

## DERLEME

# Dentomaksillofasiyal Radyolojide Yapay Zeka Uygulamalarının Rolü: Bölüm 2

Elif Şener(0000-0003-1402-9392)<sup>a</sup>, Güniz Baksı Şen(0000-0001-5720-2947)<sup>a</sup>

*Selcuk Dent J*, 2022; 9: 721-728(Doi: 10.15311/selcukdentj.855538)

Başvuru Tarihi: 06 Ocak 2021  
Yayına Kabul Tarihi: 04 Mart 2021

### ÖZ

#### Dentomaksillofasiyal Radyolojide Yapay Zeka Uygulamalarının Rolü: Bölüm 2

Dijital teknoloji alanındaki gelişmeler; gerek medikal gerekse dental alanda tanı ve tedavi planlamasında yararlanılacak yapay zeka (YZ) uygulamalarına hız vermiştir. YZ, makinelerin insan beyninin çalışmasını taklit ederek karar verme ve tahmin etme gibi çözülmesi zor olan problemlerin çözümüne imkân tanıyan bir alandır. Medikal görüntüleme; yapay zekânın bir alt dalı olan makine öğrenmesi yöntemlerinin en popüler olduğu alanlar içerisinde yer almaktadır. Günümüz medikal araştırma alanlarının başında gelen yapay zeka uygulamaları, radyoloji ve dişhekimliği alanlarında tanı ve tedavi basamaklarının daha düşük maliyet ve daha yüksek doğrulukla gerçekleşmesini sağlamıştır. Bu derlemenin amacı; yapay zekâ uygulamaları içerisinde yer alan farklı ağ mimarileri ve öğrenme algoritmalarının dental disiplinlerdeki mevcut ve potansiyel kullanım alanlarını irdelemektir.

#### ANAHTAR KELİMELELER

Dijital görüntüleme, Dentomaksillofasiyal radyoloji, Yapay zeka, Dental

### ABSTRACT

#### Role of Artificial Intelligence Applications in Dentomaxillofacial Radiology: Part 2

Advances in digital technology accelerated the artificial intelligence (AI) applications that can be used in diagnosis and treatment planning in both medical and dental fields. AI is a field that allows machines to solve difficult problems such as decision making and prediction by imitating the work of the human brain. Medical imaging is among the most popular areas of machine learning methods which is a sub-branch of artificial intelligence. Artificial intelligence applications, which are one of the leading medical research areas of today, have enabled diagnosis and treatment steps in the fields of radiology and dentistry to be performed with lower costs and higher accuracy. The aim of this review is to examine the current and potential areas of different network architectures and learning algorithms in dental disciplines within artificial intelligence applications.

#### KEYWORDS

Digital imaging, Dentomaxillofacial radiology, Artificial intelligence, Dental

Yapay zekâ (YZ), kısaca önceden eğitilmiş ve programlanmış bir bilgisayar yazılımı olarak tanımlanabilmektedir. Daha kapsamlı tanımı ile YZ algoritmaları görme, algılama, bilgilenme, düşünme ve karar verme gibi insan zekâsına özgü donanımları taklit edebilme yeteneğine sahip bilgisayarlar olarak da nitelendirilebilmektedir.

Dişhekimliğinde gerek tanı gerekse tedavi amaçlı bilgisayar destekli planlamaların ve denetlemelerin kullanımı giderek artmakta ve klinisyenlere destek sağlamaktadır. Yapay zeka kullanımının kliniklerde yaygınlaşması tanısal kapasiteyi arttıracak, bireysel farklılıklardan kaynaklanan insana bağlı hataların, tedavi sürelerinin ve dişhekimliği emeğinin azalmasına katkı sağlayacaktır. Gelecekte dişhekimliği uygulamalarına devrimsel bir yenilik ve nitelik kazandıracak YZ uygulamalarına yönelik bilimsel çalışmalar tam olarak son noktaya ulaşmamış olsa da, dişhekimliğinin birçok farklı disiplininde patolojileri saptama ve problemleri çözme kapasitesine dair çok sayıda çalışma bulunmaktadır.<sup>1,2</sup>

Bu makaledeki amacımız bir önceki makalemizde irdelediğimiz cerrahi ve endodonti disiplinlerindeki YZ uygulamalarına ek olarak periodontoloji, ortodonti, restoratif ve adli dişhekimliği konularında YZ ile yapılmış çalışmaları gözden geçirmek ve bu yeni teknolojinin adı geçen disiplinler açısından yararlarını değerlendirmektir.

### Periodontoloji Alanında YZ Uygulamaları

Periodontal hastalıklarda gözlenen alveoler kemik rezorpsiyonunun periapikal bölgede gözlenen patolojiler ile benzer karakterde olması, endodonti alanında olduğu gibi periodontoloji alanında da YZ algoritmalarının kullanılmasına olanak sağlamıştır. Radyografik kemik kaybı incelemesi, cep derinliği saptanması ve efektif plak kontrolü gibi birçok amaçla YZ algoritmalarının etkinliği üzerine çalışmalar yapılmıştır. Lin ve ark.<sup>31</sup>, periapikal radyografi üzerinde alveoler kemik kaybının otomatik olarak saptanabileceği bir algoritma geliştirmiştir. Hibrit karakterde bir segmentasyon yönteminden yararlanılan çalışmanın bulguları; geliştirilen algoritmanın periodontitis tanımlı radyografiler üzerinde gözlenen alveoler kemik kaybını efektif olarak lokalize edebildiğini göstermektedir.<sup>3</sup> Aynı ekibin 2017 yılında yaptığı benzer bir çalışmada geliştirdiği algoritma ile kemik kaybının miktarı otomatik olarak ölçülmüştür. 12 periapikal film üzerinde 17 diş gibi küçük bir örnek grubu üzerinde gerçekleştirilen bu çalışmada elde edilen bulgular; geliştirilen algoritmanın radyografi üzerinde periodontitise bağlı gelişen horizontal kemik

<sup>a</sup> Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız Diş ve Çene Radyolojisi AD, İzmir, Türkiye

kaybı miktarını efektif olarak belirleyebildiğini göstermektedir.<sup>4</sup> Lee ve ark. ise; derin öğrenme algoritmaları içinde konvulasyonel sinir ağları (KSA) modelini kullanılarak periodontal desteği zayıflamış dişlerin saptanmasına yönelik bir program geliştirmiştir.<sup>5</sup> Çalışmalar umut verici sonuçlar bildirmekle birlikte temel yetersizlikleri alveoler kemik kaybının 2B görüntüler üzerinde değerlendirilmiş olmasıdır.<sup>3-5</sup> Gelecekte 3B görüntüler üzerinde gerçekleştirilecek YZ uygulamaları sayesinde alveoler kemik kaybının erken dönemde saptanması, uygulanan rejeneratif ya da cerrahi tedaviler sonrasında kemik seviyesinin doğru şekilde değerlendirilmesi gibi pratik uygulamaların birçok aşamasında yarar sağlaması beklenmektedir.

Konvulasyonel sinir ağları (KSA) modeli kullanılarak geliştirilen YZ uygulamalarından bir diğeri ise plak kontrolü değerlendirmedir. Imangaliyev ve ark.<sup>6</sup> ışığa duyarlı floresans (QLF: Light induced Fluorescence) kameralar kullanarak kırmızı floresans renk yayan dental plak seviyelerine ait görüntülerin otomatik olarak sınıflandırılması için KSA modeli kullanarak bir derin öğrenme algoritması geliştirmiştir. Bu algoritmanın diğer plak sınıflaması yöntemlerine kıyasla üstün performans göstermesinin efektif plak kontrolü değerlendirmelerinin otomatik olarak gerçekleştirilmesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir.<sup>6</sup>

YZ uygulamaları cep derinliği ölçümü amacıyla da kullanılmaktadır. Cep derinliği ölçümü için YZ ve manuel teknikleri kıyaslayarak invaziv olmayan ve ağrısız bir teknik geliştirmeye çalışan Rudd ve ark., ultrasonik bir uç ve ses dalgaları yardımıyla gerçekleştirdikleri algoritma ölçümlerinin doğruluğunu %90 olarak bulmuşlardır.<sup>7</sup> Periodontal alandaki yapay zeka uygulamaları periodontal dokuların 3B sanal simülasyonlarını interaktif olarak oluşturmak amacıyla da kullanılmaktadır. Luciano ve ark.<sup>8</sup>, dokunsal veri iletişimi teknolojilerinden (haptik teknolojisi) yararlanarak periodontoloji eğitiminde kullanmak üzere bir prototip geliştirmiştir. Ağız içinin 3 boyutlu görüntüsünün ve dental aletlerle diş, gingiva, kemik ve kalkulus gibi yüzeylere dokunulduğunda hissedilen dokunma hissini sanal simülasyonlarını içeren PerioSim isimindeki robotik kol; öğrencilerin eğitimi sırasında periodontal hastalıkların tanı ve tedavi basamaklarını sanal bir ortamda tecrübe etmelerine olanak sağlamaktadır.<sup>8</sup>

Periodontal alandaki YZ uygulamalarına yönelik tüm bu çalışmaların bulguları; yakın gelecekte periodontoloji kliniklerinde yaygın olarak kullanılacağına göstergesi olarak kabul edilmektedir. Periodontoloji kliniklerinde YZ'nin en etkin kullanım alanlarının periodontal kemik kaybının değerlendirilmesi ile periodontal cerrahi tedaviler öncesinde planlama olacağı düşünülmektedir.

#### Restoratif Alanında YZ Uygulamalar:

Diş çürükleri en yaygın gözlenen dental hastalıktır.

Çürüğün erken tanısı ile girişimsel olmayan ya da minimal girişimsel uygulamalarla durdurulması ya da geri döndürülmesi mümkündür. Bu nedenle dental YZ uygulamaları içinde çürük tanısı konusunda çok sayıda çalışma yapıldığı göze çarpmaktadır.<sup>9-12</sup>

YZ kullanımının çürük tanısı amacıyla kullanıldığı geçmiş tarihli çalışmaların ortak özelliği, çekilmiş dişler üzerinde gerçekleştirilmiş olmasıdır.<sup>9-11,13</sup> Bu çalışmalarda çürük tanısı için test edilen algoritmanın diyagnostik performansının yüksek olması YZ uygulamaları açısından umut vermekle birlikte; çekilmiş dişlerin kullanılmış olması klinik koşulları yansıtmadığı için tartışmalı bulunmuştur.<sup>14</sup>

Son yıllarda bu konuda yapılan çalışmalarda ise çekilmiş dişler yerine radyografilerden yararlanıldığı göze çarpmaktadır.<sup>9-11,13,15-20</sup> Çürük tanısı için birbirinden farklı algoritmaların performansının değerlendirildiği bu çalışmalarda hem intra-oral hem de ekstra-oral radyografilerden yararlanıldığı gözlenmektedir.<sup>16-20</sup> Cantu ve ark. KSA modelini kullanarak bite-wing radyografileri üzerinde çürük tanısına yönelik bir algoritma geliştirdikleri çalışmada, algoritmanın gözlemcilerle kıyasla çürük tanısında daha yüksek performans gösterdiğini saptamıştır.<sup>19</sup> Geetha ve ark. ise, periapikal filmler üzerinde gerçekleştirdikleri güncel bir çalışmada benzer bulgulara ulaşmışlardır.<sup>20</sup> Singh ve ark. okluzal ve aproksimal çürükleri otomatik olarak saptamak üzere geliştirdikleri algoritmada ise panoramik radyografi görüntülerinden yararlanmışlardır.<sup>16</sup> Söz konusu çalışmaların geçmiş tarihli çalışmalara kıyasla çekilmiş dişler yerine hastalardan elde edilmiş radyografiler üzerinde yapılmış olması klinik koşullara benzer ortam sağlamakla birlikte, hepsinin ortak yetersizliği 2B görüntüler kullanılmış olmasıdır.<sup>9-11,13,15-20</sup> Gelecekte 3B görüntüler ile yapılacak YZ çalışmaları sayesinde çürük tanısı dışında çürük derinliğinin saptanmasına da olanak sağlanacak, böylece okluzal ve aproksimal çürüklerin yanı sıra bukko-lingual çürüklerin saptanması da mümkün olacaktır.

YZ uygulamalarının çürük tanısı konusundaki performansını değerlendiren çalışmaların bir kısmında radyografiler yerine lazer floresans yönteminin kullanıldığı gözlenmektedir.<sup>12,21</sup> Temel çalışma prensibi, sağlam ve çürük diş sert dokularının floresans özelliklerindeki farklılıkları ölçmek olan lazer floresans yöntemi ile hem çekilmiş dişler<sup>12</sup> hem de hastalardan elde edilen Diagnodent görüntüleri üzerinde<sup>21</sup> gerçekleştirilen çalışmalarda derin öğrenme algoritmalarının çürük tanısı performansının yüksek olduğu vurgulanmaktadır. Ancak, bu çalışmalardaki olgu sayılarının kısıtlı olduğu ve çalışmaların ön çalışma niteliğinde olduğu görülmektedir. Bu konuda daha güvenilir sonuçlara ulaşabilmek için daha geniş hasta grupları ile çalışmalar yapılması gereklidir.

#### Ortodontik Alanında YZ Uygulamalar:

Kraniyofasiyal anatomi ve çene&yüz oranlarının doğru

şekilde analiz edilmesi; ortodontik ve ortognatik tedavinin temelini oluşturur. Bu nedenle ortodontide YZ kullanılarak gerçekleştirilen çalışmaların çoğunluğunu ortodontik tedavi planlamasının etkinliğini arttırması beklenen sefalometrik noktaların otomatik olarak lokalize edilmesi esasına dayalı algoritmaların oluşturduğu görülmektedir.<sup>22-38</sup>

Geleneksel ortodontik analizler 2B sefalometrik radyografler üzerinde manuel olarak gerçekleştirilmektedir. Fakat 2B görüntüleme sistemlerinin çocuk hastaların çekim sırasında sabit duramaması nedeniyle hasta pozisyonlandırmasında yaşanan problemlerin yanı sıra görüntü magnifikasyonu, distorsiyonu ve süperpozisyonu gibi birçok dezavantaja sahip olması; 2B sefalometrik radyografler üzerinde gerçekleştirilen analizlerin doğruluğunu azaltmaktadır. Bu aşamada 3 boyutlu tanı ve sanal tedavi planlamalarında DVT'nin yaygın kullanımı; ortodontik ve ortognatik tedaviler için yüksek doğrulukta seçenekler sunan bir alternatif haline gelmiştir.<sup>39</sup> 2B sefalometrik radyografler üzerinde gerçekleştirilen analizlerin zahmetli ve zaman alıcı olması da ortodontistlerin çoğunun analizleri DVT görüntüleri üzerinde yazılımlar yardımı ile bilgisayar destekli gerçekleştirmeyi tercih etmelerine neden olmuştur.<sup>32,33,36</sup> 3B görüntüler kullanılarak gerçekleştirilen ortodontik analizler yazılımlar ile oluşturulsa da, ortodontistin anatomik noktaları 3B görüntüler üzerinde manuel olarak saptaması gereklidir. Bu durum farklı gözlemcilerle dayalı manuel ölçüm farklılıkları doğurabilmekte ve objektif bir değerlendirme yapılmasına engel olmaktadır.<sup>38</sup> Zaman alan ve zahmetli olan bu aşama ortodontistlerin; sefalometrik analizin tamamen makine destekli öğrenme algoritmaları ile yapılması yönündeki çalışmalarına hız vermiştir.<sup>32,33,36,37</sup>

Ortodonti alanında farklı algoritmalar kullanılarak anatomik noktaların otomatik olarak lokalize edilmesinde YZ tekniklerinin etkinliğini araştıran çalışmaların 2000'li yılların başına kadar dayandığı görülmektedir.<sup>22-24</sup> 2B veya 3B görüntüler kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmaların çoğunda kullanılan algoritmaların lokalize edebildiği anatomik nokta sayısı 10 ila 43 arasında değişkenlik göstermektedir.<sup>25,26</sup> Cheng ve ark.'nın<sup>28</sup> 2011 yılında DVT görüntüleri üzerinde tek bir anatomik noktanın otomatik olarak lokalizasyonuna yönelik geliştirdiği algoritmayı test ettiği çalışma sonrasında gerçekleştirilen YZ algoritmalarına yönelik çalışmaların çoğunda DVT görüntülerinden yararlanıldığı görülmektedir.<sup>32,33,36,37</sup>

Anatomik oluşumların lokalizasyonunda otomatik bir algoritmanın başarılı kabul edilebilmesi için ortalama deviasyon miktarının 2 mm'nin altında olması gerektiği vurgulanmaktadır.<sup>38</sup> Bu konuda yapılan çalışmalarda YZ algoritmalarının anatomik noktaları lokalize etme performanslarındaki ortalama deviasyon miktarının 1.1mm ila 4.09 mm arasında değişkenlik gösterdiği görülmektedir.<sup>22-24,32,33,36,37</sup> Shahidi ve ark.<sup>32</sup>, DVT

görüntüleri üzerinde 14 farklı anatomik noktanın otomatik olarak saptanabilmesini sağlayan bir algoritma geliştirmiştir. Fakat, manuel olarak gerçekleştirilen anatomik lokalizasyon saptanmasında deviasyon oranı 1.41 mm iken, algoritma ile otomatik saptanan lokalizasyon değerlerindeki deviasyon 3.40 mm bulunmuştur.<sup>32</sup>

Montufar ve ark., anatomik noktaların DVT görüntüleri üzerinde otomatik olarak belirlenmesi amacıyla geliştirdikleri algoritmada hibrit bir modelden yararlanmış ve bu yöntemin deviasyon oranının daha düşük olduğunu saptamışlardır.<sup>36</sup> Deviasyon oranının diğer çalışmalara kıyasla düşük olması olumlu olmakla birlikte, şimdiye kadar otomatik olarak anatomik nokta saptamak için kullanılan algoritmaların performansının henüz rutin klinik uygulamalarda kullanım için yeterli olmadığı vurgulanmaktadır. 3B görüntüler üzerinde yapılan anatomik nokta lokalizasyonu 2B görüntülere kıyasla birden fazla düzlemde değerlendirmeye olanak sağlasa da, algoritmaların 3B modeller üzerinde anatomik noktaları belirlemeye yönelik performansları yetersizdir. Kullanılan algoritmaların birçoğu sadece ortodontik analiz noktalarının lokalizasyonu için önerilmekte olup, ileri ortodontik analizler için geliştirilen bir algoritma ise henüz mevcut değildir. Bu durum geliştirilen algoritmaların genel yetersizliği olarak nitelendirilmektedir. Ancak, gelecek dönemde yapılacak çalışmalar ile geliştirilmesi beklenen otomatik algoritmalar sayesinde YZ uygulamalarının ortodontik analizler için rutin olarak kullanılması beklenmektedir.<sup>2</sup>

YZ uygulamalarının ortodontide kraniyofasiyal deformiteli hastalarda da kullanımına dair çalışmalar mevcuttur. Bu konuda kraniyofasiyal hastalığın etiyopatogenezinin saptanmasından kraniyofasiyal sendromun otomatik olarak belirlenmesine, normal ve atipik kraniyofasiyal gelişimdeki epigenetik değişikliklerin belirlenmesinden orofasiyal damak yarıklarının genetik risk analizine kadar birçok farklı amaçla kullanılmak üzere algoritmalar geliştirilmeye çalışılmıştır.<sup>40-42</sup> Torosdağlı ve ark., kraniyofasiyal anomalili hastaların ortodontik analizlerini DVT görüntüleri üzerinde otomatik olarak gerçekleştirmek üzere geliştirdikleri bir algoritmanın yüksek performans göstermiş olması umut vericidir.<sup>42</sup> Fakat kraniyofasiyal deformiteli hastalarda ortodontik ve ortognatik tedavi planlaması anatomik noktaların belirlenmesine kıyasla daha karmaşık bir işlem olduğundan, YZ uygulamaları deformiteli hastaların tedavisinde efektif bir şekilde uygulanmamaktadır. Gerek kraniyofasiyal bölgenin kompleks yapısı gerek DVT görüntülerinde karşılaşılan rastlantısal bulguların varlığı radyografik değerlendirme için hekimin varlığını ve onayını gerekli kılmaktadır.<sup>41</sup> YZ uygulamalarının ortodonti kliniklerinde ve/veya farklı hasta gruplarında kullanımının yaygınlaşması için algoritmaların geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

### Adli Dişhekimliği Alanında YZ Uygulamaları

Adli dişhekimliği, dental verilerin adli kurumların yararına saklanması ve değerlendirilmesini kapsayan

bir adli bilimler dalıdır. Adli tıbbın en önemli ve en geniş konularından biri olan kimliklendirme olgularında dişlerin önemi oldukça yüksektir. Özellikle bütünlüğünü kaybetmiş veya değişime uğramış olgularda, fiziksel faktörler ve dış etkenlerden fazla etkilenmemeleri, uzun süre dayanıklılıklarını koruyabilmeleri gibi avantajlarının olması; dişlerin kimliklendirmede diğer yapılara oranla daha rahat kullanılabilmesini sağlamaktadır. Adli dişhekimliğinde dental kimliklendirme radyografik tekniklerden yararlanılması esasına dayanarak çalışır. Bunun için dental kayıtların doğru ve güvenilir bir şekilde arşivlenmesi ve saklanması bir zorunluluktur. Adli dişhekimliği alanında YZ uygulamalarına yönelik gerçekleştirilen çalışmaların çoğunlukla mevcut olan/olmayan dişlerin saptanması ve sınıflandırılmasına yönelik algoritmaların geliştirilmesini kapsadığı dikkat çekmektedir.<sup>43,44</sup>

Miki ve ark.<sup>43</sup> KSA modelini kullanarak, DVT görüntüleri üzerinde dişlerin otomatik olarak sınıflandırmasının yapılabildiği bir derin öğrenme algoritması geliştirmiştir. Söz konusu çalışma kısıtlı örnek sayısı ile gerçekleştirilmiş olmasına karşın; YZ algoritmalarının adli dişhekimliğinde kimliklendirme amacıyla dental kayıtların doğru şekilde oluşturulması esasıyla kullanımının mümkün olduğunu kanıtlamıştır. Yanı sıra; implantoloji ve protez uygulamalarında mevcut olan/olmayan dişlerin bu algoritma yardımıyla kodlanmasının yararlı olabileceği vurgulanmıştır.<sup>43</sup> Tuzoff ve ark, dişlerin otomatik olarak doğru şekilde saptanıp numaralandırılması amacıyla geliştirdikleri algoritmada ise panoramik radyografi görüntülerinden yararlanmıştır. 1352 panoramik radyografi kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada, kullanılan algoritmanın gözlemcilerle dayalı oluşturulan dental kayıtlarla kıyaslanabilir sonuçlar verdiği bildirilmiştir.<sup>44</sup>

Adli olgularda kimliklendirme aşamasında en önemli parametrelerden biri de kişinin yaşıdır. Bu aşamada dişler sert yapı özellikleri, mekanik, kimyasal ve fiziksel etkilere ve zamana karşı dirençli olmaları ve uzun süre morfolojik yapılarını korumaları nedeniyle yaş tayini için kullanılan yöntemler arasında en güvenilir olanlardan birisidir. Yapılan çalışmalarda radyografik tekniklerin yaş tayininde güvenle kullanılabilmesi bildirilmektedir.<sup>45</sup> Adli dişhekimliği alanında YZ uygulamalarına yönelik gerçekleştirilen çalışmaların bir kısmı diş gelişim düzeylerinin belirlenerek otomatik yaş tayinine olanak sağlayan algoritmaların geliştirilmesi üzerine olmuştur.<sup>46-49</sup> Bu çalışmaların bir kısmında manyetik rezonans görüntülerinden (MRG) yararlanıldığı dikkat çekmektedir.<sup>46,47</sup> 3. molar diş gelişim evrelerine ait görüntülerden yararlanılarak yaş tayinini otomatik gerçekleştirilen YZ uygulamalarında ise panoramik radyografiler kullanılmıştır.<sup>48,49</sup> De Tobel ve ark'nın 3. molar diş gelişimine göre yaş tayini için kullanılan yöntemlerden olan Demirjian yöntemini modifiye ederek kullandıkları çalışmalarında, 20 panoramik radyografinin otomatik olarak değerlendirilmesi amacıyla geliştirilen derin öğrenme

algoritmasının; gözlemcilerle dayalı değerlendirmelerle benzer performans gösterdiği saptanmıştır.<sup>48</sup> Aynı araştırmacının daha geniş bir hasta grubuna (400) ait panoramik radyografi görüntüleri üzerinde otomatik yaş tayini amacıyla oluşturdukları algoritma ile de benzer sonuçlar alınmıştır.<sup>49</sup> Bu alanda geliştirilen algoritmalar, gelecekte gerek dental kayıtların gerekse yaş tayininin elektronik ortamda otomatik olarak hızlı ve yüksek doğrulukla gerçekleştirilmesini sağlayacaktır. Buna ek olarak, dişhekimliği kliniklerinde tanı sürecinin önemli bir alanını oluşturan otomatik dental radyografi analiz yöntemlerinin de geliştirilmesine olanak sağlayacaktır.

### Görüntü kalitesinin geliştirilmesi için YZ uygulamaları

Hem medikal hem de dental radyolojide radyasyondan korunma en önemli parametredir. Medikal alanda tanı ve tedavi planlaması sırasında sıklıkla tercih edilen bilgisayarlı tomografi (BT) görüntülerinin kesit kalınlıklarının azaltılması, BT görüntülerinin çözünürlüğünü arttırmak için uygulanan yöntemlerin başında gelmektedir. Fakat bu işlem görüntü kirliliğini arttırmanın yanı sıra hastaya ulaşan radyasyon dozunu da yükseltmektedir. Bu nedenle hem medikal hemde dental alanda yüksek çözünürlüklü görüntülere sadece düşük çözünürlükteki görüntülerin tanı ve tedavi planlaması için yeterli olmadığı bazı özel durumlarda başvurulması gerektiği vurgulanmaktadır.<sup>50</sup> Bu aşamada radyasyon dozu ve görüntü çözünürlüğü dengesini kurmak radyologlar için zorlayıcı olabilmektedir. Park ve ark., kalın kesitler ile elde edilen görüntü çözünürlüğünü ince kesitlerin çözünürlük düzeyine yükseltmek için geliştirdikleri öğrenme algoritması ile oluşturdukları görüntülerdeki görüntü kirliliğinin orijinal görüntüye kıyasla daha düşük olduğunu saptamıştır.<sup>51</sup> Bu sonuç, geliştirilen algoritmalar sayesinde; BT görüntülerinin kesit kalınlığı değiştirilmeden çözünürlüğü artırılarak düşük doz ve görüntü kirliliği ile YZ uygulamalarında kullanılabilmesi konusunda umut vermektedir. Gelecekte bu tip algoritmaların DVT görüntüleri için de geliştirilmesi durumunda dental tanı aşamasında yüksek çözünürlükteki 3B görüntülere düşük radyasyon ve kirlilik seviyesi ile ulaşmak mümkün olacaktır.

Hastaya ulaşan radyasyon dozunun yanısıra hem BT hem DVT görüntüleri üzerinde gözlenen metal artefaktları görüntü kalitesini dolayısıyla tanı koyma işlemini olumsuz yönde etkilemektedir. Dental restorasyonlardan ve/veya ortodontik apareylerden kaynaklı artefakt varlığı, sadece tanı işlemini değil, diş segmentasyonu ya da alt ve üst yapı kılavuzlarının hazırlanması sırasındaki eşleştirme (registration) aşamalarını da olumsuz yönde etkilemektedir.<sup>1</sup> Minnema ve ark., KSA modeli kullanılarak geliştirdikleri YZ algoritması ile görüntülerdeki metal artefaktlarını yüksek doğrulukta sınıflayarak elimine edebildiklerini bildirmektedir.<sup>52</sup>

## SONUÇ

Yukarıda anlatılan birçok çalışmada adı geçen YZ algoritmaları; 3B görüntüleri kullanarak kistik lezyonların otomatik olarak tanısından anatomik noktaların lokalizasyonuna kadar çok sayıda farklı dental amaç için kullanılmaktadır.<sup>33,36,37,53,54</sup> Çalışmaların ortak yetersizliklerinin başında birçoğunun 2B görüntüler ile gerçekleştirilmiş olması gelmektedir.<sup>2,22,23,27,29-31</sup> 2B görüntülerin bilinen dezavantajlarının yanı sıra üçüncü boyuta dair bilgi içermemesi; YZ algoritmalarının patolojik oluşumları saptamadaki diyagnostik doğruluğunu azaltmaktadır. Söz konusu çalışmaların yetersizliklerinden ikincisi ise; farklı dental disiplinlerdeki uygulamalar için önerilen yapay zeka algoritmalarının hiçbirinin ticari olarak ulaşılabilir olmamasıdır. Gelecekte herkesin kullanımına açık yazılımların piyasaya sürülmesi ile farklı grupların yaptığı çalışmaların algoritmalarına yönelik bulgularını karşılaştırmak, buna ek olarak rutin klinik uygulamalarda da test edilip doğrulanmasını sağlamak mümkün olacaktır. Üçüncü olarak sayılabilecek yetersizlik; şimdiye kadar kullanılan YZ algoritmalarının spesifik dental işlemler hedeflenerek geliştirilmiş olmasıdır. Gelecekte tek bir algoritmanın gelişmiş iş akışı (workflow) içine çok sayıda dental uygulamaya entegre edilebilmesi beklenmektedir.<sup>55</sup> Ek olarak, gelecek hedeflerinden biri de çok amaçlı geliştirilen YZ algoritması performansının uzman değerlendirmelerinden üstün olmasının yanı sıra insan gözüyle görülemeyen erken dönem lezyonları da saptayabilme yeteneğine sahip olmasıdır.

**KAYNAKLAR**

1. Hung K, Yeung AWK, Tanaka R, Bornstein MM. Current applications, opportunities, and limitations of AI for 3D imaging in dental research and practice. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17:4424.
2. 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;49:20190107.
3. Lin PL, Huang PW, Huang PY, Hsu HC. Alveolar bone-loss area localization in periodontitis radiographs based on threshold segmentation with a hybrid feature fused of intensity and the H-value of fractional Brownian motion model. *Comput Methods Programs Biomed* 2015;121:117–26.
4. Lin PL, Huang PY, Huang PW. Automatic methods for alveolar bone loss degree measurement in periodontitis periapical radiographs. *Comput Methods Programs Biomed* 2017; 148:1–11.
5. Lee JH, Kim DH, Jeong SN, Choi SH. Diagnosis and prediction of periodontally compromised teeth using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. *J Periodontal Implant Sci* 2018;48:114–23.
6. Imangaliyev S, van der Veen V, Volgenant C, Loos B, Keijser B, Crielaard W, et al. Classification of quantitative light-induced fluorescence images using convolutional neural network. *Arxiv* 2017;1705:09193.
7. Rudd K, Bertoncini C, Hinders M. Simulations of ultrasonographic periodontal probe using the finite integration technique. *Open Acoust J* 2009;2:1-19.
8. Luciano C, Banerjee P, DeFanti T. Haptics-based virtual reality periodontal training simulator. *Virtual Reality* 2009;13:69.
9. Firestone AR, Sema D, Heaven TJ, Weems RA. The effect of a knowledge-based, image analysis and clinical decision support system on observer performance in the diagnosis of approximal caries from radiographic images. *Caries Res* 1998;32:127–34.
10. Gakenheimer DC. The efficacy of a computerized caries detector in intraoral digital radiography. *J Am Dent Assoc* 2002;133:883–90.
11. Wenzel A, Hintze H, Kold LM, Kold S. Accuracy of computer-automated caries detection in digital radiographs compared with human observers. *Eur J Oral Sci* 2002;110:199–203.
12. 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. *J Dent* 2020;92:103260.
13. Devito KL, de Souza Barbosa F, Felipe Filho WN. An artificial multilayer perceptron neural network for diagnosis of proximal dental caries. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008;106:879-84.
14. 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. *J Clin Med* 2020;9:E3579.
15. Sornam M, Prabhakaran M. A new linear adaptive swarm intelligence approach using back propagation neural network for dental caries classification. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPCSI)*, Chennai, India, 21–22 September 2017; pp. 2698–2703.
16. Singh P, Sehgal P. Automated caries detection based on Radon transformation and DCT. In *Proceedings of the 8th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, Delhi, India, 3–5 July 2017; pp. 1–6.
17. Srivastavan MM, Kumar P, Pradhan L, Varadarajan S. Detection of tooth caries in bitewing radiographs using deep learning. In *Proceedings of the 31st Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS)*, Long Beach, CA, USA, 4–9 December 2017; p. 4.
18. Lee JH, Kim DH, Jeong SN, Choi SH. Detection and diagnosis of dental caries using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. *J Dent.* 2018;77:106-111.
19. Cantu AG, Gehrung S, Krois J, Chaurasia A, Rossi JG, Gaudin R, et al. Detecting caries lesions of different radiographic extension on bitewings using deep learning. *J Dent* 2020;100:103425.
20. Geetha V, Aprameya KS, Hinduja DM. Dental caries diagnosis in digital radiographs using back-propagation neural network. *Health Inf Sci Syst* 2020;8:8.
21. Casalegno F, Newton T, Daher R, Abdelaziz M, Lodi-Rizzini A, Schürmann F, et al. Caries Detection with Near-Infrared Transillumination Using Deep Learning. *J Dent Res* 2019;98:1227-1233.
22. Liu JK, Chen YT, Cheng KS. Accuracy of computerized automatic identification of cephalometric landmarks. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000;118:35–40.
23. Hutton TJ, Cunningham S, Hammond P. An evaluation of active shape models for the automatic identification of cephalometric landmarks. *Eur J Orthod* 2000;22:499–508.
24. Grau V, Alcañiz M, Juan MC, Monserrat C, Knoll C. Automatic localization of cephalometric landmarks. *J Biomed Inform* 200; 34:146–56.
25. Rueda S, Alcañiz M. An approach for the automatic cephalometric landmark detection using mathematical morphology and active appearance models. *Med Image Comput Comput Assist Interv* 2006;9:159–66.
26. Leonardi R, Giordano D, Maiorana F. An evaluation of cellular neural networks for the automatic identification of cephalometric landmarks on digital images. *J Biomed Biotechnol* 2009;2009:1–12.

27. Vucinić P, Trpovski Z, Šćepan I. Automatic landmarking of cephalograms using active appearance models. *Eur J Orthod* 2010;32:233–41.
28. Cheng E, Chen J, Yang J, Deng H, Wu Y, Megalooikonomou V, et al. Automatic dent-landmark detection in 3-D CBCT dental volumes. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2011; 2011:6204–7.
29. Shahidi S, Oshagh M, Gozin F, Salehi P, Danaei SM. Accuracy of computerized automatic identification of cephalometric landmarks by a designed software. *Dentomaxillofac Radiol* 2013;42:20110187.
30. Lindner C, Wang CW, Huang CT, Li CH, Chang SW, Cootes TF. Fully automatic system for accurate localisation and analysis of cephalometric landmarks in lateral cephalograms. *Sci Rep* 2016;20:33581.
31. Arık Serkan Ö, İbragimov B, Xing L. Fully automated quantitative cephalometry using convolutional neural networks. *J Med Imaging* 2017;4:014501.
32. Shahidi S, Bahrampour E, Soltanimehr E, Zamani A, Oshagh M, Moattari M, et al. The accuracy of a designed software for automated localization of craniofacial landmarks on CBCT images. *BMC Med Imaging* 2014;14:32.
33. Gupta A, Kharbanda OP, Sardana V, Balachandran R, Sardana HK. A knowledge-based algorithm for automatic detection of cephalometric landmarks on CBCT images. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2015;10:1737–52.
34. Gupta A, Kharbanda OP, Sardana V, Balachandran R, Sardana HK. Accuracy of 3D cephalometric measurements based on an automatic knowledge-based landmark detection algorithm. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2016;11:1297–309.
35. Codari M, Caffini M, Tartaglia GM, Sforza C, Baselli G. Computer-aided cephalometric landmark annotation for CBCT data. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2017;12:113–21.
36. Montúfar J, Romero M, Scougall-Vilchis RJ, Scougall V RJ. Hybrid approach for automatic cephalometric landmark annotation on cone-beam computed tomography volumes. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2018;154:140–50.
37. Neelapu BC, Kharbanda OP, Sardana V, Gupta A, Vasamsetti S, Balachandran R, et al. Automatic localization of three-dimensional cephalometric landmarks on CBCT images by extracting symmetry features of the skull. *Dentomaxillofac Radiol* 2018;47:20170054.
38. Leonardi R, Giordano D, Maiorana F, Spampinato C. Automatic cephalometric analysis. *Angle Orthod* 2008;78:145–51.
39. Scarfe WC, Farman AG. What is cone-beam CT and how does it work? *Dent Clin North Am* 2008;52:707–30.
40. Leite AF, Vasconcelos KF, Willems H, Jacobs R. Radiomics and Machine Learning in Oral Healthcare. *Proteomics Clin Appl*. 2020;14:e1900040.
41. Allareddy V, Rengasamy Venugopalan S, Nalliah RP, Caplin JL, Lee MK, et al. Orthodontics in the era of big data analytics. *Orthod Craniofac Res* 2019;;22:8-13.
42. Torosdagli N, Liberton DK, Verma P, Sincan M, Lee JS, Bağcı U. Deep Geodesic Learning for Segmentation and Anatomical Landmarking. *IEEE Trans Med Imaging* 2019;38:919-31.
43. 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;80:24-29.
44. Tuzoff DV, Tuzova LN, Bornstein MM, Krasnov AS, Kharchenko MA, Nikolenko SI, Sveshnikov MM, Bednenko GB. Tooth detection and numbering in panoramic radiographs using convolutional neural networks. *Dentomaxillofac Radiol*. 2019;48:20180051.
45. Nagi R, Aravinda K, Rakesh N, Jain S, Kaur N, Mann AK. Digitization in forensic odontology: A paradigm shift in forensic investigations. *J Forensic Dent Sci*. 2019;11:5-10.
46. De Tobel J, Phlypo I, Fieuws S, Politis C, Verstraete KL, Thevissen PW. Forensic age estimation based on development of third molars: a staging technique for magnetic resonance imaging. *J Forensic Odontostomatol* 2017;35:117-140.
47. De Tobel J, Parmentier GIL, Phlypo I, Descamps B, Neyt S, Van De Velde WL, et al. Magnetic resonance imaging of third molars in forensic age estimation: comparison of the Ghent and Graz protocols focusing on apical closure. *Int J Legal Med* 2019;133:583-592.
48. 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. *J Forensic Odontostomatol* 2017;35:42-54.
49. Merdietio Boedi R, Banar N, De Tobel J, Bertels J, Vandermeulen D, Thevissen PW. Effect of lower third molar segmentations on automated tooth development staging using a convolutional neural network. *J Forensic Sci* 2020;65:481-6.
50. Yeung AWK, Jacobs R, Bornstein MM. Novel low-dose protocols using cone beam computed tomography in dental medicine: a review focusing on indications, limitations, and future possibilities. *Clin Oral Investig* 2019;23:2573-81.
51. Park J, Hwang D, Kim KY, Kang SK, Kim YK, Lee JS. Computed tomography super-resolution using deep convolutional neural network. *Phys Med Biol* 2018;63:145011.

52. Minnema J, van Eijnatten M, Hendriksen AA, Liberton N, Pelt DM, Batenburg KJ, et al. Segmentation of dental cone-beam CT scans affected by metal artifacts using a mixed-scale dense convolutional neural network. *Med Phys* 2019;46:5027-35.
53. Abdolali F, Zoroofi RA, Otake Y, Sato Y. Automatic segmentation of maxillofacial cysts in cone beam CT images. *Comput Biol Med* 2016;72:108-19.
54. Abdolali F, Zoroofi RA, Otake Y, Sato Y. Automated classification of maxillofacial cysts in cone beam CT images using contourlet transformation and Spherical Harmonics. *Comput Methods Programs Biomed* 2017;139:197-207.
55. Chen YW, Stanley K, Att W. Artificial intelligence in dentistry: current applications and future perspectives. *Quintessence Int* 2020;51:248-57.

Yazışma Adresi:

Elif ŞENER  
Ege Üniversitesi  
Diş Hekimliği Fakültesi  
Ağız Diş ve Çene Radyolojisi AD,  
İzmir, Türkiye  
E-mail : esogur@yahoo.com