

Diş Hekimliği Eğitiminde Yapay Zeka

Artificial Intelligence In Dental Education

Sinem Coşkun¹

Orcid: 0000-0003-4772-6047

Özlem Coşkun²

Orcid: 0000-0001-8716-1584

İşıl İrem Budakoğlu²

Orcid: 0000-0003-1517-3169

¹Lokman Hekim Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız Diş Çene Radyolojisi Anabilim Dalı; Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıp Eğitimi Ve Bilişimi Anabilim Dalı

²Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıp Eğitimi Ve Bilişimi Anabilim Dalı

Sorumlu Yazar:

Sinem Coşkun

E-posta:

sinem.coskun@lokmanhekim.edu.tr

Anahtar Sözcükler:

Diş Hekimliği, Müfredat, Yeterlik

Keywords:

Dentistry, Competency, Curriculum

Gönderilme Tarihi / Submitted:

23.01.2025

Kabul Tarihi / Accepted:

06.03.2025

Künye:

Coşkun S, Coşkun Ö, Budakoğlu İ. Diş Hekimliği Eğitiminde Yapay Zekâ. Tıp Eğitimi Dünyası, 2025;24(72):11-23

Özet

Amaç: Yapay zekâ, diş hekimliği alanında klinik uygulamalarda hızla kendine yer bulmuş ve çeşitli alanlarda önemli katkılar sağlamıştır. Klinik kullanımının getirdiği faydaların yanı sıra diş hekimliği eğitimi bağlamında otomatik öğrenme sistemleriyle desteklenen ve yapay zekâ tabanlı yazılımlar, halen gelişime açık ve potansiyel vaat eden bir alandır. Diş hekimliği eğitimine yapay zekânın entegrasyonu eğitici ve öğrenciler açısından faydalar sağlayan güncel ve inovatif bir yaklaşımdır. Diş hekimliği fakültelerinde geleneksel eğitim modellerini dönüştürme potansiyeline sahip olan yapay zekâ tabanlı yaklaşımlar öğrenme kalitesini artırmak ve öğrenci başarısını desteklemek amacıyla zeki öğretim sistemlerini devreye sokmaktadır. Bu durum diş hekimliği eğitiminde öğrenme süreçleri, öğretme, ölçme-değerlendirme ve geri bildirim süreçlerinin gözden geçirilmesine ve hatta köklü değişimlere kapı aralayabilecek bir potansiyele sahiptir.

Yöntem: Bu çalışma, 2010-2024 yılları arasında PubMed, Scopus, Google Scholar ve Web of Science veri tabanlarında “diş hekimliğinde yapay zeka,” “diş hekimliği eğitiminde AI,” “oral radyolojide AI” ve “tıp eğitiminde AI” anahtar kelimeleriyle tarama yapılarak gerçekleştirilmiştir. Diş hekimliği eğitiminde yapay zekâ uygulamalarının mevcut durumu ve potansiyel etkilerini incelemektedir. Son zamanlarda yapay zekânın hızla gelişmesiyle birlikte literatürde tıp eğitimi alanında da yaygın kullanımına ilişkin yayınlar artmaktadır. Mezuniyet öncesi eğitim müfredatı, müfredat içeriğinde, ölçme-değerlendirmede, üç boyutlu sanal eğitim ortamları yaratılmasında ve diş hekimliği eğitiminin gelecek perspektifleri açısından yapay zekânın getirdiği yenilikler vurgulanmıştır. Yapay zekânın diş hekimliği eğitimindeki

yeri eğiticiler, öğrenciler ve eğitim sistemleri açısından literatür örnekleriyle paylaşılmıştır.

Bulgular: Tıp eğitiminde yapay zekâ kullanımı sağlık alanında etkin teorik ve pratik eğitim açısından sürekli bir dönüşüm geçirerek kapsamını genişletmektedir. Yapay zekâ destekli uygulama ve yazılımlar ile sanal gerçeklik simülörlerinden haptik cihazlara, robotik hastalara kadar pek çok inovatif yenilik diş hekimliği eğitiminin zorlu klinik öncesi ve klinik eğitim süreçlerine hızla entegre olmaktadır. Bu teknolojiler öğrencilerin beklenen motor beceri seviyesine daha kısa sürede ulaşmalarını sağlamakta ve klinik öncesi dönemde gerçek hasta deneyimine benzer çalışmalar yapmalarına olanak tanımaktadır. Klinik dönemde ise yapay zekâ tabanlı sistemler klinik hataları azaltarak güvenli dental uygulamalar yapılmasına, hasta bulgularının analizinde, tedavi planlamasında karar vermede yardımcı olmakta böylece tedavi kalitesini artırmaktadır. Bu teknolojilerin eğitim, müfredat geliştirilmesi, ölçme değerlendirilmesi gibi süreçlerde kullanımı hem eğiticiler hem de öğrenciler açısından diş hekimliği eğitiminin ilerlemesine önemli katkılar sunmaktadır. Öğrencilerin ve eğiticilerin bu teknolojileri kabul edilebilir bulması eğitim süreçlerinde yapay zekânın etkinliğini artıran başka bir önemli faktördür.

Sonuç: Özellikle yapay zekâ tabanlı teknolojilerin kullanıldığı durumlarda öğrencilerin hasta yönetiminde yüz yüze deneyim kazanmaları oldukça önemli bir faktördür. Yapay zekâ tabanlı uygulamaların kullanıldığı durumlar, yapay zekânın diş hekimliği eğitimindeki yeri, avantaj ve dezavantajları, kısıtlılıkları tartışılmıştır. Yapay zekânın diş hekimliği eğitiminde aktif kullanılması öğrenci merkezli öğrenmeye yönelik olarak yenilikçi bir yaklaşım sağlamaktadır. Eğitime yapay zekânın entegrasyonu hem diş hekimliğinde mezuniyet öncesi eğitiminde hem de yaşam boyu öğrenmede gelecekte klinik uygulamalarda inovatif teknolojilerin etkin bir şekilde kullanılmasını sağlayacaktır.

Abstract

Background: Artificial intelligence (AI) has rapidly gained a foothold in clinical dentistry and has made significant contributions across various domains. In addition to the benefits it brings to clinical practice,

AI applications and AI-supported software in dental education remain an area with potential for further development and promise. The integration of AI into dental education is a contemporary and innovative approach that provides benefits for both educators and students. AI-based approaches, which have the potential to transform traditional educational models in dental schools, are introducing intelligent teaching systems to enhance learning quality and support student success. This has the potential to lead to a reassessment and even profound changes in the learning, teaching, assessment, and feedback processes in dental education.

Methods: This study was conducted by searching PubMed, Scopus, Google Scholar, and Web of Science databases for articles published between 2010 and 2024 using the keywords “artificial intelligence in dentistry,” “AI in dental education,” “AI in oral radiology,” and “AI in medical education.” It examines the current status and potential impacts of artificial intelligence applications in dental education. With the rapid advancement of AI, there has been an increase in publications regarding its widespread use in medical education. Innovations brought by AI are highlighted in pre-graduation education, curriculum content, assessment, creation of 3D virtual learning environments, and future perspectives in dental education. The role of AI in dental education has been shared with examples from the literature, focusing on educators, students, and educational systems.

Results: The use of AI in medical education is continuously expanding, undergoing constant transformation for effective theoretical and practical training in the healthcare field. A range of innovative advancements, from AI-supported applications and software to virtual reality simulators, haptic devices, and robotic patients, are rapidly being integrated into the challenging pre-clinical and clinical education processes of dental education. These technologies enable students to reach the expected motor skill level more quickly and allow them to engage in activities that simulate real patient experiences during the pre-clinical phase. In the clinical phase, AI-supported clinical decision support systems help reduce clinical errors, facilitate safe dental practices, assist in analyzing patient findings, and aid in treatment planning, ultimately

improving treatment quality. The use of these technologies in education, curriculum development, and assessment processes significantly contributes to the advancement of dental education for both educators and students. The acceptance of these technologies by both students and educators is another key factor that enhances the effectiveness of AI in educational processes.

Conclusions: In particular, it is crucial for students to be well-trained in face-to-face patient management, especially when using AI-based technologies. In this context, the use of AI applications, their role in dental education, their advantages and disadvantages, and their limitations have been discussed. The active use of AI in dental education provides an innovative, student-centered approach to learning. The integration of AI into education will not only advance dental education but also ensure the effective use of innovative technologies in clinical applications in lifelong learning.

Yapay zekâ ve İlişkili Tanımlar

Yapay zekâ (AI) insan benzeri zekâ özelliklerini taklit edebilen, öğrenme, problem çözme, karar verme ve dil anlama gibi bilişsel işlevleri yerine getirebilen makineler ve yazılımlar geliştirmeyi amaçlayan bir bilgisayar bilimi alanıdır. Bu alandaki sistemler verileri analiz ederek ve deneyimlerinden öğrenerek insan benzeri davranışlar sergileyebilirler. Bu görevler konuşma tanıma, karar verme, problem çözme, oyun oynama ve hatta dil çevirisi gibi becerileri içerebilir. AI sistemleri insan biliş ve davranışını taklit edecek şekilde tasarlanmıştır ve karmaşık ve tekrarlayan görevleri otomatikleştirmek için güçlü araçlar haline gelmiştir (1). AI, zayıf AI ve güçlü AI olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır. Dar AI satranç oynamak ya da konuşmayı tanımak gibi tek bir görevi yerine getirmek üzere tasarlanmıştır. Finans, sağlık hizmetleri ve perakende gibi çeşitli endüstrilerde yaygın olarak benimsenmiştir. Öte yandan genel AI bir insanın gerçekleştirebileceği her türlü entelektüel görevi yerine getirme potansiyeline sahiptir ancak hala gelişiminin erken aşamalarındadır (2,3). AI teknolojileri bir bilgisayarın eylemlerini yönlendiren talimat setlerinden oluşan algoritmalar tarafından yönlendirilir. AI'da en yaygın kullanılan algoritmalar arasında karar ağaçları, sinir ağları ve derin öğrenme algoritmaları bulunur (2,3,4).

Makine Öğrenimi

Makine öğrenimi yapay zekânın bir alt alanı olup bilgisayarların veriler aracılığıyla deneyim kazanmalarını ve zaman içinde performanslarını artırmalarını mümkün kılar. Bu, algoritmaların geniş veri setlerini analiz etmesi, kalıpları tanımlaması ve açık bir şekilde programlanmadan tahminler veya kararlar alması yoluyla gerçekleştirilir (5).

Derin Öğrenme

Derin öğrenme büyük veri setlerini işleyip analiz etmek için çok katmanlı sinir ağlarını kullanır. Bu sayede bilgisayarlar karmaşık kalıpları tanıyabilir ve sofistike görevleri yerine getirebilir (5,6).

Doğal Dil İşleme

Doğal dil işleme bilgisayarlar insan dilini anlamayı öğretir ve konuşma tanıma, duygu analizi, dil çevirisi gibi görevleri kapsar. Sanal asistanlar ile müşteriler hizmetleri sohbet robotlarında yaygın olarak uygulanır. Benzer şekilde bilgisayarla görme, yapay zekânın görüntü ve videoları tanıma ve anlamaya odaklanan bir başka önemli dalıdır. Bu teknoloji nesne tanıma, görüntü sınıflandırma ve hatta otonom araçlar gibi uygulamalarda kullanılır (7). Robotik, yapay zekânın insan benzeri görevleri yerine getirebilen robotlar tasarlamayı ve inşa etmeyi amaçlayan bir alandır (8). AI yaşam ve çalışma şeklimizi kökten değiştirme potansiyeline sahiptir ve şimdiden birçok sektörde derin bir etki yaratmaktadır. Yapay zekânın doğruluk, verimlilik ve hassasiyet açısından tıbbi uzmanlarla aynı seviyede ancak daha hızlı ve maliyet açısından daha verimli olduğu kanıtlanmıştır (9). Ancak yapay zekâ kullanılmasından kaynaklı da iş kaybı, mahremiyet sorunları ve karar alma süreçlerindeki önyargılar gibi etik ve toplumsal kaygılar ortaya çıkmaktadır (10). Araştırmacılar, devlet yöneticileri ve genel kamuoyunun bu sorunları dikkatlice değerlendirmesi ve AI alanı ilerleyip olgunlaştıkça sorumlu uygulamaları teşvik etmesi büyük önem taşımaktadır (10).

AI Nasıl Çalışır?

AI iki aşamada çalışır: İlk aşamada “eğitim” ve ikinci aşamada “test”. Model setinin parametreleri eğitim verileriyle belirlenir. Geriye dönük olarak model hasta verileri veya çeşitli örnekler içeren veri setlerinden elde edilen veriler gibi önceki

örneklerden elde edilen verilerden yararlanır. Bu parametreler daha sonra test setlerine uygulanır. AI programları verilerden öğrenebilir, kalıpları ayırt edebilir ve sonuçlara veya tahminlere ulaşabilir (11). Makine öğrenimi algoritmaları veri kullanarak tahminler veya yargılar yapmayı öğretmeye odaklanır. Tasarlandıkları problemin türüyle ilişkili olarak makine öğrenimi algoritmaları değişkenlik gösterebilir (11). Yapay sinir ağları derin öğrenmede kullanılan ve insan beyninin yapısını ve işleyişini taklit etmek üzere tasarlanmış yapılardır. Bu ağlardan güç alan derin öğrenme algoritmaları, görüntü tanıma gibi görevlerde başarılı bir şekilde uygulanmıştır (12). Doğal dil işleme algoritmaları makine çevirisi, duygu analizi ve metin kategorilendirme gibi çeşitli görevleri yerine getirebilir (12). Robotik robotların geliştirilmesine odaklanan bir alanıdır. Gerçek ortamlarla etkileşim kurabilen robotlar oluşturmak için robotik, AI ile bilgisayarla görme ve mekanik mühendislik gibi diğer teknolojileri birleştirir (13). Bilgisayarla görme, yapay zekânın makinelerin dış dünyadan gelen görsel verileri (örneğin, görüntüler ve videolar) anlamasını ve analiz etmesini sağlamayı amaçlayan bir başka dalıdır. Bilgisayarla görme algoritmaları, nesne tespiti, sahne anlama ve görüntü tanıma gibi çeşitli görevler için kullanılabilir (12). Makine öğrenimi algoritmaları, radyografik taramalar ve diğer görüntüleme verilerinin kısa sürede ve doğruluk oranı yüksek bir şekilde analiz etmek için kullanılmıştır (14).

Yapay Zekânın Farklı Yaklaşımları Nelerdir?

Denetimli öğrenme: Etiketli veriler kullanılarak modelin eğitildiği öğrenme çeşididir. Her örneğe ilişkin bir etiket atanmaktadır. Denetimli bir öğrenme algoritması doğru cevaplarla birlikte sağlanır ve bu bilgiyi kullanarak problemini çözmeyi öğrenir (15). **Denetimsiz öğrenme:** Denetimsiz bir öğrenme algoritması veri odaklı bir süreç olup uzman kontrolü olmaksızın etiket verilmemiş veri kümelerinin analizine dayanmaktadır. Veri veya özellikleri hakkında herhangi bir bilgi verilmeden öğrenir (15). **Pekiştirmeli öğrenme:** Bu AI formu denetimli ve denetimsiz teknikleri aynı anda birleştirir ve yeni davranışlar öğrenerek deneyim yoluyla zamanla performansını deneme-yanılma yoluyla iyileştirmesine olanak tanır. Diğer bir deyişle geleneksel bilgisayar programlarında

olduğu gibi eylemlerini yönlendiren önceden programlanmış kurallar yerine pekiştirmeli öğrenme, geçmiş deneyimlerden gelen geri bildirimlere dayalı esneklik sağlar (15).

AI, Diş Hekimliği ve Diş Hekimliği Eğitimi

AI diş hekimliği alanını önemli ölçüde geliştirme potansiyeline sahiptir. Diş hekimlerinin daha doğru teşhisler koymasına, hastalarına daha iyi bakım sunmasına ve genel verimliliği artırmaya olanak tanır. Yapay zekânın gücünden yararlanarak diş hekimleri, diş hekimliği alanını ilerletebilir ve hastalarına daha iyi bakım sağlayabilir (5). Diş hekimliğinde AI destekli tanı ve tedaviyi desteklemek için yaygın bir hale gelmiştir; ancak bu alandaki gelişmeler hâlâ devam etmektedir. AI diş hekimliğini önemli ölçüde geliştirme ve hasta tedavisini iyileştirme potansiyeline sahiptir. (16). Diş hekimliği alanında AI teşhisler ve tedaviye yönelik analizler, bireysel teşhis ve tedavi planı oluşturulması, dental sorunları için tahmine dayalı modelleme, dijital diş ölçüleri, dental görüntü analizi, tahmine dayalı bakım, klinik karar destek sistemleri, ilaç araştırmaları ve geliştirme, klinik araştırmalar gibi alanlarda farklı diş hekimliği uzmanlık alanlarında kullanılmaktadır (17). Teknolojik ilerlemeler lisans düzeyindeki diş kliniği beceri eğitiminin sunumunu da değiştirmiştir. Çekilen dişlerin hasta ağzını simüle edecek bir modele monte edildiği fantom kafa eğitimi 1900'lü yılların başından bu yana diş hekimliği okullarında klinik beceri eğitiminin temel taşı olmuştur (18). Dersler ve seminerler dahil geleneksel öğretim yöntemleri ve ezberleme ve grup revizyonu gibi öğrenme stratejileri diş hekimliği eğitimi ortamında AI ile geliştirilebilir (19). Bilgi teknolojilerindeki son hızlı gelişmelerle birlikte sanal gerçeklik (VR), artırılmış gerçeklik (AR), karma gerçeklik (MR), metaverse, blok zinciri ve AI gibi alanlarda insan yaşamının çeşitli alanlarında paradigma değişimi başlamıştır. Son zamanlarda bilgisayar destekli VR ve AR simülasyonlar, çeşitli diş hekimliği simülasyonları ile diş hekimliği eğitimine dahil edilmiş olup öğrencilerin çeşitli patolojileri tespit etmek ve tedavisinde gerekli becerileri geliştirebilecekleri güvenli ve destekli bir öğrenme ortamı sağlamaktadır (20). Klinik beceri öğretimi için kullanılan bu sistemlerin önemli bir faydası eş zamanlı eğitim sağlanabilmesi ve öğretimin aktif bir süreç olarak yürütülebilmesinin yanı sıra yazılım tarafından sağlanabilen doğru

geri bildirim öğrencilerin bağımsız olarak eğitim almasına olanak tanırken aynı zamanda gereken klinik mentörlüğün sayısını da azaltır (21). Dış hekimliği eğitimi teorik, klinik öncesi ve klinik eğitimin bir karışımını içerir ve hem didaktik hem de klinik beceri eğitimi kapsar. Dış hekimliği eğitiminde yapay zekânın yönlendirdiği devrim bu temel unsurlar aracılığıyla gözlemlenebilir ve uzun vadeli etkiler doğurabilir (22). AI destekli dış hekimliği eğitiminin mevcut dönüşümü de teorik becerilere etkisi ve pratik/klinik becerilere etkisi açısından incelenebilir. Eğitimde yapay zekânın amacı, insan-bilgisayar etkileşimi ve öğrenme bilimleri aracılığıyla öğrenci öğrenimini geliştiren bir AI-insan hibrit onaylayıcı platformu oluşturmaktır. Öte yandan öğrenme analitiği öğrencilere ve öğrenme ortamlarına ilişkin bilgilerden yararlanarak eğitim planlamak, öğrenme yöntemlerini, ilkelerini ve ortamlarını analiz etmek, tahmin etmek, optimize etmek ve şekillendirmek için çalışır. Öğrenme analitiği derse katılım motivasyonunu artırarak öğrencilerin akademik başarılarını geliştirir (23,24,25). İnovatif yaklaşımların hızla benimsenmesi modern dış hekimliği öğrencilerinin öğrenme deneyimini geliştirebilecek teknoloji destekli öğrenme platformlarının potansiyelini ortaya koymuştur. Dış hekimliğinde yapay zekânın artan kullanımı lisans düzeyindeki dış hekimliği müfredatına uygun bir şekilde entegre edilmesini gerektirmektedir. AI dış hekimliğinde klinik kullanım ve araştırmalarında artan bir eğilimle birlikte muazzam bir gelişme ve büyüme göstermiştir (19).

Dış Hekimliği Eğitiminde AI Uygulamaları

Dış hekimliği eğitimi teorik, pre-klinik ve klinik eğitimi içeren hem didaktik hem de klinik beceri öğretimi kapsayan bir yapıya sahiptir (26). Dış hekimliği eğitimindeki AI destekli devrim bu temel unsurlar üzerinden gözlemlenebilir. Eğitimde AI kullanımı yalnızca öğrenme sürecinin etkinliğini artırmakla sınırlı kalmayıp diğer eğitim alanlarında da giderek yaygınlaşmaktadır. Yapılan araştırmalar yapay zekânın eğitimde, ölçme ve değerlendirme, öğrencilerin devamsızlık ve okuldan ayrılma risklerinin tahmini, öğrenci başarı tahminleri, kişiselleştirilmiş eğitim, emosyonel analiz, akıllı eğitim platformları, sınıf izleme, öneri sistemleri, akıllı okullar, okul yönetimi ve denetim sistemleri gibi çeşitli uygulamalarda etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca ses ve yüz

tanıma teknolojileri ile veri toplama, ders ve konu bazlı eğitim profilleri oluşturma, 3D ve holografik öğrenme ortamları, VR teknolojilerinin eğitimde entegrasyonu, hatta öğretmenlerin yerini alabilecek AI sistemlerinin kullanılması gibi yenilikler eğitim dünyasını dönüştürmeye adaydır (27).

AI Destekli Teorik Eğitim

AI teorik eğitimde eğitim sürecini yönetmek eğitmenleri ve öğretim yöntemlerini desteklemek ve öğrenci öğrenme değerlendirmesini geliştirmek için kullanılmaktadır (23).

AI Destekli Eğitim Yönetim Bilgi Sistemleri:

Eğitim Yönetim Bilgi Sistemi eğitim planlaması ve yönetimi için veri toplama, depolama, işleme, analiz etme ve dağıtma hizmetlerinden oluşan kapsamlı bir bilgi ve dokümantasyon hizmeti koleksiyonudur. Geliştirilen sistemler veri toplama ve işleme süreçlerini iyileştirerek eğitim yönetimini ve sunumunu daha adil, kapsayıcı, açık ve kişiselleştirilmiş hale getirmektedir (23,28).

AI Destekli Eğitmenler ve Öğretim: AI eğitmenlerin eğitimsel ve pedagojik sorumluluklarında onlara destek sağlamak için fırsatlar sunar. AI uygulamaları öğrencilerle insan etkileşimi ve iş birliğini öğretmede yardımcı olur. Araştırma temelli öğrenme modeli, öğrencileri soru sormaya ve eleştirel düşünme yeteneklerini geliştirmeye yönlendirir. AI destekli araştırma odaklı öğretim öğrenciler için sürdürülebilir öğrenmeyi kolaylaştırır (23,29).

AI Destekli Akıllı Öğretim Sistemleri (ITS):

Akıllı Öğretim Sistemlerinin (ITS) birincil amacı öğrencilere özel bir sistem içinde bilgi edinme ve bilgi ile becerilerini geliştirme imkânı sağlamaktır. ITS algılanabilir etkileşimleri mümkün kılmak için dört bağlantılı modüle sahip olacak şekilde tasarlanmıştır: alan modülü, pedagojik modül, öğrenci modülü ve diyalog modülü (30,31). Alan modülü uzmanlık bilgisi ve beceri setlerini nicel değerlendirme, kavramsal eşleştirme ve ilişkiler temelinde değerlendirebilir. Pedagojik modül teknolojiyle desteklenen öğretim yöntemlerini içerir. Öğrenci modülü öğrenci stratejileri, bilgisi ve öğrenme stilleri gibi özellikleri simüle ederek dikkat çekici ve etkileyici bir öğrenme atmosferi oluşturur. Diyalog modülü öğretmen, öğrenci ve bilgisayar arasında üçlü etkileşimli iletişimi kolaylaştırır.

ITS'deki AI entegrasyonu öğrencilerin geri bildirim alması süreçlerinde önemli iyileştirmeler sağlar (30,31).

AI Destekli Öğrenme ve Öğrenme Değerlendirme Sistemleri:

Yapay zekanın diş hekimliği eğitiminde hem öğrenme deneyimini hem de değerlendirme süreçlerini iyileştirme konusunda önemli bir potansiyele sahip olduğu ifade edilebilir. Yapay zekanın öğrenme sürecine derinlemesine entegrasyonu diş hekimliğindeki öğrenme deneyimlerinde dönüşüm sağlayabilir (32). AI entegre edilmiş öğrenme sistemleri öğrencilere kendi başlarına öğrenme, başarılı kullanım örneklerinden dersler çıkarma ve kanıta dayalı uygulamaları takip etme imkânı sunar. Eğitimci öğrencilerin değerlendirilmesinde otomatik notlandırma için AI kullanarak, öğrencilerin niteliklerini çok yönlü ve uzaktan bir şekilde değerlendirilmesini sağlayabilir. AI diş hekimliği öğrencilerinin güçlü ve zayıf yönlerini analiz ederek bireysel ihtiyaçlarına dayalı kişiselleştirilmiş öğrenme planları oluşturmak için kullanılabilir (32).

AI Destekli Metin ve Görsel Üreticiler:

Generatif AI algoritmaları, makine öğrenimi modelleri kullanarak, giriş verilerine dayalı olarak metin veya görsel üretebilir. Bunun bir örneği, OpenAI tarafından geliştirilen ve girişlere karşı insan benzeri metin üreten bir AI destekli sohbet robotu olan ChatGPT'dir. Ayrıca Midjourney AI ve DALL-E2 gibi modeller, generatif AI teknolojisi kullanarak görseller oluşturabilir. Bu modeller, diş hekimliği eğitiminde kullanılmak üzere ayrıntılı eğitim bilgileri, metinler, şemalar ve çizimler oluşturma potansiyeline sahiptir. Böylece hem öğrenciler hem de eğitimci için iletişim, öğretim sistemleri, dersler ve araştırmalar devrim niteliğinde değişebilir (23, 28, 33).

AI Destekli Klinik Öncesi Eğitim Sanal Gerçeklik (VR)

VR üç boyutlu sanal ortamlar yaratan kullanıcıya farklı teknolojileri birleştirerek etkileyici deneyimler sunan bir teknolojik süreçtir (34). AI destekli VR simülörleri diş hekimliği öğrencilerine kontrollü ve güvenli bir ortamda uygulamalı deneyim sunabilir. Bu simülörler diş hekimliği eğitiminde çeşitli prosedürlerin uygulanması için kullanılabilir. Bunlar arasında sinir

bloğu yapma, diş çekme, suture atma, dolgu yapma ve kök kanal tedavisi yer alır. Bu tür uygulamalar öğrencilerin becerilerini büyük ölçüde ilerletebilir ve uygulamalarına anında geri bildirim sağlayabilir (21). VR özellikle anatomi ve varyasyonlar için kafa ve diş simülasyonu, cerrahi simülasyon ve diş implantı eğitimi alanlarında önemli kullanım bulmuştur. Öğrencilerin sanal eğitimler aracılığıyla pratik yaparak deneyim kazanmalarını ve sürekli olarak geribildirim almalarını sağlar.

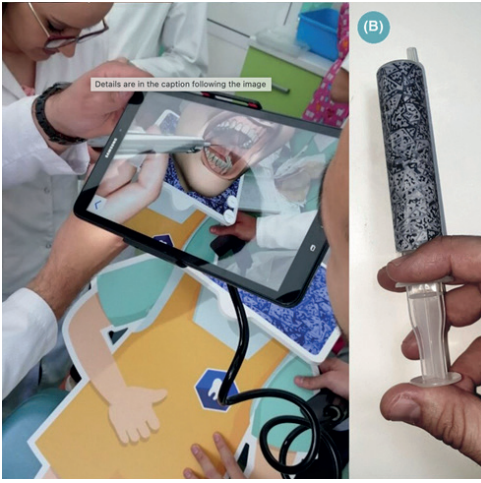


Resim 1: Le Fort 1 osteotomisi cerrahisinin VR gözlük ile sanal ortamda cerrahisi (35)

AI entegrasyonu yönlendirme ve geribildirim sunma konusunda daha etkili destek sağlayabilir. Le Blanc ve arkadaşlarının (36) VR kullanarak günde 6 ila 10 saat boyunca diş hekimliği öğrencilerini eğittikleri ön çalışmalarında öğrencilerin başarılarında belirgin bir gelişme görüldüğünü belirtmişlerdir.

Artırılmış Gerçeklik (AR)

AR dijital içeriği 3D gerçek dünya ortamının üzerine yerleştiren bir teknolojidir. AR teknolojisi bir akıllı telefon veya AR başlığı gibi bir cihazdaki kamera ve sensörler kullanarak kullanıcının gerçek fiziksel ortamlarını tespit eder. Dijital bilgiyi cihazın ekranında görünen gerçek dünya manzarasının üzerine yerleştirir. Bu kullanıcının çevresindeki gerçek ve sanal öğelerle etkileşimde bulunmasına olanak tanır (34,37). Diş hekimliği eğitiminde, AR öğrencilere içeriği anlamaları ve erişmeleri için 360° mekânsal bir çevre sunar. Bu sayede kullanıcının gerçeklik algısını artırır. AR kavite hazırlığı, cerrahi navigasyon, endodonti, ortodonti, ortognatik cerrahide diş implantı planlaması gibi çeşitli uygulamalar için kullanılmıştır (34,37).



Resim 2: (A) AR şemalı plastik modelde ve (B) AR şemalı şırıngada Android cihazlar için AR sistemini kullanan öğrenciler (37)

Karma Gerçeklik (MR)

MR, VR ve AR unsurlarını birleştirerek bir hibrit deneyim yaratır ve sanal nesnelerin yaşıntıda bulunan gerçekliklerle uygun bir entegrasyon içinde birleştirir. MR'de sanal nesneler kullanıcının fiziksel çevresiyle etkileşime girer. Gerçek dünyadaki nesnelerle görsel, işitsel ve dokunsal (dokunma hissi) etkileşimler dahil olmak üzere AR'den farklı yanıtlar ve etkileşimler sağlar.



Resim 3: Kök kanal tedavisi için MR tabanlı destek sisteminin şeması (38)

Dokunsal teknoloji diş hekimliği eğitiminde titreşim veya baskı hissini simüle eder. Bu, canlı bir hasta olmadan diş hazırlığı yapmayı ve lokal anestezi uygulamayı mümkün kılar, öğrencilerin öğrenme deneyimlerini önemli ölçüde geliştirir (23,38).

Genişletilmiş Gerçeklik (XR)

XR dijital ve fiziksel dünyaları bir araya getiren tüm etkileşimli teknolojileri ifade eden

bir terimdir. Bu teknolojiler arasında VR, AR ve MR bulunur. XR gerçeklik ve sanal ortamları entegre ederek kullanıcının gerçeklik algısını genişletmek amacıyla tasarlanmıştır.

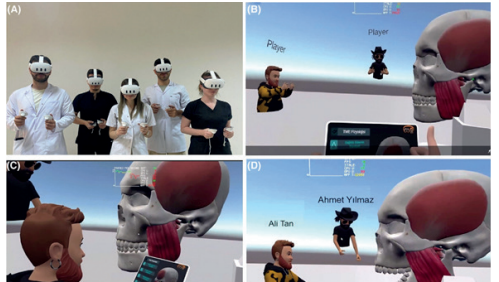


Resim 4: Mobil cihazlarla ve sanal gerçeklik kulaklıklarıyla uyumlu dental anaotmiye ilişkin XR uygulaması (39)

Dijital içerikle deneyimleme ve etkileşim kurma konusunda yenilikçi bir yoldur ve kullanıcılara dijital ortamları daha akıcı ve kullanıcı dostu bir şekilde manipüle etme ve keşfetme imkânı tanır (23, 39).

Metaverse

Metaverse kullanıcıların birbirleriyle ve dijital sanal ortamlarla bağlantı kurmalarına olanak tanıyan gelişmiş bir simülasyon teknolojisidir. Metaverse içinde büyük bir ağıda VR, AR, MR ve XR teknolojileri birleştirilir.

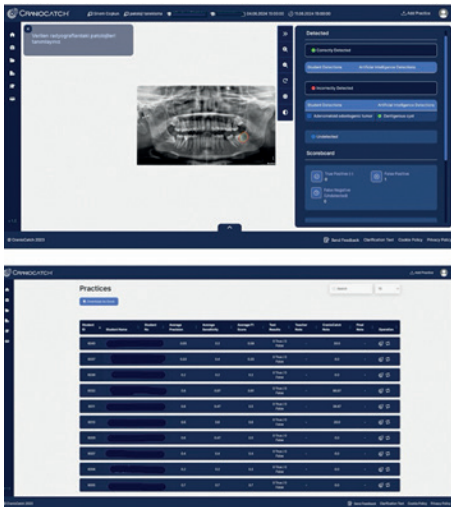


Resim 5: Metaverse ile Temporomandibular eklemin eğitim oturumları (40)

Doğal dünyayı taklit eder ve diş hekimliği eğitimi ve teletıp danışmanlıklarında kullanılabilir. AI ile birlikte blok zinciri teknolojisi ve programlanabilir sözleşmeler, metaverse içinde diş hekimliği uygulamalarını daha erişilebilir hale getirmek için entegre edilebilir. Çeşitli dijital teknolojilerden elde edilen bilgilerin birleşimi, diş hekimliği eğitimi dijital bir şekilde dönüştürür ve öğrenmeyi geliştirmek için öğrenciler ve öğretmenler arasında bir sinerji oluşturur (39,40).

AI destekli diş hekimliği eğitim yazılımı

AI özellikle radyolojik hastalık tespiti ve tedavi planlamasında diş hekimliğinde büyüyen bir alandır. AI algoritmaları diş çürüğü, periapikal lezyonlar, gömülü dişler, anatomik yapıları ve patolojik değişiklikleri doğru bir şekilde segmentleyebilir. AI destekli diş hekimliği eğitim yazılımı öğretmenlerin ders veya sınav hazırlamalarına olanak tanıyan AI tabanlı bir platform sunar. Öğrenciler görüntüler üzerinde anatomik yapıları ve patolojileri çizebilir ve yazılım, AI algoritmalarını kullanarak doğruluklarını değerlendirebilir (41). Öğitmenler ve öğrenciler sorulara anında yorum yapabilir ve platform öğrencilerin çalışmalarını otomatik olarak derecelendirebilir. Bu, öğrenciler ile öğretmenler arasında güçlü bir iletişim oluşturur, öğrencilerin bilgi, deneyim ve özgüvenlerini klinik pratiğe geçmeden önce geliştirmelerine olanak sağlar.



Resim 6: AI destekli radyoloji eğitimi yazılımı ile sanal sınıf ve patoloji tanımlama ile ölçme değerlendirme (41)

AI Destekli Pratik/Klinik Eğitim

AI klinik eğitimde hasta verilerini analiz etmek, planlar ve simülasyonlar oluşturmak, hasta takibini sağlamak ve hasta bakımını iyileştirmek için kullanıma potansiyeline sahiptir (16).

AI Destekli Diş Hekimliği Teşhis ve Tedavi Planlama Yazılımı

AI diş hekimlerinin diş röntgenlerini, taramaları ve görüntüleri değerlendirmelerine yardımcı olabilir. Diağnoz ve tedavi planlamaları için ikinci bir göz işlevi görür. AI destekli klinik karar destek sistemi yazılımları, yorgunluk, yoğun iş yükü veya deneyim eksikliği nedeniyle gözden kaçabilecek diş problemlerini otomatik olarak tespit edebilir ve tedavi planlaması hakkında görüşler sunabilir. Bu yazılım çözümleri diş hekimliği öğrencilerinin klinik pratikteki deneyim ve bilgilerini artırmaya katkıda bulunur (9,11,12).

AI ve Diş Hekimliği Eğitimi Müfredatı

Teknolojideki hızlı değişim nedeniyle yeni teknolojilerin diş hekimliği eğitimine entegrasyonu yirmi birinci yüzyıl becerilerine sahip diş hekimleri yetiştirmek için kaçınılmazdır. Diş hekimliği eğitimi ve AI ile ilgili literatürdeki araştırmalar analiz edildiğinde diş hekimliği öğrencilerinin AI konusunda yetersiz eğitim ve bilgiye sahip oldukları görülmüştür. Yüzbaşıoğlu ve arkadaşları (42) tarafından yapılan bir çalışma diş hekimliği fakültesi öğrencilerinin AI hakkındaki bilgi ve tutumlarını, diş hekimliğindeki olası uygulamaları değerlendirmiştir. Bu çalışmada toplamda 1103 öğrenci anketi yanıtlamış ve %21,7'lik bir yanıt oranı elde edilmiştir. Bu öğrencilerin yaklaşık %48,4'ü AI teknolojileri hakkında temel bilgilere sahipken %10,6'sı AI hakkında hiçbir bilgiye sahip değildi. Öğrencilerin %85,7'si yapay zekânın diş hekimliğini devrim niteliğinde değiştireceğini düşünüyordu. Ayrıca, AI konularının mezuniyet öncesi (%74,6'sı) ve sonrası (%79,8'i) diş hekimliği müfredatında yer edinmesi gerektiğini göstermiştir. Çalışma, öğrencilerin AI bilgisi eksik olsa da bu bilgilerini geliştirmek istediklerini ve yapay zekânın gelecekte diş hekimliği pratiği üzerinde değerli bir etkisi olacağına inandıklarını sonucuna varmıştır. Schwendicke ve arkadaşlarının (43) 2023 yılında yaptığı çalışmada öğrenciler, dental hijyenistliği müfredatının geleceğe hazırlanabilmek için okulda yapay zekâ ile ilgili derslere güçlü

bir şekilde ihtiyaç duyduğunu belirtmişlerdir. Teknolojideki gelişmeler ağız diş sağlığı alanında önemli katkılar ve yenilikler sağlamaktadır. Ayrıca öğretim ve öğrenme metodolojileri de dramatik bir şekilde evrimleşmektedir. Tüm bu gelişmeler ve öğrencilerin talepleriyle birlikte diş hekimliği eğitim müfredatının temel olarak değiştirilmesi ve diş hekimliğinde AI entegrasyonunun gerekliliği giderek daha açık bir şekilde ortaya çıkmaktadır (41). Yapay zekânın klinik pratiğe entegrasyonunun diş hekimliğinde birçok fayda sağlayacağı tahmin edilmektedir. Bu nedenle diş hekimleri ve hijyenistlerin AI okuryazarlığı, bilgisi ve farkındalığı, AI araçlarının diş hekimliğinde değerlendirilmesi ve bilinçli kullanımı bakımından büyük bir önem sahiptir. Yapay zekânın okul müfredatına entegrasyonu sayesinde diş hekimlerinin AI konusunda okuryazarlığı, bilgisi ve farkındalığı artırılabilir. Schwendicke ve arkadaşları (43) tarafından "Ağız ve diş sağlığı için AI: Temel eğitim müfredatı" başlıklı yeni bir makale, dört ana müfredat alanını tanımlamıştır:

1. AI nedir ve çoğu tıbbi uygulama için nasıl çalışır?
2. AI, nerelerde kullanılır ve hangi uygulamalar mevcut veya gelecekte kullanılabilir?
3. Tıbbi ve diş hekimliği yapay zekâsı nasıl değerlendirilir?
4. Diş hekimlerinin ve ağız sağlık sağlayıcılarının bilmesi veya değerlendirmesi gereken diğer hususlar nelerdir?

Bu çalışmada Schwendicke ve arkadaşları lisans ve lisansüstü diş eğitimi programları için AI hakkında bir temel müfredat tanımlamayı amaçlamıştır. Diş hekimliği müfredatının gözden geçirilmesi ve yapay zekânın klinik ve akademik ortamlarda entegrasyonu gereklidir ve diş hekimliği fakülteleri tarafından dikkate alınmalıdır. Görüldüğü üzere hızla değişen dünyada sağlık hizmetlerindeki temel değişiklikler ve öğretim ile öğrenme yöntemlerindeki köklü dönüşümler nedeniyle diş hekimliği eğitiminin temel müfredatının revize edilmesi zorunlu hale gelmiştir (44). AI'nın diş hekimliğine entegrasyonu birçok öngörülebilir fayda sunmaktadır. Örneğin diş hekimliği AI temel müfredatının adapte edilmesi, diş hekimlerinin AI okuryazarlığını artırarak, AI uygulamalarını sorgulayıcı bir bakış açısıyla incelemelerini ve bilinçli bir şekilde kullanmalarını sağlayabilir (44).

Ölçme Değerlendirmede AI

Tıp eğitiminde çeşitli geleneksel ve değerlendirme araçları ve değerlendirme yöntemleri kullanılmaktadır. Son zamanlarda yapay zekânın eğitime entegrasyonu değerlendirme verilerinin daha etkili bir şekilde derlenmesini, depolanmasını ve işlenmesini mümkün kılmıştır (32). Eğitimde AI çeşitli yol ve amaçlara yönelik öğrenme analitiği, öneriler ve teşhis araçları sağlayan birçok teknolojik yeniliğin içine yerleştirilmiştir. Eğitim alanında AI geleneksel yüz yüze öğretim ve akıllı öğrenme ortamlarıyla sınırlı değildir. Otomatik ve kişiselleştirilmiş öğrenme süreçlerini etkinleştirmek için öncelikle e-öğrenmede kullanılır. Bu süreçler uyarlanabilir öğrenme, makine öğrenimi, anlamsal teknolojiler, doğal dil işleme ve derin öğrenmeye dayanmaktadır (32). Kişiyeye özel öğretim ve öğretim asistanları, standart müfredat ve tüm öğrenciler aynı şekilde uygulanan öğretim tekniklerinin çeşitlendirilmesi gibi imkanlar, bu alana öncelik verilmesinin sebepleri arasında yer alabilir. Bu önceliğin bir sonucu olarak öğrenci analizleri yaparak duygu durumları ve öğrenme stillerini belirleyen uygulamalar, sanal öğretmenler, özelleştirilmiş öğrenme platformları ve akıllı eğitim sistemleri gibi AI temelli araçlar geliştirilmektedir. Böylece öğretim daha kişiselleştirilmiş bir hale getirilirken aynı zamanda veriye dayalı bir eğitim ve rehberlik sunulabilmektedir (45). Yapılan araştırmalar eğitimde ölçme ve değerlendirme, öğrencilerin devamsızlık ve okuldan ayrılma risklerinin tahmini, öğrenci başarı tahminleri, kişiselleştirilmiş eğitim, duygu analizi, öneri sistemleri, akıllı eğitim platformları, sınıf takibi, akıllı okul uygulamaları, okul değerlendirme ve yönetimi, denetim ve analiz sistemleri gibi çeşitli alanlarda ilerlemektedir (45). AI öğrencilerin çalışmalarını değerlendirip ideal olanla karşılaştırmasını sağlayarak en yüksek kalitede eğitim ortamları üretir (Resim 6) (41). Yapay zekânın geri bildirim değerlendirme ve biçimlendirici değerlendirmede faydalı olduğu kanıtlanmıştır. Otomatik soru oluşturmaya yönelik otomatikleştirilmiş sorular için AI destekli uygulamalar umut verici gelişmelerdir (Resim 6) (41). Metinsel eğitim materyallerinden anlamı ve ilgili sorular üretme sürecini önemli ölçüde basitleştirebilirler. Bu, kişiselleştirilmiş ve ilgi çekici öğrenme deneyimlerini, öğrencilerin anlayışlarının etkili bir şekilde değerlendirilmesini,

hedeflenen geri bildirimi ve öğrenciler için iyileştirilmiş eğitim çıktılarına kolaylaştıracaktır (46). AI, eğitimsel ölçme ve değerlendirme alanında uygulanabileceği çeşitli yöntemler, literatür ışığında şu şekilde sıralanmıştır: (47)

- Otomatik ölçme değerlendirme araçları
- Tahmine dayalı analitik araçlar
- Öğrenme yönetim sistemleri
- Öğrenim analitiği araçları
- Bilgisayar tabanlı test platformları
- Oyunlaştırma araçları
- Biçimlendirici değerlendirme araçları
- Dijital portföyler
- Veri görselleştirme araçları
- İntihal tespiti
- Dijital değerlendirme araçları

Eğitimsel değerlendirmede, eğiticiler yapay zekânın ölçme ve değerlendirme amaçları doğrultusunda doğru bir şekilde kullanılmasını sağlama konusunda hâlâ önemli bir rol oynamaktadır. Bu rolleri arasında şunlar bulunmaktadır (48):

1. Değerlendirmeyi tasarlama
2. Konu ile ilgili bilgi verme
3. Sonuçları yorumlama
4. Sürekli iyileştirme
5. Etik hususlar
6. Geri bildirim sağlama
7. Öğretimin bireyselleştirilmesi
8. İlerlemenin izlenmesi
9. Eleştirel düşünmeyi teşvik etmek
10. Doğruluğun sağlanması

Alveilgili Teknolojilerin Dış Hekimliği Eğitimindeki Zorluklar, Fırsatlar ve Gelecek Yönelimleri

Dış hekimliği eğitiminde hem teorik hem de pratik eğitimin gerçekleştirilmesi ve ölçme değerlendirilmesi süreçlerinde AI kullanımı yaygınlaşmaktadır. Klinik öncesi laboratuvar eğitimleri yanı sıra klinik eğitimde hasta teşhis, tedavi planı gibi yeterlilik düzeylerine erişebilmek için AI, VR, AR, MR, XR, metaverse ve blok zincir gibi bilgi teknolojiler hızla dış hekimliği müfredatına entegre edilmeye başlanmıştır (34, 37,38, 40). Hızla gelişen teknoloji ve çağa ayak uydurma ihtiyacıyla eğitimde inovatif yaklaşımlar hem dış hekimleri için hem de dış hekimliği öğrencileri için aynı zamanda eğiticiler için vazgeçilmez yerini

almaya başlamıştır. Dış hekimleri ve öğrenciler ve eğiticilerin bu konudaki tutum ve farkındalıkları açısından eğitimler seminerler düzenleyerek eğitim ile klinik iş akışlarına entegrasyonu artırılmalıdır. Yüksek maliyet, donanım ve eğitici/öğrenen adaptasyonu, etik kaygılar gibi dezavantajları yapay zekânın yaygın kullanımındaki kısıtlılıklar olsa da ölçme değerlendirmede anlık geri bildirim verilmesi, 7/24 kaynaklara ulaşım, eğitici kaynaklı bireysel hataların önlenmesi, görsel ve işitsel veri kaynağı sunması, çekilmiş dişler nedeniyle oluşan kontaminasyon riskinin eliminasyonu, simüle hasta ile sunulan eğitimle hasta güvenliğinin sağlanması, el hassasiyetinin gelişmesi, farklı sertlikte doku hissinin haptik cihazlarla öğretilerilebilir olması ve kontrolü gibi avantajları beraberinde getirmektedir (1,4,5,8). Dış hekimliği teşhis ve tedavi planlamasında giderek daha fazla kanıta dayalı ve veri odaklı bir yaklaşıma sahip olduğundan bu da dijital teknolojilerin ve AI destekli yazılımların dış hekimliği eğitiminde müfredata entegrasyonu farklı seviyelerdeki öğrenmeye ilişkin klinik öncesi ve klinik eğitimlerde kullanılması önerilmektedir (43). AI tabanlı değerlendirmelerden elde edilen otomatik geri bildirimlerin yanı sıra, eğiticiler öğrencilere ek ve daha kişiselleştirilmiş geri bildirim sunabilir. Bu geri bildirim, öğrencilerin güçlü ve zayıf yönlerini daha net bir şekilde kavrayarak, gelişim alanlarını belirlemelerine olanak tanır (30,46). AI tabanlı değerlendirmelerden elde edilen sonuçları, öğrencilerin öğrenme ihtiyaçlarına göre eğitimi bireyselleştirmek için kullanabilmektedir (32,48). Kişiselleştirilmiş öğretim ve öğretim asistanları ile standart müfredat ve tek tip öğretim yöntemlerinin çeşitlendirilmesi, bu alana öncelik verilmesinin başlıca sebeplerindendir. Bu öncelik doğrultusunda, öğrenci analizi yaparak duygu durumları ve öğrenme stillerini belirleyen uygulamalar, sanal öğretmenler, özelleştirilmiş öğrenme platformları ve akıllı eğitim sistemleri gibi AI destekli araçlar geliştirilmekte, böylece öğretim daha bireyselleştirilirken aynı zamanda veriye dayalı rehberlik ve eğitim sağlanabilmektedir (45). AI destekli araçlar ve simülasyon teknolojilerinin birleşimi öğrenmeyi, anlayışı artıracak ve dış hekimliği öğrencilerinin özgüvenini pekiştirecektir. Sonuç olarak, yapay zekâ ve dijital teknolojiler, dış hekimliği eğitiminde öğrenci başarısını ve klinik yetkinliği artırma potansiyeline sahiptir. Özellikle tanısal yetkinliklerin geliştirilmesi, klinik karar

desteği sağlanması ve bireyselleştirilmiş öğrenme deneyimleri sunulması gibi alanlarda önemli avantajlar sunduğu gösterilmiştir. Bununla birlikte, bu teknolojilerin etkin entegrasyonu, geleneksel eğitim yöntemleriyle dengeli bir yaklaşımı gerektirmektedir. Eğitimcilerin dijital dönüşüme uyum sağlaması, müfredatın güncellenmesi, uygulama rehberlerinin oluşturulması ve yapay zekânın etik kullanımıyla ilgili düzenlemelerin yapılması, bu sürecin sürdürülebilir ve sorumlu bir şekilde ilerlemesi açısından kritik öneme sahiptir. Gelecekteki diş hekimleri, hem geleneksel klinik becerilere hem de dijital sağlık ortamına uyum sağlayabilecek yetkinliklere sahip olmalı ve bu teknolojilerle erken aşamada tanıştırılmalıdır.

TEŐEKKÜR

Diş hekimliği eğitiminde yapay zekânın yeri ve kullanım alanlarına ilişkin bu derlemede akademik danışmanlıkları ve geri bildirimleri açısından değerli katkıları için Doç. Dr. İbrahim şevki Bayrakdar'a, Dr. Fazıl Serdar Gürel'e, Dr. Özhan Albayrak'a teőekkür etmek isteriz.

Kaynaklar

1. Deshmukh S. Artificial intelligence in dentistry. J Int Clin Dent Res Organ. 2018;10:47.
2. Abonamah A, Tariq M, Shilbayeh S. On the Commoditization of Artificial Intelligence. Front. Psychol. 2021;12: 696346.
3. Goralski M, Tan T. Artificial intelligence and sustainable development. Int J Manag Educ. 2020;18(1): 100330.
4. Sogani J, Allen Jr B, Dreyer K, McGinty G. Artificial intelligence in radiology: the ecosystem essential to improving patient care. Clin. Imaging. 2020;59(1): A3-A6.
5. Schwendicke F, Samek W, Krois J. Artificial Intelligence in Dentistry: Chances and Challenges. Journal of Dental Research. 2020;99(7):769-774.
6. Hornik K. 1991. Approximation capabilities of multilayer feedforward networks. Neural Netw. 4(2):251-257.
7. Chowdhary KR. Natural Language Processing. In: Fundamentals of Artificial Intelligence. Springer, New Delhi. 2020. https://doi.org/10.1007/978-81-322-3972-7_19
8. Yin RK, and Moore GB. The use of advanced technologies in special education: Prospects from robotics, artificial intelligence, and computer simulation. Journal of Learning Disabilities, 1987;20(1):60-63.
9. Aminoshariae A, Kulild J, Nagendrababu V. Artificial intelligence in endodontics: Current applications and future directions. J Endod. 2021;47:1352-7.
10. Bostrom N, Yudkowsky E. The ethics of artificial intelligence. In Artificial intelligence safety and security. Chapman and Hall/CRC. 2018;57-69.
11. Khanagar SB, Naik S, Al Kheraif AA, et al. Application and performance of artificial intelligence technology in oral cancer diagnosis and prediction of prognosis: A systematic review. Diagnostics (Basel) 2021;11.
12. Chartrand G, Cheng P, Vorontsov E et al. Deep learning: a primer for radiologists. Radiographics. 2017;37(7):2113-31.

13. Soori M, Arezoo B, Dastres R. Artificial intelligence, machine learning and deep learning in advanced robotics, a review. *Cognitive Robotics*. 2023;3:54-70.
14. Khanna S, Dhaimade P. Artificial intelligence: transforming dentistry today. *Indian J Basic Appl Med Res*. 2017;6(3):161-7.
15. LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning. *nature*. 2015;521(7553):436-44.
16. Agrawal P, Nikhade P. Artificial intelligence in dentistry: past, present, and future. *Cureus*. 2022;14(7):e27405.
17. Chen YW, Stanley K, Att W. Artificial intelligence in dentistry: current applications and future perspectives. *Quintessence Int*. 2020;51(3):248-57.
18. Perry S, Bridges S M, Burrow M F. A review of the use of simulation in dental education. *Simul Healthc*. 2015;10:31-37.
19. Harte M, Carey B, Feng Q et al. Transforming undergraduate dental education: the impact of artificial intelligence. *Br Dent J*. 2025;238:57-60.
20. Li Y, Ye H, Ye F et al. The Current Situation and Future Prospects of Simulators in Dental Education. *J Med Internet Res*. 2021 Apr 8;23(4):e23635.
21. Roy E, Bakr M M, George R. The need for virtual reality simulators in dental education: a review. *Saudi Dent J*. 2017;29:41-47.
22. Islam NM, Laughter L, Sadid-Zadeh R, Smith C, Dolan TA, Crain G, Squarize CH. Adopting artificial intelligence in dental education: a model for academic leadership and innovation. *J Dent Educ*. 2022;86(11):1545-51.
23. Gandedkar NH, Wong MT, Darendeliler MA. Role of virtual reality (VR), augmented reality (AR) and artificial intelligence (AI) in tertiary education and research of orthodontics: an insight. *Semin Orthod*. 2021;27(2):69-77.
24. Luckin R, Holmes W, Griffiths M, Forcier LB. *Intelligence unleashed: an argument for AI in education*. London: Pearson Education; 2016.
25. Ifenthaler D, Yau JY-K. Higher education stakeholders' views on learning analytics policy recommendations for supporting study success. *Int J Learn Anal Artif Intell Educ*. 2019;1:28-42.
26. Van der Hoeven D, Zhu L, Busaidy K, Quock R L, Holland J N, van der Hoeven R. Integration of basic and clinical sciences: student perceptions. *Med Sci Educ*. 2019; 30: 243-252.
27. Zhai X, Chu X, Chai CS, Jong MSY, Istenic A, Spector M, Li Y. A Review of Artificial Intelligence (AI) in Education from 2010 to 2020. *Complexity*. 2021(1);8812542.
28. Pedró F, Subosa M, Rivas A, Valverde P. Artificial intelligence in education: challenges and opportunities for sustainable development, UNESCO working papers on education policy. 2019.
29. Gonzalez MAG, Abu Kasim NH, Naimie Z. Soft skills and dental education. *European Journal of Dental Education*. 2013;17(2):73-82.
30. Sharma D, Malik G, Koshy G, Sharma V. Artificial intelligence: need to reboot dental education. *Univ J Dent Sci*. 2021;7(2):138-42.
31. Zheng L, He Z, Wei D, Keloth V, Fan JW, Lindemann L, Zhu X, Cimino JJ, Perl Y. A review of auditing techniques for the unified medical language system. *J Am Med Inform Assoc*. 2020;27(10):1625-38.
32. González-Calatayud V, Prendes-Espinosa P, Roig-Vila R. Artificial intelligence for student assessment: a systematic review. *Appl Sci*. 2021;11(12):5467.
33. Tadinada A, Gul G, Godwin L, Al Sakka Y, Crain G, Stanford CM, Johnson J. Utilizing an organizational development framework as a road map for creating a technology-driven agile curriculum in predoctoral dental education. *J Dent Educ*. 2023;87(3):394-400.
34. Dzyuba N, Jandu J, Yates J, Kushnerev E. Virtual and augmented reality in dental education: the good, the bad and the better. *Eur J Dent Educ*. 2022;Nov 6.
35. Pulijala Y, Ma M, Pears M, Peebles D, Ayoub A. Effectiveness of immersive virtual reality in surgical training—a randomized control trial. *J Oral Maxillofac Surg*. 2018;76:1065-1072.
36. Le Blanc VR, Urbankova A, Hadavi F, Lichtenthal RM. A Preliminary Study in Using Virtual Reality to Train Dental Students. *J Dent Educ*. 2004;68(3):378-83.

37. Mladenovic R, Dakovic D, Pereira L, Matvijenko V, Mladenovic K. Effect of augmented reality simulation on administration of local anaesthesia in paediatric patients. *Eur J Dent Educ.* 2020;24:507-512.
38. Dolega-Dolegowski D, Dolega-Dolegowska M, Pregowska A, Malinowski K, Proniewska K. The application of mixed reality in root canal treatment. *Applied Sciences.* 2023;13(7):4078.
39. Diegritz C, Fotiadou C, Fleischer F, Reymus M. Tooth Anatomy Inspector: A comprehensive assessment of an extended reality (XR) application designed for teaching and learning of root canal anatomy by students. *International Endodontic Journal.* 2024;57(11):1682-1688.
40. Basmaci F, Bulut AC, Ozcelik E, Zerdali Ekici S, Kilicarslan MA, Cagiltay NE. Evaluation of the effects of avatar on learning temporomandibular joint in a metaverse based training. *J Dent Educ.* 2024;Dec17.
41. Coşkun S, Güngör M. A comparative study of use of artificial intelligence in oral radiology education. *Eur Ann Dent Sci.* 2023;50(1):41-6.
42. Yüzbaşıoğlu E. Attitudes and perceptions of dental students towards artificial intelligence. *J Dent Educ.* 2021;85(1):60-8.
43. Schwendicke F, Chaurasia A, Wiegand T, Uribe SE, Fontana M, Akota I, Tryfonos O, Krois J. IADR e-oral health network and the ITU/WHO focus group AI for health. Artificial intelligence for oral and dental healthcare: core education curriculum. *J Dent.* 2023;128:104363.
44. Thurzo A, Strunga M, Urban R, Surovková J, Afrashtehfar KI. Impact of artificial intelligence on dental education: a review and guide for curriculum update. *Educ Sci.* 2023;13(2):150.
45. Chen L, Chen P, Lin, Z. Artificial intelligence in education: A review. *IEEE Access,* 2020;8:75264 – 75278.
46. Rezigalla AA. AI in medical education: uses of AI in construction type A MCQs. *BMC Med Educ.* 2024;24:247.
47. Holmes W, Bialik M, Fadel C. Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning. Boston: Center for Curriculum Redesign. 2019. <https://curriculumredesign.org/wp-content/uploads/AIED-Book-Excerpt-CCR.pdf>
48. Owan V, Abang KB, Idika DO, Etta EO, Bassey BA. Exploring the potential of artificial intelligence tools in educational measurement and assessment. *EURASIA J Math Sci Tech Ed.* 2023;19(8).