların endikasyonları

Günümüz modern diş hekimliğinde, direkt ve indirekt restoratif yaklaşımlar yaygın olarak uygulanmaktadır. Geleneksel klinik uygulamalarda, bu iki tedavi yönteminden hangisinin seçileceği genellikle restore edilecek kavitenin boyutuna göre belirlenir. Minimal ya da orta derecedeki madde kayıpları, çoğunlukla direkt kompozit rezin materyalleriyle tedavi edilirken; kavitenin genişliği, fasyal ve lingual tüberküller arasındaki mesafenin üçte ikisini aştığında, daha fazla yapısal destek gerektiren durumlar söz konusu olduğundan, indirekt restorasyonlar klinik olarak tercih edilen yöntem haline gelmektedir (da Veiga ve ark., 2016). Bununla birlikte, direkt uygulanan rezin kompozit materyallerin hem anterior hem de posterior bölgelerde kullanılabilen uygun fiziksel ve estetik özelliklere sahip olmaları, minimal invaziv preparasyon gereksinimi duymamaları ve düşük maliyetle tek seansta uygulanabilmeleri gibi avantajlar, bu materyallerin büyük hacimli kavitelere de tercih edilmesine yol açmaktadır. Bu eğilim, tedavi seçimini yalnızca kavite boyutuna dayandırmanın yetersiz kalmasına neden olmakta; dolayısıyla klinik karar verme sürecini daha karmaşık ve çok boyutlu hale getirmektedir (Laegreid ve ark., 2014).

Klinik uygulamalarda, restorasyon gereksinimi olan bir dişin direkt mi yoksa indirekt bir yöntemle mi tedavi edilmesi gerektiğine, hatta hangi tür indirekt yaklaşımın uygun olduğuna tedavi süreci esnasında karar vermek; hastaya daha rasyonel, bireyselleştirilmiş ve uygun tedavi seçenekleri sunulmasına olanak tanır. Bununla birlikte, yalnızca mevcut sert doku miktarı değil; pulpal vitalite, parafonksiyonel alışkanlıklar, marjinal konum, estetik beklentiler ve hastanın genel oral durumu gibi çok yönlü klinik faktörlerin de tedavi seçimini yönlendirmede mutlaka dikkate alınması gerekmektedir. Dişler tek başına değil aynı zamanda tedaviyi etkileyebilecek olan hasta motivasyonu, ağız hijyeni, hastanın periodontal sağlığı, oklüzal ilişkiler ve hastanın yaşı gibi diğer faktörler de göz önünde bulundurularak değerlendirme yapılmalıdır (DOĞRUER & AYKOR, 2019; HALAÇOĞLU, 2017; Rocca ve ark., 2015; Van Meerbeek ve ark., 1992).

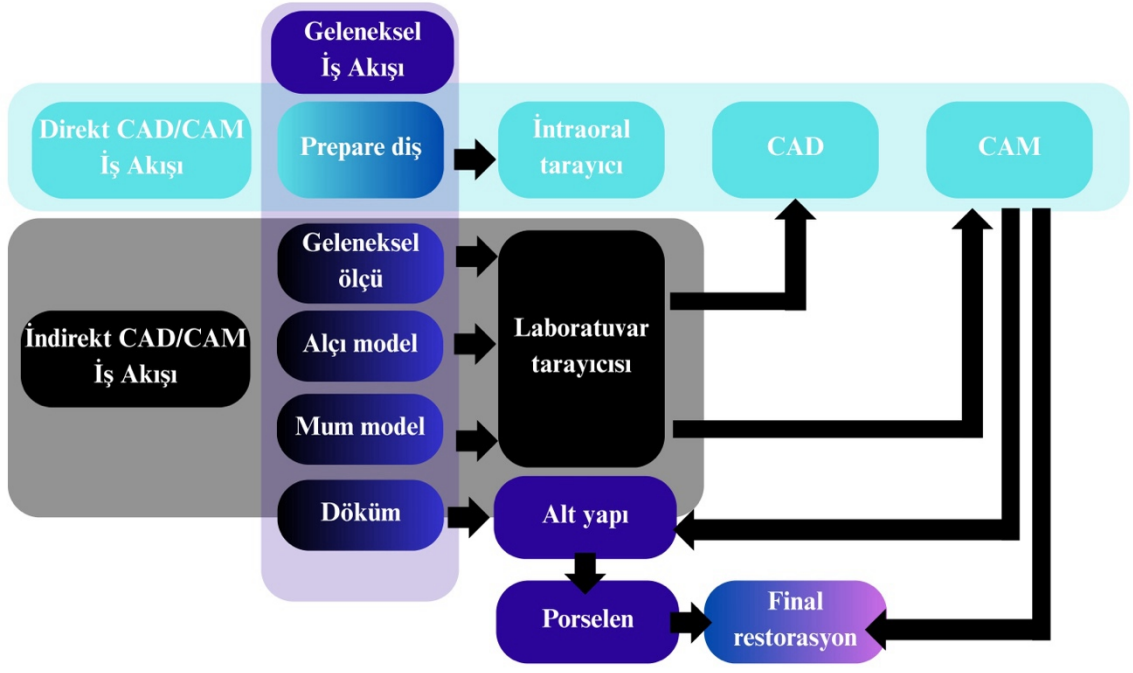
İndirekt restorasyonların endikasyonları şöyledir:

- Estetik beklentinin önemli olduğu alanlardaki Sınıf I veya Sınıf II restorasyonlar,
- Endodontik tedavi görmüş dişler,
- Aşınmanın fazla olduğu bölgeler,
- Metal restorasyon istemeyen veya metal alerjisi olan hastalar,
- Karşı arka porselen kron veya köprülerin bulunduğu vakalarda benzer sertlik ve aşınma direncine sahip materyal kullanılması gereken hastalar,
- Amalgam restorasyonların başarısız olduğu durumlar,
- Geniş Sınıf I veya Sınıf II kavitelere, özellikle tüberkül kaybı yaşanmış ve/veya fasiyolingual olarak çok fazla doku kaybı bulunan dişlerin restorasyonu veya var olan restorasyonların işlev göremeyip yeniden yapılması gereken durumlar,
- Oklüzal kontakların çoğunu veya tamamını içeren büyük posterior restorasyonlar,
- Oklüzal yüzeyin düzenlenmesi gereken veya dikey boyut rehabilitasyonu yapılması gereken durumlar,
- Çatlak diş sendromu olan dişler.

4.1.3. İndirekt restorasyonların üretim yöntemleri

İndirekt restorasyonları sınıflamak, bilimsel çalışma yapanlar için her zaman önemli bir konu olmuştur. Güncel indirekt restorasyonları üretim yöntemlerine göre sınıflayacak olursak üç ana üretim yöntemi çıkmaktadır;

- Döküm tekniği
- Presleme tekniği
- CAD/CAM tekniği (Helvey, 2013)



Şekil 1. Geleneksel ve dijital iş akışı.

Bu üretim teknikleri, indirekt restoratif tedavilerin hem fonksiyonel dayanıklılığını hem de estetik başarısını artırmak amacıyla diş hekimliğine entegre edilmiştir. Her yöntemin belirli materyaller ve klinik senaryolar için sunduğu avantajlar ve potansiyel sınırlılıklar vardır. Örneğin, döküm yöntemi metal alaşımlar açısından üstün mekanik dayanıklılık sağlarken; CAD/CAM teknolojisi, seramik ve kompozit materyallerin yüksek hassasiyetle işlenmesine olanak tanıyarak estetik beklentilere yanıt verir. Presleme yöntemi ise, özellikle lityum disilikat gibi cam-seramik materyallerin form verilmesinde, hem yapısal bütünlük hem de doğal diş benzeri görünüm açısından önemli avantajlar sunar. Dolayısıyla, her bir yöntemin seçimi; hastanın mevcut ağız içi durumu, restoratif ihtiyacı, estetik beklentisi ve oklüzal gereklilikler gibi çok yönlü faktörler doğrultusunda değerlendirilmelidir. Uygun üretim yönteminin tercih edilmesi ve doğru bir şekilde uygulanması, restorasyonun uzun süreli başarısını, biyouyumluluğunu ve hasta memnuniyetini doğrudan etkiler. Bu nedenle klinisyenler, farklı üretim tekniklerinin endikasyonlarını ve materyal uyumlarını iyi değerlendirerek, bireyselleştirilmiş ve bilimsel temelli tedavi planları oluşturmalıdır (Çakmak ve ark., 2022).

4.1.3.1. Döküm yöntemi ile üretim

Döküm yöntemi, özellikle metal alaşımları ve seramik bazlı materyallerin kullanıldığı sabit protezlerin üretiminde uzun süredir tercih edilen geleneksel bir tekniktir. Bu yöntemle, yüksek sıcaklıkta eritilen materyaller, önceden hazırlanan kalıplara dökülerek istenilen morfolojik form elde edilir. Döküm tekniği, yüksek marjinal uyum ve boyutsal doğruluk sunarak

restorasyonların hem mekanik dayanıklılığını hem de klinik başarısını artırmaktadır. Restorasyonun üretim süreci genellikle mum modelleme esasına dayanır. İlk olarak, planlanan restorasyonun anatomik yapısı, mum materyaliyle üç boyutlu olarak modellenir. Bu mum model, özel bir döküm kalıbı olan rövetman materyali ile çevrelenir ve belirli bir süre içerisinde sertleşmesi sağlanır. Ardından, bu yapı fırınlanarak mumun buharlaşması ile kalıpta boşluk oluşturulur. Bu boşluğa, yüksek sıcaklıkta eritilmiş metal ya da seramik materyal dökülerek restorasyon elde edilir. Döküm yöntemi, özellikle çok üniteli sabit köprü protezleri ve karmaşık anatomik yapılara sahip metal destekli restorasyonlar için klinik uygulamalarda halen geçerliliğini korumaktadır. Ayrıca, bu teknik sayesinde biyouyumlu, yüksek mukavemetli ve uzun ömürlü restorasyonlar üretilebilmektedir. Yüksek sıcaklık ve basınç altında gerçekleştirilen döküm işlemleri, restorasyonun iç yapısında boşluk ya da çatlak oluşumunu minimize ederek mekanik stabiliteyi artırır (Campbell, 2015; Rice, 1990)

4.1.3.2. Presleme yöntemi ile üretim

Presleme yöntemi, özellikle lityum disilikat gibi cam-seramik esaslı materyallerin işlenmesinde yaygın şekilde uygulanan ve yüksek estetik başarı sağlayan bir tekniktir. Bu yöntemde, seramik materyal belirli sıcaklıklarda yumuşatılarak kalıplar içerisine basınçla preslenir ve böylece restorasyonun istenen anatomik formu elde edilir. İşlem sürecinde seramiğin homojen yapısının korunması, oluşabilecek mikro çatlakların önlenmesine ve yapısal bütünlüğün sağlanmasına katkı sunar. Presleme tekniği, yalnızca şekilsel uygunluk değil, aynı zamanda optik özellikler bakımından da üstün restorasyonların üretilmesine olanak tanır. Özellikle doğal diş dokusuna benzer saydamlık ve renk geçişleri sunabilen lityum disilikat seramikler, bu yöntemle estetik açıdan tatmin edici sonuçlar verir. Lamina veneerler, tek üye kuronlar ve kısa köprüler gibi klinik endikasyonlarda sıklıkla tercih edilen preslenmiş restorasyonlar hem anterior hem de posterior bölgelerde güvenle kullanılabilir. Ayrıca, bu yöntemle üretilen restorasyonlar yüksek mukavemet özellikleri sayesinde fonksiyonel dayanıklılık da sunar (AL-AMLEH ve ark., 2010; Kelly, 1995).

4.1.3.3. CAD/CAM ile üretim

CAD/CAM teknolojilerinin diş hekimliğinde kullanımı, modern restoratif yaklaşımların seyrini kökten değiştiren önemli bir dönüm noktasıdır. Bu sistemlerin kökeni 1960'lı yıllarda sanayi alanındaki ihtiyaçlara yanıt vermek üzere geliştirilmiş; özellikle havacılık ve otomotiv sektörlerinde yüksek hassasiyet gerektiren üretim süreçlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu teknolojik altyapı, zamanla tıbbın çeşitli alanlarına entegre edilmiş ve 1980'li yıllarda diş hekimliği pratiğine adapte edilmiştir.

Diş hekimliğinde CAD/CAM uygulamalarının öncülerinden biri olarak kabul edilen Dr. François Duret, dijital ölçülerin alınarak restorasyonların bilgisayar destekli tasarım ve üretimiyle oluşturulabileceğini ortaya koymuştur. Bu gelişmeleri takip eden yıllarda, 1985'te Dr. Werner H. Mörmann ve Marco Brandestini'nin geliştirdiği CEREC (Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics, Dentsply Sirona, ABD) sistemi, dental alanda CAD/CAM teknolojisinin ticari olarak kullanılan ilk örneği olmuştur. CEREC, klinik ortamda hastanın tek bir randevusunda seramik restorasyonun taranması, tasarımı ve üretimini mümkün kılan entegre bir sistem sunarak, zamandan tasarruf sağlayan ve hasta konforunu artıran yenilikçi bir yaklaşım olarak dikkat çekmiştir (Moörmann, 2006; Vecsei ve ark., 2021).



Şekil 2. CEREC 1, CEREC 2, ve CEREC PrimeScan. (Fieldhouse, 2021)

CAD/CAM teknolojisi, hem eklemeli hem de çıkarmalı üretim yöntemlerini kapsayan bir üretim sürecidir ve seramik ile kompozit esaslı materyallerin işlenmesinde yaygın biçimde tercih edilmektedir. Eklemeli üretim süreci, materyalin katmanlar hâlinde üst üste eklenmesiyle üç boyutlu yapının oluşturulmasını içerirken; çıkarmalı üretim yöntemi, hazır blok materyalin frezleme işlemiyle aşamalı olarak şekillendirilmesini kapsar. Bu iki yöntem de, restorasyonun hem marjinal uyum hem de oklüzal doğruluk açısından ideal sonuçlar vermesine katkı sağlar. CAD/CAM sisteminde, dijital tarayıcılar aracılığıyla elde edilen veriler, bilgisayar ortamında tasarım yazılımları kullanılarak restorasyon haline getirilir. Ardından, bu dijital modeller doğrultusunda materyaller hassas bir şekilde işlenir. CAD/CAM uygulamaları, yüksek düzeyde ölçüm doğruluğu, tekrarlanabilirlik ve üretim süresinde ciddi kısalma gibi klinik açıdan önemli avantajlar sağlamaktadır (Bae ve ark., 2017; Patel, 2010; Van Noort, 2012).

4.2. Ağız İçi Tarayıcılar

Ağız içi tarayıcılar, CAD sürecinin ilk aşamasında kullanılan ve dijital veri elde etmeyi sağlayan cihazlardır. Geleneksel ölçülerin yerini alan bu tarayıcılar, ağız içi yapıların hızlı ve doğru şekilde dijital ortama aktarılmasına imkân tanır. Diş hekimliğinde dijital uygulamaların yaygınlaşmasında önemli rol oynamış ve tedavi süreçlerini iyileştirmiştir (Mangano ve ark., 2019).

Ağız içi tarayıcılar, ağız içi yapıların üç boyutlu olarak taranmasını ve elde edilen verilerin dijital ortama aktarılmasını sağlar. Optik ya da lazer tabanlı çalışan bu cihazlar, diş yüzeylerini tarayarak yüksek çözünürlüklü dijital modeller oluşturur. Tarama sırasında dişler ve çevre dokular ayrıntılı şekilde görüntülenir ve bu modeller, CAD yazılımlarında restorasyon tasarımı için kullanılır (Ender & Mehl, 2014).

Ağız içi tarayıcılar, diş hekimliği uygulamalarında pek çok avantaj sağlayarak klinik süreci daha etkili ve güvenilir hâle getirir. Öncelikle, bu cihazlar yüksek doğruluk ve hassasiyetle dijital ölçü alımına imkân tanır. Geleneksel ölçü yöntemlerine kıyasla daha az hata içerir ve ölçülerin tekrarlanabilirliği yüksektir. Bu durum, restorasyonların marjinal uyumunu artırır ve tedavi başarısını doğrudan olumlu etkiler. Aynı zamanda hasta konforunu da önemli ölçüde artıran ağız içi tarayıcılar, ölçü alma sürecini daha hızlı ve daha az invaziv hale getirir. Dijital verilerin kolayca saklanabilir ve paylaşılabilir olması, arşivleme ve laboratuvar iş akışlarını da kolaylaştırır. Sonuç olarak hem estetik hem fonksiyonel açıdan tatmin edici ve uzun ömürlü restorasyonlar elde edilmesine katkı sağlar (AlRumaih, 2021). Bunun yanı sıra, ağız içi tarayıcılar hasta konforunu belirgin şekilde iyileştirir. Geleneksel ölçü materyalleri genellikle hacimli, tatsız ve rahatsız edici olabilirken; dijital tarayıcılar ölçü alma sürecini daha hızlı, temiz ve konforlu bir hale getirir. Bu sayede hastalar, işlem sırasında daha az rahatsızlık yaşar ve süreç daha kısa sürede tamamlanır. Özellikle mide bulantısı refleksi olan, hassasiyeti yüksek ya da iş birliği zor hastalarda bu özellik önemli bir avantaj sunar (Siqueira ve ark., 2021). Dijital tarama, ölçü alma ve modelleme süreçlerini önemli ölçüde hızlandırır. Elde edilen dijital veriler anında CAD yazılımlarına aktarılabilir, bu da restorasyon tasarımına vakit kaybetmeden başlanmasına olanak tanır. Bu hızlı iş akışı, laboratuvar süreçlerini kısaltarak genel tedavi sürecini daha verimli hâle getirir. Böylece hem klinik zaman yönetimi iyileşir hem de diş hekimleri daha fazla hastaya kısa sürede müdahale edebilir (Mangano ve ark., 2019). Dijital ölçüler, kolayca depolanabilir ve uzun süre güvenli şekilde arşivlenebilir. Bu sayede diş hekimleri ve laboratuvarlar, hastaların önceki tedavilerine ait kayıtlara hızlıca ulaşabilir. Ayrıca bu dijital veriler, klinik ve laboratuvarlar arasında kolaylıkla paylaşılabilirdiği için iletişim

süreçleri daha verimli hâle gelir. Özellikle çok aşamalı ya da karmaşık tedavi planlarının koordinasyonunda bu durum önemli bir avantaj sunar ve iş akışını hızlandırır (Giménez ve ark., 2015). Ağız içi tarayıcılar, estetik ve fonksiyonel planlama açısından diş hekimlerine önemli avantajlar sunar. Dijital modeller üzerinden yapılan detaylı analizler, restorasyonların hem estetik görünümünü hem de fonksiyonel uyumunu en üst düzeye çıkarmaya yardımcı olur. Bu sayede tedavi sonuçları daha başarılı olurken, hasta memnuniyeti de artar. Özellikle estetik beklentileri yüksek olan bireylerde, dijital tarama verileri sayesinde daha hassas değerlendirmeler yapılabilir ve kişiye özel, tatmin edici restorasyon çözümleri geliştirilebilir (Van Noort, 2012). Sonuç olarak, ağız içi tarayıcılar günümüz dijital diş hekimliğinin temel bileşenlerinden biri haline gelmiş ve geleneksel ölçü alma yöntemlerine göre birçok üstünlük sunmuştur. Bu teknolojiler, klinik uygulamalarda daha yüksek doğruluk, artırılmış hasta konforu, hız ve operasyonel verimlilik ile estetik ve fonksiyonel uyumu optimize etme imkânı sağlayarak hem klinisyenler hem de hastalar açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

Ağız içi tarayıcılar ve dijital ölçüm teknikleri birçok avantaj sağlamasına rağmen, bazı sınırlılıkları da beraberinde getirmektedir. Öncelikle, bu teknolojilerin kullanımı için gerekli olan ağız içi tarayıcılar ve CAD/CAM sistemleri, yüksek başlangıç maliyetleriyle dikkat çeker. Özellikle küçük ölçekli klinikler için bu cihazların ve ilgili yazılımların temini, ciddi bir mali yük oluşturabilir ve dijital dönüşüm sürecini zorlaştırabilir (Joda & Brägger, 2015). Buna ek olarak, dijital tarama ve CAD/CAM sistemlerinin etkin bir şekilde kullanılabilmesi, kullanıcıların belirli bir düzeyde teknik bilgiye ve beceriye sahip olmasını gerektirir. Diş hekimleri ve dental teknisyenlerin bu teknolojileri verimli kullanabilmeleri için özel eğitimlerden geçmeleri gerekir. Bu eğitim süreci hem zaman alıcıdır hem de ek maliyetler doğurur, dolayısıyla sistemin entegrasyonu klinikler için ilave bir yatırım anlamına gelir (Logozzo ve ark., 2014). Tarama sürecinde meydana gelebilecek teknik aksaklıklar, elde edilen dijital verilerin doğruluğunu olumsuz yönde etkileyebilir. Özellikle kompleks anatomik bölgeler ya da ulaşılması güç alanlar, tarama işlemini zorlaştırarak eksik veya bozulmuş veri üretimine neden olabilir. Bu tür durumlarda, tarayıcının ağız içerisinde doğru açılarda ve stabil bir pozisyonda kullanılması büyük önem taşır. Aksi takdirde, restorasyon tasarımı için yetersiz veya hatalı veriler elde edilebilir. Ayrıca, bazı dijital tarayıcı modelleri, tükürük gibi nemli ortamlarda veya parlak yüzeylerde performans kaybı yaşayabilir; bu da taramanın kalitesini ve sonuçların güvenilirliğini düşürebilir (Patel, 2010). Dijital ölçülerin uzun vadeli saklanması ve arşivlenmesi fiziksel modellere kıyasla oldukça pratik ve yer tasarrufu sağlayan bir avantaj sunarken, bu verilerin güvenliği ve gizliliği ayrı bir sorumluluk alanı oluşturur. Hasta bilgilerini içeren dijital veriler, siber saldırılara karşı savunmasız kalabileceğinden, bu verilerin korunması

amacıyla güçlü şifreleme sistemleri, güvenli sunucu altyapıları ve düzenli yedekleme stratejileri gibi ek güvenlik önlemleri uygulanmalıdır. Bu hem hasta mahremiyetinin korunması hem de yasal düzenlemelere uygunluk açısından kritik bir gerekliliktir (Jahangiri ve ark., 2020).

CAD/CAM teknolojisi, dijital tarama sistemleri ve bilgisayar destekli tasarım yazılımlarının entegrasyonu sayesinde restorasyonların yüksek doğrulukla ve kısa sürede üretilmesini mümkün kılar. Ağız içi tarayıcılar, hastanın oral yapılarının detaylı ve güvenilir biçimde dijital ortama aktarılmasını sağlar. Bu veriler, CAD yazılımları aracılığıyla bireyselleştirilmiş restorasyon tasarımlarının temelini oluşturur. Devamında, CAM sistemleri bu dijital tasarımları fiziksel restorasyonlara dönüştürerek üretim sürecini tamamlar. Böylece CAD/CAM sistemleri, geleneksel yöntemlere kıyasla daha kısa sürede, yüksek uyum ve estetik başarıya sahip restorasyonların üretilmesine olanak tanır (Braian & Wennerberg, 2019).

Bununla birlikte, dijital ölçü yöntemlerinde kullanılan cihaz ve yazılımların zamanla teknik arızalara açık hale gelmesi ya da eski sürümlerin yeni sistemlerle uyumsuzluk göstermesi gibi durumlar da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu tür sistemlerin kesintisiz ve verimli bir şekilde çalışabilmesi için düzenli yazılım güncellemeleri ve teknik bakımların yapılması zorunludur. Aksi takdirde, performans düşüklüğü, sistem hataları ya da veri kayıpları gibi sorunlar yaşanabilir ve bu durum hem tedavi kalitesini hem de klinik iş akışını olumsuz etkileyebilir (Van Noort, 2012). Sonuç olarak, dijital ölçü yöntemleri modern diş hekimliğinde önemli avantajlar sunmakla birlikte, bazı sınırlılıkları da beraberinde getirmektedir. Yüksek başlangıç maliyetleri, kullanıcıların teknik bilgiye olan gereksinimi, tarama sırasında oluşabilecek hatalar ve dijital veri güvenliği gibi unsurlar, bu sistemlerin uygulanabilirliği ve klinik etkinliğini doğrudan etkileyebilir. Bu nedenle, dijital sistemlerin entegrasyonu planlanırken, yalnızca teknolojik kazanımlar değil; maliyet, kullanıcı eğitimi, veri yönetimi ve klinik uyumluluk gibi unsurlar da dikkatle değerlendirilmelidir.

4.3. Bilgisayar Destekli Tasarım Yazılımları (CAD)

Bilgisayar destekli tasarım teknolojisi, diş hekimliğinde restoratif işlemlerin dijital ortamda planlanmasını ve kişiye özel çözümler sunulmasını mümkün kılan yenilikçi bir yaklaşımdır. Bu süreç, hastanın ağız içi durumunun doğrudan dijital tarayıcılarla veya mevcut bir konvansiyonel ölçünün negatif modelinin dijitalleştirilmesiyle başlar. Ağız içi tarayıcılar, dişlerin ve çevre dokuların üç boyutlu, yüksek çözünürlüklü dijital görüntülerini elde eder ve bu veriler, dosya formatlarında CAD yazılımlarına aktarılır.

4.3.1. CAD yazılımlarında kullanılan dosya tipleri

“.stl” dosya formatı: CAD/CAM sistemlerinde yaygın olarak kullanılan “.stl” dosya formatı (Stereolithography, Standard tessellation language), üç boyutlu objelerin yüzey geometrisini temsil eder. Bu dosya formatı, diş hekimliğinde dijital tarama verilerinin ve tasarımların paylaşılması ve işlenmesi için standart hale gelmiştir. “.stl” dosyaları, 3D modellerin hassas ve doğru bir şekilde üretilebilmesi için gerekli olan tüm yüzey detaylarını içerir. Bu dosya formatı, CAD yazılımları ile dijital modellerin üretim süreçlerinde sorunsuz bir şekilde kullanılmasını sağlar (Mangano ve ark., 2016).

“.obj” dosya formatı: .obj (object) dosya formatı, üç boyutlu modellerin yüzey geometrisini temsil eden yaygın bir dosya formatıdır. Bu format, renk ve doku bilgilerini de içerebilir. .obj dosyaları, özellikle estetik planlama ve dijital gülüş tasarımı gibi uygulamalarda tercih edilir (Patel, 2010).

“.ply” dosya formatı: .ply (Polygon File Format) dosyaları, üç boyutlu modellerin hem geometrik hem de renk bilgilerini içerebilen bir formatıdır. Bu dosya formatı, yüksek doğruluk ve detay gerektiren uygulamalarda kullanılır. .ply dosyaları, dijital tarama verilerinin doğru ve detaylı bir şekilde işlenmesini sağlar (Logozzo ve ark., 2014).

“.3mf” dosya formatı: .3mf (3D Manufacturing Format) dosyası, 3D baskı ve dijital üretim süreçlerinde kullanılan bir dosya formatıdır. Bu format, dosya boyutunu optimize ederek yüksek kalitede 3D baskı yapılmasını sağlar. .3mf dosyaları, eklemeli üretim süreçlerinde yaygın olarak kullanılır (Ograk İH, 2024; Van Noort, 2012).

“.dxd” dosya formatı: .dxd (CEREC Design File) dosya formatı, Dentsply Sirona tarafından geliştirilen CEREC CAD/CAM sistemlerine özgü bir dosya formatıdır. Bu format, tasarlanan restorasyonun son halini içerir ve genellikle klinikten laboratuvara veri aktarımı, özellikle de CEREC ile inLab yazılımı arasındaki dijital iş akışında kullanılır. .dxd dosyaları; diş hazırlığı, marjin çizgisi, oklüzal temaslar ve anatomik restorasyon şekli gibi bilgileri taşır. CEREC sisteminin Biogeneric algoritması ile oluşturulan bu dosyalar, üretime hazır hale getirilmiş restorasyonları içerir. Klinik ve laboratuvar entegrasyonunu kolaylaştırması açısından, CEREC ekosistemi içerisinde standart veri paylaşım formatı olarak kabul görmüştür (Skramstad, 2019).

CAD yazılımları, diş hekimi ve dental teknisyenlere restorasyonun formu, marjinal uyumu, oklüzal ilişkileri, kontakt noktaları ve renk gibi özelliklerini detaylı ve kontrollü şekilde

tasarlama imkânı sunar. Geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında, CAD teknolojisi daha kısa sürede daha yüksek hassasiyetle sonuç verir; bu da hem klinik süreci hızlandırır hem de hasta konforunu artırır. Böylece tedavi süreçleri daha öngörülebilir, estetik ve fonksiyonel açıdan tatmin edici hâle gelir (Jivanescu ve ark., 2024). CAD süreci, diş hekimliğinde geniş bir restoratif ve ortodontik uygulama yelpazesinde etkin biçimde kullanılmaktadır. Tek diş kronları, çok üyeli köprüler, lamina veneerler ile inley ve onley gibi indirekt restorasyonlar, bu sistemler aracılığıyla dijital olarak hassas şekilde tasarlanabilir. Ayrıca, implant üstü restorasyonlar gibi daha kompleks yapılar ile ortodontik apareyler ve cerrahi rehberler gibi özel planlama gerektiren tedavi unsurları da CAD yazılımlarıyla detaylı şekilde modellenebilir.

Sık kullanılan bilgisayar destekli yazılımlar Tablo X'te verilmiştir:

Tablo 2. Sık kullanılan CAD/CAM sistemleri

Yazılım	Menşei	Firma	Sistem Tipi	Açıklama
DentalCAD	Almanya	Align Technology	Açık sistem	Çok yönlü ve yaygın; hızlı, modüler yapı; manuel tasarım süreci güçlüdür.
Dental System	Danimarka	3Shape	Yarı açık sistem	Endüstri standardı; birçok modül içerir (Implant Studio, Splint Studio, Model Builder vb.).
CEREC inLab	ABD	Dentsply Sirona	Kapalı sistem	Sirona tarayıcı ve frez makineleriyle uyumlu; kullanıcı dostu.
Dental Wings (DWOS)	Kanada / İsviçre	Straumann Group	Kapalı sistem	Implant ve bar tasarımında güçlü; daha çok Straumann altyapısı ile çalışır.
PlanCAD	Finlandiya	Planmeca	Yarı kapalı sistem	Planmeca tarayıcılarla entegre; kron, köprü gibi temel endikasyonlar için yeterli.
Modellier	İtalya	Zirkonzahn	Kapalı sistem	Zirkonya odaklı, implant üstü restorasyonlarda başarılı; sadece kendi sistemleriyle çalışır.

ABD: Amerika Birleşik Devletleri

CAD teknolojisi son dönemde entegre edilen yapay zeka teknolojileri ile de, hem fonksiyonel hem de estetik gereksinimleri karşılayan, biyoyumlu ve hasta özelinde tasarlanmış restorasyonların üretimini destekler. Bu sistemler, otomatik tasarım önerileri, biyojenerik

kopyalama veya kütüphane destekli modelleme gibi gelişmiş araçlarla kullanıcıya esneklik kazandırır. Bu dijital tasarım süreci sayesinde restorasyonların kenar uyumu, oklüzal ilişkisi ve kontakt noktaları yüksek doğrulukla kontrol edilebilir; böylece tedavi sonuçları daha öngörülebilir hâle gelir. Bu yönüyle CAD sistemleri, modern diş hekimliğinde hem klinik verimliliği artıran hem de hasta memnuniyetini yükselten bir araç olarak ön plana çıkmaktadır (Fasbinder, 2010).

4.4. Yapay Zeka

4.4.1. Yapay zekanın tarihçesi

Yapay zeka, insan zekasının bilgisayar sistemleri tarafından taklit edilmesi anlamına gelir ve öğrenme, akıl yürütme, problem çözme gibi bilişsel işlevlerin makine ortamında gerçekleştirilmesini ifade eder. Bu kavram ilk kez 1956 yılında Dartmouth Konferansı'nda John McCarthy, Marvin Minsky, Claude Shannon ve diğer bilim insanları tarafından dile getirilmiş ve modern bilgisayar biliminin en önemli araştırma alanlarından biri haline gelmiştir. İlk başlarda yalnızca temel matematiksel işlemleri taklit eden sistemlerle sınırlı olan yapay zeka, özellikle donanım kapasitesindeki artışlar, büyük veri kaynaklarının erişilebilir hâle gelmesi ve algoritmik gelişmeler sayesinde hızla evrilmiş ve karmaşık karar alma süreçlerine entegre edilebilir hale gelmiştir (Russell & Norvig, 2016).

Yapay zekanın düşünsel temelleri, 1950 yılında Alan Turing'in yayımladığı "Computing Machinery and Intelligence" adlı makaleye dayanmaktadır. Turing, makinelerin düşünebilme kapasitesini ölçmek amacıyla "Turing Testi"ni geliştirmiştir. Bu test, bir makinenin insana benzer düşünme yeteneğine sahip olup olmadığını sorgular (Turing, 1980).

Yapay zeka araştırmaları iki önemli durgunluk döneminden geçmiştir. 1970'lerin sonları ve 1990'larda yaşanan bu dönemler, yapay zekanın vaat ettiği başarıların teknik ve donanımsal yetersizlikler nedeniyle gerçekleştirilememesi sonucu fon desteğinin azalmasına yol açmıştır (Hendler, 2008).

Yapay zekanın yeniden canlanması, derin öğrenme algoritmalarının gelişmesiyle mümkün olmuştur. 2012 yılında Alex Krizhevsky ve arkadaşları tarafından geliştirilen "AlexNet", görsel tanıma yarışmasında büyük başarı elde etmiş ve bu gelişme özellikle tıbbi görüntüleme yapay zekanın önünü açmıştır (Krizhevsky ve ark., 2017).

IBM tarafından geliştirilen Watson, 2011 yılında Jeopardy! yarışmasını kazanarak yapay zekanın potansiyelini geniş kitlelere göstermiştir. Ardından, kanser tedavi önerileri sunarak

sağlık sektörüne yapay zekayı entegre etmiştir (Topol, 2019). Günümüzde yapay zeka; sadece bilgi işlemle sınırlı kalmayıp sağlık, finans, savunma sanayi ve özellikle biyomedikal alanlarda etkin şekilde kullanılmaktadır. Diş hekimliği de bu dönüşümden etkilenmiş, klinik karar destek sistemlerinden otomatik görüntü analizlerine kadar pek çok alanda yapay zeka uygulamaları entegre edilmiştir. Yapay zekanın diş hekimliğinde ilk yaygın uygulamaları, radyografik görüntülerin analizine yönelik olmuştur. Daha sonra CAD/CAM sistemlerine entegre olarak restoratif tasarım önerileri, marjin çizgisi tanıma ve teşhis sistemleri gibi alanlarda kullanılmaya başlanmıştır (Schwendicke ve ark., 2020).

Yapay zeka yalnızca teknik alanlarda değil, aynı zamanda sanat üretiminde de kullanılmaktadır. Resim, müzik ve şiir üretiminde yapay zeka tabanlı sistemler estetik kararlar verebilmekte, bu durum estetik diş hekimliği uygulamalarıyla da paralellik göstermektedir (Elgammal ve ark., 2017).

Yapay zekanın temel bileşenlerinden biri olan otomasyon, insan müdahalesine gerek kalmadan belirli görevlerin gerçekleştirilmesidir. Dijital diş hekimliğinde bu, örneğin tarama verilerinden otomatik restorasyon önerileri üretmek ya da marjin çizgisi tanımak gibi görevlerde karşımıza çıkar. Yapay zekanın bu tür tekrarlı görevlerdeki kullanımı, zaman tasarrufu ve operatör kaynaklı hata oranlarının azalması ile doğrudan ilişkilidir (Weiner ve ark., 2025).

Yapay zeka sistemleri aynı zamanda makine öğrenmesi ile beslenir. Bu yaklaşımda sistemler geçmiş verilerden öğrenerek benzer durumlarla karşılaştıklarında daha iyi tahminlerde bulunabilirler. Örneğin, geçmiş restorasyon vakalarından öğrenen bir sistem, yeni bir vakanın tarama verileriyle karşılaştığında ideal bir kuron morfolojisi önerisinde bulunabilir (Krois ve ark., 2019). Bu yaklaşım, veri temelli karar destek sistemlerinin gelişmesini sağlamış, hekimin kişisel sezgisine bağlı karar verme sürecini daha nesnel ve öngörülebilir hale getirmiştir.

Makine öğrenmesinin bir alt dalı olan derin öğrenme ise çok katmanlı yapay sinir ağları ile çalışır ve özellikle görüntü analizi gibi kompleks görevlerde daha yüksek doğruluk sağlar. Diş hekimliğinde derin öğrenme, radyografilerin değerlendirilmesi, çürük teşhisi, periodontal hastalıkların sınıflandırılması veya tarama verilerindeki eksik bölgelerin tamamlanması gibi alanlarda başarıyla kullanılmaktadır (Esteva ve ark., 2019)

Yapay zekanın bazı sistemleri ise sınırlı düzeyde özerk karar verebilme yeteneğine sahiptir. Bu sistemler, önceden programlanmış kuralların ötesine geçerek değişen klinik senaryolarda yeni çözümler üretebilir. Örneğin, belirli bir preparasyon tipine göre sadece geometriye değil, aynı zamanda oklüzal kuvvet dağılımına, komşu dişlerle olan ilişkiye ve materyal dayanımına göre

uygun restoratif tasarımı önerme kapasitesine sahiptir. Ancak bu tür uygulamalarda kararların denetlenebilir olması ve klinik sorumluluğun paylaşımı önemlidir (Yeslam ve ark., 2024).

Yapay zeka sistemlerinin diş hekimliğine entegrasyonu, özellikle CAD/CAM teknolojileri ile birlikte restoratif süreçlerin dijitalleşmesini desteklemiş ve aşağıdaki kazanımları beraberinde getirmiştir:

- Otomatik kenar çizgisi tanıma ve anatomik modelleme ile daha hassas restorasyon tasarımları,
- Büyük veri analizine dayalı hasta özelinde kişiselleştirilmiş öneriler,
- Zamandan tasarruf ve üretim maliyetlerinin azaltılması,
- Eğitimde simülasyon sistemlerinin geliştirilmesi,
- İnsan hatasının azaltılması ile artan tedavi öngörülebilirliği.

Sonuç olarak, yapay zeka; tarihsel olarak temel bilişsel işlevleri modelleme amacıyla ortaya çıkmış, ancak günümüzde biyomedikal uygulamalarda güçlü bir karar destek sistemine dönüşmüştür. Diş hekimliğinde bu dönüşüm, yalnızca teknolojik değil aynı zamanda klinik, etik ve pedagojik boyutları olan çok katmanlı bir yenilik süreci yaratmaktadır. Bu teknolojilerin doğru verilerle, güncel klinik kılavuzlarla ve etik ilkelerle bütünleştirilerek kullanılması, hem hasta güvenliğini artırmakta hem de klinik sonuçların standardizasyonunu mümkün kılmaktadır.

4.4.2 Yapay zekanın diş hekimliğinde kullanım alanları

4.4.2.1. Eğitim ve simülasyon sistemleri

Yapay zeka destekli platformlar, öğrencilere gerçek hasta verileri üzerinden interaktif ve kişiselleştirilmiş eğitim sunar. Diş preparasyonu, anatomik yapıların tanımlanması ve hata düzeltme gibi pratik beceriler yapay zeka ile desteklenen simülasyonlarla geliştirilebilir (Thurzo ve ark., 2023).

Yapay zeka, diş hekimliği eğitiminde bir dönüşüm aracı olarak değerlendirilmektedir. Geleneksel diş hekimliği eğitiminde öğrenciler genellikle preklinik aşamada plastik modeller üzerinde çalışarak el becerilerini geliştirir. Ancak bu modellerin sunduğu öğrenme deneyimi sınırlıdır; öğrenciler yaptıkları hatalara ilişkin gerçek zamanlı geri bildirim alamaz, bireysel öğrenme hızlarına göre uyarlanmış içeriklerle desteklenmez. Bu noktada yapay zeka destekli

simülasyon sistemleri devreye girerek, öğrencilerin hem psikomotor becerilerini hem de klinik karar verme yetilerini geliştirebilecek interaktif, kişiselleştirilmiş ve güvenli bir öğrenme ortamı sunmaktadır (Jaffari ve ark., 2024).

Son yıllarda özellikle sanal gerçeklik (VR) ile entegre çalışan yapay zeka algoritmaları, diş preparasyonu, kavite hazırlanması veya anatomik yapıların tanımlanması gibi temel klinik becerilerin öğreniminde oldukça etkili hale gelmiştir (Adnan ve ark., 2023). Örneğin, Unidental ve Simodont gibi VR sistemleri, öğrencilere üç boyutlu bir ortamda gerçek vakaları simüle etme ve her adımda anlık geri bildirim alma fırsatı tanımaktadır (Li ve ark., 2025). Randomize bir kontrollü çalışmada, VR ile desteklenen öğrencilerin, yalnızca plastik model kullananlara göre daha hızlı ve kontrollü şekilde preparasyon yapabildiği, aynı zamanda hata oranlarının da daha düşük olduğu gösterilmiştir (Dündar ve ark., 2025). Bununla birlikte, geleneksel sistemlere kıyasla preparasyon kalitesinde çok büyük farklar görülmemiştir; bu da VR ve yapay zekanın eğitime tamamlayıcı bir katkı sunduğunu göstermektedir (Li ve ark., 2025).

Yapay zeka algoritmalarının eğitim süreçlerine entegrasyonu sadece beceri uygulamalarıyla sınırlı değildir. Aynı zamanda öğrencilerin eksik olduğu alanları analiz ederek bireysel öğrenme yolları önerebilmekte, gelişimlerini zamana bağlı olarak izleyebilmekte ve öğretim üyelerine detaylı raporlar sunabilmektedir (Adnan ve ark., 2023). Bu yönüyle sistemler yalnızca pasif bir eğitim aracı değil, aynı zamanda dinamik bir eğitici partner gibi işlev görmektedir. Diğer yandan, öğrenciler de bu sistemlerle çalışmanın özgüvenlerini artırdığını, hata yapmaktan çekinmeden tekrar edebildiklerini ve geri bildirim kalitesinin öğrenmelerine doğrudan katkı sağladığını ifade etmektedir (Smith ve ark., 1986).

Bununla birlikte, yapay zekaya dayalı bu teknolojilerin eğitimde tam olarak standart hale gelmesi için hala bazı sorunların aşılması gerekmektedir. Cihazların yüksek maliyeti, yazılım optimizasyonu, öğretim elemanlarının teknolojiye adaptasyonu gibi faktörler bazı kurumlarda sınırlayıcı olabilmektedir. Ayrıca, bu sistemlerin eğitim çıktıları üzerindeki uzun vadeli etkilerini değerlendiren çalışmalara da ihtiyaç vardır. Yine de bugüne kadar elde edilen bulgular, yapay zeka destekli simülasyon sistemlerinin diş hekimliği eğitiminde güçlü bir tamamlayıcı rol oynadığını ve yakın gelecekte daha yaygın olarak kullanılacağını göstermektedir (Adnan ve ark., 2023; Dündar ve ark., 2025)

4.4.2.2. Klinik karar destek sistemleri

Yapay zeka sistemleri, klinik verileri analiz ederek diş hekimine tanı ve tedavi önerilerinde bulunur. Çürük, periodontitis veya oklüzal bozuklukların teşhisinde risk skorlama ve hastaya özel protokol önerileri sunar (Schwendicke ve ark., 2020).

Günümüzde yapay zeka destekli Klinik Karar Destek Sistemleri, diş hekimliğinde tanı, risk değerlendirmesi ve tedavi planlamasında güçlü bir yardımcı olarak öne çıkmaktadır. Özellikle çürük, periodontal hastalık ve oral kanser gibi kompleks klinik problemlerde, bu sistemler çok büyük miktarda klinik veri, radyografik görüntüler ve hasta öyküsünü hızlıca analiz ederek ihtiyaca uygun, kişisel protokoller sunabilmektedir. Örneğin, ağız içi görüntüler, biyopsi sonuçları ve anamnez gibi çoklu modüllerden gelen verileri bir araya getirerek oral kanserin erken dönemini tespit etme ve evreleme konusunda klinisyene destek sunabilecek bu sistemler, erken müdahil kararlar alınmasına yardımcı olmaktadır (Karuppan Perumal ve ark., 2025).

Aynı şekilde, periodontal hastalıkların tanı ve evrelemesinde de derin öğrenme tabanlı algoritmalar oldukça etkili sonuçlar vermektedir. Konvolüsyonel Sinir Ağları (CNN) kullanılarak alveolar kemik kaybının seviyesini ve klinik tutunma kaybını analiz eden sistemler, insan performansına yaklaşan doğruluk oranlarıyla tanı koyabilmekte ve doğru karar destek sağlama potansiyeli göstermektedir (Spartivento ve ark., 2025). Ayrıca, bu sistemler genetik, yaşam tarzı ve demografik verileri de dahil ederek kişiye özel risk skorları hazırlayabilmekte ve bu sayede hastaya özgün bakım protokolleri oluşturulabilmektedir (Karuppan Perumal ve ark., 2025).

Bununla birlikte, pratik uygulamada bu sistemlerin yaygın kullanımına hâlâ bazı engeller bulunmaktadır. Klinik karar sürecine entegre olmadan önce doğrulama çalışmaları sınırlıdır, sistemlerin güvenilirlik ve önyargı kontrolü yeterince gelişmemiştir; bir diğer deyişle birçok analiz hâlâ laboratuvar ortamına indirgenmiş düzeydedir. Gerçek uygulamalarda bu sistemlerin etkisi, yalnızca teknik doğruluğa değil, aynı zamanda klinik akışa entegrasyon, hasta sonuçları ve ekonomik faydaya bağlıdır. Bu boyutlar henüz yeterince değerlendirilmemiştir (Lal ve ark., 2025).

Yapay zekâ destekli klinik karar destek sistemlerinin diş hekimliğinde tanı ve tedavi süreçlerinde önemli bir potansiyele sahip olduğu söylenebilir. Ancak bu teknolojilerin klinik ortamda yaygın ve güvenli şekilde kullanılabilmesi için daha büyük ölçekli, prospektif ve randomize çalışmalar yapılması; etik, veri güvenliği ve kullanıcı eğitimi boyutlarının titizlikle

gözden geçirilmesi gerekmektedir. Bu sistemler, doğru şekilde geliştirilip entegre edildiğinde, klinik karar verme sürecini hem hızlandırabilir hem de daha güvenilir temellere oturabilir.

4.4.2.3. Görüntüleme ve tanı

Dijital radyografi sistemlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte, diş hekimliğinde tanıya yönelik görüntülerin sayısı ve kalitesi artmıştır. Ancak bu görüntülerin yorumlanması hala zamana bağlı, yoruma açık ve operatör tecrübesine oldukça bağımlı bir süreçtir. İşte bu noktada yapay zekâ destekli tanı sistemleri, özellikle radyolojik analizlerde yüksek doğrulukla çalışabilen, tutarlı ve hızlı değerlendirmeler sunarak diş hekimlerine büyük bir avantaj sağlamaktadır. Radyografik görüntülerde lezyon, kist, apikal patoloji gibi yapıların otomatik tanımlanmasında yapay zeka etkili sonuçlar vermektedir. Derin öğrenme modelleri, CBCT ve panoramik filmlerde yüksek doğruluk oranlarıyla patoloji tanısı koyabilmektedir (Mohammad-Rahimi ve ark., 2022).

Yapay zeka temelli modeller özellikle çürük lezyonlarının saptanması, apikal patolojilerin belirlenmesi, kist ve tümör gibi radyolüsent yapıların tanımlanması konularında güçlü performans sergilemektedir. Özellikle konvolüsyonel sinir ağları (CNN) kullanan sistemler, panoramik radyograflarda çürük ve pulpal patolojileri tespit etmede %90'ın üzerinde duyarlılıkla çalışabilmektedir (Dayı ve ark., 2023). Ayrıca yapay zekâ, konvansiyonel radyografilere göre çok daha detaylı üç boyutlu veri sunabilen konik ışınli bilgisayarlı tomografi gibi ileri görüntüleme sistemlerine de kolayca entegre edilmiştir. Kök rezorpsiyonu, sinüs perforasyonu ve endodontik komplikasyonların değerlendirilmesinde bu sistemlerin doğruluğu oldukça yüksektir (Heo ve ark., 2021)

Heo ve arkadaşlarını yaptığı bir çalışmada, otomatik segmentasyon yapan bir yapay zeka modelinin, mandibulanın sınırlarını ve mental foramen gibi kritik anatomik yapıların lokalizasyonunu manuel ölçümlerle karşılaştırıldığında %95'e varan bir örtüşme oranı sergilediği bildirilmiştir (Heo ve ark., 2021). Bu tür algoritmalar, yalnızca tanı koymakla kalmayıp, cerrahi ve ortodontik planlama gibi ileri uygulamalarda da zaman kazandırıcı etkiler yaratmaktadır. Ayrıca bazı sistemler, geçmiş radyografleri karşılaştırarak zaman içindeki değişimleri analiz edebilmekte, böylece progresif lezyon takibinde de hekimlere yardımcı olmaktadır (Schwendicke ve ark., 2020).

Buna karşın, görüntü kalitesine bağlı sınırlılıklar, verilerin standardize olmaması ve algoritmalarda "aşırı öğrenme" riski gibi teknik zorluklar hala önemini korumaktadır. Özellikle küçük örneklemler ve klinik dışı ortamlarda eğitilmiş yapay zeka modelleri, gerçek klinik

vakalarda düşük performans gösterebilir. Bu nedenle, yapay zeka destekli tanı sistemlerinin klinik ortamlarda geniş popülasyonlarda test edilmesi ve bağımsız doğrulamalarla güçlendirilmesi oldukça kritik bir gerekliliktir (Chartrand ve ark., 2017).

Sonuç olarak, yapay zeka teknolojileri, diş hekimliğinde görüntüleme ve tanı süreçlerinde oldukça umut verici bir rol oynamaktadır. Geliştirilen sistemler, insan hatasını azaltma, tanısal doğruluğu artırma ve zamandan tasarruf sağlama gibi avantajlarla öne çıkarken, bu teknolojilerin sorumlu ve dikkatli şekilde klinik pratiğe entegrasyonu da önemini korumaktadır.

4.4.2.4. Restoratif ve protetik planlama

Yapay zeka, diş hekimliğinde restoratif ve protetik planlamada giderek daha etkili hale gelmektedir. CAD/CAM sistemlerine entegre yapay zeka algoritmaları, tarama verilerine göre ideal restoratif tasarımlar önerebilir. Otomatik marjin tanımı, anatomik morfoloji oluşturma ve materyal önerisi gibi adımlar daha hızlı ve öngörülebilir şekilde tamamlanır. Bu sistemler, diş tarayıcılarından elde edilen üç boyutlu verileri analiz ederek otomatik marjin tanımı yapabilir, anatomik uyumlu yüzey morfolojileri oluşturabilir ve uygun materyal seçenekleri sunabilir (Revilla-León & Özcan, 2019). Geleneksel dijital tasarımlarda klinisyenin manuel olarak marjin çizmesi, morfolojik düzenleme yapması ve tasarım parametrelerini elle ayarlaması gerekmektedir. Ancak yeni nesil yapay zeka destekli yazılımlar, bu süreçleri otomatikleştirerek kullanıcıya zaman kazandırmakta ve insan hatasını en aza indirmektedir. Örneğin, derin öğrenme destekli algoritmalar, dijital taramalarda dişin bitim çizgisi olan marjin hattını manuel CAD sistemlerine kıyasla daha tutarlı ve hassas bir şekilde tespit edebilmektedir. Choi ve arkadaşlarının çalışmasında, bu tür sistemlerin Hausdorff Mesafesi değeri 0.566 mm'nin altında olacak şekilde yüksek uyum oranı sağladığı bildirilmiştir (Choi ve ark., 2024).

Bu tür sistemler yalnızca tasarım aşamasında değil, aynı zamanda restorasyonun klinik uyumunu değerlendirme süreçlerinde de kullanılmaktadır. Örneğin, yapay zeka destekli analiz yazılımları, restoratif yüzeylerin pürüzlülük değerlerini ya da marjinal boşluklarını mikron düzeyinde hesaplayarak restorasyonun başarı olasılığını değerlendirebilmektedir. Bu sistemlerin, tasarım süresini kısaltırken aynı zamanda öngörülebilir marjinal uyum sunduğuna dair ön bulgular mevcuttur; ancak bu konuda daha fazla klinik çalışmaya ihtiyaç vardır (Schwendicke ve ark., 2020).

Ayrıca bu tür algoritmalar, hasta verilerine göre kişiselleştirilmiş tedavi planlamasına da olanak tanır. Örneğin, bruksizm geçmişi olan bir hasta için oklüzal kuvvetlere dayanıklı materyaller önerilebilir veya estetik beklentisi yüksek bireylerde doğal ışık geçirgenliğine sahip seramik

tasarımları tercih edilebilir. Bu yönüyle yapay zekâ, yalnızca teknik bir araç değil, aynı zamanda klinik karar süreçlerine entegre bir danışman olarak rol üstlenmektedir (Liu et al., 2024). (Bhat ve ark., 2024)

Ancak yine de yapay zekanın bu alandaki uygulanabilirliğini sınırlayan bazı faktörler vardır. Özellikle verilerin standardizasyonu, algoritmaların eğitildiği örneklem genişliği ve kullanıcı geri bildirimine dayalı adaptasyon süreçleri gibi konular hâlâ geliştirilmesi gereken alanlar arasında yer almaktadır. Ayrıca, yazılım temelli kararların her zaman klinik tecrübenin yerini alamayacağı unutulmamalıdır.

4.4.2.5. Ortodontik değerlendirme ve planlama

Ortodontik tedavi planlaması, doğru teşhis ve ayrıntılı ölçümler gerektiren, yüksek derecede hassasiyet isteyen bir süreçtir. Geleneksel olarak bu planlamalar manuel ölçümler, radyografiler ve klinik değerlendirmelere dayanmakta; bu da zaman alıcı olduğu gibi hataya açık bir yapı sunmaktadır. Yapay zeka destekli sistemler ise, bu süreci otomatikleştirerek daha hızlı, daha tutarlı ve hasta odaklı bir yaklaşım geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Yapay zeka, yüz ve diş dizilimini analiz ederek otomatik ölçümler yapabilir. Maloklüzyon sınıflandırması ve tedavi planlaması gibi işlemler, klinisyene görsel destek sunarak planlamada kolaylık sağlar (Monill-González ve ark., 2021).

Özellikle konvolüsyonel sinir ağları ve diğer derin öğrenme algoritmaları kullanılarak geliştirilen modeller, sefalometrik analizlerde doğruluğu yüksek otomatik ölçümler gerçekleştirebilmektedir. Yapay zeka, lateral sefalometrik radyograflar üzerinde anatomik referans noktalarını %98'in üzerinde doğrulukla tanımlayabilir; bu sayede kafa yapısı, çene ilişkileri ve dişsel anomaliler hakkında hızlı teşhis yapılmasına katkı sağlar (Schwendicke ve ark., 2021). Ayrıca üç boyutlu taramalardan elde edilen veriler üzerinde yapılan yüz simetrisi ve profil analizleri, hastanın estetik ihtiyaçlarına göre daha kişiselleştirilmiş bir ortodontik planlamayı mümkün kılar (Tomášik ve ark., 2024)

Yapay zekanın sağladığı bir diğer avantaj, maloklüzyon sınıflandırmasındaki otomasyon ve karar destek sistemleridir. Derin öğrenme modelleri, hasta taramalarını analiz ederek sınıf I, II veya III maloklüzyonları otomatik olarak tanımlayabilir, ayrıca çapraşıklık ve kapanış problemleri gibi detayları da klinisyene sunabilir. Bu özellik, erken yaşta tedavi planlaması gereken olgularda büyük bir avantaj sağlamaktadır (Zhao ve ark., 2024).

Bunlara ek olarak, yapay zeka destekli simülasyon yazılımları sayesinde, hastalara tedavi sonrasında ulaşılabilecek diş dizilimi görsel olarak gösterilebilmekte, bu da hasta katılımını ve memnuniyetini artırmaktadır. Tedavi sürecinin dijital olarak öngörülebilir hale gelmesi, özellikle şeffaf plak sistemlerinin planlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Sistemler, diş hareketlerini küçük adımlarla simüle ederek her bir ara plağın tasarımını optimize edebilmektedir (Olawade ve ark., 2025).

Ancak her teknolojiye olduğu gibi burada da bazı sınırlılıklar vardır. Kullanılan algoritmalar genellikle belli demografik verilerle eğitildiğinden, farklı yaş grupları ya da etnik yapıdaki bireylerde performans kaybı yaşanabilir. Ayrıca, yapay zekanın belirli vaka türlerinde klinik sezgiyi ve deneyimi tam olarak yerine koyamayacağı da unutulmamalıdır.

4.4.2.6. Telediş hekimliği ve uzaktan izlem

Telediş hekimliği, coğrafi sınırlamaların ötesine geçerek hastalara uzaktan danışmanlık, tanı ve izlem hizmetleri sunmayı amaçlayan dijital sağlık uygulamaları arasında önemli bir yer edinmiştir. Bu uygulamalar, özellikle pandemi sonrası dönemde daha fazla önem kazanmış; kırsal bölgelerde veya erişimi kısıtlı bireylerde temel diş hekimliği hizmetlerine ulaşımı kolaylaştırmıştır. Son yıllarda bu alana yapay zekanın entegre edilmesiyle birlikte, telediş hekimliğinin potansiyeli daha da artmış, otomatik ön tarama, triaj ve klinik karar destek gibi uygulamalar yaygınlaşmaya başlamıştır. Yapay zeka, hasta ön tarama ve danışmanlık süreçlerini otomatikleştirerek uzaktan hizmetlerde verimliliği artırır. Özellikle erişimi kısıtlı bölgelerde triaj sistemi olarak kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Esteve ve ark., 2019).

Yapay zeka sistemleri, telediş hekimliği kapsamında en çok ön tanı ve görüntü analizi alanlarında kullanılmaktadır. Örneğin, hastaların cep telefonuyla çektikleri ağız içi fotoğraflar veya taşınabilir cihazlarla elde edilen veriler, yapay zeka algoritmaları tarafından analiz edilerek çürük, gingivitis veya yumuşak doku lezyonlarına dair erken uyarılar sunulabilir. Böylece, hekime gitmeden önce hastanın öncelik durumu belirlenir ve zaman açısından kritik vakalar hızlıca yönlendirilebilir. Bu süreç, hem sağlık hizmetlerinin yükünü azaltmakta hem de erken müdahale olasılığını artırmaktadır (Schwendicke ve ark., 2020).

Ayrıca, yapay zeka destekli sistemler, hasta takibi açısından da etkili araçlar sunmaktadır. Ortodontik tedavi gören bireylerde plak uyumu, braket yerleşimi ya da diş hareketlerinin takibi gibi işlemler, hasta tarafından evde yapılan düzenli taramalarla otomatik biçimde izlenebilmektedir. Bu sistemler, sadece görsel analizle sınırlı kalmayıp, hastadan gelen verileri yorumlayarak hekimi uyaran akıllı bildirim mekanizmalarına da sahiptir (Gomez, 2021).

Özellikle şeffaf plak tedavilerinde, ara plakların takibi ve uyumluluk verilerinin otomatik değerlendirilmesi, tedavi sürecini kesintisiz şekilde ilerletmeye yardımcı olmaktadır.

Ancak yapay zeka destekli telediş hekimliği uygulamalarında dikkat edilmesi gereken bazı etik ve teknik konular da vardır. Hastadan alınan görsellerin kalitesi, çevresel ışık, kamera çözünürlüğü ve hasta uyumu gibi faktörlere bağlı olarak analiz doğruluğunu etkileyebilir. Ayrıca hasta verilerinin korunması ve veri güvenliği, uzaktan iletişim ortamlarında daha hassas bir sorun haline gelmektedir. Yapay zekâ sistemlerinin şeffaflık, sorumluluk ve önyargı içermeme gibi temel ilkelere uygun şekilde geliştirilmesi bu alandaki en büyük ihtiyaçlardan biridir (McGrath ve ark., 2025)

4.4.2.7. Yönetim ve operasyonel iş akışı

Diş hekimliği uygulamalarında klinik beceriler kadar idari süreçlerin de etkin şekilde yönetilmesi, hasta memnuniyetinden finansal sürdürülebilirliğe kadar pek çok alanda doğrudan etki yaratmaktadır. Günümüzde yapay zeka destekli uygulamalar, bu operasyonel iş akışlarını optimize etmek için giderek daha fazla kullanılmakta; randevu planlaması, hasta iletişimi, stok yönetimi ve sigorta süreçleri gibi görevlerde zaman kazandıran, hata riskini azaltan ve verimliliği artıran çözümler sunmaktadır (Topol, 2019).

Özellikle randevu yönetiminde yapay zeka sistemleri, hasta geçmişini analiz ederek en uygun ziyaret sıklığını önerme, boşlukları doldurmak için otomatik önerilerde bulunma ve hatırlatma mesajlarını kişiselleştirerek iptal oranlarını azaltma gibi görevleri başarıyla yerine getirmektedir. Bu sistemler, aynı zamanda yoğun saat dilimlerini optimize ederek hasta akışında denge sağlamak ve klinik kapasite kullanımını artırmaktadır (Surdilovic ve ark., 2022).

Faturalama ve sigorta süreçlerinde de benzer şekilde yapay zeka destekli yazılımlar büyük kolaylık sağlamaktadır. Hastaların işlem geçmişi, teşhis kodları ve ödeme bilgileri analiz edilerek, sigorta uygunluk kontrolleri otomatikleştirilebilmekte; bu da manuel işlem hatalarının ve reddedilen taleplerin oranını düşürmektedir. Bazı sistemler, yanlış teşhis, tedavi ve sigorta kodlarını tespit edebilmekte ve uyumlu hale getirmek için önerilerde bulunmaktadır (McDermott, 2024)

Ayrıca hasta iletişimde kullanılan yapay zeka tabanlı chatbotlar, muayene sonrası bakım talimatlarını iletme, sıkça sorulan soruları cevaplama ve yeni hasta kaydında yönlendirme gibi görevlerde başarılı şekilde rol almaktadır. Bu sistemler, klinik telefon trafiğini azaltmakta ve

personelin zamanını daha kritik görevlere ayırmasına olanak tanımaktadır (Surdilovic ve ark., 2022). Bazı platformlar ise, hasta verilerinin analizine dayanarak klinik içi operasyonlarda iyileştirme alanları hakkında yöneticilere öngörü raporları sunmaktadır.

Elbette tüm bu avantajlara rağmen yapay zekanın bu alandaki uygulanabilirliğini etkileyen bazı unsurlar da mevcuttur. Veri güvenliği, sistemler arası entegrasyon zorlukları ve kullanıcı eğitimi gibi konular, yapay zeka destekli çözümlerin etkin kullanımını doğrudan etkilemektedir. Ayrıca sistemlerin hastane yazılımlarıyla ve yasal kodlama standartlarıyla tam uyumlu olması, uzun vadede sürdürülebilir bir dijital altyapının kurulması açısından kritik öneme sahiptir.

4.4.2.8. Hasta iletişimi ve danışmanlık

Yapay zeka tabanlı chatbotlar, dış hekimi ile hasta arasındaki iletişim sürecini daha erişilebilir, tutarlı ve verimli hale getirmektedir. Örneğin, implant cerrahisi öncesi hastalara sunulan bilgilendirme ve onam formlarında ChatGPT ile üretilmiş içeriklerin olumlu etkisi olduğu, dış hekimleri tarafından hem doğruluk hem kişiselleştirme açısından yüksek değer gördüğü bulunmuştur (Di Battista ve ark., 2024). Benzer şekilde, protetik tedaviyle ilgili sıkça sorulan sorulara karşı sohbet botlarının cevap verme performansı incelenmiş; özellikle Google Gemini gibi modellerin yüksek kalitede ve okunabilir cevaplar sunduğu tespit edilmiştir (Esmailpour ve ark., 2025).

Bu sistemler hasta eğitimi ve danışmanlık bağlamında da güçlü bir rol oynamaktadır. Özellikle arka plan verilerini hastanın demografisi ve tedavi öyküsü ile harmanlayarak, sık sorulan sorulara anında yanıt verebilme, takip talimatlarını paylaşabilme ve genel bakım önerileri sunabilme özelliklerine sahiptir. Özellikle İngilizce dilinde hazırlanan formlarda ChatGPT'nin okuma düzeyini düşürerek daha anlaşılır hale getirdiği yazılı çalışmalar, bilgilendirmeyi hızlandırırken hasta memnuniyetini artırma potansiyeli taşımaktadır (Swisher ve ark., 2024).

Dahası, yapay zeka tabanlı web sohbet platformları, hastalara 7/24 destek sağlayarak sık sorulan soruları yanıtlamakta, randevu zamanlamalarına yardımcı olmakta ve telefon yükünü hafifleterek ön büro çalışanlarının iş yükünü azaltmaktadır (Surdu ve ark., 2025).

Yine de bu araçların klinik ortamda güvenli ve etkili kullanılabilmesi için dikkat edilmesi gereken unsurlar bulunmaktadır. Chatbot cevaplarının tıbbi doğruluğu düzenli olarak değerlendirilmelidir; ayrıca veri gizliliği, hasta mahremiyeti ve olası önyargılara karşı şeffaflık

sağlanmalıdır. Kullanıcı geri bildirimleriyle sistem sürekli iyileştirilmeli ve insan gözetimiyle onaylanarak entegre edilmelidir.

4.4.2.9. Etik, hukuki ve veri güvenliği uygulamaları

Yapay zeka sistemlerinin doğru kullanımı, etik prensiplere uygunluk ve hasta mahremiyetinin korunması açısından titizlik gerektirir. Klinik kararın sorumluluğu, verinin güvenliği ve sistem şeffaflığı hala çözüm bekleyen konular arasındadır (Weiner ve ark., 2025).

Diş hekimliğinde yapay zeka teknolojilerinin giderek yaygınlaşması, beraberinde yalnızca teknik yenilikleri değil, aynı zamanda ciddi etik, hukuki ve veri güvenliği sorunlarını da gündeme getirmiştir (Naeem ve ark., 2023). Özellikle hasta verilerinin korunması, algoritmaların tarafsızlığı ve yapay zeka kararlarının şeffaflığı, bu teknolojilerin güvenli ve sorumlu kullanımı açısından temel ilgi alanları haline gelmiştir (Kaur ve ark., 2025). Yapay zeka destekli sistemler, büyük miktarda hassas hasta verisiyle çalıştığı için bu bilgilerin korunması, işlenmesi ve paylaşılması süreçlerinde ulusal ve uluslararası düzenlemelere sıkı sıkıya bağlı kalınması gerekmektedir (Kim ve ark., 2023). Kişisel sağlık verilerinin işlenmesinde kimlik bilgilerinin ayrıştırılması ve yüksek düzeyde anonimleştirme yöntemlerinin kullanılması, hasta mahremiyetini korumak açısından önemlidir.

Bununla birlikte, algoritmik önyargı önemli bir etik sorun olarak öne çıkmaktadır. Farklı etnik gruplar, yaş aralıkları veya cinsiyet gruplarından yeterince temsil edilmeyen veri kümeleriyle eğitilmiş yapay zeka sistemleri, bu gruplara ait hastalarda tanısız hata oranlarını artırabilmektedir (Naeem ve ark., 2023). Bu durum, diş hekimliği hizmetlerinde eşitsizlik yaratma riski taşıdığı gibi, yapay zekaya duyulan güveni de zedeleyebilir. Klinik karar destek sistemlerinin “kara kutu” şeklinde çalışması, yani karar verme sürecinin kullanıcı tarafından anlaşılabilir olmaması da klinik güvenlik açısından bir diğer önemli sorundur (Kaur ve ark., 2025). Bu noktada, açıklanabilir yapay zeka sistemlerinin geliştirilmesi ve diş hekimlerinin sistem içindeki karar mantığını denetleyebilmesi büyük önem taşır (Schwendicke ve ark., 2020).

Veri güvenliği kadar düzenleyici çerçeveler de yapay zekanın klinik ortamlarda sorumlu kullanımını belirleyen temel etmenlerdendir. Avrupa Birliği’nin 2024 yılında yürürlüğe giren Yapay Zeka Yasası, sağlık alanındaki uygulamaları yüksek riskli kategoride değerlendirerek sistemlere insan gözetimi, şeffaflık, veri kalitesi ve güvenlik yükümlülükleri getirmiştir. Benzer şekilde, Amerika Birleşik Devletleri’nde uygulanan düzenlemeler de sağlık verilerinin gizliliği, iletimi ve depolanmasına yönelik sıkı kuralları içermektedir (Kaur ve ark., 2025). Bu

düzenlemeler, yapay zeka uygulamalarının yalnızca teknik değil, aynı zamanda etik ve hukuki olarak da denetlenmesini zorunlu kılmaktadır.

4.4.2.10. Gelecek perspektifi: Kişiselleştirilmiş diş hekimliği

Yapay zekanın genetik veriler, yaşam tarzı ve geçmiş klinik öykü gibi çoklu veri kaynaklarını entegre ederek bireye özel koruyucu ve tedavi edici önerilerde bulunması hedeflenmektedir (Hung ve ark., 2023).

Diş hekimliğinde kişiye özel, önleyici, öngörücü ve katılımcı (“P4: personalized, preventive, predictive, participatory”) bir yaklaşımın geliştirilmesi, yapay zekanın gücüyle hızlanmaktadır. Hung ve arkadaşları; yapay zeka destekli kişiselleştirilmiş diş hekimliğinin genetik yapı, yaşam tarzı, çevresel faktörler ve klinik geçmiş gibi çoklu veri kaynaklarını entegre ederek gerçek anlamda bireye özgü tanı ve tedavi planları oluşturabileceğini aktarmıştır; bunun artık hedeften öte, klinik düzeyde izlenebilir uygulamalara dönüştüğünü savunmaktadır. Çalışmada dentomaksillofasiyal görüntüleme alanında geliştirilen yapay zeka sistemlerinin bireysel anatomik varyasyonları tespit ederek tanı doğruluğunda önemli iyileşmeler sağladığını ve böylece hasta bazlı risk haritalarının oluşturulabileceğini ortaya koymuşlardır (Hung ve ark., 2023).

Yapay zeka uygulamalarına genel bir bakış sunan derlemeler, bu teknolojilerin sadece çürük veya kemik kaybı gibi klinik göstergelerini değil; aynı zamanda hastanın genetik, davranışsal verileri ve gerçek zamanlı giyilebilir cihaz verileriyle de entegre analiz yaparak daha kapsamlı bir öngörü gücü sağladığını göstermektedir. Bu sayede çürük riski, implant uyum potansiyeli gibi risk profil analizleri mümkün hale gelmekte ve erken müdahale seçeneklerini güçlendirmektedir.

4.4.3. CAD ve yapay zeka

Yapay zeka, dijital diş hekimliğinde son yıllarda hızla gelişen ve geleneksel CAD/CAM sistemlerine önemli katkılar sağlayan bir teknolojidir. Yapılan araştırmalar, yapay zekanın restoratif diş hekimliğinde tarama, veri işleme ve tasarım süreçlerine entegre edilmesinin, sistemin doğruluğunu, hızını ve öngörülebilirliğini artırdığını göstermektedir (Revilla-León ve ark., 2022; Yeslam ve ark., 2024)

Tablo 3. Restoratif Diş Hekimliği Alanında Kullanılan Yapay Zeka Destekli Programlar (Tseng ve ark., 2025)

Sistem	Menşei	Şirket	YZ Tabanlı mı?	YZ Desteği Var mı?	YZ Özelliği	Açıklama
Automate	Danimarka	3Shape	Evet	Evet	Tam otomatik, bulut YZ	Kullanıcı sadece veri yükler, sistem bulutta restorasyon tasarlar.
Exocad YZ Modülü	Almanya	Align Technology	Kısmen	Evet	Lokal YZ destekli anatomik öneri	Kullanıcının manuel müdahalesine açık; öneri motoru entegre.
DentBird	Güney Kore	Imagoworks	Evet	Evet	Tam otomatik YZ tasarımı	Bulut YZ üzerinden tam otomatik tasarım sunar.
Atomica	Güney Kore	Atomica	Evet	Evet	Tam otomatik YZ tasarımı	Eğitilmiş yapay zeka modeline dayalı, kullanıcı girişi gerektirmez.
ClinicCAD	Güney Kore	Medit	Kısmen	Evet	Lokal YZ destekli restorasyon önerisi	Tek kron, inlay/onlay gibi restorasyonlar oluşturabilir; marjin çizimi ve morfoloji önerisi içerir.
CEREC SW	ABD	Dentsply Sirona	Hayır	Evet	Biyojenerik örüntü modellemesi	İstatistiksel verilere dayalı anatomik form önerisi; YZ desteği sunar.
DentDesign	Tayvan	PrintIn	Evet	Evet	Tama otomatik YZ tasarımı	Tek kron, inlay/onlay gibi restorasyonlar oluşturabilir; marjin çizimi ve morfoloji önerisi içerir.

ABD: Amerika Birleşik Devletleri, YZ: Yapay zeka

Geleneksel dijital sistemlerde restorasyon tasarımları genellikle operatör deneyimine ve manuel düzenlemelere dayanırken, yapay zeka destekli sistemlerde otomatik marjin çizgisi tanıma, biyojenerik morfoloji üretimi ve oklüzal uyum analizleri gibi süreçler çok daha hızlı ve tutarlı şekilde gerçekleşmektedir. Özellikle karmaşık anatomik bölgelerde eksik veri noktalarının tamamlanması ve tarama hatalarının giderilmesi gibi işlevlerde yapay zekanın katkısı klinik başarının artırılmasına doğrudan etki etmektedir (Gao ve ark., 2025).

Ayrıca, yapay zeka algoritmaları büyük veri kümeleri üzerinden öğrenme yoluyla, geçmiş restorasyonlardan elde edilen başarı oranlarını analiz edebilir ve yeni restorasyon önerilerini bu veriler doğrultusunda optimize edebilir. Bu yaklaşım, hasta özelinde daha kişiselleştirilmiş restorasyon tasarımlarının elde edilmesini mümkün kılar (Abduo & Elseyoufi, 2018)

Klinik iş akışlarında zaman tasarrufu sağlanması, kullanıcı bağımlılığını azaltması ve üretim sürecinde hata payını düşürmesi, yapay zekanın dijital diş hekimliğine getirdiği en önemli artı yönlerdendir.

Sonuç olarak, yapay zeka teknolojileri, geleneksel dijital sistemlerin ötesine geçerek restoratif diş hekimliğinde otomasyonu artırmakta ve tedavi kalitesini yükseltmektedir. Bu entegrasyon, hem klinik pratikte hem de dental laboratuvar süreçlerinde verimliliği ve öngörülebilirliği maksimize eden bir paradigma değişimi yaratmaktadır.

4.4.4. Yapay zekanın avantaj ve dezavantajları

4.4.4.1. Yapay zekanın avantajları

Yapay zeka, insan zekasına özgü öğrenme, akıl yürütme ve karar verme gibi bilişsel işlevlerin bilgisayar sistemleri tarafından taklit edilmesini amaçlayan bir teknoloji alanıdır. Günümüzde yapay zeka, mühendislik sistemlerinin deneyim ya da eğitimle edinilmiş bilgi ve becerileri işleyip uygulayabilme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır (Revilla-León ve ark., 2022).

Yapay zeka sistemleri, uzman sistemlerden, büyük veri kümelerinden öğrenerek yeni örnekler üzerinde tahminlerde bulunabilen makine öğrenimi modellerine kadar çeşitli formlarda bulunur. Özellikle makine öğrenimi, istatistiksel desenleri tanıyarak sınıflandırma, regresyon ve kümeleme gibi görevleri yerine getirebilen algoritmalarla donatılmıştır (Schwendicke ve ark., 2020).

Makine öğrenimi algoritmaları genellikle denetimli ve denetimsiz olarak iki gruba ayrılır. Denetimli öğrenimde, her veri noktasının hem girdisi hem de beklenen çıktısı önceden belirlenmiştir. Bu sayede algoritma, girdilerle çıktılar arasındaki ilişkiyi öğrenir ve yeni girdiler için tahminler yapabilir. Buna karşın, denetimsiz öğrenimde veri üzerinde herhangi bir etiketleme yapılmaz; model, verinin yapısını keşfetmeye çalışır ve çoğunlukla kümeleme ya da boyut indirgeme gibi görevler için kullanılır (Ekert ve ark., 2019).

Son yıllarda, özellikle sağlık alanlarında, derin öğrenme olarak bilinen çok katmanlı yapay sinir ağları büyük ilgi görmektedir. Bu yöntemler, biyomedikal görüntüleme, genom analizi ve klinik

karar destek sistemlerinde başarılı uygulama örnekleri sunmuştur (Schwendicke ve ark., 2020). Diş hekimliği de bu dönüşümden payını almakta; klinik tanılarda doğruluğu ve tutarlılığı artırmak, zamandan tasarruf sağlamak ve hasta bakımını iyileştirmek amacıyla yapay zeka teknolojilerinden faydalanılmaktadır (Revilla-León ve ark., 2022).

Yapay zekanın diş hekimliği alanındaki uygulamaları; dental radyolojide görüntü iyileştirme, kist ve tümör tespiti, periapikal lezyonların tanısı ve kök morfolojisinin belirlenmesi, periodontitis saptanması, ortodontide sefalometrik referans noktalarının otomatik olarak bulunması gibi birçok klinik alanı kapsamaktadır (Schwendicke ve ark., 2020).

Restoratif diş hekimliği alanında ise yapay zeka; çürük tespiti, diş çatlaklarının tanısı, preparasyon sınırlarının belirlenmesi ve restorasyon başarısızlıklarının öngörülmesi gibi özgül uygulamalarla değerlendirilmektedir (Revilla-León ve ark., 2022). Özellikle intraoral taramalar ve radyografik görüntüler üzerinden elde edilen veriler, yapay zeka modelleriyle işlenerek klinik karar destek sistemlerine dönüştürülebilmektedir.

Bu bağlamda, restoratif diş hekimliğinde yapay zekanın gerçek potansiyelini anlayabilmek için, bu teknolojilerin geliştirilme süreçlerinin, performanslarının ve sınırlılıklarının sistematik olarak sınıflandırılması ve değerlendirilmesi gereklidir. Nitekim son yıllarda yapılan çalışmalar, yapay zeka modellerinin çürüklerin sınıflandırılması, dikey diş kırıklarının tanısı, diş preparasyon sınırlarının belirlenmesi ve uzun vadeli restorasyon başarısızlıklarının tahmininde umut verici sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur (Revilla-León ve ark., 2022).

4.4.4.2. Yapay zekanın dezavantajları

Veri kalitesine aşırı bağımlılık: Yapay zeka sistemleri, doğrulukla çalışabilmek için yüksek kaliteli ve büyük hacimli veri setlerine ihtiyaç duyar. Eğer kullanılan taramalar eksik, bozuk ya da standart dışıysa yapay zeka algoritmaları hatalı marjin çizimi, uygunsuz restorasyon önerisi gibi yanlış çıktılar verebilir veya hiç çizim ve öneri yapamayabilir (Shan ve ark., 2021).

Klinik senaryoların aşırı genellenmesi: Yapay zeka modelleri sıklıkla geçmiş vakalardan öğrenir. Ancak bu durum, sıra dışı veya kompleks olgular karşısında sistemin genelleyici ve yüzeysel çözümler üretmesine neden olabilir. Özellikle travmatik, kombine veya implant destekli restorasyonlarda hata payı artabilir (Yeslam ve ark., 2024).

Şeffaflık eksikliği (Kara kutu problemi): Yapay zekanın nasıl karar verdiği çoğu zaman anlaşılmaz; bu da klinisyenler için bir güven sorunu oluşturur. Örneğin, yapay zeka neden belli bir marjin çizgisi veya oklüzal temas önerdiğini açıklayamaz (Schwendicke ve ark., 2020).

Yüksek teknoloji bağımlılığı ve güncellenme gereksinimi: Yapay zeka sistemleri genellikle bulut tabanlı çalışır ve düzenli yazılım güncellemeleri gerektirir. İnternetle çalışan sistemler için bağlantının kopması, lisans problemleri veya yazılım hataları, iş akışını durdurabilir (Revilla-León ve ark., 2022).

Etik ve yasal belirsizlikler: Yapay zeka destekli sistemlerin sunduğu önerilerle yapılan restorasyonlarda hata oluştuğunda yasal sorumluluğun hekime mi yazılım sağlayıcısına mı ait olacağı belirsizdir. Ayrıca veri gizliliği ve hasta onamı gibi etik sorunlar da güncel tartışma konularıdır (Weiner ve ark., 2025).

4.5. Dijital Olarak Tasarlanan Restorasyonları Değerlendirme Kriterleri

4.5.1. Tasarımda geçen zaman

Klinik iş akışı içerisinde zaman oldukça kritik bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzdeki bilim ve teknoloji alanındaki gelişmeler, tıp endüstrisinde önemli ilerlemeleri beraberinde getirmektedir. Geçmişte uygulanan geleneksel tedavi modelleri, zamanla yerini dijital sistemlere bırakmakta ve bu dönüşüm, karmaşık işlemleri sadeleştirerek harcanan süreyi azaltmakta, böylece genel verimliliği artırmaktadır. Yapay zeka destekli sistemler sayesinde dental restorasyon tasarım süreleri 1 dakikanın dahi altına inmiş ve tatmin edici sonuçlar vermeye başlamıştır. İnsan hızının çok ötesinde olan bu hız, gelecek vadetmektedir. Dijital sistemler arasında tasarım sürelerinde gözlemlenen farklılıklar, hem kullanılan yazılımın algoritmik yapısına hem de restorasyon tipinin morfolojik karmaşıklığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Özellikle yapay zeka destekli CAD sistemlerinde, anatomik formların otomatik analizine dayalı olarak gerçekleştirilen tasarım süreci, geleneksel dijital yöntemlere kıyasla daha kısa sürelerde tamamlanabilmektedir. Ancak bu hız avantajı, her zaman morfolojik doğruluk veya klinik uyum açısından üstünlük anlamına gelmemektedir. Bu nedenle, restorasyon tasarım süresinin tek başına bir performans ölçütü olarak değerlendirilmesi yetersiz kalabilir; süre ile birlikte estetik, doğruluk ve kesinlik gibi kalite parametrelerinin de dikkate alınması gereklidir.

Öte yandan, yapay zeka destekli tasarım sistemlerinin giderek yaygınlaşmasıyla birlikte, diş hekimliğinde işlem süresinin azaltılması, maliyet etkinliğinin artırılması ve operatör bağımlılığının azaltılması gibi avantajlar elde edilmesi hedeflenmektedir (Liu ve ark., 2024).

4.5.2. Restorasyon sınır ve yüzeyleri

Dijital diş hekimliğindeki gelişmeler, restorasyonların daha hızlı ve öngörülebilir şekilde üretilmesini sağlamaktadır. Ancak teknolojik ilerlemelere rağmen, restorasyonların klinik başarısı yalnızca estetik gözlemlere değil, biyolojik uyum ve fonksiyonel yeterlilik gibi birçok kriterin bir arada değerlendirilmesine bağlıdır. Bu çalışma, literatüre dayalı olarak klinik olarak kabul edilebilir bir restorasyonun temel özelliklerini irdelemektedir.

Marjinal uyum: Marjinal uyum, restorasyon ile diş arasındaki sınır bölgesindeki uyumu ifade eder. Kabul edilebilir marjinal açıklık genellikle 50-120 µm arasında olmalıdır. Yüksek marjinal uyumsuzluk, sekonder çürük, mikrosızıntı ve periodontal bozukluklara neden olabilir (Jw, 1971).

İç uyum: Restorasyonun iç yüzeyi ile preparasyon yüzeyi arasındaki uyumu tanımlar. İdeal siman kalınlığı 20-100 µm arasındadır. Aşırı içsel boşluk, siman arayüzünde zayıflama ve retansiyon kaybına yol açabilir (Rekow ve ark., 2011).

Morfolojik doğruluk: Restorasyonun, doğal dişin oklüzal, proksimal ve servikal konturlarını taklit etme yeterliliğidir. Doğru konturlar, fonksiyonel stabilite kadar, dişeti sağlığının korunması için de kritiktir (Martínez-Rus ve ark., 2011).

Oklüzyon uyumu: Restorasyonun karşıt dişle temaslarının düzenli olması gerekir. Prematür temaslar veya temas eksikliği, çiğneme fonksiyonunu bozar ve temporomandibular eklem problemlerine yol açabilir (Spear ve ark., 2006).

Estetik uyum: Doğal dişle renk, ışık geçirgenliği ve yüzey dokusu açısından benzerlik göstermelidir. Özellikle anterior bölgede restorasyonun estetik gereklilikleri karşılaması, hasta memnuniyeti açısından önemlidir (Joiner, 2006).

Biyouyum: Restorasyonda kullanılan materyallerin çevre dokularla olumsuz reaksiyona girmemesi gerekir. Subgingival yerleşimde marjinal basınç oluşturmamalıdır. Ayrıca, siman fazlalıkları iyi temizlenmelidir (Anusavice ve ark., 2012).

Mekanik dayanıklılık: Restorasyon, mastikasyon kuvvetlerine karşı direnç göstermelidir. Kullanılan materyal ve tasarım kalınlığı, restorasyonun uzun ömürlü olmasını sağlar (Kelly & Benetti, 2011).

Sabit restorasyonların kalitesini belirleyen en önemli özelliklerden biri marjinal uyumlarıdır. Restorasyonların kırık riskini azaltmak için dayanıklı bir materyal seçiminin yanı sıra, diş ile uyumunun da optimum standartlarda olması gerekmektedir. Marjinal uyumsuzluklar, periodontal problemler, çürük oluşumu, plak tutulumu, yapıştırıcı simanın çözünmesi veya renk değiştirmesi gibi başarısızlıklara neden olabilmektedir. Ayrıca, aksiyal duvarlarda ve okluzal alanda oluşan uyumsuzluklar kırılmaya karşı direncin de azalmasına neden olabilmektedir. Geleneksel yöntemlerle hazırlanan tüm seramik restorasyonların internal ve marjinal uyumları preparasyon tasarımıyla yakından ilişkilidir. Uygun olmayan aksiyal ve oklüzal açılar nedeniyle internal ve marjinal uyum değerlerinin her zaman aynı şekilde hazırlanamaması bu restorasyonlarda başarısızlık riskini artırır. CAD-CAM tekniğinde ise marjinal uyum, basamak yüzeylerinin doğru olarak okunabilmesine dayanır. Preparasyon sonrası dişin yapısal bütünlüğü ile alt yapının marjinal uyumu, klinik olarak kabul edilebilen 80-100 mikrometrenin altında olmalıdır (Benli, 2017). CAD-CAM ile oluşturulmuş alt yapıların marjinal uyumları, geleneksel metal destekli seramik restorasyonlar için bildirilen marjinal aralıktan daha düşüktür. Denissen ve arkadaşları tarafından yapılan bir araştırmanın sonuçlarına göre, CEREC 3 ile hazırlanan onleyleerin marjinal uyumlarının 85 µm olduğu ve geleneksel yöntemlerle hazırlanan onleyleere yakın olduğu bulunmuştur. Procera sistemi ile üretilen titanyum kronların marjinal uyumlarının 61±37 µm olduğu, ProceraAllCeram kronların marjinal uyumlarının ise premolar dişlerde ortalama 55 µm, molar dişlerde 63±13 µm olduğu bildirilmiştir (Denissen ve ark., 1993). Marjinal uyum değerlerinin sistemler arasında farklılık göstermesi, ölçüm teknikleri arasındaki farklılıklara, CAD/CAM sisteminde direkt veya indirekt teknikle üretim yapılmasına, kullanılan materyalin özelliklerine, kullanılan seramik yapının sıkıştırılarak veya bloklar halinde kullanılmasına, fırınlanma ısılarına, dolayısıyla da büzülme veya deformasyon miktarlarına bağlı olabilmektedir. Yapılan çalışmaların sonuçlarına göre, manuel faktörler ve kişisel becerilerin daha az kullanıldığı CAD/CAM sistemleriyle elde edilen sabit restorasyonların internal ve marjinal uyumları, geleneksel yöntemle elde edilen restorasyonlardan daha iyi olabilmektedir.

4.5.2.1. Skorlama

Bir restorasyonun klinik olarak kabul edilebilir sayılması için ilk kriter tek bir intakt restorasyon olmasıdır. Parçalar halinde, perfore alanları olan, bozuk yüzeyli restorasyonlar kabul edilememektedir. Birçok çalışmada USPHS ve FDI kriterleri kullanılmıştır (Hickel ve ark., 2010). USPHS temel olarak kenar uyumu, boyanma, tutuculuk, kırık, marjinal renk değişikliği, postoperatif hassasiyet ve sekonder çürük oluşumunu değerlendirir (Loguercio ve ark., 2011; van Dijken, 2010; Zander-Grande ve ark., 2011). FDI ise estetik, fonksiyonel (kırıklar ve

retansiyon, marjinal adaptasyon) ve biyolojik özellikleri (postoperatif hassasiyet, sekonder çürük) değerlendirmiştir (Luque-Martinez ve ark., 2015; Zander-Grande ve ark., 2014). Her iki yöntemi karşılaştıran yakın tarihte yapılan bir çalışmada (Perdigão ve ark., 2014), FDI kriterlerinin çürüksüz servikal lezyonların tedavisinde yapılan restorasyonlarını değerlendirirken USPHS kriterlerine göre klinik sonuçlardaki ufak değişikliklere daha duyarlı olduğu sonucuna varılmıştır. 1980’li yıllarda USPHS kriterleri sayısı artırılmış, bu beş kriter dışında postoperatif duyarlılık, retansiyon, gibi parametreler de değerlendirmeye dahil edilmiştir. Modifiye USPHS kriterleri tablo X’da gösterilmektedir.

Kategori	Skor		Kriter
	Kabul edilebilir	Kabul edilemez	
-	Kabul edilebilir	Kabul edilemez	-
-	-	-	-
Anatomik form	A	-	Restorasyon konturu dişle devamlı
-	B	-	Restorasyon hafifçe fazla veya az konturlu, minör chipping veya oklüzal aşınma mevcut
-	-	C	Restorasyon az konturlu, dentin veya kaide açıkta, kontakt problemlisi.
-	-	-	-
Marjinal adaptasyon	A	-	Rezin- mine arası mükemmel devamlılık, Çikinti/renklenme yok.
-	B	-	Hafif renklenme, arayüzde çikinti
-	-	C	Arayüzde orta renklenme, polisajla giderilemez, marjinde belirgin çatlak
-	-	D	Marjinde rekürrent çürük
-	-	-	-
Sekonder çürük	A	-	Görünür çürük yok
-	-	B	Restorasyon kenarlarında çürük var
-	-	-	-

Şekil 3. Modifiye USPHS Klinik Değerlendirme Kriterleri

Bu kriterlerin zaman içinde geliştirilmesi ile restorasyonların daha sistematik değerlendirilmesi sağlanmıştır (Bayne & Schmalz, 2005). USPHS değerlendirme sistemi restoratif materyalin klinik başarısını değerlendirirken esas olarak üç farklı dereceye göre skorlamaktadır;

Alfa: Restorasyon klinik olarak mükemmeldir.

Bravo: Restorasyonun bütün özellikleri mükemmel değil ama yeterlidir, klinik olarak kabul edilebilir, yenilenmesine gerek yoktur.

Charlie: Restorasyon klinik olarak başarısızdır, kabul edilemez durumdadır, yenilenmesi gereklidir.

Delta: Restorasyon kırık, mobil veya yoktur.

FDI skorlaması, 2022 yılında güncellenmiştir. Bazı kategoriler yeniden tanımlanmış, belirsizlikler giderilmiş ve farklı klinik durumları olası yönetim stratejileriyle çapraz ilişkilendirmek için tüm puanların açıklamaları uyumlu hale getirilmiştir: gözden geçirme/izleme (puan 1-2), yenileme/yeniden değerlendirme (puan 3), onarım (puan 4) ve değiştirme (puan 5). Fonksiyonel özellikler (materyalin kırılması ve retansiyonu, marjinal adaptasyon, proksimal temas, form ve kontur, oklüzyon ve aşınma) artık en başa yerleştirilmiş ve bunu biyolojik (restorasyon sınırında çürük, sert doku defektleri, postoperatif aşırı duyarlılık) ve estetik özellikler (yüzey parlaklığı ve dokusu, marjinal boyama, renk uyumu) izlemiştir. Ayrıca hasta görüşü ve radyografik analiz ise ayrı bir kriter olarak değerlendirilmiştir (Hickel ve ark., 2023).

FDI Estetik Klinik Değerlendirme Kriterleri	Estetik özellikler	1.Yüzey parlaklığı	2.Renklenme a.Yüzey b.Marjin	3.Renk uyumu ve translusensi	4.Estetik anatomik form
	1.Klinik olarak mükemmel	1.1 Mineyle karşılaştırılabilir parlaklık	2.a.1.Yüzey renklemesi yok 2.b.1.Kenar renklemesi yok	3.1.İyi renk ve translusensi	4.1.İdeal form
	2.Klinik olarak iyi	1.2.1.Biraz mat, konuşma mesafesinden fark edilemez 1.2.2.İzole birkaç por	2.a.2.Cila ile giderilebilir minor yüzey renklemesi 2.b.2. Cila ile giderilebilir minor kenar renklemesi	3.2.Renk ve translusenside minor fark	4.2.Normalden hafif sapma
	3.Klinik olarak yeterli	1.3.1.Tükürükle örtüldüğünde kaybolan matlık 1.3.2.Yüzeyin 1/3'ünden fazla por	2.a.3.Diğer dişlerde de görülebilen kabul edilebilir renklemesi 2.b.3.Orta düzeyde,kabul edilebilir renklemesi	3.3.Kabul edilebilir sapma 3.3.1.Daha opak 3.3.2.Daha translusent 3.3.3.Daha koyu renk 3.3.4.Daha açık renk	4.3.Normalden sapma,estetik olarak kabul edilebilir
	4.Klinik olarak yetersiz	1.4.1.Tükürükle örtülenmeyen,cilalamanın yetersiz olduğu matlık 1.4.2.Boşluklar mevcut	2.a.4.Yüzey renklemesini gidermek için girişimsel müdahale gerekiyor. 2.b.4.Kenar renklemesini gidermek için girişimsel müdahale gerekiyor.	3.4.Müdahale ile düzelebilir lokal sapma 3.4.1.Çok opak 3.4.2.Çok translusent 3.4.3.Çok koyu 3.4.4.Çok parlak	4.4.Estetik olarak kabul edilemez form, düzeltme gerekli
	5.Klinik olarak kötü	1.5.Çok düzensiz, plak tutucu yüzey	2.a.5.Müdahale ile erişilemeyen yüzey altı renklemesi 2.b.5.Müdahale ile erişilemeyen yüzey altı renklemesi	3.5.Kabul edilemez. Değiştirme gerekli	4.5.Değiştirme gerektiren yetersiz form

Şekil 4. FDI Estetik Klinik Değerlendirme Kriterleri

Fonksiyonel Özellikler	5. Kırık ve retansiyon	6. Marjinal adaptasyon	7. Oklüzal kontur ve aşınma a. Nitelik b. Nicelik	8. Proksimal form a. Kontakt b. Kontur	9. Radyografi	10. Hasta görüşü
1. Klinik olarak mükemmel	5.1. Kırık yok	6.1. Uyumlu anahat	7.a.1. Mineye eşdeğer 7.b.1. Minde %80-100'ük aşınma	8.a.1. Normal kontakt (25µm metal bant geçebilir) 8.b.1. Normal	9.1. Patoloji yok, restorasyon ve diğ arasında geçiş uyumlu	10.1. Estetik ve Fonksiyondan Tamamen memnun
2. Klinik olarak iyi	5.2. Küçük çatlak	6.2.1. Marjinal boşluk (<150µm), beyaz çizgiler 6.2.2. Çıkanabilir küçük kırık. 6.3. Minör düzensizlikler	7.a.2. Normal aşınma 7.b.2. % 50-80 veya %120-150 aşınma	8.a.2. Temas fazla ama dezavantaj değil (25µm metal bant basınıla geçiyor) 8.b.2. Hafif ekssik kontur	9.2.1. Kabul edilebilir toğbenlik 9.2.2. Kenar boşluğu <150 µm	10.2. Memnun 10.2.1. Estetik 10.2.2. İşlevli 8r.küçük pürüzlülük
3. Klinik olarak yeterli	5.3. Marjinal uyumu zarar etkilermeyen çatlak veya kırık	6.3.1. Boşluk <250µm uzaklaştırılmaz. 6.3.2. Bir-iki küçük marjinal kırık. 6.3.3. Hafif düzensizlikler	7.a.3. Bı-yoşük smetler içinde mineden farklı aşınma 7.b.3. Mineye %50 veya %150-200 veya aşınma	8.a.3. Zayıf temas, 50 µm metal bant geçiyor 8.b.3. Görünür ekssik kontur	9.3.1. Marjinal gap >250 µm 9.3.2. >250 µm içinde basamak. 9.3.3. Dolgunum radyopasitesi az	10.3. Klinik etisi olmayan ufak elestri 10.3.1. Estetik ekssiklikler 10.3.2. Çiğneme ekssiklikler 10.3.3. Kötü tedavi prosedürü
4. Klinik olarak yetersiz	5.4.1. Marjinal uyumu zarar veren küçük kırık 5.4.2. Restorasyon un yanından küçük olan kütesel kırık	6.4.1. Boşluk >250µm veya dentin/baz açıkta 6.4.2. Büyük çukur veya marjinal kırık 6.4.3. Onarım gerektiren büyük düzensizlikler	7.a.4. Normal mine aşınması önemli ölçüde aşar veya oklüzal temas noktası kaybolur 7.b.4. %300 den fazla aşınma	8.a.4. Çok zayıf temas, 100µm metal bant geçiyor 8.b.4. Yetersiz kontur, tamir gerekli	9.4.1. Marjinal gap >250 µm 9.4.2. Erişilebilir fazlalık 9.4.3. >250 µm içinde basamak	10.4. İşletirme istegi 10.4.1. Estetik 10.4.2. Fonksiyon, Anatomik formun yeniden şekillendirilmesi veya yenilenmesi gerekiyor
5. Klinik olarak kötü	5.5. Restorasyon kayılı veya çökü kırık	6.5.1. Restorasyon gevşek ama yerinde 6.5.2. Genel önemli boşluk/düzensizlikler	7.a.5. Açını aşınma 7.b.5. %500den fazla aşınma	8.a.5. Besin sıkışması nedeniyle net hasar	9.5.1. Sekonder çürük, geniş boşluk, çöküntü 9.5.2. Ağılal patoloji 9.5.3. Restorasyon/diğte kırık/kayp	10.5. Tamamen memnuniyetsiz, ağrı veya yon etki mevcut

Şekil 5. FDI Fonksiyonel Klinik Değerlendirme Kriterleri

Biyolojik Özellikler	11. Post-op hassasiyet ve vitalite	12. Çürük, erozyon veya abfraksiyon tekrarı	13. Diğ bütünlüğü	14. Perodontal yanıt	15. Komşu mukozaya	16. Oral ve genel sağlık
1. Klinik olarak mükemmel	11.1. Hassasiyet yok, normal canlılık	12.1. İkincil veya birincil çürük yok	13.1. Tam bütünlük	14.1. Plak yok, İltihap yok, cep yok	15.1. Restorasyon a bitişik sağlıklı mukozaya	16.1. Oral veya genel belirtiler yok
2. Klinik olarak iyi	11.2. Sınırlı bir süre için minör hassasiyet, normal canlılık	12.2. Küçük ve lokalize demineralizasyon, erozyon/abfraksiyon	13.2.1. Marjinal minde (<150µm) 13.2.2. Minde ince çatlak (<150µm)	14.2. Az plak, İltihap/cep yok 14.2.1. Uygun klinik 14.2.2. Çıkıntı, boşluk/ yetersiz anatomik form	15.2. Mekanik tahrişlerin hafif uzaklaştırılmasıyla sağlıklı mukozaya	16.2. Kısa süreli geçici semptomlar, lokal veya genelleşmiş
3. Klinik olarak yeterli	11.3.1. Orta hassasiyet 11.3.2. Gecikmeli/hafif duyarlılık; öznel şikayetler yok, tedavi gerekli değil	12.3. Daha büyük alanlarda demineralizasyon, erozyon veya abfraksiyon. Dentin açığa çıkmamış.	13.3.1. Marjinal mine defekti <250µm 13.3.2. Çatlak <250µm 13.3.3. Minde küçük kayp 13.3.4. Çoklu çatlaklar	14.3. Hafif inflamasyon 14.3.1. Uygun form 14.3.2. Çıkıntı, boşluk veya yetersiz anatomik form	15.3. Mukozada değişiklik, ancak restoratif materyalle nedensel ilişki şüphesi yoktur	16.3. Geçici semptomlar, yerel ve/veya genel
4. Klinik olarak yetersiz	11.4.1. Yoğun hassasiyet 11.4.2. Gecikmeli öznel semptomlar 11.4.3. Klinik tespit edilebilir hassasiyet yok. Müdahale gerekli	12.4.1. Kavitsiyonlu çürük 12.4.2. Dentinde erozyon 12.4.3. Dentin içindeki aşınma/abfraksiyon lokal ve tamir edilebilir.	13.4.1. Büyük marjinal mine defektleri, boşluk >250 µm, dentin veya baz açığa çıkmış 13.4.2. Büyük çatlaklar >250µm, sond girer 13.4.3. Büyük mine veya duvar kırığı	14.4. Cep derinliği > Imm müdahale gerektirir 14.4.1. Uygun anatomik form 14.4.2. Çıkıntı, boşluk veya yetersiz anatomik form	15.4. Şüpheli hafif alerjik, likenoid veya toksik reaksiyon	16.4. Kalıcı kontakt stomatit veya liken, lokal veya genel semptomlar, alerjik reaksiyonlar. Müdahale gerekli, değişime gerek yok
5. Klinik olarak kötü	11.5. Akut pulpitis veya vital olmayan diş. Endodonti gerekli ve Restorasyon değiştirilmek zorunda	12.5. Restorasyonun onarımı için uygun olmayan derin çürükler veya açığa kalan dentin	13.5. Kasp veya diğ kırığı	14.5. Ciddi/akut gingivitis veya periodontitis 14.5.1. Uygun anatomik form 14.5.2. Çıkıntı, boşluk veya yetersiz anatomik form	15.5. Şiddetli alerjik, likenoid veya toksik reaksiyon şüphesi	16.5. Akut/ciddi lokal ve/veya genel semptomlar

Şekil 6. FDI Biyolojik Klinik Değerlendirme Kriterleri

Bu kriterler, klinikte takip edilmekte olan restorasyonlar için belirlenmiş olup sanal değerlendirme süreci için tek başına değerlendirme yapmaya uygun olmayabilir.

Sawangstri ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada sanal kron tasarımlarının kalitatif değerlendirmesi için aşağıdaki gibi bir kriter tablosu düzenlenmiştir (Sawangstri ve ark., 2025):

Tablo 4. Sanal kron tasarımlarının kalitatif değerlendirmesi

Skor	Yerleşim	Bukkal morfoloji	Lingual morfoloji	Oklüzal morfoloji	Mezial kontaktlar	Distal kontaktlar	Oklüzyon
Mükemmel (2)	Yerleşim mükemmel, düzenleme gerekmez	Karşıt dentisyonla uyum içinde. Gerçekçi, doğal ve uygun bir estetik tasarım.	Karşıt dentisyonla uyum içinde. Gerçekçi, doğal ve uygun bir estetik tasarım.	Karşıt dentisyonla uyum içinde. Gerçekçi, doğal ve uygun bir estetik tasarım.	Kontakt alanı ve yerleri protetik gereklilikleri sağlamakta	Kontakt alanı ve yerleri protetik gereklilikleri sağlamakta	Doğru dağılımda statik temas. Karşıt dentisyonla uyumlu.
Tatmin edici (1)	Kron preparasyonun üstüne ya iyi yerleştirilmiş ya da protetik alanın içinde. Bazı düzenlemelere yine de ihtiyaç var.	Boyut, kontur, hiza karşıt çeneye yakın ama minör düzeltmeler gerekli.	Boyut, kontur, hiza karşıt çeneye yakın ama minör düzeltmeler gerekli.	Boyut, kontur, hiza karşıt çeneye yakın ama minör düzeltmeler gerekli.	Kontakt alanı, yerleri veya kontakt gücü kronun yerleştirilmesini engellemez, küçük düzenleme gerekebilir.	Kontakt alanı, yerleri veya kontakt gücü kronun yerleştirilmesini engellemez, küçük düzenleme gerekebilir.	Ana kontakt yüzeyleri mevcut, oldukça uygun boyutta. Düzeltmeler gerekli.
Kabul edilemez (0)	Kron protetik alanın hafif dışında. Bu durumda aproksimal kontaktlar ve oklüzyon değerlendirmesi yapmak zordur.	Boyut, kontur, hiza belirgin şekilde hatalı.	Boyut, kontur, hiza belirgin şekilde hatalı.	Boyut, kasp açısı ve anatomi belirgin şekilde hatalı.	Kontakt alanı, yeri, gücü muhtemelen kronun yerleştirilmesine engel olur, kontaktları açık kalır veya kontakt alanındaki plak eliminasyonunu zorlaştırır.	Kontakt alanı, yeri, gücü muhtemelen kronun yerleştirilmesine engel olur, kontaktları açık kalır veya kontakt alanındaki plak eliminasyonunu zorlaştırır.	Kontaktlar çok büyük veya belirgin şekilde yoğun veya açık veya yeri yanlış

Bu sınıflamada yazılımın belli bir yüzeyde restorasyon üretmemesi ihtimali üzerinde durulmamıştır

Bu sebeplerle önceki üç skorlamadan yola çıkılarak şu şekilde bir sanal skorlama kriteri belirlenmiştir:

Marjinler için her bir yüzey skorlanmıştır;

Yüzeyde hiç marjin tanımlanamadıysa: 0

Yüzeyde bir marjin çizildi ama klinik olarak kabul edilemezse: 1

Minör düzenlemeye ihtiyaç varsa: 2

Düzenlemeye ihtiyaç yoksa: 3

Restorasyonlar için her bir yüzey skorlanmıştır;

Yüzey üretilemediyse: 0

Yüzeyde perfore bölge varsa: 1

Yüzey tamamen örtülü ama klinik olarak kabul edilemezse: 2

Minör düzenlemeye ihtiyaç varsa: 3

Düzenlemeye ihtiyaç yoksa: 4

doğru olması beklenir. Algoritmik kontrol gereken tüm aşamalarda (yüzey tarama, CAD tasarımı, üretim) hem sistematik hem rastgele hatalar minimize edilmelidir.

Modern dijital diş hekimliğinde, CAD/CAM ve intraoral tarayıcı sistemlerinin performansı sıklıkla hem doğruluk hem de kesinlik temelinde değerlendirilir. Örneğin, intraoral ve masaüstü tarayıcılar kullanılarak yapılan restorasyonların karşılaştırmasında Root Mean Square Error analizleri kullanılmış ve bu metriklerin hem sistematik sapma hem de tekrarlanabilirlik açısından önemli olduğu vurgulanmıştır.

Chuang ve arkadaşları, her bir tarayıcının farklı dişlerde tekrarlanabilirliğini kıyaslamışlardır. Bu analizler, aynı simülasyonda tekrarlanan ölçümlerde düşük RMSE'nin yüksek kesinlik anlamına geldiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, yüzey bütünlüğü açısından yalnızca ortalama sapmalar değil, yüzey boyunca sapma dağılımlarının analiz edilmesi gerekliliği vurgulanmıştır (Chuang ve ark., 2025).

CAD/CAM ile üretim yapan sistemlerde de benzer şekilde değerlendirmeler yapılmıştır. Örneğin, DLP baskı ve milleme yöntemleriyle yapılan veneer restorasyonlarda hem doğruluk hem de kesinlik hesaplanmış; bu iki metrik birlikte değerlendirildiğinde tüm restorasyon sistemi için net bir performans görünümü sunulmuştur (Noh ve ark., 2025). Ayrıca, farklı yazıcı teknolojilerinin (yüksek maliyetli vs ekonomik) doğruluk ve kesinlik açısından karşılaştırıldığı başka bir çalışmada da bütçe dostu cihazların bile klinik olarak kabul edilebilir doğruluk ve kesinlik düzeylerine ulaşabildiği bildirilmiştir (Ograk İH, 2024).

Bu veriler, dijital restorasyon süreçlerinde yalnızca tek bir ölçüte bakarak değerlendirme yapmanın eksik olacağını göstermektedir. Çünkü bir sistem, yüzeyde düşük sapma gösterebilir; ancak lokal düzeyde morfolojik varyasyonlardan etkilenebilir. Klinik sonuçların güvenilirliği açısından, sistemlerin hem genel hem lokal düzeyde tutarlı sonuçlar üretmesi beklenir.

4.5.3.1. 3 boyutlu tasarımlarda boyutsal değerlendirmeler

Negatif En Büyük Değer (NEBD): Bir dijital modelin referans modelden en uzak negatif sapsmasını yani içe doğru farkı tanımlayan parametrik bir ölçüttür. NEBD, özellikle 3D karşılaştırma analizlerinde, test edilen yüzeyin referans yüzeyden ne kadar derine doğru farklılaştığını belirtir. Dijital diş hekimliğinde, özellikle CAD/CAM sistemlerinin tasarladığı restorasyonların morfolojik doğruluğu değerlendirilirken kullanılır. Bir restorasyonun NEBD değerinin yüksek olması, yüzeyin referans modelin iç kısmına doğru belirgin şekilde saptığını gösterir. Bu da materyal eksikliğine ve potansiyel oklüzyon eksikliklerine işaret edebilir. Dijital

ölçüm için kullanılan 3 boyutlu analiz yazılımları sayesinde, tasarım yüzeyi ile referans yüzey arasındaki farklar hesaplanır ve en negatif nokta NEBD olarak kaydedilir. Genellikle mikron (μm) cinsinden raporlanır. NEBD değeri, restorasyonun lokal boşluk yaratabilecek köşe veya girintilerinde kritik bir göstergedir. Ancak yalnızca en çıkık içe farkı ifade ettiği için genel yüzey uyumu hakkında tek başına yeterli bilgi sunmaz. Bu nedenle diğer değerlerle birlikte yorumlanması gerekir. Klinik olarak kabul edilebilir sınırlar içinde olması, tasarımın biyomekanik ve fonksiyonel olarak doğruluğuna işaret eder.

En büyük değer (EBD): Dijital yüzey uyumu analizlerinde test edilen modelin referans modele göre en fazla pozitif sapma gösteren yani en dışa doğru noktasını tanımlar. Özellikle 3 boyutlu şekil analizlerinde, test edilen tasarımın referans yüzeyden ne kadar çıktığını gösteren tekil bir ölçüttür. EBD değeri, bir restorasyonun diş yüzeyinden belirli bölgelerde fazla taşma veya fazlalık oluşturup oluşturmadığını göstermek için önemlidir. Klinik olarak, yüzeyin dışa doğru sarması oklüzyon bozuklukları ve travmatik temas gibi sorunlara yol açabilir. EBD, test edilen yüzeyin 3 boyutlu analiz yazılımlarında referans yüzeye göre en uzak pozitif fark gösteren noktasının mikron (μm) cinsinden kaydedilmesiyle elde edilir. Pozitif fark, test yüzeyinin referans modelin dışına taşıdığı anlamına gelir. EBD, lokalize şekilde fazla materyal içeren bölgeleri tanımlamak için kullanışlıdır. Ancak yalnızca maksimum dışa farkı yansıttığından, genel uyum değerini tek başına vermez. Bu nedenle, farklı metriklerle birlikte yorumlanması önerilir. Yüksek EBD değeri, hasta konforu, çiğneme fonksiyonu ve antagonist dişlerle uyum açısından sorun yaratabilir. Bu nedenle tasarım sürecinde bu değer kontrol altında tutulması, fonksiyonel ve biyomekanik olarak dengeli bir restorasyonun elde edilmesi için kritik öneme sahiptir. Klinik açıdan, fazla taşma riski taşıyan restorasyonların belirlenmesi açısından dikkate değer bir parametredir.

Root Mean Square Error (RMSE): Bir sistemin tahmin ettiği veya ürettiği değerlerle gerçek referans değerler arasındaki ortalama kare farkın karekökü olarak tanımlanır. Diş hekimliğinde, özellikle yapay zeka destekli dijital tasarım sistemlerinin morfolojik doğruluğu ve sistematik hatasını değerlendirmek için kullanılır.

$$\text{RMSE} = \sqrt{(1/n * \sum(P_i - A_i)^2)}$$

P_i : Tahmin edilen (yapay zeka tarafından tasarlanan) i. nokta

A_i : Gerçek (referans) modeldeki aynı noktadaki değer

n: Nokta sayısı

RMSE, restorasyon tasarımının referans dış formuna genel yakınlığını yansıtır. Düşük RMSE değeri, sistemin anatomik uyum ve kontur takibi konusunda başarılı olduğuna işaret eder.

Klinik açıdan kabul edilebilir RMSE sınırı genellikle 100 µm altında tutulmaktadır.

RMS ile RMSE benzer formüle sahip olsa da, RMS saf fark değerlerinin genel dağılımını ölçerken; RMSE, sistematik tahmin hatasının nicel göstergesidir. Bu ayrım, yapay zeka temelli sistemlerin performans analizinde önemlidir.

RMSE, sadece farkların ortalama büyüklüğünü değil, ayrıca büyük sapmaların etkisini de ön plana çıkarır. Bu özelliği, çok küçük ve çok büyük hataların birlikte görüldüğü restoratif senaryolarda avantajlı kılar.

Ortalama; bir veri setindeki tüm değerlerin toplamının, bu değerlerin sayısına bölünmesiyle elde edilen temel bir merkezi dağılım ölçüsüdür. Boyutsal analizlerde ortalama, dijital olarak üretilen restorasyonların referans modele göre genel fark seviyesini ölçmek için kullanılır.

$$SS = \sqrt{(1/n * \sum(x_i - \bar{x})^2)}$$

x_i : i. ölçüm değeri

\bar{x} : Ölçümlerin ortalaması

n: Toplam ölçüm sayısı

Ortalama fark: Dijital tasarımın referans modelle ne derece uyumlu olduğuna dair genel bir fikir verir. Pozitif ortalama değer, test edilen yüzeyin referans yüzeyin dışında kaldığını; negatif değer ise içeride yer aldığını gösterir. Değer ne kadar 0'a yakınsa, genel uyum o kadar iyidir. CAD yazılımlarla oluşturulan dijital restorasyonların değerlendirilmesinde, ortalama fark değeri genel uyumu ifade ederken, kesinlik analizlerinde de bir referans noktaya göre hesaplama için kullanılır. Ortalama, genel bir görünüm sunmasına rağmen, aşırı farkları dengeleyebilir; bu da büyük sapmaların etkisinin gizlenmesine yol açabilir. Bu nedenle ortalama tek başına değil, diğer parametrelerle birlikte değerlendirilmelidir. Klinik uygulamada kabul edilebilir sınırlar içinde kalan ortalama değerler, uyumlu ve fonksiyonel restorasyonlara işaret eder (Ograk İH, 2024).

5. GEREÇ ve YÖNTEM

5.1. İstatistiksel Güç Analizi

Bu çalışmada, beş farklı yapay zeka destekli yazılımın klinik başarı kriterlerine (marjin uyumu, yüzey kalitesi, tasarım süresi ve benzerlik oranları) etkisi istatistiksel olarak değerlendirildi. Kategorik verilerin analizinde Fisher-Freeman-Halton testi, sürekli değişkenlerin karşılaştırılmasında ise Tek Yönlü ANOVA ve Welch ANOVA kullanıldı.

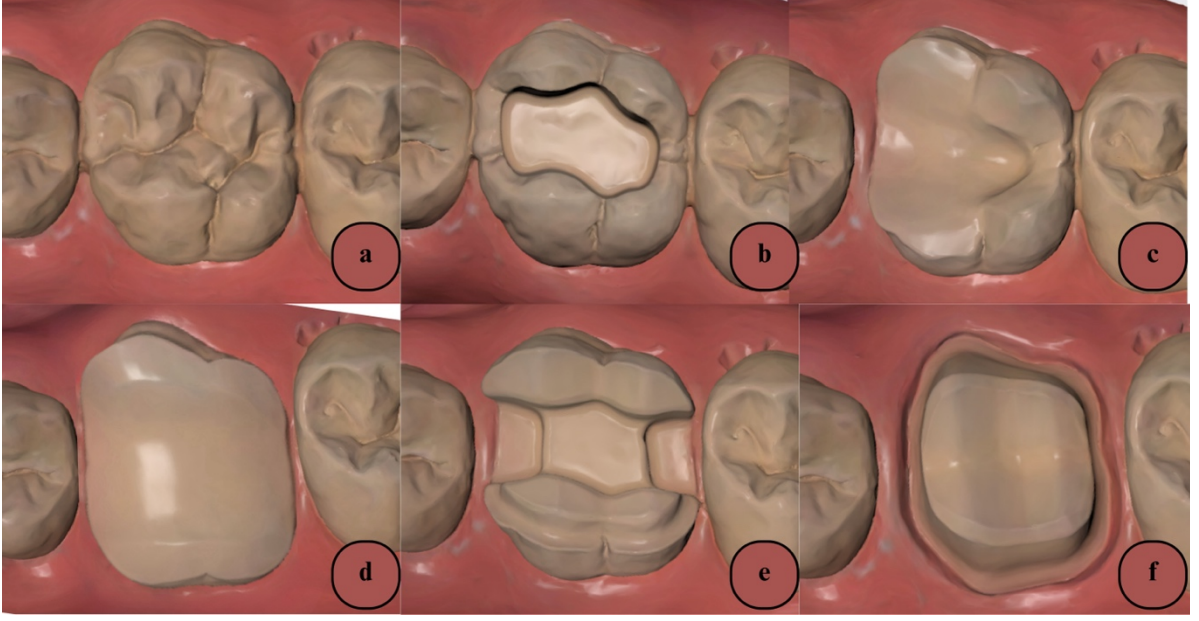
RMSE ve restorasyon tasarım süreleri gibi sürekli veriler için yapılan tek yönlü ANOVA analizinde, toplam 125 örneklem kullanılmış ve gözlemlenen ortalama etki büyüklüğü Cohen'in $f = 0.35$ olarak hesaplandı. Bu doğrultuda gerçekleştirilen post-hoc güç analizinde, çalışmanın istatistiksel gücü %88,5 ($1-\beta = 0.885$) olarak belirlendi.

5.2. Vaka Seçimi ve Dijital Hazırlık

Çalışmada kullanılacak vakaların standardizasyonu amacıyla klinik olarak restore edilmesi gereken, her biri farklı endikasyonlara sahip beş tip diş preparasyonu seçildi. Bu dişler, 16 numaralı dişe yapılmış inley, onley, overley, kompleks overley ve kron preparasyonlarıdır.



Şekil 8. Tipodont model çenenin tarama sonrası renkli görüntüsü



Şekil 9. Bu çalışmada kullanılan 16 no'lu diş. **a.** 16 no'lu sağlam diş **b.** 16 no'lu dişe yapılmış inley preparasyonu **c.** 16 no'lu dişe yapılmış onley preparasyonu **d.** 16 no'lu dişe yapılmış overley preparasyonu **e.** 16 no'lu dişe yapılmış kompleks overley preparasyonu **f.** 16 no'lu dişe yapılmış kron preparasyonu

Seçilen prepare dişler ve sağlam diş, yapay çene modeli üzerine tek tek yerleştirilmiş ve yüksek çözünürlüklü ağız içi tarayıcı (Cerec Primescan, Dentsply Sirona, Almanya) kullanılarak .stl formatında dijitalleştirildi. Tarama süreci sırasında üretici talimatlarına uyularak, maksilla ve mandibuladaki tüm dişlerin oklüzal, bukkal ve lingual/palatal yüzeyleri kapsanacak şekilde tarandı. Taranan alanlardaki gereksiz alanlar temizlenip veriler yalınlaştırıldı. Tüm veriler, tasarım ve analiz aşamaları için bir dijital veri havuzunda organize edildi.



Şekil 10. Yüksek çözünürlüklü ağız içi tarayıcı (Cerec Primescan, Dentsply Sirona.)

5.3. Yapay Zeka Destekli Yazılımlar ile Restorasyon Tasarımı

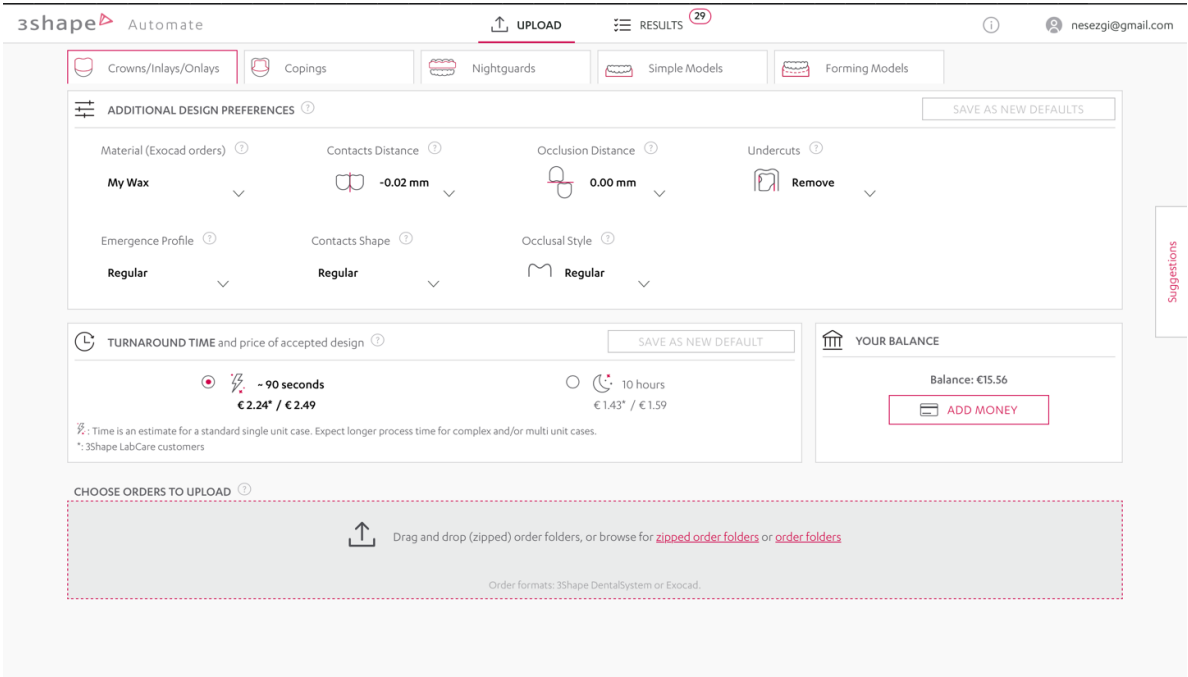
Toplanan .stl verileri, beş farklı yazılıma yüklendi:

- Automate
- ClinicCAD
- Dentbird
- Atomica
- CEREC

Tablo 5. Bu tezde kullanılan yapay zeka destekli yazılım programları ve özellikleri

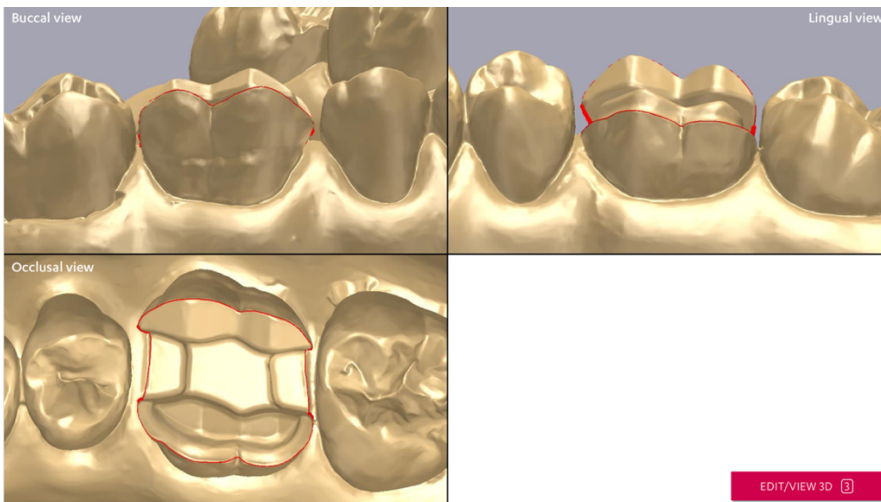
Sistem Adı	Bulut Tabanlı	Tam Otomatik Tasarım	Manuel Müdahale İmkânı	Veri Gizliliği (Lokal İşlem)	YZ Model Türü
CEREC	Hayır	Evet	Yüksek	Evet	Kural Tabanlı + Öğrenen Sistemler
Automate	Evet	Evet	Düşük	Hayır	Derin Öğrenme
Dentbird	Evet	Evet	Düşük	Hayır	Derin Öğrenme
ClinicCAD	Hayır	Evet	Yüksek	Evet	Geleneksel + Öğrenme Özelliği
Atomica	Evet	Evet	Düşük	Hayır	Hibrit: Kural Tabanlı + Öğrenen Model

YZ: Yapay Zeka



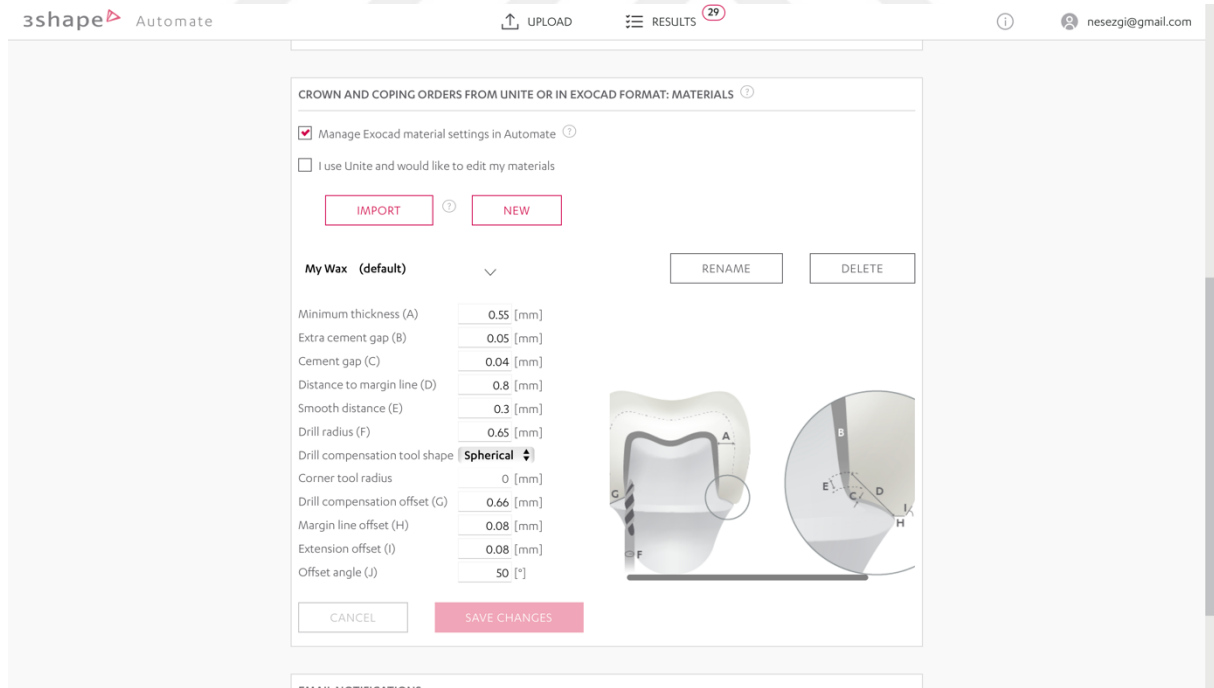
Şekil 11. Bulut tabanlı tam otomatik yazılım arayüzü.

Marjin çizimleri, yapay zeka destekli sistemler tarafından otomatik olarak gerçekleştirildi. Yapay zeka destekli yazılımlar tarafından marjinin tespit edilemediği veya klinik olarak yetersiz görüldüğü durumlarda manuel düzeltmeler, CAD/CAM sistemlerinde deneyimli tek bir operatör tarafından gerçekleştirildi ve işlem süreleri kronometre ile tutuldu. Düzeltmelere ait süreler de toplam işlem süresine dahil edildi. Bu yaklaşım, sistemlerin klinik kullanıma yönelik pratikliğini ve zaman yönetimi üzerindeki etkisini bütüncül olarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Böylece yalnızca yazılımın algoritmik hızının değil, aynı zamanda kullanıcıdan ne düzeyde müdahale gerektirdiğinin de göz önünde bulundurulması sağlanmıştır.



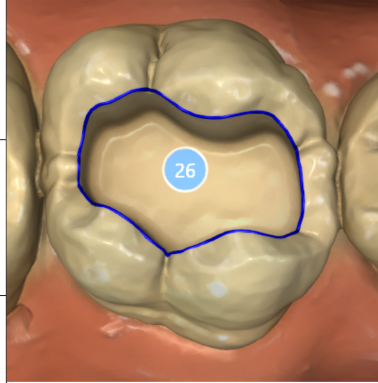
Şekil 12. Kompleks overley preparasyonu üzerine Automate'in otomatik çizdiği marjin sınırları.

Automate, Dentbird, Atomica ve ClinicCad programlarında restorasyonlar otomatik tasarım fonksiyonu kullanılarak oluşturuldu. Cerec’de ise Biogeneric Individual seçeneği kullanıldı. Her bir tasarımda optimal morfolojinin sağlanması ve klinik olarak kabul edilebilir bir restorasyon elde edilmesi amacıyla bazı ön ayar parametreleri belirlendi. Buna göre: marjin hattı adaptasyonu 80 µm ofset ve 50° açı ile tanımlandı, oklüzal temas noktaları her fonksiyonel kasp ve santral fossa bölgesinde en az bir temas sağlanacak biçimde 0 µm olarak belirlendi, proksimal temas -20 µm olarak tanımlandı, simantasyon boşluğu ise marjinden itibaren 1,0 mm yukarıya kadar iç yüzeyde boşluk bırakılmadan tasarlandı; geri kalan iç yüzeyde 40 µm ve buna ek olarak 50 µm boşluk sağlandı. Her bir tasarım için işlem süresi ve sistem yanıtları kayıt altına alındı. Yapay zeka sistemlerinin tasarım kararları; bukkal, palatinal, mezial, distal, oklüzal morfoloji ve oklüzyonda temas varlığı gibi kriterlerde değerlendirildi. Tasarımlar, her yazılımın izin verdiği maksimum çözünürlükte dışa aktarıldı. Cerec yazılımının verdiği çıktılar .dxd formatında alınmış olup Cerec InLab yazılımında .dxd’den .stl’e çevrildi. Tüm restorasyon tasarımlarının eklemeli 3 boyutlu teknikte üretilebilir durumda olduğundan emin olmak için DLP yazıcı (Photon D2, Anycubic, Çin) ile üretildi. Tüm .stl dosyaları karşılaştırmalı analiz için referans klasöründe arşivlendi.



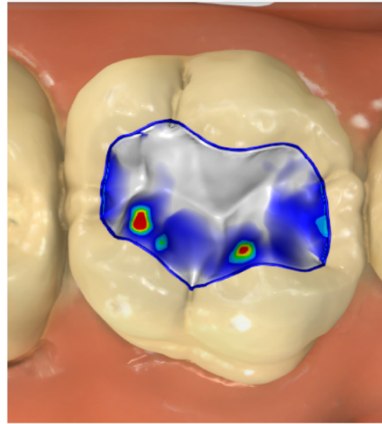
Şekil 13. Her bir tasarımda optimal morfolojinin sağlanması ve klinik olarak kabul edilebilir bir restorasyon elde edilmesi amacıyla ön ayar parametreleri panelinin Automate’de görüntüsü.

Skor	Bukkal/Palatinal/Mezial /Distal yüzey
3	Düzenlemeye ihtiyaç yoksa
2	Minör düzenlemeye ihtiyaç varsa
1	Yüzeyde bir marjin çizildi ama klinik olarak kabul edilemezse
0	Yüzeyde hiç marjin tanımlanamadıysa



Şekil 14. Sanal Restorasyon için Marjin Skorlama Kriterleri

Skor	Bukkal/Palatinal/Mezial / Distal/Oklüzal yüzey ve Oklüzyon
4	Düzenlemeye ihtiyaç yoksa
3	Minör düzenlemeye ihtiyaç varsa
2	Yüzey tamamen örtülü ama klinik olarak kabul edilemezse
1	Yüzeyde perfore bölge varsa
0	Yüzey üretilemediyse



Şekil 15. Sanal Restorasyon Skorlama Kriterleri

5.4. Referans Model ve Boyutsal Analiz

Karşılaştırmalı analizlerin yapılabilmesi için, tipodont model çenenin kendi 16 numaralı dişi kullanıldı. Bu model diş, literatür destekli anatomik formlar ve klinik kabul gören sınırlara uymaktadır ve ideal morfolojiyi temsil etmektedir. Yazılımlardan elde edilen restorasyonlar ve sağlam diş modeli, karşılaştırılmak üzere Geomagic Control X (3D Systems, ABD) programına aktarıldı Sağlam diş modeli referans olarak, restorasyon dosyaları ise test grubu olarak atandı. .stl dosyaları nokta bulutuna dönüştürülerek "Başlangıç hizalaması" ve ardından "En uygun hizalama" yöntemleriyle eşleştirildi. Her eşleşme sonrası "3B yüzey karşılaştırma yöntemi" kullanılarak referans ve test verileri arasındaki Root Mean Square (RMS), En Büyük Değer (EBD), Negatif En Büyük Değer (NEBD), Ortalama ve Standart Sapma (SS) değerleri hesaplanmış ve her tasarımın genel doğruluğu sayısal olarak tanımlandı.

Ardından kesinliğin değerlendirilmesi için her bir grubun ilk tasarlanan restorasyonu, referans kabul edilmiş ve diğer 4 tasarımla karşılaştırmaya tabi tutuldu. Bu sayede programların tekrarlı tasarımlarda ne kadar istikrarlı olduğu incelendi. Bu karşılaştırmalarda da her eşleşme sonrası RMS, EBD, NEBD, SS değerleri hesaplanmış ve her tasarımın kesinliği sayısal olarak tanımlandı.

RMS, bir dizi sayısal değerlerin ortalama büyüklüğünü ölçmek için kullanılan bir metriktir. Matematiksel olarak, her bir değer karesi alınır, bu karelerin ortalaması hesaplanır ve son olarak karekökü alınarak bulunur. RMS, sinyal işleme, mühendislik ve yüzey analizlerinde yaygın olarak kullanılır ve negatif/pozitif sapmaların birbirini nötralize etmesini önleyerek genel büyüklük hakkında gerçekçi bir fikir sunar (Mandic & Chambers, 2001).

Root Mean Square Error (RMSE), bir referans veri kümesi ile test veri kümesi arasındaki farklılıkları ölçer. Her iki kümedeki karşılık gelen noktalar arasındaki farkların karesi alınır, ortalaması hesaplanır ve karekökü alınır. RMSE, model doğruluğunu veya tahmin hatasını ifade etmek amacıyla kullanılır (Chai & Draxler, 2014).

Bu çalışmada kullanılan Geomagic yazılımı, iki yüzey (referans ve test modeli) arasındaki karşılık gelen noktalar arasındaki Öklidyen mesafelerin karelerinin ortalamasının karekökünü hesaplayarak bir "RMS" değeri sunmaktadır. Ancak bu hesaplama, matematiksel olarak RMSE formülüyle örtüştüğü için, Geomagic yazılımında "RMS" olarak adlandırılan bu değer aslında "RMSE" olarak değerlendirilmelidir ("Geomagic Control X User Guide," 2022); (Ma, 2019)

EBD, test edilen modelin referans modele göre pozitif yönde gösterdiği en büyük sapmadır. Bu değer, modelin referansa göre maksimum çıkıntı yapan veya aşırı materyal içeren bölgesini tanımlar (25178-2:2021, 2021)

NEBD ise test modelinin referans modele göre negatif yöndeki en büyük sapmasını belirtir. Bu, modelin referansa göre eksik olduğu, yani çukur veya madde yetersizliği gösteren en derin noktayı gösterir (ISO 25178-2:2021).

SS, yüzey sapmalarının dağılımını ölçen istatistiksel bir parametredir. Bu metrik, sapmaların ortalama değerden ne kadar saptığını göstererek yüzeyin homojenliğini ve ölçüm güvenilirliğini değerlendirir. Düşük bir SS değeri, yüzey farklılıklarının tutarlı dağıldığını gösterirken, yüksek bir değer lokal hatalara işaret eder (Ma et al., 2019).

5.5. İstatistiksel Analiz

Araştırma verilerinin analizinde SPSS (v29, IBM, ABD) programı kullanıldı. Verilerin görselleştirilmesinde Python programlama dili kullanılmış olup, grafiklerin hazırlanmasında matplotlib ve pandas kütüphanelerinden yararlanıldı. Verilerin normal dağılıma uygunluğu istatistiksel (ortalama/standart sapma ilişkisi, basıklık/çarpıklık, normal dağılım testleri) ve görsel (histogram ve Q-Q plotlar) yöntemlerle değerlendirildi. Tanımlayıcı veriler kategorik değişkenler için sayı ve yüzde, süreğen veriler için ortalama ve standart sapma (SS) kullanılarak sunuldu. Gruplar arası karşılaştırmalarda kategorik değişkenler için Ki-Kare Testi (Dağılım uygunluğuna göre Fisher-Freeman-Halton) ve süreğen değişkenler için Tek Yönlü ANOVA (Homojeniteye göre Welch ANOVA) testi kullanıldı. ANOVA testinin post-hoc ikili karşılaştırmalarında homojen dağılıma uygunluğa göre Tamhane veya Tukey HSD testleri kullanıldı. Tüm analizlerde tip 1 hata payı %5 kabul edildi.

6. BULGULAR

6.1. Marjin Skorlarının Dağılımı

Yapay zeka destekli yazılımlara göre yüzeylerde marjin skorları; 0 ve 1 skor alanlar “klinik olarak kabul edilemez”, 2 ve 3 skor alanlar “klinik olarak kabul edilebilir” olarak ikiye gruplandırılarak analiz edilmiştir.

Yapay zeka destekli yazılımlara göre bukkal yüzeyde marjin skorlarının dağılımı Tablo 6’da sunulmuştur.

Tablo 6. Yapay Zeka Destekli Yazılımlara Göre Bukkal Yüzeyde Marjin Skorlarının Dağılımı

Marjin Skoru	Dentbird Sayı (%)	Cerec Sayı (%)	Automate Sayı (%)	Atomica Sayı (%)	ClinicCad Sayı (%)
0 (n=20)	5 (20,0)	-	10 (40,0)	-	5 (20,0)
1 (n=10)	-	-	-	5 (20,0)	5 (20,0)
2 (n=27)	7 (28,0)	-	-	15 (60,0)	5 (20,0)
3 (n=68)	13 (52,0)	25 (100,0)	15 (60,0)	5 (20,0)	10 (40,0)

*Marjin Skoru, 0:Marjin yok, 1:Marjin var ama kabul edilemez, 2:Minör düzeltme gerekir, 3:Düzenleme gerekmez

*Fisher-Freeman-Halton Kesin Testi, p=0,001 (Marjin skorları 0-1 ve 2-3 olarak iki grup halinde analiz edilmiştir)

En yüksek puanı alan yazılım Cerec olurken (tamamı skor 3) en düşük puanı alan yazılım Automate (%40’ı skor 0) olmuştur. Yazılımlar arası dağılım farklılığı istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir (p=0,001).

Yapay zeka destekli yazılımlara göre mezial yüzeyde marjin skorlarının dağılımı Tablo 7’de sunulmuştur.

Tablo 7: Yapay Zeka Destekli Yazılımlara Göre Mezial Yüzeyde Marjin Skorlarının Dağılımı

Marjin Skoru	Dentbird Sayı (%)	Cerec Sayı (%)	Automate Sayı (%)	Atomica Sayı (%)	ClinicCad Sayı (%)
0 (n=17)	2 (8,0)	-	10 (40,0)	-	5 (20,0)
1 (n=6)	1 (4,0)	-	-	-	5 (20,0)
2 (n=15)	-	-	-	10 (40,0)	5 (20,0)
3 (n=87)	22 (88,0)	25 (100,0)	15 (60,0)	15 (60,0)	10 (40,0)

*Marjin Skoru, 0:Marjin yok, 1:Marjin var ama kabul edilemez, 2:Minör düzeltme gerekir, 3:Düzenleme gerekmez

*Fisher-Freeman-Halton Kesin Testi, p<0,001 (Marjin skorları 0-1 ve 2-3 olarak iki grup halinde analiz edilmiştir)

En yüksek puanı alan yazılım Cerec olurken (tamamı skor 3) en düşük puanı alan yazılım Automate (%40'ı skor 0) olmuştur. Yazılımlar arası dağılım farklılığı istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p<0,001$).

Yapay zeka destekli yazılımlara göre distal yüzeyde marjin skorlarının dağılımı Tablo 8'de sunulmuştur.

Tablo 8: Yapay zeka destekli yazılımlara göre distal yüzeyde marjin skorlarının dağılımı

Marjin Skoru	Dentbird Sayı (%)	Cerec Sayı (%)	Automate Sayı (%)	Atomica Sayı (%)	ClinicCad Sayı (%)
0 (n=17)	2 (8,0)	-	10 (40,0)	-	5 (20,0)
1 (n=16)	1 (4,0)	-	-	5 (20,0)	10 (40,0)
2 (n=8)	3 (12,0)	-	-	5 (20,0)	-
3 (n=84)	19 (76,0)	25 (100,0)	15 (60,0)	15 (60,0)	10 (40,0)

*Marjin Skoru, 0:Marjin yok, 1:Marjin var ama kabul edilemez, 2:Minör düzeltme gerekir, 3:Düzenleme gerekmez

*Fisher-Freeman-Halton Kesin Testi, $p<0,001$ (Marjin skorları 0-1 ve 2-3 olarak iki grup halinde analiz edilmiştir)

En yüksek puanı alan yazılım Cerec olurken (tamamı skor 3) en düşük puanı alan yazılımlar Automate (%40'ı skor 0) ve ClinicCad (%20'si skor 0 ve %40'ı skor 1) olmuştur. Yazılımlar arası dağılım farklılığı istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p<0,001$).

Yapay zeka destekli yazılımlara göre palatal yüzeyde marjin skorlarının dağılımı Tablo 9'da sunulmuştur.

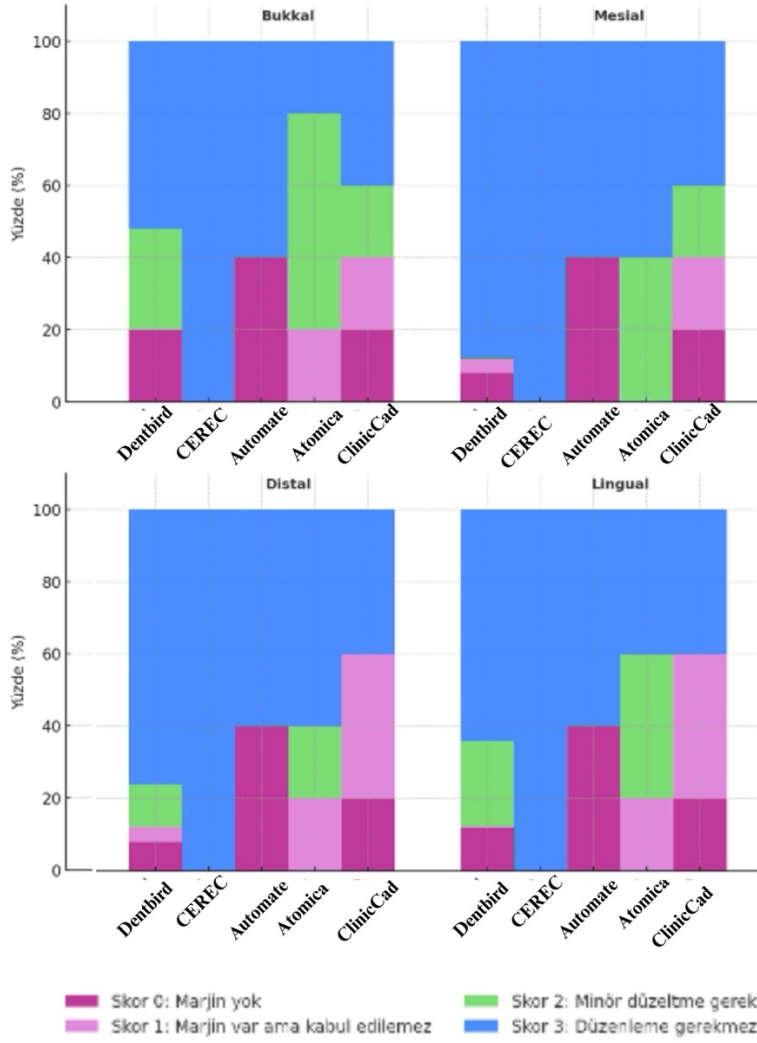
Tablo 9: Yapay zeka destekli yazılımlara göre palatal yüzeyde marjin skorlarının dağılımı

Marjin Skoru	Dentbird Sayı (%)	Cerec Sayı (%)	Automate Sayı (%)	Atomica Sayı (%)	ClinicCad Sayı (%)
0 (n=18)	3 (12,0)	-	10 (40,0)	-	5 (20,0)
1 (n=15)	-	-	-	5 (20,0)	10 (40,0)
2 (n=21)	6 (24,0)	-	-	10 (40,0)	-
3 (n=71)	16 (64,0)	25 (100,0)	15 (60,0)	10 (40,0)	10 (40,0)

*Marjin Skoru, 0:Marjin yok, 1:Marjin var ama kabul edilemez, 2:Minör düzeltme gerekir, 3:Düzenleme gerekmez

*Fisher-Freeman-Halton Kesin Testi, $p<0,001$ (Marjin skorları 0-1 ve 2-3 olarak iki grup halinde analiz edilmiştir)

En yüksek puanı alan yazılım Cerec olurken (tamamı skor 3) en düşük puanı alan yazılımlar Automate (%40'ı skor 0) ve ClinicCad (%20'si skor 0 ve %40'ı skor 1) olmuştur. Yazılımlar arası dağılım farklılığı istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p<0,001$).



Şekil 16: Yapay Zeka Destekli Yazılımlara Göre Tüm Yüzeylerde Marjin Skorlarının Dağılımı

Farklı preparasyon tiplerine göre bukkal yüzeyde marjin skorlarının dağılımı Tablo 10'da sunulmuştur.

En yüksek puanı alan preparasyon tipi kron olurken (tamamı skor 3) en düşük puanı alan preparasyon tipi ise overley (%40'ı skor 0) olmuştur. Preparasyon tipleri arası dağılım farklılığı istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p < 0,001$).

Tablo 10: Farklı Preparasyon Tiplerine Göre Bukkal Yüzeyde Marjin Skorlarının Dağılımı

Marjin Skoru	İnley Sayı (%)	Onley Sayı (%)	Overley Sayı (%)	Kompleks Overley Sayı (%)	Kron Sayı (%)
0 (n=20)	-	5 (20,0)	10 (40,0)	5 (20,0)	-
1 (n=10)	-	5 (20,0)	5 (20,0)	-	-
2 (n=27)	5 (20,0)	7 (28,0)	5 (20,0)	10 (40,0)	-
3 (n=68)	20 (80,0)	8 (32,0)	5 (20,0)	10 (40,0)	25(100,0)

*Marjin Skoru, 0:Marjin yok, 1:Marjin var ama kabul edilemez, 2:Minör düzeltme gerekir, 3:Düzenleme gerekmez

*Fisher-Freeman-Halton Kesin Testi, $p<0,001$ (Marjin skorları 0-1 ve 2-3 olarak iki grup halinde analiz edilmiştir)

Farklı preparasyon tiplerine göre mezial yüzeyde marjin skorlarının dağılımı Tablo 11’de sunulmuştur.

En yüksek puanı alan preparasyon tipi inley ve kron olurken (tamamı skor 3) en düşük puanı alan preparasyon tipi ise overley (%28’i skor 0) olmuştur. Preparasyon tipleri arası dağılım farklılığı istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p<0,001$).

Tablo 11: Farklı Preparasyon Tiplerine Göre Mezial Yüzeyde Marjin Skorlarının Dağılımı

Marjin Skoru	İnley Sayı (%)	Onley Sayı (%)	Overley Sayı (%)	Kompleks Overley Sayı (%)	Kron Sayı (%)
0 (n=17)	-	5 (20,0)	7 (28,0)	5 (20,0)	-
1 (n=6)	-	1 (4,0)	5 (20,0)	-	-
2 (n=15)	-	10 (40,0)	-	5 (20,0)	-
3 (n=87)	25 (100,0)	9 (36,0)	13 (52,0)	15 (60,0)	25(100,0)

*Marjin Skoru, 0:Marjin yok, 1:Marjin var ama kabul edilemez, 2:Minör düzeltme gerekir, 3:Düzenleme gerekmez

*Fisher-Freeman-Halton Kesin Testi, $p<0,001$ (Marjin skorları 0-1 ve 2-3 olarak iki grup halinde analiz edilmiştir)

En yüksek puanı alan preparasyon tipi inley ve kron olurken (tamamı skor 3) en düşük puanı alan preparasyon tipi ise overley (%28’i skor 0) olmuştur. Preparasyon tipleri arası dağılım farklılığı istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p<0,001$).

Farklı preparasyon tiplerine göre distal yüzeyde marjin skorlarının dağılımı Tablo 12’de sunulmuştur.

Tablo 12: Farklı Preparasyon Tiplerine Göre Distal Yüzeyde Marjin Skorlarının Dağılımı

Marjin Skoru	İnley Sayı (%)	Onley Sayı (%)	Overley Sayı (%)	Kompleks Overley Sayı (%)	Kron Sayı (%)
0 (n=17)	-	5 (20,0)	7 (28,0)	5 (20,0)	-
1 (n=16)	-	11 (44,0)	5 (20,0)	-	-
2 (n=8)	5 (20,0)	3 (12,0)	-	-	-
3 (n=84)	20 (80,0)	6 (24,0)	13 (52,0)	20 (80,0)	25(100,0)

*Marjin Skoru, 0:Marjin yok, 1:Marjin var ama kabul edilemez, 2:Minör düzeltme gerekir, 3:Düzenleme gerekmez
*Fisher-Freeman-Halton Kesin Testi, $p<0,001$ (Marjin skorları 0-1 ve 2-3 olarak iki grup halinde analiz edilmiştir)

En yüksek puanı alan preparasyon tipi kron olurken (tamamı skor 3) en düşük puanı alan preparasyon tipi ise onley (%20’si skor 0 ve %44’ü skor 1) ve overley (%28’i skor 0 ve %20’si skor 1) olmuştur. Preparasyon tipleri arası dağılım farklılığı istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p<0,001$).

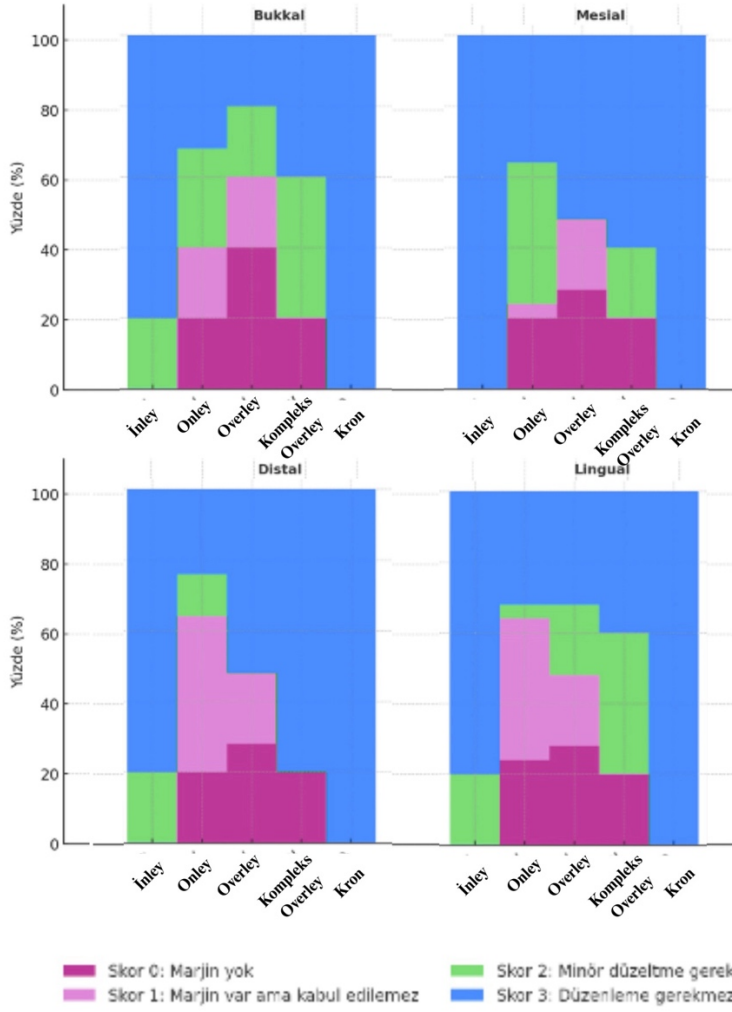
Farklı preparasyon tiplerine göre palatal yüzeyde marjin skorlarının dağılımı Tablo 13’te sunulmuştur.

En yüksek puanı alan preparasyon tipi kron olurken (tamamı skor 3) en düşük puanı alan preparasyon tipi ise onley (%24’ü skor 0 ve %40’ı skor 1) ve overley (%28’i skor 0 ve %20’si skor 1) olmuştur. Preparasyon tipleri arası dağılım farklılığı istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p<0,001$).

Tablo 13: Farklı preparasyon tiplerine göre palatal yüzeyde marjin skorlarının dağılımı

Marjin Skoru	İnley Sayı (%)	Onley Sayı (%)	Overley Sayı (%)	Kompleks Overley Sayı (%)	Kron Sayı (%)
0 (n=18)	-	6 (24,0)	7 (28,0)	5 (20,0)	-
1 (n=15)	-	10 (40,0)	5 (20,0)	-	-
2 (n=21)	5 (20,0)	1 (4,0)	5 (20,0)	10 (40,0)	-
3 (n=71)	20 (80,0)	8 (32,0)	8 (32,0)	10 (40,0)	25(100,0)

*Marjin Skoru, 0:Marjin yok, 1:Marjin var ama kabul edilemez, 2:Minör düzeltme gerekir, 3:Düzenleme gerekmez
*Fisher-Freeman-Halton Kesin Testi, $p<0,001$ (Marjin skorları 0-1 ve 2-3 olarak iki grup halinde analiz edilmiştir)



Şekil 17: Farklı preparasyon tiplerine göre tüm yüzeylerde marjin skorlarının dağılımı

6.2. Restorasyon Yüzey Skorlarının Dağılımı

Restorasyon yüzey skorları; 0, 1 ve 2 skor alanlar “klinik olarak kabul edilemez”, 3 ve 4 skor alanlar “klinik olarak kabul edilebilir” olarak ikiye gruplandırılarak analiz edilmiştir

Yapay zeka destekli yazılımlara göre bukkal yüzeyde restorasyon yüzey skorlarının dağılımı Tablo 14’te sunulmuştur.

En yüksek puanı alan yazılımlar Cerec, Automate ve Atomica olurken (tamamı skor 3) en düşük puanı alan yazılım Dentbird (%60’ı skor 0) olmuştur. Yazılımlar arası dağılım farklılığı istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p < 0,001$).

Tablo 14: Yapay Zeka Destekli Yazılımlara Göre Bukkal Yüzeyde Restorasyon Yüzey Skorlarının Dağılımı

Restorasyon Skoru*	Dentbird Sayı (%)	Cerec Sayı (%)	Automate Sayı (%)	Atomica Sayı (%)	ClinicCad Sayı (%)
1 (n=20)	15 (60,0)	-	-	-	5 (20,0)
3 (n=5)	-	-	-	-	5 (20,0)
4 (n=100)	10 (40,0)	25 (100,0)	25 (100,0)	25 (100,0)	15 (60,0)

*Hiçbir örnek bukkal yüzeyde 0 ve 2 skorlarını almamıştır.

**Restorasyon Skoru, 0:Yüzey üretilmemiş, 1:Perfore bölge var, 2:Yüzey tamamen örtülü ama klinik olarak kabul edilemez, 3:Minör düzeltme gerekir, 4:Düzenleme gerekmez

***Fisher-Freeman-Halton Kesin Testi, $p<0,001$ (Marjin skorları 0-1-2 ve 3-4 olarak iki grup halinde analiz edilmiştir)

En yüksek puanı alan yazılımlar Cerec, Automate ve Atomica olurken (tamamı skor 3) en düşük puanı alan yazılım Dentbird (%60'ı skor 0) olmuştur. Yazılımlar arası dağılım farklılığı istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p<0,001$).

Yapay zeka destekli yazılımlara göre mezial yüzeyde restorasyon yüzey skorlarının dağılımı Tablo 15'te sunulmuştur.

Tablo 15: Yapay Zeka Destekli Yazılımlara Göre Mezial Yüzeyde Restorasyon Yüzey Skorlarının Dağılımı (Marmara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, 2025)

Restorasyon Skoru*	Dentbird Sayı (%)	Cerec Sayı (%)	Automate Sayı (%)	Atomica Sayı (%)	ClinicCad Sayı (%)
1 (n=12)	12 (48,0)	-	-	-	-
2 (n=18)	3 (12,0)	-	-	-	15 (60,0)
3 (n=5)	-	-	-	-	5 (20,0)
4 (n=90)	10 (40,0)	25 (100,0)	25 (100,0)	25 (100,0)	5 (20,0)

*Hiçbir örnek mezial yüzeyde 0 skoru almamıştır.

**Restorasyon Skoru, 0:Yüzey üretilmemiş, 1:Perfore bölge var, 2:Yüzey tamamen örtülü ama klinik olarak kabul edilemez, 3:Minör düzeltme gerekir, 4:Düzenleme gerekmez

***Fisher-Freeman-Halton Kesin Testi, $p<0,001$ (Marjin skorları 0-1-2 ve 3-4 olarak iki grup halinde analiz edilmiştir)

En yüksek puanı alan yazılımlar Cerec, Automate ve Atomica olurken (tamamı skor 3) en düşük puanı alan yazılım Dentbird (%48'i skor 0) olmuştur. Yazılımlar arası dağılım farklılığı istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p<0,001$).

Yapay zeka destekli yazılımlara göre distal yüzeyde restorasyon yüzey skorlarının dağılımı Tablo 16'da sunulmuştur.

Tablo 16: Yapay Zeka Destekli Yazılımlara Göre Distal Yüzeyde Restorasyon Yüzey Skorlarının Dağılımı (Marmara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, 2025)

Restorasyon Skoru*	Dentbird Sayı (%)	Cerec Sayı (%)	Automate Sayı (%)	Atomica Sayı (%)	ClinicCad Sayı (%)
1 (n=12)	12 (48,0)	-	-	-	-
2 (n=13)	3 (12,0)	-	-	-	10 (40,0)
3 (n=5)	-	-	-	-	5 (20,0)
4 (n=95)	10 (40,0)	25 (100,0)	25 (100,0)	25 (100,0)	10 (40,0)

*Hiçbir örnek distal yüzeyde 0 skoru almamıştır.

**Restorasyon Skoru, 0:Yüzey üretilmemiş, 1:Perfore bölge var, 2:Yüzey tamamen örtülü ama klinik olarak kabul edilemez, 3:Minör düzeltme gerekir, 4:Düzenleme gerekmez

***Fisher-Freeman-Halton Kesin Testi, $p<0,001$ (Marjin skorları 0-1-2 ve 3-4 olarak iki grup halinde analiz edilmiştir)

En yüksek puanı alan yazılımlar Cerec, Automate ve Atomica olurken (tamamı skor 3) en düşük puanı alan yazılım Dentbird (%48'i skor 0) olmuştur. Yazılımlar arası dağılım farklılığı istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p<0,001$).

Yapay zeka destekli yazılımlara göre palatal yüzeyde restorasyon yüzey skorlarının dağılımı Tablo 17'de sunulmuştur.

En yüksek puanı alan yazılımlar Cerec, Automate ve Atomica olurken (tamamı skor 3) en düşük puanı alan yazılım Dentbird (%60'ı skor 0) olmuştur. Yazılımlar arası dağılım farklılığı istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p<0,001$).

Tablo 17: Yapay Zeka Destekli Yazılımlara Göre Palatal Yüzeyde Restorasyon Yüzey Skorlarının Dağılımı (Marmara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, 2025)

Restorasyon Skoru*	Dentbird Sayı (%)	Cerec Sayı (%)	Automate Sayı (%)	Atomica Sayı (%)	ClinicCad Sayı (%)
1 (n=15)	15 (60,0)	-	-	-	-
2 (n=5)	-	-	-	-	5 (20,0)
4 (n=105)	10 (40,0)	25 (100,0)	25 (100,0)	25 (100,0)	20 (80,0)

*Hiçbir örnek palatal yüzeyde 0 ve 3 skorlarını almamıştır.

**Restorasyon Skoru, 0:Yüzey üretilmemiş, 1:Perfore bölge var, 2:Yüzey tamamen örtülü ama klinik olarak kabul edilemez, 3:Minör düzeltme gerekir, 4:Düzenleme gerekmez

***Fisher-Freeman-Halton Kesin Testi, $p<0,001$ (Marjin skorları 0-1-2 ve 3-4 olarak iki grup halinde analiz edilmiştir)

Yapay zeka destekli yazılımlara göre oklüzal yüzeyde restorasyon yüzey skorlarının dağılımı Tablo 18'de sunulmuştur.

En yüksek puanı alan yazılım Automate olurken (tamamı skor 3) en düşük puanı alan yazılım Dentbird (%60'ı skor 1) olmuştur. Yazılımlar arası dağılım farklılığı istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p<0,001$).

Tablo 18: Yapay Zeka Destekli Yazılımlara Göre Oklüzal Yüzeyde Restorasyon Yüzey Skorlarının Dağılımı (Marmara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, 2025)

Restorasyon Skoru*	Dentbird Sayı (%)	Cerec Sayı (%)	Automate Sayı (%)	Atomica Sayı (%)	ClinicCad Sayı (%)
0 (n=7)	-	-	-	2 (8,0)	5 (20,0)
1 (n=15)	15 (60,0)	-	-	-	-
2 (n=8)	-	-	-	3 (12,0)	5 (20,0)
3 (n=10)	-	5 (20,0)	-	-	5 (20,0)
4 (n=85)	10 (40,0)	20 (80,0)	25 (100,0)	20 (80,0)	10 (40,0)

*Restorasyon Skoru, 0:Yüzey üretilenmemiş, 1:Perfore bölge var, 2:Yüzey tamamen örtülü ama klinik olarak kabul edilemez, 3:Minör düzeltme gerekir, 4:Düzenleme gerekmez

**Fisher-Freeman-Halton Kesin Testi, $p<0,001$ (Marjin skorları 0-1-2 ve 3-4 olarak iki grup halinde analiz edilmiştir)

En yüksek puanı alan yazılım Automate olurken (tamamı skor 3) en düşük puanı alan yazılım Dentbird (%60'ı skor 1) olmuştur. Yazılımlar arası dağılım farklılığı istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p<0,001$).

Yapay zeka destekli yazılımlara göre oklüzyonda restorasyon yüzey skorlarının dağılımı Tablo 19'da sunulmuştur.

Tablo 19: Yapay Zeka Destekli Yazılımlara Göre Oklüzyonda Restorasyon Yüzey Skorlarının Dağılımı (Marmara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, 2025)

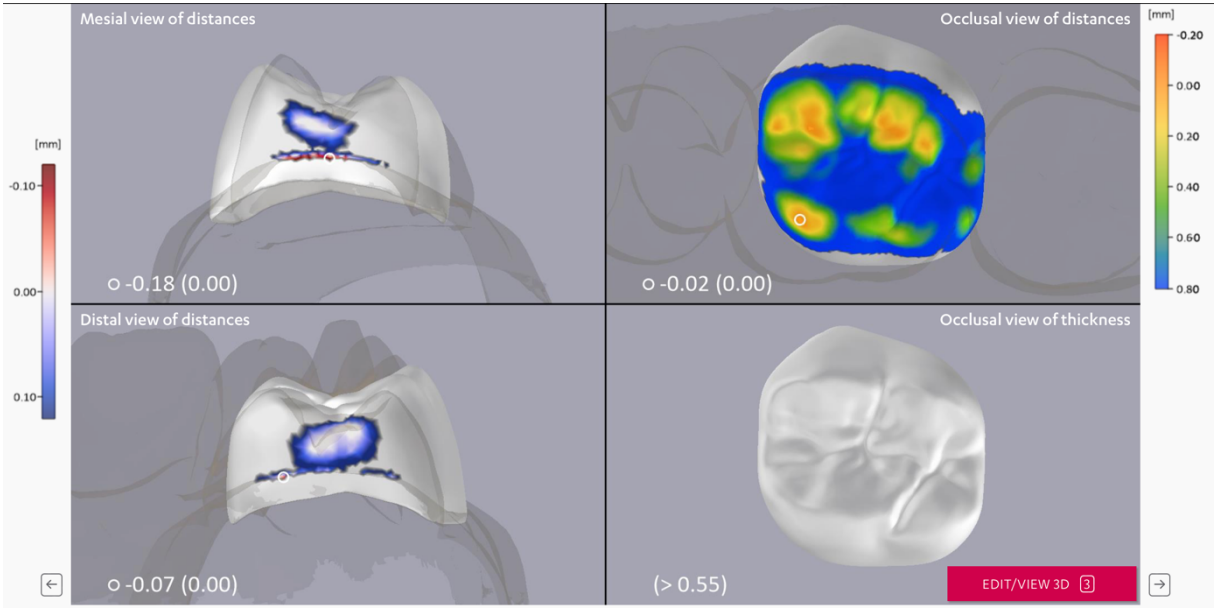
Restorasyon Skoru*	Dentbird Sayı (%)	Cerec Sayı (%)	Automate Sayı (%)	Atomica Sayı (%)	ClinicCad Sayı (%)
0 (n=45)	15 (60,0)	-	-	10 (40,0)	20 (80,0)
2 (n=8)	-	-	-	3 (12,0)	5 (20,0)
3 (n=7)	-	-	-	7 (28,0)	-
4 (n=65)	10 (40,0)	25 (100,0)	25 (100,0)	5 (20,0)	-

*Hiçbir örnek oklüzyonda 1 skorunu almamıştır.

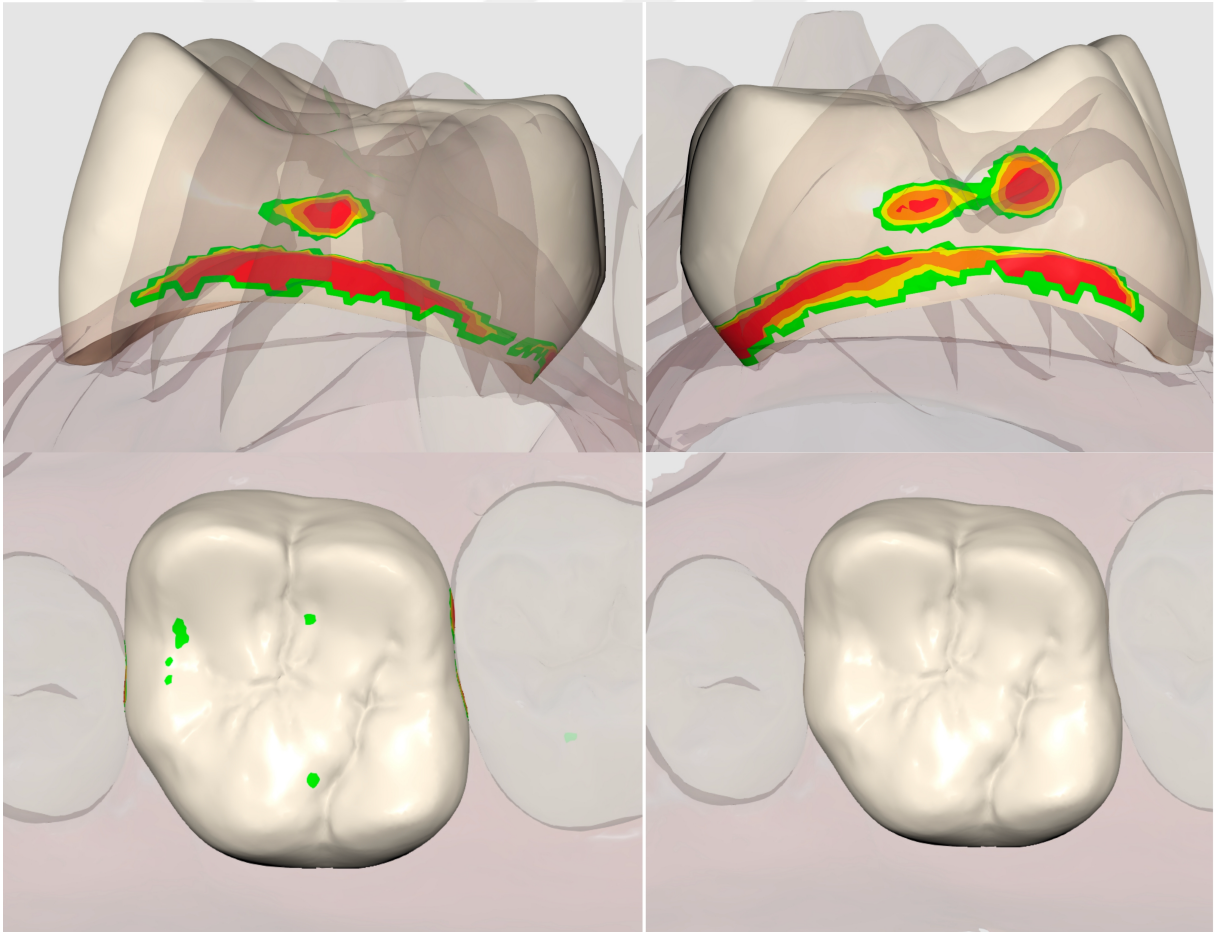
**Restorasyon Skoru, 0:Yüzey üretilenmemiş, 1:Perfore bölge var, 2:Yüzey tamamen örtülü ama klinik olarak kabul edilemez, 3:Minör düzeltme gerekir, 4:Düzenleme gerekmez

***Fisher-Freeman-Halton Kesin Testi, $p<0,001$ (Marjin skorları 0-1-2 ve 3-4 olarak iki grup halinde analiz edilmiştir)

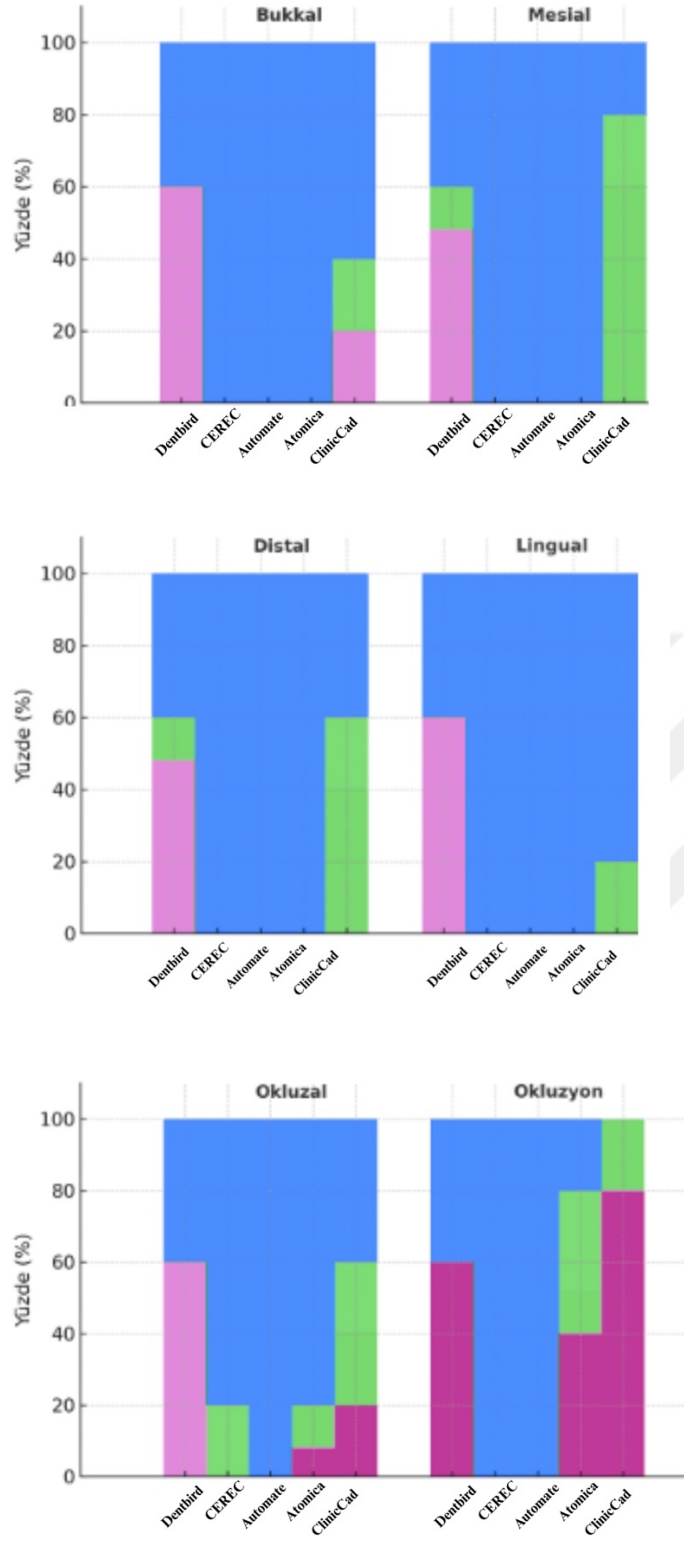
En yüksek puanı alan yazılımlar Cerec ve Automate olurken (tamamı skor 3) en düşük puanı alan yazılım ClinicCad (%80'i skor 0) olmuştur. Yazılımlar arası dağılım farklılığı istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p<0,001$).



Şekil 18. Automate yazılımında kron preparasyonu üzerine hazırlanan restorasyonun aproksimal ve oklüzal kontakt alanları ve oklüzal morfolojisi



Şekil 19. ClinicCad yazılımında kron preparasyonu üzerine hazırlanan restorasyonun aproksimal ve oklüzal kontakt alanları ve oklüzal morfolojisi



Şekil 20: Yapay Zeka Destekli Yazılımlara Göre Tüm Yüzelerde Restorasyon Yüzey Skorlarının Dağılımı

Farklı preparasyon tiplerine göre bukkal yüzeyde restorasyon yüzey skorlarının dağılımı Tablo 20’de sunulmuştur.

En yüksek puanı alan preparasyon tipleri inley ve kron olurken (tamamı skor 4) en düşük puanı alan preparasyon tipi overley (%40’ı skor 1) olmuştur. Yazılımlar arası dağılım farklılığı istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p<0,001$).

Tablo 20: Farklı Preparasyon Tiplerine Göre Bukkal Yüzeyde Restorasyon Yüzey Skorlarının Dağılımı

Restorasyon Skoru*	İnley Sayı (%)	Onley Sayı (%)	Overley Sayı (%)	Kompleks Overley Sayı (%)	Kron Sayı (%)
1 (n=20)	-	5 (20,0)	10 (40,0)	5 (20,0)	-
3 (n=5)	-	-	-	5 (20,0)	-
4 (n=100)	25 (100,0)	20 (80,0)	15 (60,0)	15 (60,0)	25 (100,0)

*Hiçbir örnek bukkal yüzeyde 0 ve 2 skorlarını almamıştır.

**Restorasyon Skoru, 0:Yüzey üretilmemiş, 1:Perfore bölge var, 2:Yüzey tamamen örtülü ama klinik olarak kabul edilemez, 3:Minör düzeltme gerekir, 4:Düzenleme gerekmez

***Fisher-Freeman-Halton Kesin Testi, $p<0,001$ (Marjin skorları 0-1-2 ve 3-4 olarak iki grup halinde analiz edilmiştir)

Farklı preparasyon tiplerine göre mezial yüzeyde restorasyon yüzey skorlarının dağılımı Tablo 21’de sunulmuştur.

Tablo 21: Farklı Preparasyon Tiplerine Göre Mezial Yüzeyde Restorasyon Yüzey Skorlarının Dağılımı

Restorasyon Skoru*	İnley Sayı (%)	Onley Sayı (%)	Overley Sayı (%)	Kompleks Overley Sayı (%)	Kron Sayı (%)
1 (n=12)	-	5 (20,0)	2 (8,0)	5 (20,0)	-
2 (n=18)	-	5 (20,0)	8 (32,0)	5 (20,0)	-
3 (n=5)	-	-	-	-	5 (20,0)
4 (n=90)	25 (100,0)	15 (60,0)	15 (60,0)	15 (60,0)	20 (80,0)

*Hiçbir örnek mezial yüzeyde 0 skorunu almamıştır.

**Restorasyon Skoru, 0:Yüzey üretilmemiş, 1:Perfore bölge var, 2:Yüzey tamamen örtülü ama klinik olarak kabul edilemez, 3:Minör düzeltme gerekir, 4:Düzenleme gerekmez

***Fisher-Freeman-Halton Kesin Testi, $p<0,001$ (Marjin skorları 0-1-2 ve 3-4 olarak iki grup halinde analiz edilmiştir)

En yüksek puanı alan preparasyon tipi inley olurken (tamamı skor 4) en düşük puanı alan preparasyon tipleri onley ve overley (%20’si skor 1) olmuştur. Yazılımlar arası dağılım farklılığı istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p<0,001$).

Farklı preparasyon tiplerine göre distal yüzeyde restorasyon yüzey skorlarının dağılımı Tablo 22’de sunulmuştur.

Tablo 22: Farklı Preparasyon Tiplerine Göre Distal Yüzeyde Restorasyon Yüzey Skorlarının Dağılımı

Restorasyon Skoru*	İnley Sayı (%)	Onley Sayı (%)	Overley Sayı (%)	Kompleks Overley Sayı (%)	Kron Sayı (%)
1 (n=12)	-	5 (20,0)	2 (8,0)	5 (20,0)	-
2 (n=13)	-	-	8 (32,0)	5 (20,0)	-
3 (n=5)	-	-	-	-	5 (20,0)
4 (n=95)	25 (100,0)	20 (80,0)	15 (60,0)	15 (60,0)	20 (80,0)

*Hiçbir örnek distal yüzeyde 0 skorunu almamıştır.

**Restorasyon Skoru, 0:Yüzey üretilmemiş, 1:Perfore bölge var, 2:Yüzey tamamen örtülü ama klinik olarak kabul edilemez, 3:Minör düzeltme gerekir, 4:Düzenleme gerekmez

***Fisher-Freeman-Halton Kesin Testi, $p<0,001$ (Marjin skorları 0-1-2 ve 3-4 olarak iki grup halinde analiz edilmiştir)

En yüksek puanı alan preparasyon tipi inley olurken (tamamı skor 4) en düşük puanı alan preparasyon tipleri onley ve overley (%20’si skor 1) olmuştur. Yazılımlar arası dağılım farklılığı istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p<0,001$).

Farklı preparasyon tiplerine göre palatal yüzeyde restorasyon yüzey skorlarının dağılımı Tablo 23’te sunulmuştur.

En yüksek puanı alan preparasyon tipleri inley ve kron olurken (tamamı skor 4) en düşük puanı alan preparasyon tipleri onley, overley ve kompleks overley (%20’si skor 1) olmuştur. Yazılımlar arası dağılım farklılığı istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p<0,001$).

Tablo 23: Farklı Preparasyon Tiplerine Göre Palatal Yüzeyde Restorasyon Yüzey Skorlarının Dağılımı

Restorasyon Skoru*	İnley Sayı (%)	Onley Sayı (%)	Overley Sayı (%)	Kompleks Overley Sayı (%)	Kron Sayı (%)
1 (n=15)	-	5 (20,0)	5 (20,0)	5 (20,0)	-
2 (n=15)	-	-	5 (20,0)	-	-
4 (n=105)	25 (100,0)	20 (80,0)	15 (60,0)	20 (80,0)	25 (100,0)

*Hiçbir örnek palatal yüzeyde 3 skorunu almamıştır.

**Restorasyon Skoru, 0:Yüzey üretilmemiş, 1:Perfore bölge var, 2:Yüzey tamamen örtülü ama klinik olarak kabul edilemez, 3:Minör düzeltme gerekir, 4:Düzenleme gerekmez

***Fisher-Freeman-Halton Kesin Testi, $p<0,001$ (Marjin skorları 0-1-2 ve 3-4 olarak iki grup halinde analiz edilmiştir)

Farklı preparasyon tiplerine göre oklüzal yüzeyde restorasyon yüzey skorlarının dağılımı Tablo 24'te sunulmuştur.

En yüksek puanı alan preparasyon tipi kron olurken (tamamı skor 4) en düşük puanı alan preparasyon tipi overley (%20'si skor 0) olmuştur. Yazılımlar arası dağılım farklılığı istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p=0,001$).

Tablo 24: Farklı Preparasyon Tiplerine Göre Oklüzal Yüzeyde Restorasyon Yüzey Skorlarının Dağılımı

Restorasyon Skoru*	İnley Sayı (%)	Onley Sayı (%)	Overley Sayı (%)	Kompleks Overley Sayı (%)	Kron Sayı (%)
0 (n=7)	2 (8,0)	-	5 (20,0)	-	-
1 (n=15)	-	5 (20,0)	5 (20,0)	5 (20,0)	-
2 (n=8)	3 (12,0)	5 (20,0)	-	-	-
3 (n=10)	-	5 (20,0)	-	5 (20,0)	-
4 (n=85)	20 (80,0)	10 (40,0)	15 (60,0)	15 (60,0)	25 (100,0)

*Restorasyon Skoru, 0:Yüzey üretilmemiş, 1:Perfore bölge var, 2:Yüzey tamamen örtülü ama klinik olarak kabul edilemez, 3:Minör düzeltme gerekir, 4:Düzenleme gerekmez

**Fisher-Freeman-Halton Kesin Testi, $p=0,001$ (Marjin skorları 0-1-2 ve 3-4 olarak iki grup halinde analiz edilmiştir)

Farklı preparasyon tiplerine göre oklüzyonda restorasyon yüzey skorlarının dağılımı Tablo 25'te sunulmuştur.

Tablo 25: Farklı Preparasyon Tiplerine Göre Oklüzyonda Restorasyon Yüzey Skorlarının Dağılımı

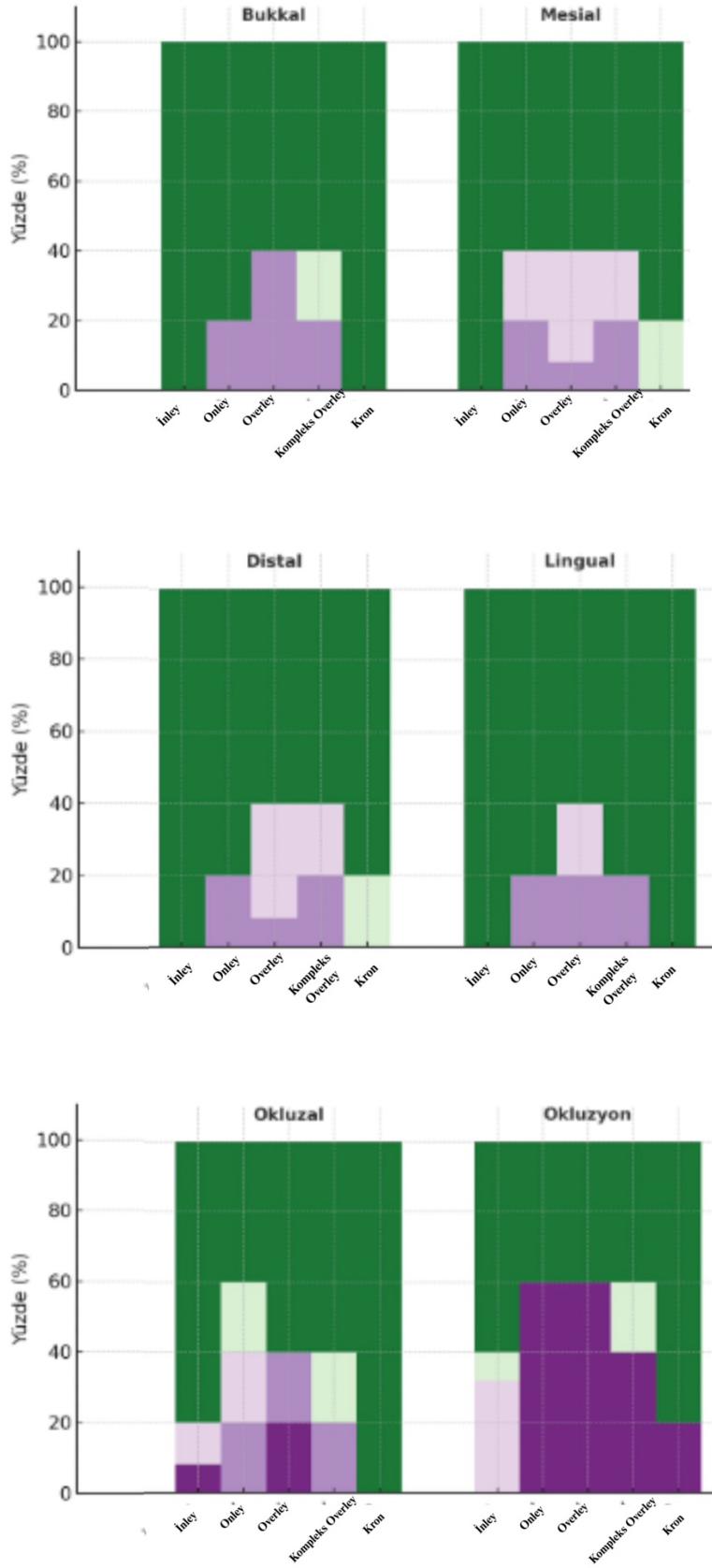
Restorasyon Skoru*	İnley Sayı (%)	Onley Sayı (%)	Overley Sayı (%)	Kompleks Overley Sayı (%)	Kron Sayı (%)
0 (n=45)	-	15 (60,0)	15 (60,0)	10 (40,0)	5 (20,0)
2 (n=8)	8 (32,0)	-	-	-	-
3 (n=7)	2 (4,0)	-	-	5 (20,0)	-
4 (n=65)	15 (60,0)	10 (40,0)	10 (40,0)	10 (40,0)	20 (80,0)

* Hiçbir örnek oklüzyonda 1 skorunu almamıştır.

**Restorasyon Skoru, 0:Yüzey üretilmemiş, 1:Perfore bölge var, 2:Yüzey tamamen örtülü ama klinik olarak kabul edilemez, 3:Minör düzeltme gerekir, 4:Düzenleme gerekmez

***Fisher-Freeman-Halton Kesin Testi, $p<0,001$ (Marjin skorları 0-1-2 ve 3-4 olarak iki grup halinde analiz edilmiştir)

En yüksek puanı alan preparasyon tipi kron olurken (%80'i skor 4) en düşük puanı alan preparasyon tipleri onley ve overley (%60'ı skor 0) olmuştur. Yazılımlar arası dağılım farklılığı istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p<0,001$).



Şekil 21: Farklı Preparasyon Tiplerine Göre Tüm Yüzelerde Restorasyon Yüzey Skorlarının Dağılımı

6.3. Restorasyon Tasarım Sürelerinin Dağılımı

Yapay zeka destekli yazılımlara göre restorasyon tasarım sürelerinin dağılımı Tablo 26'da sunulmuştur.

Tablo 26: Yapay Zeka Destekli Yazılımlara Göre Restorasyon Tasarım Sürelerinin Dağılımı

Yazılım	Süre (Ortalama ± SS)
Dentbird (n=25)	50,9 ± 21,5 ^a
Cerec (n=25)	36,5 ± 5,5 ^b
Automate (n=25)	82,6 ± 11,9 ^c
Atomica (n=25)	124,8 ± 36,3 ^d
ClinicCAD (n=25)	35,5 ± 20,3 ^{a,b}
p value*	<0,001

*Welch ANOVA, post hoc ikili karşılaştırmalarda (Tamhane Testi) arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık olmayan gruplar aynı üssel harfle (^{a,b,c,d}) gösterilmiştir.

Süre ortalama ± SS değerleri Dentbird için 50,9 ± 21,5; Cerec için 36,5 ± 5,5; Automate için 82,6 ± 11,9; Atomica için 124,8 ± 36,3; ClinicCAD için 35,5 ± 20,3 olarak ölçülmüş olup gruplar arasındaki süre farklılığı istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir (p<0,001). Yapılan post hoc ikili karşılaştırmalarda sadece ClinicCAD-Dentbird ve ClinicCAD-Cerec ikilileri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık gösterilememiştir (p>0,05).

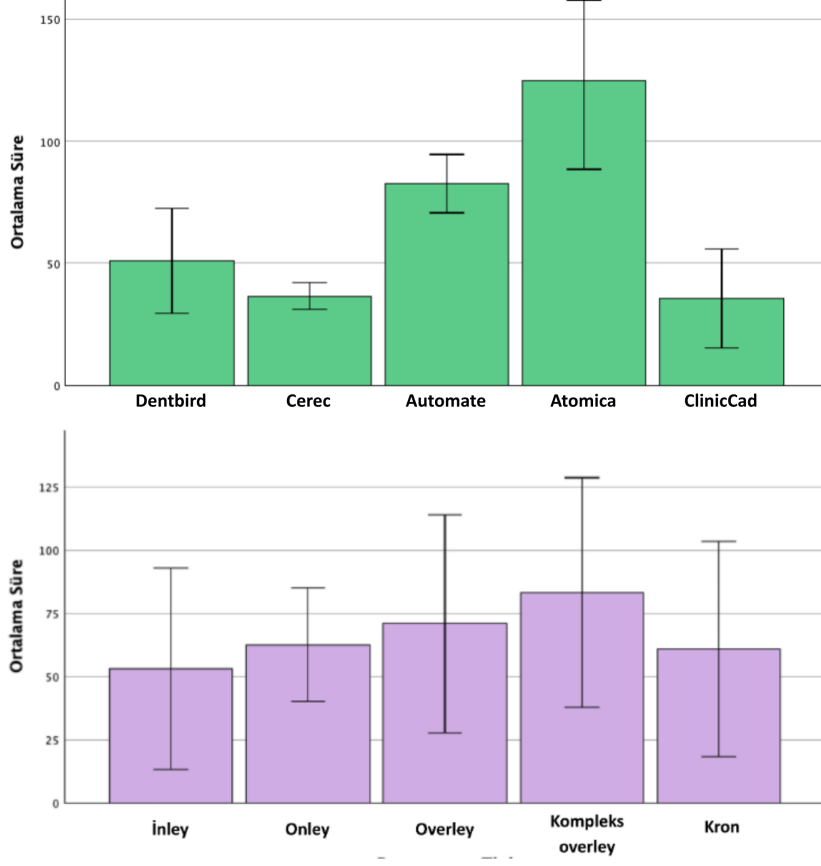
Farklı preparasyon tiplerine göre restorasyon tasarım sürelerinin dağılımı Tablo 27'de sunulmuştur.

Tablo 27: Farklı Preparasyon Tiplerine Göre Restorasyon Tasarım Sürelerinin Dağılımı

Preparasyon	Süre Ortalama ± SS
İnley (n=25)	52,9 ± 39,8
Onley (n=25)	62,5 ± 22,4
Overley (n=25)	70,8 ± 43,1
Kompleks Overley	83,2 ± 45,4
Kron (n=25)	60,9 ± 42,5
p değeri*	0,150

*Welch ANOVA

Süre ortalama \pm SS değerleri İnyey için $52,9 \pm 39,8$; Onley için $62,5 \pm 22,4$; Overlay için $70,8 \pm 43,1$; Basamaklı Overlay için $83,2 \pm 45,4$; Kron için $60,9 \pm 42,5$ olarak ölçülmüş olup gruplar arasındaki süre farklılığı istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bulunmamıştır (Welch ANOVA, $p = 0,150$).



şekil 22: Yapay zeka destekli yazılımlara ve farklı preparasyon tiplerine göre restorasyon tasarım sürelerinin dağılımı.

6.4. Doğruluk Değerlerinin Dağılımı

Yapay zeka destekli yazılımlarla tasarlanan restorasyonların sağlam diş ile olan benzerliklerine ilişkin teknik karşılaştırma verileri Tablo 28’de sunulmuştur.

Minimum fark ortalamaları Dentbird için $-1,31 \pm 0,02$; Cerec için $-1,31 \pm 0,03$; Automate için $-1,23 \pm 0,18$; Atomica için $-1,21 \pm 0,53$ ve ClinicCAD için $-1,32 \pm 0,00$ olarak hesaplanmıştır, gruplar arası farklılık istatistiksel olarak anlamlı düzeyde gösterilememiştir ($p=0,389$).

Maksimum fark ortalamaları Dentbird için $1,31 \pm 0,02$; Cerec için $1,31 \pm 0,03$; Automate için $1,23 \pm 0,18$; Atomica için $1,31 \pm 0,02$ ve ClinicCAD için $1,31 \pm 0,02$ ’dir ve gruplar arası farklılık istatistiksel olarak anlamlı düzeyde gösterilememiştir ($p=0,227$).

Ortalama fark değerleri sırasıyla Dentbird için $-0,27 \pm 0,24$; Cerec için $-0,09 \pm 0,16$; Automate için $-0,17 \pm 0,18$; Atomica için $-0,04 \pm 0,16$ ve ClinicCAD için $-0,15 \pm 0,21$ olarak bulunmuştur, fark istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p=0,004$). Yapılan gruplar arası post-hoc ikili karşılaştırmalarda sadece Dentbird-Cerec ve Dentbird-Atomica ikilileri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı düzeyde olduğu görülmüştür ($p<0,05$).

Standart sapma değerleri Dentbird için $0,52 \pm 0,14$; Cerec için $0,45 \pm 0,11$; Automate için $0,42 \pm 0,13$; Atomica için $0,50 \pm 0,13$ ve ClinicCAD için $0,52 \pm 0,13$ ’tür, fark istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p<0,05$). Yapılan gruplar arası post-hoc ikili karşılaştırmalarda sadece Dentbird-Automate grupları arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı düzeyde olduğu görülmüştür ($p<0,05$).

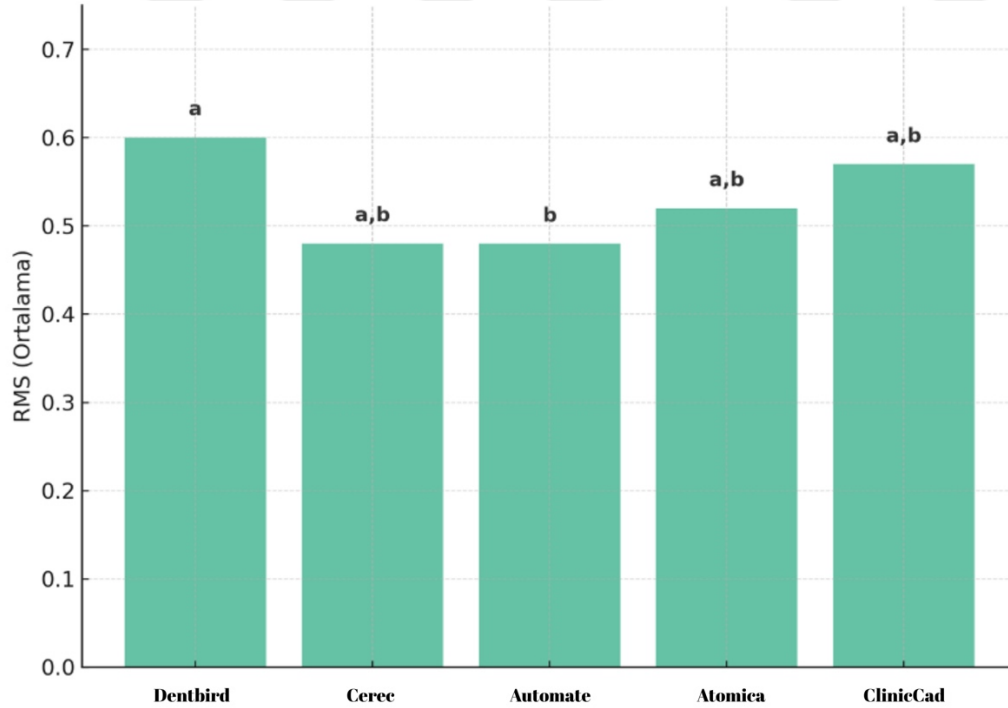
RMSE değerleri ise sırasıyla Dentbird için $0,60 \pm 0,18$; Cerec için $0,48 \pm 0,11$; Automate için $0,48 \pm 0,17$; Atomica için $0,52 \pm 0,14$ ve ClinicCAD için $0,57 \pm 0,15$ olarak ölçülmüştür, fark istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p<0,05$). Yapılan gruplar arası post-hoc ikili karşılaştırmalarda sadece Dentbird-Automate grupları arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı düzeyde olduğu görülmüştür ($p<0,05$).

Tablo 28: Yapay Zeka Destekli Yazılımlara Göre Sağlam Diş ile Olan Benzerliklerine İlişkin Teknik Karşılaştırma Verilerinin Dağılımı

Yazılım	NEBD Fark Ortalama ± SS	EBD Fark Ortalama ± SS	Ort. Fark Ortalama ± SS	SS Ortalama ± SS	RMSE Ortalama ± SS
Dentbird (n=25)	-1,31 ± 0,02	1,31 ± 0,02	-0,27 ± 0,24 ^a	0,52 ± 0,14 ^a	0,60 ± 0,18 ^a
Cerec (n=25)	-1,31 ± 0,03	1,31 ± 0,03	-0,09 ± 0,16 ^b	0,45 ± 0,11 ^{a,b}	0,48 ± 0,11 ^{a,b}
Automate (n=25)	-1,23 ± 0,18	1,23 ± 0,18	-0,17 ± 0,18 ^{a,b}	0,42 ± 0,13 ^b	0,48 ± 0,17 ^b
Atomica (n=25)	-1,21 ± 0,53	1,31 ± 0,02	-0,04 ± 0,16 ^b	0,50 ± 0,13 ^{a,b}	0,52 ± 0,14 ^{a,b}
ClinicCad (n=25)	-1,32 ± 0,00	1,31 ± 0,02	-0,15 ± 0,21 ^{a,b}	0,52 ± 0,13 ^{a,b}	0,57 ± 0,15 ^{a,b}
p value	0,389*	0,227**	0,004**	0,027*	0,026*

*Tek Yönlü ANOVA, post hoc ikili karşılaştırmalarda(Tukey HSD Testi) arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık olmayan gruplar aynı üssel harfle (^{a,b,c,d}) gösterilmiştir.

**Welch ANOVA, post hoc ikili karşılaştırmalarda(Tamhane Testi) arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık olmayan gruplar aynı üssel harfle (^{a,b,c,d}) gösterilmiştir.



Şekil 23: Yapay Zeka Destekli Yazılımlara Göre Sağlam Diş ile Olan Benzerliklerine İlişkin Teknik Karşılaştırma Verilerinin Dağılımı

Tek Yönlü ANOVA Testi, p=0,026. Post hoc ikili karşılaştırmalarda (Tukey HSD Testi) arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık olmayan gruplar aynı üssel harfle (^{a,b,c,d}) gösterilmiştir.

6.5. Kesinlik Değerlerinin Dağılımı

Yapay zeka destekli yazılımlarla aynı diş formu için tasarlanan beş restorasyondan ilk tasarıma olan benzerliklerine ilişkin teknik karşılaştırma verileri Tablo 30'da sunulmuştur.

Minimum fark ortalamaları Dentbird için $-0,36 \pm 0,37$; Cerec için $-0,18 \pm 0,15$; Automate için $-0,04 \pm 0,05$; Atomica için $-0,23 \pm 0,20$ ve ClinicCAD için $-0,22 \pm 0,17$ olarak ölçülmüştür, fark istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p < 0,001$). Yapılan gruplar arası post-hoc ikili karşılaştırmalarda sadece Automate yazılımı ile diğer tüm yazılımlar arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı düzeyde olduğu görülmüştür ($p < 0,05$).

Maksimum fark ortalamaları sırasıyla Dentbird için $0,31 \pm 0,35$; Cerec için $0,15 \pm 0,12$; Automate için $0,04 \pm 0,05$; Atomica için $0,23 \pm 0,21$ ve ClinicCAD için $0,26 \pm 0,19$ 'dur, fark istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p < 0,001$). Yapılan gruplar arası post-hoc ikili karşılaştırmalarda sadece Automate yazılımı ile diğer tüm yazılımlar arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı düzeyde olduğu görülmüştür ($p < 0,05$).

Ortalama fark değerleri Dentbird ve ClinicCad için $0,01 \pm 0,07$ ve $0,01 \pm 0,02$ olarak ölçülürken, diğer üç yazılımda $< 0,00$ düzeyinde hesaplanmıştır, fark istatistiksel olarak anlamlı düzeyde gösterilememiştir ($p = 0,263$).

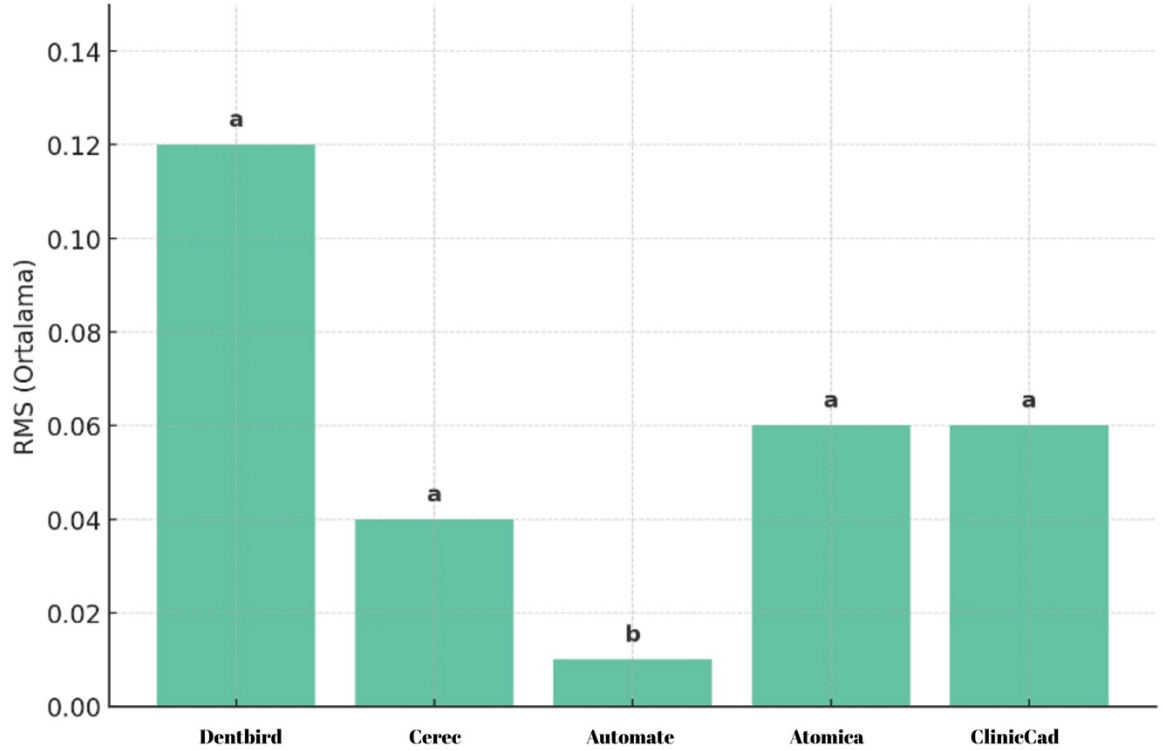
Standart sapma değerleri Dentbird için $0,11 \pm 0,11$; Cerec için $0,04 \pm 0,03$; Automate için $0,01 \pm 0,01$; Atomica için $0,06 \pm 0,06$ ve ClinicCAD için $0,05 \pm 0,04$ 'tür, fark istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p < 0,001$). Yapılan gruplar arası post-hoc ikili karşılaştırmalarda sadece Automate yazılımı ile diğer tüm yazılımlar arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı düzeyde olduğu görülmüştür ($p < 0,05$).

RMSE değerleri sırasıyla Dentbird için $0,12 \pm 0,12$; Cerec için $0,04 \pm 0,03$; Automate için $0,01 \pm 0,01$; Atomica için $0,06 \pm 0,06$ ve ClinicCAD için $0,06 \pm 0,04$ olarak hesaplanmıştır, fark istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p < 0,001$). Yapılan gruplar arası post-hoc ikili karşılaştırmalarda sadece Automate yazılımı ile diğer tüm yazılımlar arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı düzeyde olduğu görülmüştür ($p < 0,05$).

Tablo 29. Yapay Zeka Destekli Yazılımlara Göre Aynı Yazılımla Tasarlanan Restorasyonların Birinci Tasarıma Olan Benzerliklerine İlişkin Teknik Karşılaştırma Verilerinin Dağılımı

Yazılım	NEBD Fark Ortalama ± SS	EBD Fark Ortalama ± SS	Ort. Fark Ortalama ± SS	SS Ortalama ± SS	RMSE Ortalama ± SS
Dentbird (n=20)	-0,36 ± 0,37 ^a	0,31 ± 0,35 ^a	0,01 ± 0,07	0,11 ± 0,11 ^a	0,12 ± 0,12 ^a
Cerec (n=20)	-0,18 ± 0,15 ^a	0,15 ± 0,12 ^a	<0,00	0,04 ± 0,03 ^a	0,04 ± 0,03 ^a
Automate (n=20)	-0,04 ± 0,05 ^b	0,04 ± 0,05 ^b	<0,00	0,01 ± 0,01 ^b	0,01 ± 0,01 ^b
Atomica (n=20)	-0,23 ± 0,20 ^a	0,23 ± 0,21 ^a	<0,00	0,06 ± 0,06 ^a	0,06 ± 0,06 ^a
ClinicCad (n=20)	-0,22 ± 0,17 ^a	0,26 ± 0,19 ^a	0,01 ± 0,02	0,05 ± 0,04 ^a	0,06 ± 0,04 ^a
p value*	0,001	0,001	0,263	<0,001	0,001

*Welch ANOVA, post hoc ikili karşılaştırmalarda (Tamhane Testi) arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık olmayan gruplar aynı üssel harfle (^{a,b,c,d}) gösterilmiştir.



Şekil 24: Yapay Zeka Destekli Yazılımlara Göre Aynı Yazılımla Tasarlanan Restorasyonların Birinci Tasarıma Olan Benzerliklerine İlişkin Teknik Karşılaştırma Verilerinin Dağılımı

Welch ANOVA, p=0,001. Post hoc ikili karşılaştırmalarda (Tamhane Testi) arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık olmayan gruplar aynı üssel harfle (^{a,b,c,d}) gösterilmiştir.

7. TARTIŞMA ve SONUÇ

Yapay zekanın yaygınlaşması ve sağlık sektöründe kendine yer kazanmasıyla diş hekimliği de payına düşen yenilikleri almaya başlamıştır. Salomon ve Olivier, yapay zekanın medikal alanda sunduğu avantajları incelerken özellikle büyük verilerin analiz edilmesinde, hızlı ve doğru karar üretiminde ve kişiselleştirilmiş tedavi planlarının oluşturulmasında yapay zeka sistemlerinin etkinliğine dikkat çekmektedir. Benzer şekilde, bu çalışmada kullanılan CAD sistemleri de hastaya özgü anatomik özellikleri tanıyabilen ve buna göre öneriler sunabilen algoritmik yapılarıyla, tedavi sürecinin kişiselleştirilmesine olanak sağlamıştır. (Salomon & Olivier, 2024).

Otomasyon ve yapay zeka destekli sistemlerin insanlara sağlayacağı kolaylıklar ve zaman kazancı, araştırmaların konusu olmuştur. Yapay zeka teknolojilerinin diş hekimliği alanına entegrasyonu, klinik süreçlerin dijitalleşmesini hızlandırmış ve tasarım, üretim ve değerlendirme adımlarında önemli avantajlar sunmuştur. Özellikle .stl formatında dijital tarama verileri ile doğrudan entegre çalışabilen bu sistemlerin, restorasyon üretiminde insan hatasını azaltma, zaman verimliliği sağlama ve dijital arşivleme kolaylığı yaratma gibi yönleriyle klinik pratikte iş akışını optimize edebileceği görülmüştür. Yapay zeka destekli sistemler, diş hekimliği alanında karar destek mekanizması olarak işlev görmek ve restoratif süreçlerde zaman, doğruluk ve kaynak kullanımı açısından birçok avantaj sunmaktadır. Ancak bu sistemlerin klinik uygulamalarda maksimum fayda sağlayabilmesi için, şeffaflık, kullanıcı kontrolü ve algoritmik güvenilirlik gibi kriterlerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Yapay zeka temelli CAD sistemleri, diş hekimliğinde restoratif işlemlerin dijitalleşmesine önemli katkılar sunmakta ve bazı yönlerden insan müdahalesine kıyasla belirgin avantajlar ortaya koymaktadır. Özellikle veri işleme ve karar verme süreçlerinde yapay zeka algoritmaları, büyük miktarda hasta verisini kısa sürede analiz edebilmekte ve bu sayede restorasyon tasarımlarını çok daha hızlı bir şekilde tamamlayabilmektedir. Elgarba ve arkadaşları, implant planlamasında yapay zeka sistemlerinin, deneyimli klinisyenlere göre daha hızlı ve daha tutarlı öneriler sunduğunu ortaya koymuş, bu durumun klinik zaman yönetimi açısından önemli kazanımlar sağladığını vurgulamıştır (Elgarba ve ark., 2024). Benzer şekilde, CAD uygulamalarında yapay zekanın insan operatörlere göre çok daha standart ve tekrar edilebilir restorasyonlar üretebildiğini gösteren çalışmalar mevcuttur. Yeslam ve arkadaşlarının çalışmasında, yapay zeka temelli sistemlerin üretim esnasındaki varyasyonları büyük ölçüde

ortadan kaldırarak kalite kontrol sürecini kolaylaştırdığı ve özellikle çok sayıda restorasyon üretiminin gerektiği endikasyonlarda avantaj sağladığı bildirilmiştir (Yeslam ve ark., 2024). Yapay zeka temelli sistemlerin tekrar edilebilir ve standardize çıktılar üretebilmesi, özellikle seri üretime yakın endikasyonlarda insan kaynaklı varyasyonların önüne geçme potansiyeli sunmaktadır. Sistemlerin kullanıcı müdahalesine ihtiyaç duymadan çalışabilmesi, zaman yönetimini kolaylaştırmakta ve yoğun hasta trafiği olan kliniklerde hekimlerin iş yükünü azaltmaktadır. Bu özellik, tıpta yapay zeka kullanımının operasyonel verimliliği artırdığına dair genel bulgularla da örtüşmektedir (Amann ve ark., 2020).

Yapay zekanın restorasyonun gelecekteki başarısını tahmin etme kapasitesini de içerdiği görülmektedir. Yamaguchi ve arkadaşları, makine öğrenimi modelleri kullanarak CAD/CAM restorasyonlarının desimantasyon riskini tahmin eden bir algoritma geliştirmiş ve bu sistemin, klasik yöntemlerle yapılan risk öngörülerine göre daha doğru sonuçlar sunduğunu göstermiştir (Yamaguchi ve ark., 2019). Bu yönüyle yapay zeka, yalnızca reaktif bir araç değil, aynı zamanda proaktif bir klinik karar destek mekanizması olarak değerlendirilebilir.

7.1. Gereç ve Yöntemin Belirlenmesi

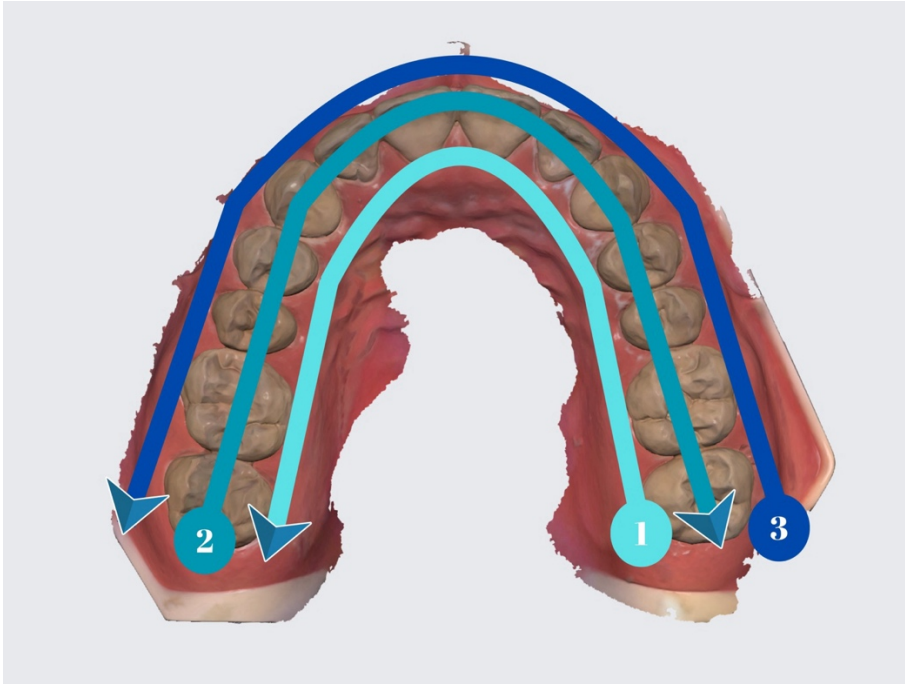
Bu çalışmada klinikte olduğu gibi intraoral bir tarayıcı tercih edilmiştir. Pellitteri ve arkadaşları yaptıkları çalışmada farklı intraoral tarayıcıların, arkın farklı bölgelerinde distorsiyon eğiliminde olabileceğini göstermiştir (Pellitteri ve ark., 2022).

Bu çalışmada her bir indirekt preparasyon formunu temsilen kullanılan diş modellerinin standardize olması amacıyla tipodont bir model çeneden ve prepare diş modellerinden faydalanılmıştır. Liu ve arkadaşlarının çalışmasında da bu çalışmayla uyumlu şekilde model çene kullanılmış ancak her preparasyon aynı diş üzerinde yapılmamıştır. 16 no'lu dişe kron preparasyonu, 36 no'lu dişe mezio-oklüzo-distal kavite ve 46 no'lu dişe inley preparasyonu yapılmıştır (Liu ve ark., 2024). Bu çalışmada ise tüm preparasyonların aynı dişe uygulanması ile 3 boyutlu intraoral tarayıcıların, arkın farklı alanlarında farklı miktarda distorse tarama gerçekleştirmesi ihtimalinden kaçınmak istenmiştir.

Bu çalışmada her bir indirekt preparasyon formunu temsilen kullanılan diş modellerinin standardize olması amacıyla tipodont bir model çeneden ve prepare diş modellerinden faydalanılmıştır. Liu ve arkadaşlarının çalışmasında da bizim çalışmamızla uyumlu şekilde model çene kullanılmış ancak her preparasyon aynı diş üzerinde yapılmamıştır. 16 no'lu dişe kron preparasyonu, 36 no'lu dişe mezio-oklüzo-distal kavite ve 46 no'lu dişe inley preparasyonu yapılmıştır (Liu ve ark., 2024).

Taramadaki doğruluk seviyesinin yüksek olması için yüksek çözünürlüklü bir 3 boyutlu intraoral tarayıcıdan yararlanılmıştır. Diker ve Tak'ın yapmış olduğu bir çalışma da bu çalışmada kullanılan intraoral tarayıcının aldığı taramaların doğruluk seviyesinin yüksek olduğunu göstermiştir (Diker & Tak, 2020).

Tarayıcı başlığının yönlendirilme tekniği de doğruluğu etkileyen bir faktördür (Oh ve ark., 2020). Çalışmamızda üreticinin de önerdiği şekilde, en distaldeki dişlerin palatinal/lingual yüzünden başlanıp oklüzal yüzeye geçilmiş ve labial yüzey ile taramalar tamamlanmıştır (Ender, 2023).



Şekil 25. İnaoral tarayıcı ile üretici talimatlarına uygun tarama yöntemi

Taramaların tüm arkı tek seferde veya kesintili şekilde alındığı veya yalnızca kadranlar şeklinde alındığı yöntemler literatürde mevcuttur. Bu yöntemler arası çok büyük farklar gösterilmese de kesintisiz taramanın veri devamlılığı için daha sağlıklı olduğu düşünülmektedir (Oh ve ark., 2020). Yüksek doğruluk için veri miktarının artırılması ve kes-yeniden tara seçeneklerinin kullanılmaması önerilmektedir (Passos ve ark., 2022).

Yine Liu ve arkadaşlarının çalışmasıyla uyumlu olarak her bir restorasyon tipi, her bir yapay zeka destekli yazılıma 5'er kez tasarlatılmıştır. Bu sayede tasarımdaki doğruluk ve kesinlik açısından fikir elde edilmiştir (Liu ve ark., 2024). Ardından her bir restorasyon, bu çalışmayla uyumlu şekilde DLP teknolojili 3 boyutlu yazıcı ile basılarak üretilebilirliği kontrol edilmiştir.

Tasarımlarda hem fonksiyonel hem de estetik sonuçlar elde edebilmek için restorasyon parametreleri önceden tanımlanmış ve literatürde kabul görmüş sınırlar doğrultusunda ayarlanabilmektedir. Cho ve arkadaşları, derin öğrenme destekli kron tasarımlarında marjin hattı adaptasyonunu 80 µm ofset ve 50° açıyla, çıkış profilini düz ya da hafif konkav şekilde, oklüzal temasları 0 µm'de ve her fonksiyonel kaspta en az bir temas olacak biçimde, proksimal teması -20 µm olarak ve simantasyon boşluğunu marjinden 1.0 mm yukarıda iç yüzeyde 40 µm + ek 50 µm boşlukla planlamışlardır (Cho ve ark., 2024).

Bu teknik parametrelerin doğruluğunu destekleyen bir diğer çalışmada, CAD/CAM kronlardaki marjin boşluk ölçümleri genellikle klinik sınır değerler olarak 30–120 µm arasında bildirilmiştir. Örneğin, E4D PlanScan ve CEREC sistemleriyle üretilen kronlarda marjinal boşluk değerleri 36–104 µm aralığında ölçülmüş olup, hazırlık kalitesine bağlı değişim gösterse de klinik kabul aralığının içinde kalmıştır (Renne ve ark., 2015).

Bunun yanı sıra, simantasyon boşluğu parametrelerinin etkisi üzerine yapılan çalışmalarda, 40 µm'lik boşlukta simantasyon kuvveti sorunları görüldüğü ve 50 µm ve üzeri boşlukların daha iyi oturma sağladığı bildirilmiştir (Cho ve ark., 2024). Başka bir çalışmada ise 50 µm iç boşluklu, marjinden boşluksuz kronların kullanıldığı grup, hem oturma hem de mekanik dayanım açısından optimum sonuçlar vermiştir (Morsy ve ark., 2024).

Proksimal temasların sıklığı ise Ren ve arkadaşlarının araştırmasında mandibular molar kronlarda 64,7–84,9 µm aralığında bulunmuş, başarılı kontaklar elde edildiği raporlanmıştır (Ren ve ark., 2021) Bu veriler, Cho ve arkadaşlarının -20 µm negatif temas boşluğu ile proksimal kontak alanını artırarak hem adaptasyon hem interdental stabilite sağlama stratejisini desteklemektedir (Cho ve ark., 2024).

Bu çalışmada da bu bilgilerin ışığında ön ayarlar sağlanıp tasarımlara başlanmıştır.

Tasarımların doğruluğunun tespitinde Chau ve arkadaşlarının çalışmasında Hausdorff mesafesi üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Bu çalışmada ise RMSE yöntemi tercih edilmiştir.

RMSE, tüm yüzey boyunca nokta nokta sapmaları hesaba katarak genel morfolojik uyumu yansıtır ve özellikle yapay zeka sistemlerinin toplam yüzey doğruluğunu istatistiksel olarak değerlendirmede güçlü bir araçtır (He ve ark., 2017; Masson ve ark., 2025)

Alternatif olarak sıklıkla kullanılan Hausdorff mesafesi, iki yüzey arasındaki maksimum lokal sapmayı ölçen bir metriktir. Ancak bu ölçüt, yalnızca “en kötü senaryo”yu yansıtmaması

nedeniyle, yüzeyin tamamı hakkında kapsamlı bilgi veremez. Bu nedenle RMSE, tüm yüzeyin ortalama sapmasını sunarak daha bütüncül bir analiz sağlamaktadır (Taha & Hanbury, 2015).

Bununla birlikte bu çalışmada Hausdorff mesafesi doğrudan hesaplanmamış olsa da yüzeyler arasındaki maksimum yönlü sapmaları temsil eden En Büyük Pozitif Sapma ve En Büyük Negatif Sapma değerleri analiz edilmiştir. EBD, test modelinin referans modele göre maksimum çıkıntısını, NEBD ise maksimum çöküklüğünü göstermektedir. Bu açıdan bakıldığında, EBD ve NEBD değerleri Hausdorff metrikleriyle kavramsal paralellik gösterir ve Hausdorff'un sunduğu lokal hata analizini iki yönlü olarak daha detaylı şekilde sağlar. Dolayısıyla EBD ve NEBD verilerinin kullanılması, çalışmamızda Hausdorff mesafesinin klinik anlamını destekleyici ve tamamlayıcı bir yaklaşım sunmaktadır.

Nitekim literatürde de hem RMSE hem Hausdorff benzeri ölçütlerin bir arada kullanıldığı çalışmalarda, bu metriklerin birbirini dışlamadığı; aksine, yüzeylerin genel doğruluğu ve lokal hata potansiyelini birlikte değerlendirmek için tamamlayıcı oldukları bildirilmektedir (Farook ve ark., 2023).

Bu bağlamda, bu çalışmada RMSE ile yüzeyin genel sapma düzeyi belirlenmiş, EBD ve NEBD ile de klinik olarak kritik olabilecek uç sapmalar ayrı ayrı incelenmiştir. Bu yönetsel bütünlük, restorasyonların hem genel morfolojik güvenilirliğini hem de lokal riskli bölgelerdeki potansiyel adaptasyon sorunlarını ortaya koymada güçlü bir değerlendirme zemini sunmuştur.

7.2. Tasarımda geçen zaman

Liu ve arkadaşlarının çalışmasına göre yapay zeka destekli yazılımlar, geleneksel tasarım yöntemleri ve CAD sistemlerine göre daha hızlı sonuç vermektedir. Bizim çalışmamızda gösterdiğimiz süreler de onların çalışmasındaki yapay zeka destekli programdan alınan sonuçları desteklemektedir.

Wu ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, yapay zeka destekli iki CAD sistemi olan Automate ve Dentbird değerlendirilmiş, bu sistemlerle oluşturulan restorasyonlar Exocad yazılımını kullanan deneyimli ve acemi kullanıcıların tasarımlarıyla karşılaştırılmıştır. Çalışmada, yapay zeka destekli sistemlerin tasarım süresinde önemli avantajlar sağladığı, özellikle de deneyimsiz kullanıcılarla kıyaslandığında bu farkın daha da belirgin hale geldiği rapor edilmiştir. Bu yaklaşım, çalışmamızdaki yöntemle yapısal benzerlik göstermektedir. Ancak bizim çalışmamız, yalnızca Automate ve Dentbird ile sınırlı kalmamış; Atomica, CEREC ve ClinicCAD gibi klinik uygulama alanı geniş beş farklı yapay zeka destekli sistemi kapsamıştır.

Böylece, literatürdeki birçok çalışmadan farklı olarak yalnızca zamansal veriler değil, aynı zamanda algoritma tipine göre sistemlerin performans farklılıkları da çok yönlü olarak incelenmiştir. Wu ve arkadaşlarının çalışmasında yalnızca kron tipi preparasyon değerlendirilmişken, bu çalışmada inley, onley, overley ve kompleks overley gibi farklı restorasyon tipleri dahil edilerek, sistemlerin farklı koşullardaki başarısı gözlemlenmiştir.

Zaman verileri açısından değerlendirildiğinde, hem Wu ve arkadaşlarının bulguları hem de bizim analizlerimiz, Automate ve Dentbird sistemlerinin tasarım süresi bakımından belirgin bir avantaj sunduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, bizim çalışmamızda yer alan Atomica ve CEREC yazılımları orta seviyede süreler üretmiş, ClinicCAD ise en kısa tasarım sürelerinden bazılarını elde ederek dikkat çekmiştir.

Böylece, “Farklı yapay zeka destekli yazılımlar, restorasyonların tasarlanma süresine etki eder.” hipotezi kabul edilip, “Farklı preparasyon tipleri, yapay zeka destekli yazılımların tasarım süresine etki eder.” hipotezi reddedilmiştir.

Ayrıca, Wu ve arkadaşlarının çalışmasında kullanıcı deneyiminin tasarım süresi üzerindeki etkisi vurgulanmışken, bizim çalışmamızda sistemlerin, deneyimden bağımsız olarak ne ölçüde verimli ve hızlı sonuçlar üretebildiği değerlendirilmiştir. (Wu ve ark., 2025). Bu bağlamda, bizim çalışmamız yapay zeka destekli sistemlerin yalnızca hız değil, aynı zamanda sistemsel algoritma farklılıklarının da dikkate alınması gerektiğini gösteren, daha kapsamlı ve uygulamaya yönelik veriler sunmayı hedeflemiştir.

7.3. Restorasyon Sınır ve Yüzey Skorları

Sistemlerin sahip olduğu performans farklılıkları, yalnızca kullanıcı arayüzü ya da algoritma eğitimiyle değil, aynı zamanda kullanılan sinir ağı mimarisinin türüyle de doğrudan ilişkilidir.

Günümüzde restorasyon tasarımı gerçekleştiren yapay zeka sistemlerinde en sık kullanılan mimari, evrişimli sinir ağlarıdır (Convolutional Neural Networks-CNN). Özellikle U-Net ve V-Net gibi segmentasyon odaklı CNN türevleri, marjin çizimi ve dişin anatomik bölgelerinin sınıflandırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Chafi ve ark., 2024). Örneğin Automate gibi sistemlerde, yüksek çözünürlüklü intraoral taramalardan elde edilen veriler üzerinden otomatik olarak preparasyon sınırlarının belirlenmesi, bu tür ağların segmentasyon gücünden faydalanılarak gerçekleştirilir.

Bunun yanında, restorasyonun morfolojisinin oluşturulmasında, özellikle 3 Boyutlu CNN modelleri önemli rol oynamaktadır. Bu ağ yapıları, .stl dosyalarındaki üç boyutlu hacimsel

veriyi analiz ederek, mevcut komşu dış morfolojilerine uygun yeni yüzey önerileri üretebilir. Bu sayede hem oklüzal uyum hem de estetik süreklilik sağlanabilir. Çalışmamızda, özellikle posterior bölgelerde bu tür sistemlerin anatomik sürekliliği sağlayabilmesi incelenmek istenmiştir.

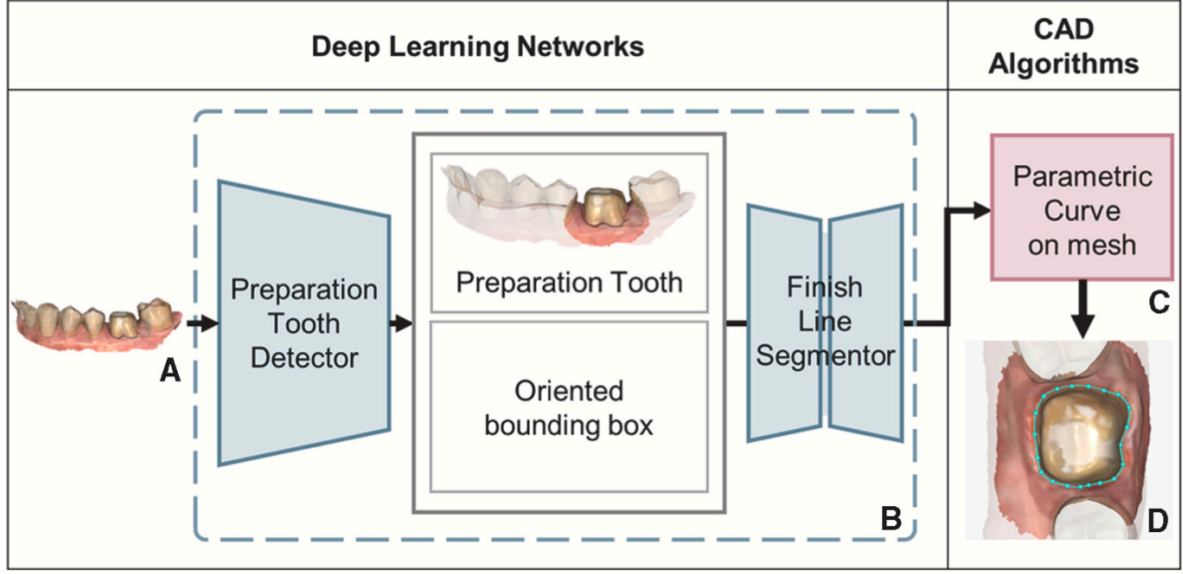
Daha ileri düzey uygulamalarda ise, yapay zekanın üretici yeteneğini artırmak amacıyla Generative Adversarial Networks (GAN) ve Variational Autoencoders (VAE) gibi üretici modeller devreye girmektedir. Özellikle CEREC Biogeneric Individual gibi seçeneklerin, referans dış morfolojilerinden türetilmiş ama bireyselleştirilmiş yeni restorasyon yüzeyleri oluşturması, bu üretici modellerin estetik tasarımdaki başarısını ortaya koymaktadır. Bu ağlar, hem anatomik süreklilik hem de dişe özgü yüzey karakteristiği oluşturma açısından insan teknisyen tasarımlarına yaklaşmaktadır (Tian ve ark., 2021).

Son dönemde gelişen Graph Neural Network (GNN) mimarileri ise, 3 boyutlu ağ dosyalarıyla çalışmaya olanak sağlayarak, özellikle marjin eğrileri ve nokta-topoloji ilişkileri üzerinden daha hassas yüzey analizleri yapılmasına imkan tanımaktadır. Henüz klinik CAD sistemlerine yaygın olarak entegre edilmemiş olmakla birlikte, araştırma düzeyindeki çalışmalarda GNN'lerin yüksek yüzey doğruluğu ve hassas morfolojik öğrenme performansı gösterdiği bildirilmektedir (Hosseinimanesh ve ark., 2023; Yang ve ark., 2024).

Marjinal uyum, restoratif tedavilerin uzun dönem başarısı için temel bir parametredir ve dijital tasarımların kalitesini doğrudan yansıtır. CEREC'in bu alandaki başarısı, sistemin lokal çalışan, kural tabanlı ve uzun süredir optimize edilmiş algoritmalara sahip olması ile ilişkilendirilebilir. Bu yapı, kullanıcı girdisinden bağımsız olarak tutarlı ve sınırları iyi tanımlanmış bir model üretimine olanak tanır (Miyazaki ve ark., 2009).

Diğer yandan, bulut tabanlı ve derin öğrenme altyapısıyla çalışan sistemlerde (örneğin Automate, Dentbird), veri havuzundaki çeşitlilik, anatomik yapıların segmentasyonundaki belirsizlikler ve kullanıcıdan bağımsız işlem yapma kabiliyeti, marjin bölgesinde hata payını artırabilir. Literatürde de yapay zeka destekli otomatik sistemlerin marjinal uyum açısından geleneksel yazılımlara kıyasla daha değişken sonuçlar üretebildiği belirtilmektedir (Revilla-León ve ark., 2022).

Automate ve Dentbird yazılımları, U-Net temelli segmentasyon algoritmalarıyla çalışmakta olup, otomatik marjin çiziminde piksel seviyesinde kontur belirleme yapmaktadır. Buna karşın CEREC, kural tabanlı ve geçmiş vaka kütüphanesinden faydalanan hibrit bir sistem kullanmaktadır.



Şekil 26. Dentbird tarafından kullanılan metodun şeması. A: taranmış doğal dayanak diş. B: Derin öğrenme ağları. C: Parametrik kıvrımlı ağ algoritması D: Bitim çizgisindeki optimal kıvrım (Choi ve ark., 2024).

Automate gibi aktif öğrenme yeteneğine sahip sistemlerin ise avantajı progresif yönde çoktur. Çalışmamızda Automate'in, başlangıçta çizemediği bir marjini bir operatör elle çizip yeni "order" dosyasına eklediğinde, bu defa marjini tespit edip üstelik önceden belirleyemediği dosyalara geri dönerek marjinleri aynen verilen şekilde tespit ettiği görülmüştür. Bu hızlı adaptasyon ve "öğrenme" yeteneği çalışmamız sürecinde diğer yazılımlarda izlenmemiştir.

Kızılkaya ve Kara'nın yapmış olduğu karşılaştırmalı çalışmada üç yazılımın marjinal uyumunu kantitatif olarak değerlendirmiştir (Dentbird, Exocad, Inlab). Bu çalışmada palatal yüzeyde Dentbird yazılımı 0.08 ± 0.04 mm, Exocad 0.25 ± 0.08 mm, Inlab ise 0.01 ± 0.09 mm ortalama marjin açıklığı göstermiştir. Marjin açıklığı ortalamaları 0.01 mm ile 0.38 mm arasında değişmiş ve bazı bölgelerde negatif marjinler ölçülmüştür. Bu durum, segmentasyon modellemesinin ve yazılım algoritmalarının yüzey hassasiyetini farklı şekillerde etkileyebildiğini düşündürmektedir. Özellikle Dentbird gibi bulut temelli otomatik sistemlerde anatomik sınırların oluşturulması sırasında yazılımın varyasyonunun arttığı ve bunun kliniğe etkili olabileceği düşünülmektedir. İstatistiksel olarak anlamlı fark yalnızca palatal ve distal yüzeylerde bulunmuştur (Kızılkaya & Kara, 2024). Dentbird yazılımının marjin kalitesi konusunda kararsız veya değişken çıktılar üretme eğilimi her iki çalışmada da örtüşmektedir. CEREC yazılımı Kızılkaya ve Kara'nın çalışmasında değerlendirilmemiştir; ancak

çalışmamızda ulaştığı %100 skor 3 oranı, literatürdeki klinik olarak kabul edilebilir marjinal sınırlar olan 0–120 µm aralığı ile de uyumludur (Miyazaki ve ark., 2009; Reich ve ark., 2005).

Bu çalışmada elde edilen bulgular, yapay zeka destekli yazılımlarla tasarlanan kronların marjinal uyum açısından büyük ölçüde “klinik olarak kabul edilebilir” aralıkta değerlendirildiğini ortaya koymuştur. Bukkal, palatinal, mezial ve distal yüzeylerde marjin skorlarının dağılımı incelendiğinde, yüzeylerin çoğunda 2 ve 3 skorları ağırlık kazanmıştır; bu da restorasyonların klinik uyum açısından başarılı kabul edilebileceğini göstermektedir. Bu bulgu, literatürdeki güncel yapay zeka uygulamaları ile tasarlanan restorasyonların benzer şekilde yüksek oranda kabul edilebilir marjin uyumu sağladığını bildiren çalışmalarla büyük ölçüde örtüşmektedir. Örneğin Choi ve arkadaşlarının derin öğrenme destekli sistemler üzerinde gerçekleştirdiği çalışmada, yapay zeka ile üretilen kronlarda marjinal uyumun geleneksel dijital CAD/CAM yöntemlerine göre daha iyi olduğu rapor edilmiştir. Bu çalışmada özellikle Hausdorff Mesafesi ve RMS ölçümleri kullanılarak yapılan karşılaştırmalarda yapay zeka yazılımlarının sınır tespitinde yüksek doğruluk gösterdiği belirtilmiştir. Liu ve arkadaşlarının çalışmasında da benzer şekilde, yapay zeka ile tasarlanan kronlarda %85’in üzerinde “klinik olarak kabul edilebilir” marjinal uyum elde edilmiştir (Choi ve ark., 2024; Liu ve ark., 2024).

Bu çalışmada elde edilen marjin skoru bulguları, yazılımlar arasında önemli farklar olduğunu göstermektedir. Özellikle Cerec, tüm yüzeylerde %100 oranında “minimal düzenleme gerekir” (skor 3) puanı alarak, marjinal uyum açısından en yüksek başarıyı göstermiştir. Buna karşılık, Automate yazılımı bazı yüzeylerde %40 oranında “marjin yok” (skor 0) almış yani marjinleri belirleyememiştir. Dentbird ve ClinicCAD sistemleri ise bazı yüzeylerde düşük başarı oranlarına sahip olup, klinik olarak revizyona ihtiyaç duyabilecek sonuçlar üretmiştir. Özellikle Automate sistemi, bazı vakalarda marjin çizimini gerçekleştiremediği durumlarda tasarımı sonlandırmış ve herhangi bir restorasyon çıktısı sunmamıştır. Buna karşılık Dentbird, Atomica ve benzeri sistemler, marjin tanımlaması yetersiz ya da hatalı olsa bile bir restorasyon tasarımı oluşturmuş ve kullanıcıya sunmuştur.

Bu bilgiler ışığında “Farklı yapay zeka destekli yazılımlar, tasarlanan restorasyonların sınır skorlarını etkiler.” Ve “Farklı preparasyon tipleri, yapay zeka destekli yazılımların ürettiği sınır skorlarını etkiler.” hipotezleri kabul edilmiştir.

Sistem davranışları göz önüne alındığında, bu farklılığın altında yatan nedenlerin yazılım altyapısına ve tasarım ilkelerine bağlı olabileceği düşünülmektedir. Automate’in tasarımı sonlandırması, yüksek olasılıkla belirli bir algoritmik güven eşiğinin altında kalan vakaları

işlem dışı bırakmaya yönelik bir kalite kontrol mekanizmasını yansıtmaktadır (Amann ve ark., 2020). Bu yaklaşım, bu sistemlerin klinik güvenlik açısından daha korumacı biçimde programlandığını düşündürmektedir. Bu çalışmada elde edilen deneysel gözlemlerin medikal yazılım etiğine dair literatürde tanımlanan yapay zeka sistemlerinin karar verme davranışlarıyla ilişkilendirilebileceği düşünülmüştür (Challen ve ark., 2019; Shortliffe & Sepúlveda, 2018).

Diğer yandan, bazı CAD sistemlerinin marjin tanımlaması zayıf olsa da restorasyon üretimini tamamlaması, yazılımın tasarım üretmeye odaklı yapıldığını ve kullanıcıya her durumda müdahale edilebilir bir temel sunma ilkesine göre tasarlandığını düşündürmektedir. Bu esnekliğin, kullanıcıya zaman kazandırma açısından avantajlı olabileceği düşünülse de klinik olarak kabul edilemez marjin sınırlarının yer aldığı restorasyonların üretilme ihtimali, sistemin güvenilirliğini tartışmaya açık hale getirebilir (Moor ve ark., 2023).

Bununla birlikte, marjinal uyumun yalnızca genel doğruluk oranlarıyla değil, aynı zamanda diş yüzeyine özgü morfolojik karmaşıklıklarla da doğrudan ilişkili olduğu gösterilmiştir. Literatürde yer alan bazı çalışmalar, özellikle mezial ve distal yüzeylerde yapay zeka destekli marjin tespit algoritmalarının doğruluk oranlarının bukkal ve palatinal yüzeylere kıyasla daha düşük olabileceğini rapor etmiştir. Bu durumun başlıca nedeni, mezial ve distal bölgelerin gingival eğimler, kontakt noktaları ve dar görüş alanı gibi klinik olarak zorlayıcı morfolojilere sahip olmasıdır. Özellikle tam ark taramalarında bu bölgelerdeki detayların görüntülenmesi ve algoritmalar tarafından analiz edilmesi daha zordur (Choi ve ark., 2024).

Choi ve arkadaşlarının kron restorasyonları için gerçekleştirdiği çalışmada, Dentbird yazılımının özellikle konkav marjin bölgelerinde, Dental System, DentalCad ve Margin Lines (Medit) gibi alternatif sistemlere kıyasla daha yüksek performans sergilediği ve Hausdorff Mesafesi değerinin intraoral taramalarda 0,566 mm'nin altında kaldığı belirtilmiştir. Bu eşik değerinin altında kalan sonuçlar klinik olarak kabul edilebilir sayılmakta ve bu bağlamda Dentbird'ün marjinal hassasiyeti istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Bu çalışmadaki bulgular da bu yayınları destekleyecek şekilde özellikle bukkal ve palatinal yüzeylerde daha yüksek "klinik olarak kabul edilebilir" marjin skorların elde edildiğini göstermiştir.

Bu bağlamda, bu çalışmada kullanılan sistemlerin birbirinden farklı önerilerde bulunması, yalnızca yazılım arayüzü veya kullanıcı etkileşimiyle açıklanamayacak düzeyde farklılıklar içermektedir. Yapay zeka destekli yazılımların özellikle düz ve kolay erişilebilir yüzeylerde daha başarılı sonuçlar verebileceğini, buna karşın kompleks ve sınırlı görüş alanına sahip

bölgelerde hala optimizasyon gerektirdiğini ortaya koymaktadır. Bu farklılıklar, algoritmik mimarilerin gelişimi ve eğitim veri setlerinin genişletilmesiyle zamanla azalabilir; ancak mevcut durumda klinik doğrulama ve kullanıcı denetimi gibi unsurlar hala kritik rol oynamaktadır.

Marjin belirlenmesinin yanında estetik restorasyonlarda da yapay zekanın rolü giderek artmaktadır. Naidu ve Jaju, ön bölge restorasyonlarında sanal gerçeklik ve yapay zeka tabanlı simülasyonların kullanımıyla estetik beklentilere daha doğru yanıt verilebildiğini bildirmiştir. Bu, özellikle kron tasarımlarında hem morfolojik hem de fonksiyonel uyumun optimizasyonuna katkı sağlamaktadır (Naidu & Jaju, 2022).

Sawangsri ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışma ise iki farklı yapay zeka tabanlı CAD yazılımının (Dentbird ve Automate) marjin tespiti ve restorasyon kontur tasarımındaki performans farklılıklarını değerlendirmiştir. Bu yazılımlardaki marjin hattının doğruluğu ve yüzey tasarımının kalitesinin, yazılımların algoritmik yaklaşımlarına bağlı olarak anlamlı farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Automate, Dentbird'e göre daha kabul edilebilir kronlar tasarlamıştır ki bu bulgular bu çalışmadaki sonuçları desteklemektedir.

Bu çalışmadaki restorasyon yüzey skorları incelendiğinde, Cerec, Automate ve Atomica yazılımlarının çoğunlukla klinik olarak kabul edilebilir seviyede yüzeyler ürettiği görülürken, Dentbird yazılımında perforasyon ve yüzey bütünlüğü açısından yetersizlikler tespit edilmiştir. Özellikle lingual ve oklüzal yüzeylerde Dentbird'ün %60'a varan oranlarda skor 1 aldığı tespit edilmiştir. Bu bulgu, Chau (Chau ve ark., 2024) ve arkadaşları tarafından yürütülen bir çalışmada, yapay zeka algoritmalarında yüzey kompleksitesinin tanımlanması konusunda eğitim seti derinliğinin sınırlayıcı olabileceği yönündeki tespitlerle paralellik göstermektedir (Chau ve ark., 2024).

Dijital tasarım sistemlerinin klinik geçerliliğinin değerlendirilmesinde, yalnızca algoritmik doğruluk değil, estetik, anatomik uyum ve uygulama kolaylığı gibi nitel kriterler de dikkate alınmalıdır. Literatürde Automate, dental teknisyen ve teknisyenlik öğrencileri tarafından tasarlanan posterior ve anterior tek kron restorasyonların karşılaştırıldığı bir çalışmada, posterior bölgede algoritmik tasarımların estetik ve anatomik açıdan teknisyen restorasyonlarına benzer kabul edildiği, ancak anterior bölgede bu benzerliğin sağlanamadığı bildirilmiştir. Ayrıca körleme yapılan değerlendirmelerde bukkal/fasiyal, palatal/lingual, simetri ve simantasyon uygunluğu gibi kriterlerde teknisyenlerin anlamlı şekilde daha yüksek puanlar aldığı vurgulanmıştır (Karlsson Sköldqvist & Naderi Nabi, 2024).

Bu bulgular, Automate'in sınırlı estetik hassasiyet gerektiren posterior bölgelerde tatmin edici bir performans gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Mevcut çalışmada da benzer şekilde, sistemlerin marjin belirleme başarısı ve yüzey morfolojisi gibi kritik kriterlerde farklı yazılımlar arasında kalite farkları gözlemlenmiş, Automate'in bu alanlarda tatmin edici sonuçlar verdiği düşünülmüştür.

Bu çalışmada elde edilen bulgular, farklı preparasyon tiplerinin yapay zeka destekli sistemlerin yüzey performansını anlamlı ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur. Özellikle, kron ve inley preparasyonlarının yüksek yüzey skorları, algoritmaların morfolojik olarak basit ve net konturlara sahip preparasyonları daha doğru ve tutarlı şekilde modelleyebilme yeteneğinden kaynaklanıyor olabilir. Öte yandan, overley ve kompleks overley preparasyonlarında elde edilen düşük skorlar, geometrik kompleksitenin algoritmaların performansını düşürdüğünü gösterebilir.

Yani "Farklı yapay zeka destekli yazılımlar, tasarlanan restorasyonların yüzey skorlarını etkiler." ve "Farklı preparasyon tipleri, yapay zeka destekli yazılımların ürettiği yüzey skorlarını etkiler." hipotezleri kabul edilmiştir.

Revilla-León ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği sistematik derleme, sabit ve hareketli protezlerde kullanılan modellerin performansının, özellikle karmaşık konturlar ve marjinlerin tanımlanmasında farklılık gösterdiğini ve algoritmaların bu kompleks geometrileri daha etkin şekilde işleyebilmesi için eğitim verilerinin genişletilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Bu durum, restorasyon tipi farklarına rağmen, bu çalışmadaki bulgularla tutarlılık göstermekte ve algoritmaların kompleks geometrilere karşı mevcut kapasite limitlerini doğrulamaktadır (Revilla-León ve ark., 2022).

Bu bağlamda bu çalışmadan elde edilen veriler, yapay zeka destekli sistemlerin henüz insan tasarımına eşdeğer olamayabileceğini, ancak belirli endikasyonlarda oldukça yakın sonuçlar sunabildiğini desteklemektedir. Özellikle bukkal morfoloji gibi estetik ağırlıklı alanlarda yazılımların anatomik öngörülebilirliklerinin sınırlı olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, sistemlerin mevcut versiyonlarının daha çok posterior bölge uygulamaları için optimize edildiğini ve klinik yaygınlıklarının endikasyona özel olarak değerlendirilmesi gerektiğini gösterebilir. Restorasyon tasarımında kullanılan yapay zeka mimarisinin türü, sistemin anatomik doku algısı, marjin hassasiyeti ve estetik yüzey üretme kapasitesi üzerinde doğrudan belirleyici olmaktadır. Bu nedenle, klinik uygulamalarda yapay zeka destekli sistemlerin seçiminde sistemin sahip olduğu öğrenme mimarisi de dikkate alınmalıdır.

7.4. Doğruluk

Bu çalışmada harap haldeki dişlerin restorasyonunda, sağlam dişe benzer bir sonuç çıkarmanın hedeflendiği kabulü ile “doğruluk” kavramı ortaya atılmıştır. “Doğru” sağlam, çürüksüz, kavitsiyonsuz, prepare edilmemiş diş olarak belirlenmiştir. Ortaya çıkan restorasyon doğruya ne kadar yakınsa o kadar başarılı kabul edilmektedir.

Wu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, 8 yılın üstünde deneyimli bir dental teknisyene dijital kron tasarımları yaptırmış ve bu restorasyonu “doğru” kabul etmiştir. Ardından aynı dişler için 5 yılın üstünde deneyime sahip bir teknisyene, 1 yıl deneyime sahip bir teknisyene ve yapay zeka destekli 2 yazılıma (Dentbird ve Automate) kronlar dijital olarak tasarlatılmıştır. Bu tasarımların en başta 8 yıl deneyimli teknisyen tarafından tasarlanan dişe benzerliği ölçülmüştür. Yapay zeka destekli yazılımların kron tasarımında neredeyse 1 yıllık bir teknisyen kadar başarılı sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir. Dentbird’in oklüzal yönden benzerliği Automate’e göre daha düşük çıkmıştır ki bu durum bu çalışmayla da uyumludur (Wu ve ark., 2025).

Automate ve Cerec, bu konuda en iyi sonuç veren iki yazılımdır. Sağlam dişe benzemeyi başarmış restorasyonun, yüzeyler açısından da yüksek skorlanması beklenmiştir. Bu durumda doğruluğu yüksek olan bu iki yazılımın restorasyon skorlarında en yüksek puanı almış 3 yazılımdan 2’si olması öngörülebilecek bir sonuçtur. RMSE değerleri düşük çıkan bu yazılımlar birbirinden farklı prensiplerle çalışmakta olsa da ikisinin de sağlam dişe benzer restorasyonlar üretebilmesi dikkat çekicidir.

Dentbird sistemi, sağlam dişe ortalama fark en düşük benzerlik skorunu üretmiştir. Bu, global kontur açısından sağlam diştten sapmanın en fazla olduğu sistemin Dentbird olduğunu göstermektedir. Ayrıca minimum ve maksimum değerler arasındaki fark da yüksektir. Bu da Dentbird’ün bazı vakalarda isabetsiz sonuçlar üretebileceğini ve yüzeyler arası varyasyonun fazla olabileceğini göstermektedir. Klinik olarak bu durum, sistemin tahmin edilebilirliğinin düşük olması anlamına gelebilir. Ayrıca, bu yazılımın RMSE değeri sistemler arasında en yüksek hata değerlerinden birine sahiptir. Bu iki veri birlikte değerlendirildiğinde, Dentbird sisteminin hem genel kontur benzerliğinde hem de yüzey bütünlüğünde diğer sistemlere kıyasla daha zayıf sonuçlar ürettiği anlaşılmaktadır. Bu durum, algoritmanın morfolojik benzerlik konusunda sınırlı yetkinliğe sahip olduğunu düşündürülebilir.

Cerec yazılımı, genel kontur benzerliği ve yüzey bütünlüğü açısından dengeli ve istikrarlı bir performans sergilemiştir. Ortalama farkı düşük, RMSE’si de düşük olan bu sistem, hem sağlam

dişer benzer bir kontur üretmiş hem de yüzey genelinde minimal lokal sapma göstermiştir. Düşük standart sapma ve EBD-NEBD değerlerinin birbirine yakın olması, sistemin her hastada benzer başarıda restorasyonlar üretebileceğini ve yüksek istikrar sunma potansiyelini ortaya koyar. Bu özellikleriyle Cerec, morfolojik doğruluk ve klinik tutarlılık açısından en başarılı sistemlerden biri olarak değerlendirilebilir.

Automate sistemi, Cerec'e benzer şekilde düşük sapmalar göstermiştir. Ortalama fark bakımından Atomica ve Cerec kadar başarılı olmasa da, RMSE değeri açısından düşük varyans göstermesi bu sistemin özellikle yüzey stabilitesi yönünden güçlü bir algoritmaya sahip olduğunu göstermektedir. Sistem görece dar EBD-NEBD aralığı ile de dikkat çeker. Tasarımlar genel konturda az da olsa sapma gösterse de, bu sapma tüm yüzey boyunca homojen dağılmıştır. Yani bu sapmalar sistematik ve tutarlı olduğundan rastlantısal hata değil, algoritmanın genel eğilimi olduğunu düşündürmektedir. Bu da klinik öngörülebilirliği artıran önemli bir avantajdır.

Atomica yazılımı, en düşük ortalama farka sahiptir; bu durum, sağlam dişin konturuna en yakın yaygın morfolojik yapıların bu sistem tarafından üretildiğini göstermektedir. Ancak aynı sistemin RMSE değeri en düşük değere sahip olmaması ve EBD-NEBD aralığının daha geniş olması ile bazı lokal yüzey bölgelerinde deformasyon riski olduğunu göstermektedir. Başka bir deyişle, Atomica sistemi genel olarak çok yakın morfoloji üretse de, yüzeyin tamamında homojen kalite sağlayamamış olabilir. Bu da kontur doğruluğu yüksek olmasına rağmen lokal hata potansiyelinin bulunduğu anlamına gelebilir.

ClinicCAD sistemi, orta düzeyde bir kontur benzerliği sunmuş, yüzeysel hata açısından görece yüksek kalmıştır. EBD-NEBD aralığının genişliği risk teşkil etmektedir. Bu durum, sistemin anatomik konturu genel anlamda fena olmayan düzeyde taklit ettiğini; ancak yüzey düzeyinde bazı lokal sapmaların görüldüğünü düşündürmektedir. Bu sapmalar, özellikle derin fissür alanlarında veya proksimal bölgelerde algoritmanın detayları korumakta yetersiz kalabileceğini ortaya koyabilir.

Overley restorasyonlarının, özellikle kompleks overley ve onley preparasyon tiplerine kıyasla daha yüksek benzerlik skorları sağladığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, preparasyon tipinin dişer benzer morfolojik bir yapı elde etme üzerindeki etkisini ortaya koyabilir. Overley gibi daha geniş yüzey kapsayan görece basit preparasyonlar, yazılımların doğal diş anatomisine daha yakın restorasyonlar oluşturmaya olanak tanımış olabilir. Özellikle kompleks overley gibi kompleks geometrili preparasyonlarda yapay zeka destekli sistemler tarafından oluşturulan morfolojilerin, sağlam dişer daha az benzediği gözlemlenmiştir. Bu durum, yapay zeka destekli

sistemlerin hala bazı topografik karmaşıklıklarda sınırlı kalabildiğini; yani geometrik konturlar değişikçe tasarım algoritmasının benzerliği koruma başarısının azaldığını gösterebilir.

Bu veriler ışığında, sistemlerin klinik doğruluğu yalnızca ortalama farkla değil, aynı zamanda RMSE gibi yüzey hata dağılımını temsil eden metriklerle birlikte değerlendirilmelidir. Atomica en düşük kontur farkıyla öne çıkarken, Cerec ve Automate sistemleri hem düşük ortalama hem de düşük RMSE ile dengeli bir morfolojik kalite sunmuştur. Dentbird ise her iki ölçüt bakımından en zayıf sonucu vermiştir.

Böylece, “Farklı yapay zeka destekli yazılımlar, tasarlanan restorasyonların doğruluğunu etkiler.” hipotezi ve “Farklı preparasyon tipleri, tasarlanan restorasyonların doğruluğunu etkiler.” hipotezi kabul edilmiştir.

7.5. Kesinlik

Bu çalışmada, her CAD yazılımına aynı dişe beş kez restorasyon tasarımı yaptırılarak sistemlerin içsel tutarlılığı değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, ilk tasarım referans alınmış ve diğer dört tasarım bu referansla karşılaştırılarak benzerlik analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu sayede hem tekrarlanabilirlik açısından klinik bir probleme çözüm aranacak hem de tasarımlardaki RMS farklarının rastlantısal mı yoksa algoritmik mi olduğuna ışık tutmaya çalışılacaktır. Referans olarak ilk restorasyonun alınması, sistemin kendi üretimiyle olan içsel tutarlılığını değerlendirmede etkili bir strateji sunmuştur. Bu yaklaşım sayesinde, algoritmanın ilk çıktıdaki morfolojik örüntüye ne derece sadık kaldığı ölçülmüştür. Ancak bu yöntemin, sistemin başlangıç sapmasına bağlı olduğu unutulmamalıdır. İlk tasarımın morfolojik dağılımı sonraki kıyaslamalarda referans olarak sistemin performansını etkileyebilir.

Kesinlik, bir sistemin benzer başlangıç koşullarında tekrarlanan uygulamalarla ne ölçüde tutarlı sonuçlar üretebildiğini yansıtır. Bu bağlamda RMS, ortalama fark ve standart sapma değerleri sistemlerin tekrarlanabilirliği açısından anlamlı göstergeler sunmuştur.

Automate, en dar varyasyon aralığını göstermiştir. Ortalama fark ve standart sapma oldukça düşük olup minimum RMSE değeri sergileyerek en yüksek kesinliğe sahip sistem olarak öne çıkmıştır. Bu sonuç, yazılımın aynı anatomik girdilere karşı son derece öngörülebilir ve tekrarlanabilir restorasyonlar üretebildiğini göstermektedir.

CEREC, Automate'in ardından en stabil ikinci sistemdir. Minimum ve maksimum fark aralıkları daha geniş olsa da, varyasyon miktarının düşüklüğü, bu sistemin de yüksek düzeyde kesinliğe sahip olduğunu gösterebilir.

Dentbird, geniş fark aralığıyla kesinliği en düşük sistem olarak değerlendirilebilir. Standart sapması ve RMSE değeri en yüksek olan bu sistem, aynı dişe yapılan tekrarlı tasarımlarda kararsızlık göstermiştir. Bu durum, algoritmanın işlem sırasında rastlantısal faktörlere daha duyarlı olduğunu, özellikle oklüzal kontur ve marjin bölgelerinde varyasyon oluşturabildiğini gösterebilir.

Atomica ve ClinicCAD sistemleri ise orta düzeyde performans sergilemiş, özellikle RMSE değerleriyle ölçülü bir stabilite sağlamıştır. Ancak bu sistemlerde EBD-NEBD fark aralığının görece geniş olması, bazı tekrarlı tasarımlarda sapmaların görülebileceğini düşündürmektedir.

Kullanıcı müdahalesine daha az izin veren sistemler, kesinlik açısından daha başarılı olabilir. Bunda operatörün her seferinde aynı noktaları seçememesinin payı olabilir.

Derin öğrenme algoritmalarının, geniş veri kümelerine dayalı olarak bireyselleştirilmiş anatomik yapı önerileri sunma potansiyeli bulunmakla birlikte, bu sistemlerin karar gerekçelerini şeffaf şekilde sunamaması klinik anlamda tereddüt yaratabilmektedir (Revilla-León ve ark., 2023). Kural tabanlı sistemler ise daha öngörülebilir davranış sergilerken, karmaşık morfolojik durumlarda esneklikten yoksun kalabilir. Bu çalışmada da CEREC'in dengeli sonuçlar üretmesi, yazılım altyapısının klinik karar kalitesine doğrudan etki ettiğini gösterebilir. Yazılımlar arasında gözlemlenen tasarım morfolojisi farklılıkları, yapay zekanın sadece şekil üretimi değil, aynı zamanda klinik öngörülebilirlik açısından da değerlendirilmesine ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

Liu ve arkadaşlarını yapmış olduğu bir çalışmada 16 no'lu dişe kron, 36 no'lu dişe mezio-oklüzo-distal kavite ve 46 nolu dişe inley preparasyonları yapılmıştır. Her bir diş için bir dental teknisyen dijital tasarım yapmış, bir başka teknisyen mum modelaj yapmış ve bir de yapay zeka destekli yazılım ile tasarımlar yapılmıştır. Bu tasarımların kesinliği incelendiğinde kron için geleneksel CAD ile tasarım yapan teknisyen daha başarılı çıkmış hemen ardından yapay zeka destekli grup gelmiştir. Mezio-oklüzo-distal kavitede ve inleyde ise yapay zeka destekli tasarımlar daha başarılı sonuçlar almıştır (Liu ve ark., 2024).

Bu çalışmada da kron restorasyonları, en yüksek kesinliğe sahip restorasyon tipi olarak öne çıkmıştır. Bu bulgular, sınırlı anatomik yüzeyin yazılım tarafından tekrar tekrar yüksek

kararlılıkla üretilebildiğini ve sistemin sabit kontur yapılarında son derece stabil çalıştığını göstermektedir.

İnley ve overley restorasyonları da benzer şekilde düşük ortalama fark, düşük standart sapma ve düşük RMSE değerleriyle yüksek tekrarlanabilirlik göstermiştir. Overley restorasyonlarının negatif ortalama farkı, sistemin konturu biraz daha içe çekerek üretme eğiliminde olduğunu düşündürmektedir; buna rağmen varyasyonun düşük olması, algoritmanın tutarlı ve öngörülebilir olduğunu ortaya koymaktadır.

Buna karşın onley restorasyonları, en düşük tekrarlanabilirliği göstermiştir. Geniş yüzey alanı, oklüzal morfolojinin kompleksliği ve marjinal adaptasyon bölgelerindeki değişkenlik, bu varyasyonun temel nedenleri arasında olabilir. Bu durum, onley restorasyonlarda sistemin farklı tasarım denemelerinde daha yüksek oranda değişkenlik gösterebildiğini ve klinik stabilitenin diğer restorasyon tiplerine kıyasla daha sınırlı olabileceğini ortaya koyabilir.

Ayrıca, ortalama farkın düşük olmasına rağmen RMSE değerinin yüksek olduğu bazı restorasyon tiplerinde, sistemin total konturu iyi kopyaladığı fakat lokal yüzey düzeyinde tutarsızlıklar oluşturduğu anlaşılmaktadır. Bu fark özellikle overley restorasyonlarında dikkat çekmektedir. Bu durum, genel morfolojik uyum ile lokal geometrik kararlılık arasında ayırım yapılması gerektiğini göstermektedir.

Bu bulguların sonucunda, “Farklı yapay zeka destekli yazılımlar, tasarlanan restorasyonların kesinliğini etkiler.” ve “Farklı preparasyon tipleri, tasarlanan restorasyonların kesinliğini etkiler.” hipotezleri kabul edilmiştir.

İstatistiksel olarak farklar anlamlı bulunmakla birlikte, bu farkların klinik olarak anlamlı olup olmadığının değerlendirilmesi de gereklidir. Örneğin, 0.02 mm düzeyindeki bir varyasyon, restorasyon marjinlerinde ya da oklüzal temaslarda tolere edilebilir sınırlar içinde olabilir. Bu nedenle istatistiksel anlamlılık – klinik anlamlılık ayırımı, yorumların gerçekçi çerçevede yapılmasını sağlar.

Kesinlik üzerine etki eden bir diğer unsur da yazılımın otomasyon düzeyidir. Tam otomatik algoritmalarla çalışan sistemler (örneğin Automate) genellikle kullanıcı müdahalesine kapalı olduğundan, varyasyonlar algoritma kaynaklı olur ve çoğu zaman daha düşüktür. Kullanıcının daha çok karar verdiği sistemlerde (örneğin serbest manuel ayarlamalara izin veren programlarda), kişisel varyasyonlar da tekrarlanabilirliği etkileyebilir.

Kesinliğe dair bulgularda dikkat edilmesi gereken önemli bir ayrım da, kesinlik ile doğruluk arasındaki kavramsal farktır. Bir sistem, her seferinde aynı hatalı restorasyonu üretiyorsa yüksek kesinlik gösteriyor olabilir; ancak bu onun doğru olduğu anlamına gelmez. Bu nedenle CAD yazılımlarının değerlendirilmesinde hem mutlak anatomik uyum hem de tekrarlanabilirlik birlikte analiz edilmelidir.

Kesinlik üzerinde etkili bir diğer faktör ise yazılımın .stl çıktılarında kullandığı yüzey işleme parametreleridir. Ağ kalitesi, nokta yoğunluğu, filtrasyon algoritmaları gibi parametreler, aynı anatomik verilerle yapılan tekrarlı tasarımlarda mikro düzeyde varyasyonlara neden olabilir. Bu tür varyasyonlar, özellikle oklüzal ve proksimal bölgelerde restorasyon kalitesini etkileyebilir.

Bununla birlikte, bu çalışmanın tasarımı yalnızca iç kesinliği, yani her bir sistemin kendi içinde benzer sonuçlar üretip üretmediğini değerlendirmektedir. Gelecekte yapılacak karşılaştırmalı çalışmalarda, farklı sistemlerle aynı restorasyon tiplerinin tekrarlı tasarımları birbirleriyle de karşılaştırılarak sistemler arası kesinlik farklılıkları da ortaya konabilir.

Bu çalışmada elde edilen bulgular, restorasyon tasarım süresi ile kesinlik arasında doğrudan ve sistematik bir ilişki bulunmadığını göstermektedir. Bazı restorasyon tiplerinde daha uzun süren tasarımlar daha tutarlı sonuçlar verirken, bazılarında hem sürenin uzunluğu hem de yüzey varyasyonu yüksek bulunmuştur. Özellikle overley restorasyonlar, ortalama süre açısından en uzun işlem süresine sahip olmalarına rağmen görece düşük RMSE değeriyle yüksek kesinlik göstermiştir. Bu durum, yazılımların anatomik olarak karmaşık yapılarla karşılaştığında işlem süresini artırarak morfolojik stabiliteyi korumaya çalışabileceğini düşündürmektedir. Buna karşılık, onley restorasyonlarda hem işlem süresi yüksek hem de RMSE değeri belirgin biçimde yüksek bulunmuş; bu da sistemin bu tip restorasyonlarda hem zamansal hem morfolojik açıdan kararsız çalıştığını göstermiştir. Dolayısıyla, CAD sistemlerinin klinik başarısı değerlendirilirken yalnızca tasarım süresi gibi yüzeysel metrikler değil, aynı zamanda işlem süresi ile birlikte varyasyon düzeyinin birlikte analiz edildiği süre–kesinlik dengesi göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu yönüyle çalışma, CAD sistemlerinin işlem süresini yalnızca hız açısından değil, aynı zamanda üretilen restorasyonların morfolojik tutarlılığıyla birlikte değerlendiren nadir araştırmalardan biri olma özelliği taşımaktadır. Aynı yazılımla, aynı anatomik yapı üzerinde yapılan tekrarlı restorasyonların süre ve kesinlik düzeylerinin birlikte incelenmesi; dijital sistemlerin klinik öngörülebilirliği ve algoritmik optimizasyon süreçleri hakkında yeni bir bakış

açısı sunabilir. Bu yaklaşım, CAD sistemlerine ilişkin değerlendirme kriterlerinin yalnızca doğruluk temelli değil, zaman–kesinlik dengesi üzerinden de yapılandırılmasına işaret etmektedir.

Bu çalışmada, bazı yazılımların marjin tespiti konusunda düşük performans göstermesine karşın, yapay zeka algoritmalarının hızlı tasarım önerileri sunabilmesi ve kompleks morfolojileri tanıyarak makul çözümler üretebilmesi, klinik süreci destekleyici bir unsur olarak değerlendirilmiştir. Yapay zeka sistemleri, tasarım süresinin yanı sıra, boyutsal analiz açısından da genel olarak referans modele yüksek düzeyde yakınlık göstermiş, bu yönüyle manuel tasarıma alternatif olabilecek düzeye yaklaştığını göstermiştir.

Tüm bu bulgular bir arada değerlendirildiğinde, yapay zeka destekli CAD sistemlerinin; hız, standardizasyon, öngörülebilirlik ve estetik uyum gibi pek çok klinik parametrede başarılı olabileceği anlaşılmaktadır. Ancak bu üstünlüklerin sürdürülebilirliği, algoritmaların açıklanabilirliği, kullanıcı arayüzlerinin güvenilirliği ve operatör deneyimi ile olan etkileşimine bağlıdır. Bu nedenle yapay zeka sistemlerinin insan tasarımıyla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi, yalnızca teknik doğruluk değil, aynı zamanda klinik sonuçlar ve hasta memnuniyeti açısından da önem taşımaktadır.

7.6. Özgün Değer ve Limitasyonlar:

Bu çalışma, literatürde ilk kez beş farklı yapay zeka destekli sistemin karşılaştırıldığı ve beş farklı restorasyon tipi üzerinde uygulandığı kapsamlı bir araştırma niteliğindedir. Mevcut yayınlarda çoğunlukla yalnızca bir veya iki sistem karşılaştırılırken, bu çalışmada hem sistem çeşitliliği hem de restorasyon tiplerinin geniş spektrumu sayesinde dijital tasarım algoritmalarının morfolojik doğruluk, marjin adaptasyonu, tasarım süresi ve tekrarlanabilirlik gibi çok boyutlu parametreler üzerinden değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Literatürde inley, onley, overley, kompleks overley ve kron gibi birbirinden farklı preparasyonlara sahip dişleri doğrudan değerlendiren bir çalışma bulunamamıştır ve sıklıkla yalnız kronlar üzerinde çalışılmıştır. Farklı preparasyon tiplerinin morfolojik karmaşıklığı ile sistemlerin doğruluk ve kesinlik düzeylerinin ilişkilendirilmesi, algoritmik başarının klinik bağlamda anlaşılmasına kapı aralamıştır. Bu yönüyle çalışma, yalnızca istatistiksel karşılaştırmalara dayalı bir analiz sunmamakta; aynı zamanda yapay zeka destekli sistemlerin başarı kriterlerine göre bütüncül bir yaklaşımı yakalamasını hedeflemektedir.

5 ayrı konfigürasyonda preparasyona 5 farklı yapay zeka destekli yazılım ile restorasyonlar tasarladığımız bu çalışmanın limitasyonları ise şöyledir:

İntraoral tarayıcının %100 doğrulukla çalışmama ihtimali vardır. Çalışmanın in vitro koşullarda yapılması sebebiyle parlak yüzeyli bir plastik çene kullanılması da bu durumu artırabilir. İntraoral tarayıcı algoritmalarının doğası sebebiyle de mikrometrik seviyelerde hata payı olabileceği bildirilmiştir.

Diş preparasyonlarının doğası klinikte standardize edilemeyecek kadar çeşitli ve sonsuzdur. Bu çalışmada ise karşılaştırma yapabilmek amacıyla her birinden birer örnek olmak üzere inley, onley, overley, kompleks overley ve kron olmak üzere 5 farklı restorasyon tipi dahil edilebilmiştir.

Plastik sağlam model diş, doğru olarak kabul edilmiştir. Gerçek insan dişleri, plastik modelden sapıyor olabilir.

Bu çalışmada farklı diş preparasyonları için her yazılım tasarladığı 1. Tasarım, kesinlik için referans seçilmiştir. Yazılımların algoritmik sapması, ilk diş için ihmal edilmek zorunda kalmıştır.

Bu çalışma, farklı yapay zeka destekli yazılımların bireysel performanslarını, farklı preparasyon tipleriyle etkileşimini ve ürettikleri restorasyonların uygunluk parametreleri üzerindeki karşılıklı etkilerini ortaya koymuştur. Bulgular, yüzey ve sınır skorları, doğruluk ve kesinlik verileri ve tasarım süresi gibi ölçütlerin yazılım algoritması ve preparasyon tipiyle birlikte şekillendiğini göstermektedir.

1. Preparasyon tipinin basitliği, algoritmaların istikrarını doğrudan etkileyebilir. Özellikle inley ve kron gibi konturları belirgin preparasyonlarda, yazılımlar arası fark daha az belirginleşmiş ve neredeyse tüm sistemler kabul edilebilirlik sınırlarının üzerinde performans sergilemiştir. Bu durum, algoritmaların eğitildiği veri setlerinin daha çok klasik diş morfolojileriyle uyumlu olduğunu düşündürmektedir.
2. Morfolojik ve anatomik karmaşıklık arttıkça, algoritmik farklar daha belirgin hale gelebilir. Overley ve onley preparasyonlarında yüzey skorlarının düşmesi ve yazılımlar arası varyansın artması, özellikle lateral ve oklüzal konturların homojen işlenememesiyle ilişkilendirilmiştir. Bu durum, yapay zeka sistemlerinin karmaşık yüzey topografilerine olan adaptasyon kapasitesinde henüz bir sınırlılık bulunduğuna işaret edebilir.

3. Tasarımların süresi ile doğruluk ve kesinlik arasında doğrudan bir korelasyon gözlenmemiştir. Örneğin Automate, kısa sürede tasarım üretmesine rağmen yüksek yüzey skorlarını koruyabilmiştir. Buna karşın bazı yazılımlar daha uzun işlem süresine rağmen, yüzey sürekliliğinde stabil sonuçlar üretememiştir. Bu, süre değil, algoritma türü ve eğitim verisi kalitesinin performansı belirlediği yorumunu destekleyebilir.
4. Benzerlik analizleri ile kesinlik ölçütleri birlikte değerlendirildiğinde, sistemlerin sadece tasarım kalitesi değil, tutarlılık potansiyeli açısından da ayrıştığı görülmüştür. Aynı yazılımla yapılan beş tasarım arasında düşük varyans, algoritmanın deterministik çalıştığını; yüksek varyans ise randomize veya kullanıcı etkileşimi açık modellerin kullanıldığını düşündürmektedir. Bu da yazılım seçiminde yalnızca çıktı kalitesinin değil, çıktıların öngörülebilirliğinin de dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.
5. Sınır ve yüzey skoru arasında doğrudan bir ilişki tespit edilmiştir. Marjin çiziminde başarısız olan yazılımlar, yüzey sürekliliğini de sağlamakta zorlanmıştır. Bu durum, sınır tanıma algoritmasının genel yüzey modelleme motoruyla entegre çalıştığını ve sistematik bir zayıflığın tüm tasarım kalitesini düşürebileceğini göstermektedir.
6. Çalışmanın genel çıktısı, tek bir yazılımın tüm restoratif ihtiyaçları karşılayamayacağını; restorasyonun türü ve klinik beklentiye göre yazılım seçiminin bireyselleştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu bağlamda, klinisyenlerin kullanım kolaylığının yanında uygulama alanına özel algoritmik yeteneklere göre sistem tercihi yapmaları önerilmektedir.

11.KAYNAKLAR

- 25178-2:2021, I. (2021). Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Areal – Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters. International Organization for Standardization. In.
- Abduo, J., & Elseyoufi, M. (2018). Accuracy of Intraoral Scanners: A Systematic Review of Influencing Factors. *The European journal of prosthodontics and restorative dentistry*, 26(3), 101-121.
- Adnan, K., Fahimullah, F., Farrukh, U., Askari, H., Siddiqui, S., & Jameel, R. A. (2023). AI-enabled virtual reality systems for dental education. *International journal of health sciences*, 7(S1), 1378-1392.
- Ahrberg, D., Lauer, H. C., Ahrberg, M., & Weigl, P. (2016). Evaluation of fit and efficiency of CAD/CAM fabricated all-ceramic restorations based on direct and indirect digitalization: a double-blinded, randomized clinical trial. *Clinical oral investigations*, 20, 291-300. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00784-015-1504-6>
- AL-AMLEH, B., Lyons, K., & Swain, M. (2010). Clinical trials in zirconia: a systematic review. *Journal of oral rehabilitation*, 37(8), 641-652.
- AlRumaih, H. S. (2021). Clinical applications of intraoral scanning in removable prosthodontics: a literature review. *Journal of Prosthodontics*, 30(9), 747-762.
- Amann, J., Blasimme, A., Vayena, E., Frey, D., Madai, V. I., & Consortium, P. Q. (2020). Explainability for artificial intelligence in healthcare: a multidisciplinary perspective. *BMC medical informatics and decision making*, 20, 1-9.
- Andersson, M., Carlsson, L., Persson, M., & Bergman, B. (1996). Accuracy of machine milling and spark erosion with a CAD/CAM system. *The Journal of prosthetic dentistry*, 76(2), 187-193.
- Angeletaki, F., Gkogkos, A., Papazoglou, E., & Kloukos, D. (2016). Direct versus indirect inlay/onlay composite restorations in posterior teeth. A systematic review and meta-analysis. *Journal of dentistry*, 53, 12-21.
- Anusavice, K. J., Shen, C., & Rawls, H. R. (2012). *Phillips' science of dental materials*. Elsevier Health Sciences.
- Bae, E.-J., Jeong, I.-D., Kim, W.-C., & Kim, J.-H. (2017). A comparative study of additive and subtractive manufacturing for dental restorations. *The Journal of prosthetic dentistry*, 118(2), 187-193.
- Bayne, S. C., & Schmalz, G. (2005). Reprinting the classic article on USPHS evaluation methods for measuring the clinical research performance of restorative materials. In: Springer.
- Benli, M. (2017). Dijital ölçü yöntemlerinin protetik restorasyonların marjinal ve internal uyumlarına etkisinin değerlendirilmesi.
- Bhat, N., Kukreja, B. J., Kukreja, P., & Bagde, H. (2024). Efficient Treatment Planning on Optimization Techniques Empowered by AI in Dentistry. In *Optimizing Intelligent Systems for Cross-Industry Application* (pp. 239-266). IGI Global.
- Braian, M., & Wennerberg, A. (2019). Trueness and precision of 5 intraoral scanners for scanning edentulous and dentate complete-arch mandibular casts: A comparative in vitro study. *The Journal of prosthetic dentistry*, 122(2), 129-136. e122.
- Campbell, J. (2015). *Complete casting handbook: metal casting processes, metallurgy, techniques and design*. Butterworth-Heinemann.
- Chafi, I., Cheriet, F., Keren, J., Zhang, Y., & Guibault, F. (2024). 3D generation of dental crown bottoms using context learning. *Medical Imaging 2024: Imaging Informatics for Healthcare, Research, and Applications*,

- Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)?—Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific model development*, 7(3), 1247-1250.
- Challen, R., Denny, J., Pitt, M., Gompels, L., Edwards, T., & Tsaneva-Atanasova, K. (2019). Artificial intelligence, bias and clinical safety. *BMJ quality & safety*, 28(3), 231-237.
- 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*, 37(7), 2113-2131.
- Chau, R. C. W., Hsung, R. T.-C., McGrath, C., Pow, E. H. N., & Lam, W. Y. H. (2024). Accuracy of artificial intelligence-designed single-molar dental prostheses: A feasibility study. *The Journal of prosthetic dentistry*, 131(6), 1111-1117.
- Cho, J.-H., Çakmak, G., Yi, Y., Yoon, H.-I., Yilmaz, B., & Schimmel, M. (2024). Tooth morphology, internal fit, occlusion and proximal contacts of dental crowns designed by deep learning-based dental software: a comparative study. *Journal of dentistry*, 141, 104830.
- Choi, J., Ahn, J., & Park, J.-M. (2024). Deep learning-based automated detection of the dental crown finish line: An accuracy study. *The Journal of prosthetic dentistry*, 132(6), 1286. e1281-1286. e1289.
- Chuang, C.-C., Cheng, F.-C., Chen, M.-H., Lin, W.-C., & Chiang, C.-P. (2025). Comparisons of precision and trueness of digital dental casts produced by desktop scanners and intraoral scanners. *Journal of Dental Sciences*, 20(1), 137-146.
- Çakmak, G., Donmez, M. B., Cuellar, A. R., Kahveci, Ç., Schimmel, M., & Yilmaz, B. (2022). Additive or subtractive manufacturing of crown patterns used for pressing or casting: A trueness analysis. *Journal of dentistry*, 124, 104221.
- da Veiga, A. M. A., Cunha, A. C., Ferreira, D. M. T. P., da Silva Fidalgo, T. K., Chianca, T. K., Reis, K. R., & Maia, L. C. (2016). Longevity of direct and indirect resin composite restorations in permanent posterior teeth: A systematic review and meta-analysis. *Journal of dentistry*, 54, 1-12.
- Dayı, B., Üzen, H., Çiçek, İ. B., & Duman, Ş. B. (2023). A novel deep learning-based approach for segmentation of different type caries lesions on panoramic radiographs. *Diagnostics*, 13(2), 202.
- Denissen, H., Wijnhoff, G., Veldhuis, A., & Kalk, W. (1993). Five-year study of all-porcelain veneer fixed partial dentures. *The Journal of prosthetic dentistry*, 69(5), 464-468.
- Di Battista, M., Kernitsky, J., & Dibart, S. (2024). Artificial Intelligence Chatbots in Patient Communication: Current Possibilities. *International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, 44(6).
- Diker, B., & Tak, Ö. (2020). Comparing the accuracy of six intraoral scanners on prepared teeth and effect of scanning sequence. *The journal of advanced prosthodontics*, 12(5), 299.
- Dobrzański, L. A., & Dobrzański, L. B. (2020). Dentistry 4.0 concept in the design and manufacturing of prosthetic dental restorations. *Processes*, 8(5), 525.
- DOĞRUER, I., & AYKOR, A. (2019). İnley ve onley uygulamaları. *Turkiye Klinikleri Restorative Dentistry-Special Topics*, 5(1), 28-33.
- Dündar, B., Gönültaş, F., Akat, B., & Orhan, K. (2025). The effect of virtual reality simulators on tooth preparation skills of dental students. *BMC oral health*, 25(1), 422.
- Ekert, T., Krois, J., Meinhold, L., Elhennawy, K., Emara, R., Golla, T., & Schwendicke, F. (2019). Deep learning for the radiographic detection of apical lesions. *Journal of endodontics*, 45(7), 917-922. e915.
- Elgammal, A., Liu, B., Elhoseiny, M., & Mazzone, M. (2017). Can: Creative adversarial networks, generating" art" by learning about styles and deviating from style norms. *arXiv preprint arXiv:1706.07068*.

- Elgarba, B. M., Fontenele, R. C., Mangano, F., & Jacobs, R. (2024). Novel AI-based automated virtual implant placement: Artificial versus human intelligence. *Journal of dentistry*, 147, 105146.
- Ender, A. (2023). Clinical guide for chairside restorations with the CEREC system.
- Ender, A., & Mehl, A. (2014). Accuracy in dental medicine, a new way to measure trueness and precision. *Journal of visualized experiments: JoVE*(86), 51374.
- Esmailpour, H., Rasaie, V., Babae Hemmati, Y., & Falahchai, M. (2025). Performance of artificial intelligence chatbots in responding to the frequently asked questions of patients regarding dental prostheses. *BMC oral health*, 25(1), 574.
- Esteva, A., Robicquet, A., Ramsundar, B., Kuleshov, V., DePristo, M., Chou, K., Cui, C., Corrado, G., Thrun, S., & Dean, J. (2019). A guide to deep learning in healthcare. *Nature medicine*, 25(1), 24-29.
- Fan, J., Xu, Y., Si, L., Li, X., Fu, B., & Hannig, M. (2021). Long-term clinical performance of composite resin or ceramic inlays, onlays, and overlays: a systematic review and meta-analysis. *Operative Dentistry*, 46(1), 25-44.
- Farook, T. H., Ahmed, S., Giri, J., Rashid, F., Hughes, T., & Dudley, J. (2023). Influence of intraoral scanners, operators, and data processing on dimensional accuracy of dental casts for unsupervised clinical machine learning: An in vitro comparative study. *International Journal of Dentistry*, 2023(1), 7542813.
- Fasbinder, D. J. (2010). Materials for chairside CAD/CAM restorations. *Compendium of Continuing Education in Dentistry (15488578)*, 31(9).
- Fieldhouse, S. (2021). CAD/CAM in Dentistry. Materials and methods: an overview for the dental team. *Dental Update*, 48(8), 671-678.
- Fruehwirt, W., & Duckworth, P. (2021). Towards better healthcare: What could and should be automated? *Technological Forecasting and Social Change*, 172, 120967.
- Gao, S., Wang, X., Xia, Z., Zhang, H., Yu, J., & Yang, F. (2025). Artificial intelligence in dentistry: A narrative review of diagnostic and therapeutic applications. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*, 31, e946676.
- Geomagic Control X User Guide. (2022).
- Giménez, B., Özcan, M., Martínez-Rus, F., & Pradies, G. (2015). Accuracy of a digital impression system based on active wavefront sampling technology for implants considering operator experience, implant angulation, and depth. *Clinical implant dentistry and related research*, 17, e54-e64.
- Gomez, J. (2021). Enhancing Telemedicine Through AI-Powered Remote Patient Monitoring. *Orthodontics Unveiled: Exploring Emerging Trends in Dental Alignment*, 84.
- Grischke, J., Johannsmeier, L., Eich, L., Griga, L., & Haddadin, S. (2020). Dentronics: Towards robotics and artificial intelligence in dentistry. *Dental Materials*, 36(6), 765-778.
- Guess, P. C., Schultheis, S., Bonfante, E. A., Coelho, P. G., Ferencz, J. L., & Silva, N. R. (2011). All-ceramic systems: laboratory and clinical performance. *Dental Clinics*, 55(2), 333-352.
- HALAÇOĞLU, D. M. (2017). İndirekt Estetik Restorasyonlar. *Turkiye Klinikleri Restorative Dentistry-Special Topics*, 3(2), 76-83.
- He, Y., Liang, B., Yang, J., Li, S., & He, J. (2017). An iterative closest points algorithm for registration of 3D laser scanner point clouds with geometric features. *Sensors*, 17(8), 1862.
- Helvey, G. A. (2013). Classification of dental ceramics. *Inside Dent*, 13, 62-76.
- Hendler, J. (2008). Avoiding another AI winter. *IEEE Intelligent Systems*, 23(02), 2-4.
- Heo, M.-S., Kim, J.-E., Hwang, J.-J., Han, S.-S., Kim, J.-S., Yi, W.-J., & Park, I.-W. (2021). Artificial intelligence in oral and maxillofacial radiology: what is currently possible? *Dentomaxillofacial Radiology*, 50(3), 20200375.

- Hickel, R., Mesinger, S., Opdam, N., Loomans, B., Frankenberger, R., Cadenaro, M., Burgess, J., Peschke, A., Heintze, S. D., & Kühnisch, J. (2023). Revised FDI criteria for evaluating direct and indirect dental restorations—recommendations for its clinical use, interpretation, and reporting. *Clinical oral investigations*, 27(6), 2573-2592.
- Hickel, R., Peschke, A., Tyas, M., Mjör, I., Bayne, S., Peters, M., Hiller, K.-A., Randall, R., Vanherle, G., & Heintze, S. D. (2010). FDI World Dental Federation: clinical criteria for the evaluation of direct and indirect restorations—update and clinical examples. *Clinical oral investigations*, 14, 349-366.
- Hosseinimanesh, G., Ghadiri, F., Alsheghri, A., Zhang, Y., Keren, J., Cheriet, F., & Guibault, F. (2023). Improving the quality of dental crown using a transformer-based method. *Medical Imaging 2023: Physics of Medical Imaging*.
- Hung, K. F., Yeung, A. W. K., Bornstein, M. M., & Schwendicke, F. (2023). Personalized dental medicine, artificial intelligence, and their relevance for dentomaxillofacial imaging. *Dentomaxillofacial Radiology*, 52(1), 20220335.
- Jaffari, S. M. B., Mazloum, T., & Shahin, B. (2024). Integrating Artificial Intelligence into Dental Education: Applications, Impacts, and Challenges. A Literature Review.
- Jahangiri, L., Akiva, G., Lakhia, S., & Turkyilmaz, I. (2020). Understanding the complexities of digital dentistry integration in high-volume dental institutions. *British Dental Journal*, 229(3), 166-168.
- Jivanescu, A., Codruta, I., & Rotar, R. (2024). Chairside CAD/CAM Restorations. In *Advances in Dentures-Prosthetic Solutions, Materials and Technologies*. IntechOpen.
- Joda, T., & Brägger, U. (2015). Time-efficiency analysis comparing digital and conventional workflows for implant crowns: A prospective clinical crossover trial. *International journal of oral & maxillofacial implants*, 30(5).
- Joiner, A. (2006). The bleaching of teeth: a review of the literature. *Journal of dentistry*, 34(7), 412-419.
- Jw, M. (1971). The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *Br dent j*, 131, 107-111.
- Karlsson Sköldqvist, J., & Naderi Nabi, N. (2024). En morfologisk jämförelse av singelkronor mellan 3Shape Automate och manuell digital design: En in vitro-studie. In.
- Karuppan Perumal, M. K., Rajan Renuka, R., Kumar Subbiah, S., & Manickam Natarajan, P. (2025). Artificial intelligence-driven clinical decision support systems for early detection and precision therapy in oral cancer: a mini review. *Frontiers in Oral Health*, 6, 1592428.
- Kaur, N., Jacob, G., Singh, A., Khan, S., Dhir, P., & Kakarla, G. (2025). Artificial Intelligence in dentistry: Balancing innovation with ethical responsibility. *Bioinformation*, 21(3), 489-494.
- Kelly, J. R. (1995). Perspectives on strength. *Dental Materials*, 11(2), 103-110.
- Kelly, J. R., & Benetti, P. (2011). Ceramic materials in dentistry: historical evolution and current practice. *Australian Dental Journal*, 56, 84-96.
- Kim, C. S., Samaniego, C. S., Sousa Melo, S. L., Brachvogel, W. A., Baskaran, K., & Rulli, D. (2023). Artificial intelligence (AI) in dental curricula: Ethics and responsible integration. *Journal of dental education*, 87(11), 1570-1573.
- Kızılkaya, A. R., & Kara, A. (2024). Impact of different CAD software programs on marginal and internal fit of provisional crowns: An in vitro study. *Heliyon*, 10(2).
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2017). ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Communications of the ACM*, 60(6), 84-90.
- Krois, J., Ekert, T., Meinhold, L., Golla, T., Kharbot, B., Wittemeier, A., Dörfer, C., & Schwendicke, F. (2019). Deep learning for the radiographic detection of periodontal bone loss. *Scientific reports*, 9(1), 8495.
- Laegreid, T., Gjerdet, N., Johansson, A., & Johansson, A. (2014). Clinical decision making on extensive molar restorations. *Operative Dentistry*, 39(6), E231-E240.

- Lal, A., Nooruddin, A., & Umer, F. (2025). Concerns regarding deployment of AI-based applications in dentistry—a review. *BDJ open*, *11*(1), 27.
- Leeson, D. (2020). The digital factory in both the modern dental lab and clinic. *Dental Materials*, *36*(1), 43-52.
- Li, Y., Ye, H., Wu, W., Li, J., Zhao, X., Liu, Y., & Zhou, Y. (2025). Effectiveness and Methodologies of Virtual Reality Dental Simulators for Veneer Tooth Preparation Training: Randomized Controlled Trial. *Journal of Medical Internet Research*, *27*, e63961.
- Liu, C.-M., Lin, W.-C., & Lee, S.-Y. (2024). Evaluation of the efficiency, trueness, and clinical application of novel artificial intelligence design for dental crown prostheses. *Dental Materials*, *40*(1), 19-27.
- Logozzo, S., Zanetti, E. M., Franceschini, G., Kilpelä, A., & Mäkynen, A. (2014). Recent advances in dental optics—Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *Optics and lasers in engineering*, *54*, 203-221.
- Loguercio, A. D., Raffo, J., Bassani, F., Balestrini, H., Santo, D., Do Amaral, R. C., & Reis, A. (2011). 24-month clinical evaluation in non-carious cervical lesions of a two-step etch-and-rinse adhesive applied using a rubbing motion. *Clinical oral investigations*, *15*, 589-596.
- Luque-Martinez, I., Muñoz, M. A., Mena-Serrano, A., Hass, V., Reis, A., & Loguercio, A. D. (2015). Effect of EDTA conditioning on cervical restorations bonded with a self-etch adhesive: A randomized double-blind clinical trial. *Journal of dentistry*, *43*(9), 1175-1183.
- Ma, L., Wang, X., Wang, J., & Jiang, Y. . (2019). Deviation analysis of 3D scanned dental crowns for quality inspection. *Computers in Biology and Medicine*, *113*.
- Magne, P., Dietschi, D., & Holz, J. (1996). Esthetic restorations for posterior teeth: practical and clinical considerations. *International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, *16*(2).
- Mangano, F. G., Hauschild, U., Veronesi, G., Imburgia, M., Mangano, C., & Admakin, O. (2019). Trueness and precision of 5 intraoral scanners in the impressions of single and multiple implants: a comparative in vitro study. *BMC oral health*, *19*, 1-14.
- Mangano, F. G., Veronesi, G., Hauschild, U., Mijiritsky, E., & Mangano, C. (2016). Trueness and precision of four intraoral scanners in oral implantology: a comparative in vitro study. *PLoS One*, *11*(9), e0163107.
- Manhart, J., Chen, H., Hamm, G., & Hickel, R. (2004). Review of the clinical survival of direct and indirect restorations in posterior teeth of the permanent dentition. *OPERATIVE DENTISTRY-UNIVERSITY OF WASHINGTON-*, *29*, 481-508.
- Martínez-Rus, F., Suárez, M. J., Rivera, B., & Pradies, G. (2011). Evaluation of the absolute marginal discrepancy of zirconia-based ceramic copings. *The Journal of prosthetic dentistry*, *105*(2), 108-114.
- Masson, E., Kumar, A., Grigoriadis, A., Destruhaut, F., Nabet, C., & GALIBOURG, A. (2025). Conventional vs. digital wax-up: a crossover study on accuracy and undergraduate student satisfaction. *Digital Dentistry Journal*, 100003.
- McDermott, R. (2024). Transforming Dental Operations: The Role of AI in Streamlining Back-Office Functions. *Virginia Dental Journal*, *101*(3), 13.
- McGrath, C., Chau, C. W. R., & Molina, G. F. (2025). Monitoring oral health remotely: ethical considerations when using AI among vulnerable populations. *Frontiers in Oral Health*, *6*, 1587630.
- Mehl, A., Blanz, V., & Hickel, R. (2005). Biogeneric tooth: a new mathematical representation for tooth morphology in lower first molars. *European journal of oral sciences*, *113*(4), 333-340.

- Miyazaki, T., Hotta, Y., Kunii, J., Kuriyama, S., & Tamaki, Y. (2009). A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dental materials journal*, 28(1), 44-56.
- Mohammad-Rahimi, H., Motamedian, S. R., Rohban, M. H., Krois, J., Uribe, S. E., Mahmoudinia, E., Rokhshad, R., Nadimi, M., & Schwendicke, F. (2022). Deep learning for caries detection: a systematic review. *Journal of dentistry*, 122, 104115.
- Monill-González, A., Rovira-Calatayud, L., d'Oliveira, N. G., & Ustrell-Torrent, J. M. (2021). Artificial intelligence in orthodontics: Where are we now? A scoping review. *Orthodontics & craniofacial research*, 24, 6-15.
- Moor, M., Banerjee, O., Abad, Z. S. H., Krumholz, H. M., Leskovec, J., Topol, E. J., & Rajpurkar, P. (2023). Foundation models for generalist medical artificial intelligence. *Nature*, 616(7956), 259-265.
- Moörmann, W. H. (2006). The evolution of the CEREC system. *The Journal of the American Dental Association*, 137, 7S-13S.
- Morsy, N., Ghoneim, M. M., & Ibrahim, Y. (2024). Effect of cement spacer on fit accuracy and fracture strength of 3-unit and 4-unit zirconia frameworks. *BMC oral health*, 24(1), 586.
- Naeem, M. M., Sarwar, H., Hassan, M. T., Balouch, N. M., Singh, S. P., Essrani, P. D., & Rajper, P. (2023). Exploring the ethical and privacy implications of artificial intelligence in dentistry. *International journal of health sciences*, 7(S1), 904-915.
- Naidu, V., & Jaju, S. (2022). CAD/CAM engineering and artificial intelligence in dentistry. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,
- Nestler, N., Wesemann, C., Spies, B. C., Beuer, F., & Bumann, A. (2021). Dimensional accuracy of extrusion-and photopolymerization-based 3D printers: In vitro study comparing printed casts. *The Journal of prosthetic dentistry*, 125(1), 103-110.
- Noh, M., Lee, H., Lee, W., Kim, J., & Kim, J. (2025). Evaluation of Internal and Marginal Accuracy (Trueness and Precision) of Laminates Using DLP Printing and Milling Methods. *Biomimetics*, 10(1), 67.
- Nulty, A. (2022). A comparison of trueness and precision of 12 3D printers used in dentistry. *BDJ open*, 8(1), 14.
- Ograk İH, B. G. G. (2024). *Farklı Optik Çözünürlükteki DLP Yazıcıların İndirekt Restorasyonların Boyutsal Hassasiyetine Etkisinin Değerlendirilmesi*
- Oh, K. C., Park, J. M., & Moon, H. S. (2020). Effects of scanning strategy and scanner type on the accuracy of intraoral scans: a new approach for assessing the accuracy of scanned data. *Journal of Prosthodontics*, 29(6), 518-523.
- Olawade, D. B., Leena, N., Egbon, E., Rai, J., Mohammed, A. P., Oladapo, B. I., & Boussios, S. (2025). AI-Driven Advancements in Orthodontics for Precision and Patient Outcomes. *Dentistry Journal*, 13(5), 198.
- Passos, L., Meiga, S., Brigagão, V., Neumann, M., & Street, A. (2022). Digital impressions' accuracy through "cut-out-rescan" and "data exchange by over scanning" techniques in complete arches of two intraoral scanners and CAD/CAM software. *Journal of Prosthodontic Research*, 66(3), 509-513.
- Patel, N. (2010). Integrating three-dimensional digital technologies for comprehensive implant dentistry. *The Journal of the American Dental Association*, 141, 20S-24S.
- Pellitteri, F., Albertini, P., Vogrig, A., Spedicato, G. A., Siciliani, G., & Lombardo, L. (2022). Comparative analysis of intraoral scanners accuracy using 3D software: an in vivo study. *Progress in Orthodontics*, 23(1), 21.
- Perdigão, J., Kose, C., Mena-Serrano, A., De Paula, E., Tay, L., Reis, A., & Loguercio, A. (2014). A new universal simplified adhesive: 18-month clinical evaluation. *Operative Dentistry*, 39(2), 113-127.

- Pini, N. P., Aguiar, F. H. B., Lima, D. A. N. L., Lovadino, J. R., Terada, R. S. S., & Pascotto, R. C. (2012). Advances in dental veneers: materials, applications, and techniques. *Clinical, cosmetic and investigational dentistry*, 9-16.
- Reich, S., Wichmann, M., Nkenke, E., & Proeschel, P. (2005). Clinical fit of all-ceramic three-unit fixed partial dentures, generated with three different CAD/CAM systems. *European journal of oral sciences*, 113(2), 174-179.
- Rekow, E., Silva, N., Coelho, P., Zhang, Y., Guess, P., & Thompson, V. (2011). Performance of dental ceramics: challenges for improvements. *Journal of dental research*, 90(8), 937-952.
- Ren, X., Son, K., & Lee, K.-B. (2021). Accuracy of proximal and occlusal contacts of single implant crowns fabricated using different digital scan methods: An in vitro study. *Materials*, 14(11), 2843.
- Renne, W., Wolf, B., Kessler, R., McPherson, K., & Mennito, A. S. (2015). Evaluation of the marginal fit of CAD/CAM crowns fabricated using two different chairside CAD/CAM systems on preparations of varying quality. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 27(4), 194-202.
- Revilla-León, M., Gómez-Polo, M., Vyas, S., Barmak, A. B., Gallucci, G. O., Att, W., Özcan, M., & Krishnamurthy, V. R. (2023). Artificial intelligence models for tooth-supported fixed and removable prosthodontics: A systematic review. *The Journal of prosthetic dentistry*, 129(2), 276-292. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.06.001>
- Revilla-León, M., Gómez-Polo, M., Vyas, S., Barmak, A. B., Özcan, M., Att, W., & Krishnamurthy, V. R. (2022). Artificial intelligence applications in restorative dentistry: A systematic review. *The Journal of prosthetic dentistry*, 128(5), 867-875.
- Revilla-León, M., & Özcan, M. (2019). Additive manufacturing technologies used for processing polymers: current status and potential application in prosthetic dentistry. *Journal of Prosthodontics*, 28(2), 146-158.
- Rice, R. W. (1990). Ceramic processing: an overview. *AIChE journal*, 36(4), 481-510.
- Rocca, G. T., Rizcalla, N., Krejci, I., & Dietschi, D. (2015). Evidence-based concepts and procedures for bonded inlays and onlays. Part II. Guidelines for cavity preparation and restoration fabrication. *Int J Esthet Dent*, 10(3), 392-413.
- Russell, S. J., & Norvig, P. (2016). *Artificial intelligence: a modern approach*. pearson.
- Salomon, I., & Olivier, S. (2024). Artificial intelligence in medicine: advantages and disadvantages for today and the future. *International Journal of Surgery Open*, 62(4), 471-473.
- Sawangri, K., Bekkali, M., Lutz, N., Alrashed, S., Hsieh, Y.-L., Lai, Y.-C., Arreaza, C., Nassani, L. M., & Hammoudeh, H. S. (2025). Acceptability and deviation of finish line detection and restoration contour design in single-unit crown: Comparative evaluation between 2 AI-based CAD software programs and dental laboratory technicians. *The Journal of prosthetic dentistry*.
- Schaefer, O., Decker, M., Wittstock, F., Kuepper, H., & Guentsch, A. (2014). Impact of digital impression techniques on the adaption of ceramic partial crowns in vitro. *Journal of dentistry*, 42(6), 677-683.
- Schwendicke, F., Chaurasia, A., Arsiwala, L., Lee, J.-H., Elhennawy, K., Jost-Brinkmann, P.-G., Demarco, F., & Krois, J. (2021). Deep learning for cephalometric landmark detection: systematic review and meta-analysis. *Clinical oral investigations*, 25(7), 4299-4309.
- Schwendicke, F. a., Samek, W., & Krois, J. (2020). Artificial intelligence in dentistry: chances and challenges. *Journal of dental research*, 99(7), 769-774.
- Shan, T., Tay, F., & Gu, L. (2021). Application of artificial intelligence in dentistry. *Journal of dental research*, 100(3), 232-244.
- Shortliffe, E. H., & Sepúlveda, M. J. (2018). Clinical decision support in the era of artificial intelligence. *Jama*, 320(21), 2199-2200.

- Siqueira, R., Galli, M., Chen, Z., Mendonça, G., Meirelles, L., Wang, H.-L., & Chan, H.-L. (2021). Intraoral scanning reduces procedure time and improves patient comfort in fixed prosthodontics and implant dentistry: a systematic review. *Clinical oral investigations*, 1-15.
- Skramstad, M. (2019). Welcome to Cerec Primescan AC Willkommen Cerec Primescan AC. *Int J Comput Dent*, 22(1), 69-78.
- Smith, B. G., Wright, P. S., & Brown, D. (1986). The clinical handling of dental materials. (No Title).
- 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*,
- Spartivento, G., Benfante, V., Ali, M., Yezzi, A., Di Raimondo, D., Tuttolomondo, A., Lo Casto, A., & Comelli, A. (2025). Revolutionizing Periodontal Care: The Role of Artificial Intelligence in Diagnosis, Treatment, and Prognosis. *Applied Sciences*, 15(6), 3295.
- Spear, F. M., Kokich, V. G., & Mathews, D. P. (2006). Interdisciplinary management of anterior dental esthetics. *The Journal of the American Dental Association*, 137(2), 160-169.
- Surdilovic, D., Ille, T., & D'Souza, J. (2022). Artificial intelligence and dental practice management. *European Journal of Artificial Intelligence and Machine Learning*, 1(3), 11-14.
- Surdu, A., Foia, C. I., Luchian, I., Trifan, D., Budala, D. G., Scutariu, M. M., Ciupilan, C., Puha, B., & Tatarciuc, D. (2025). Telemedicine and Digital Tools in Dentistry: Enhancing Diagnosis and Remote Patient Care. *Medicina*, 61(5), 826.
- Swisher, A. R., Wu, A. W., Liu, G. C., Lee, M. K., Carle, T. R., & Tang, D. M. (2024). Enhancing Health Literacy: Evaluating the Readability of Patient Handouts Revised by ChatGPT's Large Language Model. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, 171(6), 1751-1757.
- ŞİRİNSÜKAN, N., & CAN, E. (2019). İndirekt Restorasyonlarda Endo-Kuron Uygulamaları. *Türkiye Klinikleri Restorative Dentistry-Special Topics*, 5(2), 96-103.
- Taha, A. A., & Hanbury, A. (2015). Metrics for evaluating 3D medical image segmentation: analysis, selection, and tool. *BMC medical imaging*, 15, 1-28.
- Thurzo, A., Strunga, M., Urban, R., Surovková, J., & Afrashtehfar, K. I. (2023). Impact of artificial intelligence on dental education: a review and guide for curriculum update. *Education Sciences*, 13(2), 150.
- Tian, S., Wang, M., Dai, N., Ma, H., Li, L., Fiorenza, L., Sun, Y., & Li, Y. (2021). DCPR-GAN: dental crown prosthesis restoration using two-stage generative adversarial networks. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 26(1), 151-160.
- Tomášik, J., Zsoldos, M., Oravcová, L., Lifková, M., Pavleová, G., Strunga, M., & Thurzo, A. (2024). AI and face-driven orthodontics: a scoping review of digital advances in diagnosis and treatment planning. *AI*, 5(1), 158-176.
- Topol, E. (2019). *Deep medicine: how artificial intelligence can make healthcare human again*. Hachette UK.
- Tseng, M.-H., Lin, P.-R., Lin, Y.-C., & Lin, W.-C. (2025). Exploring the applications of artificial intelligence in various commercial dental professional software. *Journal of Dental Sciences*, 20(2), 1300.
- Turing, A. M. (1980). Computing machinery and intelligence. *Creative Computing*, 6(1), 44-53.
- van Dijken, J. W. (2010). A prospective 8-year evaluation of a mild two-step self-etching adhesive and a heavily filled two-step etch-and-rinse system in non-cariou cervical lesions. *Dental Materials*, 26(9), 940-946.

- Van Meerbeek, B., Vanherle, G., Lambrechts, P., & Braem, M. (1992). Dentin-and enamel-bonding agents. *Current opinion in dentistry*, 2, 117-127.
- Van Noort, R. (2012). The future of dental devices is digital. *Dental Materials*, 28(1), 3-12.
- Vecsei, B., Czigola, A., Róth, I., Hermann, P., & Borbély, J. (2021). Digital impression systems, CAD/CAM, and STL file. *Guided endodontics*, 27-63.
- Weiner, E. B., Dankwa-Mullan, I., Nelson, W. A., & Hassanpour, S. (2025). Ethical challenges and evolving strategies in the integration of artificial intelligence into clinical practice. *PLOS digital health*, 4(4), e0000810.
- Wiskott, H. A. (2011). Fixed prosthodontics. *Principles and Clinics London: Quintessence*.
- Wu, Z., Zhang, C., Ye, X., Dai, Y., Zhao, J., Zhao, W., & Zheng, Y. (2025). Comparison of the efficacy of artificial intelligence-powered software in crown design: an in vitro study. *International Dental Journal*, 75(1), 127-134.
- Yamaguchi, S., Lee, C., Karaer, O., Ban, S., Mine, A., & Imazato, S. (2019). Predicting the debonding of CAD/CAM composite resin crowns with AI. *Journal of dental research*, 98(11), 1234-1238.
- Yang, X., Li, X., Li, X., Wu, P., Shen, L., & Deng, Y. (2024). Implantformer: vision transformer-based implant position regression using dental cbct data. *Neural Computing and Applications*, 36(12), 6643-6658.
- Yeslam, H. E., von Maltzahn, N. F., & Nassar, H. M. (2024). Revolutionizing CAD/CAM-based restorative dental processes and materials with artificial intelligence: a concise narrative review. *PeerJ*, 12, e17793.
- Zander-Grande, C., Amaral, R., Loguercio, A. D., Barroso, L. P., & Reis, A. (2014). Clinical performance of one-step self-etch adhesives applied actively in cervical lesions: 24-month clinical trial. *Operative Dentistry*, 39(3), 228-238.
- Zander-Grande, C., Ferreira, S. Q., da Costa, T. R. F., Loguercio, A. D., & Reis, A. (2011). Application of etch-and-rinse adhesives on dry and rewet dentin under rubbing action: a 24-month clinical evaluation. *The Journal of the American Dental Association*, 142(7), 828-835.
- Zhao, L., Chen, X., Huang, J., Mo, S., Gu, M., Kang, N., Song, S., Zhang, X., Liang, B., & Tang, M. (2024). Machine learning algorithms for the diagnosis of class III malocclusions in children. *Children*, 11(7), 762.

9. ÖZGEÇMİŞ

Adı	Neşe Ezgi	Soyadı	Karaoğlan
Doğum Yeri	Türkiye	Doğum Tarihi	2000
Uyruğu	Türkiye Cumhuriyeti	Tel	505 333 3333
E-mail	neşe.ezgi@mmu.edu.tr		

Eğitim Düzeyi

	Mezun Olduğu Kurumun Adı	Mezuniyet Yılı
Doktora/Uzmanlık	Marmara Üniversitesi	2025
Yüksek Lisans	Karadeniz Teknik Üniversitesi	2021
Lisans		

İş Deneyimi

Görevi	Kurum	Süre (Yıl - Yıl)
1	Marmara Üniversitesi	3 Yıl (2022-2025)
2		
3		

Yabancı Dilleri	Okuduğunu Anlama*	Konuşma*	Yazma*
İngilizce	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi

Yabancı Dil Sınav Notu #								
YDS	ÜDS	IELTS	TOEFL IBT	TOEFL PBT	TOEFL CBT	FCE	CAE	CPE
88.75								

	Sayısal	Eşit Ağırlık	Sözel
ALES Puanı			
(Diğer) Puanı			

Bilgisayar Bilgisi

Program	Kullanma Becerisi

*Çok iyi, iyi, orta, zayıf olarak değerlendiriniz.

10. BİLİMSEL FAALİYETLER

Bildiri (Poster veya Sözel)

Karaoglan, N. E., Karaca, H. A., Öztoprak, Y., Gocmen, G. B. (2023). K linik Pratikte Kullanılan Tarihi Geçmiş Rezin Kompozitlerin Bükülme Dayanımı Ve Elastik Modüllerinin Karşılaştırılması .

Karaoglan, N. E., & Gocmen, G. B. (2024). Farklı Etiyolojilere Sahip Üst Santral Dişlerin Estetik Rehabilitasyonu: Bir Vaka Serisi

Karaoglan, N. E., & Gocmen, G. B. (2024). Esthetic rehabilitation of diastema between hypomineralised asymmetric maxillary centrals. *International Dental Journal*, 74, S333.

Karaoglan, N. E., Farshidian, N., Yılmaz Atalı, P., Tarçın, B., Gocmen, G. B. (2024). Tezgah üstü ev tipi beyazlatma ürünlerinin rezin kompozitlerin mikro-sertlik, renk ve yüzey pürüzlülüğüne üzerine etkisinin incelenmesi.

Karaoglan, N. E., & Gocmen, G. B. (2024). Yıpranmış restorasyonlara sahip maksiller lateral dişlerin enjekte edilebilir rezin kompozitler ile estetik rehabilitasyonu

Proje

Karaoglan, N. E., Bilgin Göçmen, G. Yapay Zeka Destekli Yazılımlarla Tasarlanmış İndirekt Restorasyonların Çok Yönlü Değerlendirilmesi. Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (TDH-2024-11405) 2024-2025.