

DERLEME

Diş hekimliğinde yapay zeka uygulamaları

The applications of artificial intelligence in dentistry

Dt. Fatma Yüce

Necmettin Erbakan Üniversitesi
Diş Hekimliği Fakültesi Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi
AD, Konya.

Orcid ID: 0000-0002-9328-4895

Doç. Dr. Melek Taşsöker

Necmettin Erbakan Üniversitesi
Diş Hekimliği Fakültesi Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi
AD, Konya.

Orcid ID: 0000-0002-9328-4895

Geliş tarihi: 29 Eylül 2021

Kabul tarihi: 9 Şubat 2023

doi: 10.5505/yeditepe.2023.05668

Yazışma adresi:

Dt. Fatma Yüce
Necmettin Erbakan Üniversitesi,
Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi
AD, Beyşehir caddesi, Bağlarbaşı Sk., 42090

Meram/ Konya

Tel: 05417331391

E-posta: yucefatma@hotmail.com

ÖZET

Teknolojik gelişmeler hayatın her alanında olduğu gibi sağlık alanında da yeniliklerin ve değişimlerin yaşanmasına sebep olmuştur. Kullanılan tedavi teknikleri ve dental materyaller nedeniyle diş hekimliği mesleği teknolojik gelişmelerden büyük oranda etkilenen bir sağlık alanıdır. Son yüzyılda özellikle yapay zekanın gelişimi diş hekimliği rutin klinik pratiğini ciddi derecede değiştirebilecek niteliktedir. Yapay zeka teknikleri ilk adının duyulmasında bu yana diş hekimliğindeki tüm uygulamalara entegre edilmeye çalışılmıştır. Teşhis koymada, tedavi planlamada ve hasta takip aşamalarında hata payını en aza indirecek, zaman ve maliyet tasarrufu oluşturacak, hekime yardımcı yapay zeka algoritmaları çalışmalarda gelecek vaat eden sonuçlar vermiştir. Özellikle son yıllarda hızlanarak artan teknolojik gelişmelerle birlikte yapılan ilk çalışmalarda kullanılan makine öğrenimi, derin öğrenme gibi teknikler yerini insan beyin sinir sistemini taklit eden yapay sinir ağları kullanılmaya başlanmıştır. Yapay sinir ağları kullanılarak yapılan çalışmalar daha yüksek doğruluk oranı ile sonuçlanmış ve daha başarılı bulunmuştur. Yapay zeka algoritmalarının en çok kullanıldığı alan olan görüntü tanıma sistemleri özellikle diş radyolojisi alanında yapılan çalışmaların hız kazanmasına neden olmuştur. Radyoloji alanında yapılan çalışmalar tüm diş hekimliği branşlarını dolayısıyla tüm diş hekimlerini ilgilendirmektedir. Gelecekte sıklıkla karşımıza çıkacak olan yapay zeka uygulamalarına kayıtsız kalmak mümkün olmayacaktır. Bu derleme çalışmasında yapay zeka ve yapay zekanın diş hekimliği uygulamalarında kullanımı hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Yapay zeka, diş hekimliği, radyoloji.

ABSTRACT

Technological developments have led to innovations and changes in the field of health as well as in all areas of life. Due to the treatment techniques and dental materials used, the profession of dentistry is a health field that is greatly affected by technological developments. Especially in the last century, the development of artificial intelligence is capable of changing the routine clinical practice of dentistry. Artificial intelligence techniques have been tried to be integrated into all applications in dentistry since their first name was heard. Artificial intelligence algorithms that will minimize the margin of error, save time and cost in the diagnosis phase, treatment planning, and patient follow-up phases have yielded promising results in the studies. Especially in recent years, with the accelerated technological developments, techniques such as machine learning and deep learning, which were used in the first studies, have been replaced by artificial neural networks that imitate the human brain nervous system. Studies using artificial neural networks resulted in higher accuracy and were found to be more successful. Image recognition systems, which are the field where artificial intelligence algo-

rithms are used most, have accelerated the studies especially in the field of dental radiology. Studies in the field of radiology concern all dentistry branches, therefore all dentists. It will not be possible to remain indifferent to artificial intelligence applications that will be encountered frequently in the future. In this review study, it is aimed to give information about artificial intelligence and the use of artificial intelligence in dentistry applications.

Key words: Artificial intelligence, dentistry, radiology.

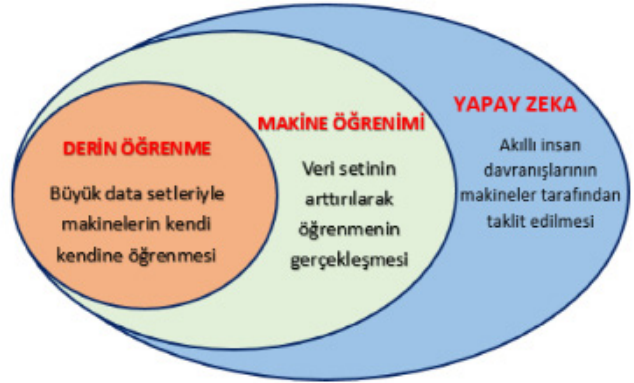
GİRİŞ

Yapay zeka, yazılım programları kullanarak algoritmalar yoluyla makinelerle akıllı insan davranışlarını taklit etme yeteneği kazandıran uygulamalı bir bilgisayar dalıdır.¹ Yapay zekanın temelleri iki önemli bilim insanı, Alan Turing ve John McCarthy, tarafından 1950'li yıllarda atılmıştır. Tarihsel olarak çok uzun süre önce temelleri atılmasına rağmen yapay zeka kışı olarak adlandırılan 1973-1980 ve 1987-1993 arasındaki duraklama dönemleri gelişim sürecinin yavaşlamasına yol açmıştır.² 1990'ların sonunda, IBM şirketi tarafından geliştirilen yapay zeka uygulaması Deep Blue'nun dünya satranç şampiyonu Garry Kasparov'u yenmesinin ardından önemini tekrar geri kazanmaya başlamıştır.³

Genetik algoritmalar, uzman sistemler, bulanık mantık ve yapay sinir ağları yapay zeka yöntemlerinin başlıcalarıdır. Uzman sistemler, bir uzmanın tecrübelerinden veya görüşlerinden faydalanılarak oluşturulan kural tabanlı bir sistemdir. Oluşturulan kurallar neticesinde ve sebep-sonuç ilişkisine bağlı kalarak bir sonuca varılması beklenir. Bulanık mantık, yine kural tabanlı bir sistem olmasına rağmen kurallar kesin hükümler şeklinde değildir. Günlük hayatta kullanılan kesin olmayan kurallar bulanık mantığa örnek olarak verilebilir. Yapay sinir ağlarının temelinde ise beyindeki nöron modeline benzetme vardır. İnsanların öğrenme şekli nöronlara ve nöronların birbiriyle olan bağlantısına bağlıdır. Aynı modelleme ile yapay sinir ağlarının öğrenmesi gerçekleştirilir. Günümüzde yapay zeka yöntemleri tasarım, biyomedikal ve tıp alanları olmak üzere birçok araştırmacının ilgisini çekmektedir.^{4,5}

Yapay zeka uygulamaları günümüzde firmaların topluma sunduğu hizmetlerde sıklıkla başvurduğu sistemlerdir ve farklı şekillerde karşımıza çıkmaktadır. Güvenlik ekranlarının yüz ve ses tanıma sistemleri, mail kutusundaki spam maillerin ayrıştırılması, otonom araçlar, firmaların öneri bildirimleri de dahil hayatın her alanında kendine yer edinmiştir.^{6,7} Yapay zeka her türlü endüstri alanında kullanıldığı gibi tıp/diş hekimliği alanında da kendine uygulama alanları bulmuştur. Sağlık hizmetlerinde yapay zeka, ilaç keşfi, uzaktan hasta izleme, tıbbi teşhis ve görüntüleme, risk yönetimi, giyilebilir cihazlar, sanal asistanlar ve hasta- ne yönetimi gibi birçok uygulamanın önemli bir bileşeni

haline gelmiştir.⁸ Güncel yapay zeka uygulamalarını anlamak için yapay zekanın makine öğrenimi (machine learning), derin öğrenme (deep learning) ve öğrenme aktarımı (transfer learning) gibi temel kavramlarının bilinmesi gereklidir (Şekil 1).



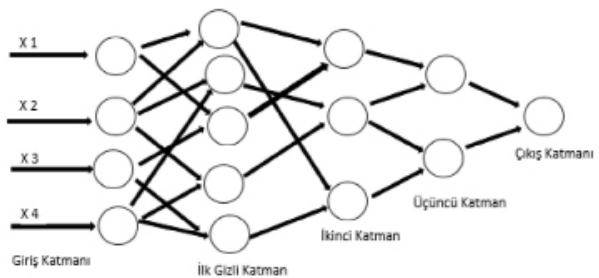
Şekil 1. Yapay zeka, makine öğrenimi ve derin öğrenme arasındaki ilişki.

Makine Öğrenimi (Machine Learning)

Makine öğrenimi, insan zekasını taklit etmek için tasarlanmış, çevredeki ortamdan öğrenerek gelişen bir hesaplama algoritması olup yapay zekanın bir alt dalıdır.^{9,10} 'Problemleri çözen makineleri nasıl yapabiliriz ya da makinelerin kendilerini programlamasını nasıl sağlarız?' soruları makine öğreniminin temelinde yatan sorudur. Klasik formülasyonlar üzerinden işlem yapan makineler yerine makinelerle çoklu örnekler gösterip örnekleri tanıması sağlanır. Sonrasında makinenin karşılaştığı rastgele örnekler içinden geçmiş öğrenme deneyimi ile örnekleri tanıması beklenir.¹¹ Bu mantıkla geliştirilen makine öğrenimine dayalı teknikler, örüntü tanıma, bilgisayarla görme, uzay aracı mühendisliği, finans, eğlence ve hesaplamalı biyolojiden, biyomedikal ve tıbbi uygulamalara kadar çeşitli alanlarda başarıyla uygulanmıştır.¹⁰

Derin Öğrenme (Deep Learning)

Derin öğrenme, makine öğreniminin bir alt dalı olarak görülebilir. Teknik olarak yapay sinir ağlarına göre çok daha büyük bir gelişme olarak kabul edilir. Derin öğrenmede, birden fazla katmana sahip sinir ağlarının oluşturulması sağlanır ve bir önceki katmanın çıktıları bir sonraki katman için girdi olarak kullanılır. Temel olarak bir giriş katmanı, bir çıkış katmanı ve aradaki çok sayıda gizli katmanlardan oluşur.^{12,13} Derin kelimesinin kullanımı algortima yapısındaki mevcut çok sayıda gizli katmanlardan gelmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. 1965 yılında Alexey Grigorevich Ivakhnenko tarafından eğitilen ilk derin ağ mimarisi.

Derin öğrenme sayesinde özellikle bilgisayarla görme alanındaki gelişmeler hız kazanmıştır; görüntü segmentasyonu gibi tıbbi görüntü analizine olanak sağlamıştır. Görüntü kaydı,¹⁴ görüntü birleştirme,¹⁵ görüntü açıklaması,¹⁶ bilgisayar destekli tanı (CADx) ve prognoz,¹⁷ lezyon/yer tespiti¹⁸ ve mikroskopik görüntü analizi günümüzde derin öğrenmenin kullanıldığı alanlardır.¹⁹

Teknolojik olarak bazı gelişmelerin yaşanması derin öğrenmenin başarısında anahtar role sahiptir. Yüksek teknoloji ürünü merkezi işlem birimleri (CPU'lar) ve grafik işleme birimlerindeki (GPU'lar) gelişmeler, büyük miktarda verinin kullanılabilirliği (Big data-Büyük veri) ve öğrenme algoritmalarındaki gelişmeler derin öğrenmeyi başarıya ulaştıran temel detaylardır.^{20,21} Çünkü öğrenmenin gerçekleştirilmesi için büyük miktarda veriyi bilgisayarların işlemesi gerekmektedir.²²

Öğrenme Aktarımı (Transfer Learning)

İnsanlar hayatlarında kullandıkları bir öğrenme biçimi olarak daha önce hiç karşılaşmadıkları problemleri aşmak için zamanında tecrübe ettikleri problemlerin çözümünden faydalanır. İnsanlardaki mevcut olan öğrenme biçiminden esinlenerek geliştirilen öğrenme aktarımı (transfer öğrenme/transfer learning), daha önce öğrenilmiş olan ilgili bir görevden bilginin transferi yoluyla yeni bir görevde öğrenmenin geliştirilmesidir.²³ Çünkü yapay sinir ağlarının en baştan eğitilmesi hem zaman alıcı hem de nispeten zor bir işlemdir. Ayrıca yapay sinir ağlarını eğitmek için çok fazla veriye ihtiyaç duyulmaktadır ancak normal sürede yeteri kadar veriyi toplamak zor olabilir. Daha önceden eğitilmiş Alexnet, VGG, Resnet gibi evrişimli sinir ağları, sınıflandırıcı modellerin çıkış katmanları değiştirilerek kişiselleştirilmiş ağlar oluşturulabilir. Dolayısıyla yüksek performanslı donanımlardan ve zamandan tasarruf edilmiş olur.²⁴

Diş Hekimliğinde Yapay Zeka Uygulamaları

Diş hekimliği mesleğinde bilgi teknolojisinin klinik kullanımını son yıllarda önemli ölçüde artmıştır. Özellikle hızlı bir popülerite yakalayan yapay zeka teknolojileri diş hekimliği alanında da dikkat çekici bir şekilde kullanılmaktadır.²⁵ Teknolojiyi, özellikle yapay zeka teknolojisini tıp ve diş hekimliği uygulamalarında kullanmak klinik iş akışının rahatlmasına, maliyeti, zamanı, insan uzmanlığını ve tıbbi hatayı minimize edebilir. Diş hekimliğindeki uygulamalar, dental patolojilerin teşhisinden orofasiyal ağrının ayırıcı tanısına, radyografik yorumlara, ortodontide yüz büyümesinin tespitinden protetik analizlere kadar değişmektedir.²⁶ Ancak yapay zekanın tanısal önerilerde bulunmada daha önemli bir rol üstlenmeden önce dental radyolojiyi standardize etmenin zorluğu nedeniyle, yapay zekanın dental alandaki klinik doğruluğu çeşitli vakalar ve farklı görüntüleme modaliteleri ile doğrulanmalıdır.²⁷ Yapay

zeka çalışmalarının daha çok iki boyutlu konvansiyonel radyografi teknikleriyle gerçekleştirilmesi üç boyutlu görüntülerin yüksek karmaşıklığına ve ayrıca geniş bir eğitim veri seti ve uygun etiketlerin toplanmasındaki pratik zorluklara atfedilmiştir.²⁸

Diş hekimliğinde yapay zeka uygulamaları tıpta yapılan çalışmaların sonrasında başlamıştır. Ancak özellikle derin öğrenmenin kullanıldığı diş hekimliğinde radyolojik görüntü yorumlama çalışmaları ile literatür dikkate değer bir ilerleme kaydetmiştir.^{29,30} Medikal alanlarda karşılaşılan veri organizasyonundaki yetersizlik ve paylaşımındaki sınırlamaların yanı sıra, veri işleme, ölçme ve doğrulama ile ilgili bilgi eksikliği diş hekimliği araştırmalarında da karşılaşılan eksikliklerdir.^{8,31} Veri iyileştirme ve raporlamada metodolojiyi standartlaştırarak veri miktarını, kalitesini ve okunabilirliğini geliştirmek yapay zekanın gelişmesi için zorunludur. Kapsamlı demografik, klinik, deneysel ve tedavi verilerini içeren açık erişimli standart veri seti oluşturmak, farklı algoritmaların değerlendirilmesini ve karşılaştırmasını kolaylaştırmak için yapay zekanın gelişiminde sonraki aşamalarda çok önemli bir görev olacaktır.³¹

Belirli bir hastalık için teşhis koymanın mantığı, bir klinisyenin hafızasına ve bilişsel önyargısına karşı semptomların, tanısal test sonuçlarının ve diğer faktörlerin analizine dayanmaktadır. Yapay zeka, insan gözlemciler için hantal veya zaman alıcı olan ya da diğer otomatik işleme yöntemlerinin yetersiz performans gösterdiği görüntü işleme türlerinde önemli bir rol oynayabilir.²⁸ Dolayısıyla yapay zeka, yüz binlerce vakayla "eğitildiğinde" en yetkin uzmanın bile klinik deneyimini aşabilmektedir.³² Bu da, yapay zekanın mevcut klinik iş akışına entegrasyonu ile daha doğru ve verimli tanının sağlanacağı anlamına gelmektedir.¹

Ağız, Diş ve Çene Radyolojisinde Yapay Zeka Uygulamaları

Diş hekimliği radyolojisinde yapay zeka üzerine yapılan son araştırmalarda, esas olarak görüntü sınıflandırma, algılama, segmentasyon, kayıt, üretim ve iyileştirme yapabilen evrişimli sinir ağları kullanılmıştır. Radyoloji alanındaki yapay zeka sistemleri, radyografik teşhis, görüntü analizi ve görüntü kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla geliştirilmiştir. İyi sonuçlar elde etmek için ciddi derecede yüksek miktarda veriye ihtiyaç vardır ve oral radyologların araştırmalara katılımı doğru ve tutarlı veri setleri oluşturmak için esastır.^{2,33}

Tanısal radyolojinin dünyada en sık kullanıldığı alan diş hekimliğidir.³⁴ İki boyutlu görüntüleme teknikleri başta olmak üzere üç boyutlu görüntüleme teknikleri ve ileri görüntüleme teknikleri diş hekimliğinde teşhis koymada, tedavi değerlendirme ve takip aşamasında kullanılmaktadır. Elde edilen büyük miktardaki radyolojik veriler yapay zeka çalışmaları için zengin bir kaynak alanıdır. Yapay zeka radyoloji alanında; anatomik landmarkların belirlenmesi,³⁵ diş segmentasyonları ve numaralandırma,³⁶ diş kök morfolo-

jilerinin belirlenmesi,³⁷ periapikal patoloji tespiti,³⁸ kemik kalitesi değerlendirme,³⁹ pulpa kalsifikasyonu tespiti,⁴⁰ büyüme-gelişim takibi⁴¹ ve tanısal işlemlerde (çürük, periodontitis vb.)⁴²⁻⁴⁴ kullanılmaktadır.

Singh ve Raza²⁹'nın yaptıkları literatür taramasına göre yapay zeka çalışmaları radyografik olarak en sık panoramik ve KIBT işlemlerde (Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi) görüntüleri ile yapılmıştır. Genel diş hekimliği alanındaki çalışmalar sıklıkla panoramik görüntülemelerle⁴⁵⁻⁴⁸ yürütülse de çürük teşhisi için bite-wing⁴⁹ ve periapikal görüntülemelerle⁵⁰ yapılan; anatomik landmark tespiti için sefalometrik⁵¹; ortodontik gelişim tespiti için el-bilek radyografileriyle⁵² yapılan çalışmalar da mevcuttur.

Diş numaralarının yapay zeka tarafından tespit edilmesi ile ilgili yapılan çalışmaların tanısal doğruluk oranları çok yüksek başarı ile sonuçlanmaktadır. Chandrashekar ve ark.⁵³'nin yaptığı diş numaralandırma çalışmaları %99 doğruluk oranına; Kuwada ve ark.⁴⁸'nin maksilla anterior bölgede süpernumerer diş varlığını tespit ettikleri çalışmaları % 100 lük kesinlik oranına ulaşmıştır. Panoramik radyografiler üzerinden ekstra kök ve vertikal kök kırığı tespiti çalışmaları da yine yüksek doğruluk (%86.9), ve hassasiyet oranı (%98.9) ile sonuçlanmıştır.⁵⁴

Radyoloji alanında yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak iki boyutlu görüntüler kullanılarak yapılmıştır ancak KIBT kesitleriyle yapılan çalışmaların sayısı ciddi oranda artmıştır. Yapay zeka algoritmalarının KIBT kesitlerinde patolojik oluşumları anatomik yapılardan ayırt edebilmesi, dişleri numaralandırabilmesi, kök kanal morfolojisinin görselleştirebilmesi amaçlanmıştır. Lahoud ve ark.⁵⁵ yapay zekanın tomografi kesitlerinde dişleri ve diş köklerini belirlemede % 95 oranında başarılı olduğunu tespit etmişlerdir. Setzer ve ark.⁵⁶'in periapikal patoloji varlığını belirlemek için yaptıkları çalışmada duyarlılık oranını (% 65) yeterli derecede yüksek olmadığını ancak doğruluk oranını (% 93) yeterli derecede yüksek olduğuna ulaşmışlardır.

Lenf nodu metastaz tespiti, osteoporoz risk tespiti, Sjögren sendromu ve ağız kanseri taramaları radyolojide yapay zeka algoritmalarının kullanıldığı diğer konulardır. Bilgisayarlı tomografi kesitleriyle evrişimli sinir ağlarının kullanıldığı bir çalışmada Sjögren sendromunun % 96 oranında doğru saptandığı belirtilmiştir.⁵⁷ Derin öğrenme metoduyla bilgisayarlı tomografi kesitlerinde lenf nodu metastaz tespiti de yüksek doğrulukla sonuçlanmıştır.⁵⁸ Osteoporoz risk tespitinde derin öğrenme algoritmalarının uzman radyolog kadar başarılı, doğruluk değerlerinin % 92.79 oranında yüksek ve uyumlu olduğu görülmüştür.^{47,59}

Ağız, Diş ve Çene Cerrahisinde Yapay Zeka Uygulamaları

Yapay zekanın özellikle robotik cerrahide kullanımı en büyük gelişmelerdendir. Ancak kullanılan tekniklerin ve donanımların yüksek maliyetleri ve doğal karmaşıklığı gibi sorunların üstesinden gelinmesi gerekmektedir.⁶⁰

Üçüncü molar diş çekimleri cerrahi rutininde en sık uygulanan işlemlerden biridir. Hem işlem öncesi komplikasyon riski ve tedavi zorluk derecesinin belirlenmesinde hem de post-operatif yüz şişliğinin belirlenmesinde derin öğrenme modelleri geliştirilmiştir. Derin öğrenme modellerinin yüz şişliğinin belirlenmesinde % 98; komplikasyon riski ve tedavi zorluk derecesini belirlemede % 80, çekim zorluğunu belirlemede % 67 oranında başarılı olduğu gösterilmiştir.⁶¹⁻⁶⁴

Yaygın uygulanan cerrahi prosedürlerinden implant tedavisinde planlama aşamasında kemik yüksekliğinin, genişliğinin ve çevre anatomik oluşumların dikkatlice belirlenmesi gereklidir. Yapay zeka ile gerçekleştirilen çalışmalarda panoramik radyografiler üzerinden dişsiz alanlarda implant planlama, peri-implantitis tespiti ve yapılan implantların model tespiti gerçekleştirilmeye çalışılmıştır.⁶⁵⁻⁶⁷

Temporomandibular eklem (TME) hastalıklarının teşhis edilmesi, implant cerrahisinde kemik kalitesinin belirlenmesi, inferior alveolar sinir dalının tespiti ve segmentasyonu yapay zeka kullanılarak çalışılan diğer cerrahi alanlardır.^{39,68,69} Yapay zeka çalışmalarının doğruluk ve güvenilirlik oranlarının artması sonucu cerrahi alanında kullanılan yapay zeka yöntemlerinin yaygınlaşması beklenmektedir. Yapay zeka sistemlerinin geliştirilmesiyle cerrahi alanında hastalıkların erken ve doğru teşhisinde doğruluk oranını %100'e çıkarılması hedeflenmektedir.

Protetik Diş Tedavisinde Yapay Zeka Uygulamaları

Protetik diş hekimliğinde yapay zeka uygulamaları teşhis ve tedavi planlaması, CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing) uygulamaları, dijital gülüş tasarımı, hareketli ve sabit protez planlama, renk seçimi gibi alanlarda aktif olarak kullanılmaktadır. Kullanılan yapay zeka algoritmalarının etkinliği belli oranda kanıtlanmış olsa da gelişmekte olan algoritmalar ve literatüre yeni eklenen çalışmalar ile etkinliğinin ve güvenilirliğinin artırılması gerekmektedir. Özellikle son yıllarda sabit restorasyonların üretiminde CAD/CAM sistemler yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Geleneksel yöntemlerin aksine daha az zaman alması ve insan hatalarını minimuma indirilmesi sayesinde rutin klinik akışında verimliliği arttıracığı düşünülmektedir.⁵⁴

Endüstride yaygın olarak kullanılan bilgisayarlı renk seçimi nesnel bir tekniktir ve renk üretimi için yıllardır kullanılmaktadır. Diş hekimliğinde özellikle estetik restorasyonlarda daha fazla önem kazanan renk seçimi için yapay sinir ağları eğitilmiş ve görsel renk seçimine göre daha başarılı sonuçlar vermiştir.⁷⁰ Sıklıkla uygulanan protetik restorasyonlardan olan hareketli protezlerin planlanmasında geçmiş hastalara ait hareketli protez tasarımlarına dayalı oluşturulan yapay zeka modelleri de %96 oranında yüksek başarılı sonuçlar vermiştir.^{71,72}

Ortodontide Yapay Zeka Uygulamaları

Ortodontik tanı esas olarak hastanın dental ve tıbbi geçmişi, klinik muayenesine, çalışma modellerine ve radyografik analizlere dayanır.⁷³ Ortodontik malokluzyonların sınıflandırılması, anatomik landmark belirleme, tedavi sonrasında fasiyal değişiklikleri öngörmeyi amaçlayan yapay zeka uygulamaları ve fotoğraflar üzerinden klasifikasyon yapmaya çalışan algortimaller araştırmacıların üzerinde durduğu noktalar olmuştur.⁷⁴⁻⁷⁶ Özellikle sefalometrik analiz ortodontik planlamanın en önemli araçlarından biridir. Sefalometrik analizde anatomik yer işaretlerini belirlemede yapay zeka tabanlı sistemlerin kullanımı hedeflenen konulardan biri olmuştur. Araştırmacılar çalışmalarının sonucunda yapay zekanın anatomik landmark tespitinde ise diş hekimi ile arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmadığını ve diş çekimi ihtiyacını belirlemede % 93 oranında başarılı olduğunu belirtmişlerdir.^{52,77}

Ortodontik cerrahi, yapay zekanın ortodontide kendine uygulama alanı bulduğu diğer bir konudur. Ortodontistlerin rekonstrüksiyon, dijitalize edilmiş tedavi planlaması, kişiye özel cerrahi hazırlık gibi isteklerinin bulunması yapay zeka uygulamalarının ilerlemesine destek sağlamıştır. Robotik cerrahi uygulamalarına yapılan yatırımların yüksek olması ve ortodontik cerrahi vakalarında dijital görüntü ve radyografi veri tabanlarının geniş olması diğer destekleyici faktörlerdendir.⁴⁶ Choi ve ark.⁷⁸'nin yaptıkları çalışmaya göre, ortodontik cerrahi gerektiren ve gerektirmeyen hastayı belirlemede yapay zeka % 96 oranında başarılı olmuştur. Yapay zeka tabanlı kantitatif sistemlerin tekrarlanabilir, pratik ve yüksek doğruluk oranı ortodonti için gelecek vaat etmektedir.

Endodontide Yapay Zeka Uygulamaları

Pulpal ve periapikal patoloji tedavilerinin uygulandığı endodonti alanında kök kanal varyasyonları, tedavilerde kullanılan materyaller ve kanal şekillendirme teknikleri gibi konular genellikle araştırılan ve geliştirilmeye devam edilen konulardır. Kök kanal boyunun doğru tespit edilmesi ve kök kanal giriş yerlerinin doğru belirlenmesi kanal tedavisini başarıya ulaştıracak temel koşullardır. Choi ve ark.⁷⁸'nin yapay zeka yardımı ile kök kanal ağzlarının tespit etmeye çalıştıkları araştırmalarında alt-üst diş ayrımında % 90 doğruluk; kanal ağzı tespitinde % 94 hassasiyet değerleri elde edilmiştir.

En sık mandibular ikinci molarlarda görülen C-şekilli kanal morfolojisi kanal tedavisini zorlaştıran bir varyasyondur. Derin öğrenme metoduyla C-şekilli kanalları % 95 oranında doğru tahmin eden yapay zekanın klinik akışını rahatlatacağı öngörülmüştür.⁷⁹ 305 kök kanalını yapay zeka ile tespit etmeye çalışan Bruellmann ve ark.⁸⁰ bunlardan 287'sini doğru olarak tespit edebilmiş; çalışmanın genel duyarlılık oranı % 94 olarak bildirmiştir. 760 dişin KIBT

görüntülerinin kullanıldığı çalışma sonucunda ise yapay zekanın aksesuar kanalı tespit etme oranı % 86.9 olarak tespit edilmiştir.⁴⁶ Son 5 yılda, endodonti alanında uygulanan yapay zeka modellerini bildiren makalelerin sayısında önemli bir artış olmuştur. Kök kanalı çalışma uzunluğu, dikey kök kırıkları, kök kanal başarısızlıkları, kök morfolojisi; pulpa hastalıklarının saptanması; periapikal lezyonların saptanması ve teşhis edilmesi; postoperatif ağrıyı, ve vaka zorluğunu tahmin etme bu alanda yapılan çalışmaları oluşturmaktadır.⁸¹ Yapılan çalışmaların çoğu (n = 21) evrişimli sinir ağları kullanılarak geliştirilmiştir.⁸¹ Epidemiyolojik araştırmaların sonucunda genel anlamda % 60-85 oranında başarılı olan endodontik tedavilerin yapay zeka destekli sistemler sayesinde başarı yüzdesinin artması umut edilmektedir.⁸²

Restoratif Diş Tedavisinde Yapay Zeka Uygulamaları

Diş çürükleri dünya çapında en yaygın hastalıktır ve diş hekimliği pratiğinde en sık yapılan uygulamalardan biri çürük tespiti ve tedavisidir. Çürük teşhisi için görsel, dokusal veya radyografik tespit yöntemleri kullanılmaktadır. Araştırmacıların yapay zeka alanında en çok üzerinde durduğu konulardan biri radyografiler üzerinden çürük tespitinin yapılması olmuştur. Bite-wing görüntülerini kullanarak deneyimli diş hekimleri ile yapay zeka arasında çürük tespiti doğruluğunu kıyaslayan Cantu ve ark.⁸³ yapay zekanın daha başarılı (%83) olduğu sonucuna ulaşmıştır. Bite-wing görüntülemeler haricinde periapikal ve panoramik radyografilerde de yapay zekanın çürük tespit etme doğruluk oranı (% 68.57-% 99) araştırmacılar tarafından tatmin edilir düzeyde bulunmuştur.⁸⁴

Çürük tespiti için araştırmacılar transilüminasyon metodunu ve fotoğrafları da çalışmalarında kullanmışlardır. İlk yapılan çalışmalardan biri olan çekilmiş diş fotoğraflarıyla yapılan Schwendicke ve ark.⁸⁵'nin çalışmasında tasarladıkları derin evrişimli yapay zeka algoritmasının teşhis performansı kabul edilebilir olsa da klinik kullanım için duyarlılık ve özgüllük oranı güvenilir bulunmamıştır. Moutselos ve ark.⁸⁶ intraoral kamera kullanarak elde ettikleri fotoğraflarla çürük tespit etmek için derin öğrenme metodu tasarlamışlardır. Çalışmada düşük veri sayısından dolayı transfer öğrenme ve veri artırım metodları da kullanmışlardır. Ancak yine de daha fazla fotoğrafın kullanıldığı daha detaylı tasarlanmış yapay zeka metodlarına ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir. Mohammad-Rahimi ve ark.⁴³ 'nin yaptıkları literatür taramasında yapay zeka destekli çürük tespit çalışmalarında en düşük başarı oranı kızılötesi transilüminasyon yöntemiyle olduğunu (%68,0); en yüksek başarı oranının periapikal radyografilerle (%99,2) yapılan çalışmalar olduğunu raporlamışlardır. Araştırmacılar, derin öğrenme destekli yapay zeka modellerinin önümüzdeki yıllarda çürük teşhis yönteminde etkili olacağını belirtmişlerdir.⁵⁰

Periodontolojide Yapay Zeka Uygulamaları

Periodontal hastalıkların etiolojisinde bilinmeyen pek çok etkenin bulunması destek vektör makinesi (support vector machine-SVM) tabanlı karar verme sistemleri tasarımları ile aşılına çalışılmıştır.⁸⁷ SVM tabanlı sistemler % 88.7 doğrulukla periodontitisli bireyleri sınıflandırabilmiştir. Panoramik radyografiler kullanılarak yapılan diğer bir çalışmada periodontal kemik kaybının tespit edilmesi için evrışimli sinir ağları kullanılmıştır.⁸⁸ Evrışimli sinir ağları diş hekimlerine benzer doğrulukta kemik kaybını tespit edebilmiştir. Periodontal olarak hasarlı premolar-molar dişlerin tedavi sonucunda ağızda kalıp kalmama durumunu tespit etmeye çalışan bir algoritma tasarlayan Lee ve ark.⁸⁹ % 82 oranında tutarlı sonuçlara ulaşmışlardır. Periodontal hastalıkların tanısında radyografik veriler dışında ataşman kaybı, sondalamada cep derinliği, sigara, mobilite, plak kontrolü gibi parametrelerin de göz önüne bulundurulması gerektiği için yapılacak yapay zeka çalışmalarına bu verilerin de dahil edilmesi gereklidir.⁹⁰

Pedodontide Yapay Zeka Uygulamaları

Literatürde pedodonti alanında yapılan yapay zeka çalışması oldukça azdır; güncel durumda yapay zekanın en az çalışıldığı diş hekimliği alanını oluşturmaktadır. Khanagar ve ark.⁹¹ın yaptıkları derlemede pedodonti alanındaki araştırmalar sırasıyla diş çürüğü tespiti (n=7), kronolojik yaş tespiti (n=5), çocukların ağız sağlığı durumunun ve tedavi ihtiyaçlarının tahmini (n=2), süt dişlerinde plak tespiti (n=1), fissür örtücülerin tespiti ve sınıflandırılması (n=1), dişlerin otomatik tespiti ve çizelgelenmesi (n=1) gibi alanlara yönelmiştir. Makine öğrenimi kullanarak çocukların ağız sağlığını değerlendiren çalışmaların temel amacı çocukların ağız, diş sağlığı mevcut durumunu ve tedavi ihtiyaçlarını tespit edebilecek bir algoritma geliştirmektir. Geliştirilecek algoritmalar sayesinde hem bireysel hem de toplum düzeyinde ağız sağlığı programlarının planlanması ve değerlendirilmesinde, önleyici stratejilerin geliştirilmesine yardımcı olmak amaçlanmaktadır. Çocuk diş hekimliğinde, yapay zeka uygulamalarının davranış yönlendirme teknikleri, hasta-ebeveyn eğitimi gibi konularda daha fazla geliştirilmesi ve data setlerinin artırılması gereklidir.³³

Adli Diş Hekimliğinde Yapay Zeka Uygulamaları

Adli diş hekimliğinde dişe ilişkin analizler kimlik tespiti çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Birinci molarlar üzerinden yapılan yaş belirleme çalışmasına göre evrışimli sinir ağları yaş belirlemede % 88 doğruluk göstermiştir.⁹² Yine evrışimli sinir ağlarını kullanan Sathyavathi ve Basaran mandibular üçüncü molar dişin gelişim durumuna göre yaş belirlemede doğruluk oranlarının %93 ü geçtiğini belirtmiştir.⁹³ Yapay zeka çalışmalarıyla sadece yaş değil cinsiyet tahmini de yapılmaya çalışılmıştır. Yapay zeka sistemlerinin yaşı ve cinsiyeti tespit etmede oldukça kul-

lanışlı olduğunu belirten Patil ve ark.⁹⁴'nün cinsiyet tahmini için panoramik radyografileri kullanarak yaptığı yapay zeka modellemesi % 75 doğrulukla sonuçlanmıştır.

SONUÇ

Diş hekimliğinin tüm alanlarında hızla gelişen yapay zeka uygulamaları sayesinde tanı ve tedavi hizmetlerinde zaman ve maliyet tasarrufunun yanı sıra geliştirilecek algoritmalar sayesinde erken safhada hastalıkların teşhis edilmesi mümkün olabilecektir. Yakın gelecekte yapay zekâ uygulamalarının daha da gelişeceği, her hasta için rutin kullanılır hale geleceği ve bu sayede minimum hata ve risk ile maksimum hasta memnuniyetine ulaşılacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Shan T, Tay F, Gu L. Application of artificial intelligence in dentistry. *Journal of dental research*. 2021;100(3):232-44.
2. Heo M-S, Kim J-E, Hwang J-J, Han S-S, Kim J-S, Yi W-J, et al. Artificial intelligence in oral and maxillofacial radiology: what is currently possible? *Dentomaxillofacial Radiology*. 2021;50(3):20200375.
3. Murray C, Hoane Jr AJ, Hsu F-h. Deep blue. *Artificial intelligence*. 2002;134(1-2):57-83.
4. Baxt WG. Application of artificial neural networks to clinical medicine. *The lancet*. 1995;346(8983):1135-8.
5. Ergezer H, Dikmen M, Özdemir E. Yapay sinir ağları ve tanıma sistemleri. *PIVOLKA*. 2003;2(6):14-7.
6. Rodan A, Faris H, Alqatawna Jf. Optimizing feed-forward neural networks using biogeography based optimization for e-mail spam identification. *International Journal of Communications, Network and System Sciences*. 2016;9(01):19.
7. Venayagamoorthy GK, Moonasar V, Sandrasegaran K, editors. Voice recognition using neural networks. *Proceedings of the 1998 South African Symposium on Communications and Signal Processing-COMSIG'98 (Cat No 98EX214)*; 1998: IEEE.
8. Hosny A, Parmar C, Quackenbush J, Schwartz LH, Aerts HJ. Artificial intelligence in radiology. *Nature Reviews Cancer*. 2018;18(8):500-10.
9. Bishop CM. Pattern recognition. *Machine learning*. 2006;128(9).
10. El Naqa I, Murphy MJ. What is machine learning? machine learning in radiation oncology: Springer; 2015. p. 3-11.
11. Alpaydin E. Introduction to machine learning: MIT press; 2020.
12. Şeker A, Diri B, Balık HH. Derin öğrenme yöntemleri ve uygulamaları hakkında bir inceleme. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*. 2017;3(3):47-64.
13. Deng L, Yu D. Deep learning: methods and appli-

cations. Foundations and trends in signal processing. 2014;7(3-4):197-387.

14. Wu G, Kim M, Wang Q, Munsell BC, Shen D. Scalable high-performance image registration framework by unsupervised deep feature representations learning. IEEE transactions on biomedical engineering. 2015;63(7):1505-16.

15. Suk H-I, Lee S-W, Shen D, Initiative AsDN. Hierarchical feature representation and multimodal fusion with deep learning for AD/MCI diagnosis. NeuroImage. 2014;101:569-82.

16. Shin H-C, Roberts K, Lu L, Demner-Fushman D, Yao J, Summers RM, editors. Learning to read chest x-rays: Recurrent neural cascade model for automated image annotation. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition; 2016.

17. Suk H-I, Lee S-W, Shen D. Latent feature representation with stacked auto-encoder for AD/MCI diagnosis. Brain Structure and Function. 2015;220(2):841-59.

18. Pereira S, Pinto A, Alves V, Silva CA. Brain tumor segmentation using convolutional neural networks in MRI images. IEEE transactions on medical imaging. 2016;35(5):1240-51.

19. Chen H, Dou Q, Wang X, Qin J, Heng PA, editors. Mitosis detection in breast cancer histology images via deep cascaded networks. Thirtieth AAAI conference on artificial intelligence; 2016.

20. Vincent P, Larochelle H, Lajoie I, Bengio Y, Manzagol P-A, Bottou L. Stacked denoising autoencoders: Learning useful representations in a deep network with a local denoising criterion. Journal of machine learning research. 2010;11(12).

21. Srivastava N, Hinton G, Krizhevsky A, Sutskever I, Salakhutdinov R. Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting. The journal of machine learning research. 2014;15(1):1929-58.

22. Shen D, Wu G, Suk H-I. Deep learning in medical image analysis. Annual review of biomedical engineering. 2017;19:221-48.

23. Pan SJ, Yang Q. A survey on transfer learning. IEEE Transactions on knowledge and data engineering. 2009;22(10):1345-59.

24. Tan Z. Derin öğrenme yardımıyla araç sınıflandırma: Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü; 2019.

25. Khanna S. Artificial intelligence: contemporary applications and future compass. International dental journal. 2010;60(4):269-72.

26. Park WJ, Park J-B. History and application of artificial neural networks in dentistry. European journal of dentistry. 2018;12(04):594-601.

27. Hwang J-J, Jung Y-H, Cho B-H, Heo M-S. An overview of deep learning in the field of dentistry. Imaging science in dentistry. 2019;49(1):1-7.

28. Pauwels R. A brief introduction to concepts and app-

lications of artificial intelligence in dental imaging. Oral Radiology. 2021;37(1):153-60.

29. Schwendicke Fa, Samek W, Krois J. Artificial intelligence in dentistry: chances and challenges. Journal of dental research. 2020;99(7):769-74.

30. Bouletreau P, Makaremi M, Ibrahim B, Louvrier A, Sigaux N. Artificial intelligence: applications in orthognathic surgery. Journal of stomatology, oral and maxillofacial surgery. 2019;120(4):347-54.

31. Buyuk C. Diş Hekimliğinde Yapay Zeka. Yapay Zeka ve Büyük Veri Kitap Serisi 1:Yapay Zeka ve Büyük Veri Teknolojileri Ve Yaklaşımları: Nobel Akademik Yayıncılık; 2020 p:233-56.

32. Horner K. Radiation protection in dental radiology. The British journal of radiology. 1994;67(803):1041-9.

33. Jung S-K, Kim T-W. New approach for the diagnosis of extractions with neural network machine learning. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 2016;149(1):127-33.

34. Leite AF, Van Gerven A, Willems H, Beznik T, Lahoud P, Gaêta-Araujo H, et al. Artificial intelligence-driven novel tool for tooth detection and segmentation on panoramic radiographs. Clinical oral investigations. 2021;25(4):2257-67.

35. Saglam H, Tuğba A, Bayrakdar İ, Bilgir E, Uğurlu M, Çelik Ö, et al. Diş Hekimliğinde Yapay Zeka: Artificial Intelligence In Dentistry. Sağlık Bilimlerinde Yapay Zeka Dergisi (Journal of Artificial Intelligence in Health Sciences) ISSN: 2757-9646. 2021;1(2):26-33.

36. Orhan K, Bayrakdar I, Ezhov M, Kravtsov A, Özyürek T. Evaluation of artificial intelligence for detecting periapical pathosis on cone-beam computed tomography scans. International endodontic journal. 2020;53(5):680-9.

37. Nicolielo LFP, Van Dessel J, Van Lenthe GH, Lambrichts I, Jacobs R. Computer-based automatic classification of trabecular bone pattern can assist radiographic bone quality assessment at dental implant site. The British journal of radiology. 2018;91(1092):20180437.

38. Kim DW, Kim J, Kim T, Kim T, Kim YJ, Song IS, et al. Prediction of hand-wrist maturation stages based on cervical vertebrae images using artificial intelligence. Orthodontics & Craniofacial Research. 2021.

39. Schwendicke F, Rossi J, Göstemeyer G, Elhennawy K, Cantu A, Gaudin R, et al. Cost-effectiveness of artificial intelligence for proximal caries detection. Journal of dental research. 2021;100(4):369-76.

40. Farhadian M, Shokouhi P, Torkzaban P. A decision support system based on support vector machine for diagnosis of periodontal disease. BMC Research Notes. 2020;13(1):1-6.

41. Hung K, Montalvao C, Tanaka R, Kawai T, Bornstein MM. The use and performance of artificial intelligence applications in dental and maxillofacial radiology:

A systematic review. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2020;49(1):20190107.

42. Hiraiwa T, Arijı Y, Fukuda M, Kise Y, Nakata K, Katsumata A, et al. A deep-learning artificial intelligence system for assessment of root morphology of the mandibular first molar on panoramic radiography. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2019;48(3):20180218.

43. Kuwada C, Arijı Y, Fukuda M, Kise Y, Fujita H, Katsumata A, et al. Deep learning systems for detecting and classifying the presence of impacted supernumerary teeth in the maxillary incisor region on panoramic radiographs. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*. 2020;130(4):464-9.

44. Lee J-S, Adhikari S, Liu L, Jeong H-G, Kim H, Yoon S-J. Osteoporosis detection in panoramic radiographs using a deep convolutional neural network-based computer-assisted diagnosis system: a preliminary study. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2019;48(1):20170344.

45. Yasa Y, Çelik Ö, Bayrakdar IS, Pekince A, Orhan K, Akarsu S, et al. An artificial intelligence proposal to automatic teeth detection and numbering in dental bite-wing radiographs. *Acta Odontologica Scandinavica*. 2021;79(4):275-81.

46. Lee J-H, Kim D-H, Jeong S-N, Choi S-H. Detection and diagnosis of dental caries using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. *Journal of dentistry*. 2018;77:106-11.

47. Amasya H, Yildirim D, Aydogan T, Kemaloglu N, Orhan K. Cervical vertebral maturation assessment on lateral cephalometric radiographs using artificial intelligence: comparison of machine learning classifier models. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2020;49(5):20190441.

48. Kunz F, Stellzig-Eisenhauer A, Zeman F, Boldt J. Artificial intelligence in orthodontics. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*. 2020;81(1):52-68.

49. Lee J-H, Han S-S, Kim YH, Lee C, Kim I. Application of a fully deep convolutional neural network to the automation of tooth segmentation on panoramic radiographs. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology and oral radiology*. 2020;129(6):635-42.

50. Lahoud P, EzEldeen M, Beznik T, Willems H, Leite A, Van Gerven A, et al. Artificial Intelligence for Fast and Accurate 3-Dimensional Tooth Segmentation on Cone-beam Computed Tomography. *Journal of Endodontics*. 2021;47(5):827-35.

51. Setzer FC, Shi KJ, Zhang Z, Yan H, Yoon H, Muppapuram M, et al. Artificial intelligence for the computer-aided detection of periapical lesions in cone-beam computed tomographic images. *Journal of endodontics*. 2020;46(7):987-93.

52. Kise Y, Ikeda H, Fujii T, Fukuda M, Arijı Y, Fujita H, et al. Preliminary study on the application of deep learning

system to diagnosis of Sjögren's syndrome on CT images. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2019;48(6):20190019.

53. Arijı Y, Fukuda M, Kise Y, Nozawa M, Yanashita Y, Fujita H, et al. Contrast-enhanced computed tomography image assessment of cervical lymph node metastasis in patients with oral cancer by using a deep learning system of artificial intelligence. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology and oral radiology*. 2019;127(5):458-63.

54. Grischke J, Johannsmeier L, Eich L, Griga L, Haddadin S. Dentronics: Towards robotics and artificial intelligence in dentistry. *Dental Materials*. 2020;36(6):765-78.

55. Zhang W, Li J, Li Z-B, Li Z. Predicting postoperative facial swelling following impacted mandibular third molars extraction by using artificial neural networks evaluation. *Scientific reports*. 2018;8(1):1-9.

56. Orhan K, Bilgir E, Bayrakdar IS, Ezhov M, Gusarev M, Shumilov E. Evaluation of artificial intelligence for detecting impacted third molars on cone-beam computed tomography scans. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*. 2020.

57. Vinayahalingam S, Xi T, Bergé S, Maal T, de Jong G. Automated detection of third molars and mandibular nerve by deep learning. *Scientific reports*. 2019;9(1):1-7.

58. Bayrakdar SK, Orhan K, Bayrakdar IS, Bilgir E, Ezhov M, Gusarev M, et al. A deep learning approach for dental implant planning in cone-beam computed tomography images. *BMC Medical Imaging*. 2021;21(1):1-9.

59. Jaskari J, Sahlsten J, Järnstedt J, Mehtonen H, Karhu K, Sundqvist O, et al. Deep learning method for mandibular canal segmentation in dental cone beam computed tomography volumes. *Scientific reports*. 2020;10(1):1-8.

60. Bas B, Ozgonenel O, Ozden B, Bekcioglu B, Bulut E, Kurt M. Use of artificial neural network in differentiation of subgroups of temporomandibular internal derangements: a preliminary study. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2012;70(1):51-9.

61. 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. *Journal of Prosthodontics*. 2018;27(8):775-83.

62. Chen Q, Wu J, Li S, Lyu P, Wang Y, Li M. An ontology-driven, case-based clinical decision support model for removable partial denture design. *Scientific reports*. 2016;6(1):1-8.

63. Hammond P, Davenport JC, Fitzpatrick F. Logic-based integrity constraints and the design of dental prostheses. *Artificial Intelligence in Medicine*. 1993;5(5):431-46.

64. Khanagar SB, Al-Ehaideb A, Vishwanathaiah S, Maganur PC, Patil S, Naik S, et al. Scope and performance of artificial intelligence technology in orthodontic diagnosis, treatment planning, and clinical decision-making-A systematic review. *Journal of dental sciences*. 2021;16(1):482-92.

- 65.** Choi H-I, Jung S-K, Baek S-H, Lim WH, Ahn S-J, Yang I-H, et al. Artificial intelligent model with neural network machine learning for the diagnosis of orthognathic surgery. *Journal of Craniofacial Surgery*. 2019;30(7):1986-9.
- 66.** Jeon S-J, Yun J-P, Yeom H-G, Shin W-S, Lee J-H, Jeong S-H, et al. Deep-learning for predicting C-shaped canals in mandibular second molars on panoramic radiographs. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2021;49:20200513.
- 67.** Bruellmann D, Tjaden H, Schwanecke U, Barth P. An optimized video system for augmented reality in endodontics: a feasibility study. *Clinical oral investigations*. 2013;17(2):441-8.
- 68.** Boreak N. Effectiveness of Artificial Intelligence Applications Designed for Endodontic Diagnosis, Decision-making, and Prediction of Prognosis: A Systematic Review. *The Journal of Contemporary Dental Practice*. 2020;21(8):926-34.
- 69.** Prados-Privado M, García Villalón J, Martínez-Martínez CH, Ivorra C, Prados-Frutos JC. Dental Caries Diagnosis and Detection Using Neural Networks: A Systematic Review. *Journal of Clinical Medicine*. 2020;9(11):3579.
- 70.** Schwendicke F, Elhennawy K, Paris S, Friebertshäuser P, Krois J. Deep learning for caries lesion detection in near-infrared light transillumination images: A pilot study. *Journal of dentistry*. 2020;92:103260.
- 71.** Moutselos K, Berdouses E, Oulis C, Maglogiannis I, editors. Recognizing occlusal caries in dental intraoral images using deep learning. 2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC); 2019: IEEE.
- 72.** Krois J, Ekert T, Meinhold L, Golla T, Kharbot B, Witte-meier A, et al. Deep learning for the radiographic detection of periodontal bone loss. *Scientific reports*. 2019;9(1):1-6.
- 73.** Lee J-H, Kim D-h, Jeong S-N, Choi S-H. Diagnosis and prediction of periodontally compromised teeth using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. *Journal of periodontal & implant science*. 2018;48(2):114-23.
- 74.** Park Y-H, Kim S-H, Choi Y-Y. Prediction Models of Early Childhood Caries Based on Machine Learning Algorithms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(16):8613.
- 75.** Karhade DS, Roach J, Shrestha P, Simancas-Pallares MA, Ginnis J, Burk ZJ, et al. An Automated Machine Learning Classifier for Early Childhood Caries. *Pediatric Dentistry*. 2021;43(3):191-7.
- 76.** Kim S, Lee Y-H, Noh Y-K, Park FC, Auh Q-S. Age-group determination of living individuals using first molar images based on artificial intelligence. *Scientific reports*. 2021;11(1):1-11.
- 77.** De Tobel J, Radesh P, Vandermeulen D, Thevissen PW. An automated technique to stage lower third molar development on panoramic radiographs for age estimation: a pilot study. *The Journal of forensic odonto-stomatology*. 2017;35(2):42.
- 78.** Patil V, Vineetha R, Vatsa S, Shetty DK, Raju A, Naik N, et al. Artificial neural network for gender determination using mandibular morphometric parameters: A comparative retrospective study. *Cogent Engineering*. 2020;7(1):1723783.