

TEZ ONAYI

Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından Ortodonti Programında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Prof. Dr. Mete ÖZER*

OMÜ Diş Hekimliği Fakültesi / Ortodonti A.D

Jüri ve Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ulaş ÖZ*

YDÜ Diş Hekimliği Fakültesi / Ortodonti A.D.

Jüri ve Eş Danışman: Prof. Dr. Kaan ORHAN*

AÜ Diş Hekimliği Fakültesi/ Ağız, Diş, Çene Radyolojisi A.D.

Jüri: Doç. Dr. İsmail Hakan AVSEVER*

SBÜ Diş Hekimliği Fakültesi / Ağız, Diş, Çene Radyolojisi A.D.

Jüri: Doç. Dr. Levent VAHDETTİN

YDÜ Diş Hekimliği Fakültesi / Ortodonti A.D.

Jüri: Doç. Dr. Seçil AKSOY

YDÜ Diş Hekimliği Fakültesi / Ağız, Diş, Çene Radyolojisi A.D.

*Elektronik ortamda yapılan ve kayıt altına alınan toplantı sonunda üyeler kararları onayladıklarını sözlü olarak beyan etmişlerdir.

ONAY:

Bu tez, Yakın Doğu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla kabul edilmiştir.

Prof. Dr. K. Hüsnü Can BAŞER

Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYAN

“Faringeal Hava Yolu Hacminin 3 Boyutlu Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi Görüntülerinden Yapay Zeka Kullanılarak Belirlenmesi” başlıklı tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmayla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

Çağla SİN

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca desteği, paylaştığı bilgi ve tecrübeleriyle mesleki gelişimimdeki katkılarından dolayı hem hocam hem de rehberliği ve motivasyonu ile bir abi olan danışmanım Prof. Dr. Ulaş Öz'e,

Fikirleriyle bir çok kişiye rehber olan ve benim de yapay zeka konusunda ufkumu açan, tez çalışmamın yürütülmesinde yoğun zamanında desteğini esirgemeyen eş danışmanım Prof. Dr. Kaan Orhan'a,

Bu olağanüstü durumları yaşadığımız dönemde kendisiyle yolumun keşişmesinden çok mutlu olduğum, tezimde büyük emek ve sabır gösteren sevgili Nurullah Akkaya'ya,

Değerli zamanlarını ayırarak jürimde olan sayın Prof. Dr. Mete Özer'e, sayın Doç. Dr. Hakan Avsever'e, desteğini esirgemeyen hocam Doç. Dr. Levent Vahdettin'e ve beni her zaman nezaketle karşılayarak içtenlikle yardımlarını sunan hocam Doç. Dr. Seçil Aksoy'a,

Ortodonti anabilim dalındaki değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Beste Kamiloğlu'na, Hikmet abime ve arkadaşlarıma,

Doktora eğitimimin bir kısmında danışmanlığımı yürüten, öğrencisi olmaktan her daim kendimi şanslı hissettiğim, insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim hocam Prof. Dr. Hakan Gögen'e,

Hayattaki en büyük şansım ve destekçim ailem; annem, babam ve biricik kardeşim İlker'e,

Tüm kalbimle teşekkürlerimi sunarım.

Çağla Sin

Lefkoşa, Mart 2021

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|-------------|
| TEZ ONAYI | i |
| BEYAN | ii |
| TEŞEKKÜR | iii |
| İÇİNDEKİLER | iv |
| SİMGELER VE KISALTMALAR | vi |
| TABLolar | vii |
| ŞEKİLLER | viii |
| ÖZET | 1 |
| ABSTRACT | 2 |
| 1. GİRİŞ | 3 |
| 2. GENEL BİLGİLER | 5 |
| 2.1. Faringeal Hava Yolu | 5 |
| 2.1.1. Faringeal hava yolu anatomisi | 5 |
| 2.1.2. Faringeal hava yolu boyutlarını etkileyen faktörler | 6 |
| 2.1.2.1. Ortodontik uygulamaların faringeal hava yolu hacmine etkileri | 9 |
| 2.1.3. Hava Yolu Görüntüleme Yöntemleri | 14 |
| 2.1.3.1. Lateral sefalometrik görüntüleme | 14 |
| 2.1.3.2. Manyetik rezonans görüntüleme (MRG) | 14 |
| 2.1.3.3. Bilgisayarlı tomografi (BT) | 15 |
| 2.1.3.4. Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) | 15 |
| 2.1.3.4.1. KIBT'ın ortodontide kullanım alanları | 16 |
| 2.2. Yapay Zeka | 17 |
| 2.2.1. Makine öğrenmesi | 18 |
| 2.2.1.1. Derin öğrenme | 19 |
| 2.2.1.1.1. Yapay sinir ağları | 20 |
| 2.2.1.1.1.1. Yapay sinir ağlarının eğitilmesi ve test edilmesi | 22 |
| 2.2.1.1.1.2. Evrişimli Sinir Ağı (ESA) | 23 |
| 2.2.1.2. Semantik (Anlamsal) segmentasyon | 25 |

| | |
|--|-----------|
| 2.2.1.2.1. U-Net mimarisi | 26 |
| 3. GEREÇ VE YÖNTEM | 27 |
| 3.1. Veri Setinin Oluşturulması | 27 |
| 3.1.1. KIBT ile görüntülerin elde edilmesi | 28 |
| 3.1.2. KIBT görüntülerinden hava yolunun ölçülmesi | 28 |
| 3.1.3. Ön işleme | 32 |
| 3.1.4. Semantik segmentasyon | 33 |
| 3.2. Uygulama | 34 |
| 3.3. İstatistiksel Analiz | 36 |
| 3.3.1. Performans ölçütleri | 37 |
| 4. BULGULAR | 39 |
| 4.1. Hava Yolu Segmentasyonlarının Değerlendirilmesi | 39 |
| 4.2. Ölçüm Uyumunun Değerlendirilmesi | 39 |
| 4.3. Performans Ölçütlerinin Değerlendirilmesi | 40 |
| 5. TARTIŞMA | 43 |
| 6. SONUÇ | 53 |
| 7. KAYNAKLAR | 54 |
| 8. ÖZGEÇMİŞ | 68 |
| EK 1. ETİK KURUL RAPORU | 70 |
| EK 2. YAYINLAR | 71 |

SİMGELER VE KISALTMALAR

| | |
|-----------------|--|
| BT | Bilgisayarlı Tomografi |
| CNN | Convolutional Neural Network |
| cm | Santimetre |
| cm ³ | Santimetre küp |
| DICOM | Digital Imaging and Communications in Medicine |
| ESA | Evrişimli Sinir Ağı |
| FCN | Fully Convolutional Network |
| FOV | Field of View |
| GPU | Grafik işlemci ünitesi |
| KIBT | Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi |
| kVp | Peak Kilovoltage |
| mA | Miliamper |
| mm | Milimetre |
| mm ³ | Milimetre küp |
| MRG | Manyetik Rezonans Görüntüleme |
| sn | Saniye |
| YZ | Yapay Zeka |

TABLolar

Tablo 1. Segmente edilen hava yolu hacimleri.....35

Tablo 2. Karışıklık Matrisi sonuçları.....36

ŞEKİLLER

| | |
|--|----|
| Şekil 1. Denetimli öğrenme şeması | 19 |
| Şekil 2. Biyolojik sinir hücresi (nöron) | 20 |
| Şekil 3. Yapay sinir ağı mimarisi, (A) Tek gizli katmanlı (B) Çok gizli katmanlı sinir ağı yapısı..... | 21 |
| Şekil 4: Evrişimli sinir ağı mimarisi örneği | 24 |
| Şekil 5. Konvolüsyon matrisi | 25 |
| Şekil 6. Görüntülerin oryante edilmesi..... | 29 |
| Şekil 7. Hava yolu sınırlarının belirlenmesi | 30 |
| Şekil 8. İzole edilen hava yoluna baloncukların eklenmesi | 31 |
| Şekil 9. Veri setinin dağılım şeması | 32 |
| Şekil 10. Resimlerin kesilmesi | 33 |
| Şekil 11. Modelin U-Net mimarisi | 34 |
| Şekil 12. Algoritmanın çalışma şeması | 35 |
| Şekil 13: Hata değeri- Döngü sayısı grafiği | 38 |
| Şekil 14: Karışıklık Matrisi | 34 |
| Şekil 15: YZ ve İnsan tarafından yapılan hava yolu segmentasyon sonuçlarının farklı açılardan karşılaştırılması..... | 37 |

Faringeal Hava Yolu Hacminin 3 Boyutlu Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi Görüntülerinden Yapay Zeka Kullanılarak Belirlenmesi

Çağla Sin

Prof. Dr. Ulaş Öz, Prof. Dr. Kaan Orhan

Ortodonti Anabilim Dalı

ÖZET

Amaç: Bu tez çalışması, Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (KIBT) görüntülerinden derin öğrenme algoritması kullanarak faringeal hava yolu hacmini tespit eden bir yapay zeka (YZ) modeli geliştirmeyi amaçlamıştır. **Gereç ve Yöntem:** Bu retrospektif çalışma için faringeal hava yolunu içeren 306 KIBT görüntüsü kullanılmıştır. Rehber olarak kullanılmak ve yapay zeka ile karşılaştırmak üzere yarı otomatik bir yazılım (ITK-SNAP) kullanılarak faringeal hava yolu segmente edilmiştir. Ayrıca Evrişimli Sinir Ağı'na (ESA) dayalı bir makine öğrenme algoritması geliştirilerek KIBT görüntülerinden hava yolu segmente edilmiştir. İnsan ölçümleri ile yapay zeka ölçümlerinin benzerliklerinin karşılaştırılmasında Dice benzerlik katsayısı (DSC) ve Intersection over Union (IoU) kullanılmıştır. **Bulgular:** İnsan gözlemci faringeal hava yolunun ortalama hacmini 18,08 cm³, yapay zeka 17,32 cm³ bulmuştur. Dice ve IoU skorları sırasıyla 0,919 ve 0,993 bulunmuştur. **Sonuçlar:** Bu çalışmada, faringeal hava yolunu KIBT görüntülerinden otomatik olarak segmente eden başarılı bir YZ algoritması oluşturulmuştur. Bu algoritma klinik uygulama için KIBT görüntülerinden faringeal hava yolu hacminin hızlı ve kolay şekilde hesaplanmasında yararlı olabilir.

Anahtar Kelimeler: Yapay zeka, Faringeal hava yolu, Segmentasyon, KIBT, Evrişimli sinir ağı

Segmentation of Pharyngeal Airway Volume from 3D Cone Beam Computed Tomography Images Using Artificial Intelligence

Çağla Sin

Prof. Dr. Ulaş Öz, Prof. Dr. Kaan Orhan

Orthodontic Department

ABSTRACT

Objectives: This study aims to evaluate an automatic segmentation algorithm for pharyngeal airway in Cone Beam Computed Tomography (CBCT) images using a deep learning artificial intelligence (AI) system. **Material and methods:** Archives of the CBCT images were reviewed and the data of 306 subjects with the pharyngeal airway were included in this retrospective study. A machine learning algorithm, based on Convolutional Neural Network (CNN) did the segmentation of the pharyngeal airway on serial CBCT images. Semi-automatic software (ITK-SNAP) was used to manually generate the airway and the results were compared with artificial intelligence. Dice similarity coefficient (DSC) and Intersection over Union (IoU) were used as the accuracy of segmentation in comparing the measurements of human measurements and artificial intelligence algorithms. **Results:** The human observer found the average volume of the pharyngeal airway to be 18.08 cm³ and artificial intelligence to be 17.32 cm³. For pharyngeal airway segmentation, a dice ratio of 0.919 and a weighted IoU of 0.993 is achieved. **Conclusions:** In this study, a successful AI algorithm that automatically segments the pharyngeal airway from CBCT images was created. It can be useful in the quick and easy calculation of pharyngeal airway volume from CBCT images for clinical application.

Keywords: Artificial intelligence, Pharyngeal airway, CBCT, Segmentation, Deep learning

1. GİRİŞ

Üst hava yolunun konfigürasyonu ve boyutları, farinksî çevreleyen yumuşak doku, kaslar ve kraniyofasiyal iskelet gibi anatomik yapılar tarafından belirlenir. Farinksin morfolojisi de hava yolu hacmini, yüz büyüme paternini, obstrüktif uyku apnesi riskini ve çiğneme paternini etkiler (Linder-Aronson ve ark., 1983; De Freitas ve ark., 2006; Grauer ve ark., 2009).

Ortodontide uygulanan bazı tedavi protokolleri yumuşak doku ve iskelet yapısını değiştirirken aynı zamanda hava yolu hacmini de değiştirir. Sınıf II hastalarda kullanılan ortopedik apareylerle mandibulanın öne alınması (Isidor ve ark., 2018), ortognatik cerrahi ile mandibulanın geri alınması (Irani ve ark., 2018) veya Sınıf III hastalarda maksillanın protraksiyonu (Kilinç ve ark., 2007) bunlardan bazılarıdır. Bu sebeple tedavi planlamasında veya tedavinin hava yoluna etkilerinin değerlendirilmesinde hava yolu analizleri sıklıkla yapılmaktadır.

Yapay zeka (YZ), insan zekasının işlevlerini taklit eden makineleri tanımlayan genel bir terimdir. Halihazırda konuşma anlama, dil çevirisi, görüntü sınıflama, obje tespit etme gibi alanlarda kullanılmaktadır (Chartrand ve ark., 2017).

Makine öğrenimi ise, algoritmaların, makineye gösterilen verilerden kalıpları öğrenerek görevleri gerçekleştirdiği YZ dalıdır. Makine öğreniminin bir alt dalı olan yapay sinir ağları, biyolojik sinir ağlarından ilham almıştır ve çok katmanlı yapay sinir ağının bir türü özellikle görüntü analizinde kendini kanıtlamış olan "Evrişimli Sinir Ağı" (ESA, CNN) dır (LeCun ve ark., 2015; Ronneberger ve ark., 2015; Erickson ve ark., 2017).

ESA'ların görüntüleri ayırt etmedeki güçlü avantajları sağlık alanında, insan gözü tarafından fark edilmeyen lezyonları tespit ve teşhis etme yeteneği nedeniyle bilgisayar tabanlı teşhis ivme kazanmıştır. Tıpta görüntüye dayalı tanıda, beyin tümörünün segmentasyonu ve akciğer lezyonlarının otomatik olarak tespitinde başarıyla

uygulanmıştır (Wang ve ark., 2017; Blanc-Durand ve ark., 2018). Diş hekimliğinde ise yapılan tanısal performans çalışmalarında, Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (KIBT) görüntülerinden apikal lezyonun, panoramik görüntülerden ameloblastoma ve keratokistik odontojenik tümörlerin, panoramik radyografilerde periodontal kemik kaybının tespitinde ESA kullanılmıştır (Poedjiastoeti ve Suebnukar, 2018; Krois ve ark., 2019; Orhan ve ark., 2020).

Diş hekimliği ve özellikle ortodonti alanındaki uygulamalar daha yeni olmasına rağmen yapay zeka, ortodontik diş çekiminin planlanmasında, yarı dudaklı kişilerde yüz çekiciliğinin değerlendirilmesinde ve servikal vertebral maturasyon evresinin tespit edilmesinde başarıyla uygulanmıştır (Jung ve Kim, 2016; Patcas ve ark., 2019; Amasya ve ark., 2020).

Özellikle ortodontide, hava yolunun 3 boyutlu değerlendirilmesine olanak sağlayan KIBT yaygın olarak kullanılmaktadır (Alsufyani ve ark., 2012). Tomografi görüntülerinden hava yolu hacmini analiz etmek için birçok yazılım bulunmaktadır. Bu manuel veya yarı otomatik özellikli yazılımlarda görüntülerin eşik değerinin seçimi gibi birkaç adım işlenmesi gerekir (Weissheimer ve ark., 2012). Bu işlemler rutin klinik uygulamalar için zahmetli ve zaman alıcıdır.

Bu nedenle, bu çalışma KIBT görüntülerinden faringeal hava yolu hacmini hızlı, kolay ve hatasız hesaplayan bir yapay zeka algoritması geliştirerek hava yolunu otomatik olarak segmente etmeyi amaçlamıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Faringeal Hava Yolu

2.1.1. Faringeal hava yolu anatomisi

Hava yolu veya solunum yolu, ventilasyon sırasında hava akışına izin veren solunum yolunun organlarını tanımlar. Burundan başlayarak trakeaya kadar uzanan; burun, ağız, farinks, larinks, trakea, bronşlar, bronşoller ve alveollerden oluşmaktadır. Üst ve alt hava yolu olarak iki ana bölüme ayrılabilir. Üst hava yolu, nazal ve oral kavileri, farinks ve larinksin bir kısmını içeren lümen şeklinde bir yapıdır.

Farinks, üst hava yolunun kafatasının tabanı ile yemek borusu arasındaki mukoza zarı kaplı kısmıdır. Anterior ve lateralde mandibula, superiorde maksilla, posteriorde servikal vertebralar ile ayrıca dil ve diğer yumuşak dokularla çevrelenmiştir. Kafa kaidesinde 6. servikal vertebraya kadar uzanır, 12-14 cm uzunluktadır. Nazofarinks, orofarinks ve hipofarinks olmak üzere 3 bölüme ayrılır.

Nazofarinks: Aynı zamanda rino-farinks, post-nazal boşluk olarak da bilinen nazofarinks, orofarinksten damakla bölünen nazal konkalardan yumuşak damak seviyesine kadar uzanmaktadır.

Orofarinks: Ağızın hemen arkasındaki kısımdır. Nazo ve hipofarinks birbirine bağlar. Yumuşak damaktan epiglotun ucuna kadar uzanmaktadır. Posterior faringeal duvarın bu kısmı tonsilleri de içermektedir.

Hipofarinks: Farinksin en alt kısmıdır, orofarinks yemek borusuna bağlar. Epiglottisin üst ucundan larinkse kadar uzanmaktadır. Önde larinkse, arkada özofagusu açılır (Gökçe ve ark., 2013; Ball ve ark., 2020).

2.1.2. Faringeal hava yolu boyutlarını etkileyen faktörler

Hava yolunun hayati önemi düşünüldüğünde onu etkileyen faktörlerin ve ortodontinin etkileri araştırmacıların ilgisinde olmuştur. Faringeal hava yolu boyutuna yaşın, obezitenin, cinsiyetin ve postürün etkileri incelenmiştir. Yaşın ilerlemesi ile yumuşak damak uzunluğu ve kalınlığının arttığı, orofarinksin sagittal alanının azaldığı (Johnston ve ark., 1999) ve üst hava yolu boyutlarında azalma görüldüğü belirtilmiştir. Ayrıca obezite ile faringeal alan arasında önemli bir ilişki saptanmış, vücut kitle indeksi artmış bireylerin supin pozisyonda üst hava yollarında kollapsa rastlanmıştır (Martin ve ark., 1997).

Cinsiyetin de faringeal hava yolu morfolojisinde farklılığa sebep olduğu belirtilmiştir. Sınıf III iskelet paternine sahip kadınlarda normal iskelet paternine benzer farinks hacmi görülürken erkeklerde faringeal sagittal alan, uzunluk ve hacim daha fazla bulunmuştur (Bozzini ve ark., 2018). Yapılan başka bir çalışmada kraniyal kaide uzunluğu; nazal fossa uzunluğu ve alt hava yolu kalınlığı ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca nazal fossa, kraniyal kaide ve adenoid dokuların erkeklerde kadınlardan daha geniş olduğu bildirilmiştir (Martin ve ark., 2006).

Kraniyoservikal postür; kraniyofasiyal morfoloji, üst hava yolundaki herhangi bir obstrüksiyon ve maloklüzyonlar ile ilişkilidir. Artmış mandibular düzlem eğimi olanlarda baş postüründe ekstansiyon, servikal kolonda ileri eğimlenme, kraniyoservikal postür açısında artış gözlenir. Anterior kafa kaidesinin posterior kafa kaidesine göre fleksiyonu yüzün rotasyonuna ve aynı zamanda servikal vertebral kolonun ön kısmı ile damağın arka kısmı arasındaki faringeal boşluğun derinliğinde azalmaya neden olur (Graber, 1978).

Yüzün boyutunu ve şeklini belirlemede kalıtım önemli bir işleve sahiptir, ancak kraniyofasiyal kompleksin uyumlu ve dengeli gelişimi için nefes alma alışkanlığı gibi çevresel faktörler çok önemlidir. Nazal obstrüksiyona neden olan adenoid ve tonsil hipertrofisi, polipler, alerjiler, enfeksiyonlar ve burun deformiteleri ağızdan nefes almaya yol açabilir. Bu bağlamda ağızdan nefes alma alışkanlığı bazı dentofasiyal deformitelerle

ilişkilendirilmiştir (McNamara, 1981; Alves ve ark., 2011). Ricketts'e göre artmış ön yüz yüksekliği, dik mandibuler düzlem, daralmış üst ark ve buna bağlı gelişen posterior çapraz kapanış kronik ağız solunumunu işaret edebilmektedir (Ricketts, 1979).

Nazal bir obstrüksiyon ağızdan nefes alma alışkanlığına yol açtığı zaman bu durum dil ve dudak pozisyonunda değişikliklere neden olabileceği gibi mandibulanın aşağı-posterior rotasyonuna ve kondilde posterosuperior yönde büyümeye sebep olarak açık kapanışa neden olabilir. Açık kapanış, baş postürünü ve hyoid kemiğin konumunu da etkilemektedir. Açık kapanış nedeniyle mandibulanın aşağı doğru yer değiştirmesinin hyoid kemiğinin geriye doğru hareket ederek solunum yolunu daralttığı, bunu dengeleyebilmek için başın daha yukarı doğru kalktığı, hyoid kemiğinin de ileri doğru hareket etmesiyle solunum yolu açıklığının korunduğu belirtilmiştir (Mcnamara, 1981; Daly ve ark., 1982; Linder-Aronson ve ark., 1986).

Diğer yandan Linder-Aronson, total nazal hava yolu obstrüksiyonuna sahip olgularda kraniyoservikal ekstansiyonda 5 derecelik artış olduğunu, bu artışla birlikte orofarinkste hava akışının arttığını ancak adenoidektomi işleminden 1 ay sonra bu 5 derecelik kraniyoservikal ekstansiyonda azalma olduğunu ortaya koymuştur (Linder-Aronson,1979).

Çocuklarda obstrüktif uyku apnesi (OSA) prevalansı %1 ila %4'tür (Lumeng ve Chervin, 2008). Çocuklarda tedavi edilmeyen OSA olumsuz kardiyovasküler sonuçlarla ilişkilendirilmiş ve düşük yaşam kalitesine ve kraniyofasiyal gelişimin değişmesine neden olabildiği belirtilmiştir (Baldassari ve ark., 2008). Üst solunum yollarındaki obstrüksiyon, çocuklarda OSA'ya büyük ölçüde katkıda bulunur. Hava yolunu tıkayan tonsil ve adenoid hipertrofisi, pediatrik OSA'nın en önemli anatomik nedeni olarak kabul edilir ve adenotonsillektomi tedavi için ilk seçenektir. Orta ve şiddetli OSA'lı çocukların nazofarinks ve orofarinkste, horlaması olanlara göre önemli ölçüde daha küçük hava yolu hacmine sahip olduğu gösterilmiştir. 3 boyutlu hava yolu analizi için KIBT, OSA'lı çocuklarda üst hava yollarını değerlendirmek için yararlı bir araç olabilir (Alves M ve ark., 2011; Hsu ve ark., 2020).

KIBT ile yapılan çalışmalarda hipertrofik adenoid ve tonsillerin neden olduğu nazal ve/veya orofaringeal obstrüksiyonu olan büyüyen bireylerde adenotonsillektomi sonrası hava yolu hacminin arttığı (Pinheiro ve ark., 2019) ayrıca burun solunumu yapanlarda ağız solunumu yapanlara göre faringeal hava yolu boyutlarının daha büyük olduğu gösterilmiştir (Alves ve ark., 2011).

Araştırmalarda kraniyofasiyal, dentofasiyal ve faringeal hava yolu yapıları sıkça birbirleriyle ilişkilendirilmiştir. Farklı sagittal ve vertikal iskeletsel morfolojiye sahip çocukların üst hava yolu boyutları analiz edildiğinde sagittal yöndeki iskeletsel değişikliklerin üst hava yolunun inferior (palatofaringeal alan, hipofarinks) kısmını, vertikal yöndeki iskeletsel değişikliklerinin ise üst hava yolunun superior (nazofaringeal ve palatofaringeal) kısmını etkilediği bulunmuştur (Zhong ve ark., 2010). İskeletsel yetersizliğin çocuklarda hava yolu obstrüksiyonuna yatkınlık yarattığı, geride konumlanan alt ve üst çenenin hava yolunun ön-arka yönünde daralmaya neden olduğu belirtilmiştir (De Freitas ve ark., 2006).

Grauer ve ark., farklı fasiyal morfolojideki hastaların hava yolu şekli ve hacmindeki farklılıkları KIBT görüntüleri ile değerlendirmişlerdir. Hava yolu iskeletsel Sınıf II bireylerde öne doğru eğimli iken, iskeletsel Sınıf III bireylerde daha vertikal yerleşimde bulunmuştur. Ek olarak çalışmada anteroposterior çene ilişkisi ile hava yolunun inferior komponentinin hacmi arasında ve cinsiyet ile yüzün boyutları arasında anlamlı bir ilişki olduğu gösterilmiştir (Grauer ve ark., 2009).

Büyüme paterninin faringeal hava yoluna etkileri incelendiğinde vertikal büyüme yönüne sahip Sınıf I ve Sınıf II olguların normal büyüme gösteren Sınıf I ve Sınıf II olgulara göre daha dar üst faringeal alana sahip olduğu görülmüştür (De Freitas ve ark., 2006).

El ve Palomo'nun yaptıkları çalışmada farklı dentofasiyal iskeletsel özelliklere sahip hastaların hava yolu hacmi KIBT ile değerlendirilmiştir. Çalışmada kafa kaidesine göre alt çenenin pozisyonunun orofaringeal hava yolu hacmini etkilediği ve Sınıf II

malokluzyona sahip bireylerin orofaringeal ve nazofaringeal hacimleri Sınıf I ve Sınıf III bireylere göre daha az bulunmuştur (El ve Palomo, 2011).

2.1.2.1. Ortodontik uygulamaların faringeal hava yolu hacmine etkileri

Ortodontinin, belirli bir müdahalenin hava yolu boyutları üzerindeki olumlu veya olumsuz etkilerini, değişikliğe sebep olup olmadığını, ne kadar miktarda değişikliğe sebep olduğunu belirlemek için hastaların hava yollarının tedavi öncesi ve sonrası verilerini değerlendirme eğilimi vardır.

Yüz iskelet paternini oluşturan maksilla ve mandibulanın anteroposterior pozisyonu üst hava yolu boyutlarını etkiler. Alt çene gelişim geriliğinden kaynaklanan Sınıf II maloklüzyona sahip hastalarda, erken dönemde kullanılan fonksiyonel apareyler alt çeneyi anteriorda pozisyonlandırarak retrognatik alt çenenin düzeltimini ve Sınıf I iskeletsel ilişkiyi sağlamayı amaçlamaktadır. Isidor ve ark., 20 büyümekte olan iskeletsel Sınıf II hastanın fonksiyonel aparey ile tedavisinden sonra KIBT değerlendirmelerinde orofaringeal hacimde artış bulmuş ve bu da üst hava yolunun toplam hacminde artışa neden olmuştur (Isidor ve ark., 2018).

Mandibuler ilerletme ile hava yolunda meydana gelen değişiklikler yumuşak damağın öne repozisyonuna ve dil kökü ile ilişkili yumuşak damağın lateral duvarının hareketine bağlanmaktadır. Alt çene gelişim geriliği nedeniyle Sınıf II maloklüzyon tedavisinde kullanılan fonksiyonel apareylere benzer oral apareyler, yetişkin OSA hastalarında uyku sırasında üst solunum yolunda kollapsı önlemek amaçlı da uygulanmaktadır. OSA hastalarının kullandıkları bu mandibular ilerletme apareyinin üst hava yolu hacmindeki değişimleri KIBT ile değerlendirildiğinde üst faringeal hava yolu hacmini arttırarak hastaların uyku konforunu yükseltmektedir (Graber, 1978; Shete ve Bhad, 2017).

Herbst apareyinin faringeal hava yolunun 3 boyutu üzerindeki etkisini KIBT kullanarak değerlendiren bir çalışma Herbst grubundaki orofaringeal hava yolu

hacmindeki artışı (5000,2 mm³), kontrol grubundakinden (2451,6 mm³) daha yüksek bulmuştur (Iwasaki ve ark., 2014). Yakın zamanda benzer bir çalışmayı Oliveira ve ark., Herbst apareyi ile tedavi ettikleri büyümekte olan Sınıf II maloklüzyonlu hastaların üst solunum yolu üzerindeki etkilerini yayınlamışlardır. Hastaların tedavi öncesi ve tedaviden yaklaşık 1 yıl sonrası gerçekleştirilen ölçümleri KIBT görüntüleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Herbst ile mandibular ilerletme orofarinksin hacmini önemli ölçüde artırmış, ancak nazofarinkste önemli volumetrik değişiklik gözlenmemiştir (Oliveira ve ark., 2020).

Abdalla ve ark., ortodontik tedavi için bir sabit fonksiyonel aparey kullanıldığında üst hava yolu hacmi ve minimum kesit alanı üzerindeki etkilerini değerlendirmek için KIBT kullanmıştır. Kontrol grubuyla karşılaştırdıklarında çocuklarda üst hava yolu hacminde ve minimum kesit alanında anlamlı bir artış bulunmuştur (Abdalla ve ark., 2020).

Rizk ve ark., büyüyen Sınıf II hastaların orofaringeal hava yolu hacmi, hava yolu boyutları ve anteroposterior hyoid kemik pozisyonu üzerine MARA fonksiyonel aparey tedavisinin etkilerini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Orofaringeal hava yolu hacmi, hava yolu boyutları ve hyoid kemiğin A-P pozisyonu fonksiyonel aparey tedavisi ile önemli ölçüde artmıştır (Rizk ve ark., 2016).

Hänggi ve ark., yaptıkları çalışmada Sınıf II tedavisi için aktivatör-headgear kullanan büyümekte olan hastalarda faringeal hava yolundaki değişiklikleri değerlendirmeyi amaçlamıştır. Üç farklı dönemde yapılan ölçümlerin karşılaştırılması sonucunda; aktivatör-headgear tedavisinin faringeal havayolu boyutlarını arttırmış ve bu artış uzun dönem takipte korunmuştur (Hänggi ve ark., 2008).

Erbaş, Xbow apareyi ile tedavi edilen hastaların üst hava yolu boyutlarında ve hacminde meydana gelen değişiklikleri değerlendirmek amacıyla KIBT'den yararlanmışlardır. 25 iskeletsel Sınıf II hastada Xbow apareyi kullanımının orofaringeal hava yolu boyutlarında ve hacminde artışa sebep olduğunu bildirmişlerdir (Erbaş, 2013).

Çekimli ve çekimsiz sabit ortodontik tedavilerin, dişlerin açıları, yumuşak doku profili, vertikal yüz yükseklikleri, mandibular düzlem açısı üzerine farklı etkileri bulunmaktadır. Erişkinlerde hava yoluna etkisini Pliska ve ark., incelemiştir. Tedavi öncesi ve tedavi sonrası KIBT görüntü analiziyle havayolu hacmine etkilerini karşılaştırmışlardır. Sonuçlar, ortodontik tedavi ile birlikte diş çekiminin yetişkinlerde üst solunum yolu üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Pliska ve ark., 2016).

İskeletsel Sınıf III hastalar, maksiller yetersizlik, maksiller retrüzyon, artmış mandibular büyüme ve mandibular protrüzyon kombinasyonları ile karakterizedir. Klinik olarak konkav bir profile sahip bu hastaların orta yüzleri retrüziv, alt yüzleri protrüzivdir. Üst dental ark genellikle küçüktür ve azalmış veya negatif overjet mevcuttur (Ellis ve McNamara, 1984; Mitani, 2002). Bu hastalarda maksillomandibular iskelet ilişkileri erken yaşlarda çenelik veya maksiller protrakسیون apareyleri gibi ortopedik tedavilerin büyüme modifikasyonu etkisiyle düzeltilir. Maksilla retrüzyonu olan hastalarda maksiller kemik ve maksiller diş kavsi üzerinden protrakte edici bir kuvvet uygulamasına sıklıkla başvurulmaktadır. Adolesan dönemde maksiller protrakسیونun üst hava yolu boyutlarını arttırdığı görülmüştür (Mitani, 2002; Oktay ve Ulukaya, 2008).

Fu ve ark., tedavi edilmiş tek taraflı dudak damak yarıklı hastalarda maksiller protrakسیون tedavisinin faringeal hava yolu hacmindeki değişimlerini değerlendirmek için KIBT'tan faydalanmıştır. Hyrax apareyi ve reverse headgear ile yapılan maksiller protrakسیون tedavisi bu hastalarda hava yolu boyutlarını önemli ölçüde arttırmıştır (Fu ve ark., 2016).

Maksiller ark darlığında veya maksiller genişlik yetersizliğinde hızlı üst çene genişletmesi (RME) maksillayı ve dişleri genişletirken etkileri bununla sınırlı değildir. Maksilla, maksillofasiyal bölgedeki 10 adet kemik ile bağlantılı olduğundan başka yapıları da direkt veya indirekt olarak etkilemektedir. Birçok araştırmacı genişletmenin nazal bölge ve havayollarına olan etkilerini ortaya koymuştur. En belirgin etkiler arasında, median palatal süturdaki ayrılma sonucunda nazal tabanın genişlemesi ve nazal kavitenin lateral duvarlarının da dışa hareketiyle nazal kaviteyi genişletmek, nazal kavite

hacminin artması sayılmaktadır (Halıcıoğlu ve ark., 2010; Baratieri ve ark., 2011; Muştu, 2016).

Erdur ve ark., simetrik RME ve asimetric hızlı maksiller genişletme (ARME) tedavisini takiben KIBT kullanarak faringeal hava yolu ve maksiller sinüs hacimlerini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Her ikisinin de transvers maksiller genişletme tedavisinde etkili olduğu bulunmuştur. Faringeal hava yolu ve maksiller sinüs hacimleri hem RME hem de ARME tedavisi ile artmıştır (Erdur ve ark., 2020).

Muştu'nun, Hyrax ile diş-kemik destekli Hibrit Hyrax genişletme apareylerinin üst hava yolları üzerindeki etkilerini karşılaştırmak amacıyla yaptığı çalışmada KIBT üzerinde ölçümler gerçekleştirmiştir. Çalışmanın sonucunda, kullanılan apareylerle diş ve diş-kemik destekli maksiller genişletmenin üst havayolu boyutlarında belirgin artış meydana gelmiştir (Muştu, 2016).

Aydın maksiller retrognati kaynaklı iskeletsel Sınıf III bireylerin erken dönemde hibrit hızlı üst çene genişletmesi ve mentoplate kombinasyon tedavisinin üst havayollarına etkilerini incelemiştir. KIBT görüntüleri üzerinden tedavi öncesi ve sonrası değerleriyle karşılaştırıldığında bireylerin nazofaringeal havayolu hacminde anlamlı bir artış gözlenirken, orofaringeal havayolu hacminde anlamlı bir değişiklik bulunmamıştır (Aydın, 2019).

Nguyen ve ark., kemik ankrajlı maksiller protraksiyonun Sınıf III hastaların orofaringeal hava yolu hacmi üzerindeki etkisini değerlendirmek için bir araştırma yapmışlardır. KIBT ile yapılan ölçümler tedavi edilmemiş Sınıf III kontrol grubuyla karşılaştırılmış ve tedavi sonunda hava yolu hacminde istatistiksel olarak anlamlı bir artış bulunmuştur (Nguyen ve ark., 2015).

Ortognatik cerrahi operasyonları hyoid kemiğin pozisyonunu, dilin ve damağın konumunu ve faringeal hava yolunu olumlu ya da olumsuz bir şekilde etkileyebilmektedir. Mandibular geriletme cerrahisi, şiddetli mandibular prognatizmi yetişkin hastalar için yaygın bir tedavidir ancak mandibula, dil tabanı ve faringeal duvar, kaslar ve ligamentler tarafından birbirine doğrudan bağlı olduğundan operasyon sonrası

hyoid kemik ve buna bağlı olarak dil tabanının posteriora kayması, yumuşak damak ve dil tabanı arasındaki temas uzunluğunda artışa neden olarak faringeal hava yolu boşluğunu daraltır (Eggensperger ve ark., 2005; Irani ve ark., 2018; Enacar ve ark., 1994).

Irani ve ark., yaptıkları çalışmada KIBT görüntüleri analizlerinden mandibular geriletme ameliyatlarının orofaringeal ve hipofaringeal alanda azalmaya neden olduğunu bildirmiştir. İleri düzeyde mandibular geriletme hareketleri sonrası, obstrüktif uyku apnesi gelişme riskinde artış görülebilir. Mandibular geriletme ameliyatı geçirecek hastaların hava yolundaki değişimler nedeniyle obstrüktif uyku apnesi açısından değerlendirilmesinin faydası olacaktır (Irani ve ark., 2018; Guilleminault ve ark., 1985). Jeong ve ark., Sınıf III hastalarda KIBT ile yaptıkları çalışmada mandibular geriletme cerrahisi sonrası dilin dorsal yüzeyinin superior ve posterior hareketinin, orofaringeal hava yolu boşluğunu azalttığını bildirmiştir (Jeong ve ark., 2018).

İskeletsel Sınıf II malokluzyona sahip hastalarda yapılan mandibular ilerletme operasyonu sonrası faringeal hava yolu boyutunda genel bir artış olduğu ve hyoid kemiğin superiora ve anteriora doğru hareket ettiği bildirilmiştir (Jiang ve ark., 2017).

Bimaksiller ene operasyonu (maksiller ilerletme + mandibular geriletme) sonucu faringeal hava yolu hacminin azaldığını (Becker ve ark., 2012) veya hava yolu kapasitesini korumak için faringeal hava yolunda fizyolojik bir adaptasyon meydana gelerek değişmeden kaldığını bildiren farklı görüşler vardır (Park ve ark., 2012).

Literatürde ortognatik operasyonlar sonrası farklı zaman peiyotlarında hava yolunu değerlendiren çalışmalar mevcuttur. Chen ve ark., tek veya çift çene operasyon geçirmiş Sınıf III ilişkiye sahip hastalarda, faringeal hava yolunun kısa ve uzun dönem değişimlerini incelediğinde tek çene grubunda ameliyattan 6 ve 24 ay sonra faringeal hava yolu boşluğunun orofarinks ve hipofarinks bölgesinde anlamlı bir azalma saptamıştır. Çift ene grubunda 6 ay sonra nazofarinks ve orofarinks bölgesinde artma ve hipofarinks bölgesinde azalma görülürken, 24 ay sonra anlamlı değişiklik görülmemiştir (Chen ve ark., 2007). Becker ve ark., da çift çene operasyonundan 6-12 ay sonra hava yolunun bazı bölgelerinde nks meydana geldiğini saptamıştır (Becker ve ark., 2012). Sonuç olarak, yapılan ortognatik cerrahi operasyonlar sonucunda faringeal hava yolunda

meydana gelen değişikliklerin uzun dönem stabil kalıp kalmayacağı incelenmesi gereken önemli bir husustur. Bunun tespiti için KIBT görüntülerinden yapılan hava yolu hacmi değerlendirmesine sıklıkla başvurulmaktadır.

2.1.3. Hava Yolu Görüntüleme Yöntemleri

2.1.3.1. Lateral sefalometrik görüntüleme

Ortodonti kiliniğinde analizler için rutin uygulanan lateral sefalometri düşük maliyetli ve kolay uygulanan bir yöntemdir. Lateral sefalogramlar, 3 boyutlu bir yapının 2 boyutlu temsilinin doğasında olan hatalardan magnifikasyondan, distorsiyondan kaynaklanan farklılıklar ve kraniyofasiyal yapıların üst üste binmesinden kaynaklı süperpozisyon nedeniyle anatomik noktaların tanımlamadaki zorlukların bir sonucu olarak düşük tekrarlanabilirlik gibi sınırlamalardan muzdariptir (Baumrind ve Frantz, 1971a; 1971b).

Lateral sefalogramların bir diğer önemli dezavantajı ise kesit alanı ve hacim hakkında bilgi eksikliğidir, volumetrik bilgi sağlamazlar. KIBT'ın hava yolu hacmini ölçmede daha doğru olduğu ve 2 boyutlu görüntülemeye meydana gelebilecek distorsiyon veya pozisyon hatalarına eğilimli olmadığı gösterilmiştir (Lenza ve ark., 2010; Aboudara ve ark., 2009; Sears ve ark., 2011).

2.1.3.2. Manyetik rezonans görüntüleme (MRG)

Manyetik rezonans görüntüleme radyasyon yerine radyo dalgaları kullanarak suyun ve yağın yoğunluğundaki tutuluma göre 3 boyutlu görüntü oluşturmaya sağlayan bir tekniktir. Yumuşak doku ve hava yolu değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. BT ile karşılaştırıldığında yumuşak dokuların görüntülenmesinde daha iyi sonuçlar vermektedir. Diş hekimliğinde en yaygın kullanımı temporomandibular eklem rahatsızlıklarının tespitinde, eklem görüntülenmesidir. Ayrıca doğrudan kesitsel görüntü elde edilebilse

de bilgisayarlı tomografi kadar yaygın olmaması ve pahalı oluşu başlıca dezavantajlarıdır (Edwards, 1993).

2.1.3.3. Bilgisayarlı tomografi (BT)

Yumuşak doku ve kemik yapılarının değerlendirilmesinde yüksek çözünürlüğe sahiptir. Böylece orofasiyal yapıların incelenmesine imkan verir. Hava yolu anatomisi hakkında 3 boyutlu bilgi vererek volumetrik görüntüler sayesinde hacim ölçümleri sağlamaktadır (Mozzo ve ark., 1998).

Bu avantajlarına rağmen cihazın fazla yer kaplaması, tarama süresinin uzun olması, yüksek maliyeti ve yüksek radyasyon dozu diş hekimliğinde kullanımını sınırlamaktadır (Scarfe ve Farman, 2008).

2.1.3.4. Konik ışınli bilgisayarlı tomografi (KIBT)

KIBT, diş hekimliğine ilk kez 1998 yılında tanıtılan ve günümüzde yaygın olarak kullanılan 3 boyutlu görüntüleme tekniğidir (Mozzo ve ark., 1998). 2 boyutlu detektör merkezinde bulunan konik şekilli X ışını tüpünden oluşan bu ünitenin tek bir rotasyonu istenilen alanın görüntüsünün elde edilmesini sağlamaktadır (Arai ve ark., 1999).

KIBT, diş hekimliğinin birçok alanında; kraniyofasiyal anomalilerin ve temporomandibuler eklemin incelenmesinde, implant uygulamalarında, periodontal defektlerde, periapikal lezyonlarda, kemik kistlerinde, kök ve maksillofasiyal fraktürlerde teşhis amaçlı kullanılmaktadır (De Vos ve ark., 2009; Scarfe ve Farman, 2008).

İki boyutlu radyograflarla karşılaştırıldığında avantajları şunlardır;

1. Kraniofasiyal ve dental yapıların 3 boyutlu görüntüsünü sağlamaktadır.
2. İstenilen bir açı ve perspektiften en iyi görüşü oluşturmaktadır.
3. Magnifikasyon hatalarını, artifakt ve superimpozisyonları elimine etmektedir.

Fan beam BT ile karşılaştırıldığında avantajları şunlardır;

1. Her hasta için optimum FOV seçilerek X ışını sadece istenilen alanla sınırlandırılabilir. sınırlanabilir.
2. Koronal, axial ve sagittal eksenlerden istenilen boyutta kesitsel görüntü elde edilebilir.
3. Volumetrik veriler X ışını absorbe eden voksel isimli yapılardan oluşmaktadır. Bu voksellerin boyutları görüntünün çözünürlüğünü belirler. Konvansiyonel BT'lerin son üretilen cihazlarında bile 0.35mm olabilen bu boyut, KIBT cihazlarında 0.1mm'ye düşebilmekte, bu şekilde daha yüksek çözünürlük elde edilmektedir.
4. Tarama süresi konvansiyonel BT'ye göre daha azdır, böylece daha az saçılma radyasyonu oluşmaktadır. Ayrıca BT'nin hastaların supin pozisyonda tarama süresinin uzun olması yumuşak doku distorsiyonuna sebep olabilirken KIBT'ın tarama süresi kısa olduğundan hastanın hareketine bağlı oluşabilecek artefaktlar engellenmektedir.
5. Konvansiyonel BT'ler ile karşılaştırıldığında KIBT için gereken efektif doz daha azdır (Silva ve ark., 2008). Ayrıca panoramik, lateral sefalometrik ve periapikal filmler için gereken efektif doz KIBT'a yakın ya da daha yüksek değerlerdedir (Gibbs, S.J., 2000).

2.1.3.4.1. KIBT'ın ortodontide kullanım alanları

KIBT'ın ortodonti alanında gömülü ve ektopik dişlerin değerlendirilmesi, faringeal hava yolunun değerlendirilmesi, mini implant bölgelerinin değerlendirilmesi, kraniyofasiyal anormalliklerin değerlendirilmesi, sinüs anatomisinin veya patolojisinin değerlendirilmesi, kök rezorpsiyonunun değerlendirilmesi, kortikal kemik plakasının

değerlendirilmesi, ortognatik cerrahi planlaması ve değerlendirilmesi, dudak damak yarığına sahip vakalarda defektlerin değerlendirilmesi gibi birçok bilinen endikasyonu vardır (Silva ve ark., 2008; Abdelkarim A, 2019).

2.2. Yapay Zeka

Yapay zeka (YZ); insan zekasına özgü düşünme, anlama, genelleme ve olaylardan çıkarım yapma gibi bilişsel niteliklerin bilgisayarlar tarafından gerçekleştirilmesidir. İlk defa 1950’li yılların başında ortaya çıkan ‘yapay zeka’ terimi, insanların akıllı davranışlarını yapay olarak üretmeyi hedeflemiş, güncel teknolojilerin vazgeçilmez bir parçası olmuştur (Öztemel, 2003).

Günümüze gelindiğinde bilgisayarlar hem olaylar ile ilgili bilgileri toplayıp hakkında kararlar verebilmekte hem de olaylar arasındaki ilişkileri öğrenebilmektedir. Bilgisayarların bu ilişkileri öğrenmeyi gerçekleştirmesi YZ’nin alt dalı olan makine öğrenmesiyle gerçekleşmektedir. Makine öğrenimi teknolojisi, modern topluma birçok yönüyle katkı sağlamakta, web aramalarından sosyal ağlarda içerik filtrelemeye, e-ticaret web sitelerindeki tavsiyelerden kameralar ve akıllı telefonlara kadar birçok üründe giderek daha fazla yer almaktadır. Görüntülerdeki nesnelere tanımlamak, konuşmayı metne dönüştürmek, gönderileri veya ürünleri kullanıcıların ilgi alanlarıyla eşleştirmek ve alakalı arama sonuçlarını tespit etmek için makine öğrenimi sistemleri kullanılmaktadır.

Bu uygulamalar son zamanlarda kullanımı artan derin öğrenme adı verilen bir teknikten yararlanmaktadır. Geleneksel makine öğrenimi tekniklerinin verileri ham hallerinde işleme yetenekleri sınırlıyken derin öğrenme daha fazla veri ve karmaşık yapılardan daha kompleks sonuçlar çıkarabilmektedir (LeCun ve ark, 2015).

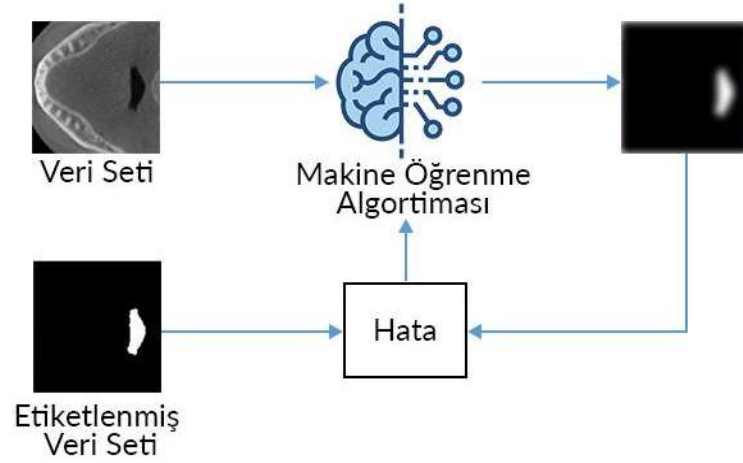
Görüntü tanıma (Tompson ve ark., 2014) ve konuşma anlamada (Hinton ve ark., 2012), potansiyel ilaç moleküllerinin aktivitesini tahmin etmede (Ma ve ark., 2015), beyin

devrelerini yeniden yapılandırmada (Helmstaedter ve ark., 2013) ayrıca DNA'daki mutasyonların gen ekspresyonu ve hastalık üzerindeki etkilerini tahmin etmede (Xiong ve ark., 2015) diğer makine öğrenme tekniklerini geride bırakmıştır.

2.2.1. Makine öğrenmesi

Makine öğrenmesinde bilgisayarlar, bir problem hakkındaki bilgileri veri kümesinden toplayarak genelleme yapmakta, yeni benzer bir olay için tahminde bulunup karar verebilmektedir. Bu işlemleri açıkça programlamadan algoritmalar yardımıyla yapmaktadır. Makine öğrenmesi algoritmaları problem ile ilgili geçmiş sonuçlara dayanarak çıkarımlar yapar, uygulama sonuçlarındaki hatalar algoritmaya bildirilerek davranışların iyileştirilmesi sağlanır (Öztemel, 2003).

Makine öğrenmesi eğitim tarzlarına göre sınıflandırılabilir; denetimli öğrenme, yarı denetimli öğrenme ve denetimsiz öğrenme (Flach P., 2012). Denetimli öğrenmede, ağa problem ve problemin çözümü olan etiketli veriler uygulanmaktadır. Etiketlenmiş veri seti ağ çıkışında modelin ürettiği çıktı ile karşılaştırılır. Olması gereken değerler ile çıktı değerleri arasındaki farka göre algoritma nerede hata yaptığını öğrenir ve ağırlık parametrelerini günceller. Sınıflandırma yöntemlerinin birçoğu denetimli öğrenme grubuna girmektedir. Makina öğrenme algoritmamızın denetimli öğrenme şeması Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Denetimli öğrenme şeması

Yarı denetimli öğrenme adı verilen hibrit yaklaşım, genellikle az sayıda etiketli veri örneği ile birleştirilmiş büyük miktarda etiketlenmemiş verilerden oluşur.

Denetimsiz öğrenme tekniğinde öğrenmeye yardımcı bir etiketlenmiş veri yoktur. Ağa eğitim sırasında sadece eğitim verileri uygulanır. Ağ bu verilere göre parametreler arasındaki ilişkileri kendi kendine öğrenir ve çıktı üretir (Kingma ve ark., 2014; Flach P., 2012; Chartrand ve ark., 2017).

2.2.1.1. Derin öğrenme

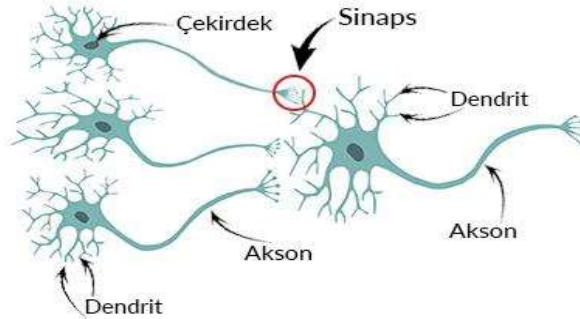
Derin öğrenme, çok sayıda ara (gizli) katman içeren yapay sinir ağı mimarisidir. Derin yapay sinir ağı terimindeki derin kelimesi, birden çok ara katmana sahip bir ağı ifade eder. Bu da derin öğrenmenin temelini oluşturur. İlk katmanda, girdiye göre basit kararlar, ilk katmanda alınan kararlara dayanarak ikinci katmanda karmaşık kararlar verilir. Ağın derinliğine inildiğinde katmanların hiyerarşisini temsil eder şekilde gittikçe karmaşıklaşan özelliklerin çıkarımı gerçekleşir ve daha kompleks ve soyut kararlar ortaya çıkar. Bu tekniğin en büyük avantajı, direk olarak ham veriden özelliklerin çıkarılması ve

çıkarılan özelliklere göre sınıflandırma algoritmasının otomatik olarak kendini eğitmesidir (LeCun, 2015).

Derin öğrenme modellerini yeterince eğitmek için uygun veri kümesi boyutu değişkendir. Görevin niteliğine ve karmaşıklığına bağlı olarak değişir. Genel bir kural olarak, “daha derin” olarak nitelendirilen daha fazla katmanlı ve daha fazla eğitilen ağın performansı doğru orantılı olarak daha yüksek olur (Chartrand ve ark., 2017). Bu nedenle, derin öğrenme ağları büyük miktarda eğitim verisine ihtiyaç duyar. Diğer bir çözüm de “veri artırma” olarak adlandırılan, eğitim verisinin sayısını bazı değişkenler ekleyerek artırma yöntemidir. Böylece model, eğitim döngüsü sırasında setteki eğitim verilerinden aynı girdileri görmez ve ezberlemez (Chartrand ve ark., 2017; Krizhevsky ve ark., 2017).

2.2.1.1.1. Yapay sinir ağları

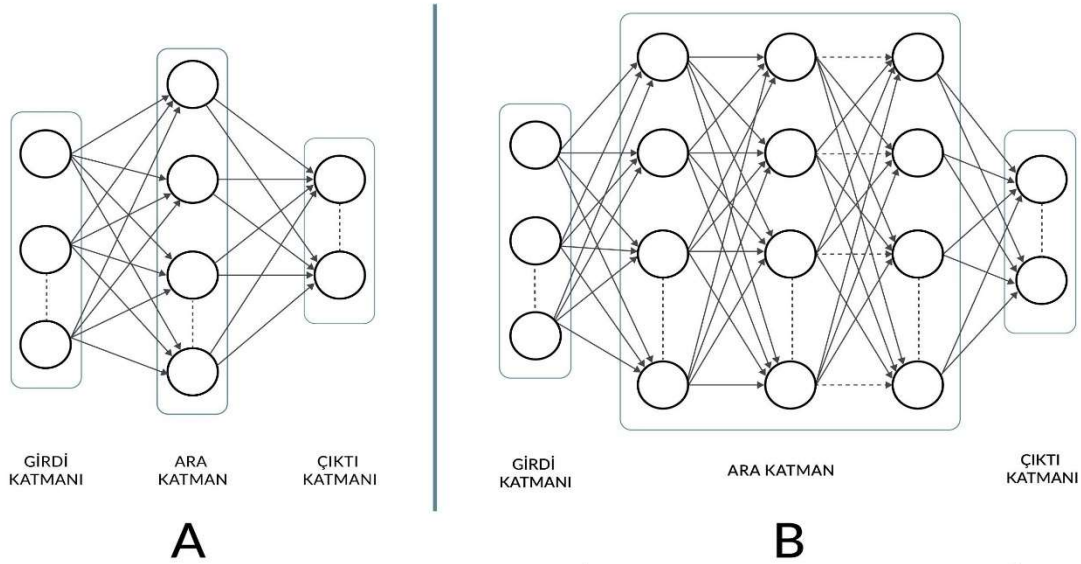
Yapay sinir ağları, biyolojik sinir ağlarını taklit eden bilgisayar programlarıdır. Sinir hücresi birimi nöronlar, sinapslar vasıtasıyla birbirleri ile iletişim kurarak bilgi transferini sağlarlar. Nöronların işlediği bilgi dendritlerden alınır, aksonlardan diğer hücelere gönderilir (Şekil 2). Tıpkı insan beyninde bulunan biyolojik nöronlar ve bunları birbirine bağlayan aksonlar gibi yapay sinir ağı mimarisinde de nöronlar ve benzer yapılar bulunmaktadır (Öztemel, 2003).



Şekil 2. Biyolojik sinir hücresi (nöron)

Sinir ağı yapısı oluşurken hücreler birbirine paralel katmanlar halinde dizilirler. Yapay sinir ağları giriş katmanı, ara katman(lar) ve çıktı katmanından oluşur. Giriş katmanı girdinin verildiği ve ara katmanlara iletiildiği yerdir. Ara katmanlar bilgilerin işlenip kararların verilerek çıktı katmanına gönderildiği katmandır. Bir yapay sinir ağında bir veya birden fazla ara katman olabilir (Şekil 3). Çıktı katmanı ise ara katmandan gelen bilgileri işleyerek ağın çıktısının üretildiği yerdir (Öztemel, 2003).

Yapay sinir ağlarının, girdi vektörlerini, çıktı vektörlerine nasıl dönüştürdüğü bilinmemektedir. Karmaşıklıkları ve özellik öğrenme kabiliyetleri nedeniyle bu sinir ağlarının çalışma şekli “kara kutu” olarak nitelendirilmektedir (Chartrand ve ark., 2017).



Şekil 3. Yapay sinir ağı mimarisi, (A) Tek gizli katmanlı (B) Çok gizli katmanlı sinir ağı yapısı

2.2.1.1.1.1. Yapay sinir ağlarının eğitilmesi ve test edilmesi

Ağın eğitimi için veri setinden “eğitim seti” (train set) olarak ayrılan veriler kullanılır. Oluşturulan modelin eğitim setinin üzerinden bir kez geçmesine “döngü” (epoch) denir. Uygun döngü sayısının seçilmesi ağın performansını etkiler ve gereğinden az veya çok seçilmesi ağın performansını düşürür. Döngü sayısı eğitimin süresini de etkiler (Chartrand ve ark., 2017).

Yapay sinir ağının eğitilmesi, nöronlar arasındaki ağırlık değerlerinin değişerek ağın doğru çıktıyı üretmesi yani doğru tahmin yapabilmesidir. Ağırlık değerleri, her bir özelliğin problemin çözümüne katkısını tanımlayan parametrelerdir. Başlangıçta rastgele atanan bu ağırlıklar, doğru çıktıyı bulmak için eğitim sırasında birçok kez değişir (Chartrand ve ark., 2017; Erickson ve ark., 2017).

Eğitim sırasında ağın tahmini çıktı ile etiketli veri arasındaki farkı temsil etmek için bir hata değeri hesaplanır. Hata değerine göre ağırlık değerleri güncellenerek ağın doğru çıktıyı üretmesi sağlanır. Eğitim işleminin en önemli aşamasını oluşturan güncelleme işlemi sırasında, çıkış katmanından geriye doğru yayılarak her katmandaki ağırlık değerleri değişir. Bu işlemler her döngünün içinde birçok defa gerçekleşir ve maksimum döngü sayısı veya minimum hata değerinden birine ulaşıldığında eğitim işlemi sonlandırılır (LeCun ve ark., 2015).

Eğitim işleminin tamamlanmasından sonra, ağın performans tespiti için ağ test edilir. Ağı test etmek için ağa eğitim sırasında gösterilmeyen, veri setinden test amaçlı olarak ayrılan örnekler kullanılır. Bu veri setine “test seti” (test set) adı verilir. Test işleminde ağın ağırlık değerleri değiştirilmez. Burada elde edilen çıktıların doğruluk dereceleri ağın performansını belirler. Eğitim ve test setinin yanında, eğitim sırasında parametreler değiştikçe modelin performansını izlemek için “doğrulama seti” (validation set) kullanılır. Bu veri seti, ağın her döngüde ne kadar öğrendiğini test eder (Erickson ve ark., 2017).

Ağ öğrenirken sıkça karşılaşılan sorunların biri aşırı uyumdur (ezberleme, overfitting). Aşırı uyum, modelin eğitim verilerine aşırı uyum göstererek genelleme yeteneğini kaybetmesidir. Model, gürültü dahil eğitim verilerini o kadar çok öğrenmiştir ki sonraki veri setinde temeldeki genel bilgileri yakalayamamıştır (Erickson ve ark., 2017).

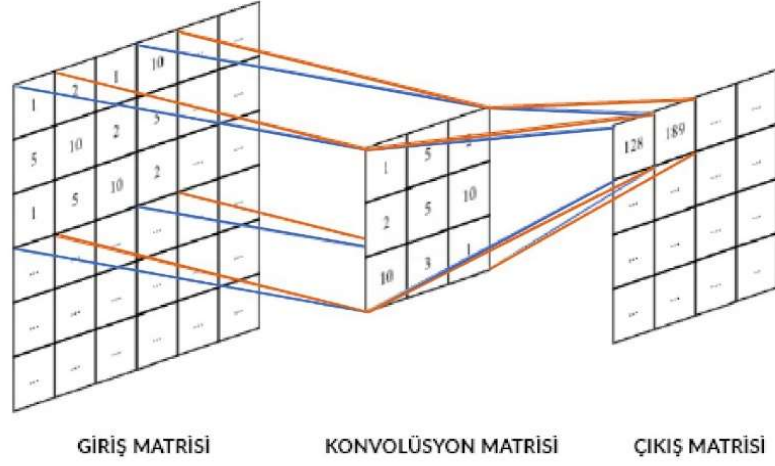
2.2.1.1.2. Evrişimli Sinir Ağı (ESA)

Evrişimli Sinir Ağı (ESA) görüntü işleme problemlerinin çözümü için önerilmiş ve görüntülere oldukça fazla uyum sağlayan bir derin öğrenme algoritmasıdır. Resim, fotoğraf, video gibi görsellerden nesne tanıma, tespit etme ve yüksek doğrulukla sınıflandırma kabiliyetine sahiptir. Birçok alanda ve sağlık alanındaki tıbbi görüntü analizinde başarıyla uygulanmaktadır. Diğer sinir ağlarından farklı olarak konvolüsyon (evrişim) katmanı kullanarak özellik çıkarma ve sınıflandırma işlemlerini yapar (Şekil 4). Klasik teknikler, görüntü içerisinde nesneyi ararken nesnenin yerini önemserler ve nesnenin bütünüyle orada olması gerekir. Bu problem ESA mimarisiyle aşılmıştır. Konvolüsyon işlemiyle filtrenin görüntü üzerinde kaydırılması sayesinde nesne görüntünün neresinde olursa olsun tespit edilmektedir. Ayrıca nesnenin sadece bir bölümü olsa bile tespit edebilmektedir (Ronneberger ve ark., 2015; Krizhevsky ve ark., 2017).



Şekil 4. Evrişimli sinir ağı mimarisi örneği

Konvolüsyon katmanı ESA mimarisinin temelini oluşturan en önemli katmandır (Şekil 5). Katman aracılığıyla uygulanan konvolüsyon işlemi, bir filtrenin tüm görüntü üzerinde kaydırılarak dolaştırılmasıdır. Filtreler, bir önceki katmandan gelen görüntülere bu işlemi uygulayarak çıkış matrislerini oluştururlar. Oluşturulan bu matrislere özellik haritaları ismi verilmektedir, Bu haritalar her bir filtreye özgü özelliklerin keşfedildiği bölgelerdir. Normalde yapay sinir ağlarında bir önceki katman ile sonraki katman arasında tüm nöronlar birbirine bağlanmaktadır. Fakat konvolüsyon işlemiyle filtrenin görüntü üzerinde kaydırılması ile sonraki matris boyutlarını küçülterek bu bağlantıların sayısını oldukça azaltır. Böylece ağ parametreleri olması gerekenden çok daha azalır. Eğitim parametresinin az olması eğitim işlemi hızlandırırken ezberleme problemini de ortadan kaldırır (LeCun, 1990; 2015; Krizhevsky ve ark., 2017).



Şekil 5. Konvolüsyon matrisi

2.2.1.2. Semantik (Anlamsal) segmentasyon

Evrişimli sinir ağlarının tipik kullanımı bir görüntü çıktısının tek bir sınıf etiketi olan sınıflandırmadır. Nesne sınıflandırma algoritmalarının ürettikleri sonuçlarda sadece nesnenin olup olmadığı bilgisi üretilmektedir. Çıktı herhangi bir lokasyon bilgisi içermemektedir (Krizhevsky ve ark., 2017).

Bununla birlikte birçok görsel görevde, özellikle biyomedikal görüntü işlemede çıktı lokalizasyonu içermelidir, yani her piksele bir sınıf etiketi atanması gerekmektedir. Görüntü segmentasyonu, bir görüntünün piksel bazlı sınıflandırılmasıdır. Bu işlem sırasında her piksele sahip olduğu özelliklere göre bir sınıf etiketi atanmaktadır. Long ve arkadaşları, 2015 yılında semantik segmentasyon için ESA tabanlı FCN'i tanıtmış bu çalışmadan sonra görüntü işleme çalışmalarının seyri değişmiştir. Bu ağ, piksel bazlı segmentasyon için tasarlanmış ve eğitilmiştir. Semantik segmentasyon işleminde benzer özelliklere sahip olan nesne veya bölgeler aynı etiket değeri ile etiketlenmektedir. Her pikselin komşulukları ve özellikleri incelenip daha önce bu özelliklere yakın bir piksel

grubuna bir etiket atandıysa bu yeni piksele aynı etiket atanmaktadır. Böylece çıktıda nesnenin bilgisiyle beraber yeri de tespit edilmektedir (Long ve ark., 2015).

2.2.1.2.1. U-Net mimarisi

Ronneberger ve arkadaşları tarafından 2015 yılında medikal görüntülerde daha iyi bir segmentasyon için önerilen U-Net, bir tür evrişimli sinir ağı yaklaşımıdır. Adını katmanların sıralandığı U şekline benzer mimarisinden almaktadır. Ağın ilk kısmı genellikle kodlayıcı, ikinci kısmı ise kod çözücü olarak adlandırılır. Yapının ilk kısmında konvolüsyon katmanları görüntüden özellik çıkarmakta, görüntü boyutları yavaşça küçülmektedir. Bu kısımda görüntünün özellikleri öğrenilmekte ve görüntü içerisindeki nesnelerin sahip olduğu özellikler belirlenmektedir. Yapının ikinci kısmında ise dekonvolüsyon ve konvolüsyon katmanları kullanılmıştır. İlk yarısının aynası gibi görüntü boyutları yavaşça artmaktadır. Böylece görüntünün yapısı orijinal boyutlarına taşınmaktadır. U-Net semantik segmentasyon problemlerinde, mimarisindeki temel özellikleri son katmanlara kadar aktaran yapısından dolayı günümüzde oldukça popülerdir (Ronneberger ve ark., 2015).

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Araştırmanın örnekleme 306 hasta görüntüsünden (retrospektif - KIBT) oluşmaktadır

Çalışmada, 2012-2018 yılları arasında Yakın Doğu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi'ne başvuran hastalardan paranasal sinüs enfeksiyonları, ortodontik planlama, gömülü yirmi yaş dişi cerrahisi, dental implant öncesi değerlendirme, ortognatik cerrahi öncesi planlama ve obstrüktif uyku apnesi sendromu gibi çeşitli sebeplerle alınan görüntüler kullanılmıştır.

Etik Kurul Onayı

Bu çalışma Yakın Doğu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Değerlendirme Etik Kurulu tarafından 30.07.2020 tarih ve 81-1140 sayılı kararı ile onaylanmıştır (EK 1).

Araştırma protokolü *Helsinki Bildirgesi*'ndeki tüm düzenleme ve revizyonları içerecek şekilde prensiplere uygun olarak yapılmıştır. Hastalar veya yasal vasileri çekim öncesi bilgilendirilmiş ve yazılı onamları alınmıştır.

3.1. Veri Setinin Oluşturulması

Araştırmadaki örneklem grubu verilerden rastgele oluşturulmuştur. Faringeal hava yolunun görüntü alanı içerisinde bulunduğu, baş boyun bölgesinden travma veya kazaya uğramamış, incelenecek bölgelerde herhangi bir tümöral oluşum bulunmayan ve cerrahi operasyon geçirmemiş hastalar çalışmaya dahil edilmiştir.

İstenilen bölgelerin görüntü alanı içerisinde olmadığı, büyük iskelet asimetrisi olan, yarı dudak-damak hastaları, çekim sırasında hasta veya cihaz nedenli hataların bulunduğu görüntüler çalışma dışında bırakılmıştır.

3.1.1. KIBT ile görüntülerin elde edilmesi

KIBT görüntüleri bir NewTom 3G (Quantitative Radiology s.r.l., Verona, İtalya) cihazı kullanılarak elde edilmiştir. Cihaz, radyasyon dozunu hastanın yaşına ve boyuna göre otomatik olarak yapmaktadır. Tüm görüntüler 120 kVp ve 3-5 mA, 12 inç (13,48 cm) görüntüleme alanında, 0,3 mm aksiyal kesit kalınlığı olan izotropik voksellerde kaydedilmiştir.

KIBT görüntüleri, çalışmanın yürütüldüğü klinikte kullanılan standart tarama protokolüne göre elde edilmiştir. Hasta supin pozisyonda, özel hazırlanmış baş bantları ve çeneliklerle stabilize edilmiş halde ve Frankfurt horizontal düzlemi yere dik olacak şekilde yerleştirilmiştir. Hastaya çekim esnasında (36 sn boyunca) yutkunmaması, dişlerini açmaması ve hareketsiz durmaları için talimat verilerek çekim yapılmıştır.

NewTom 3G sisteminde bulunan ham görüntüler 512×512 matriks DICOM formatında kaydedilerek dışarı aktarılmıştır. Her bir görüntü numaralandırılarak anonimleştirilmiştir.

3.1.2. KIBT görüntülerinden hava yolunun ölçülmesi

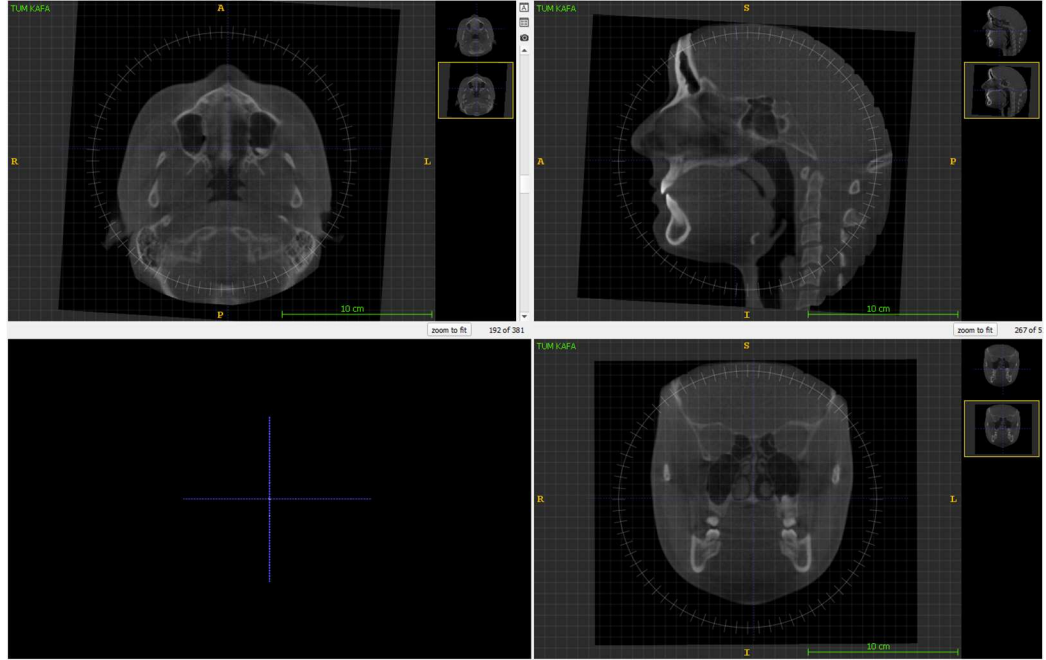
Faringeal hava yolunun segmentasyonu için özgür ve açık kaynak kodlu ITK-SNAP 3.8 yazılımı (www.itksnap.org) kullanılmıştır. ITK-SNAP yazılımı, iyi segmentasyon hassasiyeti göstermektedir. Ayrıca segmentasyon 2 boyutlu dilimlerde kontrol edilebilmekte ve segmentasyonu düzeltmek için araçlar içermektedir. Diğer görüntüleme yazılımlarıyla uyumlu eşik aralığı birimlerine sahiptir (Weissheimer ve ark., 2012).

Akış şeması;

1. Görüntülerin oryante edilmesi,
2. Hava yolu sınırlarının belirlenmesi,
3. Hava yolunun segmente edilmesi,

4. Yapay zekanın görüntüleri ön işleme,
5. Görüntülerin hava yolu ve arka plan olarak sınıflandırılması,
6. Hava yolunun hacimsel görüntüsünün oluşturulması.

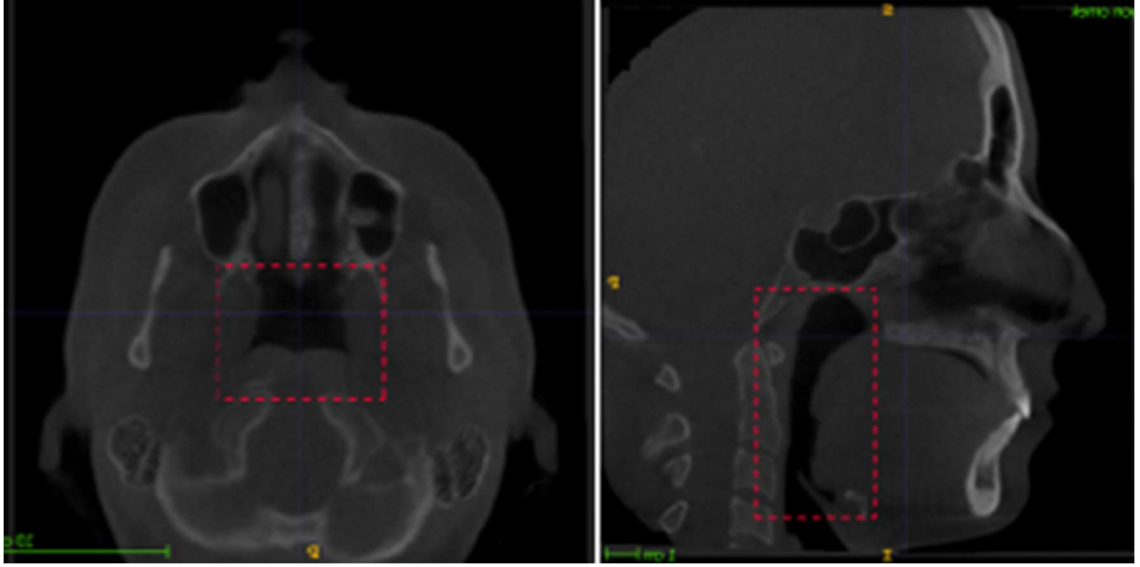
Yazılıma aktarılan KIBT görüntüleri; Şekil 6’da gösterildiği gibi koronal kesitte midsagittal düzlem kafanın orta hattında ve her iki infraorbital forameninden geçen çizgi yere paralel, sagittal kesitte Anterior Nasal Spina (ANS) ve Posterior Nasal Spina’yı (PNS) birleştiren çizgi doğrusal, aksiyal kesitte ANS-PNS doğrusu yere dik olacak şekilde oryante edilmiştir.



Şekil 6. Görüntülerin oryante edilmesi

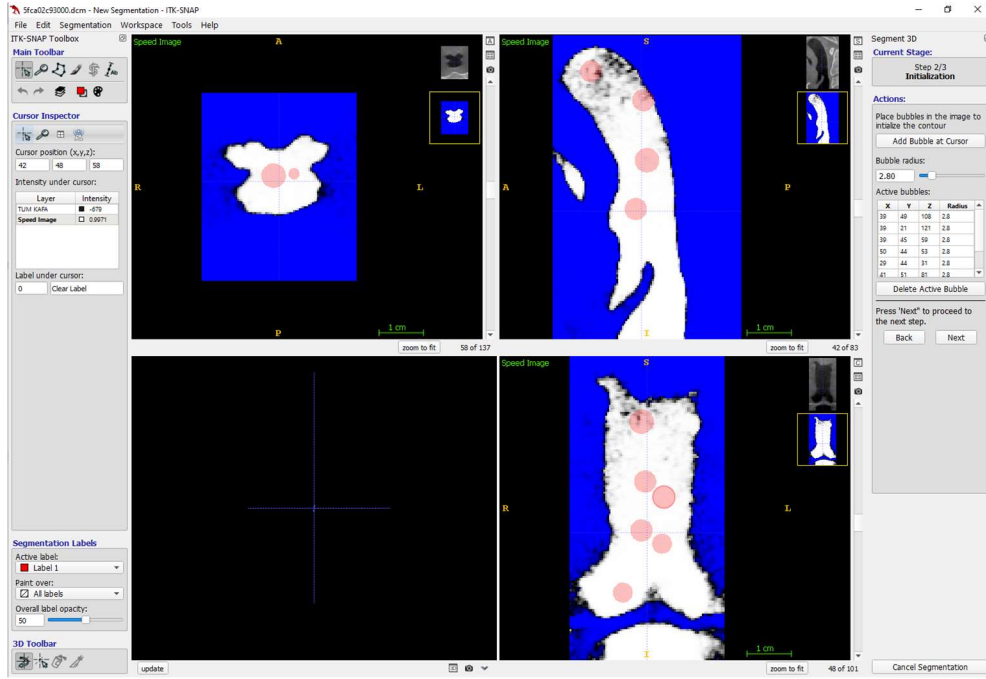
Oryantasyonu takiben faringeal hava yolunun sınırları daha önce yapılan çalışmalar göz önünde bulundurularak belirlenmiştir (Hong ve ark., 2011). Faringeal hava yolu sınırları; üst sınır, aksiyal kesitte nazal septumun farinks arka duvarı ile birleştiği noktanın sagittal kesitteki ön sınırla uyumlu nazofarinksin en yüksek noktası, alt sınır, epiglottis’in

tabanından yere paralel çizilen düzlem, ön sınır farinksin en üst noktası ile sagittal düzleme dik, PNS'den geçen düzlem, arka sınır ise farinksin arka duvarı olacak şekilde Şekil 7'de gösterildiği gibi 'snake tool' sekmesi ile kırmızı kutular içerisinde belirlenmiştir.



Şekil 7. Hava yolu sınırlarının belirlenmesi

Segmentasyon işlemini gerçekleştirmek için "Segment 3D" butonu aktive edilir, hava yolunu izole etmek için "Lower Threshold" ve "Upper Threshold" değerleri belirlenir ve "Next" e basılarak ilerlenir. "Add Bubble at Cursor" sekmesi kullanılarak baloncuklar (çekirdek noktalar) eklenir (Şekil 8). "Next" e basılarak ilerlenir, "Run" a basılarak segmentasyon başlatılır. "Finish" e basılarak 3 boyutlu yapı oluşturulmuş olur. Oluşturulan hava yolunu görmek için "Update" butonuna basılır.

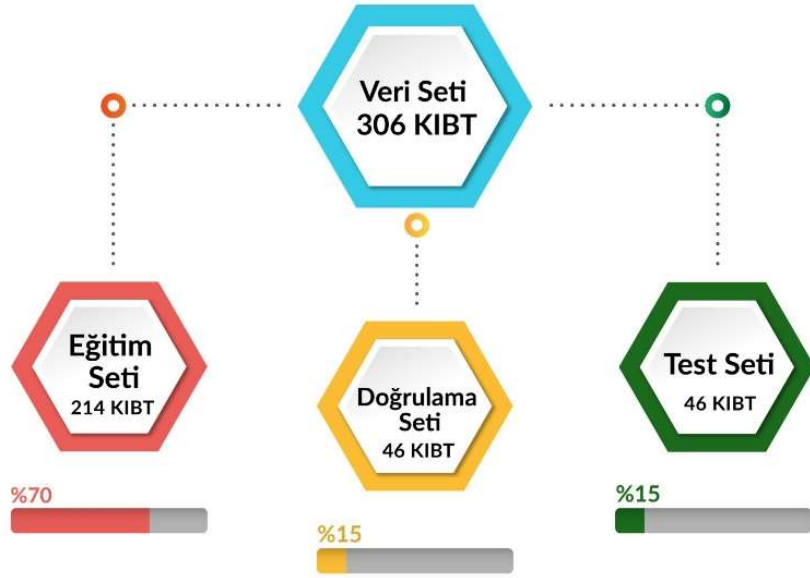


Şekil 8. İzole edilen hava yoluna baloncukların eklenmesi

Hava yolunu izole etmek için alt eşik değeri yazılımdaki en düşük değere getirilmiş (gri skalada Hounsfield Unit (HU) değerine göre -1000 havayı tanımlamasından dolayı Mah ve ark., 2010)), üst eşik değeri hava yolu sınırlarının en net görüldüğü yerde bırakılmıştır. Böylece hava yolu çevre dokulardan ayrılmıştır. Her üç kesitte görüntülerin içine baloncuklar doldurulmasının ardından progra tarafından otomatik olarak boyanmıştır. Hava yolunun 3 boyutlu görüntüsü oluşturulmuş ve hacmi program tarafından otomatik olarak hesaplanmıştır.

Segmente edilen faringeal hava yolları temel gerçek görüntü (uzman gözlemci tarafından oluşturulan segmentasyon ground truth veya temel gerçek olarak tanımlanmaktadır) olarak kullanılmak üzere ayrı bir DICOM görüntüsü olarak kaydedilmiştir.

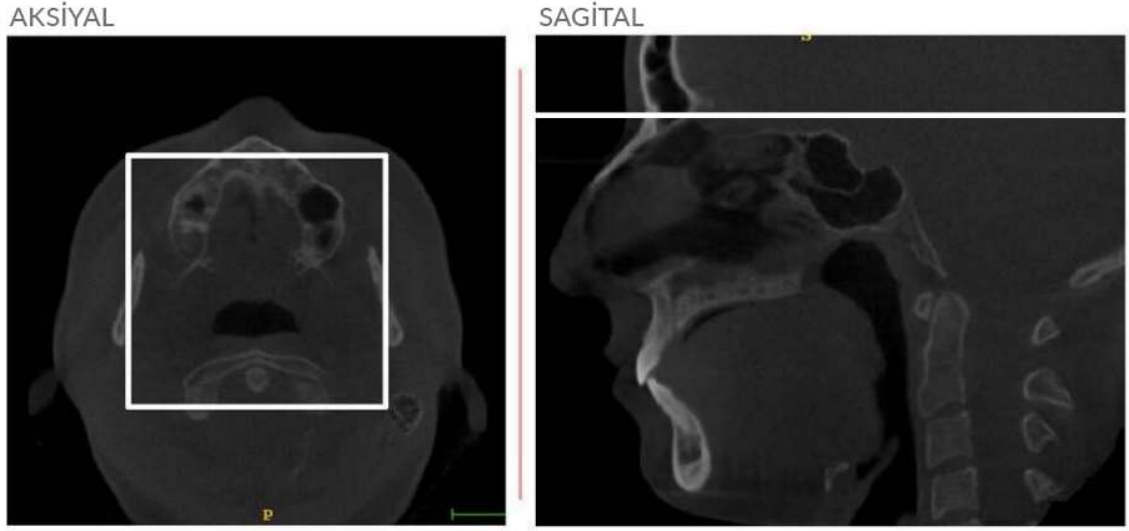
Toplamda 306 KIBT görüntüsünden oluşan veri seti rastgele %70 eğitim, %15 doğrulama ve %15 test seti olarak bölünmüştür. Nihayetinde eğitim seti 214, doğrulama seti 46 ve test seti 46 görüntü içermiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Veri setinin dağılım şeması

3.1.3. Ön işleme

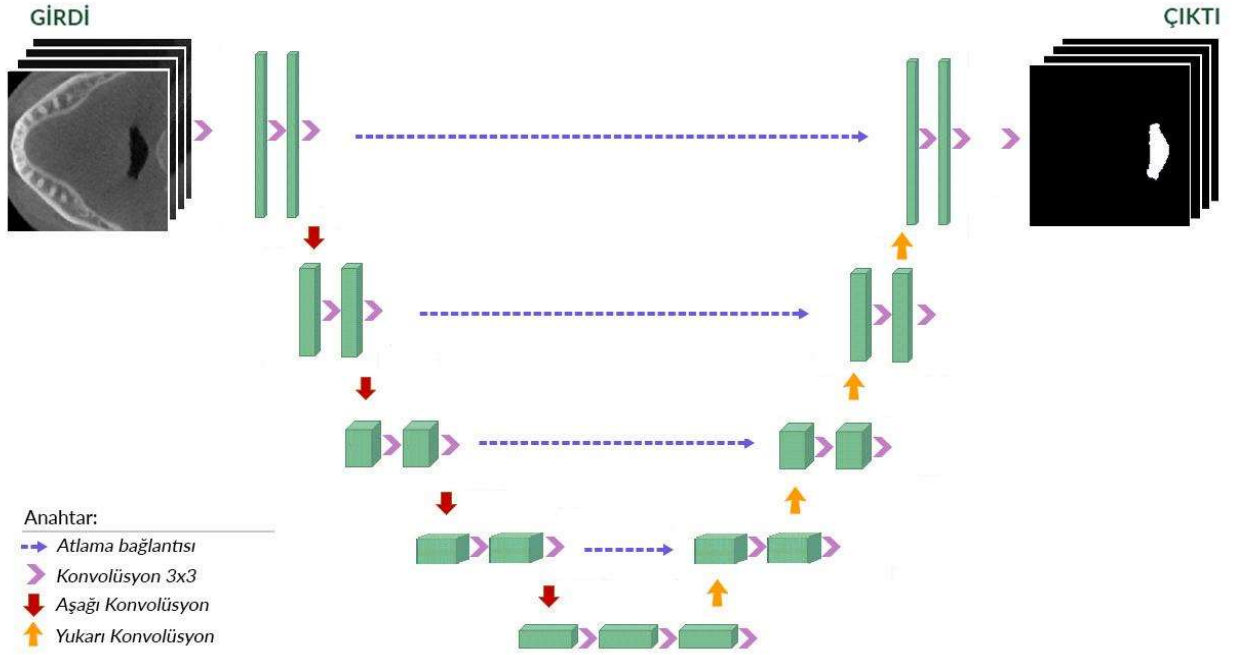
Donanımdan kaynaklı hesaplama kısıtlamaları nedeniyle tomografi görüntülerinin yapısında bazı değişiklikler yapılmıştır. Görüntülerin hava yolunu içermeyen kısımlarının bir bölümü kesilmiştir. Sagittal kesitte görüntünün kafatasına karşılık gelen üst %15'lik kısmı kesilmiştir. Ayrıca aksiyal kesitte görüntünün ortası merkez alınarak 256×256 piksellik kare oluşturacak şekilde %50'si kesilmiştir (Şekil 10). Daha sonra her bir aksiyal dilim dörde bölünerek 128×128 piksellik parçalara ayrılmıştır. Bu işlemlerin her bir KIBT görüntüsüne uygulanmasının ardından toplamda 128×128 piksellik 256.000 resimden oluşan veri seti elde edilmiştir.



Şekil 10. Resimlerin kesilmesi

3.1.4. Semantik segmentasyon

Makine öğrenmesi açısından ifade edildiğinde bu çalışmanın amacı segmentasyondur. Semantik segmentasyon ise bir görüntüdeki her bir pikselin bir etiketle sınıflandırma işlemidir. Bu çalışmada algoritma her pikseli hava yolu veya arka plan olarak sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırma için derin öğrenme yaklaşımı olan U-Net mimarisi kullanılmıştır (Şekil 11).



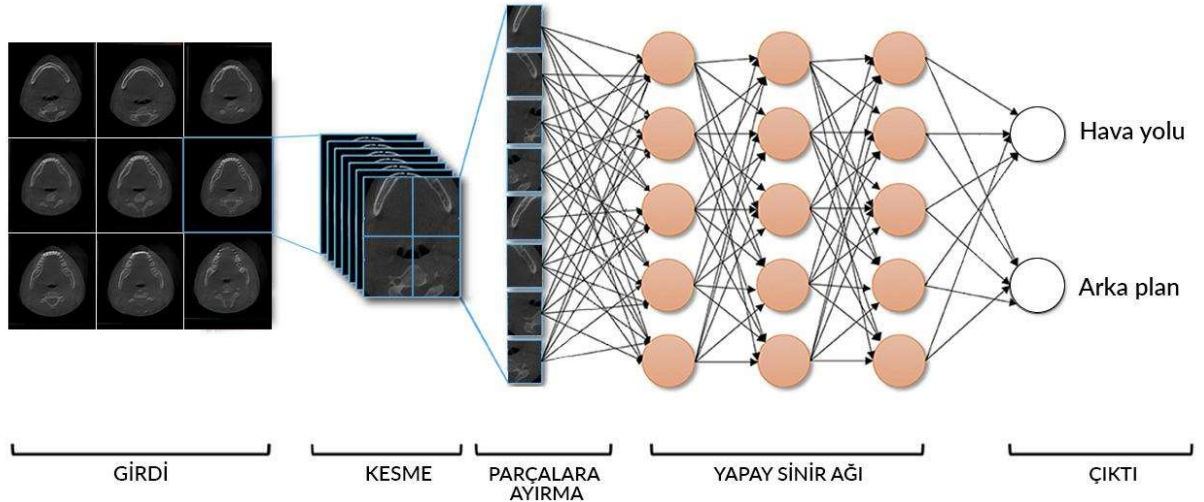
Şekil 11. Modelin U-Net mimarisi

3.2. Uygulama

Bu çalışmanın algoritması MATLAB programlama dili kullanılarak uygulanmıştır. Tüm eğitim ve test işlemleri için NVIDIA® GeForce® RTX 2080 Ti GPU kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında uygulanan semantik segmentasyon işlemi için derin öğrenme mimarisinden yararlanılmıştır. Otomatik özellik çıkarımı ve sınıflandırma için ise görüntü işleme problemleri için en uygun mimari olan ESA tabanlı U-Net kullanılmıştır. Çalışma mantığı temel olarak denetimli sınıflandırıcılar ile aynıdır. İlk olarak, ağ eğitim seti ile eğitilmiştir. Eğitim aşamasında hangi özelliklerin hangi sınıflara ait olduğu öğrenilmektedir. Her piksel iki sınıftan birine ait olabilir. Bu sınıflar hava yolu veya görüntüdeki hava yolu içermeyen her yer olan arka plandır (Şekil 12). Çalışmada kullanılan KIBT görüntülerinin hepsi hava yolunu içermektedir. Veri setindeki görüntüler

ön işleme adımından sonra eğitim, test ve doğrulama gruplarına ayrılmıştır. Eğitim sırasında algoritmanın hava yolunu öğrenmesi için elle segmente edilen etiketlenmiş görüntüler kullanılmıştır. Girdi olarak verilen eğitim seti verilerine çıktı olarak etiketli veriler verilerek ağı eğitilmesi sağlanmıştır. Eğitim için resimler 32 resimden oluşan mini gruplar halinde ağı verilmiştir. Öğrenme hızı 0.0001 uygulanmıştır. Eğitim sürecinde parametreler değişirken modelin performansını izlemek için doğrulama veri seti kullanılmıştır. Eğitim, parametreler sabitlendiğinde aşırı uyumdan kaçınmak amacıyla 10 döngü tamamlandığında sonlandırılmıştır (Şekil 13). Eğitim tamamlandığında modelin performansı, atanan sınıfların doğruluğu ağı daha önce hiç gösterilmeyen test seti ile test edilmiştir.



Şekil 12. Algoritmanın çalışma şeması

3.3. İstatistiksel Analiz

Tüm hava yolu ölçümleri aynı gözlemci (Ç.S.) tarafından gerçekleştirilmiş ve iki hafta sonra tekrarlanmıştır. Aynı veriler gözlemciler arası uyumun değerlendirilmesi için başka bir gözlemci tarafından (S.A.) da ölçülmüştür. Çalışmadaki istatistiksel analizler SPSS 23.0 (SPSS 23.0 Statistics Software Package, IBM Inc., Chicago, IL, USA) programı ile yapılmıştır.

Gözlemcinin birinci ve ikinci ölçümleri arasındaki, gözlemcilerin ölçümleri arasındaki ve ayrıca gözlemci (insan) ve YZ ölçümleri arasındaki gözlemci içi değişkenliğin güvenilirliğini tespit etmek için 0,05 anlamlılık düzeyinde bir Sınıf İçi Korelasyon Katsayısı (ICC) (%95 güven aralığı) kullanılmıştır.

Güvenilirlik katsayısı ICC değerine göre derecelendirilmiş ve 0,9'un üzerinde olduğunda mükemmel, 0,9 ile 0,76 arasında iyi, 0,75 ile 0,5 arasında orta ve 0,5'in altında olduğunda zayıf olarak değerlendirilmiştir (Koo ve Li, 2016).

Çalışmanın gücü, deneysel güç analizi yöntemi ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar, faringeal hava yollarının tespiti için %90 istatistiksel güç, 0.05 α anlamlılık seviyesi ve a tip II hata olasılığı 0,2 (β) anlamlılık $p < 0,05$ düzeyinde değerlendirilmiştir. Güç analizi, çalışmayı yürütmek için en az 265 KIBT görüntüsünün gerekli olduğunu göstermiştir.

Verilerin değerlendirilmesindeki istatistiksel metotların yanı sıra algoritma performansını değerlendirmek için Dice benzerlik skoru (Dice Similarity Score (DSC)), Intersection over Union (IoU, Jaccard), Doğruluk değeri (Accuracy) ve Karışıklık matrisi kullanılmıştır.

3.3.1. Performans ölçütleri

Algoritma performansı hesaplanırken, elle segmentasyon ile YZ segmentasyon görüntüsünü karşılaştırmak için çeşitli ölçütler mevcuttur. Modelin hava yolu segmentasyon yeteneğini ölçmek için Dice ve IoU ölçütleri kullanılmıştır.

Ağın performansı hakkında kullanılan başka bir yöntem, doğru ve yanlış tahmin edilen pikselleri gösteren Karışıklık Matrisi'dir. Çalışmamızdaki sınıflandırma için Karışıklık Matrisi (Şekil 14) faktörleri aşağıdaki gibidir:

Doğru Pozitifler (TP): Hava yoluna ait pikselin doğru bir şekilde hava yolu olarak sınıflandırılması

Doğru Negatifler (TN): Arka plana ait pikselin doğru bir şekilde arka plan olarak sınıflandırılması

Yanlış Pozitifler (FP): Hava yoluna ait pikselin yanlış bir şekilde arka plan olarak sınıflandırılması

Yanlış Negatifler (FN): Arka plana ait pikselin yanlış bir şekilde hava yolu olarak sınıflandırılması

| | | YZ Segmentasyonu | |
|---------------------|-----------|------------------|-----------|
| | | Hava Yolu | Arka Plan |
| İnsan Segmentasyonu | Hava Yolu | TP | FN |
| | Arka Plan | FP | TN |

Şekil 14. Karışıklık Matrisi

Doğruluk, modelin doğru tahmin oranıdır. Doğruluk değeri, her bir doğru sınıf etiketi toplamı (TP+TN), toplam veri seti büyüklüğüne bölünerek (TP+TN+FP+FN) hesaplanır.

$$\text{Doğruluk} = \frac{(TP+TN)}{(TP+TN+FP+FN)}$$

IoU veya Jaccard İndeksi, modelin çıktısı ile temel gerçek görüntü arasındaki benzerliği bulmak için kullanılan bir ölçüttür. Otomatik işaretlenen alan (A) ile elle yapılan işaretleme (B) kesişim alanının, otomatik işaretlenen alan ile elle işaretlenen alanın birleşimine oranıdır.

$$\text{IoU ölçütü} (A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$$

Dice Ölçütü, jaccard indeksi ölçümüne benzerdir, model performansını değerlendirmek için kullanılır. Aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır:

$$\text{Dice ölçütü} (A, B) = \frac{2 * |A \cap B|}{|A| + |B|}$$

4. BULGULAR

4.1. Hava Yolu Segmentasyonlarının Değerlendirilmesi

Faringeal hava yolunun ortalama hacmini insan (gözlemci) 18,08 cm³ (SD, 0,52), YZ 17,32 cm³ (SD, 0,50) olarak bulmuştur (Tablo 1).

Tablo 1. Segmente edilen hava yolu hacimleri

| Hacim | Ortalama | SD | Minimum | Maksimum |
|-------|-----------------------|------|----------------------|-----------------------|
| İnsan | 18.08 cm ³ | 0.52 | 9.73 cm ³ | 34.57 cm ³ |
| YZ | 17.32 cm ³ | 0.50 | 8.80 cm ³ | 36.25 cm ³ |

4.2. Ölçüm Uyumunun Değerlendirilmesi

Gözlemcinin ölçümleri arasındaki ICC 0,986 (0,978–0,988) olarak bulunurken, gözlemciler arasındaki ölçümlerin ICC değeri 0,975 (0,949–0,981), gözlemci ve YZ ölçümleri arasındaki ICC 0,985 (0,981–0,989) bulunmuştur.

Çalışmamızda sınıf içi korelasyon katsayıları %95'in üzerindedir, tüm ölçümlerin yüksek oranda tekrarlanabilir olduğu görülmüştür.

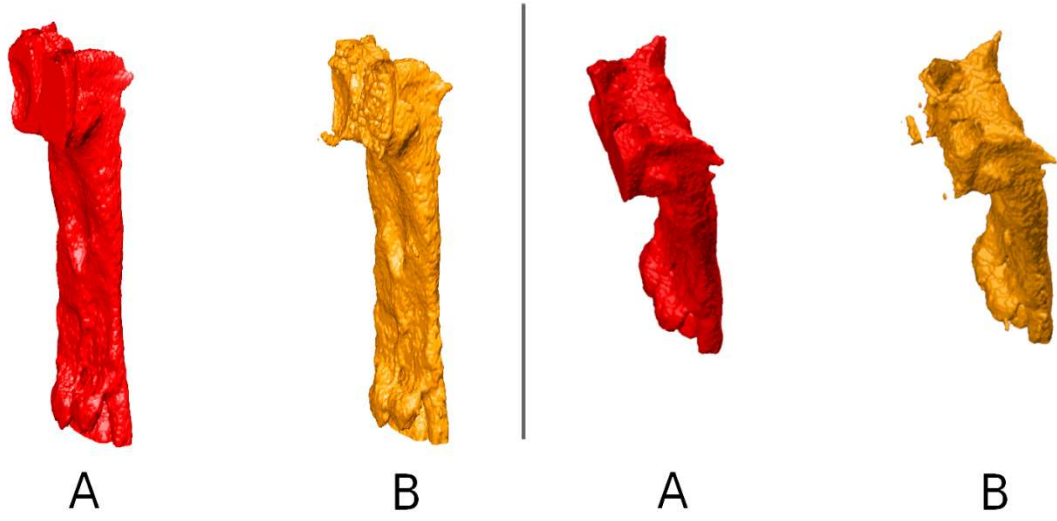
4.3. Performans Ölçütlerinin Değerlendirilmesi

Faringeal hava yolunun segmentasyonu için oluşturulan modelin performans analizinde Dice skoru 0,919, Ağırlıklı IoU değeri 0,993, Ortalama Doğruluk değeri 0,961 hesaplanmıştır. Karışıklık matrisi aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Karışıklık matrisi sonuçları

| İnsan / YZ | Hava yolu | Arka plan |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| Hava yolu | (TP) 0.925 | (FP) 0.075 |
| Arka plan | (FN) 0.001 | (TN) 0.999 |

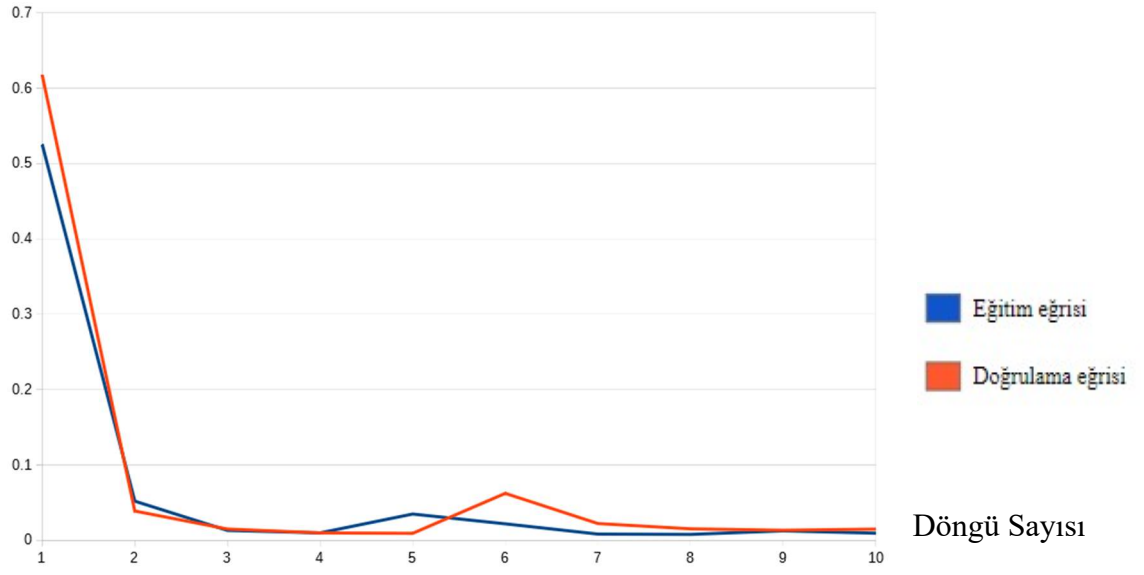
Önerilen algoritma, KIBT görüntülerinden faringeal hava yolunun otomatik segmentasyonunda yüksek başarı göstermiştir. (Şekil 15).



Şekil 15. YZ ve İnsan tarafından yapılan hava yolu segmentasyon sonuçlarının farklı açılardan karşılaştırılması, (A) ITK-SNAP ile elle yapılan segmentasyon (B)Yapay zeka ile yapılan segmentasyon

Eğitim sırasında modelin performansı, hata değeri ile döngü grafiğindeki eğitim ve doğrulama setlerinin uygulama eğrilerinden takip edilmiştir. Hata değeri sıfıra yaklaştıkça modelin genelleme kabiliyeti artar, sıfırdan uzaklaştıkça daha hatalı çıkarımlar yapar. İdeal bir modelde hem eğitim hem de doğrulama eğrilerinin hata değeri sıfıra yaklaşmış olmalıdır (Chartrand ve ark., 2017).

Hata Değeri



Şekil 13. Hata değeri- Döngü sayısı grafiği

Çalışmamızda 10 döngüde aşırı uyum meydana gelmemiştir ve 0,92 lik Dice skoru ile işlem tamamlanmıştır.

5. TARTIŞMA

Ortodontik tedavide dişler, çeneler, kaslar, eklemler, suturlar, dil, hyoid kemik ve hava yolu etkilenen yapılardır. Farklı iskelet paternleri ve üst hava yolu boyutları arasında önemli bir korelasyon vardır. ANB açısı ile faringeal hava yolu arasındaki ilişki KIBT ile değerlendirildiğinde, ANB açısındaki artışın faringeal hava yolu hacminde azalmaya yol açtığı anlaşılmıştır. Sınıf III hastaların toplam hava yolu hacmi (nazofarinks, orofarinks ve hipofarinksin toplamı) Sınıf II hastalara göre daha büyük bulunmuştur. Ayrıca Sınıf III hastalarda, farinks boyunca hava yolunun ve hava akımı dağılımının Sınıf I ve II hastalara göre daha üniform olduğu görülmüştür (Shokri ve ark., 2018).

Fonksiyonel ortodontik tedavi ve ortognatik cerrahinin üst hava yoluyla arasındaki korelasyon her daim popüler bir konudur. Hastaların ortopedik tedavilerinde kraniyofasiyal dengenin değişmesiyle beraber hava yolu boyutlarının da etkilenir (Mitani, 2002; Oliveira ve ark., 2020; Oktay ve Ulukaya, 2008; Abdalla ve ark., 2020). Diğer yandan cerrahi yaklaşımlar da planlanan ameliyatın türüne göre hava yolu hacminde değişikliklere neden olur. Mandibular geriletme cerrahisinde hyoid kemiğin mandibulanın rotasyonunu izlediği ve bunun da hava yolu açıklığının korunmasında yardımcı rol oynadığı belirtilmiştir (Jeong ve ark., 2018).

Mandibular geriletme sonrası olası sonuçlar klinik açıdan iki önemli noktayı vurgular. Bunlardan ilki, hyoid kemiğin aşağıya doğru yer değiştirmesiyle beraber dil kökü de geri ve aşağı taşınarak posterior hava yolunu daraltma potansiyelindeyken baş postürü bu duruma adapte olarak ekstansif bir hareket yapıp havayolunu genişletmeye çalışır. İkincisi ise; hyoid kemiğin pozisyonunun değişimi suprahyoid kasın gevşemesine neden olur. Yumuşak doku esnekliği nedeniyle doğası gereği değişikliklerin stabilitesini etkileyebilecek sürekli güç uygulayacağından mandibulayı tekrar öne doğru itebilir, iskeletsel relaps oluşabilir. Herhangi bir ortognatik cerrahiden sonra relaps büyük bir sorundur. Bu durumda hava yolu hacmindeki değişikliklerin hesaplanması tedavinin planlanma sürecinde önem arz etmektedir (Park ve ark., 2012).

Solunum paterni ortodontik tanı ve tedavi planlamasında olduğu kadar tedavi sonuçlarının stabilitesinde de büyük önem taşımaktadır. Solunum fonksiyonu değişikliğe uğradığında, yüz büyümesine ve oklüzyon gelişimine olumsuz etkileri olabilir (Linder-Aronson 1979; Linder-Aronson ve ark.,1986; A. Michelotti ve ark., 1990). Bu nedenle ortodontik tedaviler bu hastaların tedavisinde belirleyici olabilir. Benzer şekilde ortodontik problemlerin etiolojisinde üst solunum yolundaki bir bozukluk da rol oynayabilir (Cuccia ve ark., 2008).

Değişen solunum koşullarına oral ve faringeal adaptasyonları belirlemek, fonksiyonel ortopedik tedavi ile ortognatik cerrahi planlamasında hava yolunu değerlendirmek için hava yolu hacimlerinin analizleri gereklidir. Hava yolu boşluğunun lateral sefalometrik radyografi ve KIBT ile değerlendirilmesini karşılaştıran çalışmalar farklı sonuçlar elde etmiştir. Sears ve ark., bu iki görüntüleme tekniği arasında nazofarinks ve hipofarinks bölgesinde zayıf, orofarinks bölgesinde ise güçlü bir korelasyon olduğunu bildirmiştir (Sears ve ark., 2011).

Sefalometrik analizlerin nazal bozukluğun zayıf göstergeleri olduğu ve klinik karar verme aracı olarak kullanılmaması gerektiği öne sürülmüştür (Kluemper ve ark., 1995). 2 boyutlu ölçümler karmaşık hava yolu morfolojisini iyi bir şekilde vermez ve uygun bir değerlendirme yapmak için gerekli olan anatomik bilgilerin çoğunu gözden kaçırabilir (Lenza ve ark., 2010). KIBT, hava yolunun hem morfolojik hem de fonksiyonel olarak değerlendirilmesinde daha etkin bir görüntüleme tekniğidir (Aboudara ve ark., 2009).

Çalışmamızda faringeal hava yolunun segmente edilmesinde tercih edilen yöntem KIBT olmuştur. Tarama süresinin kısa olması, istenilen bölgeden kesitsel görüntü elde edilebilmesi, üç eksen de istenilen açıdan sert ve yumuşak dokuların analizine izin veren görüntüleme tekniği hava yolun mükemmel bir şekilde değerlendirilmesini sağlar (Arai ve ark., 1999). Çalışmada KIBT kullanımının diğer bir önemli nedeni ise geleneksel radyografiler üzerinde yapılamayacak olan hacimsel ölçümlere olanak vermesidir. KIBT'tan elde edilen havayolu hacminin neredeyse birebir gerçek hacmi yansıttığı bildirilmiştir (Yamashina ve ark.,2008).

Aboudara ve ark., KIBT'ın üst hava yolunu değerlendirmek için basit ve etkili bir yöntem olduğunu belirtirken KIBT ile alınan hacimsel ölçümleri fiziksel hava yolu fantomları ile karşılaştırdıklarında hataların %0 ile %5 arasında değiştiğini rapor etmişlerdir (Aboudara ve ark., 2009).

Araştırmalara bakıldığında faringeal hava yolunun sınırları farklılık göstermektedir. Bazı otörler alt sınırı 3. servikal vertebraların anterior inferior ucu ile hyoid kemik arasındaki çizgi (Kilinc ve ark., 2007; Oktay ve Ulukaya, 2008; Seo ve Han, 2017) olarak belirlerken bazıları epiglottisin tabanından geçen çizgiyi (Hong JS ve ark., 2011; Aksoy S, 2013; Chen X ve ark., 2015) kullanmıştır.

Çalışmamızda faringeal hava yolunun alt sınırı epiglottisin tabanından yere çizilen paralel çizgi olarak belirlenmiştir. Çalışmada alt sınırı epiglottisin tabanından belirleme nedenimizden biri retrospektif olarak elde ettiğimiz KIBT görüntülerinin içerdiği alanla ilgilidir. Çalışma sonunda segmente edilen hava yolu hacmi ortalama 18,08 cm³ bulunmuştur.

Grauer ve ark., 62 hastanın KIBT görüntülerinden faringeal hava yolu hacmi, şekli ve yüz morfolojisi arasındaki ilişkiyi değerlendirmeyi amaçladıkları çalışmada segmente ettikleri hava yolunun hacmini ortalama 20,3 cm³ olarak bulmuştur. Çalışmada hava yolunun alt sınırı 3. servikal vertebranın en medial kaudal ucundan yere paralel çekilen çizgi olarak belirlenmiştir (Grauer ve ark., 2009).

Hong ve ark., Sınıf I ve Sınıf III maloklüzyonlu 60 hastada faringeal hava yolu hacmini, çalışmamızla aynı hava yolu sınırlarını kullanarak değerlendirmişlerdir. Hacim ortalamaları Sınıf I ve Sınıf III hastalarda sırasıyla 27,87 cm³ ve 32,58 cm³ olarak bildirilmiştir (Hong ve ark., 2011).

Aynı hava yolu sınırlarını kullanan bir diğer çalışmada Aksoy, 300 hastanın faringeal hava yolunu KIBT verilerinden değerlendirmiş ve ortalama hacmi 20,59 cm³ olarak saptamıştır (Aksoy, 2013). Bu sonuç bizim çalışmamızın sonuçlarından ortalama 2,51 cm³ daha fazladır. Sonuçlardaki bu fark, ölçümlerde kullanılan farklı yazılımlar ve ölçümü gerçekleştiren araştırmacı faktöründen kaynaklanmış olabilir. Literatür

taramasında çalışmamızla benzer faringeal hava yolu sınırlarını kullanan başka çalışmaya rastlanmamıştır. Bu sebeple daha fazla hacim karşılaştırması yapılamamıştır.

Sementasyon işleminin bir parçası olarak KIBT taramasından elde edilen verileri analiz etmek için çok sayıda yazılım mevcuttur (El ve Palomo, 2010). Çalışmada segmente edilen faringeal hava yolunun hacmini ölçmek için Yushkevich PA tarafından geliştirilen ITK-SNAP yazılımı kullanılmıştır. Bu açık kaynak kodlu yazılımın havayolu ölçümlerindeki güvenilirliği çeşitli çalışmalarla kanıtlanmıştır (Yushkevich PA, 2006; Weissheimer ve ark., 2012).

Görüntü segmentasyonu eşik değerine dayalı diğer yazılımlara benzer şekilde ITK-SNAP de yarı otomatiktir ve kullanımı kolaydır. Fakat eşik değeri, manuel görüntü netliğine dayalı olan yazılımlarda araştırmacı tarafından öznel olarak belirlendiğinden görecelidir ve bu nedenle değişkenlik gösterir. Bu değişkenlik sonuçlarda farklılığa sebep olur. Klinik bir ortamda gerçekleştirilecek olan üst hava yolu değerlendirme sürecinde rastgele insan hatası her manuel adımda ortaya çıkarak güvenilirliği etkiler ve zaman kaybına neden olur (Zimmerman ve ark., 2019).

Zimmerman ve ark., KIBT görüntülerinden hava yolu ölçümlerinin güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla farklı uzmanlık ve klinik deneyime sahip altı gözlemci ile gözlemci içi ve gözlemciler arası ölçümleri karşılaştırmıştır. Gözlemcilerin manuel olarak belirledikleri eşik değeri seçimi gözlemci içi ve gözlemciler arası zayıf güvenilirlik göstermiştir. Çalışmada hacim ölçümlerinin gözlemci içi güvenilirliği 0,747 ile 0,976 arasında değişen ICC değerleri ile değerlendirilen bölgeye göre farklılık göstermiştir. Hipofarinks için en kötü ve orofarinks için en iyi değerde bulgulanmıştır. Hacim ölçümlerinin gözlemciler arası güvenilirliği ise genellikle daha düşük olarak, ICC 0,175 ile 0,945 arasında değişmektedir ve nazofarinks için en kötü, orofarinks için en iyi değerde saptanmıştır. Orofaringeal hacim mükemmel intra ve inter-gözlemci güvenilirliğine sahip tek parametredir. Hacim sonuçlarında gözlemciler arası %15'e varan farklılıklar olabilir ve bu hava yolu boyutlarındaki değişiklikler değerlendirilirken dikkate alınmalıdır (Zimmerman ve ark., 2019). Bizim çalışmamızda faringeal hava yolu

hacminin gözlemci içi ICC değeri 0,986 iken yapay zeka ile gözlemci arasındaki değer 0,985 ile neredeyse aynı uyuma sahip yüksek güvenilirlik göstermiştir.

El ve Palomo, ve Guijarro-Martinez ve ark., yaptıkları çalışmalarda orofarinksin en yüksek güvenilirliğe sahip bölge olduğunu göstermiştir (El ve Palomo,2010; Guijarro-Martinez ve ark., 2013). Bunun sebebi nazofarinks ve hipofarinksin düzensiz anatomisinin manuel eşik seçimine daha duyarlı olması ve ayrıca eşik değeri parametresi gözlemcinin görsel olarak ayırt etme yeteneğine bağlı olduğu için zayıf güvenilirlik göstermesi olabilir. Görsel analize dayalı eşik aralığını belirleme özgürlüğü hava yolunun segmentasyon doğruluğunu da etkilemektedir (Weissheimer ve ark., 2012). Bunun nedeni, manuel eşiğin gözlemcinin hava yolu sınırlarını görsel olarak ayırt etmesine dayanırken insan görüşünün aydınlatma koşulları, yorgunluk, gri ölçek yeteneği ve görme keskinliği gibi bir dizi faktöre bağlı olmasıdır (Mah ve ark., 2010).

Sınırların ve eşik değerinin manuel olarak belirlenmesi, değerlendirme sürecine öznellik unsuru getiren ve bu nedenle hata yapma potansiyeli taşıyan adımlardır. Yapay zekanın elde ettiği sonuç da eğitimde öğrendiği elle segmente edilen veriler kaynaklı olmasından dolayı algoritma gözlemci hatasını da öğrenecektir. Bu tür çalışmalar, ölçüm güvenilirliği sağlamak için analizlerini birden fazla gözlemci kullanarak gerçekleştirmelidir. Bizim çalışmamızda birinci gözlemcinin yaptığı ölçüm ile ikinci gözlemcinin yaptığı ölçüm arasındaki ICC değeri 0,975 olması mükemmel tekrarlanabilirlik ile oluşturulan YZ modelinin hata potansiyelinin düşük olduğunu göstermektedir.

Weissheimer ve ark., hastaların KIBT görüntülerinden orofarinksin ve orofarinksin akrilik fantomunun hacmini, interaktif (manuel) ve sabit eşik değeri protokolünü altı farklı görüntüleme programı ile ölçümler yaparak karşılaştırmıştır. Sabit eşik değeri, sınır seçiminde gözlemci öznelliğini ortadan kaldırır. Orofarinksin akrilik fantomdan yapılan segmentasyonu için sabit eşikleme kullanıldığında, tüm görüntüleme yazılımları benzer segmentasyon ve hacim sonuçları göstermiştir. Bu ayrıca gözlemcinin eşik değeri seçimindeki etkisinin segmentasyonu etkilediğini ve akrilik fantomdan orofarinks gibi karmaşık olmayan bir yapı segmentlere ayrıldığında eşikleme ölçeğinin programlar

arasında uyumlu olduğunu doğrular. Bununla birlikte, orofarinks sabit eşik protokolü kullanılarak segmente edildiğinde çoğu görüntüleme programı farklı segmentasyon ve hacim ölçümleri göstermiştir. Orofarinks segmentasyonları manuel eşikleme ile yapıldığında, altı farklı görüntüleme programı ile hacim ölçümleri arasında istatistiksel farklılık saptanmıştır. Sabit eşik tekniği kullanıldığında tüm görüntüleme programları arasında anlamlı bir fark olmamıştır (Weissheimer ve ark., 2012).

Lenza ve ark., yaptıkları çalışmada her hastanın KIBT taramasında hava yolunu segmente etmek için tek bir eşik değeri kullanmıştır. Bu yaklaşım, özellikle hacim analizinde hatalar üretebilir ancak kesinlikle dinamik bir eşik değerinin kullanımından daha fazla tekrarlanabilir (Lenza ve ark., 2010; Weissheimer ve ark., 2012).

Nazofarinks, anatomisinin dar ve kıvrımlı olması nedeniyle daha karmaşıktır. Aynı şey epiglottis varlığından dolayı hipofarinks için de söylenebilir. Bu da potansiyel olarak gürültülü KIBT görüntülerinin segmentasyonunda sınırları ve eşik değerini belirlemede zorluk yaşatabilir. Alsufyani ve ark., 3 boyutlu orofarinksin şeklinin tamamen içi boş bir tüpün şekline benzediğinden dolayı daha kolay bir segmentasyon sağladığını iddia ederek orofaringeal segmentasyonun yüksek başarısına başka bir olası açıklama getirmektedir (Alsufyani ve ark., 2012).

Ayrıca, görüntüleme yazılımında kullanılan yarı otomatik segmentasyon yönteminin hava yolu analizinin doğruluğunu etkileyeceği bilinmektedir. Piyasada bulunan yazılımlarda en yaygın olarak kullanılan segmentasyon yöntemi olan manuel eşikleme protokolü doku sınırları arasında tek bir eşik değerine dayanır. KIBT'in yumuşak doku kontrastı düşük olduğundan hava yolu sınırları düzensiz hizalandığında segmentasyon işlemi sırasında hava ve yumuşak doku sınırlarına karşılık gelen vokselleri ayıran tek bir eşik değerinin olması, sınırlar boyunca gri değerlerin bulanıklığı nedeniyle voksel birden fazla doku türü içerebilir (Van Eijnatten ve ark., 2018). Bu da hava yolu hacmini etkiler.

Gözlemcinin eğitim ve tecrübe düzeyinin de hem gözlemci içi hem de gözlemciler arası güvenilirliği üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. Klinik ortamda faringeal hava yolu ölçümünü rutin şekilde uygulayan uzmanlar, hava yolunu kolaylıkla segmente edebilirler ve çalışmada en yüksek güvenilirliği gösteren gözlemcilerdir.

Bununla birlikte, rutin uygulamayanlar tarafından gösterilen güvenilirlik önemli ölçüde daha zayıftır (Zimmerman ve ark., 2019). Bu nedenle rutin olarak hava yolu analizi yapmayan klinisyenlerin yüksek düzeyde güvenilir ölçümler elde etmek için eğitim almaları ve daha fazla pratik uygulama yapmaları gerekebilir. Uygulayıcılar için daha fazla zaman gerekeceğinden bu zor olabilir.

Bu sebeplerden dolayı otomatik segmentasyon, rutin klinik uygulama için zahmetli ve zaman alan bir süreç olan ve uygulayıcılar arasında öznellik gösteren elle müdahale ihtiyacını ortadan kaldırarak hava yolu hacim ölçümünü sağlar. Çalışmamız ilk defa YZ ile KIBT görüntülerinden faringeal hava yolu hacmini otomatik olarak segmente etmek için bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntem elle segmentasyon ile YZ segmentasyonları karşılaştırıldığında 0,919 Dice skoru, 0,993 IoU bularak yüksek benzerlik ve Doğruluk oranı ile segmentasyon yapılmasına olanak sağlamıştır. Otomatik segmentasyon, elle yapılan segmentasyon ile iyi korelasyon göstererek güvenilir segmentasyon sonuçları göstermiş ayrıca ölçüm sırasındaki rastgele oluşabilecek insan hatasını sıfıra indirmiştir.

Bu tez çalışmasında hava yolunun segmentasyon işlemi için derin öğrenme algoritmasından yararlanılmıştır. Bunun için ise görüntü işleme ve sınıflandırma yeteneği ile en uygun mimari olan ESA algoritması kullanılmıştır. Literatürde ESA algoritmasına dayalı tıbbi görüntülerden segmentasyon işlemi için kullanılan yapılar mevcuttur, U-Net mimarisi bu yapılardan biridir (Ronneberger ve ark., 2015).

Mevcut araştırmaya benzer şekilde Huff ve ark., intrakraniyal ventriküllerin segmentasyonu için U-Net mimarisini kullanmıştır. Toplam 300 kafa BT taraması kullanarak her ventrikül tipi için bir 2 boyutlu U-Net modeli oluşturmuştur. BT'lerin 200 ünü ağı eğitmek, 50 sini test, 50 sini doğrulama için kullanmıştır. Bu ağı sırasıyla sol lateral, sağ lateral ve üçüncü ventriküller için 0,92, 0,92 ve 0,79'luk Dice skoruna ulaşmıştır. Araştırmacılar segmentasyonların subjektif incelenmesinden dolayı YZ segmentasyonlarının bazen elle segmentasyonlardan daha doğru olduğunu gözlemlemişlerdir (Huff ve ark., 2019).

Zhou, yaptığı bir çalışmada BT görüntülerinden, 2 boyutlu ve 3 boyutlu derin evrişimli sinir ağlarını kullanan iki farklı yaklaşımın segmentasyon performansını

değerlendirmiştir. 240 BT görüntüsünden 17 farklı organ segmente edilmiştir. 3 boyutlu ESA ile segmentasyon oluşturmak için iki aşamalı bir algoritma kullanılmıştır. İlk adımda, anatomik bölgenin 3 boyutlu olarak kaba bir şekilde tanınmasını sağlamış, ikinci adımda, bu bölge üzerinde segmentasyon uygulamıştır. 2 boyutlu ESA ile segmentasyon yöntemi için 3 boyutlu BT'ler 2 boyutlu kesitlere çevrilerek üzerinde segmentasyon uygulanmış, daha sonra bu kesitler birleştirilerek tekrar 3 boyutlu BT haline getirilmiştir. 3 boyutlu ve 2 boyutlu ESA ile segmentlere ayrılmış 17 tip organın ortalaması alınarak ortalama IoU'ları sırasıyla %79 ve %67 bulunmuştur. Ayrıca 3 boyutlu ve 2 boyutlu IoU skorları, sol böbrek için %99 ve %88, pankreas için %84 ve %65 bulunmuştur. Sonuçta, iki farklı yaklaşımdan 3 boyutlu ESA ile segmente olanı daha başarılı sonuçlar ortaya çıkarmıştır (Zhou, 2020).

Guo ve ark., karaciğeri segmente etmek için U-Net'e benzer şekilde FCN mimarisini uygulamışlardır. Modelleri eğitmek için 73 BT taraması uygulanması sonucunda elde edilen sonuçlarda segmente edilen karaciğerin Dice skoru %95,8 bulunmuştur (Guo ve ark., 2019).

Xu ve ark., Dynamic Contrast Enhanced MRI kullanarak göğüs bölgesi segmentasyonunu gerçekleştirmek için 2 boyutlu resimlerle ESA algoritmasına dayalı bir U-Net mimarisi kullanmıştır. Çalışmamızla karşılaştırıldığında, küçük veri kümesi nedeniyle aşırı uyumu azaltmak için döndürme, çevirme, kaydırma ve yakınlaştırma gibi veri artırma stratejileri kullanmak zorunda kalmışlardır. Çalışma sonucunda % 97,44 Dice skoru elde etmişlerdir (Xu ve ark., 2018).

Blanc-Durand ve ark., beyin tümörünü segmente ettikleri çalışmada, BT görüntülerini ön işlemenin bir parçası olarak yeniden boyutlandırmıştır. 3 boyutlu beyin görüntülerini 3 boyutlu şekilde eğitmek için önce küçülterek yer kazanmış, eğitimden sonra tekrar büyütülmüştür. Bu süreç model performansını iyileştirse de bilgi kaybına neden olur (Blanc-Durand ve ark., 2018).

Bizim çalışmamızda, KIBT görüntülerinden elde edilen 2 boyutlu resimler yeniden boyutlandırmak yerine küçük parçalara bölünmüştür. Eğitim setine minik gruplar halinde verilen küçük resimlerden hava yolu segmente edilerek hacim hesapladıktan sonra

resimler yeniden birleştirilerek orijinal KIBT boyutu korunmuştur. Sonuç olarak, tüm bilgiler korunmuştur.

Diğer yandan ön işleme yöntemleri genellikle performansı artırmak için kullanılır. Çalışmada ön işleme katmanının uygulanmasıyla resimlerin hava yolunu içermeyen bazı kısımları kesilmiştir. Çalışmadaki KIBT görüntülerinden elde edilen resim sayısı 256.000 tanedir. Ön işleme uygulanmadan kullanılacak resim sayısı çok daha fazla olacaktır. Her ne kadar iyi donanımlı bir GPU kullanılmış olsa da işlem zamanı çok uzun sürmektedir. Veri setinin ön işleme yapılan ve ön işleme olmadan yapılan ağ eğitimi sonucunda, ön işleme katmanı kullanılmadan döngü sonundaki başarı oranı ön işleme katmanı kullanıldığında daha az döngüde elde edilmektedir (Öztürk, 2019). Bu da daha önce bahsettiğimiz gibi döngü sayısı işlem süresini belirlediğinden eğitimin daha kısa sürede tamamlanmasını sağlar. Bu problemlerin aşılması için görüntü yapısında bazı değişiklikler yapılmıştır. Görüntülere zarar vermeden ön işlem uygulanarak tomografi görüntüleri küçük resim parçalarına ayrılmıştır. Her bir axial görüntü parçalara ayrılmış ve işlendikten sonra tekrar birleştirilmiştir. Bu sayede daha düşük donanım kullanımıyla segmentasyon olanaklı hale gelmiştir. Aksi takdirde yaklaşık olarak $512 \times 512 \times 512$ piksel boyutlarındaki bir görüntünün tek seferde ESA mimarisi tarafından kullanılması neredeyse olanaksızdır.

Çalışmamızın birkaç limitasyonu vardır. KIBT veri seti, aynı görüntü elde etme protokolüne sahip tek bir KIBT cihazı kullanılarak aynı üniversite hastanesinden elde edilmiştir. Birden fazla tomografi tarayıcısı ve görüntü elde etme protokolü olduğundan, geliştirilen YZ modelinin doğruluğunu artırmak için farklı cihazlar ve protokoller gerekebilir. Ayrıca sonuçların genelleştirilmesi için tek merkezli sağlayıcıdan elde edilen data'lar yerine çok merkezli veri havuzundan data'lar kullanılabilir. Böylece YZ ile yapılacak randomize kontrollü çalışma sonuçlarının daha doğru olacağı öne sürülmüştür (Allareddy ve ark., 2019).

Diğer bir sınırlama, KIBT görüntülerini 2 boyutlu işlenmesinin yetersiz bilgisayar GPU'sundan kaynaklanmasıdır. Günümüzde ortaya çıkan algoritmalar her gün daha fazla donanımsal güç gerektirmektedir. Bu da oldukça fazla maliyeti beraberinde

getirmektedir. 3 boyutlu evrişimli ağ, 2 boyutlu evrişimli ağa kıyasla daha iyi segmentasyon doğruluğu gösterir (Zhou, 2020). Gelecek çalışmalarda daha iyi bir GPU donanımına sahip bilgisayar kullanılarak resimleri parçalara ayırmadan doğrudan KIBT görüntüleri verilerek segmentasyon yapılabilir.

6. SONUÇ

Bu çalışmada, KIBT görüntülerinden yüksek benzerlik oranıyla otomatik olarak faringeal hava yolu segmentasyonu gerçekleştirilmiştir. YZ ve gözlemci arasındaki ölçüm korelasyonu, gözlemciler arasındaki korelasyon kadar yüksek olarak saptanmıştır. Bu nedenle derin öğrenme tekniklerine dayalı YZ algoritmaları, KIBT görüntülerinden faringeal hava yolu hacminin hızlı, kolay ve hatasız segmentasyonu için kullanılabilir.

7. KAYNAKLAR

Martina R, Laino A, Michelotti A. Class I malocclusion with severe open bite skeletal pattern treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1990;97(5):363-373.

Abdalla Y, Brown L, Sonnesen L. Effects of a fixed functional appliance on upper airway volume: A 3-dimensional cone-beam computed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2020;158(1):40-49.

Abdelkarim A. Cone-Beam Computed Tomography in Orthodontics. *Dent J (Basel).* 2019;7(3):89.

Aboudara C, Nielsen I, Huang JC, Maki K, Miller AJ, Hatcher D. Comparison of airway space with conventional lateral headfilms and 3-dimensional reconstruction from cone beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009; 135:468–479.

AKSOY S. Konik Işınli Komputerize Tomografi Kullanılarak Üç Boyutlu Olarak Paranasal Sinüs ve Varyasyonlarının Üst Havayolu Anatomisi İle Birlikte İncelenmesi.Yakın Doğu Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2013, Lefkoşa (Danışman: Prof. Dr. Kaan Orhan).

Allareddy V, Rengasamy Venugopalan S, Nalliah RP, Caplin JL, Lee MK, Allareddy V. Orthodontics in the era of big data analytics. *Orthod Craniofac Res.* 2019;22 Suppl 1:8-13.

Alsufyani, N.A., Flores-Mir, C. and Major, P.W. Three-dimensional segmentation of the upper airway using cone beam CT: a systematic review. *Dento Maxillo Facial Radiology.* 2012; 41:276–284.

Alves M Jr, Baratieri C, Nojima LI, Nojima MC, Ruellas AC. Three-dimensional assessment of pharyngeal airway in nasal- and mouth-breathing children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2011;75(9):1195-1199.

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

Arai Y, Tammissalo E, Iwai K, Hashimoto K, Shinoda K. Development of a compact computed tomographic apparatus for dental use. *Dentomaxillofac Radiol.* 1999;28(4):245-248.

AYDIN M. İskeletsel Sınıf III Maloklüzyona Sahip Bireylerde Uygulanan Hibrit Hızlı Üst Çene Genişletmesi Ve Mentoplate Tedavisinin Üst Havayollarına Etkilerinin Üç Boyutlu Olarak Değerlendirilmesi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Uzmanlık Tezi, 2019, Eskişehir (Danışman: Doç. Dr. Rıdvan OKŞAYAN).

Baldassari CM, Mitchell RB, Schubert C, Rudnick EF. Pediatric obstructive sleep apnea and quality of life: a meta-analysis. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2008;138:265–273.

Ball M, Hossain M, Padalia D. Anatomy, Airway. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; August 10, 2020.

Baratieri C, Alves M, Gomes de Souza MM, Tirre de Souza Araujo M, Maia LC. Does rapid maxillary expansion have long-term effects on airway dimensions and breathing? *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;140:146-56.

Baumrind S, Frantz RC. The reliability of head film measurements. 2. Conventional angular and linear measures. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1971; 60:505–17.

Baumrind S, Frantz RC. The reliability of head film measurements. 1. Landmark identification. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1971; 60:111–27.

Becker OE, Avelar RL, Göelzer JG, Dolzan AN, Júnior OLH, Oliveira RB. Pharyngeal Airway Changes in Class III Patients Treated With Double Jaw Orthognathic

Surgery—Maxillary Advancement and Mandibular Setback. *J Oral Maxillofac Surg.* 2012;70: e639-e647.

Bozzini MFR, Valladares-Neto J, Paiva JB, Rino-Neto J. Sex differences in pharyngeal airway morphology in adults with skeletal Class III malocclusion. *Cranio.* 2018;36(2):98-105.

Chartrand G, Cheng PM, Vorontsov E, Drozdal M, Turcotte S, Pal CJ, Kadoury S, Tang A. Deep Learning: A Primer for Radiologists. *Radiographics.* 2017;37(7):2113-2131.

Chen F, Terada K, Hua Y, Saitoc I. Effects of bimaxillary surgery and mandibular setback surgery on pharyngeal airway measurements in patients with Class III skeletal deformities. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007; 131:372-7

Chen X, Liu D, Liu J, Wu Z, Xie Y, Li L, Liu H, Guo T, Chen C, Zhang S. Three-Dimensional Evaluation of the Upper Airway Morphological Changes in Growing Patients with Skeletal Class III Malocclusion Treated by Protraction Headgear and Rapid Palatal Expansion: A Comparative Research. *PLoS One.* 2015;10(8): e0135273.

Cuccia AM, Lotti M, Caradonna D. Oral breathing and head posture. *Angle Orthod.* 2008;78(1):77-82.

Daly P, Preston CB, Evans WG. Postural response of the head to bite opening in adult males. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1982;82: 157-60.

De Freitas, M.R., Alcazar, N.M., Janson, G., de Freitas, K.M.,Henriques, J.F. Upper and lower pharyngeal airways in subjects with Class I and Class II malocclusions and different growth patterns. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006;130 (6), 742-745.

De Vos W, Casselman J. and Swennen G.R. Cone-beam computerized tomography (CBCT) imaging of the oral and maxillofacial region: a systematic review of the literature. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery.* 2009;38,609–625

Edwards M. Magnetic resonance imaging of the head and neck. *Dent Clin North Am.* 1993;37(4):591-611.

Eggensperger N, Smolka W, Iizuka T. Long-term changes of hyoid bone position and pharyngeal airway size following Mandibular setback by sagittal split Ramus osteotomy. *J Craniomaxillofac Surg.* 2005;33: 111–117.

El H, Palomo JM. Measuring the airway in 3 dimensions: a reliability and accuracy study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010;137(4 Suppl): S50.e1-S52.

El H, Palomo JM. Airway volume for different dentofacial skeletal patterns. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;139(6):e511-e521.

Ellis E, McNamara JA. Components of adult Class III malocclusion. *J Oral Maxillofac Surg.* 1984;42: 295–305.

Enacar A, Aksoy AU, Sençift Y, Haydar B, Aras K. Changes in hypopharyngeal airway space and in tongue and hyoid bone positions following the surgical correction of mandibular prognathism. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.* 1994;9(4):285-290.

ERBAŞ B. Sınıf II Bölüm 1 Olgularda Crossbow Apareyinin Dentofasiyal Yapılar Ve Hava Yolu Üzerine Olan Etkilerinin KIBT İle İncelenmesi. Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2013, Ankara (Danışman: Prof. Dr. İlken Kocadereli).

Erdur EA, Yıldırım M, Karatas RMC, Akin M. Effects of symmetric and asymmetric rapid maxillary expansion treatments on pharyngeal airway and sinus volume: *A cone-beam computed tomography study.* *Angle Orthod.* 2020;10.2319/050819-320.1.

Erickson BJ, Korfiatis P, Akkus Z, Kline TL. Machine Learning for Medical Imaging. *Radiographics.* 2017;37(2):505-515.

Flach P. Machine learning: the art and science of algorithms that make sense of data. Cambridge, England: Cambridge University Press, 2012.

Fu Z, Lin Y, Ma L, Li W. Effects of maxillary protraction therapy on the pharyngeal airway in patients with repaired unilateral cleft lip and palate: A 3-dimensional computed tomographic study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2016;149(5):673-682.

G.T. Kluemper, P.S. Vig, K.W.L. Vig, Nasorespiratory characteristics and craniofacial morphology. *Eur. J. Orthod*. 1995;17:491–495

Gibbs, S.J. Effective dose equivalent and effective dose: comparison for common projections in oral and maxillofacial radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2000;90(4):538-545.

Gökçe, SM, Görgülü S, Gökçe HS, Bengi AO, Sağdıç D. Sağlıklı bireylerde faringeal hava yolu, dil boyutlarının ve hyoid pozisyonunun belirlenmesi. *Gulhane Med J*. 2013;55(2).

Graber L. Hyoid changes following orthopedic treatment of mandibular prognathism. *Angle Orthod*. 1978; 48: 33–38.

Grauer D, Cevidanes LS, Styner MA, Ackerman JL, Proffit WR. Pharyngeal airway volume and shape from cone-beam computed tomography: relationship to facial morphology. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2009;136(6):805-814.

Guijarro-Martínez R, Swennen GR. Three-dimensional cone beam computed tomography definition of the anatomical subregions of the upper airway: a validation study. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2013;42(9):1140-1149.

Guilleminault C, Riley R, Powell N. Sleep apnea in normal subjects following mandibular osteotomy with retrusion. *Chest*. 1985;88(5):776-778.

Guo X, Schwartz LH, Zhao B. Automatic liver segmentation by integrating fully convolutional networks into active contour models. *Med Phys*. 2019;46(10):4455-4469.

Halıcıoğlu K, Kiliç N, Yavuz İ, Aktan B. Effects of rapid maxillary expansion with a memory palatal split screw on the morphology of the maxillary dental arch and nasal airway resistance. *Eur J Orthod*. 2010;32(6):716-720.

Hänggi MP, Teuscher UM, Roos M, Peltomäki TA. Long-term changes in pharyngeal airway dimensions following activator-headgear and fixed appliance treatment. *Eur J Orthod*. 2008;30(6):598-605.

Helmstaedter M, Briggman KL, Turaga SC, Jain V, Seung HS, Denk W. Connectomic reconstruction of the inner plexiform layer in the mouse retina [published correction appears in *Nature*. 2014 Oct 16;514(7522):394]. *Nature*. 2013;500(7461):168-174.

Hinton G, Deng L, Yu D, Dahl G, Mohamed A, Jaitly N, Senior A, Vanhoucke V, Nguyen P, Sainath T, Kingsbury B. Deep neural networks for acoustic modeling in speech recognition. *IEEE Signal Processing Magazine*. 2012;29, 82–97.

Hong JS, Oh KM, Kim BR, Kim YJ, Park YH. Three-dimensional analysis of pharyngeal airway volume in adults with anterior position of the mandible. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2011;140(4).

Hsu WC, Kang KT, Yao CJ, et al. Evaluation of Upper Airway in Children with Obstructive Sleep Apnea Using Cone-Beam Computed Tomography [published online ahead of print, 2020 Jul 13]. *Laryngoscope*. 2020;10.1002/lary.28863.

Huff TJ, Ludwig PE, Salazar D, Cramer JA. Fully automated intracranial ventricle segmentation on CT with 2D regional convolutional neural network to estimate ventricular volume. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2019;14(11):1923-1932.

Huynh N.T, Desplats E, and Almeida F.R . Orthodontics treatments for managing obstructive sleep apnea syndrome in children: a systematic review and meta-analysis. *Sleep Medicine Reviews*. 2016;25, 84–94.

Irani SK, Oliver DR, Movahed R, Kim YI, Thiesen G, Kim KB. Pharyngeal airway evaluation after isolated mandibular setback surgery using cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2018;153(1):46-53.

Isidor S, Di Carlo G, Cornelis MA, Isidor F, Cattaneo PM. Three-dimensional evaluation of changes in upper airway volume in growing skeletal Class II patients following mandibular advancement treatment with functional orthopedic appliances. *Angle Orthod*. 2018;88(5):552-559.

Iwasaki T, Takemoto Y, Inada E, Sato H, Saitoh I, Kakuno E, Kanomi R, Yamasaki Y. Three-dimensional cone-beam computed tomography analysis of enlargement of the pharyngeal airway by the Herbst appliance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2014;146(6):776-785.

Jeong S, Sung J, Kim S, Kim Y, Shin S, Kim SS. Upper airway morphologic changes after mandibular setback surgery in skeletal class III malocclusion patients measured using cone beam computed tomography superimposition. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2018;47(11):1405-1410.

Jiang C, Yi Y, Jiang C, Fang S, Wang J. Pharyngeal Airway Space and Hyoid Bone Positioning After Different Orthognathic Surgeries in Skeletal Class II Patients. *J Oral Maxillofac Surg*. 2017;75(7):1482-1490.

Johari M, Esmacili F, Andalib A, Garjani S, Saberhari H. Detection of vertical root fractures in intact and endodontically treated premolar teeth by designing a probabilistic neural network: an ex vivo study. *Dentomaxillofac Radiol*. 2017;46(2):20160107.

Johnston CD, Richardson A. Cephalometric changes in adult pharyngeal morphology. *Eur J Orthod*. 1999;21(4):357-362.

Jung SK, Kim TW. New approach for the diagnosis of extractions with neural network machine learning. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2016;149(1):127-133.

Kilinc AS, Arslan SG, Kama JD, Özer T, Dari O. Effects on the sagittal pharyngeal dimensions of protraction and rapid palatal expansion in Class III malocclusion subjects. *Eur J Orthod.* 2007;30:61-66

Kingma D, Rezende D, Mohamed S, Welling M. Semisupervised learning with deep generative models. *Adv Neural Inf Proc Syst.* 2014;27:3581–3589.

Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med.* 2016;15(2):155-163.

Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Communications of the ACM.* 2017;60(6),84-90.

Krois J, Ekert T, Meinhold L, Golla T, Kharbot B, Wittemeier A, Dörfer C, Schwendicke F. Deep Learning for the Radiographic Detection of Periodontal Bone Loss. *Sci Rep.* 2019;9(1):84-95.

LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning. *Nature.* 2015;521(7553):436-444.

LeCun Y, Boser B, Denker J, Henderson D, Howard R, Hubbard W, Jackel L, Guyon I, Graf HP. Handwritten Digit Recognition: Applications of Neural Net Chips and Automatic Learning. *Neurocomputing.* 1990;68:303-318.

Lee Y, Chun YS, Kang N, Kim M. Volumetric changes in the upper airway after bimaxillary surgery for skeletal class III malocclusions: a case series study using 3-dimensional cone-beam computed tomography. *J Oral Maxillofac Surg.* 2012;70(12):2867-2875.

Lenza MG, Lenza MM, Dalstra M, Melsen B, Cattaneo PM. An analysis of different approaches to the assessment of upper airway morphology: a CBCT study. *Orthod Craniofac Res.* 2010;13(2):96-105.

Linder-Aronson S. Respiratory function in relation to facial morphology and the dentition. *Br J Orthod.* 1979;6(2):59-71.

Linder-Aronson S, Leighton BC. A longitudinal study of the development of the posterior nasopharyngeal wall between 3 and 16 years of age. *Eur J Orthod.* 1983;5(1):47-58.

Linder-Aronson S, Woodside DG, Lundström A. Mandibular growth direction following adenoidectomy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1986;89(4):273-284.

Long, J., Shelhamer, E. ve Darrell, T. Fully Convolutional Networks for Semantic Segmentation, 2015 Ieee Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (Cvpr), 2015;3431-3440.

Lumeng JC, Chervin RD. Epidemiology of pediatric obstructive sleep apnea. *Proc Am Thorac Soc* 2008;5:242–252.

Ma J, Sheridan RP, Liaw A, Dahl GE, Svetnik V. Deep neural nets as a method for quantitative structure-activity relationships. *J Chem Inf Model.* 2015;55(2):263-274.

Mah P, Reeves TE, McDavid WD. Deriving Hounsfield units using grey levels in cone beam computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 2010;39:323-35.

Martin O, Muelas L, Viñas MJ. Nasopharyngeal cephalometric study of ideal occlusions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006;130(4):436.e1-436.e4369.

Martin SE, Mathur R, Marshall I, Douglas NJ. The effect of age, sex, obesity and posture on upper airway size. *Eur Respir J.* 1997;10(9):2087-2090.

McNamara, J.A. Influence of respiratory pattern on craniofacial growth. *Angle Orthod.* 1981;51 (4), 269-300.

Mitani H. Early application of chin cup therapy to skeletal Class III malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2002;121:584–585.

Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andreis IA. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol.* 1998;8(9):1558–64.

MUŞTU ÜC. Diş ve Diş-Kemik Destekli Hızlı Üst Çene Genişletmesinin Üst Havayollarına Etkilerinin Üç Boyutlu Olarak Değerlendirilmesi. Yeditepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2016, İstanbul (Danışman: Doç. Dr. Derya Çakan).

Nguyen T, De Clerck H, Wilson M, Golden B. Effect of Class III bone anchor treatment on airway. *Angle Orthod.* 2015;85(4):591-596.

Oktay H, Ulukaya E. Maxillary protraction appliance effect on the size of the upper airway passage. *Angle Orthod* 2008;78:209-214

Oliveira PM, Cheib-Vilefort PL, de Pársia Gontijo H, et al. Three-dimensional changes of the upper airway in patients with Class II malocclusion treated with the Herbst appliance: A cone-beam computed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2020;157(2):205-211.

Orhan K, Bayrakdar IS, Ezhov M, Kravtsov A, Özyürek T. Evaluation of artificial intelligence for detecting periapical pathosis on cone-beam computed tomography scans. *Int Endod J.* 2020;53(5):680-689.

Öztemel E. Yapay Sinir Ağları. Papatya Yayıncılık. 3. Basım. İstanbul; 2003.

ÖZTÜRK Ş. Derin Öğrenme ile Histopatolojik Görüntü Analizi. Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. Doktora Tezi, 2019, Konya (Danışman: Doç. Dr. Bayram Akdemir).

Palomo JM, Kau CH, Palomo LB, Hans MG. Three-dimensional cone beam computerized tomography in dentistry. *Dent Today.* 2006;25(11):130-135.

Park SB, Kim YI, Son WS, Hwang DS, Cho BH. Cone-beam computed tomography evaluation of short- and long-term airway change and stability after orthognathic surgery in patients with Class III skeletal deformities: bimaxillary surgery and mandibular setback surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2012;41(1):87-93.

Patcas R, Timofte R, Volokitin A, Agustsson E, Eliades T, Eichenberger M, Bornstein MM. Facial attractiveness of cleft patients: a direct comparison between artificial-intelligence-based scoring and conventional rater groups. *Eur J Orthod.* 2019;41(4):428-433.

Pinheiro de Magalhães Bertoz A, Souki BQ, Lione R, Theresa Webber SA, Bigliuzzi R, Oliveira PM, Moro A, Cozza P. Three-dimensional airway changes after adenotonsillectomy in children with obstructive apnea: Do expectations meet reality?. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2019;155(6):791-800.

Pliska BT, Tam IT, Lowe AA, Madson AM, Almeida FR. Effect of orthodontic treatment on the upper airway volume in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2016;150(6):937-944.

Poedjiastoeti W, Suebnukarn S. Application of Convolutional Neural Network in the Diagnosis of Jaw Tumors. *Healthc Inform Res.* 2018;24(3):236-241.

Ricketts, R.M. The interdependence of the nasal and oral capsules. J. A. McNamara (Ed.). *Naso-Respiratory Function and Craniofacial Growth.* Ann Arbor, MI: University of Michigan Press;1979. p.165-198

Rizk S, Kulbersh VP, Al-Qawasmi R. Changes in the oropharyngeal airway of Class II patients treated with the mandibular anterior repositioning appliance. *Angle Orthod.* 2016;86(6):955-961.

Ronneberger O, Fischer P, Brox T. U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In: *International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention.* Springer; 2015;234–41.

Scarfe WC, Farman AG. What is cone-beam CT and how does it work?. *Dent Clin North Am.* 2008;52(4):707-v.

Sears CR, Miller AJ, Chang MK, Huang JC, Lee JS. Comparison of pharyngeal airway changes on plain radiography and cone-beam computed tomography after orthognathic surgery. *J Oral Maxillofac Surg.* 2011;69:e385–e394.

Seo W-G, Han S-J. Comparison of the effects on the pharyngeal airway space of maxillary protraction appliances according to the methods of anchorage. *Maxillofac Plast Reconstr Surg* 2017;39:3.

Shete CS, Bhad WA. Three-dimensional upper airway changes with mandibular advancement device in patients with obstructive sleep apnea. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2017;151(5):941-948.

Shokri A, Miresmaeili A, Ahmadi A, Amini P, Falah-Kooshki S. Comparison of pharyngeal airway volume in different skeletal facial patterns using cone beam computed tomography. *J Clin Exp Dent.* 2018;10(10).

Silva MA, Wolf U, Heinicke F, Bumann A, Visser H, Hirsch E. Cone-beam computed tomography for routine orthodontic treatment planning: a radiation dose evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;133(5):640.e1-640.e6405.

Tompson, J., Jain, A., LeCun, Y. & Bregler, C. Joint training of a convolutional network and a graphical model for human pose estimation. In Proc. Advances in Neural Information Processing Systems. 2014; 27:1799–1807.

Tuncer BB, Kaygisiz E, Tuncer C, Yüksel S. Pharyngeal airway dimensions after chin cup treatment in Class III malocclusion subjects. *J Oral Rehabil.* 2009;36(2):110-7.

Van Eijnatten M, van Dijk R, Dobbe J, Streekstra G, Koivisto J, Wolff J. CT image segmentation methods for bone used in medical additive manufacturing. *Med Eng Phys.* 2018;51:6-16.

Wang H, Zhou Z, Li Y, Chen Z, Lu P, Wang W, Liu W, Yu L. Comparison of machine learning methods for classifying mediastinal lymph node metastasis of non-small cell lung cancer from ^{18}F -FDG PET/CT images. *EJNMMI Res.* 2017;7(1):11.

Weissheimer A, Menezes LM, Sameshima GT, Enciso R, Pham J, Grauer D. Imaging software accuracy for 3-dimensional analysis of the upper airway. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012;142(6):801-813.

Xiong HY, Alipanahi B, Lee LJ, Bretschneider H, Merico D, Yuen RK, Hua Y, Gueroussov S, Najafabadi HS, Hughes TR, Morris Q, Barash Y, Krainer AR, Jovic N, Scherer SW, Blencowe BJ, Frey BJ. RNA splicing. The human splicing code reveals new insights into the genetic determinants of disease. *Science.* 2015;347(6218):1254806.

Xu X, Fu L, Chen Y, Larsson R, Zhang D, Suo S, Hua J, Zhao J. Breast Region Segmentation using Convolutional Neural Network in Dynamic Contrast Enhanced MRI. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2018:750-753.

Yamashina A, Tanimoto K, Sutthiprapaporn P, Hayakawa Y. The reliability of computed tomography (CT) values and dimensional measurements of the oropharyngeal region using cone beam CT: comparison with multidetector CT. *Dentomaxillofac Radiol.* 2008;37(5):245–51.

Yushkevich PA, Piven J, Hazlett HC, et al User-guided 3D active contour segmentation of anatomical structures: significantly improved efficiency and reliability. *Neuroimage.* 2006;31(3):1116-1128.

Zhong Z, Tang Z, Gao X, Zeng XL. A comparison study of upper airway among different skeletal craniofacial patterns in nonsnoring Chinese children. *Angle Orthod.* 2010;80(2):267-274.

Zhou X. Automatic Segmentation of Multiple Organs on 3D CT Images by Using Deep Learning Approaches. *Adv Exp Med Biol.* 2020;1213:135-147.

Zimmerman JN, Vora SR, Pliska BT. Reliability of upper airway assessment using CBCT. *Eur J Orthod*. 2019;41(1):101-108.

Zimmerman JN, Lee J, Pliska BT. Reliability of upper pharyngeal airway assessment using dental CBCT: a systematic review. *Eur J Orthod*. 2017;39(5):489-496.

8. ÖZGEÇMİŞ

| | | | |
|------------|-----------------------------|--------------|----------------------|
| Adı | ÇAĞLA | Soyadı | SİN |
| Doğum Yeri | HATAY | Doğum Tarihi | 01/01/1992 |
| Uyruğu | TC | Tel | +905338779386 |
| E-mail | cagla.sin@neu.edu.tr | | |

| Eğitim Düzeyi | Mezun Olduğu Kurumun Adı | Mezuniyet Yılı |
|---------------|--|----------------|
| Lisans | Yakın Doğu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi | 2016 |
| Lise | Necmi Asfuroğlu Anadolu Lisesi | 2009 |

| Yabancı Dil Sınav Notu □ | | | | | | | | |
|--------------------------|-----|-------|--------------|--------------|--------------|-----|-----|-----|
| YDS (YÖKDİL) | NPT | IELTS | TOEFL IBT | TOEFL PBT | TOEFL CBT | FCE | CAE | CPE |
| 58 | - | - | - | - | - | - | - | - |

Bilgisayar Bilgisi

| Program | Kullanma becerisi |
|-------------------------|-------------------|
| Microsoft Office | Çok iyi |

İş Deneyimi

| Görevi | Kurum | Süre |
|----------------------------|--|------------------|
| Araştırma Görevlisi | Yakın Doğu Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi | 2016-2021 |

EK 1. ETİK KURUL RAPORU

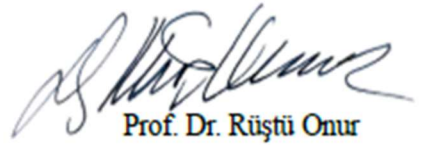


YAKIN DOĞU ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU

ARAŞTIRMA PROJESİ DEĞERLENDİRME RAPORU

Toplantı Tarihi : 30.07.2020
Toplantı No : 2020/81
Proje No :1140

Yakın Doğu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi öğretim üyelerinden Doç. Dr. Ulaş Öz'ün sorumlu araştırmacısı olduğu, YDU/2020/81-1140 proje numaralı ve "Faringeal Hava Yolu Hacminin 3 Boyutlu Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi Görüntülerinden Yapay Zeka Kullanılarak Belirlenmesi" başlıklı proje önerisi kurulumuzca online toplantıda değerlendirilmiş olup, etik olarak uygun bulunmuştur.



Prof. Dr. Rüştü Onur

Yakın Doğu Üniversitesi
Bilimsel Araştırmalar Etik Kurulu Başkanı

EK 2. YAYINLAR

Sin Ç, Oz U. Ethical consideration of biotechnological invasive and conventional clinical orthodontic applications. *Journal of Biotechnology*. 2017; 256, p.S56.

Nadejda B, Kacamak NI, Sin C, Kamiloglu B. Incidence of Orthodontic Problems in Northern Cypriot Population. *Journal of Medical Imaging and Health Informatics*. 2021;11(1), 80-84.

Sin Ç, Akkaya N, Aksoy S, Orhan K, Öz U. A Deep Learning Algorithm Proposal to Automatic Pharyngeal Airway Detection and Segmentation on CBCT Images [published online ahead of print, 2021 Feb 22]. *Orthod Craniofac Res*. 2021. doi:10.1111/ocr.12480