



## THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PROSTHETIC DENTISTRY

### YAPAY ZEKÂNIN PROTETİK DİŞ HEKİMLİĞİNDEKİ ROLÜ

Bülent Kadir TARTUK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Asst. Prof. Dr., Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Bingöl University, Bingöl/TÜRKİYE,

**ORCID ID:** 0000-0003-2282-8944

**Corresponding Author:**

Bülent Kadir TARTUK,

Bingöl Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Bingöl/ TÜRKİYE,

**e-mail:** [bktartuk@bingol.edu.tr](mailto:bktartuk@bingol.edu.tr) , **Phone:** +90 507 047 2139

71

## Abstract

Artificial intelligence (AI)-based dentistry is becoming a reality with advancing technology. AI is widely used in medicine and dentistry, enabling machines to simulate human intelligence and decision-making processes. Its growing popularity stems from its transformative impact and breakthroughs in intelligent innovation. In dentistry, AI is particularly transformative in prosthetic dentistry, as it assists in the design and production of dentures, colour and material selection, and the fabrication of maxillofacial prostheses. Additionally, it reduces dentist's workload in areas such as patient documentation, diagnosis, treatment planning, patient management, and dental education, enabling clinicians and researchers to work more efficiently. While AI cannot replace dentists, it supports them in offering the most appropriate treatment options to patients. The integration of AI and digitalization has introduced a new paradigm in dentistry, offering highly promising prospects. However, the primary obstacle to the effective use of AI is the availability of insufficient or inaccurate data. Therefore, dentists and clinicians should prioritize collecting and inputting accurate data into databases that will support AI applications in the near future. This study focuses on the various applications, limitations, and future scope of AI in prosthetic dentistry.

**Keywords:** artificial intelligence, prosthodontics treatment, machine learning..

## Özet

Yapay zekâya (YZ) dayalı diş hekimliği, ilerleyen teknoloji ile gerçeğe dönüşüyor. YZ, tıp ve diş hekimliğinin birçok alanında kullanılmaktadır. Akıllı insan davranışını taklit etmek için makineleri kullanan bir teknolojidir. Zekâ inovasyonu alanındaki önemli etkisi ve atılımı nedeniyle dünya çapında popülerlik kazanmaktadır. Diş hekimliğinde, özellikle protetik diş hekimliğinde hayat kurtarıcıdır; çünkü protezlerin tasarım ve üretimine, renk ve materyal seçimine, maksilyofasiyal protezlerin elde edilmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca hasta dokümantasyonu, teşhis, tedavi planlaması, hasta yönetimi ve diş hekimliği eğitim süreçleri gibi birçok alanda diş hekimlerinin iş yüküne yardımcı olur, klinisyen ve araştırmacıların daha çok çalışmak yerine daha akıllıca çalışmasını sağlar. YZ, diş hekiminin yerini alamasa da hastaya en doğru tedaviyi seçeneğini sunmada dişhekimine yardımcı olurs. YZ ve dijitalleşmenin entegrasyonu, son derece umut verici beklentilere sahip yeni bir diş hekimliği paradigması getirmiştir. Yetersiz ve yanlış verilerin mevcudiyeti artık YZ'nin efektif kullanımının önündeki tek engeldir. Bu nedenle, diş hekimleri ve klinisyenler, yakın zamanda YZ'yi kullanacak olan veri tabanlarında gerçek verileri toplamaya ve girmeye odaklanmalıdır. Bu çalışma, protetik diş hekimliğinde YZ'nin çeşitli uygulamalarına, sınırlamalarına ve gelecekteki kapsamına odaklanmaktadır.



**Anahtar Kelimeler:** yapay zekâ, protetik diş tedavisi, makine öğrenimi.

## OVERVIEW / GENEL BAKIŞ

Dünya birçok alanda hızla dijitalleşmeye doğru ilerlemektedir. Bu teknolojik devrim yaşamı daha da kolaylaştırmıştır. Diş hekimliğinin her alanına katkı sağlayıp kalitesini arttırmıştır (1,2).

İnsanlık tarihinde birçok araştırmacı ve mühendis, insan beyninin işleyişine hayran kalmış; mekanizmasını öğrenmek için çaba sarf etmiştir. Çeşitli teknolojiler kullanarak insan beynini taklit etmeye çalışmıştır (3). Yapay zekâ (YZ) terimi ilk olarak 1955 yılında John McCarthy tarafından kullanılmıştır (4). John McCarthy, bir aritmetikçidir ve yapay zekânın babası olarak bilinir. 1959 yılına gelindiğinde ise Arthur Samuel tarafından makine öğrenimi tanımlanmıştır. Bu süreç, programlama olmadan algoritmaların öğrenmesini sağlayan YZ alanıdır (5). YZ; makinelerin insan beyni gibi düşünmesine yönelik programlama yapan bir mühendislik dalıdır. Temelinde ise makinelere insan gibi düşünebilme, karar verebilme, duyguları ayrıştırabilme ve olayları mantıklı kararlara bağlayabilme gibi yetenekler kazandırmayı hedefler (6). YZ; telekomünikasyon, uzay ve havacılık sanayi, teorem kanıtlama ve oyun endüstrisinde yıllardır kullanılmaktadır. Son on yılda ise YZ teknolojisi tıp ve diş hekimliği alanlarında da kendine yer bulmuştur (7). Diş hekimliğinden YZ kullanımı ile birlikte mevcut iş yükü ve personel ihtiyacı azaltılabilir (8). Makine öğrenimi ile sağlık sistemlerindeki verilere ulaşan YZ, klinik yönetim sürecindeki karmaşıklıkların çözülmesine ve tanı doğruluğunun artırılmasına yardımcı olabilir. Bulut depolama sistemi ile daha büyük verilerin kullanılmasına ve geliştirilmesine olanak sağlayabilir. Özellikle son yıllarda radyoloji alanlarında, teşhis ve potansiyel tedavi seçenekleri sunmada YZ'den faydalanılmaya başlanmıştır. Bununla birlikte protetik diş tedavisi, ortodonti, ağız ve çene cerrahisi ve periodontoloji dâhil olmak üzere diş hekimliğinin çeşitli alanlarında durum analizi ve tedavi planlaması için kullanıma potansiyeline sahiptir (9). YZ'nin protetik diş tedavisi alanında devrim yaratma potansiyeli çok yüksektir. Makine öğrenimi ile hasta verileri analiz edilebilir ve her bir hasta için en iyi tedavi planı öngörülebilir. Örneğin, bir hasta için en mükemmel şekilde kuron köprü protezleri tasarlamak ve üretmek için kullanılabilir (10). Kemik yoğunluğu, sinir ve diğer anatomik bölgelerdeki faktörleri analiz ederek implant cerrahisi için en uygun planlamayı yapabilir. Böylelikle komplikasyon riskinin azaltılmasına ve böylece genel başarı oranının artırılmasına yardımcı olabilir (11).

Bu derlemenin amacı, YZ'nin protetik diş hekimliğindeki potansiyel faydalarını keşfetmek isteyen diş hekimi ve araştırmacılar için kaynak oluşturmaktır.

**Makine öğrenimi**

Makine öğrenimi ile bilgisayarlar, gelişmiş algoritmalar kullanarak kendi kurallarını çıkarabilirler. Bu öğrenim; e-ticaret, otomobil, internet araması, sensör, robotik sistemler, konuşma ve görüntü tanıma vb. alanlarda aktif olarak kullanılmaktadır (6,12).

**Makine öğrenimi, dört ana kategoriye ayrılır:**

- Gözetimli öğrenme: Bilgisayar, bir insan tarafından belirlenen bir izleme veri havuzuna sahiptir (13). Gözetimli öğrenme de belirli bir veri kümesi kullanılarak, radyolojik görüntülerin sınıflandırması için algoritma oluşturulabilir, örneğin bir X-ışını gibi giriş görüntüsü ile akciğer kanseri gibi çıkış etiketi arasındaki doğru ilişkiyi öğrenebilir ve ardından bu ilişkiyi bilgisayarın daha önce görmediği radyolojik görüntüleri sınıflandırması için uygulayabilir (14).

- Gözetimsiz öğrenme: Bilgisayar, bir izleme veri havuzu kullanmaz; verilere insan rehberliği olmadan ulaşmaya çalışır ve sonradan tanımlamaya çalışır (15,16). Bu yöntem en çok yeni müşterileri hedefleyen ticari platformlarda kullanılır. Elde edilen veriler gözetimsiz dentimden daha doğru sonuçlar verse de, bu sistemde veri kümesi insan tarafından hazırlanmalıdır (17).

- Yarı gözetimli öğrenme: Her veri havuzunu denetlemek kolay değildir, bu nedenle büyük miktarda etiketsiz veri ile az miktarda etiketli veri birleştirildiğinde makine öğreniminin doğruluğu artırılabilir (18,19). Konuşma ve yazım hataları, yarı gözetimli denetim öğrenme sistemi kullanılarak % 22 oranında azaltılabilir (20).

- Güçlendirilmiş öğrenme: Psikolojideki temel öğrenme teorisinden uyarlanan güçlendirilmiş öğrenme, istenen davranışları ödüllendirmeye veya istenmeyenleri cezalandırmaya dayalı bir eğitim yöntemini içerir, sistemin çalışma yöntemi bir bilgisayar tarafından yapılan ardışık deneylerin bir biçimidir (21). Güçlendirilmiş öğrenmeye en iyi örnek bilgisayar programı olan AlphaGo'nun Go oyununda insan rakipleriyle oynarken kazanmak için oyun hareketleri nasıl öğrendiğidir. Güçlendirilmiş öğrenme, otonom araç teknolojisinde ve bir robota daha önce hiç görmediği nesneleri nasıl kavrayacağını öğretmede yapay sinir ağlarıyla birlikte kullanılabilir (22).

- Yapay sinir ağı: Adından da anlaşılacağı gibi, algoritmayı ayarlamak için yapay nöronlar kullanılır. Bu sistem, insan beynine neredeyse benzer şekilde çalışır. Yapay sinir ağları insan beynini örnek alarak, öğrenme sürecinin matematiksel olarak modellenmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Beyindeki biyolojik sinir ağlarının yapısını, öğrenme, hatırlama ve genelleme kabiliyetlerini taklit eder (23). Yapay sinir ağlarında öğrenme işlemi örnekler kullanılarak gerçekleştirilir. Öğrenme esnasında giriş çıkış bilgileri verilerek, kurallar koyulur (24). Günümüzde finansal kredi skorlanması, yüz ve hareket tanıma, ilaç ve DNA dizilim keşfi ile birçok sektörde fiyat ve yük tahmini yapay sinir ağları kullanılarak yapılabilmektedir (25-28).

• Derin öğrenme: Giriş verilerini analiz etmek için farklı hesaplama katmanlarına sahip ağı kullanan bir makine öğrenmesi türüdür. Derin öğrenme, geleneksel sinir ağı olarak da bilinir. Derin öğrenme modelleri, birden fazla veri kaynağından bilgi alır ve bu verileri insan müdahalesine gerek kalmadan gerçek zamanlı olarak analiz eder. Derin öğrenmede, grafik işleme birimleri (GPU'lar), aynı anda birden fazla hesaplamayı işleyebildikleri için eğitim modellerine yönelik olarak optimize edilmiştir (29). Derin öğrenme, hastaların hastalıklarını tahmin etmek için eğilimleri ve davranışları analiz ederek sağlık hizmetleri alanında çok önemli bir rol oynayabilir. Ayrıca sağlık çalışanları, hastaları için en uygun testlere ve tedavilere karar vermek amacıyla derin öğrenme algoritmalarını kullanabilir (30).

### **Protetik Diş Hekimliğinde Yapay Zekâ**

Protetik diş tedavisi; eksik diş, ağız ve çene yüz dokularıyla ilişkili klinik sorunları olan hastaların oral yapılarının fonksiyonu, konforu, estetiği, bununla birlikte sağlığının teşhisi, tedavi planlaması, rehabilitasyonu ve korunmasıyla ilgilenen diş hekimliği sanatı ve ana bilim dalıdır. Tedavi süreci, ağız yapısının detaylı analizi ve tedavi planlaması ile başlar ve hastanın ağzına uyum sağlayacak protetik yapının tasarlanıp uygulanması ile tamamlanır (31). YZ, birçok alanda protetik diş tedavisi planlamasına ve tedavisine yardımcı olabilir. YZ, dental implant cerrahisinin başarı oranını tahmin etmede, bir hasta için en uygun protez türünü belirlemede ve protezin görünümünü iyileştirmek için doğru renk seçiminde rehber olarak kullanılabilir. Ayrıca periodontal hastalık ve diş çürüğünün teşhisine, orofasiyal anatomisinin belirlenmesine ve analiz edilmesine yardımcı olabilir. YZ'nin protetik diş tedavisi ana bilim dalında bilgisayar destekli yazılımı/bilgisayar destekli üretimde (CAD/CAM) kullanımı, teşhis ve tedavi planlamasının doğruluğunu ve verimliliğini artırabilir; hastalar için daha iyi sonuçlara yol açabilir (32).

Bu makale ile YZ'nin protetik diş tedavisinde kullanıldığı ve kullanılabileceği çeşitli uygulamalar belirtilmiştir.

#### **1. Sabit Protetik Restorasyonlarda Rolü**

Sabit protetik diş tedavisi için kullanılan kuronların hazırlanmasında YZ'nin kullanımı, operasyonun doğruluklarını ve verimliliğini artırmaya da yardımcı olabilir. Algoritmalar ile, başarılı kuron tasarımlarının yer aldığı geniş bir veri tabanı analiz edilip öğrenilebilir ve her vaka için dişleri çevreleyen optimum okluzyon, siman aralığı ve marjinal bitiş hakkında bilgi sağlayabilir (33).

##### **1.1. CAD/CAM Sistemlerindeki Rolü**

Özellikler zirkonyum seramiklerin kullanımının yaygınlaşması ile birlikte CAD/CAM sistemlerinin kullanımı artmıştır. Bu sistemlerin yüksek doğruluk ve başarı oranlarına sahip olduğu bilinmektedir (34). CAD/CAM aracılığı ve YZ desteği ile kuron tasarımlarının hızını ve hassasiyetini arttırmaya yönelik

birçok araştırma mevcuttur. Çalışmalar YZ'nin üretim sürecine entegrasyonu ile üretilen kuronların, geleneksel CAD/CAM yöntemleriyle üretilmiş kuronlarından daha yüksek marjinal ve internal uyum gösterdiğini bildirmiştir (35-37). Hem geleneksel yöntemde hem de CAD/CAM sistemlerinde diş hekimlerinin ve teknisyenlerin deneyimleri sistemleri büyük ölçüde etkiler (38,39). Ancak YZ tabanlı işlemler, otomatik hesaplamalar kullanarak insan müdahalesini en aza indirir. Bu nedenle, YZ ile tasarım yapmak, özellikle kapsamlı restorasyon gereksinimleri olan vakalarda tasarım süresini önemli ölçüde azaltır (35,37).

Zhang ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, marjinal bitim çizgilerinin tespiti için derin öğrenme modeli kullanılmıştır. Çalışmada Sparse Octree (S-Octree) adı verilen bir sinir ağı modeli kullanılmış ve ortalama %97,43 hassasiyet elde edilmiştir (40).

### 1.2. Gülüş Tasarımındaki Rolü

Gelişen teknoloji ile birlikte gülüş tasarımları artık daha doğru ve kesin planlamaya olanak tanıyan dijital yazılımlar kullanılarak oluşturulmaktadır. Bu, hastalar için daha öngörülebilir ve estetik açıdan hoş sonuçlar vermektedir. Sanal gülümseme tasarım yazılımı, diş hekimlerinin bir hastanın gülümsemesinin her yönünü dişlerinin şekli ve boyutundan rengine ve pozisyonuna kadar özelleştirmesine olanak tanır. Bu özelleştirme, hastanın yüz hatlarına ve kişiliğine uyan benzersiz bir gülümseme oluşturmaya yardımcı olur (41). Her hasta için özelleştirilmiş bir tedavi planı oluşturulmasına olanak tanır, bu da zamandan tasarruf sağlayarak gereken ofis ziyaretlerinin sayısını azaltabilir (42). YZ ve makine öğreniminin entegrasyonu, dijital diş hekimliğinin hasta sonuçlarını iyileştirme ve tedavi süresini azaltma potansiyeli büyümeye devam etmektedir (43).

### 1.3. Marjinal Bitim Çizgisinin Tespitindeki Rolü

Sabit protezlerin uzun dönem başarısı için marjinal uyum çok önemlidir. Doğru tayin edilmeyen marjinal çizgi, çürük riskini artırır ve restorasyonun uzun dönem işlevini korumasını engeller (44). Son yıllarda, bitiş çizgileri CAD programları kullanılarak, manuel olarak tasarlanmış ve işlenmiştir; ancak bu tekrarlayan ve zaman alıcı bir işlemdir (45). Choi ve arkadaşları, derin öğrenme ile oluşturulmuş yazılımın marjinal çizginin tespitini geleneksel CAD yazılımıyla karşılaştırmıştır ve istatistiksel olarak YZ'nin daha doğru sonuçlar gösterdiğini belirtmişlerdir. Bu, hem derin öğrenmeyi hem de bilgisayar destekli tasarım yöntemlerini entegre eden hibrit bir yaklaşımın, minimum ayarlama gerektiren sağlam ve hassas bitiş çizgileri çıkarılmasına izin verebileceği anlamına gelmektedir (46).

### 1.4. Materyal Seçimindeki Rolü

Yapay dişler; fonksiyonu, fonasyonu ve estetiği geri kazandırmada yapılacak olan protezin en önemli bileşenleridir (47,48). Birçok materyal yapay diş yapımında kullanılmıştır ancak ideal bir yapay diş materyali arayışı halen devam etmektedir (49). Yapay dişler için kullanılan materyalin iyi bir mekanik, estetik ve fiziksel özelliklere sahip olması gerekir (50).

Kullanılacak olan materyalin yüzey pürüzlülüğü, mikro sertliği gibi restorasyonun uzun dönem başarısını etkileyen faktörlerin protez üzerindeki başarısı doğru parametreler sisteme yüklenerek ve yapay sinir ağları kullanılarak oluşturulan model ile tahmin edilebilir. Yapılacak olan restorasyonun materyal özelliklerinin tespiti için pahalı ve zaman alıcı deneyler yerine yapay sinir ağları kullanılabilir. Ancak diş hekimliği araştırmaları arasında, diş restorasyon malzemesinin tahmini hakkında sınırlı sayıda çalışma vardır (51).

Özkan ve arkadaşları, titanyum alaşımın aşınma tahmini için yapay sinir ağları kullanıp bunun, aşınma kaybını tahmin etmede iyi bir stabiliteye ve yüksek hassasiyete sahip olduğunu tespit etmişlerdir (52). Deniz ve arkadaşları ise yapay dişlerin yüzey pürüzlülüğü ve mikro sertlik tespiti için yapay sinir ağlarından faydalanmış ve minimum hata oranı ile sistemin başarısından bahsetmişlerdir (53).

Matin ve arkadaşları ise metal bir altyapının başarılı bir şekilde dökümü için optimal parametreleri tahmin etmek için YZ modelleri geliştirmişlerdir (54).

### 1.5. Renk Seçimindeki Rolü

Protetik diş tedavisinin önemli yönlerinden biri doğal diş rengini taklit etmektir. Deneyimli bir klinisyen ve diş teknisyeni, gerçek diş rengini tam olarak değerlendirme yeteneğine sahiptir. Ancak bu daha az deneyimli bir diş teknisyeni ve klinisyen için zorlu bir görev olabilmektedir (55). Tüm bunlarla birlikte insan gözü, birçok görsel hataya sahiptir ve çabuk yorulur; bu da bir kuronun renk seçim sürecini zorlaştırabilir (56).

Wei ve arkadaşları, renk seçimi için yapmış oldukları çalışmada yapay sinir ağları ile geleneksel renk seçim tekniğini karşılaştırmış ve yapay sinir ağları ile elde edilen sonuçların daha başarılı olduğunu belirtmiştir (57).

### 1.6. Diş Preparasyon Sürecindeki Rolü

Sabit protetik restorasyonların en temel yönlerinden biri, preparasyon prensiplerini anlamak ve uygulamaktır (58). Başarılı bir restorasyon için doğal diş hazırlığı sabit protezin temellerine uygun bir şekilde yapılmalıdır (59). Ancak diş hekimliği eğitiminde preparasyonun değerlendirilme ölçeklerinin objektif olmaması ve değerlendiriciler arasında uyum gibi faktörler tutarsız olabilmektedir. Bu problemler, güvenilir geri bildirim yapılmasının önüne geçmektedir (60,61). Han ve arkadaşları, diş preparasyon prensiplerinin doğru bir şekilde değerlendirilmesinde YZ kullanımının daha doğru bir sonuç verebileceğini belirtmişlerdir. Sonuç olarak diş preparasyon değerlendirmesi için araştırmacı destekli sistemler ile kıyaslanmış olan YZ'nin güvenilir bir araç olduğu ifade edilmiştir (62).

### 1.7. Bağlanma Dayanım Tahmini ile İlgili Rolü



Protetik restorasyonun uzun dönem başarısı için tutuculuğu sağlayan simanınin çekme kuvvetlerine karşı yeterli bağlanma dayanımı göstermesi beklenir. Estetik beklentiler, kolay polisaj ve tamir özelliklerinden dolayı kompozit rezinler, CAD/CAM sistemlerinde yapay kuron materyali olarak kullanılmaktadır. Ancak simante edilen CAD/CAM ile üretilmiş kompozit kuronların bir yıldan daha kısa sürede ayrılma eğilimi vardır ve zirkonyum implant abutmentlerine simante edilen kompozit kuronların ayrılma oranının bir yıl boyunca %80 olduğu bildirilmiştir (63). Bu doğrultuda preparasyon prensiplerine uyulmamasının desimantasyona katkıda bulunduğu belirtilmiştir (64,65). Yamaguchi ve arkadaşları, kompozit kuronların ayrılma olasılığını tahmin etmeyi amaçlamışlardır ve bu doğrultuda yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. Tahmin doğruluğu %98.5 olarak hesaplanmıştır. Çalışmada desimantasyona katkıda bulunan ana faktörün açıklanmasında bir sınırlama olduğunu kabul ederek ana faktörün belirlenmesinin zor olduğunu belirtmişlerdir (66).

## **2. İmplant Tedavisindeki Rolü**

YZ, konik ışınli bilgisayarlı tomografi (CBCT) görüntülerini analiz ederek implant yerleşimini ve planlamasını optimize etmek için kullanılmıştır. İmplant yerleşimi için en ideal konumu ve açığı belirlemeye yardımcı olabilir ve prognozun genel başarı oranını iyileştirebilir (67). Ayrıca CBCT görüntülerini kullanarak hem kemik miktarını hem de kalitesini analiz edebilir; ileride oluşabilecek kemik kayıplarını veya patolojik alanları tespit edebilir (68).

YZ ayrıca operasyon sırasında implantın primer stabilizasyonunu tahmin etmek için de kullanılmaktadır. Hasta verileri, kemik yoğunluğu, implant uzunluğu ve çapı gibi faktörleri analiz ederek implant başarı olasılığını tahmin edebilir. Bu, klinisyenlerin implant prosedürlerini planlarken daha bilinçli kararlar almalarına yardımcı olabilir ve hastalara tedavilerinin olası sonuçları hakkında daha doğru bilgiler sağlayabilir (69).

Lee J ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada radyolojik verilerden yararlanılarak implantları kategorize etmek için yapay sinir ağları kullanılmıştır. Çalışmanın bulgularına göre YZ'nin implant prosedürlerini kategorize etmede insanlar kadar iyi olduğu belirtilmiştir (70).

## **3. Hareketli Protetik Diş Tedavisinde Rolü**

Hareketli bölümlü protez tasarımında YZ kullanılması için mevcut dişlerin yeri, okluzyonu ve sabit protetik restorasyonların durumu hakkındaki bilgiler algoritmaya eklenmelidir. Bu konu hakkında yapılmış çalışmalarda, hareketli bölümlü protez için vaka tabanlı yazılım programı geliştirilmiştir (71). 104 hasta üzerinde yapılan çalışmada YZ ile üretilen hareketli protezler geleneksel yolla üretilen hareketli protezle ile karşılaştırılmış ve doğruluk payı %96 olarak bulunmuştur (72). Bu konuda yapılan diğer bir çalışmada ise tasarımlar metinsel formata dönüştürülmüş ve sürecin tam otomasyonuna izin verilmiştir. 112 hasta üzerinde yapılan çalışmada mandibular için %100, maksilla için %75 tasarım





doğruluk oranları belirlenmiştir (73). Hareketli protetik restorasyonlarda kullanılan YZ uygulamaları için en büyük sorun yazılım programını oluşturan tasarım kurallarıdır (71).

Daha önceki yıllarda yapılan çalışmalar belirli bir tasarım felsefesine ve belirlenmiş ders kitaplarına dayanmaktadır. Bu da hareketli bölümlü protezler için bilimsel bir fikir birliğinin olmadığını göstermektedir (74). Tüm bunlarla birlikte hareketli protezlerde YZ, tasarım işlevine ek olarak tedavi alternatiflerini hasta ve hekim için görselleştirmek, tasarımları elektronik ortamda iletmek, klinik denetimler için kayıt altına almak ve eğitim sunmak için kullanılabilir (75).

#### 4. Maksillofasiyal Protezler Üzerindeki Rolü

Maksillofasiyal protez rehabilitasyonu, yüz anomalileri ile oluşan defektleri veya yaralanma ve kaza sonucu kaybolan fasiyal dokulardaki işlevi ve estetiği kazandırmayı amaçlar. Travma, kanser ve konjenital hastalıklar nedeniyle maksillofasiyal deformiteler gelişir. Deformite kaynaklı estetik ve psikolojik sorunlar nedeniyle, bu tür kusurlar sıklıkla yüksek kaliteli hassas protez tasarımı gerektirir (76). Birçok durumda maksillofasiyal anomaliler yeniden yapılandırılırken mükemmel estetik sonuçlar elde etmek zor olabilir. Araştırmacılar, işlevi ve estetiği iyileştirmek için protez restorasyonlarla hastaları rehabilite etmek için çeşitli alternatifler sunar (7).

Dijital teknoloji, ekstraoral implantların dijital olarak planlanmasına ve yerleştirilmesine, maksillofasiyal protezlerin tasarlanmasına ve üretilmesine olanak tanır. Geleneksel yöntemlerle elde edilen maksillofasiyal protezler için balmumu kalıpları kullanılır (77,78). CAD/CAM teknolojisi kullanıldığında hastanın manyetik rezonans ve bilgisayarlı tomografi görüntüleme teknikleri (MR ve BT) ile elde edilen verileri modele çevrilir. Elde edilen modeller doğrudan balmumu ve akrilik reçineye basılır ve daha sonra çoğaltma prosedürleri ile balmumu kalıbına çevrilir. Ancak bu sistemde cilt eğrilikleri tam olarak stimüle edilemez, balmumu kalıbı defektli bölgeye yerleştirilir ve manuel uygulamalar ile uyumlamalar yapılır (79,80). Hastaların estetik beklentilerini karşılayabilmek için protezin renklendirilmesi ve cilt rengine yakın renk olması önemlidir. Kurt ve arkadaşları, bunun için yaptıkları çalışmalarında YZ algoritması kullanmıştır. Sinir tabanlı model ile gereken pigment miktarı hesaplanmış ve maksillofasiyal protezde kullanılmak için cilt rengi tespiti yapılmıştır. Kurt ve arkadaşları, maksillofasiyal protezlerin rengini tahmin etmede yapay sinir ağları ile elde edilen verilerin daha iyi performans gösterdiğini belirtmiştir (81).

YZ maksillofasiyal alanda potansiyelini gösterdiği bir diğer konu ise yaklaşık kırk yıldır bilim insanlarını büyüleyen yapay koku sensörleridir. Elektronik burun modeli, çeşitli elektronik sensörlerin kullanıldığı, insan koku alma algılama sistemini taklit eden, yapay bir koku alma sistemi örneğidir. Bu teknoloji; hastalık teşhisi, çevresel izleme, kamu güvenliği, gıda endüstrisi ve tarımsal üretim gibi çeşitli sektörlerde kullanılabilir (82).

#### 5. Diş Hekimliği Eğitimindeki Rolü



YZ, hem lisans hem de lisansüstü düzeyde diş hekimliği öğrencilerine rehberlik etmek için bir eğitim aracı olarak kullanılabilir. Teşhis, tedavi planlaması ve hatta prosedürlerin yürütülmesi gibi diş hekimliğinin çeşitli yönlerinin öğretilmesine yardımcı olabilir. Örneğin sanal simülatörler, diş hekimliği öğrencilerinin prosedürleri güvenli ve kontrollü bir ortamda uygulamalarına yardımcı olmak için kullanılabilir ve bu sayede gerçek hastalar üzerinde prosedürleri uygulamadan önce becerilerini geliştirebilirler. YZ destekli eğitim yazılımları, her öğrenci için kişiselleştirilmiş öğrenme deneyimleri sunarak müfredatı öğrencilerin bireysel ihtiyaçlarına ve yeteneklerine göre uyarlayabilir. Ek olarak notlandırma ve değerlendirmede yardımcı olabilir; öğrencilerin performanslarının nesnel ve standartlaştırılmış değerlendirmelerini sağlayabilir (83).

## SUMMARY / SONUÇ

YZ; tanı, tedavi planlama, protez tasarımı ve hasta deneyimini iyileştirerek diş hekimliği alanında devrim yaratma potansiyeline sahiptir. İlerleyen teknoloji ile birlikte YZ'nin protetik diş hekimliği alanındaki rolü giderek artmaktadır. Gün geçtikçe bu alandaki çalışmalar da yaygınlaşmaktadır. YZ, klinisyenin yerini alan bir araç olarak değil; diş hekimlerinin işlerini profesyonelce yapmalarına yardımcı olabilecek bir araç olarak görülmelidir. YZ çalışmaları için standartlaştırılmış bir raporlama protokolünün benimsenmesi, belirli ilgi alanlarındaki etkinliği hakkında sağlam bir kanıt tabanı oluşturmak için önemlidir.

## Acknowledgements / Teşekkürler

*Funding: None*

*Conflict of interest: None*

## References / Referanslar

1. Holzinger A, Langs G, Denk H, Zatloukal K, Müller H. Causability and explainability of artificial intelligence in medicine. Wiley Interdiscip Rev Data Min Knowl Discov. 2019 Jul-Aug;9(4):e1312.
2. Bhatia A.P, Tiwari S. Artificial intelligence: an advancing front of dentistry. Acta Sci Dent Sci, 2019;3:135-8.
3. Khanna SS, Dhaimade PA . Artificial intelligence: transforming dentistry today. Indian J Basic Appl Med Res, 2017;6.3: 161-167.



4. McCarthy J. Artificial intelligence, logic, and formalising common sense. Machine Learning and the City: Applications in Architecture and Urban Design. 2022;69-90.
5. Samuel AL. Some studies in machine learning using the game of checkers. IBM J Res Dev. 1959;3(3):210-29
6. Howard J. Artificial intelligence: Implications for the future of work. Am J Ind Med. 2019;62(11):917-26.
7. Singi SR, Sathe S, Reche AR, Sibal A, Mantri N. Extended Arm of Precision in Prosthodontics: Artificial Intelligence. Cureus. 2022 Nov 1;14(11):e30962.
8. Chen YW, Stanley K, Att W. Artificial intelligence in dentistry: current applications and future perspectives. Quintessence Int. 2020;51(3):248-257.
9. Rekow ED. Digital dentistry: The new state of the art - Is it disruptive or destructive? Dent Mater. 2020 Jan;36(1):9-24.
10. Khanagar SB, Al-Ehaideb A, Maganur PC, Vishwanathaiah S, Patil S, Baeshen HA, Sarode SC, Bhandi S. Developments, application, and performance of artificial intelligence in dentistry - A systematic review. J Dent Sci. 2021 Jan;16(1):508-522.
11. Ahmed N, Abbasi MS, Zuberi F, Qamar W, Halim MSB, Maqsood A, Alam MK. Artificial Intelligence Techniques: Analysis, Application, and Outcome in Dentistry-A Systematic Review. Biomed Res Int. 2021 Jun 22;2021:9751564.
12. Mohri M, Rostamizadeh A, Talwalker A. Foundations of Machine Learning. 2nd ed. Cambridge, MA: MIT Press; 2018
13. Meyers AR, Al-Tarawneh IS, Wurzelbacher SJ, Bushnell PT, Lampl MP, Bell JL, Bertke SJ, Robins DC, Tseng CY, Wei C, Raudabaugh JA, Schnorr TM. Applying Machine Learning to Workers' Compensation Data to Identify Industry-Specific Ergonomic and Safety Prevention Priorities: Ohio, 2001 to 2011. J Occup Environ Med. 2018 Jan;60(1):55-73.
14. Choy G, Khalilzadeh O, Michalski M, et al. Current applications and future impact of machine learning in radiology. Radiology. 2018;288(2):318-328.
15. Hinton G, Sejnowski TJ. Unsupervised Learning: Foundations of Neural Computation. Cambridge, MA: MIT Press; 1999.



16. James G, Witten D, Hastie T, Tibshirani R. An Introduction to Statistical Learning. New York, NY: Springer Science; 2017.
17. Ng A. What artificial intelligence can and can't right now. Harv Bus Rev. 2016.
18. Chapelle O, Schölkopf B, Zien A. Semi-supervised Learning. Cambridge, MA: MIT Press. 2006
19. Kelleher JD, Tierney B. Data Science. Cambridge, MA: MIT Press. 2018.
20. Johnson, K. Alexa scientists reduce speech recognition errors up to 22% with semi-supervised learning. Ventur. Beat. 2019
21. Varian HR. Artificial intelligence, economics, and industrial organization. Cambridge, MA, USA: National Bureau of Economic Research. 2018.
22. Knight W. 10 breakthrough technologies: Reinforcement learning. 2017.
23. McCulloch WS, Pitts W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. 1943. Bull Math Biol. 1990;52(1-2):99-115; discussion 73-97.
24. Aggrawal CC. Neural Networks and Deep Learning. A Textbook. New York, NY: Springer. 2018.
25. Chuang CL, Huang ST. A hybrid neural network approach for credit scoring. Expert Systems. 2011;28.2:185-196.
26. Zarra T, Galang MG, Ballesteros F Jr, Belgiorio V, Naddeo V. Environmental odour management by artificial neural network - A review. Environ Int. 2019 Dec;133(Pt B):105189.
27. Le TH. Applying artificial neural networks for face recognition. Advances in Artificial Neural Systems. 2011;1:673016.
28. Scotti L, Ishiki H, Mendonça Júnior FJ, da Silva MS, Scotti MT. Artificial Neural Network Methods Applied to Drug Discovery for Neglected Diseases. Comb Chem High Throughput Screen. 2015;18(8):819-29.
29. Krizhevsky A, Sutskever I, Hinton G. ImageNet classification with deep convolutional networks. Proceedings of Advances in Neural Information Processing Systems. 2012;25:1090-1098.
30. Kim M, Yun J, Cho Y, Shin K, Jang R, Bae HJ, Kim N. Deep Learning in Medical Imaging. Neurospine. 2019 Dec;16(4):657-668



31. Carlsson GE, Omar R. Trends in prosthodontics. *Med Princ Pract*. 2006;15(3):167-79.
32. Chau RCW, Hsung RT, McGrath C, Pow EHN, Lam WYH. Accuracy of artificial intelligence-designed single-molar dental prostheses: A feasibility study. *J Prosthet Dent*. 2024 Jun;131(6):1111-1117.
33. Sikri A, Sikri J, Gupta R. Artificial intelligence in prosthodontics and oral implantology—a narrative review. *Glob Acad J Dent Oral Health*. 2023;5(2):13-9.
34. Leitão CIMB, Fernandes GVO, Azevedo LPP, Araújo FM, Donato H, Correia ARM. Clinical performance of monolithic CAD/CAM tooth-supported zirconia restorations: systematic review and meta-analysis. *J Prosthodont Res*. 2022;66:374–84
35. Liu CM, Lin WC, Lee SY. Evaluation of the efficiency, trueness, and clinical application of novel artificial intelligence design for dental crown prostheses. *Dent Mater*. 2024;40:19–27.
36. Chen Y, Lee JKY, Kwong G, Pow EHN, Tsoi JKH. Morphology and fracture behavior of lithium disilicate dental crowns designed by human and knowledge-based AI. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2022;131:105256.
37. Cho JH, Yi Y, Choi J, Ahn J, Yoon HI, Yilmaz B. Time efficiency, occlusal morphology, and internal fit of anatomic contour crowns designed by dental software powered by generative adversarial network: a comparative study. *J Dent*. 2023;138:104739.
38. Teng TY, Wu JH, Lee CY. Acceptance and experience of digital dental technology, burnout, job satisfaction, and turnover intention for Taiwanese dental technicians. *BMC Oral Health*. 2022;22:342.
39. Litzenburger AP, Hickel R, Richter MJ, Mehl AC, Probst FA. Fully automatic CAD design of the occlusal morphology of partial crowns compared to dental technicians' design. *Clin Oral Invest*. 2013;17:491–6.
40. Zhang B, Dai N, Tian S, Yuan F, Yu Q. The extraction method of tooth preparation margin line based on S-Octree CNN. *Int J Numer Method Biomed Eng*. 2019 Oct;35(10):e3241.
41. Jreige CS, Kimura RN, Segundo ÂRTC, Coachman C, Sesma N. Esthetic treatment planning with digital animation of the smile dynamics: A technique to create a 4-dimensional virtual patient. *J Prosthet Dent*. 2022 Aug;128(2):130-138.
42. Pareek, M, Kaushik B. Artificial intelligence in prosthodontics: a scoping review on current applications and future possibilities. *Int J Adv Med*. 2022;9(3):367-70.



43. Alexander B, John S, Aralamoodu PO. Artificial intelligence in dentistry: Current concepts and a peep into the future. Int J Adv Res. 2008;6(12):1105-1108.
44. Larson TD. The clinical significance of marginal fit. Northwest Dent J. 2012;91:22.
45. Mai HN, Han JS, Kim HS, Park YS, Park JM, Lee DH. Reliability of automatic finish line detection for tooth preparation in dental computer aided software. J Prosthodont Res. 2023;67:138-43.
46. Choi J, Ahn J, Park JM. Deep learning-based automated detection of the dental crown finish line: an accuracy study. J Prosthet Dent. 2023;S0022-3913(23):00769-2.
47. Denli N, Uludağ B, Kılıçarslan MA, Özkan T. Resistance of artificial acrylic resin teeth to staining. Türkiye Klin Dişhek Bil Derg 1996; 2: 38-42.
48. Köksal T, Dikbas I. Color stability of different denture teeth materials against various staining agents. Dent Mater J 2008; 27: 139-144.
49. Imamura, S, Takahashi H, Hayakawa I, Loyaga-Rendon PG, Minakuchi S. Effect of filler type and polishing on the discoloration of composite resin artificial teeth. Dent Mater J 2008; 27: 802-808.
50. Kawano F, Ohguri T, Ichikawa T, Mizuno I, Hasegawa A. Shock absorbability and hardness of commercially available denture teeth. Int J Prosthodont 2002; 15: 243-247.
51. Zheng K, Liu HJ. Investigation on wear prediction model of dental restoration material based on ensemble learning. Mater Res Innov 2014; 18: 987-991.
52. Özkan G, Aliplik Akın B, Özkan G. The prediction of chemical oxygen demand (cod) or suspended solid (ss) removal using statistical methods and the artificial neural network in the sugar industrial wastewaters. J Eng Appl Sci 2013; 8: 978- 983.
53. Deniz ST, Ozkan P, Ozkan G. The accuracy of the prediction models for surface roughness and micro hardness of denture teeth. Dent Mater J. 2019 Dec 1;38(6):1012-1018.
54. Matin I, Hadzistevic M, Vukelic D, Potran M, Brajlili T. Development of an expert system for the simulation model for casting metal substructure of a metal-ceramic crown design. Comput Methods Programs Biomed. 2017 Jul;146:27-35.
55. Bauer FX, Gau D, Guell F, Eblenkamp M, Loeffelbein DJ. Automated detection of alveolar arches for nasoalveolar molding in cleft lip and palate treatment. Curr Dir Biomed Eng. 2016;2:701-5.



56. Ghods K, Azizi A, Jafari A, Ghods K. Application of Artificial Intelligence in Clinical Dentistry, a Comprehensive Review of Literature. J Dent (Shiraz). 2023 Dec 1;24(4):356-371.
57. Wei J, Peng M, Li Q, Wang Y. Evaluation of a Novel Computer Color Matching System Based on the Improved Back-Propagation Neural Network Model. J Prosthodont. 2018
58. Liu L, Zhou R, Yuan S, Sun Z, Lu X, Li J, et al. Simulation training for ceramic crown preparation in the dental setting using a virtual educational system. Eur J Dent Educ. 2020;24:199-206.
59. Shillingburg HT, Hobo S, Whitsett LD, Jacobi RBS. Fundamentals of fixed prosthodontics 3rd edition 1997.
60. Kateeb ET, Kamal MS, Kadamani AM, Abu Hantash RO, Abu Arqoub MM. Utilising an innovative digital software to grade pre-clinical crown preparation exercise. Eur J Dent Educ. 2017;21:220-7.
61. Feil PH, Gatti JJ. Validation of a motor skills performance theory with applications for dental education. J Dent Educ. 1993;57:628-33.
62. Han S, Yi Y, Revilla-León M, Yilmaz B, Yoon HI. Feasibility of softwarebased assessment for automated evaluation of tooth preparation for dental crown by using a computational geometric algorithm. Sci Rep. 2023;13:11847.
63. Schepke U, Meijer HJ, Vermeulen KM, Raghoobar GM, Cune MS. Clinical bonding of resin nano ceramic restorations to zirconia abutments: a case series within a randomized clinical trial. Clin Implant Dent Relat Res. 2016;18:984-92.
64. Rosentritt M, Preis V, Behr M, Krifka S. In-vitro performance of cad/cam crowns with insufficient preparation design. J Mech Behav Biomed Mater. 2019;90:269-74.
65. Yang Y, Yang Z, Zhou J, Chen L, Tan J. Effect of tooth preparation design on marginal adaptation of composite resin CAD-CAM onlays. J Prosthet Dent. 2020;124:88-93.
66. Yamaguchi S, Lee C, Karaer O, Ban S, Mine A, Imazato S. Predicting the debonding of cad/cam composite resin crowns with ai. J Dent Res. 2019;98:1234-8.
67. Shen KL, Huang CL, Lin YC, Du JK, Chen FL, Kabasawa Y, Chen CC, Huang HL. Effects of artificial intelligence-assisted dental monitoring intervention in patients with periodontitis: A randomized controlled trial. J Clin Periodontol. 2022 Oct;49(10):988-998.





68. Javaid M, Haleem A, Pratap Singh R, Suman R. Pedagogy and innovative care tenets in COVID-19 pandemic: An enhance way through Dentistry 4.0. *Sens Int.* 2021;2:100118.
69. Lahoud P, Jacobs R, Boisse P, EzEldeen M, Ducret M, Richert R. Precision medicine using patient-specific modelling: state of the art and perspectives in dental practice. *Clin Oral Investig.* 2022 Aug;26(8):5117-5128.
70. Lee JH, Jeong SN. Efficacy of deep convolutional neural network algorithm for the identification and classification of dental implant systems, using panoramic and periapical radiographs: A pilot study. *Medicine (Baltimore).* 2020 Jun 26;99(26):e20787.
71. Ali IE, Tanikawa C, Chikai M, Ino S, Sumita Y, Wakabayashi N. Applications and performance of artificial intelligence models in removable prosthodontics: A literature review. *J Prosthodont Res.* 2024 Jul 8;68(3):358-367.
72. Ayodele TO. Types of machine learning algorithms. In: Zhang Y, editor. *New Advances in Machine Learning*, 2010, p. 19-48.
73. Chen Q, Lin S, Wu J, Lyu P, Zhou Y. Automatic drawing of customized removable partial denture diagrams based on textual design for the clinical decision support system. *J Oral Sci.* 2020;62:236-8.
74. Revilla-León M, Gómez-Polo M, Vyas S, Barmak AB, Gallucci GO, Att W, et al. Artificial intelligence models for tooth-supported fixed and removable prosthodontics: A systematic review. *J Prosthet Dent.* 2023;129:276-92.
75. Modgil S, Hutton TJ, Hammond P, Davenport JC. Combining biometric and symbolic models for customised, automated prosthesis design. *Artif Intell Med.* 2002;25:227-45.
76. Ariani N, Visser A, van Oort RP, et al.: Current state of craniofacial prosthetic rehabilitation . *Int J Prosthodont.* 2013, 26:57-67.
77. Susic I, Travar M, Susic M: The application of CAD/CAM technology in dentistry . *IOP Conf Ser: Mater Sci Eng.* 2017, 200:12-20.
78. Ciocca L, Mingucci R, Gassino G, Scotti R: CAD/CAM ear model and virtual construction of the mold. *J Prosthet Dent.* 2007, 98:339-43
79. Runte C, Dirksen D, Deleré H : Optical data acquisition for computer-assisted design of facial prostheses . *Int J Prosthodont.* 2002, 15:129-32.



80. Jiao T, Zhang F, Huang X, Wang C: Design and fabrication of auricular prostheses by CAD/CAM system . Int J Prosthodont. 2004, 17:460-3.
81. Kurt M, Kurt Z, Işık Ş. Using deep learning approaches for coloring silicone maxillofacial prostheses: A comparison of two approaches. J Indian Prosthodont Soc. 2023;23:84–9.
82. Jiao T, Zhang F, Huang X, Wang C. Design and fabrication of auricular prostheses by CAD/CAM system. Int J Prosthodont. 2004 Jul-Aug;17(4):460-3.
83. Kirubarajan A, Young D, Khan S, Crasto N, Sobel M, Sussman D. Artificial Intelligence and Surgical Education: A Systematic Scoping Review of Interventions. J Surg Educ. 2022 Mar-Apr;79(2):500-515.