

Oral Radyolojide Yapay Zeka

Artificial Intelligence in Oral Radiology

*Mehmet Emin Doğan¹, Elif Meltem Aslan Öztürk¹

1. Gaziantep Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi AD, Gaziantep, Türkiye.

*Corresponding author: Dogan ME, MSc. PhD, Department of Radiology, Faculty of Dentistry, Gaziantep University Gaziantep, Turkey.
E-mail : meminemindogan@gmail.com

Özet

Gelişen, değişen ve ilerleyen teknolojiye sağlık ve diş hekimliğinin de yerini alması gerekmektedir. Son dönemlerde adını sık sık duyduğumuz yapay zekânın diş hekimliğine girişi başlamış ve ilerlemeler kaydedilmiştir. Yapay zekânın sağlık ve diş hekimliği çalışanlarına çalışmalarında yardımcı olduğu iş akışını kolaylaştırdığı düşünüldüğünde ileride daha çok tercih edileceği ve hayatımıza aktif olarak girecektir. Bu konu da elde edeceğimiz bilgiler bize yardımcı olacak ve teşhis ve tanıya daha hızlı ve yanlışsız ulaşmamızı sağlayacaktır. Diş hekimliğinde tanı, teşhis ve veri depolamasında oral radyologların payı daha fazladır. Bu sebeplerdir ki diş hekimlerinin ve özellikle oral radyologların yapay zekâ hakkında fikir sahibi olması önem arz etmektedir. Bu derlemenin amacı son dönemlerde güncel bir konu haline gelmiş olan yapay zekânın diş hekimliği alanındaki uygulamalarını incelemek ve diş hekimlerinde bu teknoloji hakkında farkındalık oluşturmaktır.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zekâ, Diş Hekimliği, Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi.

Abstract

In the developing, changing and advancing technology, health and dentistry should also take its place. The entry of artificial intelligence into dentistry, whose name we have heard often recently, has begun and progress has been made. Considering that artificial intelligence facilitates the workflow that helps health and dentistry employees in their work, it will be more preferred in the future and will enter our lives actively. The information we will obtain on this subject will help us and enable us to reach diagnosis and diagnosis faster and more accurately. Oral radiologists have a greater share in diagnosis, diagnosis and data storage in dentistry. For this reason, it is important for dentists and especially oral radiologists to have an idea about artificial intelligence. The purpose of this review is to examine the applications of artificial intelligence in dentistry, which has recently become a current issue, and to raise awareness about this technology in dentists.

Review (Int J Dent Oral Res 2021; 1(3): 78-83)

Keywords: Artificial Intelligence, Dentistry, Cone Beam Computed Tomography.

Giriş

Hızla gelişmeye devam eden yapay zekâ çalışmaları, diş hekimliğinde değişiklikler yapmaya adaydır. Bilim ve teknolojiadaki gelişmeler günlük hayatımızı etkileyen birçok değişime sebep olmaktadır. Bilgisayar gücünün artması, evrensel bilgiye ulaşmanın kolaylaşması, sağlık alanında yapay zekâ uygulamaları ile işlenmeye hazır büyük verinin mevcudiyeti bu gelişmeleri hızlandıran durumlardan bazılarıdır(1-3). Yapay zekâ temel olarak insan aklı ve becerisi ile çözülen olası problemlerin, makineler ile çözülmesini hedefler. Diş hekimliğinde çürük teşhisinden, patolojilerin tespitine, çapraşık dişlerin ortodontik tedavilerinin planlanmasından, robotik cerrahi ile dental implant yapımının yanı sıra; hasta randevularını organize etme, sigorta ve evrak işlerini yürütme, tıbbi anamnez kaydı tutma gibi değişen alanlarda yapay zekâ uygulamaları dikkat çekmektedir(4-9). Radyolojide, bilgisayar diline daha kolay çevrilebilen dijital olarak kodlanmış görüntüler üretme özelliği nedeniyle yapay zekânın tıba daha kolay erişim sağladığı görülmektedir. Hasta geçmişi, demografik bilgiler, yaşam tarzı ve genetik faktörler dâhil hasta ile ilgili tüm veriler kaydedilebilmektedir. Bu büyük veri setleri sayesinde sınıflandırıcı ve öngörücü yapay zekâ modelleri oluşturulabilecektir. Bu modeller sayesinde hastalıklar ve hasta verileri arasındaki ilişkileri keşfederek risk faktörlerinin önceliklendirilmesine ve hastalıkların uzun vadeli sonuçları tahmin edilecektir(10).

Bu derlemenin amacı son dönemlerde güncel bir konu haline gelmiş olan yapay zekânın diş hekimliği alanındaki uygulamalarını incelemek ve diş hekimlerinde bu teknoloji hakkında farkındalık oluşturmaktır.

Yapay Zekâ

Yapay zeka, makinelerin akıllı insan davranışını taklit etme, problemleri çözme, nesnelere ve kelimeleri tanıma ve karar verme gibi karmaşık görevleri yerine getirmesi olarak tanımlanmaktadır. Yapay zekâyı oluşturan Mc Carthy ise yapay zekâyı;" insan benzeri zeki makineler özellikle de zeki bilgisayar programları yapma bilimi ve mühendisliği" olarak tanımlamıştır(2, 11, 12). Yapay zekâyı kavrayabilmek için temel özelliklerinden olan "makine öğrenmesini" ve "yapay sinir ağlarını" bilmek gerekmektedir. Yapay zekanın en önemli yapısı olan yapay sinir ağları insan beynini taklit eden matematiksel modelleri ifade ettiği bildirilmiştir(13, 14). Makine öğrenme algoritmaları manuel girilmiş çok sayıda veriyi inceleyerek ve öğrenerek doğru özgün bir yanıt vermek üzere eğitilmiştir. Bilgisayarın, girilen veriler ve çıktılar arasındaki uygunluğu elde etmek için algoritma içindeki parametreleri ayarlayarak, bir ayarı

doğru bir şekilde genelleştirmesini sağlar. Taranan bir görüntünün normal veya anormal olduğunu tanımlayabilir (15). Makine öğrenmenin insan kaynaklı ön yargı ve hataları önleyebileceği düşünülmektedir. Derin öğrenme, kapsamlı normal görüntü serisinden, belirli bir görüntü türünün hiyerarşik standart temsilini öğrenerek büyük ölçüde daha iyi olabileceği belirtilmiştir(16). Yapay sinir ağları, insan beynini oluşturan biyolojik sinir ağlarından esinlenen bilgisayar sistemleridir. Bu modellerin çalışma prensibi insan beynindeki biyolojik sinir ağlarının mekanizmasında olduğu gibi sinyalleri iletmesidir. Bu tür sistemler, geçmiş örneklerden öğrenme, doğrusal olmayan verileri analiz etme, kesin olmayan bilgileri işleme ve modelin bağımsız verilere uygulanmasını sağlama yeteneğine sahip son derece bağlantılı bilgisayar işlemcilerinden oluşan bir ağı içerir. Günümüzde görüntü analizi için en sık kullanılan algoritmalar sinir ağlarıdır. Sinir ağları çeşitli özellikleri sayesinde tıp ve diş hekimliği alanında birçok vazifeyi yerine getirebilir. Daha karmaşık görevleri yerine getirebilmesi için ise, çok katmanlı yapay sinir ağlarından oluşan ve katman sayısı arttıkça matematiksel hesaplama gücü de artan derin evrişimli sinir ağları kullanılmaktadır. Derin evrişimli sinir ağları katmanlar sayesinde daha büyük veriler işleyebilir, istenen pek çok görevi yerine getirebilir(17-19).

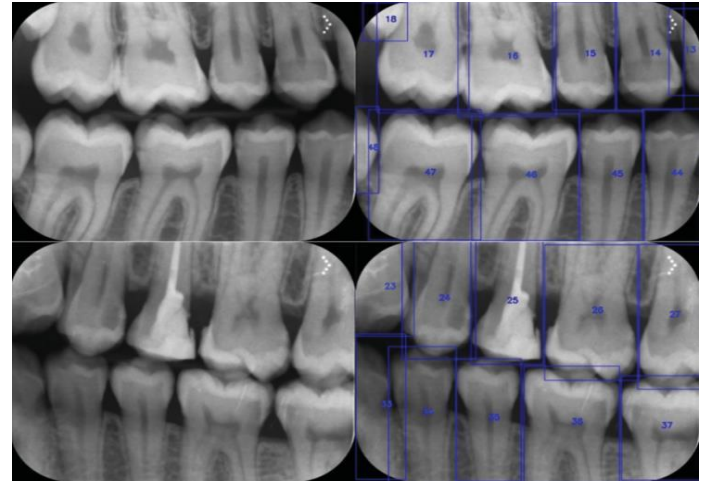
Ağız, Diş ve Çene Radyolojisinde Yapay Zekâ

Diş hekimi, ağız, diş ve çenelerde görülen durum ve hastalıkları klinik, sistemik ve radyolojik bulguları ilişkilendirerek inceler. Hastaların anamnez bilgileri, radyografi görüntüleri ve gerekli durumlarda ağız içi veya dışı fotoğrafları kayıt edilir. Bu gereçler ile çoğunlukla diş çürükleri, dişeti hastalıkları, enflamatuvar durumlar, kist ve tümörler gibi ağız ile ilişkili hastalıkları değerlendirilir. Radyograflar, hekimler tarafından iki temel işlev için yorumlanır. Bunların ilki normal dokular ve patolojilerin belli radyolojik özelliklerinin tanınması ve birbirinden ayırt edilmesi, ikincisi ise elde edilen radyografik bilgilerin klinik bulgular ile ilişkilendirilerek ön tanı ve ayırıcı tanıları oluşturulmasıdır. Yapay öğrenme teknikleri bilgisayarlara örüntü tanıma olanağı verdiği için bazı radyografik analizler artık otomatik yapılabilmektedir. Ancak radyografi yorumlama sürecindeki ikinci işlev henüz yerine getirilememektedir (20, 21). Son yıllarda yapay zeka ve evrişimli sinir ağları tıbbi görüntüleme ve diş hekimliği alanında iki boyutlu ve üç boyutlu radyografilerle yapılan çalışmalarda kullanılmıştır(22). Yapay öğrenme modelleri ile bir radyografide incelenmek istenen yapıların tespit edilmesi, görüntüdeki diğer veriden ayrılması

(segmentasyonu) ya da sınıflandırılması mümkündür. Bu kullanım alanlarının diş hekimliği radyolojisinde belirli görevlere yönelik teorik ve pratik uygulama örnekleri mevcuttur. Yapay öğrenme ile tespit edilen çıktılar, diş hekimliği pratiğinde hem yanlış ve eksik teşhis oranını, hem de günden güne artan tıbbi veri göz önüne alındığında, hekimlerin günlük iş yükünü azaltacaktır. Ayrıca yapay zeka ağız, diş ve çene bölgesinde bir insan gözüne kıyasla daha detaylı bir değerlendirme yapma imkanı sunmaktadır(23, 24).Başlangıçta, teşhis için bilgisayar destekli programlar oluşturmak amacıyla periapikal, panoramik ve sefalometrik radyografileri içeren 2D görüntüler daha çok kullanılmıştır. 2009 yılında Flores ve ark.(25) periapikal kistleri granülomdan ayırmak için hastaların konik ışınli bilgisayarlı tomografi (KIBT) görüntülerini kullanarak bir yapay zeka modeli önermişlerdir. Sonrasında, KIBT'ın popülerleşmesi ile elde edilen görüntülere dayalı yapay zeka modellerini geliştirme çalışmaları artmıştır(26). Diş hekimliği radyolojisinde; sefalometrik radyografilerde anatomik landmarkların belirlenmesi, iki ve üç boyutlu radyografilerde diş tespiti ve numaralandırılması, dişlerde çürük ve periapikal bölgede patoloji tespitinin yapılması, periodontal bölgedeki alveolar kemik kaybının belirlenmesi, dişlerin kök morfolojisinin değerlendirilmesi gibi birçok alanda kullanımı bildirilmiştir (27-30).

Diş hekimliğinde en yaygın kullanılan radyolojik teşhis yöntemi panoramik radyografilerdir. Bu radyografiler alt ve üst çene kemikleri, mevcut tüm dişler ve çevre destekleyici dokuların görüntüsünü sağlar, bu yapıların 2D bilgisini verir. Karmaşık bir anatomiye sahip olan bu bölgenin 2D görüntülenmesi, çeşitli dokuların birbiri üzerine çakışmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle panoramik radyografiler bazen yanlış ya da eksik yorumlanmaktadır. Radyolojik görüntülerin maksillofasial radyologlar tarafından yorumlanması zaman alan ve dikkat gerektiren bir süreçtir. Özellikle yoğun çalışma temposu ve yorgunluk, hekimin radyografi incelemelerinde hatalı ya da eksik yorumlara neden olabilir. Hekimlerin tecrübesine ve dikkatine bağlı olarak yoğun kliniklerde yanlış veya yetersiz teşhis ortaya çıkabilmektedir. Bunu önlemek için dişlerin doğru bir şekilde tanımlanması ve numaralandırılması gerekir. Radyografilerde dişlerin tespiti ve numaralandırılması da adli incelemeler için önemlidir. Hekimlere medikal ve dental görüntüleme yardımcı olmak için bilgisayar destekli sistemler geliştirilmiştir (26, 31, 32). Son yıllarda bu radyografiler ile pek çok göreve özgü yapay zeka çalışmaları yapılmaya başlanmıştır. Ağız içi bite-wing görüntüleri kullanarak yapılan bir çalışmada etiketlenme aşamasına gönderilmeden önce

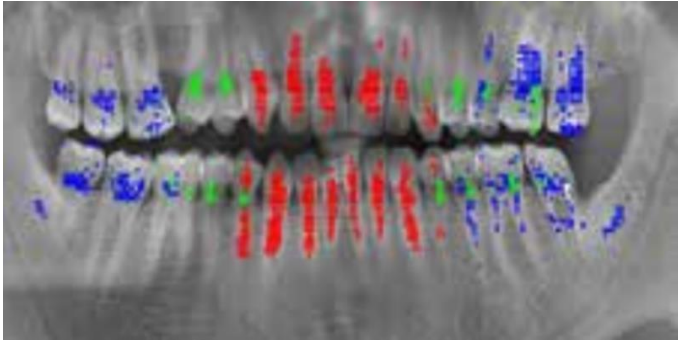
eğitim ve test kümesi olarak ayrılmıştır. Verilerin etiketlenmesi sonucu modele verilecek olan veriler makine öğrenimi modeli ile okunabilir hale gelmektedir. 1200 adet görüntünün rastgele seçilmiş 1000 tanesi eğitim kümesine ayrılırken rastgele seçilmiş 200 adet görüntü ise modelin doğruluğunun test edilmesi için gerekli olan test kümesine ayrılmıştır. Veri kümesinde dağılmış tüm verilerin rastgele seçildiği ve temiz veri olmadığı anlaşılmaktadır. Bunun sebebi, sinir ağı modelinin test amacıyla alışılmamış bir veri ile karşılaştığı durumda yüksek doğruluk ile dişleri tespit etme amacıdır. Nesne tespitinde bölge tabanlı evrişimli sinir ağı (R-CNN) yaklaşımı, nesne olma olasılığı yüksek olan bölümü değiştirmek ve evrişimli ağırları değerlendirmektir. Bu algoritmalar, tıbbi görüntü sınıflandırması ve tespiti için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bite-wing radyografiler kullanılarak diş numaraları tespit edilmiştir (Şekil 1) (33).



Şekil 1. Derin evrişimli sinir ağı sistemi kullanarak bite-wing radyografilerinde diş numaralarının tespiti [33].

Oktay (34) tarafından yapılan çalışmada, ağız boşluğu belirlendikten sonra diş tiplerinin klasik yapay sinir ağı ile tanımlanması ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca sadece diş tipleri belirlenmiş olup, diş numaralandırma sistemi kullanılmıştır. İlk olarak ağız boşluğunu bulduktan sonra, üç diş tipi için (kesici dişler, küçük azılar ve büyük azılar) uygun pozisyonlar belirlenmiştir. Dişler, çoklu sınıflandırmanın yapıldığı AlexNet mimarisinin değiştirilmiş bir versiyonu ile tespit edilir. Yapılan testler, yöntemin doğruluğunun ümit verici olduğunu ve sunulan yöntemin bilgisayar destekli uygulamaların ilk adımı olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Kesici dişler ve kaninler kırmızı, küçük azılar yeşil ve azı dişleri mavi ile gösterilmiştir. Tespit edilen diş merkezleri diş kökünde ortalanmış görünmektedir. Bazı yanlış algılanan diş konumları 3.

molar diş için özellikle komşu dişlerde ve diş etlerinde bulunmaktadır. Komşu olan kanin ve premolarların birbirine çok benzemesi ve premolar olarak yanlış sınıflandırılmaları nedeniyle premolarların doğruluğu diğer diş tiplerine göre daha düşüktür (Şekil 2).



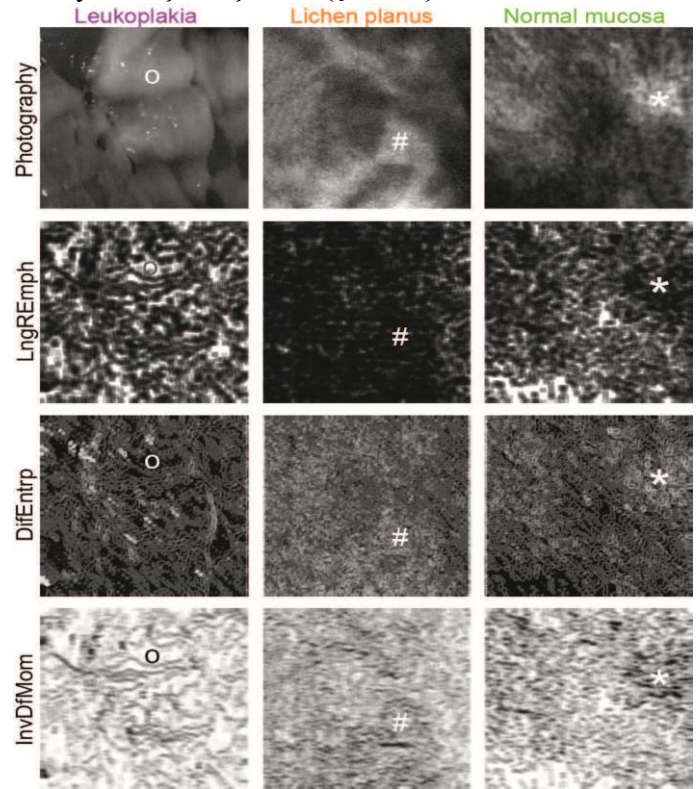
Şekil 2. Diş konumlarının merkezlerinin belirlenmesi [34].

Bayrakdar ve ark.(35) panoramik radyografide diş eksikliğinin tespiti için CNN algoritması kullanmış ve eğitim de kullanılan görüntülerin modeli tahminlendirmesi ile çıkan başarı oranı %94.7 olarak bulunmuştur. Eğitim ve Test tahminleme sonuçları incelendiğinde kısıtlı sayıda veri seti ile alınan başarı oranının %75 olduğu görülmüştür. Çenelerde görülen iyi huylu tümörlerden ameloblastoma ve keratistik odontojenik tümörlerin panoramik radyografilerde tespit edilmesi amacıyla geliştirilen bir evrimsel sinir ağı (CNN) ile araştırmacılar, uzman hekimlerle benzer doğrulukta tanı koyan bir algoritma oluşturduklarını bildirmişlerdir (5). Bir başka çalışmada panoramik radyografilerde osteoporoz teşhisi için bir CNN geliştirilmiş, algoritmanın tespit ettiği radyografiler uzman hekimler ile karşılaştırılmış ve osteoporozu mükemmel doğrulukta ayırttığı belirtilmiştir (36). Panoramik radyografilerde kemik yıkım seviyelerini değerlendirerek periodontitis hastalığını tespit etmek amacıyla oluşturulan bir başka CNN algoritması ile hekimlere yakın doğrulukta sonuçlar elde eden bir çalışma da mevcuttur(27). Periodontitis tespitinde 2D ağız içi radyografiler ile de çalışılmıştır (37).

KIBT, klinik muayene ve iki boyutlu radyografilerin yetersiz kaldığı durumlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanan üç boyutlu bir görüntüleme yöntemidir. Orhan ve ark.(38), KIBT görüntülerinde periapikal lezyonları tespit etmek için bir CNN algoritması oluşturmuşlardır. Hacimsel veride dişleri tespit edip numaralandıran bu sistem, %92.8 doğrulukta periapikal lezyonları teşhis etmeyi başardığı bulunmuştur. Jaskari ve ark.(39) KIBT görüntülerinde yaptığı bir çalışmada geliştirdikleri CNN ile otomatik mandibular kanal segmentasyonu yapmayı

başarmıştır. Mandibulada yapılacak cerrahi işlemler ve implant yerleştirme gibi operasyonlardan önce bu kanalın tespit edilmesi olası bir sinir hasarının önüne geçilmesi açısından önemlidir. Vertikal kök kırıklarının tespitinde, ekstra kök varlığının belirlenmesinde, süpernümerer diş saptanmasında, Sjögren sendromunun varlığının tespitinde yapay zekânın kullanıldığı çalışmalar mevcut olup başarılı bulunmuştur(40-44).

Ağız hastalıkları, bazı sistemik hastalıkların ağız bulgusu olarak ya da tek başına bir olgu hâlinde meydana çıkarlar. Bir çalışmada ağız içi fotoğraflar ile eğitilen bir yapay sinir ağı ile araştırmacılar, liken planus ve lökoplaki lezyonlarını tespit ve ayırt etmeyi amaçlamışlardır (Şekil 3).



Şekil 3. LngREmph: uzun vadeli vurgu ters momentler haritası, DifEntrp: fark entropi haritası, nvDfMom: ters fark moment haritasında Lökooplaki (O), liken planus (#), normal mukoza (*) görüntülerin gri tonlamalar ve piksel farklılığından tespiti [45].

Bu çalışmada lökoplaki tespiti için duyarlılık %57, liken planus tespiti için %38 ve normal mukoza tespiti için %94 idi. Lökooplaki saptamanın özgüllüğü %74, liken planusun %81 ve normal mukozanın %88 olarak bulunmuştur (45). Ağız kanserleri, yerleşimi, hayat kalitesini etkilemesi ve

tedavinin bazen güç olması nedeniyle teşhis, tedavi ve takip yönünden diş hekimlerini yakından ilgilendiren bir hastalıktır. Kim ve ark.(46) skuamöz hücreli karsinom teşhisi konulmuş 255 hastayı içeren retrospektif çalışmada, oral skuamöz hücreli karsinom hastalarında derin öğrenme tabanlı sağkalım tahmin yöntemini uygulamış ve performansını doğrulamışlardır. Bu çalışmada doğruluk %96.5, duyarlılık %98.1 ve özgüllük %94.2 olarak elde edilmiştir. Bu, %91 duyarlılık ve %76 özgüllük ile %16'lık bir yanlış sınıflandırma oranı gösteren geleneksel istatistiksel yöntemler kullanılarak yapılan önceki sonuçlara kıyasla bir gelişme olarak kabul edilebilir(47).

Sonuç

Yapay zekanın gelişmeye devam ederek ilerlemesi yoğun tempoda çalışan klinisyenlerin işlemlerinde yardımcı olacak, kolaylaştıracak ve yapılan insana özgü yanımları azaltacaktır. Tecrübesiz hekimlerin teşhis ve tanıda kararsız kaldığı durumlarda onlara destek olacaktır. Ayrıca geliştirilecek algoritmalarla hekimlerin daha hızlı çalışmasına imkan sağlayacaktır. Yapay zeka hekimlerin daha verimli ve daha konforlu çalışmasına katkıda bulunacaktır.

Çıkar ilişkileri: yok
Finansal destek :yok

Kaynaklar

- 1.Russell SJ, Norvig P. Artificial Intelligence-A Modern Approach, Third Int. Edition. Pearson Education, Upper Saddle River, NJ, USA; 2010.
- 2.Wong S, Al-Hasani H, Alam Z, Alam A. Artificial intelligence in radiology: how will we be affected? *Eur Radiol* 2019;29(1):141-3.
- 3.Buyuk C. Diş Hekimliğinde Yapay Zeka. 2020;233-56.
- 4.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. *J Dent* 2018;77:106-11.
- 5.Poedjastoeti W, Suebnukam S. Application of convolutional neural network in the diagnosis of jaw tumors. *Health Inform Res* 2018;24(3):236-41.
- 6.Kunz F, Stellzig-Eisenhauer A, Zeman F, Boldt J. Artificial intelligence in orthodontics. *J Orofac Orthop* 2020;81(1):52-68.
- 7.Woo S-Y, Lee S-J, Yoo J-Y, Han J-J, Hwang S-J, Huh K-H, et al. Autonomous bone reposition around anatomical landmark for robot-assisted orthognathic surgery. *J Craniomaxillofac Surg* 2017;45(12):1980-8.
- 8.Khanna SS, Dhaimade PA. Artificial intelligence: transforming dentistry today. *Int J Appl Basic Med Res* 2017;6(3):161-7.
- 9.Feeney L, Reynolds P, Eaton K, Harper J. A description of the new technologies used in transforming dental education. *Br Dent J* 2008;204(1):19-28.
- 10.Shan T, Tay F, Gu L. Application of artificial intelligence in dentistry. *J Dent Res* 2021;100(3):232-44.
- 11.Moor J. The Dartmouth College artificial intelligence conference: The next fifty years. *AI Mag* 2006;27(4):87.

- 12.Hashimoto DA, Rosman G, Rus D, Meireles OR. Artificial intelligence in surgery: promises and perils. *Ann Surg* 2018;268(1):70.
- 13.Khanagar SB, Al-Ehaideb A, Maganur PC, Vishwanathaiah S, Patil S, Baeshen HA, et al. Developments, application, and performance of artificial intelligence in dentistry—A systematic review. *J Dent Sci* 2021;16(1):508-22.
- 14.Kositbowornchai S, Siritteptawee S, Plermkamon S, Bureerat S, Chetchotsak D. An artificial neural network for detection of simulated dental caries. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2006;1(2):91-6.
- 15.Hwang J-J, Azernikov S, Efros AA, Yu SX. Learning beyond human expertise with generative models for dental restorations. *ArXiv:180400064*. 2018.
- 16.Kim K. Book Review: Deep Learning. *Health Inform Res* 2016;22:351.
- 17.Brickley M, Shepherd J, Armstrong R. Neural networks: a new technique for development of decision support systems in dentistry. *J Dent* 1998;26(4):305-9.
- 18.Hwang J-J, Jung Y-H, Cho B-H, Heo M-S. An overview of deep learning in the field of dentistry. *Imaging Sci Dent* 2019;49(1):1-7.
- 19.Tang A, Tam R, Cadrin-Chênevert A, Guest W, Chong J, Barfett J, et al. Canadian Association of Radiologists white paper on artificial intelligence in radiology. *Can Assoc Radiol J* 2018;69(2):120-35.
- 20.Jha S, Topol EJ. Adapting to artificial intelligence: radiologists and pathologists as information specialists. *Jama* 2016;316(22):2353-4.
- 21.Chan S, Siegel EL. Will machine learning end the viability of radiology as a thriving medical specialty? *Br J Radiol* 2019;92(1094):20180416.
- 22.White SC, and Michael J. Pharoah. Oral radiology-E-Book: Principles and interpretation. Health Sciences 2014.
- 23.Yaji A, Prasad S, Pai A. Artificial intelligence in dento-maxillofacial radiology. *Acta Scientific Dental Sciences* 2019;3(1):116-21.
- 24.Katne T, Kanaparthi A, Gotoor S, Muppurala S, Devaraju R, Gantala R. Artificial intelligence: demystifying dentistry—the future and beyond. *Int J Contemp Med Surg Radiol* 2019;4(4):D6-D9.
- 25.Flores A, Rysavy S, Enciso R, Okada K, editors. Non-invasive differential diagnosis of dental periapical lesions in cone-beam CT. 2009 IEEE International Symposium on Biomedical Imaging: From Nano to Macro; 2009: IEEE.
- 26.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. *Dentomaxillofac Radiol* 2020;49(1):20190107.
- 27.Krois J, Ekert T, Meinhold L, Golla T, Kharbot B, Wittemeier A, et al. Deep learning for the radiographic detection of periodontal bone loss. *Sci Rep* 2019;9(1):1-6.
- 28.Davies A, Mannocci F, Mitchell P, Andiappan M, Patel S. The detection of periapical pathoses in root filled teeth using single and parallax periapical radiographs versus cone beam computed tomography—a clinical study. *Int Endod J* 2015;48(6):582-92.
- 29.Tuzoff DV, Tuzova LN, Bornstein MM, Krasnov AS, Kharchenko MA, Nikolenko SI, et al. Tooth detection and numbering in panoramic radiographs using convolutional neural networks. *Dentomaxillofac Radiology*. 2019;48(4):20180051.
- 30.Kılıç MC, Bayrakdar IS, Çelik Ö, Bilgir E, Orhan K, Aydın OB, et al. Artificial intelligence system for automatic deciduous tooth detection and numbering in panoramic radiographs. *Dentomaxillofac Radiol* 2021;50(6):20200172.
- 31.Suzuki K. Overview of deep learning in medical imaging. *Radiol Phys Technol* 2017;10(3):257-73.
- 32.Miki Y, Muramatsu C, Hayashi T, Zhou X, Hara T, Katsumata A, et al. Classification of teeth in cone-beam CT using deep convolutional neural network. *Comput Biol Med* 2017;80:24-9.
- 33.Tekin By. Bitewing Ağiz İçi Radyografik Görüntülerde Derin Öğrenme İle Diş Segmentasyonu 2021.
- 34.Oktay AB, editor Tooth detection with convolutional neural networks. 2017 Medical Technologies National Congress (TIPTEKNO); 2017: IEEE.
- 35.Çelik Ö, Odabaş A, BAYRAKDAR İŞ, Bilgir E, AKKOCA F. Derin öğrenme yöntemi ile panoramik radyografiden diş eksikliklerinin tespiti: Bir yapay zekâ pilot çalışması. *Selcuk Dent J* 2019;6(4):168-72.
- 36.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. *Dentomaxillofac Radiol* 2019;48(1):20170344.

- 37.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. *J Periodontal Implant Sci* 2018;48(2):114-23.
- 38.Orhan K, Bayrakdar I, Ezhov M, Kravtsov A, Özyürek T. Evaluation of artificial intelligence for detecting periapical pathosis on cone-beam computed tomography scans. *Int Endod J* 2020;53(5):680-9.
- 39.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. *Sci Rep* 2020;10(1):1-8.
- 40.Fukuda M, Inamoto K, Shibata N, Arijji Y, Yanashita Y, Kutsuna S, et al. Evaluation of an artificial intelligence system for detecting vertical root fracture on panoramic radiography. *Oral Radiol*2020;36(4):337-43.
- 41.Li Q, Chen K, Han L, Zhuang Y, Li J, Lin J. Automatic tooth roots segmentation of cone beam computed tomography image sequences using U-net and RNN. *J Xray Sci Technol* 2020;28(5):905-22.
- 42.Hiraiwa T, Arijji 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. *Dentomaxillofac Radiol* 2019;48(3):20180218.
- 43.Kuwada C, Arijji 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 Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*2020;130(4):464-9.
- 44.Kise Y, Ikeda H, Fujii T, Fukuda M, Arijji Y, Fujita H, et al. Preliminary study on the application of deep learning system to diagnosis of Sjögren's syndrome on CT images. *Dentomaxillofac Radiol* 2019;48(6):20190019.
- 45.Jurczyszyn K, Kozakiewicz M. Differential diagnosis of leukoplakia versus lichen planus of the oral mucosa based on digital texture analysis in intraoral photography. *Adv Clin Exp Med*2019;28(11):1469-76.
- 46.Kim DW, Lee S, Kwon S, Nam W, Cha I-H, Kim HJ. Deep learning-based survival prediction of oral cancer patients. *Sci Rep* 2019;9(1):1-10.
- 47.Saintigny P, Zhang L, Fan Y-H, El-Naggar AK, Papadimitrakopoulou VA, Feng L, et al. Gene expression profiling predicts the development of oral cancer. *Cancer Prev Res* 2011;4(2):218-29.