KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DERİN ÖĞRENME İLE KARIŞIK DİŞLENME DÖNEMİNDE DİŞLERİN NUMARALANDIRILMASI

ALTUĞ HAMDİ ALTUNTAŞ

KOCAELİ 2024

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DERİN ÖĞRENME İLE KARIŞIK DİŞLENME DÖNEMİNDE DİŞLERİN NUMARALANDIRILMASI

ALTUĞ HAMDİ ALTUNTAŞ

Prof.Dr. Oğuzhan URHAN
Danışman, Kocaeli Üniv. .....

Prof.Dr. Gökhan BİLGİN
Jüri Üyesi, Yıldız Teknik Üniv. .....

Doç.Dr. Aysun TAŞYAPI ÇELEBİ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv. .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 26.06.2024

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmasında,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☒ Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☐ Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler ..... tarafından ..... no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....

Altuğ Hamdi ALTUNTAŞ

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki makale, kitap, tebliğ, lisans, patent gibi çalışmalarda kullanımı, danışmanımın isim hakkı saklı kalmak koşuluyla ve her iki tarafın bilgisi dâhilinde bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan ***"Lisanüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge"*** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.

☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

☒ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

.....

Altuğ Hamdi ALTUNTAŞ

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yapay zeka temelli yaklaşımlar kullanılarak geliştirilen sistemlerin yorgunluk ve dalgınlık gibi insani faktörlerden etkilenmeyerek stabil sonuçlar üretebilmesi günümüzde sağlık ve bir çok alanda bu sistemlerin yoğunlukla kullanılmasına imkan vermektedir. Bu tez kapsamında önerilen yaklaşım ile panoramik diş röntgen görüntüleri üzerinden tedavi öncesinde diş sınıflandırmaya destek verecek bir sistem önerilmiştir.

Tez kapsamında üretilen projenin geliştirilmesi ve planlanması konusunda bana destek veren hocalarıma teşekkür ederim. Bugüne kadar aldığım her kararda destekçim ve yol arkadaşım olan eşime teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs – 2024 Altuğ Hamdi ALTUNTAŞ

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜRLER iii
İÇİNDEKİLER iv
ŞEKİLLER DİZİNİ v
TABLOLAR DİZİNİ vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vii
ÖZET viii
ABSTRACT ix
1. GİRİŞ 1
2. KURAMSAL TEMELLER 3
2.1. Ortodonti 3
2.1.1. Koruyucu Ortodonti 3
2.1.2. Durdurucu Ortodonti 3
2.1.3. Tedavi Edici Ortodonti 4
2.2. Görüntüleme Sistemleri 4
2.2.1. Panoramik Radyografi 5
2.2.2. Periapikal Radyografi 6
2.2.3. Bilgisayarlı Tomografi ve KIBT 7
2.3. Diş Sürmesi ve Dişlenme Dönemleri 8
2.3.1. Süt Dişlenme Dönemi 8
2.3.2. Kalıcı Dişlenme Dönemi 10
2.3.3. Karışık Dişlenme Dönemi 11
2.4. Diş Numaralandırma Sistemleri 13
2.4.1. FDI Numaralandırma Sistemi 13
2.4.2. Palmer Numaralandırma Sistemi 15
2.4.3. Üniversal Numaralandırma Sistemi 16
2.5. Yapay Zeka 17
2.5.1. Derin Öğrenme 17
2.5.1.1. Evrişimli Sinir Ağları 19
2.5.1.2. Nesne Tespiti 21
2.5.1.3. Bölütleme (Segmentation) 22
3. VERİ SETİ VE GELİŞTİRİLEN YÖNTEM 24
3.1. Veri Seti 24
3.2. Ön işleme 25
3.3. Yöntem 26
3.4. Deney Ortamı 29
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 30
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 38
KAYNAKLAR 40
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 43
ÖZGEÇMİŞ 44

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Panoramik diş röntgen görüntüsü 5
Şekil 2.2. Periapikal radyografi görüntüsü 6
Şekil 2.3. KIBT görüntüsü 7
Şekil 2.4. Kalıcı dişlenme dönemine ait panoramik diş röntgen görüntüsü 10
Şekil 2.5. Karışık dişlenme dönemine ait panoramik diş röntgen görüntüsü 12
Şekil 2.6. Kalıcı dişlenme döneminde FDI numaralandırılması 14
Şekil 2.7. Röntgen üzerinde kalıcı dişlenme döneminde FDI numaralandırılması 14
Şekil 2.8. Süt dişlenme döneminde FDI numaralandırılması 15
Şekil 2.9. Kalıcı dişlenme döneminde palmer numaralandırma sistemi 15
Şekil 2.10. Süt dişlenme döneminde palmer numaralandırma sistemi 15
Şekil 2.11. Kalıcı dişlenme döneminde üniversal numaralandırma sistemi 16
Şekil 2.12. Süt dişlenme döneminde üniversal numaralandırma sistemi 16
Şekil 2.13. Yapay zeka ve alt kümeleri 18
Şekil 2.14. Nesne tespit algoritmasının örnek çıktısı 22
Şekil 2.15. Bölütleme çıktıları örnekleri 23
Şekil 3.1. Örnek etiketli veri 24
Şekil 3.2. Veri setindeki sınıfların dağılımı 26
Şekil 3.3. YOLO V7 mimarisi 27
Şekil 3.4. Giriş, yöntem ve çıkış 28
Şekil 4.1. Eğitim ve doğrulama hata grafikleri 31
Şekil 4.2. Doğruluk matrisi 32
Şekil 4.3. Kalıcı dişlenme döneminde önerilen yöntemin çıktısı 32
Şekil 4.4. 3. molar dişler varken önerilen yöntemin çıktısı 33
Şekil 4.5. Diş eksikliği olan röntgenlerde önerilen yöntemin çıktısı 34
Şekil 4.6. Karışık dişlenme döneminde önerilen yöntemin çıktısı 35
Şekil 4.7. Bölütleme hataları 37
Şekil 4.8. Sınıflandırma hatası 37

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Eğitim parametreleri..... 28
Tablo 4.1. Eğitilen modellerin başarım sonuçları..... 30
Tablo 4.2. Önerilen yöntemin benzer yöntemler ile karşılaştırılması 36

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

CNN	: Convolutional Neural Network (Evrişimli Sinir Ağları)
CUDA	: Compute Unified Device Architecture (Birleşik Cihaz Mimarisi Hesaplama)
FDI	: Fédération Dentaire Internationale (Uluslararası Diş Federasyonu)
GB	: Gigabyte (gigabayt)
GELAN	: Generalized Efficient Layer Aggregation Network (Genelleştirilmiş Verimli Katman Toplama Ağı)
GHz	: Gigahertz
IOU	: Intersection Over Union (Kesişimin Birleşime Oranı)
KIBT	: Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi
LR	: Learning Rate (Öğrenme Oranı)
mAP	: Mean Average Precision (Ortalama Hassasiyet)
PGI	: Programmable Gradient Information (Programlanabilir Gradyen Bilgisi)
RAM	: Random Access Memory (Rastgele Erişimli Hafıza)
RNN	: Reccurrent Neural Network (Özyinelemeli Sinir Ağı)
RTX	: Ray Tracing Texel eXtreme (Gerçek Zamanlı Işın İzleme)
YOLO	: You Only Look Once (Sadece Bir Kere Bak)

DERİN ÖĞRENME İLE KARIŞIK DİŞLENME DÖNEMİNDE DİŞLERİN NUMARALANDIRILMASI

ÖZET

Panoramik diş röntgen görüntüleri ağızda bulunan dişlerin dişlenme durumlarını, diş hastalıklarını ve diş eksikliklerini gösteren medikal görüntülerdir. Ortodontik tedavi süreçleri bu görüntüler üzerinden gözle çıkarılan sonuçlara göre şekillenmektedir. Tedavi süreçlerinde hataları en aza indirgemek için bu görseller üzerinden otonom bir şekilde çıkarım yapan sistemler geliştirilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında panoramik diş röntgenleri üzerinden süt dişler ile kalıcı dişlerin tespit edilmesi ve Evrensel Numaralandırma Sistemi'ne göre dişlerin numaralandırılması için tek adımlı bir derin öğrenme yaklaşımı önerilmiştir.

Çalışmada güncel yöntemlerden YOLO-V7 ve YOLO-V9 modellerinin bu probleme özgü şekilde yeniden uyarlanması ile tespitlerin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Tespit edilen dişlerin numaralandırılması derin öğrenme modeli tarafından yüksek başarımla gerçekleştirilmiştir. Böylelikle diş numaralandırılması için ek algoritmaların kullanılması gereksinimi ortadan kaldırılmıştır. Önerilen yaklaşım panoramik diş röntgenleri üzerinde %92 başarım ile dişleri tespit etmekte ve numaralandırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Derin Öğrenme, Diş Numaralandırması, Eksik Diş Tespiti, Karışık Dişlenme, Panoramik Röntgen.

NUMBERING OF TEETH IN THE MIXED DENTITION STAGE USING DEEP LEARNING

ABSTRACT

Panoramic dental X-ray images are medical images that show the condition of teeth, dental diseases, and tooth deficiencies in the mouth. Orthodontic treatment processes are shaped based on observations drawn from these images. To minimize errors in treatment processes, systems are being developed that autonomously infer from these images. As part of this thesis, a single-step deep learning approach has been proposed for the identification of primary and permanent teeth in panoramic dental X-rays and for numbering teeth according to the Universal Numbering System.

In the study, adaptations of the YOLO-V7 and YOLO-V9 models specific to this problem were used to perform detections. The deep learning model successfully numbered the detected teeth with high accuracy, eliminating the need for additional algorithms for tooth numbering. The proposed approach achieves tooth detection and numbering with 92% accuracy on panoramic dental X-rays.

Keywords: Deep Learning, Tooth Numbering, Missing Teeth Detection, Mixed Dentition, Panoramic X-Ray.

1. GİRİŞ

Ortodontik tedavi süreçlerinde hastaların ağız ve çene yapılarının anatomik olarak doğru tespit edilebilmesi ve tespit edilen yapının ihtiyaç halinde tekrarlanabilir şekilde kayıt altında tutulması önem arz etmektedir. Ağız ve diş yapısının belirlenmesi ve morfolojik ölçümlerin yapılması için günümüzde çeşitli ortodontik görüntüleme sistemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında panoramik diş röntgenleri kolay erişilebilirlik, uygun maliyet ve kullanım kolaylığı avantajları nedeniyle günümüzde en yaygın kullanılan görüntüleme sistemleri arasındadır (Yılmaz ve diğ., 2016).

Tedavi ve muayene öncesinde diş ve çene yapısının görüntülenmesinin, ortodontik anomalilerin tespiti ve diş hastalıklarının tespiti için bu alanda çalışan sağlık personellerine fayda sağladığı bilinmektedir. Panoramik diş röntgenleri üzerinde yapılan incelemeler sonucunda dişlerin çenede mevcut olma durumları ve dişlerin konum bilgilerinin doğru tespit edilebilmesi tedavi süreçlerinin planlamasında ilgili personellere önemli bilgiler sağlamaktadır. Bu görseller dişlerin komşu dişler ile arasındaki ilişkilerinin tespit edilmesinde, dişin anatomik yapısının belirlenmesinde tek görsel üzerinden karar verme imkânı oluşturmaktadır. Ağız açıklığının az olduğu, kaza ve yaralanma gibi nedenlerden dolayı ağız hareketinin kısıtlı olduğu hastalarda çene yapısının görüntülenmesi ve tespitinde de panoramik diş röntgen görüntüleri en hızlı ve hasta için faydalı görüntüleme ortamını sağlamaktadır.

Bu görseller kullanılarak insanlarda farklı yaş dönemlerinde görünen dişlerin tespit edilmesi mümkündür. Her yaş grubunun ve her dişlenme döneminin birbirleri arasında gösterdiği değişikliklerin tedavi süreçlerinde farklı çıktılar vermesi her dönemin kendine özgü değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu farklılıklardan yola çıkarak dişlerin farklı şekil ve özellikleri bakımından gruplandırıldığı çeşitli diş numaralandırma sistemleri öne sürülmüştür. Dünya Sağlık Örgütü ve Dünya Diş Federasyonu tarafından kabul edilen FDI numaralandırma sistemi günümüzde oldukça yaygın şekilde kullanılmaktadır (Ülgen, 2007).

Çenede bulunan dişlerin çevresel faktörlerden etkilenmesi sonucu veya dişlerin kalıtımsal etkenler altında gelişmesinden ötürü aynı gruba ait olan dişlerin ağızda ve dolayısıyla

panoramik diş röntgen görüntülerinde farklı konumlarda veya farklı şekillerde gözükebildiği bilinmektedir. Bireylerde gözüken bu farklılık ve anomalilerin neden olduğu çoklu varyasyonlarda dişlerin tespit edilmesinin ve numaralandırılmasının görüntü işleme temelli yaklaşımlarla çözülmesi günümüzde geçerliliğini koruyan zorlu bir problemdir.

Günümüzde panoramik diş röntgenleri üzerinde bulunan dişlerin tespit edilmesi gibi imgeler üzerinde bulunan nesnelerin tespit edilmesi için özelleştirilmiş algoritmalar mevcuttur (Rubiu ve diğ., 2023; Hamamci ve diğ. 2023; Karaoğlu ve diğ., 2023). İmge üzerindeki nesnelerin konum ve sınıf bilgilerini tespit etmek için kullanılan nesne tespit algoritmalarının derin öğrenme alanındaki çalışmaların artması ile öğrenme yeteneklerinin ciddi miktarda geliştirildiği görülmektedir. Zorlu problemlerin yüksek performans ile çözülmesine olanak veren bu yaklaşımlar hayatın birçok noktasında istikrarlı ve doğru sonuçlar üretebildiği için insanları karar verme konusunda desteklemektedir. Panoramik diş röntgenleri üzerinde bu avantajlar ile yapılan tespitlerin hızlı ve doğru teşhis konulması konusunda sağlık personellerine destek olması, yorgunluk ve insani faktörlerin sebep olduğu durumlarda hatalı veya eksik tespit yapmasını önlemek için derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar kullanılabilir.

Gelişim sürecinde birçok olayın senkron şekilde gerçekleşmesi ile oluşan diş sürmesi karmaşık bir olaydır. Çeşitli faktörlerin bu gelişimde oluşturduğu etkinin panoramik diş röntgenleri üzerinden tespit edilmesi günümüzde aktif bir çalışma alanıdır. Çene gelişiminin tamamlandığı veya tamamlanmaya yakın olduğu kalıcı dişlenme döneminde alınan görseller üzerinde diş tespiti ve numaralandırılması görevini yerine getiren tümleşik birçok sistem literatürde yerini almıştır. Bu çalışma kapsamında diş sürmesinin başladığı günden kalıcı dişlenme döneminin sonlandığı döneme kadar olan süreçteki bütün dönemlerde diş tespiti ve numaralandırılması görevini tek adımda çözen derin öğrenme tabanlı bir nesne tespit yaklaşımı önerilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

Tez kapsamında yapılan çalışmanın daha detaylı açıklanması için kullanılan kavramlar ve bilinmesi gereken kavramlar bu bölümde açıklanmıştır.

2.1. Ortodonti

Ortodonti kelimesi Yunancada diş ve düz anlamlarına gelen "orthos" ve "odontos" kelimelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Ortodonti, ağızdaki sıralanmaları yönünden anormallik gösteren dişlerin, tedavi ile normal sıralanmasını hedefleyen bir diş hekimliği dalıdır. Tarihsel süreçte dişlerin sadece komşu dişlerle sıralanması sonucu oluşan problemlere ek olarak dişlerin diğer çenedeki dişlerle ilişkileri, çene kemikleri ile olan ilişkileri ve çenelerin yüz iskeletindeki konumları da ele alınmaya başlanmış ve ortodontinin hedef alanları genişletilmiştir. Ortodonti temelde 3 tedavi türünü amaçlar (Ülgen, 2007).

2.1.1. Koruyucu Ortodonti

Ortodonti tedavilerinde zamansal olarak ilk hedef çocukluk döneminde gerçekleşecek olan durumların dişlerde anomaliye sebep vermesini önlemektir. Bu nedenle çocukluk döneminde oluşacak süt dişlerin çürümesi ve çürükle meydana gelen diş kaybı sonucunda oluşan boş alanlara sağlam kalan süt dişlerin yayılması ile kalıcı dişlerin gelişimi döneminde düzgün yerleşememesi gibi problemlerin önüne geçebilmek adına geliştirilen yöntemler koruyucu ortodontik tedaviler kapsamında ele alınmaktadır.

Çürümeye maruz kalan dişlere dolgu yapılarak ağızda oluşan boşlukların önüne geçilmesi, yer tutucu adı verilen aygıtlar ile dolgu ile kapanamayan boşlukların kontrol edilmesi bu kapsamda yapılan tedavilere örnek olarak verilebilir (Baştaş ve dig., 2023).

2.1.2. Durdurucu Ortodonti

Çocukluk döneminde anomaliye sebep olacak etkenlerin tespit edilememesi ve koruyucu ortodontik tedavilerin gerçekleştirilememesi sonucunda oluşmaya başlayan anomalilerin süreç içerisinde engellenmesini ve ağız yapısının normale döndürülmesini hedefleyen ortodontik tedavi türüdür. Koruyucu ortodontik tedaviyi gerektiren sebeplere önlem

alınmamasına ek olarak, çocukluk döneminde gözüken parmak emme, dil emme gibi kötü alışkanlıkların sonucunda oluşan diş boşlukları bu dönem tedavilerinde ele alınır.

Zamansal olarak ikincil bir tedavi dönemi olan durdurucu ortodontik tedavide diş sağlığını negatif yönde etkileyen kötü davranışların durdurulması, koruyucu ortodonti kapsamında yapılmamış fakat henüz kalıcı dişlerin de sürülmemiş olması durumunda koruyucu ortodontik tedavilerin yapılması bu dönemde yapılabilecek tedavi türleridir.

2.1.3. Tedavi Edici Ortodonti

Ortodonti anomalileri genellikle ortaya çıktıktan sonra tespit edilir. Bu nedenle ortodonti yaklaşımlarının büyük kısmı tedavi edici ortodonti başlığı altında toplanmaktadır. Günümüzde bu alanda yapılan çalışmalarda iyi bir diş estetiği sağlamak, konuşma, çiğneme ve solunum fonksiyonlarının iyi şekilde yerine getirilmesini sağlamak ve bu tedavilerin sonucunda elde edilen durumların kalıcılığını sağlamak başlıca hedefler arasındadır.

Halk arasında tel tedavisi olarak bilinen ve dişlerin üzerine sabitlenmiş braketleri birbirine bağlayan teller aracılığıyla dişlerin çene üzerinde hareketini sağlayarak diş sıralamasının düzeltilmesi, diş tellerine alternatif olarak diş üzerinde daha az görünür bir tedavi aygıtı olan şeffaf diş plaklarının kullanılması, vida ile sabitlenen aygıtların kullanımı ile dişlerin ve çenenin iskelet üzerinde doğru konuma getirilmesi tedavi edici ortodonti kapsamında tercih edilen yöntemlerin bir kısmı olarak örnek verilebilir (Ülgen, 2007).

2.2. Görüntüleme Sistemleri

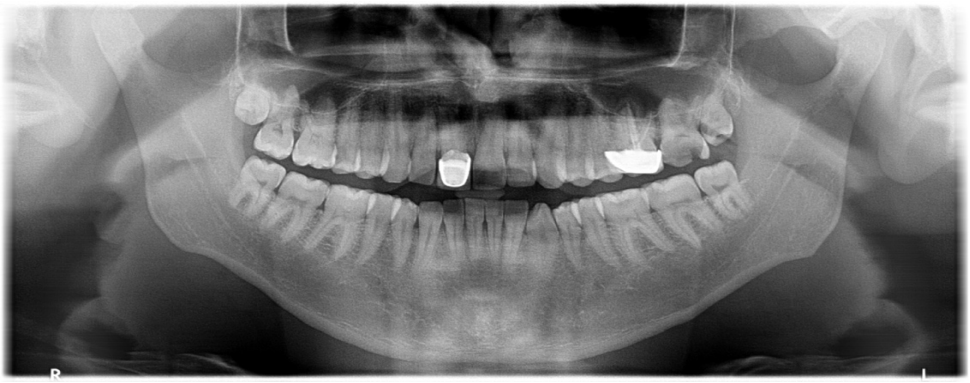
Tedavi öncesinde ve sürecinde çenedeki dişlerin durumlarının kayıt altına alınması büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda çene yapısının doğru şekilde kayıt altına alınması, tedavi sürecinde yapının tekrarlanabilmesi ve kayıtların çözünürlüğü önem arz etmektedir. Tedavinin gereklilikleri, tedavinin yapılacağı bölgenin teknolojik erişimleri ve operatörün tercihine göre farklı görüntüleme sistemleri tercih edilebilir. Genellikle tedavi süreçlerinde hastanın çene yapısının güncel halinin kayıt altına alınması tercih edilir. Kayıt altına alınan görüntülerde çene yapısının en az iki eksende

görüntülenebilmesi, görüntünün tedavi için gerekli olan detayları gösterebilecek kadar çözünürlüğe sahip olması, fayda/maliyet oranının tedavi için makul olması ve ilgilenen bölgenin tamamının görüntülenebilir olması görüntüleme sistemleri tercih edilirken kullanılan önemli filtrelerdir.

Tedavi sürecinde çene ve diş yapısının özelliklerini ve morfolojik özelliklerini tespit etmek için kullanılan görüntüleme sistemleri çene yapısındaki anomali durumlarının tespitinin yapılmasına da imkân vermektedir. Ortodonti tedavilerinde kullanılan görüntüleme sistemlerinde diş ölçülerinin tespiti, kök uzunluğunun tespiti, dişlerin birbirleriyle ve çene kemikleriyle arasındaki ilişkiyi net şekilde görüntülemek, olası anomalileri tespit etmek, varsa tedavi için uygun boşlukları tanımlamak gibi faydaların görüntülenebilmesi hedeflenir. Bu hedefle günümüzde kullanılan görüntüleme sistemlerinin bazıları aşağıda açıklanmıştır (Yılmaz ve diğ., 2016).

2.2.1. Panoramik Radyografi

Ağız içi görüntünün elde edilmesi için medikal cihazlar ile ağız içine yöneltilen X ışınlarının sert ve yumuşak dokularda oluşturduğu yansıma farklılıklarının bir film üzerine aktarılması sonucu oluşan panoramik radyografi görüntüleri, düşük maliyetler ile alt ve üst çenenin tamamının görüntülenmesine imkân tanır. Tedavinin ilk adımlarında, tedavinin planlanması için geniş bir alanda bütünsel bir tedavi yaklaşımı geliştirebilmek adına ağız yapısının dişlerin ve çenenin birbirleriyle arasındaki ilişkiyi hızlı bir şekilde değerlendirmeye olanak sağlar. Örnek bir panoramik radyografi görseli Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



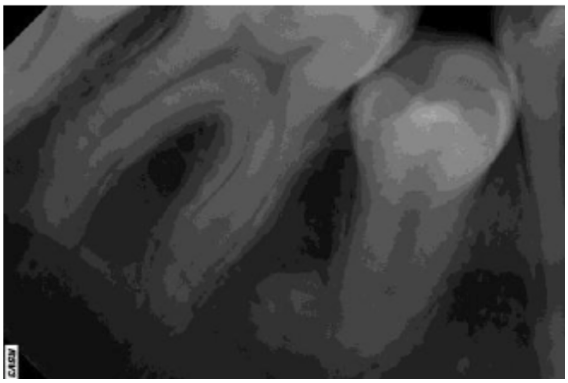
Şekil 2.1. Panoramik diş röntgen görüntüsü (Hamamci ve dig., 2023)

Panoramik radyografiler çene, diş ve dişi çevreleyen yapıların tamamının tek bir görsel üzerinde detaylı bir görüntüleme ile gösteren bir radyografi seçeneğidir. Bu görüntüler aracılığıyla ağızdaki dişlerin mevcut olma durumları, çürük veya kırık gibi diş kusurları, diş çevresinde oluşan lezyonlar, gözle yapılan muayenede görülemeyen ve diş eti altında kalmış olan dişler rahatlıkla tespit edilebilir. Bu görüntüleme sistemlerindeki temel yaklaşım hastanın görüntü alınması esnasında daha az radyasyona maruz kalması nedeni ile günlük kullanımda tercih edilmesini sağlar.

Panoramik radyografi görüntüleri tedavinin ilk adımlarında ve ağız yapısının bütünsel olarak değerlendirildiği durumlarda hızlı olması ile fayda göstermesine karşın, belirli ve dar bir bölgede tespit yapılmak istediğinde yeterli olmayabilirler. Ayrıca bu görüntüleme türü dişlerin görüntülenen eksenler üzerinde üst üste olması durumunda birbirini gölgeleyen dişlerin sınırlarında tespit yapılmak istendiğinde net görüntü elde etmenin zor olduğu bir türdür.

2.2.2. Periapikal Radyografi

Periapkal radyografi görüntüleri genelde bir veya birkaç dişin ve diş çevresinin görüntülenmesini hedefleyen küçük bir film çıktısı veren radyografi türüdür. Elde edilen görüntü diş boyutlarına yakın olması, hedef dişin ve etrafındaki dokunun detaylı şekilde görüntülenmesini sağlar. Dişin kökten uca kadar detaylı bir görüntüsü bu görüntüleme sistemi ile elde edilebilir. Örnek bir çıktı Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Periapikal radyografi görüntüsü (Yılmaz ve diğ., 2016)

Hastanın nispeten yüksek radyasyona maruz kalması ihtimali göz önünde bulundurulduğunda yaygın kullanımı tartışılabilir durumdadır. Risklere karşın

hedeflenen bölgede diş kökünün detaylı analizinin yapılmasına imkân vermesi günümüzde bu yöntemin tercih edilme sebeplerindendir.

2.2.3. Bilgisayarlı Tomografi ve KIBT

3 boyutlu görüntüleme özelliği sayesinde diğer görüntüleme sistemlerinden ayrışan bilgisayarlı tomografiler ve Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografilerin (KIBT) kullanımı gittikçe hızlanmaktadır. Bilgisayarlı tomografi sistemleri yüksek X ışınlı görüntülemeler yaparken KIBT taramalarında sürekli görüntü alınması adımlarında düşük güce sahip floroskopi tüpü kullanılmaktadır.

KIBT taramalarında tek turda ardışık görüntülerin hızlı şekilde komşuluk ilişikleri kullanılarak birleştirilmesi, tüm ağız yapısının görüntülenmesi adımında geleneksel yöntemlere göre hasta daha az radyasyona maruz kalır. KIBT ile elde edilen görüntülerde kemik dokusu, yumuşak dokular ve sinir yolları 3 boyutlu olarak görüntülenebilir. 3 boyutlu olarak elde edilen görüntülerin analizi farklı bakış açılarından değerlendirme yapılabilmesine imkân verdiği için diğer yöntemlere göre KIBT pozitif yönde ayrışmaktadır. Örnek bir KIBT çıktısı Şekil 2.3'te belirtilmiştir.



Şekil 2.3. KIBT görüntüsü (Yılmaz ve diğ., 2016)

Kullanılan donanım ve yazılımın özelliklerine bağlı olarak çok tonlu bir görüntüleme ortamı sunması KIBT görsellerinin detaylı incelemelerde dokular arasındaki farklılıkların

tespitinde sağladığı avantaj tedavi sürecinin planlanmasında geniş bir değerlendirme alanı sunar.

2.3. Diş Sürmesi ve Dişlenme Dönemleri

İnsanlarda diş sürmesi genellikle dişlerin birbiri arasında koordine olarak birbirlerine göre simetrik olarak geliştiği kompleks bir olaydır. Dişlerin ağızdaki görevlerini yerine getirebilmek için kalıcı konumlarına yerleşene kadar geçen sürece diş sürmesi adı verilmektedir. Sürmeye başlayan dişler hacimsel olarak büyürken aynı zamanda 3 farklı yönde hareket edebilme kabiliyetine sahiptir (Nelson, 2019). Farklı yaş dönemlerinde farklı dişlerin sürmesi ile dişlenme dönemleri oluşmakta ve her dönem kendine özgü karakteristik özellikler göstermektedir.

Diş sürmesini meydana getiren nedenin ne olduğu, diş sürmesinin tam olarak nasıl formülize edileceği konusunda birçok görüş ileri sürülmüş olup bu sürecin gelişimini kesin olarak açıklayabilen bir görüş üzerinde fikir birliğine varılamamıştır (Gökçek ve dig., 2016). Diş sürmesini açıklamayı hedefleyen bazı teorilere verilebilecek olan örnekler ise şu şekilde listelenebilir:

- Diş kökünün uzaması teorisi
- Periodontal ligament teorisi
- Dental folikül teorisi
- Sürmenin hormonal kontörlü

İnsanlarda farklı yaş dönemlerinde birbirinden farklı gerçekleşen diş sürmeleri sonuncunda 3 farklı dişlenme dönemi görülmektedir. Her dişlenme dönemi içirişinde dişler döneme özgü şekil ve görevlere sahiptir. İnsanlarda dişlenme dönemleri görülme zamanlarına göre süt dişlenme dönemi, karışık dişlenme dönemi ve kalıcı dişlenme dönemi olarak sıralanabilir.

2.3.1. Süt Dişlenme Dönemi

İnsan gelişiminde ilk olarak süt dişlerin sürülmesi gerçekleşir. Bebeklik döneminde genellikle 6. aydan itibaren sürülen dişler yaklaşık olarak 30. ayda sürmeyi bitirirler. Bu

dönemdeki tüm diş sürmeleri tamamlandığında alt çenede toplam 10 adet, üst çenede toplam 10 adet olacak şekilde 20 diş görülür. Çenelerin her birinde 2 adet süt orta kesici diş, 2 adet süt yan kesici diş, 2 adet köpek diş ve 4 adet süt azı dişi bulunur. Bu dönemde gelişen dişler yaklaşık 14 yaşına kadar ağızda kalır.

Süt orta kesici dişler alt ve üst çenede ön bölgede yer alan ve en görülür konumda olan dişlerdir. Bu dişlerin amacı çiğneme esnasında besinlerin kesilerek parçalanmasını sağlamaktır. Bu dişler karşı çeneye sınır olan kenarında kesici bir yapıya sahiptir (Çayönü ve dig., 2020). Süt yan kesici dişler ise merkezde bulunan süt orta kesici dişlerin yanında, merkezden dışarıya doğru ikinci sırada gözlenir. Bu dişlerin görevi de çiğneme esnasında besinleri keserek küçük parçalara ayırmaktır.

Süt köpek dişler, süt yan kesici dişlerden sonra çenede dışarıya doğru konumlanmıştır. Bu grup dişler kesici dişler ile azı dişlerin arasında yer almaktadır. Bulunduğu konum itibariyle her iki komşu grubunun görevlerini yerine getirdiği bilinse de genel olarak çiğneme esnasında koparma görevinde daha çok yer almaktadır. Bu dişler yan basınçlara karşı mukavemet gösterebilme özelliğine sahip olması nedeniyle tutma, kavrama görevi de görmektedir. Süt dişlenme döneminde ağızda toplam uzunluk bakımından en uzun dişler süt köpek dişlerdir.

Süt azı dişleri çene üzerindeki sırlamada merkezden en uzak konumda yerleşen dişlerdir. Bu dişlerin çiğnemedeki temel görevi besinleri öğüterek daha küçük parçalar haline getirerek besinin sindiriminin kolaylaşmasını sağlamaktır. Diğer dişlere göre daha kısa ve geniş olması nedeniyle diğer süt dişlerden görsel olarak kolaylıkla ayır edilebilir.

Süt dişleri temelde beslenme için çiğneme, konuşmanın gelişimine destek olmak, yüz gelişimine destek olmak, estetik ve kalıcı dişlenme döneminde sürecek olan dişlere yerleşim konusunda uygun ortamın oluşmasını hedeflemektedir (Çayönü ve dig., 2020).

Süt dişlerin geçici bir süre ağızda kalmalarına karşın ağız sağlığı, diş gelimi ve çene iskeletinin oluşumu süreçlerinde kritik önem arz etmektedir. Süt dişlenme döneminde ağızda oluşan dişlerin gelişiminin doğru beslenme ile desteklenmesi, süren dişlerin temizliğinin ve bakımının aksatılmaması ileriki dönemlerde görülebilecek hastalıkların önüne geçilmesi için alınabilecek tedbirler arasında en önemli olanlardır.

2.3.2. Kalıcı Dişlenme Dönemi

Tüm süt dişlerin düşmesi itibari ile yaklaşık olarak 14 yaşında başlayarak ömür boyu devam eden sürece kalıcı dişlenme dönemi adı verilir. Bebeklikten itibaren gelişen süt dişlerinin çenede yerlerini aldıklarında kalıcı dişler süt dişlerin altında, çene kemiğinin içinde gelişimlerine başlarlar. Gelişimin ilk evrelerinde kalıcı dişler, süt dişlerin dökülmesini ve sürme için uygun boşlukların oluşması için bir süre süt dişlerinin altında bekleyerek gelişimlerine devam ederler. Her bir diş olgunlaşmasını tamamladıktan sonra çene kemiğinin içerisinden ilerleyerek kalıcı konumlarını alırlar.

Kalıcı dişlerin tamamı sürmeyi tamamladığında alt ve üst çenelerde 14'er adet olmak üzere toplam 28 adet diş bulunur. Bu dönemde alt ve üst çenede 2'şer tane kalıcı orta kesici diş, 2'şer tane kalıcı yan kesici diş, 2'şer tane kalıcı köpek dişi, 4'er tane küçük azı dişi ve 4'er tane kalıcı büyük azı dişi bulunur.

Yaklaşık 20. yaşa gelindiğinde bu dişlere ek olarak alt ve üst çenede 2'şer adet büyük azı dişinin de oluşmasının ardından her bir çenede 16 adet diş oluşmasıyla ağızda toplam 32 adet diş bulunur. Dış etkenler göz ardı edildiğinde bu dönemde çenede bulunan dişlerin ömür boyu çenede kalması beklendiğinden bu döneme kalıcı dişlenme dönemi adı verilmektedir. Bu dönemde alınmış bir panoramik diş röntgen görüntüsü Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Kalıcı dişlenme dönemine ait panoramik diş röntgen görüntüsü (Panetta ve dig, 2021)

Kalıcı dişlenme döneminde çenede bulunan dişler, süt dişlenme dönemindeki süt dişlerle konum ve görev açısından benzerlik göstermekle beraber, şekil olarak süt dişlere göre daha büyük ve daha geniştir. Bu dişlerin konum ve şekil özellikleri ağzın kapanma formuna doğrudan etki etmektedir.

Bu dönemde yirmili yaşlarda oluşumu tamamlayarak çenenin merkezden en uzak kısmında, en dış bölgelerde oluşan 3. molar dişlerin de çıkmasının ardından çenede başka bir diş gelişimi olması beklenmemektedir.

Kalıcı dişlenme döneminde oluşacak diş kayıplarının alttan yeni bir diş sürmesi ile telafi edilmesi beklenen bir durum olmamakla birlikte bu dönemde ağız ve diş sağlığının korunması çok önemlidir.

2.3.3. Karışık Dişlenme Dönemi

Yaklaşık olarak 6 yaşında insan ağzında süt dişlenme döneminde gelişen süt dişleri mevcutken, kalıcı dişlenme döneminde yerlerini alacak olan kalıcı dişler sürmeye başlar. Genellikle 6-14 yaş aralığında çenede bir geçiş dönemi görülmektedir. Bu geçiş döneminde genetik faktörler ve çevresel faktörlerin de etkisiyle süt dişler dökülmeye başlar.

Süt dişlerin dökülmesi sonucu çenede oluşan boşluklara, süt dişlenme döneminde gelişimine başlamış olan kalıcı dişlerden en uygun konumda olan kalıcı dişler sürmeye başlar. Bu dönemde çenedeki dişlerin diziliminde geçici bozukluklar görülebilir. Diş eti hassasiyetleri, ağrı, konuşma zorlukları ve konuşma bozuklukları yine bu dönemde görülebilecek olumsuzluklardan bazılarıdır.

Bu dönemde çocukların dişlenme dönemleri doğru şekilde takip edilmeli ve gerekli tedavi süreçleri izlenmelidir. Karışık dişlenme döneminde oluşabilecek olumsuzluklar kalıcı dişlenme döneminde diş düzenini kötü yönde etkileyebilir. Bu dönemde alınmış bir panoramik diş röntgen görüntüsü Şekil 2.5'te gösterilmiştir



Şekil 2.5. Karışık dişlenme dönemine ait panoramik diş röntgen görüntüsü (Hamamci ve dig., 2023)

Bu dönemde yapılacak tedavilerde kullanılacak olan görüntüleme sistemleri, görüntüleme sistemleri üzerinden elde edilecek görüntülerin doğru yorumlanması ve tedavi sürecinin bu yorumlara istianeden doğru şekilde planlanması gerekmektedir. Dişlerin çene üzerinde karışık şekilde konumlanması bu dönemde görsel olarak dişlerin ayırt edilmesini bir miktar zorlaştırmaktadır. Çene ve ağız yapısı gözle incelendiğinde birçok farklı açıdan dişlerin görülmesi, gruplandırılması mümkünken tedavi sürecinde kullanılacak tıbbi görüntüleme sistemlerinde görüş açılarının geniş olmaması nedeniyle bu dönemde alınan örnek görseller karmaşık yapıda olabilir.

Karışık dişlenme dönemi kendi içinde 2 alt gruba ayrılmaktadır. İlk grup olarak tanımlanabilecek olan erken karışık dişlenme dönemi genellikle çocuklarda 6-9 yaş aralığında gözükür. İlk kalıcı dişin sürülmesiyle başlayan bu dönem çenede sadece ilk büyük azı dişler ile kalıcı kesici dişlerin sürmesi, kalan diğer tüm dişlerin süt dişler olması durumudur. Üst kalıcı keser dişlerin sürmesinin ardından diş sürmesinde bir süre duraklama görülebilir.

Geç karışık dişlenme dönemi, karışık dişlenme döneminin ikinci alt grubu olup ilk kalıcı azı dişlerin sürmesi ile başlayıp süt dişlenme dönemine ait son dişin düşmesi ile sonlanır. 9 ile 12 yaş aralığı genellikle gözlendiği yaş grubudur. Bu dönemde süren kalıcı dişlerin, yerine geldikleri süt dişlenme dönemine ait dişlere göre fiziksel olarak daha büyük olması

nedeni ile çenede bulunan boşluklar kullanılır. Bu boşlukların düzgün kullanılamaması, çene yapısının dar olması gibi olumsuz durumlarda diş sıralaması ve konumlanmasında çeşitli anomaliler gözükebilir.

2.4. Diş Numaralandırma Sistemleri

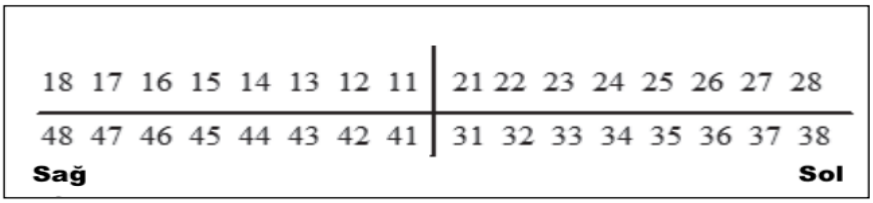
Tedavi süreçlerinin planlanması, tedavilerin tekrarlanabilmesi için dişlerin tanımlanmasında ortak bir metodolojide buluşulması gerekmektedir. Bu konuda birçok diş isimlendirme ve numaralandırma sistemi önerilmiştir. Bu sistemler dişlerin ortak özelliklerin yola çıkarak dişleri çeşitli gruplara ayırmayı temel almaktadır. Dişler gruplandırılırken dişlerin farklı şekil ve özellikleri konum bilgileriyle beraber ele alınmaktadır. Temelde tüm diş numaralandırma sistemleri anomali içermeyen, düzgün bir diş dizilimini ele almaktadır. Bu dizilimden yola çıkarak aynı grup dişlerin çok büyük olasılıkla çenede aynı veya çok yakın konumlarda olması bilgisi önem kazanmaktadır (Yaşar ve dig., 2012)

2.4.1. FDI Numaralandırma Sistemi

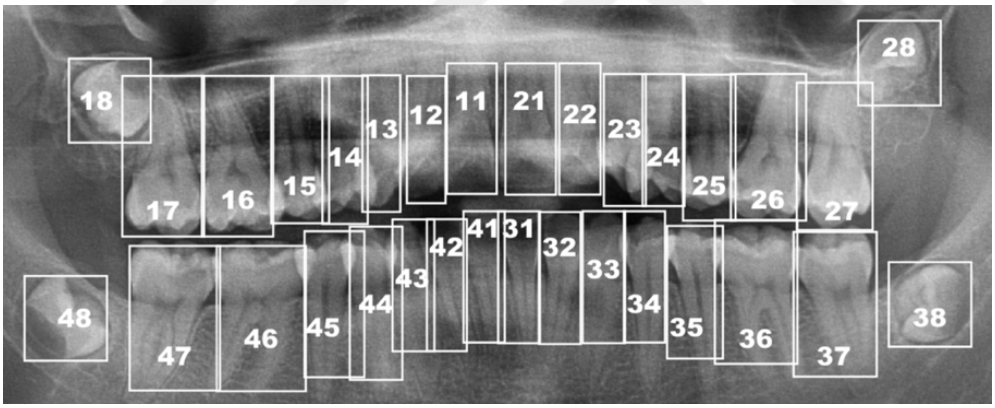
Dünya Sağlık Örgütü'ne ait Uluslararası Standartlar Örgütü Tayin Sistemi belirli bir dişi tanımlamak için Dünya Diş Hekimleri Birliği (FDI: Fédération Dentaire Internationale) tarafından önerilen FDI numaralandırma sistemini temel alır. Günümüzde bu numaralandırma sistemi diş hekimleri tarafından kullanılan en yaygın numaralandırma sistemi olarak tanımlanabilir. Bu numaralandırma sisteminde dişler iki basamaklı sayılar ile tanımlar. Her bir dişin sınıf numarasının onlar basamağı dişin ağızda bulunduğu konum hakkında bilgi verir. Bu sitem ağız içerisinde bulunan dişleri alt çene ve üst çenede olma durumlarına göre yatay ikiye ayırdıktan sonra, her iki çenenin de ön kesici dişler tarafından iki yaklaşık simetrik parçaya sahip olma özelliğini kullanarak dikey eksende de ikiye ayırır. Bu ayırma işlemleri sonucunda ağızda sağ üst, sol üst, sol alt ve sağ alt olmak üzere 4 farklı bölge tanımlanır. Diş numaralandırma sisteminde kullanılan iki basamaklı numaralandırmanın onlar basamağı, dişlerin bu bölgelerden hangisinde olduğunu tanımlamak adına yukardaki sıraya göre 1,2,3 ve 4 değerlerini alır.

Numaralandırmanın birler basamağındaki değer dişin onlar basamağında bulunduğu grupta, dişin yüzün orta yarısına olan uzaklığını ifade eder. Yüzün orta yarısına en yakın

olan diş o grup için en düşük basamak değerini alır. Birler basamağındaki dişler yakından uzağa 1'den 8' e kadar numara alır. Bu numaralandırma sistemine göre ağızda sağ üstte, yüzün orta yarısından en uzakta bulunan ve halk arasında 20'lik dişlerden biri olarak tanımlanan azı diş 18 numara ile numaralandırılmaktadır. Diş numarası dünyanın farklı yerlerinde farklı 2 farklı şekilde okunabilir. Örneğin genellik 18 numaralı diş için "on sekiz" telaffuzu tercih edilirken bazı bölgelerde "bir sekiz" telaffuzu da duyulabilir. Kalıcı dişlenme dönemindeki diş numaralandırılması Şekil 2.6 ve Şekil 2.7'de gösterildiği gibidir.

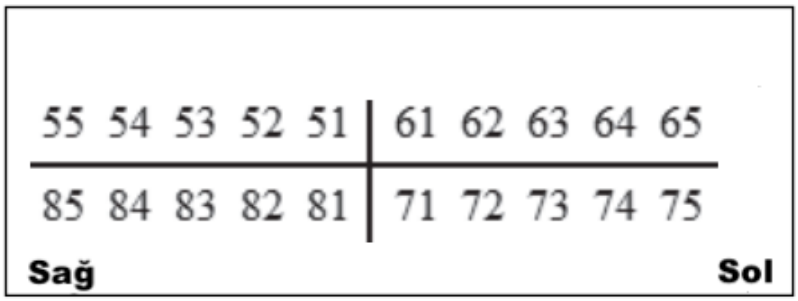


Şekil 2.6. Kalıcı dişlenme döneminde FDI numaralandırılması



Şekil 2.7. Röntgen üzerinde kalıcı dişlenme döneminde FDI numaralandırılması

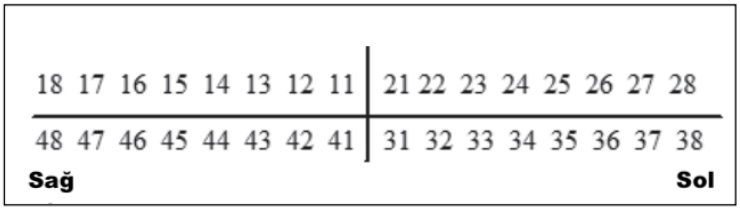
FDI numaralandırma sisteminde süt dişler de kalıcı dişlere benzer şekilde numaralandırılmaktadır. Süt dişlenme dönemindeki numaralandırmada kalıcı dişlenme döneminden farklı olarak dişlerin konum bilgisi 1-4 aralığıyla değil 5-8 aralığı ile tanımlanır. Birler basamağındaki değer ise yine kalıcı dişlerde olduğu gibi merkeze olan yakınlığı ifade etmektedir. Süt dişlerin sayısının kalıcı dişlere göre az olması nedeniyle birler basamağındaki değer 1-8 aralığı yerine 1-5 aralığında bir değer alır. Süt dişlenme dönemindeki diş numaralandırılması Şekil 2.8'de gösterildiği gibidir.



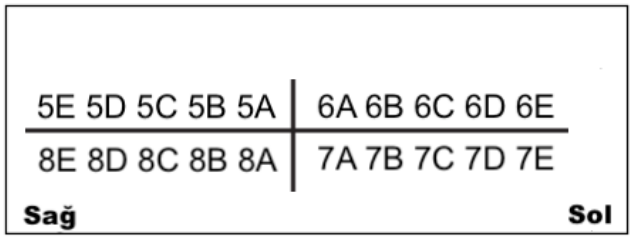
Şekil 2.8. Süt dişlenme döneminde FDI numaralandırılması

2.4.2. Palmer Numaralandırma Sistemi

Adolf Zsigmondy isimli Macar diş hekimi tarafından 1861 yılında önerilen Palmer numaralandırma sistemi, FDI sisteminde olduğu gibi dişleri bulunduğu konumlara göre aynı şekilde 4'e ayırır. Kalıcı dişler için numaralandırma FDI numaralandırma sistemi ile bire bir aynı olmakla birlikle FDI numaralandırma sisteminden süt dişlerin numaralandırılması konusunda ayrışır. Süt dişler numaralandırılırken onlar basamağı yine 5'ten 8'e kadar değer alırken, birler basamağında 1-5 aralığında numaralandırma yapmak yerine merkezden dışarıya doğru A, B, C, D, E harfleri ile isimlendirme yapılır. Kalıcı dişlenme dönemindeki numaralandırma Şekil 2.9'de ve süt dişlenme dönemindeki numaralandırma Şekil 2.10'de görselleştirilmiştir.



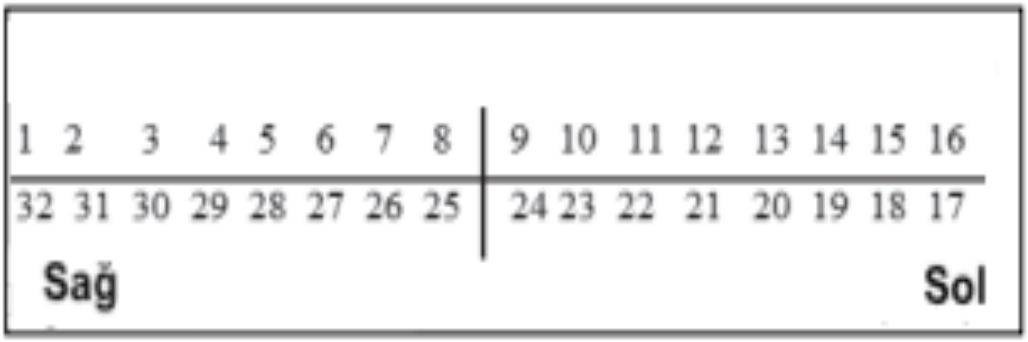
Şekil 2.9. Kalıcı dişlenme döneminde palmer numaralandırma sistemi



Şekil 2.10. Süt dişlenme döneminde palmer numaralandırma sistemi

2.4.3. Üniversal Numaralandırma Sistemi

Birleşik Devletlerde yaygın olarak kullanılan bu sistem dişleri sağ üstten başlayarak sol üste doğru 1'den 17'ye kadar numaralandırır. Üst çenede en solda bulunan son diş 17 ile numaralandırıldıktan sonra, alt çenede hemen bu dişe karşılık gelen, alt çenede en solda bulunan diş 18 numarayı alır. Alt çenedeki dişler de soldan sağa 18'den 32'ye kadar numara alır. Kalıcı dişlenme dönemindeki numaralandırma Şekil 2.11'de görselleştirilmiştir.



Şekil 2.11. Kalıcı dişlenme döneminde üniversal numaralandırma sistemi

Bu numaralandırma sisteminde dişler 1'den 32'ye kadar numaralandırmaya ek olarak süt dişlerde her bir diş için spesifik bir harfle eşleşecek şekilde A'dan T'ye kadar harf ile isimlendirme yapmaktadır. Üst çenede en sağdaki diş A harfi ile, üst çenede en soldaki diş J ile isimlendirildikten sonra alt çenede en solda bulunan diş K harfi ile isimlendirilir. Alt çenedeki dişler de soldan sağa sırasıyla K harfinden T harfine doğru isimlendirilir. Süt dişlenme dönemindeki numaralandırma Şekil 2.12'de görselleştirilmiştir.



Şekil 2.12. Süt dişlenme döneminde üniversal numaralandırma sistemi

2.5. Yapay Zeka

Yapay zeka yaklaşımları makinelerin karşılaştıkları sorulara insan benzeri karar verme algoritmalar kurarak cevap verme yeteneği olarak tanımlanabilen bir teknolojik alandır. Gün geçtikçe hayatın birçok alanında insanların karar vermesi gereken konularda insanlara destek olabilme yeteneğine sahip olan yapay zeka çözümlerinin geliştirildiği görülebilir. Bu sistemler çözmeye odaklandığı problemi tanımlayan veri kümeleri üzerinden gerçekleştirdiği öğrenme işlemleri ile, odaklanılan problemin sınırları içerisinde daha önceden hiç görmediği verileri işleyerek doğru çözümler oluşturmayı hedefler (Huval ve dig., 2013).

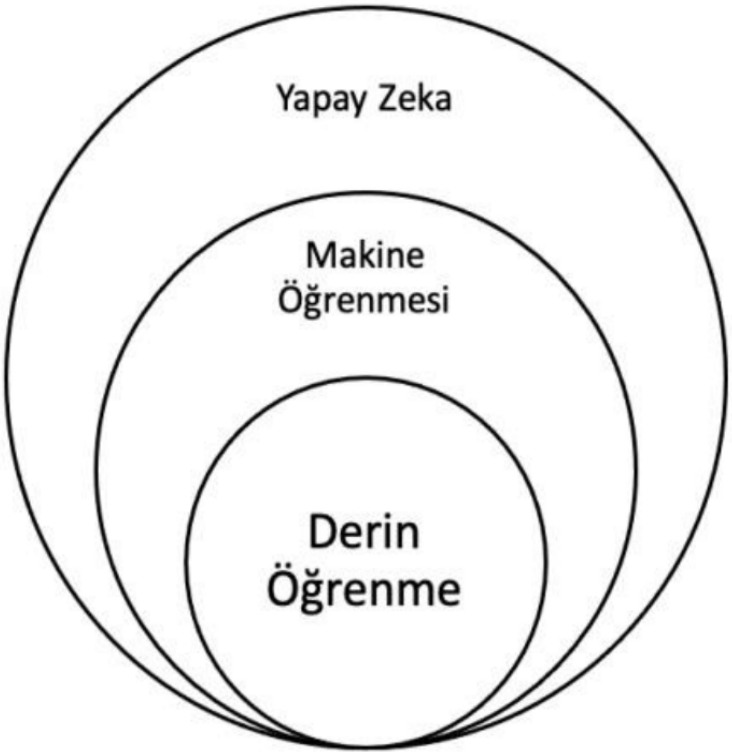
Öğrenme olarak adlandırılan adımlarda bilgisayar ortamında matematiksel olarak ifade edilebilen veriler üzerinden çıkartılan değişken kat sayılı formüllerin sonuca giderken kullanacağı katsayı değerleri minimum hata ile hesaplanmaya çalışılır. Tamamen veriye üzerinden öğrenmeye odaklanmış olan bu yapılarda eğitim aşamasında kullanılan referans verilerin o alanda uzmanlığa sahip bir insan tarafından doğru şekilde etiketlenmiş olması sistemin eğitim aşamalarına doğru katsayıları öğrenebilmesi için kritik önem arz etmektedir.

Günümüzde bilgisayarların eriştiği yüksek işlem hızları kompleks hesaplamaların çok kısa sürelerde yapılabilmesine imkan vermeye başlamıştır. Bu yetenek çerçevesinde matematiksel olarak ifade edilebilen verilerin hangi doğru kat sayılar ile işleme sokulması durumunda oluşan formülün problemlere genel geçer çözümler sağlayabileceği sorusunun cevabını aranır. Günümüzde saniyede milyonlarca işlem yapma yeteneğine sahip olan bilgisayarlar ve bilgisayar donanımları aracılığıyla bu matematiksel işlemler yüksek sayıda tekrarlar ile yapılabilmektedir. Bütün denemeler sonucunda en az hata ile sonuca yaklaşılan matematiksel sistemin kayıt altına alınması ve problemin sınırları içerisinde gelen yeni verilere, geliştirilen sistemin doğru şekilde değerlendirme yaparak karar verebilmesi yapay zeka çalışmalarının temel hedefleri arasındadır.

2.5.1. Derin Öğrenme

Günlük hayatın birçok noktasında yapay zeka temelli çözümlerin aranması sonucunda oluşan geniş çalışma alanları nedeniyle yapay zeka başlığı bir çok alt başlığı altında

değerlendirilmektedir. Her bir alanda kendi yaklaşımlarına özgü problemlere cevap üretmeye odaklanmış şekilde çalışmalar yapılmaktadır. Günümüzde yapay zekanın en aktif alt başlıklarından biri olan makine öğrenmesi alanında derin öğrenme başlığı farklı problemlere hızlı sonuçlar üretebilme yeteneği sayesinde aktif olarak geliştirilme yapılan önemli bir alt başlıktır. Yapay zeka ve alt kümelerinin ilişkisi Şekil 2.13'te görselleştirilmiştir.



Şekil 2.13. Yapay zeka ve alt kümeleri (Murat, 2021)

Derin öğrenme algoritmaları doğru etiketlenmiş veriler üzerinden karmaşık çıkarımlar yaparak öğrenme sağlayabilme ve bu öğrenme yetisi ile yeni veriler üzerinde tahmin yapma yeteneğine sahiptir. Öğrenme ve tahmin etme adımlarında yapay sinir ağı adı verilen çok katmanlı ve insan karar verme sistemini taklit etmeye odaklı yapılar kullanılır. Bu yapılar her katmanı birbirine farklı katsayılar ile bağlı şekilde kurgulanır. Yapay sinir ağları çok miktardaki veri içerisinde ortak özellikler çıkartarak bu özellikleri sınıflandırmaya odaklanır.

Geniş bir alanda çözüm sunmayı hedefleyen derin öğrenme tabanlı sistemler, çözüm sunmayı hedeflediği alanlar için özelleştirilmiş yapılar kullanmaktadır. İmge üzerinden nesne tespiti yapabilmek, imgeleri içeriklerine göre sınıflandırabilmek için evrişimli sinir ağları (CNN) adı verilen ve imge üzerinde farklı çözünürlüklü filtreler kullanarak hedefe ulaşmayı amaçlayan sistemler derin öğrenmenin alt başlıklarından biri olarak değerlendirilebilir.

Bir farklı alt dal olan tekrarlayan sinir ağları (RNN) ise birbiri arasında zamansal ilişkiye sahip verilerden çıkartım yapmaya odaklıdır. Günümüzde doğal dil işleme hedefli sistemler, zaman sıralı verilerden anomali tespiti yapmayı hedefleyen sistemlerde tekrarlayan sinir ağları yaygın şekilde kullanılmaktadır. Yakın geçmişte önerilen Transformers (Vaswani ve dig., 2017) mimarisi ise imge, metin gibi farklı veri tipleri üzerinde çalışabilecek özelikte olup geleneksel derin öğrenme mimarilerine göre genellikle daha yüksek miktarda eğitim verisine ihtiyaç duyar.

2.5.1.1. Evrişimli Sinir Ağları

İmge işleme temelli derin öğrenme yaklaşımları imgelerin bilgisayar ortamında pikseller ile temsil edilmesi sonucu elde edilen matematiksel hesaplama yapabilme kabiliyetinden yararlanır. İmge üzerindeki nesnelerin sınırlarının içerisinde bulunan piksel değerleri o nesnenin şekil özelliklerini matematiksel olarak ifade eder. Evrişimli sinir ağları bu sınırların belirlenmesi için farklı değerlere sahip filtreler ve filtrelerin sonucunda çıkan değerleri sınıflandırmak için farklı sınıflandırıcılar kullanırlar (Ando, 2017).

Evrişimli sinir ağları imge üzerindeki nesnelerin özelliklerini çıkartmak için evrişim bölümü adı verilen yapılar kullanılır. Evrişim bölümünün sonuçlarında sınıf kararının verilmesi için genellikle tam bağlı sınıflandırıcı katmanlar tercih edilir. Evrişim bölümü ile sınıflandırıcılar arasında hesaplama maliyetini arttırmak için ortaklama katmanları bulunabilir (Zafar ve dig., 2022).

Evrişim bölümü imge üzerinden şekil, desen, doku gibi özelliklerin çıkartılmasından sorumludur. Bu adımda eğitim boyunca kat sayıları değişen filtre matrisleri ile giriş imgesi evrişim işlemine tabi tutularak çıktı üretilmesi hedeflenir. Eğitim süreci boyunca

farklı katsayılar ile üretilen çıktılardan hesaplanan hata geri yayılım teorisi ile sonraki katmanlarda filtre katsayılarının bulunmasında aktif olarak kullanılır.

Evrişim bölümünde kullanılacak olan filtre boyutları ve filtre sayıları ağın derinliğini etkiler. Kullanılan filtre boyutu ve filtre sayısı arttıkça derin ağ daha derin olacak şekilde tanımlanır. Eğitim boyunca ağ derinliğinin ne boyutta olacağına dair net bir görüş olmamakla birlikte ağın derinliğine probleme özgü şekilde karar verilmelidir. Ağın derinliğinin artması hesaplanacak parametre sayısını arttıracağı için eğitim ve tahmin sürelerinin uzamasına neden olabilir.

Ardışık evrişim katmanları arasında ağın derinleşmesi sonucu artan hesaplama maliyetlerini optimize etmek amacı ile ortaklama (pooling) katmanları kullanılabilir. Ortaklama katmanı evrişim katmanları arasında farklı yaklaşımlar kullanarak ağın kompleksliğini azaltmayı hedefler. Evrişim katmanlarında yapılan hesaplamada oluşan özellik haritalarının boyutu bir sonraki katmana geçmeden önce ortalama ortaklama teorisi adı verilen ortaklama türlerinden biri ile azaltılabilir. Ortaklama adımından bir önceki katmanda çıkartılan özellik haritasının yükseklik ve genişlik değerleri azaltılır. Azalan boyutlara bağlı olarak eğitim ve tahmin maliyetlerini de düşürür. Bu amaçla kullanılan bazı ortaklama yaklaşımları ise şunlardır: Maksimum ortaklama, stokastik ortaklama, global ortaklama (Zafar ve dig., 2022).

Evrişimsel sinir ağlarının son bölümünde tam bağlı katmanlar bulunur. Bu bölümde bir önceki bölümde evrişim hesapları sonucu çıkartılan şekil, doku, kenar özelliklerinin sınıflandırılması hedeflenir. Bu bölüm insanların sinir sisteminde birbirine bağlı şekilde çalışan nöronları taklit eder ve çözülmesi istenen probleme özgü şekilde sabit olmayan sayıda katmanlardan oluşur.

Her katman birden çok nöron benzeri yapıya sahip olabilir. Her bir katmandaki nöronlar bir sonraki katmandaki tüm nöronlara bilgi aktarmak üzere hesaplama katsayısı belirleme görevine sahiptir. Eğitim süreci boyunca bir önceki katmanda elde edilen verilerin hangi çarpanlar ile değerlendirilip bir sonraki katmana verileceği belirlenmeye çalışılır.

Tüm katmanların birbirine tamamen bağlı olması durumu imge üzerinden çıkarılan bilgilerin birden çok kombinasyon ile değerlendirip sınıflandırılmasına imkan verir.

Birbirleri ile sürekli bilgi alışverişinde olan yapay sinir ağları karmaşık ilişkilerin çıkartılması ve bu ilişkilerin kullanılarak tahmin üretilmesi konusunda evrişimli sinir ağlarının son katmanlarında bulunan kritik yapı taşlarıdır. Günümüzde sınıflandırma problemlerinin çözümü için birçok sınıflandırma algoritması önerilmiş olup, bu algoritmaların problemi çözmekte yeterli başarımı gösterememesi durumunda probleme özgü yapay sinir ağları tasarlanarak eğitim ve karar verme yetileri desteklenebilir.

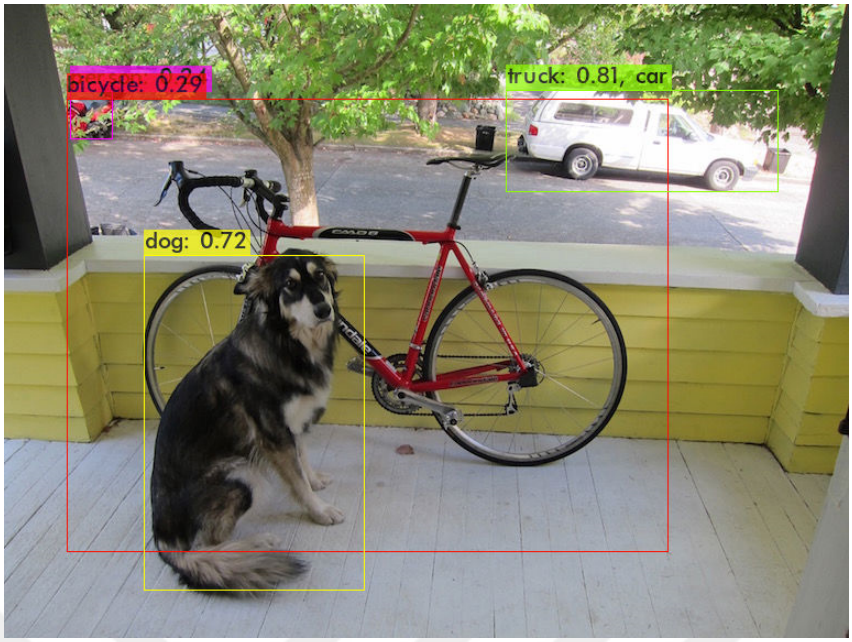
2.5.1.2. Nesne Tespiti

İmgeler üzerinde bulunan nesneleri tespit eden ve tespit edilen bu nesnelere göre karar üretip işlemler yapan sistemlerin geliştirilmesi günümüzde geçerliliğini hala koruyan bir problemdir. Bu problemlerin çözümü adına birçok alanda çalışmaların devam etmesiyle birlikte derin öğrenme alanın bu konuya odaklanmış birçok algoritma önerilmiştir. Derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar genellikle evrişimli sinir ağlarını kullanarak imgeler üzerinden nesnelerin tespit edilmesine odaklanır (Vaishnavi ve dig., 2023).

Bu alanda geliştirilen algoritmalar genellikle imge üzerinde bulunan ve tespit edilmesi hedeflenen nesnenin içinde olduğu ve sınırlarının imgedeki nesnenin sınırlarına değen çerçevelerle belirtilmesine ihtiyaç duyar. Bu işleme veri etiketleme adı verilmektedir. Tespit edilmek istenen nesnenin doğru şekilde etiketlendiği çok sayıda verinin öğrenme işlemini gerçekleştirmek adına algoritmalara verilmesiyle evrişimsel sinir ağları özellik çıkartımı ve sınıflandırma görevlerini tamamlayarak imge üzerindeki nesneleri tespit etmeyi hedefler.

Nesne tespit algoritmalarının sonucunda imge üzerinde nesne olduğu tahmin edilen alanlar çerçeveler ile çıktı olarak belirtilir. Nesne tespit algoritmalarının çıktısını gösteren bir örnek Şekil 2.14'te gösterilmiştir. Bu çerçeveler nesnenin sınırlarını tam olarak belirtmemekle birlikte nesneyi, kendisini kapsayan en küçük dörtgenin içerisinde olacak şekilde işaret eder.

Tespit edilen her nesne için tahmin etme adımlarında çerçeve sınırlarının yanında bir de tahmin güven skoru üretilir. Bir imge üzerinde birden çok doğru veya yanlış tahmin bulunabilir. Bu tahminlerin filtrelenmesi için güven skoru eşiği kullanılır.



Şekil 2.14. Nesne tespit algoritmasının örnek çıktısı (Joseph ve dig., 2016)

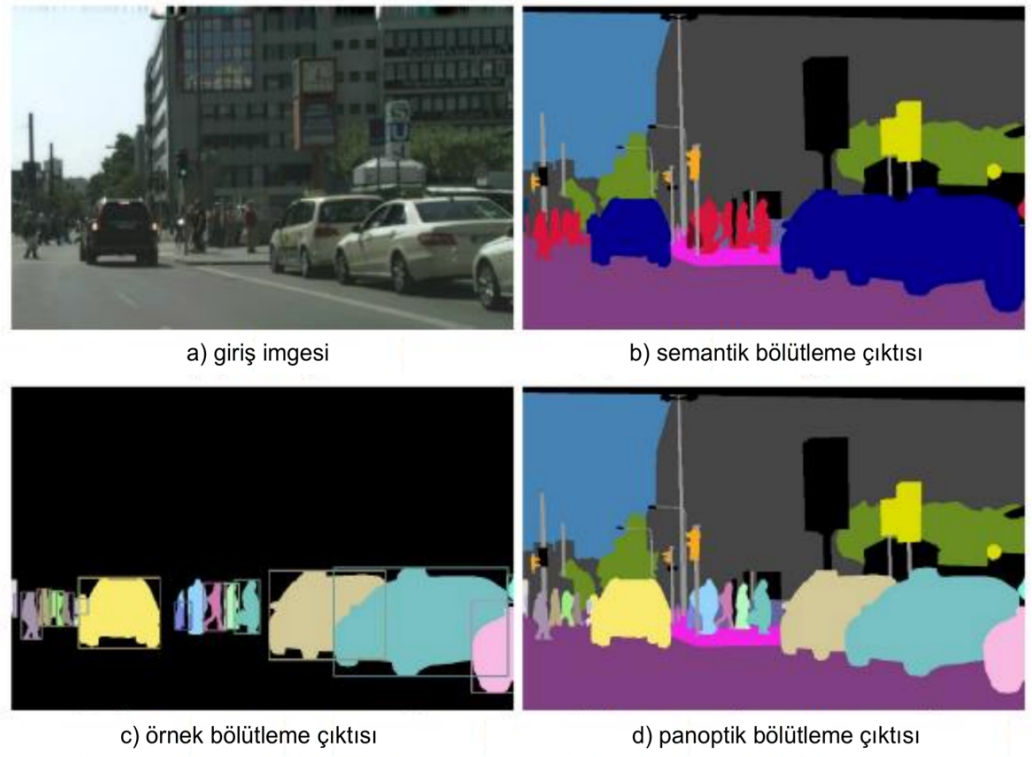
İmge üzerinde çok düşük güvenle üretilen tespitler bulunabilir. Güven skoru düşük olan tespitler genellikle doğru sınıflandırılma yapılamayan sonuçlardır. Sistemin mümkün olan en doğru çıktıyı verebilmesi için yapılan tespitlere uygulanacak bir güven skoru eşiği belirlenmelidir. Belirlenecek güven skoru probleme özgü seçilip ne yanlış tespitler üretecek kadar düşük ne de doğru tespitleri kaçıracak kadar büyük olmamalıdır. Bu adımda birçok deneme yapmak suretiyle ile güven skoru eşiği belirlenebilir.

2.5.1.3. Bölütleme (Segmentation)

İmgeler üzerinden bulunan nesnelerin sınırlarının tam olarak tanımlanarak tespit edilmesi nesne tespit algoritmalarıyla pek mümkün olamamaktadır. Nesnelerin sınırlarının net olarak tespit edilmesini amaçlayan derin öğrenme yaklaşımına bölütleme adı verilir. İmgedeki bulunan farklı nesnelerin ve alanların bölütlenmesine imkan veren bu yaklaşım kendi içindi farklı alt başlıklarda incelenebilir. Bölütleme yaklaşımlarından biri olan semantik bölütleme algoritmaları imge üzerinde bulunan aynı sınıfa ait nesnelerin aynı renkle belirten yaklaşımlardır. Her bir piksel için etiket atanırken aynı sınıfa ait farklı nesnelerin imge üzerinde tespit edilmesi pek mümkün olamamaktadır (Minaee ve dig., 2021).

Nesne tespit algoritmalarına benzer şekilde sadece hedeflenen sınıflara ait nesnelere ait olan bütün piksellere etiket atanan bölütleme yaklaşımı ise örnek bölütlemesi olarak adlandırılabilir. Bu yaklaşımda imge üzerinde hedeflenen nesneler kendi sınıflarına göre birbirlerinden ayrı şekilde işaretlenir. Her bir sınıfa ait her bir örnek tekil olarak değerlendirilip, tespit atanmayan pikseller arka plan olarak tanımlanır.

Üçüncü bir bölütleme yönetimi olan panoptik bölütleme ise diğer iki bölütleme tipi olan semantik bölütleme ve örnek bölütlemesinin birleştirildiği bir yaklaşım türüdür. Semantik bölütlemede olduğu gibi imge üzerindeki her bir piksel bir sınıf etiketi ile işaretlenir. İşaretlenmiş olan her bir pikselin atandığı sınıflara ait nesneler örnek bölütlemesinde olduğu gibi birbirinden ayırt edilebilecek şekilde bağımsız nesneler olarak ayrılarak görselleştirilir (Kirillov ve dig., 2018). Farklı bölütleme türlerinin çıktıları Şekil 2.15'te gösterilmiştir.



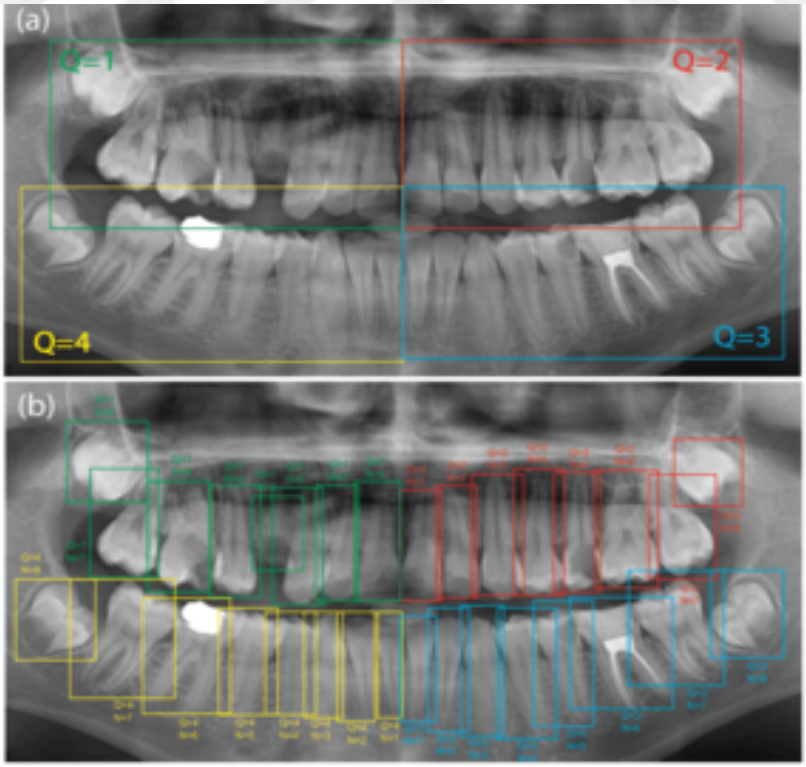
Şekil 2.15. Bölütleme çıktıları örnekleri (Khan ve dig., 2022)

3. VERİ SETİ VE GELİŞTİRİLEN YÖNTEM

Bu bölümde deney ortamında yapılan çalışma, ortam ve veri seti açıklanmıştır. Önerilen yöntemin tanımlanması, kullanılan veri seti üzerinde yapılan ön işlemler ve literatürdeki çalışmalar ile kıyaslama bu bölümde detaylandırılmıştır.

3.1. Veri Seti

Çalışma kapsamında farklı hastalardan alınan ve bu alanda yapılan çalışmalarda kullanılmak üzere toplanıp herkese açık şekilde paylaşılan, panoramik diş röntgen görüntülerinden oluşan 2 farklı veri seti kullanılmıştır. İlk veri seti DENTEX Challenge 2023 kapsamında geliştiricilere sunulmuş olup 634 adet panoramik diş röntgen görüntüsü içerir (Hamamci ve dig., 2023). Bu veri setinin temel amacı diş sayımı ve diş anomalilerinin tespiti için algoritmalar geliştirilmesine katkı sağlamaktır. Veri setinde bulunan imgeler diş numaralandırılması yapılabilmesi adına daha önceden seti paylaşan ekip tarafından etiketlenmiştir. Etiketleri gösteren örnek bir görsel Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Örnek etiketli veri (Hamamci ve dig., 2023)

Eğitim sürecinde kullanılan ikinci veri seti ise Tufts Dental Database'dir (Panetta ve dig., 2021). Bu veriseti 2021 yılında yayınlanmış olup içerisinde bilgisayarlı tomografi ile alınan görseller bulunmaktadır. Set içerisindeki görsellerde farklı dişlenme dönemlerini gösteren panoramik görüntülerin yanında diş kaybı durumlarını da gösteren imgeler bulunmaktadır. Bu sette bulunan toplam 1000 adet imge yine uzmanlar tarafından etiketlenmiş ve makine öğrenmesi yaklaşımlarında kullanılmak üzere herkese açık şekilde paylaşılmıştır.

İki setin birleştirilmesi sonucunda elde edilen toplam 1634 görsel incelendiğinde farklı diş hastalıkları, ortodontik anomaliler ve diş eksikliklerinin de görülebildiği birçok örnek olduğu görülmüştür. Bu veri seti üzerinden öğrenme gerçekleştirecek bir derin öğrenme modelinin günlük hayatta karşılaşılabilecek olan birçok panoramik diş röntgen görüntüsü üzerinde etkili ve hızlı tahminler yapabileceği ön görülmektedir.

3.2. Ön İşleme

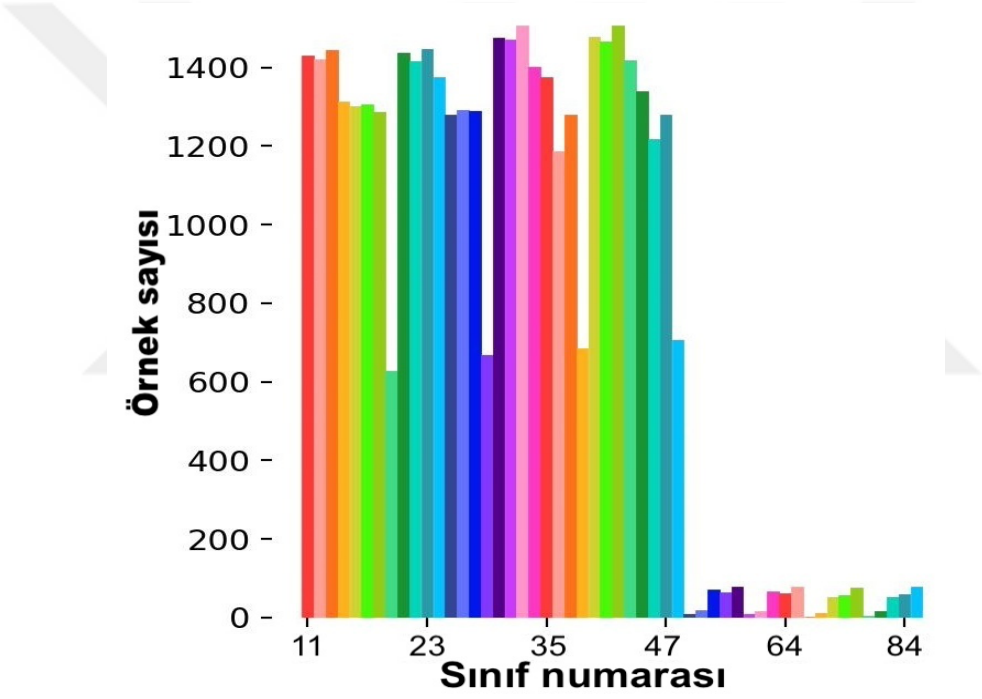
Veri setinde bulunan panoramik diş röntgenleri üzerinde karışık dişlenme dönemine ait olan imge sayısının diğer dönemlere kıyasla az olduğunun görülmesi üzerine veri setinde bulunan ve çoğu karışık dişlenme dönemine ait olan panoramik diş röntgen görüntüleri veri arttırma yöntemlerinde kullanılmak üzere ayırılmıştır. Tüm veri seti içerisinden ayrılan toplam 800 adet panoramik diş röntgeni görüntüsü üzerinde veri arttırma maksatlı pozitif ve negatif yönde ışıklılık değişikliği yapılmıştır.

Dişlerin panoramik görüntülerdeki konumları, şekilleri ve oryantasyonları dişlerin numaralandırmasında karakteristik özellikler olarak kullanıldığı için modelin öğrenme adımlarında veri arttırma işlemlerinden negatif yönde etkilenmemesi için görseller üzerinde herhangi bir oryantasyon ve şekil manipülasyonu yapılmamıştır. Veri arttırma işlemlerin sonucunda veri setindeki toplam panoramik diş röntgen görseli sayısı 2434'e yükselmiştir.

Veri setinde bulunan imgelerin eğitim ve test süreçlerinde nasıl kullanılacağının belirlenmesi modelin hiç görmediği veriler üzerinde göstereceği başarımı doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle veri seti eğitim ve test süreçlerinde kullanılmak üzere 3 gruba ayrılmıştır. Veri setinde bulunan panoramik diş röntgen görüntülerinin %70'lik kısmı

eğitim sürecinde derin modelin ağırlıkları öğrenmesi için ayrılmıştır. Veri setinin bir diğer parçası olan %15'lik kısım ise derin modelin eğitim aşamasında doğrulama yapmak için ayrılmıştır. Veri setinin kalan son %15'lik kısmı ise modelin eğitim süreçlerinde hiçbir şekilde görmeyeceği ve bu imgeler üzerindeki özelliklerden bir çıkarım yapamayacağı şekilde izole edilmiş ve eğitim sonucunda çıkan modellerin değerlendirilmesi amacıyla test seti olarak ayırılmıştır.

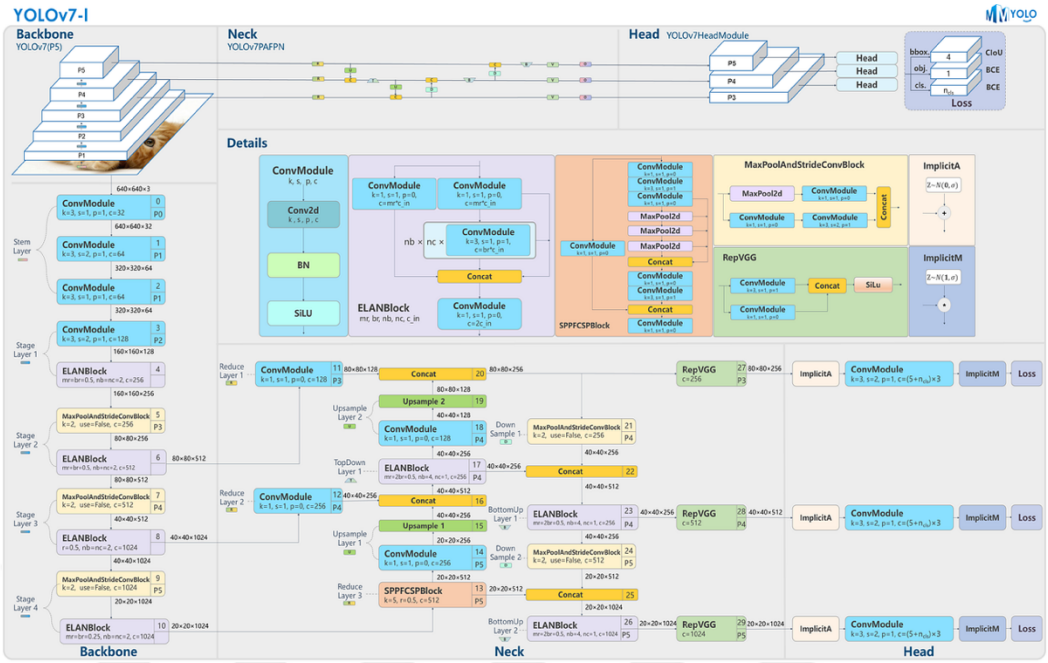
Eğitim setinde bulunan sınıfların dağılımı Şekil 3.2'de gösterilmektedir. Bu şekilde her bir diş numarasına ait sütun farklı renkler ile belirtilmiştir. Diş numara sayısı çok fazla olduğundan hangi rengin hangi numaralı dişe karşılık geldiği ayrıca belirtilememiştir.



Şekil 3.2. Veri setindeki sınıfların dağılımı

3.3. Yöntem

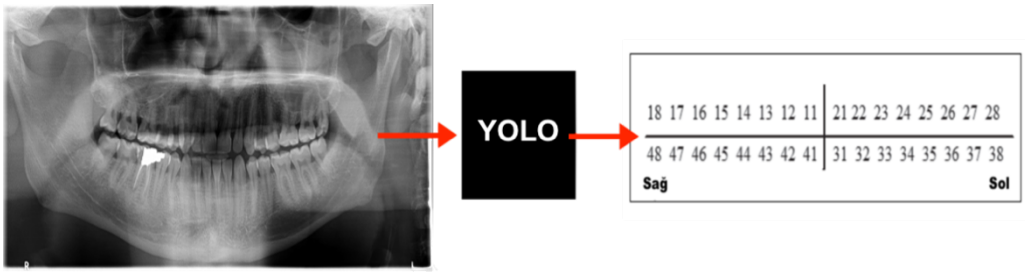
Bu çalışmada panoramik diş röntgenlerinde bulunan dişlerin tespit edilmesi ve tespit edilen dişlerin FDI numaralandırılması için tek aşamalı nesne tespit modelleri olan YOLO-V7 ve V9 kullanılmıştır. Bu model 2020 yılında Chien-Yao Wang ve ekibi tarafından önerilmiştir (Wang ve dig., 2022; Wang ve dig., 2024). Çalışmada kullanılan derin modellerin biri olan YOLO V7 mimarisi Şekil 3.3'te gösterilmektedir.



Şekil 3.3. YOLO V7 mimarisi (Alam, 2023)

Derin modelin eğitilmesinde öğrenme aktarımı adı verilen bir derin öğrenme yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşım derin modelin eğitim aşamalarında ağırlıklarını belirlerken hesapladığı kat sayıların rastgele bir değerden başlaması yerine, daha önce özellik çıkartımı ve sınıflandırma katmanlarında bulunan ağırlıkların benzer problemler için eğitilmiş olduğu modelleri baz alır. Baz modelin önceki eğitimlerinde kazandığı kenar, şekil ve doku tespit eden ağırlık katsayılarını çözülmesi istenen problem için hazırlanan yeni modelin ilk kat sayıları olarak kullanarak eğitim süresini azaltmayı hedefleyen bu yaklaşım günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kullanılan derin modelin eğitim aşamalarında her bir diş için tespit yaptığında, ek algoritmalara gerek kalmadan diş numaralandırma problemini de çözme yetisi kazanması için veri setinde bulunan panoramik diş röntgen görüntülerinde bulunan her bir diş FDI numaralandırma sisteminde ait olduğu numara ile sınıflandırılarak etiketlenmiştir. Her bir diş numarası sınıfına ait olan etiketlerin o sınıftaki dişler ile ortak konum, şekil ve doku özelliklerine sahip olduğu görülmüştür. Derin modelin bu benzerlikleri tespit edecek şekilde özellik çıkartımı ve sınıflandırma katmanı ağırlıklarını güncellemesi ile ek bir algoritmaya gerek kalmadan tek adımda diş tespit ve numaralandırma problemini çözmesi hedeflenmektedir. Sistemin çalışması Şekil 3.4'te görselleştirilmiştir.



Şekil 3.4. Giriş, yöntem ve çıkış

Eğitim boyunca hesaplanan hatanın geri yayılmasında ve ağırlıkların değişim hızında etkiye sahip olan öğrenme oranı parametresi değişken olacak şekilde ayarlanmıştır. Eğitimin ilk adımlarında öğrenim transferi gerçekleştirilecek olan modelin farklı bir uzayda çıkarttığı özellikleri tespit eden ağırlıkların daha hızlı şekilde yeni uzaya uyum sağlayabilmesi için öğrenme oranı yüksek tutulmuştur.

Eğitilen modelin ilk adımlarda yeni uzaya göre değiştirmeye başladığı ağırlık kat sayılarının değişim oranı son adımlarda yerel minimum hata değerinin yakalanabilmesi için minimum seviyeye indirilmiştir. Öğrenme oranı eğitimin başlangıcından sonuna kadar doğrusal olarak adım adım azaltılmıştır. Başlangıçta 0,001 olan değer eğitim sonunda 0,0001'e kadar düşürülmüştür.

Modelin referans modelden yola çıkarak ağırlıklarının değiştirildiği eğitim süresi boyunca imgeler 8'li gruplar (mini-batch) halinde işlenmiştir. Her ağırlık değişimi adımında modelin karşılaştığı 8 imgedeki kestirim hatası üzerinden özellik çıkartımı ve sınıflandırma kat sayılarını öğrenmesi beklenmiştir. Bu sayede modelin her imgeden öğrenim kazanması sonucu oluşabilecek olası veri setine aşırı duyarlı olma ve veri seti dışındaki imgelere karşı tahmin etme yeteneğinin azalmasının önüne geçilmeye çalışılmıştır. Eğitim boyunca her 2 YOLO modeli için aynı olarak kullanılan parametrelerin bir kısmı Tablo 3.1'de belirtilmiştir.

Tablo 3.1. Eğitim parametreleri

LR başlangıcı	Epoch	Batch	İmge boyutu	IOU eşiği
0,001	250	8	640×640	0,2

3.4. Deney Ortamı

Çalışma boyunca yapılan deneylerde derin öğrenme modellerini eğitmek için özelleştirilmiş bir masaüstü bilgisayar kullanılmıştır. Derin öğrenme algoritmalarında hızlı sonuç elde etmek için yüksek kapasiteye sahip grafik işlem birimleri tercih edilmektedir. Ayrıca eğitim boyunca kullanılacak olan verilerin hafızadan grafik işlem birimine aktarımı sırasında dar boğaz oluşmasını engellemek ve işlem sürelerini minimuma indirmek için yüksek bellekli RAM donanımları bu amaç için özelleştirilmiş sistemlerde büyük önem taşımaktadır.

Deneylerin yapıldığı bilgisayarda NVIDIA marka RTX A4000 model grafik işlem birimi tercih edilmiştir. Bu işlem birimi 16 GB hafızaya sahip olup derin öğrenme algoritmalarının eğitiminde başarılı performans göstermektedir. Donanım aynı zaman 32 GB belleğe sahiptir. Donanım Intel marka 11. nesil i9-11900 model 2.50 GHz 16 çekirdek işlemci ile desteklenerek işlem kapasitesi yükseltilmiştir.

Çalışma boyunca geliştirilen yazılımda Python programlama dili tercih edilmiştir. Bu yazılım geliştirme geliştiricilere hızlı kod yazma imkanı vermekle birlikte dünya üzerindeki derin öğrenme geliştiricilerinin bu alanda kullanılmak üzere hazırladığı bir çok algoritmanın hızlıca kullanılabilir paketlerini içermektedir. Bu nedenle günümüzde bu alanda en yaygın olarak tercih edilen yazılım geliştirme dilidir. Deneyler boyunca Python yazılım geliştirme dilinin 3.10.12 versiyonu kullanılmıştır.

Tercih edilen derin öğrenme modelinin Python dilinde programlanması imkan vermek üzere hazırlanmış olan PyTorch kütüphanesi tercih edilmiştir. Tercih edilen yazılım dili ve kütüphanelerin grafik işlem birimi üzerinde optimize çalışması için grafik işlem biriminin üreticisi tarafından bu amaçla hazırlanmış olan CUDA mimarisinin 11.7 versiyonu tercih edilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan bütün deneylerde geliştirme ortamındaki donanımlar ve yazılım versiyonları sabit tutulmuştur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

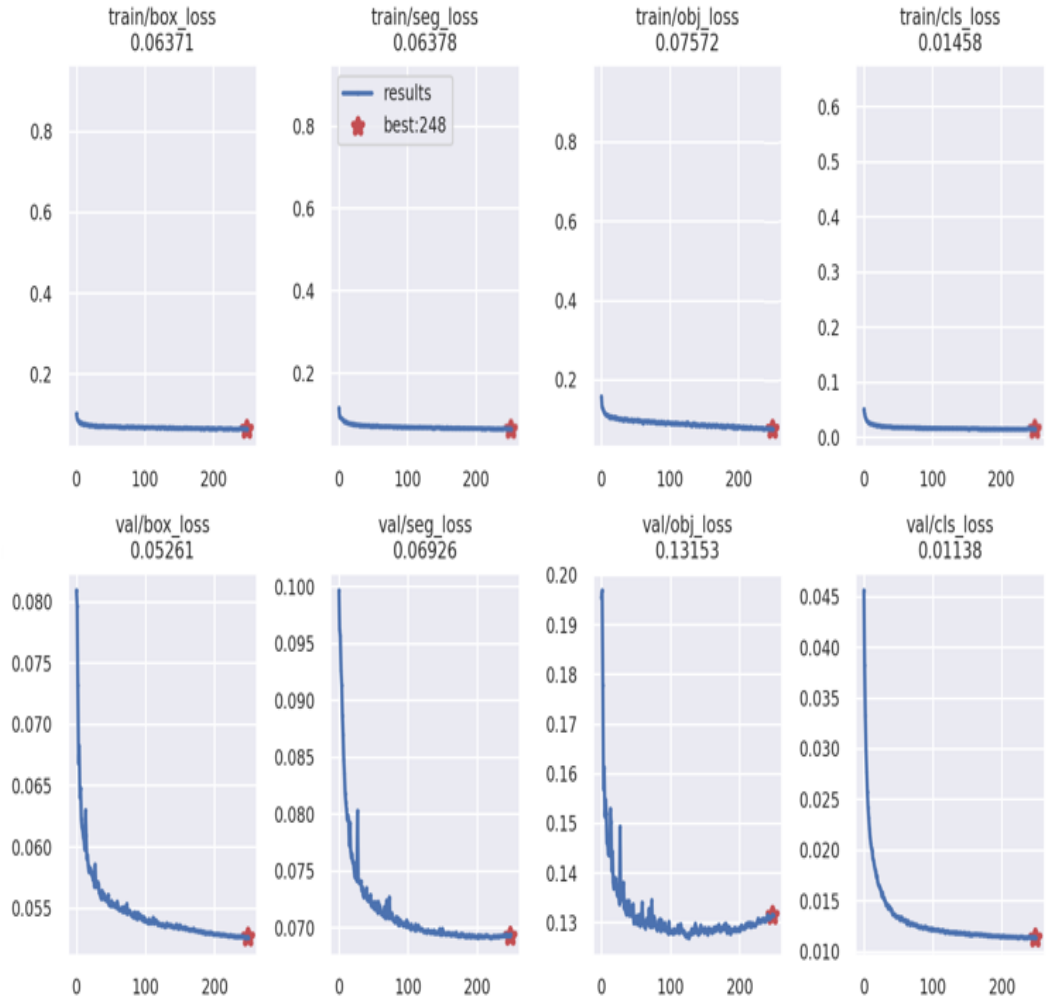
Çalışma kapsamında panoramik diş röntgen görsellerinde bulunan dişlerin tespit edilmesi ve tespit edilen bu dişlerin FDI diş numaralandırma sistemine göre tespit edilmesi için derin model geliştirilmiştir. Deney boyunca yapılan eğitimlerde geliştirilen modelin başarı durumu daha önceden test için ayırılmış, doğru etiketli olduğu bilinen test imgelerinde yaptığı tahminlerin doğruluk, keskinlik, mAP50 ve mAP50-95 metrikleri üzerinden değerlendirilmiştir.

Yukarıda açıklanan deney ortamında yapılan farklı deneylerde modellerin belirtilen parametreler üzerinde en başarılı olduğu tespit edilen ağırlıklar dondurulmuş ve deneyler sonlandırılmıştır. Elde edilen sonuçlarda modellerin yakaladığı en yüksek başarımlar Tablo 4.1'de belirtilmiştir.

Tablo 4.1. Eğitilen modellerin başarım sonuçları

Model	Doğruluk	Keskinlik	mAP50	mAP50-95
YOLO-V7	0,921	0,906	0,950	0,644
YOLO-V9	0,927	0,914	0,960	0,692

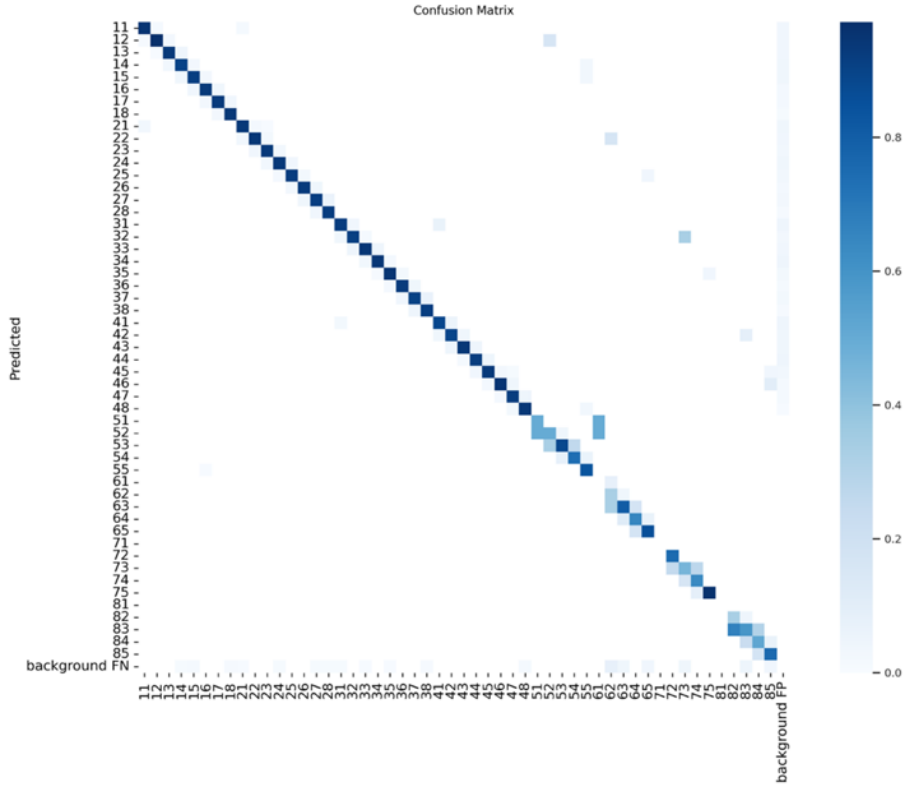
Tablo 4.1'de başarımları belirtilen modellerin eğitim sürecinin nerede durdurulacağını belirleyebilmek adına nesne tespitini belirten çerçevelerin hata değeri (box_loss), bölütleme hata değeri (seg_loss), nesne hata değeri (obj_loss) ve tespit edilen nesnelerin sınıf bilgisinin hata değeri (cls_loss) kullanılmıştır. Bu değerler eğitim boyunca eğitim ve doğrulama adımlarında hesaplanıp Şekil 4.1'de görselleştirilmiştir. Derin modelin aşırı öğrenme durumuna girmemesi için doğrulama adımlarında hata grafiklerinin minimum noktaya yaklaştığı ve tekrar artma eğilimine girmediği 250. tekrarın eğitimin durdurularak, bu tekrarda elde edilen ağırlıklarla modelin karar verme ağırlıkları dondurulmuştur.



Şekil 4.1. Eğitim ve doğrulama hata grafikleri (YOLO-V7)

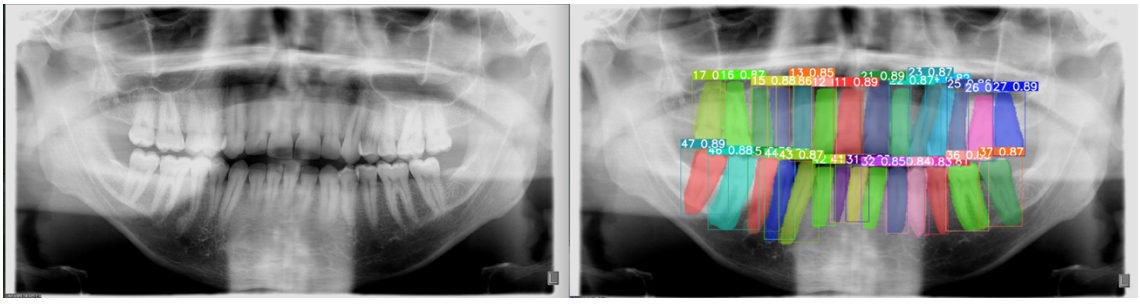
Deneyde elde edilen modelin farklı koşullarda ve farklı dişlenme dönemlerinde alınmış olan panoramik diş röntgenleri üzerindeki başarımı test veri setindeki imgeler üzerinden incelenmek istendiğinde sonuçlar 4 farklı çene yapısına göre değerlendirilmiştir.

Değerlendirmelerde sağlıklı bir bireyden alınmış kalıcı dişlenme dönemini gösteren imgeler, kalıcı dişlenme döneminde bulunan hastaların 3. molar dişlerinin de imge üzerinde olduğu imgeler, diş kaybına uğramış bireylerden alınan görseller ve karışık dişlenme döneminde olan bireylerden alınan görseller kullanılarak analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçların oluşturulduğu doğruluk matrisi Şekil 4.2'de görselleştirilmiştir.



Şekil 4.2. Doğruluk matrisi (YOLO-V7)

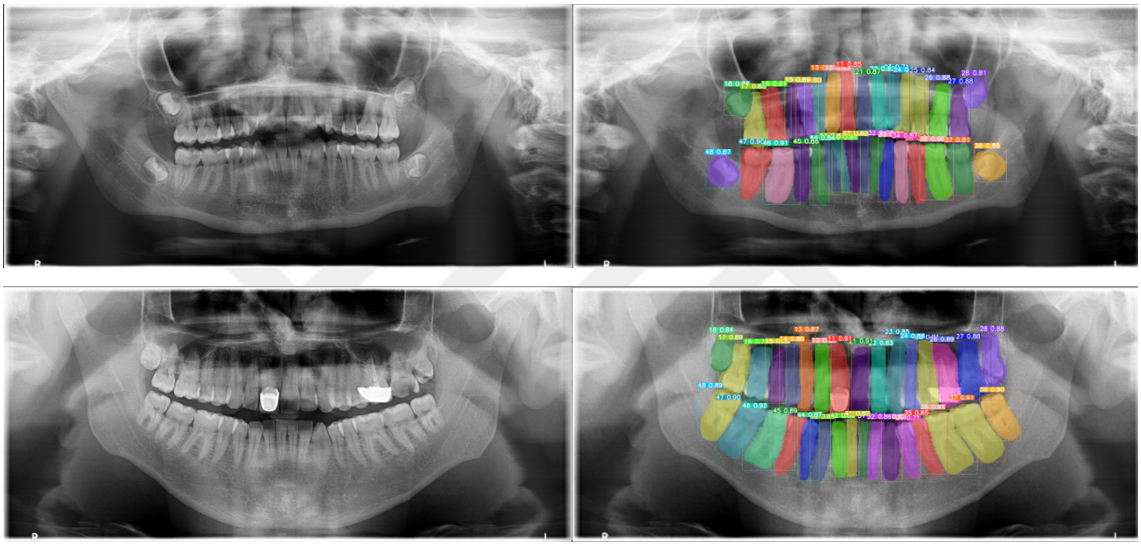
Sağlıklı bir bireyden elde edilen panoramik diş röntgenlerinde herhangi bir diş kaybı olmadığı ve 3. molar dişlerin henüz çıkmadığı imgeler üzerinde modelin diş tespitini yaptığı, 3. molar dişlerin eksik olmasına rağmen diş numaralandırmasını başarılı şekilde yaptığı görülmüştür. Bu durumu gösteren model çıktıları Şekil 4.3'te görselleştirilmiştir.



(a) (b)

Şekil 4.3. Kalıcı dişlenme döneminde önerilen yöntemin çıktısı (a) giriş imgesi (b) sistem çıktısı

Bireylerde kalıcı dişlenme döneminde gelişimini tamamlayan, ağız ve çene gelişiminin son adımlarında görülen 3. Molar dişlerin (FDI 18,28,38, ve 48 numara) henüz diş etinde gömülü olduğu dönemde doğru şekilde tespit edilebilmesi bu dişlerin gelişimi ve çıkması süreçlerinde sebebiyet verebileceği olumsuzlukları önlemek adına değerli bir bilgidir. Yapılan deneylerde eğitilen modelin, içerisinde 3. molar dişlerin olduğu görsellerde diş tespitinde ve numaralandırmasında başarılı olduğu görülmüştür ve bu dönemlerden elde edilen panoramik diş röntgenleri üzerinde yapılan tahminler Şekil 4.4'te görselleştirilmiştir.

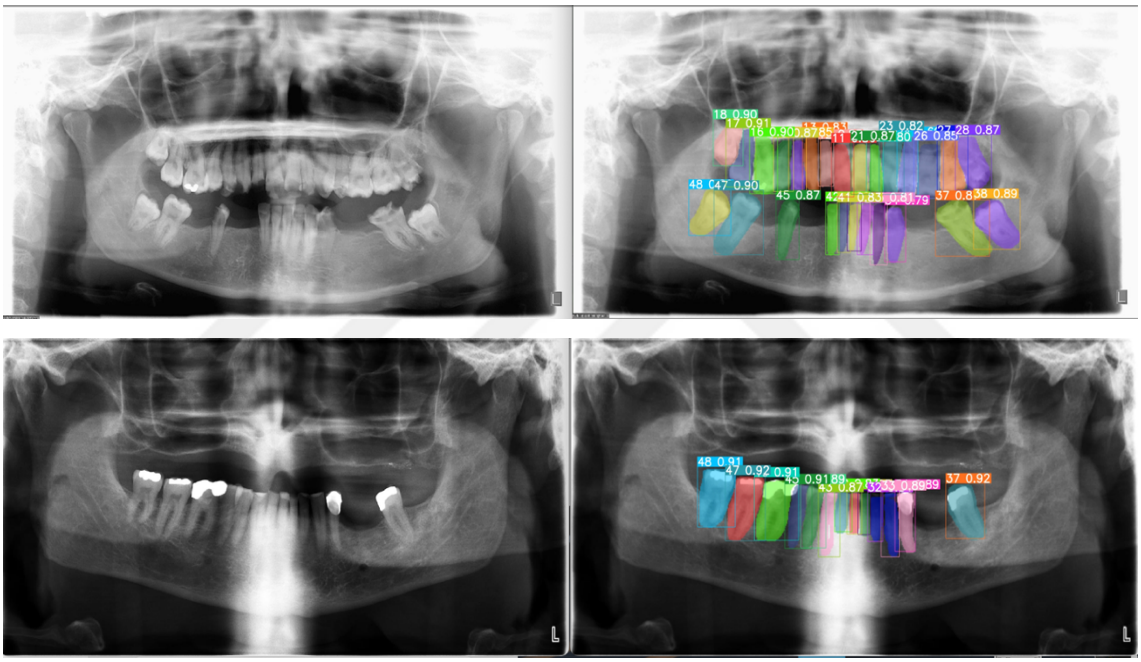


(a) (b)

Şekil 4.4. 3. molar dişler varken önerilen yöntemin çıktısı (a)giriş imgesi (b) sistem çıktısı

Bireylerde kalıtımsal yapı ve çevresel faktörler nedeniyle farklı dişlenme dönemlerinde diş kaybı görülebilir. Diş kaybı sonrasında panoramik diş röntgenleri üzerinden diş numaralandırılmasının diş hekimleri tarafından diş şekil, oryantasyonu değerlendirildikten sonra kişisel tecrübe ile yapıldığı bilinmektedir. Bu problemin otomatize edilmiş şekilde makineler tarafından çözülmesi günümüzde hala geçerliliğini korumaktadır. Bu problemin çözümü adına diş tespiti yapılan algoritmaların ardından diş numaralandırılmasının yapıldığı ek algoritmalar kullanılmaktadır (Hamamci ve dig, 2023).

Dişlerin imgeler üzerinden tespit edilmesinin ardından bir diş numarasının birden fazla dişe verilebildiği, diş sayısının tam olmasına ve tüm diş numaralarından birer adet tespit yapılmasına rağmen dişlerin sıralamalarının hatalı yapılabildiği ve diş eksikliği olması durumunda numaralandırılmanın sonucu oluşan bu hataları gidermek için önerilen sistemler diş tespitinden sonra bir düzeltme adımı daha gerektirmektedir. Çalışma kapsamında yapılan deneylerde eğitilen derin modelin diş kaybı içeren panoramik diş görselleri üzerinde de ek bir algoritma gerektirmeden, tek adımda diş numaralandırmasını yapabildiği görülmüş ve bu durumu gösterir sonuçlar Şekil 4.5'te görselleştirilmiştir.



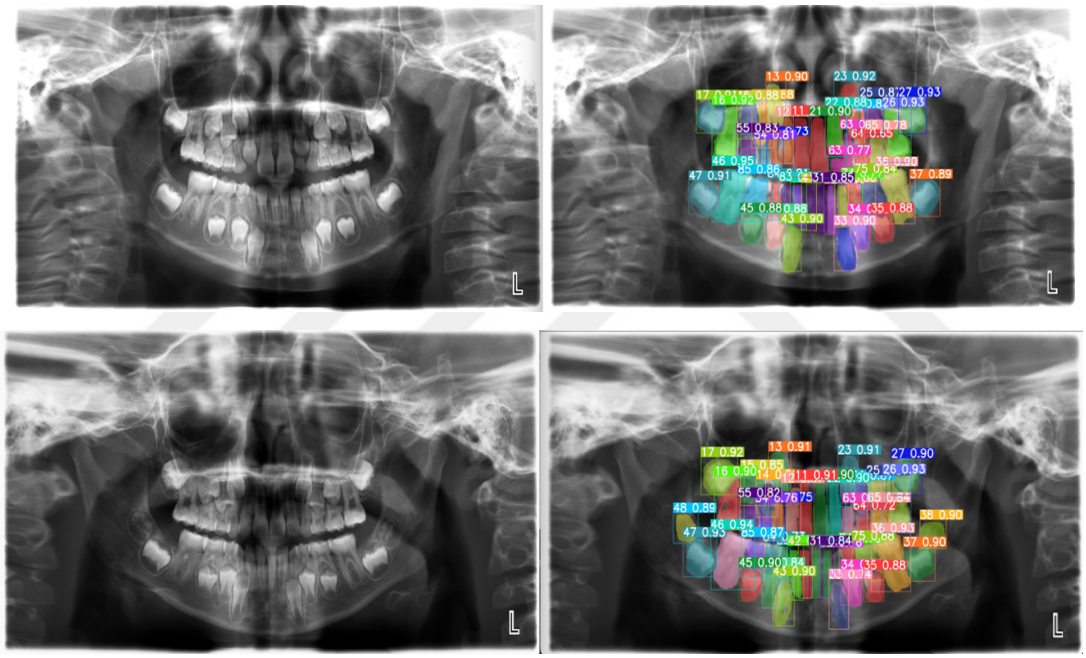
(a) (b)

Şekil 4.5. Diş eksikliği olan röntgenlerde önerilen yöntemin çıktısı (a)giriş imgesi (b) sistem çıktısı

Kalıcı dişlenme dönemi ve süt dişlenme dönemi arasında bir geçiş dönemi olan karışık dişlenme döneminin diğer dönemlere göre daha kısa bir yaş aralığında görülmesi nedeniyle bu dönemlerde elde edilen panoramik diş röntgen görüntülerinde dişlerin konum ve şekil özellikleri büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Henüz sürmemiş ve oluşum aşamasında olan kalıcı dişlerin veya kalıcı dişin sürmeye başlamasıyla konumlarında ciddi değişiklikler gözükebilen süt dişlerinin tespit edilmesi ve doğru

numaralandırılması bu dönemde planlanacak tedaviler için önem arz etmektedir. Bu görseller üzerinden yapılacak olan tespitler hastanın gelecekti yaşantısında çene yapısında bir anomali oluşmasını önleyebilir.

Önerilen yöntemin karışık dişlenme döneminde şekil ve konum bilgilerinin beklenen durumdan farklı olduğu panoramik diş röntgenleri üzerinde de diş kaybı olan dönemlerdeki gibi ek bir adım gerektirmeden tek adımda diş tespiti ve numaralandırmasını yapabildiği görülmüştür. Karışık dişlenme döneminde bireylerden elde edilen panoramik diş görselleri üzerinde elde edilen sonuçlar Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



(a) (b)

Şekil 4.6. Karışık dişlenme döneminde önerilen yöntemin çıktısı (a)giriş imgesi (b) sistem çıktısı

Önerilen yaklaşımın literatürdeki başarı durumunun karşılaştırılabilmesi için bu alanda yapılan diğer çalışmalar ile kıyaslanması için panoramik diş röntgeni görüntüsünün sisteme verilmesinin ardından tamamlanması gereken adım sayısı tabloda tespit adım sayısı başlığı ile belirtilmiştir, doğruluk, keskinlik ve mAP50 metrikleri üzerinden yapılan değerlendirmenin sonuçları Tablo 4.2'de görselleştirilmiştir.

Tabloda gösterildiği şekilde önerilen yöntem imge üzerinden sonuç üretmen için diğer yöntemlere kıyasla tek adımlı bir yaklaşım kullanarak çözüm üretebilmektedir. Önerilen yöntem derin model tarafından yapılan tespitlerin doğruluğu kıyaslandığında diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek başarım göstermektedir. Diş tespiti ve numaralandırılmasında önerilen yöntem keskinlik parametresi baz alındığında en yüksek ikinci başarımı göstermektedir. mAP 50 parametresi baz alınarak yapılan karşılaştırmalarda önerilen yöntem diğer yöntemlere kıyasla en yüksek başarımı göstermektedir. Önerilen yöntemde kullanılan iki farklı tek adımlı nesne tespit modeli kıyaslandığında daha güncel olan YOLO V9 modelinin veri kaybını önlerken doğru gradyen güncellemesi yapılmasına imkan veren PGI ve gradyen yol planlamasını iyileştiren GELAN algoritmalarına sahip oluşu nedeniyle daha başarılı sonuçlar ürettiği görülmüştür.

Tablo 4.2. Önerilen yöntemin benzer yöntemler ile karşılaştırılması

Yöntem	Tespit adım sayısı	Doğruluk	Keskinlik	mAP50
Mask-RCNN (Rubiu ve dig., 2023)	1	0,888	0,882	-
HierarchicalDet (Hamamci ve dig., 2023)	3	0,688	0,328	0,494
Mask-RCNN (Karaoglu ve dig., 2023)	3	0,906	0,956	0,930
Önerilen Yöntem (YOLO-V7)	**1**	**0,921**	**0,906**	**0,950**
Önerilen Yöntem (YOLO-V9)	**1**	**0,927**	**0,914**	**0,960**

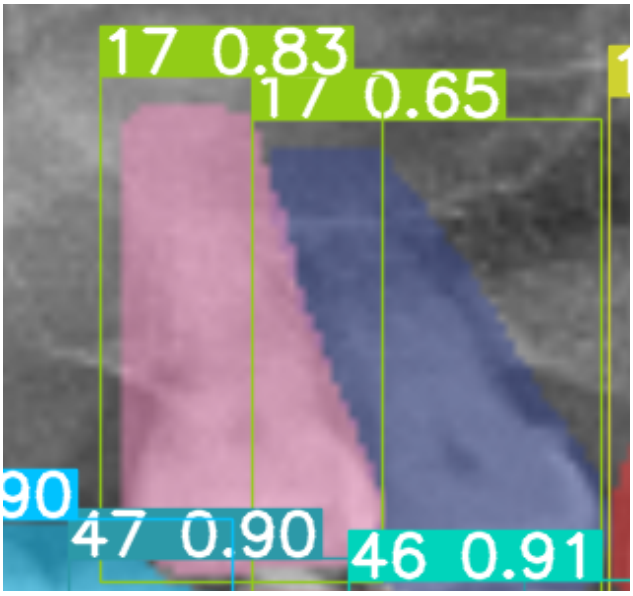
Önerilen yöntemin panoramik diş röntgenleri üzerinde her bir dişi, diş sınırlarına göre bölütlemesi beklenmektedir. Yaklaşımın azı dişlerde diş sınırlarını ayırmada zaman

zaman hatalı tespit yaptığı görülmüştür. Önerilen yöntemin çıktıları incelendiğinde azı dişlerinin 2 kökü arasında kalan alanın diş olarak işaretlenmesi ve diş sınırlarının net tespit edilememesi hataları gözlenmiştir. Önerilen yöntemin bölütlemede yaptığı hatalar Şekil 4.7'de kırımızı ile işaretlenerek gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Bölütleme hataları

Yöntemin çıktıları incelendiğinde doğruluk matrisinin köşegeni hizasında görüldüğü üzere sistemin düşük olasılıkla birbirine komşu dişlerin numaralarını karıştırdığı görülmüştür. Yapılan hatalardan bir örnek Şekil 4.8'de görselleştirilmiştir. FDI numaralandırma sistemine göre çenede her diş numarasından 1 adet olması gerekirken bu örnekte 18 numaralı diş komşusu olan 17 numara olarak hatalı tespit edilmiştir.



Şekil 4.8. Sınıflandırma hatası

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma boyunca farklı dişlenme dönemlerinden alınmış görseller üzerinden derin öğrenme tabanlı bir yaklaşım kullanarak tek adımda dişlerin tespit edilmesi ve numaralandırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla önerilen yöntem mevcutta literatürde bulunan ve aynı amacı hedefleyen algoritmalar ile başarım ve gerek duyulan adım sayısı üzerinden karşılaştırılmıştır. Yapılan deneylerde her adımda bu algoritmalar ile karşılaştırılarak tekrar geliştirilen modelin bir panoramik diş röntgen görüntüsü üzerinden tek adımda tespit yaptığı görülmüştür.

Önerilen yaklaşımda eğitilen model imgeler üzerinde bulunan dişlerin şekil, doku ve konumlarından çıkarttığı özelliklerini sınıflandırarak diş numaralandırılması görevini yerine getirebilmektedir. Aynı FDI diş numarasına sahip olan dişlerin imge üzerinde de benzer özellikler gösterir olması önerilen modelin bu özellikleri doğru tespit etmeyi öğrenmesi durumunda tek adımla başarılı bir numaralandırma yapabilmesine imkan vermiştir.

Fakat tespit edilen dişlerin sınırlarının belirlenmesinde sistemin daha başarılı sonuçlar üretebilmesi için diş köklerinin ve sınırların etiketlendiği daha fazla görsele ihtiyaç duyulmaktadır. Veri setindeki görsellerin arttırılması ile komşu dişler arasında görülen diş numarasının hatalı tespit edilmesi hatasının da giderilebileceği düşünülmektedir.

Bu tez çalışması sürecinde yapılan çalışmalarda güncel literatürdeki önerilen yöntemlere kıyasla daha az adım gerektiren bir yaklaşım sunulmuştur. Yapılan deneyler boyunca önerilen sistemin doğruluk, keskinlik ve mAP50 gibi değerler baz alındığında mevcut çalışmalara göre daha başarılı veya çok yakın düzeyde sonuç verdiği görülmüştür. Literatürdeki bu konuda önerilen diğer modellerin ve tez kapsamında önerilen modelin yorgunluk ve dalgınlık gibi insani faktörlerden etkilenmeyerek her zaman tutarlı sonuçlar üreterek bu alanda tespit ve tedavi yapan yetkili personellere karar verme adımında destek olabileceği düşünülmektedir.

Önerilen yöntemin panoramik diş görselleri üzerinden diş hastalıklarının tespiti problemi için yine tek adımlı bir çözüm sunma potansiyeline sahip olduğu değerlendirilmektedir. Panoramik diş röntgenleri üzerinde şekil ve doku özellikleri bakımından benzerlik

gösterdiği değerlendiren diş hastalıklarının etiketlenmesi ve önerilen yöntemin bu görseller üzerinde eğitilmesinin diş hastalıklarının tespiti konusunda faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Akıncı Sözer, Ö., Bilgiç, F., Küçük, E.B., Yılmaz, H. (2016). Ortodontide Kayıt: Radyografi ve Model. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. *26*(1), 143-151. DOI: 10.17567/dfd.07868.

Ülgen, M. (2007), "9. Karışık Dişlenme (Mixt Dentition) Dönemi", *Ortodonti Anomoliler, Sefalometri, Etiyoloji, Büyüme ve Gelişim, Tanı (5. Baskı)*(325,347), İstanbul:Yeditepe Üniversitesi Yayınları.

Alì, M. G., Bologna, M., Cè, M., Cellina, M., Fazzini, D., Ibba, S., Mattavelli, E., Pagani, R., Papa, S., Rubiu, G., Sala, D. (2023). Teeth Segmentation in Panoramic Dental X-ray Using Mask Regional Convolutional Neural Network, *Applied Sciences, 13*(13),7947-7960.

Er, S., Gundogar, M., Hamamci, I. E., Mehl, A., Menze, B., Sekuboyina, A., Simsar, E., Stadlinger, B. (2023). Diffusion-Based Hierarchical Multi-Label Object Detection To Analyze Panoramic Dental X-Rays, *26th International Conference On Medical Image Computing And Computer-Assisted Intervention,* Vancouver, Kanada, 8-12 Ekim, 389-399.

Karaoglu, A., Ozcan, C., Pekince, A., Yasa, Y. (2023). Numbering Teeth in Panoramic Images: A Novel Method Based On Deep Learning And Heuristic Algorithm, *Engineering Science And Technology, An International Journal, 37*(2023), 101316–101316. DOI: 10.1016/j.jestch.2022.101316

Aras, A., Baştaş, M., Tiftikci, G. (2023). Posterior Çapraz Kapanışların Tedavilerinin Fonksiyonel Açıdan Değerlendirilmesi. *Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, *44*(4), 41-46.

Gokcek, M., Hazar Bodrumlu, E., Özkalaycı, N. (2016). Tooth Eruption, *Yeditepe Dental Journal, 12*(3), 35–44. DOI: 10.5505/yeditepe.2016.65375

Nelson, S. J. (2019), *Wheeler's Dental Anatomy, Physiology And Occlusion* (11th Edition). St. Louis, Missouri: Elsevier.

Çayönü, S., Sarı, Ş., Yüksel, B. N. (2020). Development of Occlusion from the Toothless Period Up to the Permanent Dentition, *Türkiye Klinikleri Dishekimliği Bilimleri Dergisi, 26*(1), 110–121. DOI: 10.5336/dentalsci.2018-60529

Büken E., Yaşar, Z. F. (2012). Tooth Coding Numbering Systems. *ADO Klinik Bilimler Dergisi, 6*(2), 1166-1172.

Coates, A. Huval, B. Ng, A. (2014). Deep Learning for Class-Generic Object Detection, *Proceedings of the 31st International Conference on Machine Learning*, Beijing, China, 21-26 Haziran.

Murat, S. (2021). İnsansız Hava Aracı Görüntülerinden Derin Öğrenme Yöntemleriyle Nesne Tanıma. Yüksek Lisans Tezi, T.C. Maltepe Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 678752.

Gomez, A. N., Jones, L., Kaiser, L., Parmar, N., Polosukhin, I., Shazeer, N., Uszkoreit, J., Vaswani, A. (2017). Attention Is All You Need, *31st Conference on Neural Information Processing Systems*, Long Beach, CA, ABD, 4-9 Aralık.

Ando, K. a.-Y. (2017). Multithreaded CGRA for Convolutional Neural Network Processing, *Circuits and Systems*, *8*(6), 149-170.

Almotairi, S., Alruban, A., Arshad, A., Dutta, A. K., Mohd Nawi, N., Riaz, S., Zafar, A., Aamir, M. (2022). A Comparison of Pooling Methods for Convolutional Neural Networks, *Applied Sciences*, *12*(17), 8643-8664. DOI: 10.3390/app12178643

Iyengar, N. Ch. S., Reddy, G. P., Reddy, T. B., Shaik, S., Vaishnavi, K. (2023). Real-time Object Detection Using Deep Learning, *Journal of Advances in Mathematics and Computer Science, 38*(8), 24–32. DOI: 10.9734/jamcs/2023/v38i81787

Farhadi, A., Girshick, R., Redmon, J., Santosh, D. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection, *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Las Vegas, NV, ABD, 27-30 Haziran, 779-788. DOI: 10.1109/CVPR.2016.91

Boykov, Y., Kehtarnavaz, N., Minaee, S., Plaza, A., Porikli, F., Terzopoulos, D. (2021). Image Segmentation Using Deep Learning: A Survey, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, *44*(7), 3523-3542. DOI: 10.1109/tpami.2021.3059968

Dollár, P., Girshick, R., He, K., Kirillov, A., Rother, C. (2019). Panoptic Segmentation, *2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR),* Long Beach, CA, ABD, 15-20 Haziran, 9396-9405. DOI: 10.1109/CVPR.2019.00963

Gabbar, H. A., Khan, M. J. A., Ren, J. (2022). Applying Deep Learning for Image Segmentation: A Survey, *World Congress on Electrical Engineering and Computer Systems and Science*, Prag, Çekya, 28- 30 Temmuz. DOI: 10.11159/mvml22.101

Bran Li, H., Damla Ozdemir, S., Er, S., Gultekin, S., Gundogar, M., Hamamci, I. E., Mehl, A., Menze, B., Pati, S., Stadlinger, B., Simsar, E., Yang, K., Yuksel, A. E. (2023). DENTEX: An Abnormal Tooth Detection with Dental Enumeration and Diagnosis Benchmark for Panoramic X-rays, *ArXiv*, abs/2305.19112

Panetta, K., Rajendran, R., Ramesh, A., Rao, S. (2022). Tufts Dental Database: A Multimodal Panoramic X-Ray Dataset for Benchmarking Diagnostic Systems. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics. 26*(4), 1650-1659. DOI: 10.1109/JBHI.2021.3117575

Bochkovskiy, A., Hong-Yuan, L. M., Wang, C.-Y. (2023). YOLOv7: Trainable Bag-of-Freebies Sets New State-of-The-Art for Real-Time Object Detectors, *2023 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR),* Vancouver, BC, Kanada, 17-24 Haziran, 7464-7475. DOI: 10.1109/CVPR52729.2023.00721

Liao, H., Wang, C., Yeh, I., (2024). YOLOv9: Learning What You Want to Learn Using Programmable Gradient Information, *ArXiv*, abs/2402.13616.

Alam, N. (2023). *Understanding YOLOv7 Neural Network.* Medium: https://medium.com/@nahidalam/understanding-yolov7-neural-network-343889e32e4e (Ziyaret Tarihi: 5 Mart 2024).

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Altuntaş, A. H., Küçükmanisa, A., Urhan, O. (2024). Numbering of Teeth in the Mixed Dentition Stage Using Deep Learning, *32nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU),* Mersin, Türkiye, 15-18 May.

ÖZGEÇMİŞ

İlk öğretimini Kocaeli ve Ordu'da sürdürdü. 2015 yılında Gebze Anadolu Öğretmen Lisesinden mezun oldu. 2016 yılında Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme bölümünde lisans eğitimine başladı. Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme lisans programından 2020 yılında mezun oldu. 2021 yılında Kocaeli Elektronik ve Haberleşme yüksek lisans programına başladı. Şu anda yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.