



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
İSTANBUL TIP FAKÜLTESİ
RADYOLOJİ ANABİLİM DALI

AKUT PULMONER EMBOLİ TANISINDA YAPAY ZEKÂ ÇALIŞMALARI

UZMANLIK TEZİ

Dr. Önder BABACAN

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr Şükrü Mehmet ERTÜRK

İSTANBUL

ÖNSÖZ

Bu çalışma boyunca, danışmanlığımı yürüten, asistanlığım boyunca bilgisi ve deneyimini esirgemeyen, fikirleriyle yol gösteren, değerli tez danışmanım *Prof. Dr. Şükrü Mehmet ERTÜRK'e*,

Bizlerle engin bilgi ve tecrübelerini paylaşan, bölümümüzü güzelleştiren, herkese örnek olan ve bana büyük katkılar sağlayan değerli hocam anabilim dalı başkanımız *Prof. Dr. Nebiye Serra SENCER'e*,

Uzmanlık eğitimim boyunca engin bilgi ve tecrübeleri ile bana büyük katkılar sağlayan değerli hocalarım; Prof. Dr. Bülent ACUNAŞ, Prof. Dr. Atadan TUNACI, Prof. Dr. Arzu Armağan POYANLI, Prof. Dr. Memduh DURSUN, Prof. Dr. Artür SALMASLIOĞLU, Prof. Dr. Mesut BULAKÇI, Doç. Dr. M. Gülbiz KARTAL, Doç. Dr. Ravza YILMAZ, Doç. Dr. Zuhul BAYRAMOĞLU ve Doç. Dr. Mehmet BARBUROĞLU'na teşekkür eder ve saygılarımı sunarım.

Asistanlığım süresince evim olarak nitelendirdiğim kliniğimizde bana ikinci bir aile gibi olan ve birlikte iyisiyle kötüsüyle ama keyifle vakit geçirdiğim bütün asistan arkadaşlarıma, uzun yıllar beraber çalışma şansı bulduğum değerli dostum ve meslektaşım *Ahmet Yasin KARKAŞ'a* her şey için teşekkür ederim.

Sevgi ve desteklerini hep hissettiğim, sevgili eşim İrem Gül GİRGİN BABACAN'a, değerli annem Şenay BABACAN'a ve kıymetli babam Mehmet BABACAN'a minnettarım.

Dr. Önder BABACAN

İstanbul 2023

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ŞEKİL LİSTESİ	V
TABLO LİSTESİ	VII
KISALTMALAR	VIII
ÖZET	9
SUMMARY	12
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	3
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1 Akciğerin Embriyolojik Gelişimi ve Histolojisi.....	4
2.2 Akciğerin Genel Yapısal ve Vasküler Anatomisi.....	7
2.2.1 Akciğerin Genel Anatomisi	7
2.2.2 Akciğerin Vasküler Anatomisi	9
2.3 Pulmoner Emboli.....	12
2.3.1 Tanım ve Epidemiyoloji	12
2.3.2 Etyoloji ve Patogenez	13
2.3.3 Risk Faktörleri	14
2.3.4 Semptomlar, Skorlamalar ve Laboratuvar bulguları.....	16
2.3.5 Tanısal Görüntülemelerde Kullanılan Modaliteler	20
2.3.6 Yapay Zeka	28
3. MATERYAL VE METHOD.....	34
3.1 Araştırma Yeri ve Zamanı	34
3.2 Araştırma Evreni.....	34
3.3 Araştırmada Veri Toplama Araçları ve Değerlendirilmesi	35
3.4 Araştırma Yöntemi	36
3.5 Araştırma İstatistiki Çalışması.....	36
4. BULGULAR.....	37
4.1 TANIMLAYICI BULGULAR.....	37
5. TARTIŞMA	50
6. SONUÇ	52
7. KAYNAKLAR	52

8.EKLER.....	55
ETİK KURUL KARARI.....	56
9.ÖZGEÇMİŞ	56



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Akciğer gelişimi embryolojik basamaklarında rolü olan temel gelişim faktörleri[1]	5
Şekil 2.Akciğerin gelişim evrelerinin şematize edilmiş hali[3]	7
Şekil 3. Akciğer yerleşimi ve segmenter anatomisi[5]	11
Şekil 4. Pulmoner arter ve dalları (https://radiopaedia.org/cases/pulmonary-arteries-illustrations)	12
Şekil 5.Pulmoner emboli patofizyolojisi[10]	14
Şekil 6.Pulmoner embolide pulmoner dijital subtraction anjiografi. Soldaki görüntü sağ akciğer alt lobu besleyen arterin başlangıcında trombüse bağlı olarak kontrast madde geçişinin ani sonlanımı. Sağdaki görüntü ise lümeni tam tıkamayan trombüs etrafından geçen kontrast maddenin tren rayı benzeri görüntü oluşturması[6].	22
Şekil 7.Sol ana pulmoner arterde emboli[6].	24
Şekil 8. Pulmoner embolili hastada akciğer enfarktı. Sağ akciğer alt lob superiorda plevra tabanlı üçgen şekilli konsolide alan.	24
Şekil 9.Akut pulmoner emboli şüphesine yaklaşım şeması[10]	27
Şekil 10.Pulmoner emboli tanısı konulan hastalarda tedavi akış şeması[10]	27
Şekil 11.Medikal görüntülemelerde raporlama örnekleri. (a) Yönlendirilmiş geri yayılma ve gradyent ağırlıklı sınıfsal aktivasyon haritalama, derin öğrenme modelinin girdileri görüntüyü yüksek dereceli gliom olarak sınıflandırmıştır. Önemli pikseller kırmızı ile, daha az önemli pikseller mavi ile kodlanmıştır[33]. (b) Retina görüntülerinden seçilen vasküler dilatasyon,tortüozite vs. detaylandırmada kullanılan regresyon kavram vektörleri, derin konvolüsyonel sinir ağı tarafından analiz edilir[34].	30
Şekil 12. Gradyent temelli görüntülemelerin sınıflandırılması. (a) Temel konsept nöron aktivasyonudur. (b) Gradyent bazlı metodlar ileri ve geri geçişli sinyallerden oluşur. Bir görüntüye x girdisi verildiğinde, sınıf k, ağıın tüm katmanları boyunca ileri geçişle maksimum şekilde aktiflenir. Tüm pozitif aktivasyonlar, geri geçiş sinyalleri sırasında, sonradan kullanılmak üzere kaydedilir. Görüntüdeki piksellerin sınıf k' ya katkısını görselleştirmek için, tüm aktivasyonlar incelenen sınıf k haricinde sıfır olarak	

ayarlanır. (c) Geri besleme, ağıın çıkışından girdisine kadar gradyentleri hesaplamak için zincir kuralını kullanır[35]. 31

Şekil 13. Confusion Matrix 44

Şekil 14. ROC eğrisi 46

Şekil 15. AUC örnekleri 46

Şekil 16. Yapay zekanın kutu şeklinde işaretlediği trombüs materyal örneği. 47

Şekil 17. Yapay zekanın kutu şeklinde işaretlediği trombüs materyal örneği. 48

Şekil 18. Yapay zekanın kutu şeklinde işaretlediği trombüs materyal örneği. 48

Şekil 19. Yapay zekanın kutu şeklinde işaretlediği periferel trombüs örneği. 49



TABLO LİSTESİ

Tablo 1.ESC 2019 Pulmoner Emboli Kılavuzundan alınmıştır.	16
Tablo 2.Wells’ klinik skorlama sistemi[14]	18
Tablo 3.Modifiye Geneva skorlama sistemi[15]	19
Tablo 4.Pulmoner emboli tanısında kullanımı yaygın testlerin artı ve eksileri[11]	25
Tablo 5. Segmentlere göre radyoloğun belirlediği pulmoner emboli dağılımı	40
Tablo 6. Yapay zekanın radyolog baz alınarak ölçülen performansı	42

KISALTMALAR

AI: Artificial Intelligence

AUC: Area under the ROC Curve

AUROC: Eğri Altında Kalan Alan

BTPA: Bilgisayarlı Tomografi Pulmoner Anjiyografi

DICOM: Digital Imaging and Communications in Medicine

MI: Myocardial Infarctus

MRG: Manyetik Rezonans Görüntüleme

NPV: Negative predictive value

PACS: Picture Archiving and Communication System

PPV: Positive predictive value

ROC: Receiver Operating Characteristics, Alıcı İşlem Karakteristikleri

ROI: Region of Interest

V/P: Ventilasyon-Perfüzyon

YZ: Yapay Zeka

ÖZET

PULMONER EMBOLİ TANISINDA YAPAY ZEKA ÇALIŞMALARI

GİRİŞ VE AMAÇ: Akut pulmoner emboli acil servislerde sıklıkla karşılaşılan önemli bir sağlık problemidir. Kardiyovasküler kaynaklı ölümlerde MI ve stroke sonrasında 3.sırada yer almaktadır. Akut pulmoner embolinin klinik prezentasyonu asemptomatikten hemodinamik instabiliteye neden olabilen skalada geniş bir aralıkta değişim göstermektedir. Tanı ve tedavi süreçlerinin hızlı yürütülmesi hayati önem taşımaktadır. Tanısında klinik, laboratuvar, BTPA ve V/P sintigrafisi önemli yer edinmektedir. BTPA günlük rutinde en yaygın kullanıma sahip ve en güvenilir tanısal tetkiktir. Tetkik sayılarının fazlalığı düşünüldüğünde, yeterli sayıda radyoloji uzmanı olmayan acil servislerde, acil servis hekimlerine yardımcı olması adına yapay zeka programları üzerinde çalışmalar artırılmaktadır. Bizler de bu çalışmamızda radyoloji raporlamaları baz alınarak, yapay zeka programının tanısal başarısını ve klinik kullanıma ne kadar hazır olduğunu değerlendirmeyi amaçladık.

MATERYAL VE METOD: Retrospektif olarak gerçekleştirdiğimiz çalışmamıza, İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Hastanesine 01.01.2019-01.06.2023 tarihleri arasında başvuran ve BTPA çekilen hastaların, PACS sistemi üzerinden görüntüleri incelenerek uygun olan 1474 hasta dahil edilmiştir. DICOM formatındaki görüntüleri PACS üzerinden kapalı devre entegre edilmiş olan ‘‘Canon Automation Platform’’ isimli yapay zeka programına transfer ederek, programın tanısal başarısı değerlendirilmiştir.

BULGULAR: İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Hastanesi’ne 01.01.2019-01.06.2023 tarihleri arasında başvuran, pulmoner emboli kuşkusu üzerine pulmoner bt anjiyografi çekilen, görüntüleme bulguları ideal olan 1474 hastanın radyoloji raporu altın standart sayılarak, yapay zeka raporlaması ile karşılaştırılmıştır. Çalışmamıza 822 kadın(%55.8) ; 652(%44.2) erkek olmak üzere toplamda 1474 kişi katılmıştır. Yaşları 18-96 arasında dağılım göstermekte olup, ortalama yaş 59,7 (± 15.8) olarak hesaplanmıştır.

Yapay zekanın mevcut 1474 hastayı 11 ayrı başlıkta radyoloji raporları altın standart kabul ederek, emboli tespit başarısı istatistiki olarak şu şekilde tespit edilmiştir:

- Sağ ana pulmoner arter: ROC-AUC değeri 0.994, Accurary(doğruluk) değeri 0.997, Sensitivite(Recall) değeri 0.966, Spesifisite değeri 0.999, PPV(Precision) değeri 0.991, NPV değeri 0.997 ve F1 skoru 0.978 bulunmuştur.
- Sağ interlober arter: ROC-AUC değeri 0.998, Accurary(doğruluk) değeri 0.997, Sensitivite(Recall değeri) 0.975, Spesifisite değeri 1, PPV(Precision) değeri 1, NPV değeri 0.997 ve F1 skoru 0.987 bulunmuştur.
- Sağ üst lob segment dalları: ROC-AUC değeri 0.987, Accurary(doğruluk) değeri 0.992, Sensitivite(Recall değeri) 0.946, Spesifisite değeri 0.998, PPV(Precision) değeri 0.981, NPV değeri 0.993 ve F1 skoru 0.963 bulunmuştur.
- Sağ orta lob segment dalları: ROC-AUC değeri 0.996, Accurary(doğruluk) değeri 0.993, Sensitivite(Recall değeri) 0.944, Spesifisite değeri 1, PPV(Precision) değeri 1, NPV değeri 0.992 ve F1 skoru 0.971 bulunmuştur.
- Sağ alt lob segment dalları: ROC-AUC değeri 0.987, Accurary(doğruluk) değeri 0.988, Sensitivite(Recall değeri) 0.953, Spesifisite değeri 0.997, PPV(Precision) değeri 0.985, NPV değeri 0.989 ve F1 skoru 0.969 bulunmuştur.
- Sol ana pulmoner arter: ROC-AUC değeri 0.945, Accurary(doğruluk) değeri 0.992, Sensitivite(Recall değeri) 0.989, Spesifisite değeri 0.992, PPV(Precision) değeri 0.891, NPV değeri 0.999 ve F1 skoru 0.937 bulunmuştur.
- Sol interlober arter: ROC-AUC değeri 0.978, Accurary(doğruluk) değeri 0.996, Sensitivite(Recall değeri) 0.991, Spesifisite değeri 0.996, PPV(Precision) değeri 0.957, NPV değeri 0.999 ve F1 skoru 0.974 bulunmuştur.
- Sol üst lob segment dalları: ROC-AUC değeri 0.968, Accurary(doğruluk) değeri 0.986, Sensitivite(Recall değeri) 0.904, Spesifisite değeri 0.995, PPV(Precision) değeri 0.946, NPV değeri 0.990 ve F1 skoru 0.925 bulunmuştur.
- Sol alt lob segment dalları: ROC-AUC değeri 0.981, Accurary(doğruluk) değeri 0.988, Sensitivite(Recall değeri) 0.946, Spesifisite değeri 0.995, PPV(Precision) değeri 0.972, NPV değeri 0.990 ve F1 skoru 0.959 bulunmuştur.

- Sağ subsegmenter dallar: ROC-AUC değeri 0.956, Accurary(doğruluk) değeri 0.954, Sensitivite(Recall değeri) 0.847, Spesifisite değeri 0.989, PPV(Precision) değeri 0.957, NPV değeri 0.956 ve F1 skoru 0.899 bulunmuştur.
- Sol subsegmenter dallar: ROC-AUC değeri 0.945, Accurary(doğruluk) değeri 0.957, Sensitivite(Recall değeri) 0.814, Spesifisite değeri 0.987, PPV(Precision) değeri 0.929, NPV değeri 0.962 ve F1 skoru 0.868 bulunmuştur.

SONUÇ: Yüksek hasta sayısı ile gerçekleştirdiğimiz çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlar, yapay zeka teknolojilerinin geliştirilebilirliği ve geldiği nokta üzerinden umut verici konumda olduğunu göstermiştir. Akut pulmoner emboli tanısında radyoloji uzmanına ulaşım şansı olmayan hastanelerde, başta acil servis hekimlerine olmak üzere, tüm doktorlara kısa sürede yüksek başarı ile tanısal destek sağlayacağı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Bilgisayarlı Tomografi Pulmoner Anjiyografi (BTPA), Pulmoner Emboli (PE), Yapay Zeka (YZ).

SUMMARY

ARTIFICIAL INTELLIGENCE STUDIES IN THE DIAGNOSIS OF ACUTE PULMONARY EMBOLISM

AIM: Acute pulmonary embolism is a frequently encountered critical health issue in emergency departments. It ranks third in cardiovascular related deaths, following myocardial infarction (MI) and stroke. The clinical presentation of acute pulmonary embolism varies widely on a scale ranging from asymptomatic to hemodynamic instability. The rapid execution of diagnosis and treatment processes is of vital importance. Clinical, laboratory, CT pulmonary angiography (CTPA) and V/Q scintigraphy play a significant role in its diagnosis. CTPA is the most commonly used and reliable diagnostic test in daily practice. Given the high number of cases to be examined, artificial intelligence programs are being developed to assist emergency department physicians, particularly in emergency departments lacking a sufficient number of radiologists. In our study, we aimed to evaluate the diagnostic success and clinical readiness of an artificial intelligence program based on radiology reports.

MATERIALS AND METHODS: Between January 1, 2019, and June 1, 2023, a total of 1474 patients who presented to Istanbul University Istanbul Faculty of Medicine Hospital with suspicion of pulmonary embolism and underwent pulmonary CT angiography with ideal imaging findings were included in our study. Of the participants, 822 were female (55.8%), and 652 were male (44.2%). Their ages ranged from 18 to 96, with a mean age of 59.7 (± 15.8).

RESULTS: The diagnostic success of artificial intelligence, when compared to the gold standard of radiology reports in nine different categories for all 1474 patients, was statistically determined as follows:

Right main pulmonary artery: ROC-AUC value 0.994, Accuracy value 0.997, Sensitivity (Recall value) 0.966, Specificity value 0.999, Precision (PPV) value 0.991, NPV value 0.997, and F1 score 0.978.

Right interlobar artery: ROC-AUC value 0.998, Accuracy value 0.997, Sensitivity (Recall value) 0.975, Specificity value 1, Precision (PPV) value 1, NPV value 0.997, and F1 score 0.987.

Right upper lobe segment branches: ROC-AUC value 0.987, Accuracy value 0.992, Sensitivity (Recall value) 0.946, Specificity value 0.998, Precision (PPV) value 0.981, NPV value 0.993, and F1 score 0.963.

Right middle lobe segment branches: ROC-AUC value 0.996, Accuracy value 0.993, Sensitivity (Recall value) 0.944, Specificity value 1, Precision (PPV) value 1, NPV value 0.992, and F1 score 0.971.

Right lower lobe segment branches: ROC-AUC value 0.987, Accuracy value 0.988, Sensitivity (Recall value) 0.953, Specificity value 0.997, Precision (PPV) value 0.985, NPV value 0.989, and F1 score 0.969.

Left main pulmonary artery: ROC-AUC value 0.945, Accuracy value 0.992, Sensitivity (Recall value) 0.989, Specificity value 0.992, Precision (PPV) value 0.891, NPV value 0.999, and F1 score 0.937.

Left interlobar artery: ROC-AUC value 0.978, Accuracy value 0.996, Sensitivity (Recall value) 0.991, Specificity value 0.996, Precision (PPV) value 0.957, NPV value 0.999, and F1 score 0.974.

Left upper lobe segment branches: ROC-AUC value 0.968, Accuracy value 0.986, Sensitivity (Recall value) 0.904, Specificity value 0.995, Precision (PPV) value 0.946, NPV value 0.990, and F1 score 0.925.

Left lower lobe segment branches: ROC-AUC value 0.981, Accuracy value 0.988, Sensitivity (Recall value) 0.946, Specificity value 0.995, Precision (PPV) value 0.972, NPV value 0.990, and F1 score 0.959.

Right subsegmental branches: ROC-AUC value 0.956, Accuracy value 0.954, Sensitivity (Recall value) 0.847, Specificity value 0.989, Precision (PPV) value 0.957, NPV value 0.956, and F1 score 0.899.

Left subsegmental branches: ROC-AUC value 0.945, Accuracy value 0.957, Sensitivity (Recall value) 0.814, Specificity value 0.987, Precision (PPV) value 0.929, NPV value 0.962, and F1 score 0.868.

CONCLUSIONS: The results obtained from our study, conducted with a high number of patients, are promising in terms of the potential for the development of artificial intelligence technologies and their current state. They indicate that in the diagnosis of acute pulmonary embolism, AI has the potential to provide rapid and high-quality diagnostic support, especially to emergency room physicians, and to all doctors in hospitals where access to radiologists is limited.

KEY WORDS: Computed Tomography Pulmonary Angiography(CTPA), Pulmonary Embolism(PE), Artificial Intelligence(AI).

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Pulmoner emboli (PE), kardiyovasküler nedenli ölümlerin MI ve stroke sonrasında 3.en sık nedenidir. Akut pulmoner emboli kliniği asemptomatik olabileceği gibi, hemodinamik instabilite ve sonrasında ölüme neden olabilecek kadar geniş bir skalada karşılaşılabilmektedir. Geniş semptom aralığı da düşünüldüğünde pulmoner emboli tanısı koymak adına klinik, laboratuvar, BTPA ve V/P sintigrafisi gibi çok sayıda yöntem ile tanıya yönlenebilmektedir. Pulmoner emboli tanısında rutinde en sık kullanılan ve en doğru tanı başarısına sahip yöntem BTPA 'dır. BTPA ile pulmoner arterlerin ideal görüntülemesi ince kesit görüntüler ve kontrast maddenin pulmoner vasküler traktı doldurduğu görüntüler elde olunur. İdeal çekimlerde kontrast madde geçişinde ani kesilme, lümende tam tıkanıklığa neden olmayan yumuşak doku dansitesindeki trombüs materyali görülmesi ile sıklıkla tanıya hızlı gidilmektedir. Takip eden dönemde akciğer parankimal bulguları gelişebilmektedir. Tanısal değeri düşük olan görüntülemelerde sekonder bulgular olan parankimal bulgulardan yola çıkılarak emboli kuşkusu belirtilebilmektedir. Bunlara plevra tabanlı kama benzeri enfarkt alanları, atelektatik volüm kayıpları, mozaik perfüzyon alanları vb bulgular örnek verilebilir.

Özellikle hemodinamik instabil hastalarda akut pulmoner emboli tanısı olabildiğince erken konulmalıdır. Aksi halde hastanın hızlı bir şekilde kaybı görülecektir. Ülkemiz şartlarındaki giderek artan tetkik sayılarını ve radyoloji uzman sayısının yetersizliği göz önünde bulunduracak olursak, acil servisler başta olmak üzere birçok branş hekimine bu vb acil durumların tanısında yapay zeka teknolojilerinin geliştirilmesi önem arz etmektedir.

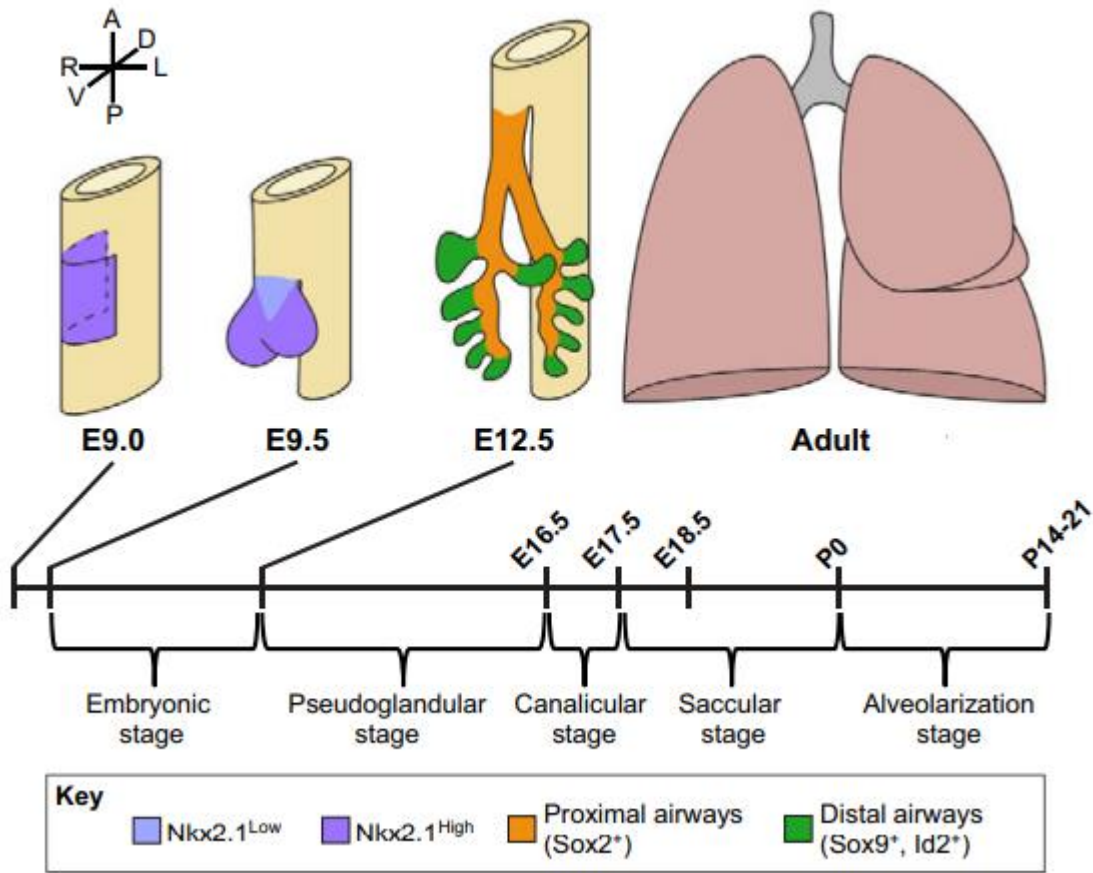
Yüksek katılımlı olarak gerçekleştirdiğimiz çalışmanın başarısı ve takip eden dönemde yapay zeka programlarının geliştirilmesi ile radyoloji uzmanına erişiminde sıkıntı çekilen sağlık kuruluşlarında erken tanı ve tedaviye yardımcı olabileceğine dair umut vermektedir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Akciğerin Embriyolojik Gelişimi ve Histolojisi

Akciğerlerin temel işlevi, dış ortamdaki oksijeni kardiyovasküler sistemdeki karbondioksit ile değiştirmektir. Bu karmaşık süreç, son yıllarda yapılan yoğun araştırmalarla daha iyi anlaşılmıştır. Akciğer gelişimi üzerine yapılan bu çalışmalar, farklı hücre kökenlerini ve bu süreci düzenleyen moleküler yolları aydınlatmıştır. Bu yeni bilgiler sayesinde, akciğer epitel hücreleri üretilebilir hale gelmiş ve birçok akciğer patolojisine epigenetik bir yaklaşım ile tedavi seçenekleri geliştirilmiştir.

Akciğer gelişimini daha ayrıntılı bir şekilde incelediğimizde, akciğerlerin kökeninin ön barsak endodermi olduğunu görüyoruz. Bu endoderm, aynı zamanda orofarenks, özofagus, mide, ve intestinal anslar gibi birçok diğer dokunun gelişimine de katkıda bulunur. Solunum sistemi gelişimi, Nkx2.1 adlı transkripsiyon faktörünün ekspresyonu ile başlar. Bu faktörün ekspresyonu, yaklaşık olarak gebeliğin 28. gününde ortaya çıkar. Akciğer endoderm progenitörlerinin oluşumu için kritik bir rol oynayan WNT/Beta katenin sinyali bu aşamada önemlidir. Ayrıca, ventral mezodermden gelen Bmp sinyali, Sox transkripsiyonunu baskılar. Bu erken aşamalarda oluşabilecek hatalar, akciğerin özofagustan ayrılmasını ve dallanma yapısında gelişimsel patolojilere neden olabilir. Sonuç olarak, akciğer gelişimi karmaşık bir süreçtir ve moleküler düzeyde birçok faktörün etkileşimini gerektirir. Yapılan son araştırmalar, bu sürecin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olmuş ve potansiyel tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesine katkı sağlamıştır. Akciğer gelişimi ile ilgili daha fazla bilgi edinmek, solunum sistemi patolojilerinin daha etkili bir şekilde tedavi edilmesine olanak tanır.[1].



Şekil 1. Akciğer gelişimi embriyolojik basamaklarında rolü olan temel gelişim faktörleri[1]

Solunum sistemi gelişimi, hayatın en başından itibaren karmaşık bir süreçtir ve bu sürecin her aşaması, solunum yeteneğimizin temelini oluşturur. Solunum sistemi gelişiminin temeli, laringotrakeal oluk olarak adlandırılan bir yapıyla atılır. Bu oluk, embriyonik dönemin başlarında ortaya çıkar ve ilerleyen aşamalarda solunum sisteminin temel yapı taşlarını oluşturur.

Laringotrakeal oluğun endoderm tabakası, ilerleyen dönemlerde larinks, trakea ve bronşların epitelini oluştururken, splanknik mezoderm tabakası bu yapıların bağ dokusunu, kıkırdaklarını ve düz kaslarını geliştirir. Bu iki tabaka, bir araya gelerek solunum sisteminin temel yapı taşlarını oluşturur.

Gestasyonun 4. haftasının sonlarında, laringotrakeal oluk, laringotrakeal divertiküle dönüşür ve splanknik mezoderm ile sarılır. Bu divertikülün distal ucu, akciğer tomurcuğunu oluşturacak genişlemeyi başlatır. Akciğer tomurcukları, iki keseciğe ayrılır ve bunlar daha sonra bronş tomurcuklarını oluşturur. İlk olarak ana bronşlar oluşur ve

dallanma morfogenezine bağlı olarak sağda üç, solda ise iki ek tomurcuk daha gelişir. Bu nedenle sağ akciğer üç lobdan, sol akciğer ise iki lobdan oluşur.[2].

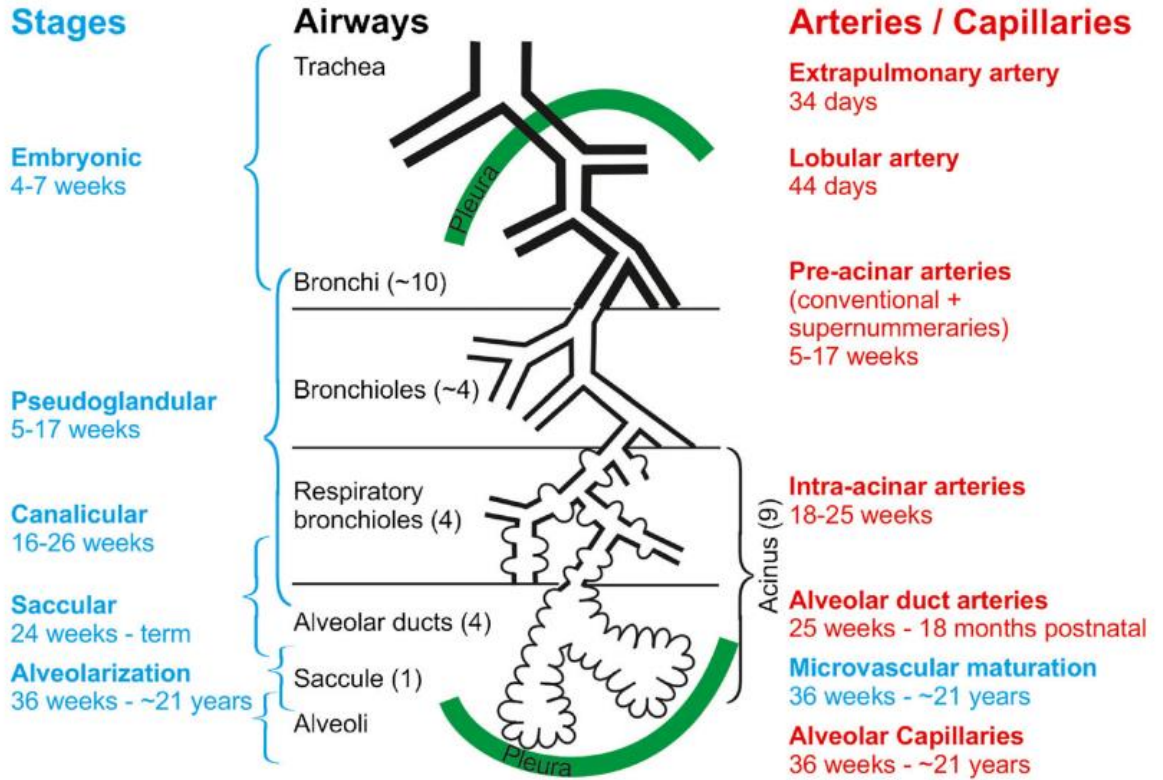
Akciğer gelişimi, embriyonik, fetal ve postnatal dönemler olmak üzere üç ana aşamada gerçekleşir. Embriyonik dönem, gestasyonun 4-7. haftaları arasında gerçekleşir ve temel yapı taşlarının oluşumuyla ilgilidir. Fetal akciğer gelişimi ise psödoglandüler, kanaliküler, sakküler ve alveolar dönemlerden oluşurken, postnatal dönemde ise alveolarizasyon devam eder ve mikrovasküler olgunlaşma tamamlanır.

Psödoglandüler evrede, akciğerin histolojik yapısı, tübüler bir salgı bezi görünümündedir ve bu aşama gestasyonun 5-17. haftaları arasında gerçekleşir. Temel elemanlar bu dönemde oluşur ve proksimal hava yollarında silli hücreler, mukozal hücreler ve bazal hücreler ilk kez ortaya çıkar.

Kanaliküler evrede ise bronşların ve terminal bronşiollerin lümenleri büyür, kapillerlerin vaskülarizasyonu artar ve gestasyonun 16-26. haftalarını içerir. Bu aşamada solunum mümkün hale gelir ve bu dönemde doğan fetüslerin yaşam şansı artar.

Sakküler evre, gestasyonun 24. haftasından geç fetal döneme kadar uzanır. Bu dönemde primordial alveoller gelişir, duvarları incelir ve kapillerler bu keselerin içine doğru çıkıntı yapmaya başlar. Bu süreç, kan-hava bariyerinin oluşumunu sağlar.

Son olarak, alveolar aşama, geç fetal dönemden başlayarak 8 yaşına kadar sürer. Bu süreçte alveollerin büyük bir kısmı doğumdan sonra matür hale gelir ve solunum yeteneği tam anlamıyla gelişir. Solunum sistemi gelişimi, bu karmaşık ve aşamalı süreçlerin sonucunda tamamlanır ve sağlıklı bir solunum fonksiyonunu destekler.[3].



Şekil 2. Akciğerin gelişim evrelerinin şematize edilmiş hali[3]

2.2 Akciğerin Genel Yapısal ve Vasküler Anatomisi

2.2.1 Akciğerin Genel Anatomisi

Akciğerler, göğüs boşluğu içinde bulunan hayati organlardır ve anatomik olarak dikkate değer birçok özelliğe sahiptirler. İlk olarak, akciğerlerin konumu, göğüs boşluğu içinde diyafram adı verilen kas tabakasının altından başlayarak, klavikulanın biraz üzerine kadar uzanır. Bu pozisyon, toraksın en üst noktalarından en alt noktalarına kadar olan oksijen ve karbondioksit değişiminin gerçekleştiği bir alan oluşturur.

Her iki akciğer, plevral keseler içerisinde yer alır. Plevral kese, akciğerleri çevreleyen zar benzeri bir yapıdır ve akciğerlerin hareketini kolaylaştırırken, aynı zamanda akciğerleri korur.

Ortada yer alan mediastinum ise akciğerleri birbirinden ayırır ve içinde kalbin yanı sıra diğer önemli yapıları barındırır.

Akciğerler, solunum sisteminin temel yapılarını içerir. Bu yapılar, bronşiyal ağaç ve akciğer alveolleri gibi ana bronşun distalinde yer alır. Her bir akciğer, göğüs boşluğunun şekline uyacak şekilde dört farklı yüze sahiptir. Mediastinal yüzey, hafif içbükeydir ve pulmoner damarlar, sinirler ve bronşların geçtiği dikey bir yarığa sahiptir.

Diyaframın dışbükey kubbesi üzerine uyum sağlayarak akciğerin alt yüzeyi konkavdır. Bu düzenleme, solunum sırasında diyafram kasının kasılması ve gevşemesi sırasında akciğerlerin genişlemesine ve daralmasına yardımcı olur.

Akciğerin üst yüzeyi, apex pulmonis olarak adlandırılır ve klavikula seviyesinin üzerine uzanır. Akciğerlerin 3 yüzeyi vardır. Sternum ve kotlara komşu olan kısmına kostal yüzey adı verilirken; mediasten ve posteriorda vertebralar ile sınırlı olan kısmına mediastinal yüzey adı verilir. Kostal yüzler, akciğerlerin en geniş yüzeyini temsil eder ve kaburgaların iç yüzü ile temas halindedir. Sağ ve sol akciğerler, temelde benzerdir, ancak bazı farklılıklar gösterirler. Örneğin, sol akciğer sağa göre biraz daha küçüktür ve iç yüzünde kalbin oluşturduğu bir çukurluk bulunur.

Akciğerlerin alt uç sınırı midklaviküler hatta 6. kostaya midaksiller hatta 8. kostaya kadar uzanmaktadır. Alt uç sınır posteriorda ise 10. torakal vertebra seviyesine kadar uzanmaktadır.

İnspirasyon ve ekspirasyona yardımcı olan bazı kaslar vardır, bunlar arasında diyafram ve interkostal kaslar bulunur. Sternokleidomastoid ve skalen kaslar, hastanın solunum sıkıntısı veya yetmezliği durumunda yardımcı solunum için kullanılır. Kaslar, toraks içinde negatif bir basınç oluşturmaya yardımcı olur; burada akciğerin basıncı atmosfer basıncından daha düşüktür ve bu, akciğerlerin dolumunu kolaylaştırmak için inspirasyona yardımcı olur. Ayrıca, kaslar, toraks içinde akciğer basıncının atmosfer basıncından daha yüksek olduğu pozitif bir basınç oluşturmada da yardımcı olur; bu, ekspirasyonu kolaylaştırmak ve akciğerleri boşaltmak için kullanılır.

Trakea bifurkasyon hizasında sağ ve sol ana bronşa ayrılır. Sağ ana bronş sola kıyasla daha geniştir. Sağ ana bronş daha vertikal seyir göstererek akciğere girer. Ancak sol ana bronş daha inferolateral seyir gösterir.

Her iki akciğer, loblara ayrılmıştır ve bu loblar pulmoner alveolleri içeren küçük lobüllere bölünmüştür. Her bir lob, hilum pulmonis olarak adlandırılan dikey bir yarığa doğru

yönlendirilen bir bronkopulmoner segment tarafından sınırlanır. Bu segmentler, akciğer dış yüzeyine doğru uzanırken, iç yüzeyde visceral pleura ile çevrelenir. Her segmental bronşun yanında, akciğer segmentine gelen bir arter dalı ve sinirler bulunur. Bu yapılar, her bir segmentin bağımsız olarak çalışmasını ve gerektiğinde cerrahi olarak izole edilmesini mümkün kılar.

Sağ akciğer on segmente ayrılır. Sağ akciğer üst ve orta lob arasında horizontal fissür yer alır. Sağ akciğer orta ve alt lob arasında oblik fissür yer alır. Sağ üst lobda üç segment bulunur (apikal, anterior ve posterior), sağ orta lobda iki segment bulunur (medial ve lateral) ve sağ alt lobda beş segment bulunur (üst, medial, anterior, lateral ve posterior).

Sol tarafta ise loba göre sekiz ila dokuz segment bulunur. Oblik fissür sol akciğeri üst ve alt lob arasında yer alır. Genel olarak, sol üst lobda dört segment bulunur (anterior, apikoposterior, inferior ve superior lingula) ve sol alt lobda dört veya beş segment bulunur (lateral, anteromedial, superior ve posterior).

Akciğerlerin lenfatik drenajı superfisyel ve derin lenfatik pleksus ile sağlanır. Visseral plevra ile akciğer arasında superfisyel lenfatik pleksus yerleşim gösterir ve visseral plevra ile akciğerin lenfatik drenajını sağlar. Pleksusun lenfatikleri akciğer hilusunda yerleşen bronkopulmoner lenf nodlarına drene olur[4].

2.2.2 Akciğerin Vasküler Anatomisi

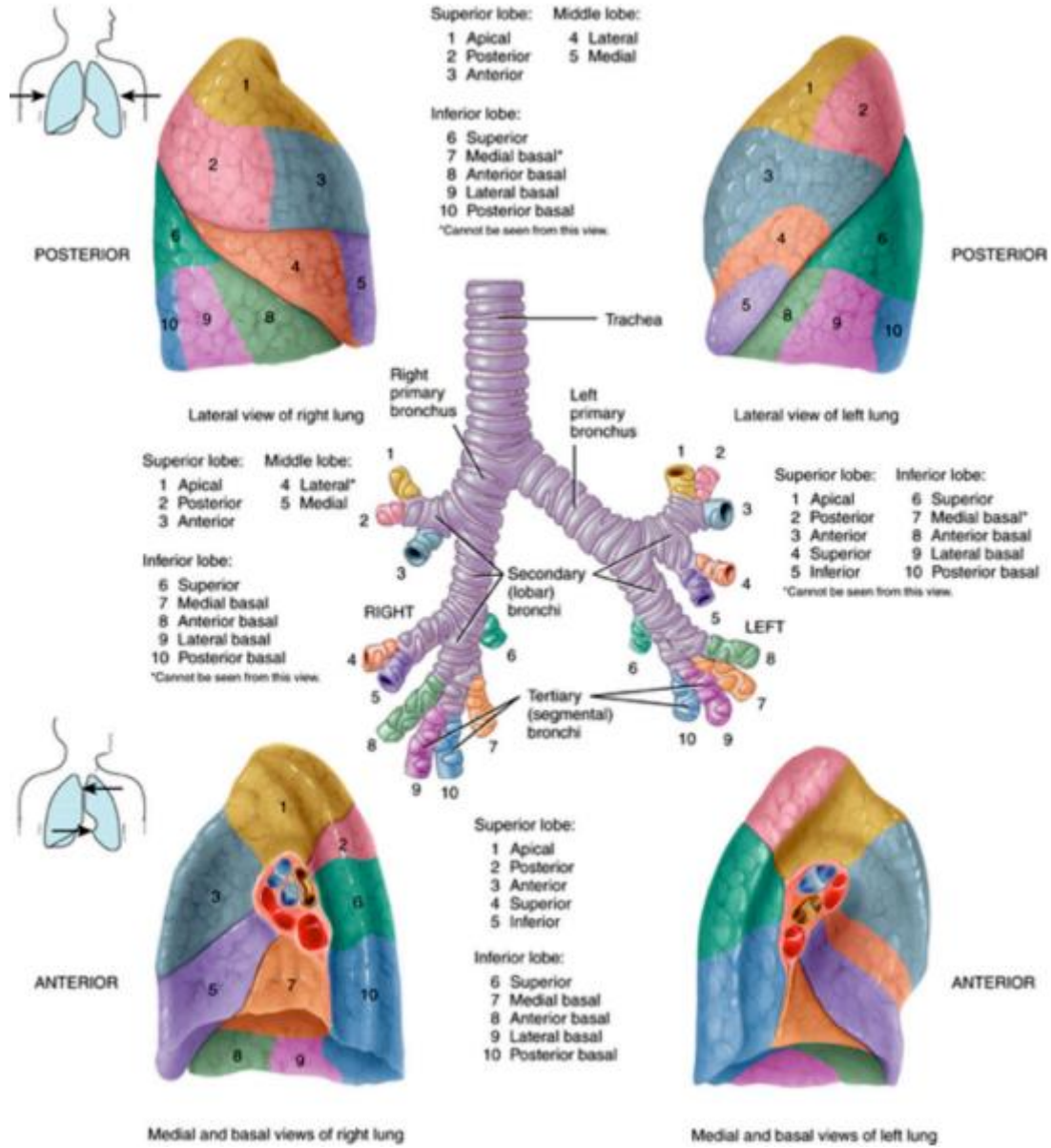
Akciğerler, iki ayrı sistem olan pulmoner ve bronşiyal arterlerden oluşan kompleks bir yapıya sahiptir. Pulmoner sistem, pulmoner arterler, pulmoner kapillerler ve pulmoner venlerden oluşur. Bu sistem, yüksek kompliance ve kapasiteye sahiptir. Aynı zamanda düşük basınç ve düşük sahiptir. Pulmoner sistem, yaklaşık olarak 5 ila 30 mmHg arasında değişen bir basınca sahiptir, bu da sistemik dolaşıma kıyasla çok daha düşük bir basınçtır. Bu düşük basınç, akciğerlerin temel işlevini gerçekleştirmesine yardımcı olur. Pulmoner sistem, kanın akciğerlerde oksijenle doyurulması ve karbondioksitin atılması için ideal bir ortam sağlar. Bu sayede vücudumuz, ihtiyaç duyduğu oksijeni alırken zararlı atık ürünleri de akciğerler yoluyla uzaklaştırır.

Pulmoner arter ve bronşiyal arterler arasındaki ana farklılık şudur : Pulmoner arter, kalpten alınan oksijenlenmemiş kanı akciğer parankimine taşır. Bronşiyal arterler aortadan çıkarak oksijenize kanı akciğer parankimine taşır.

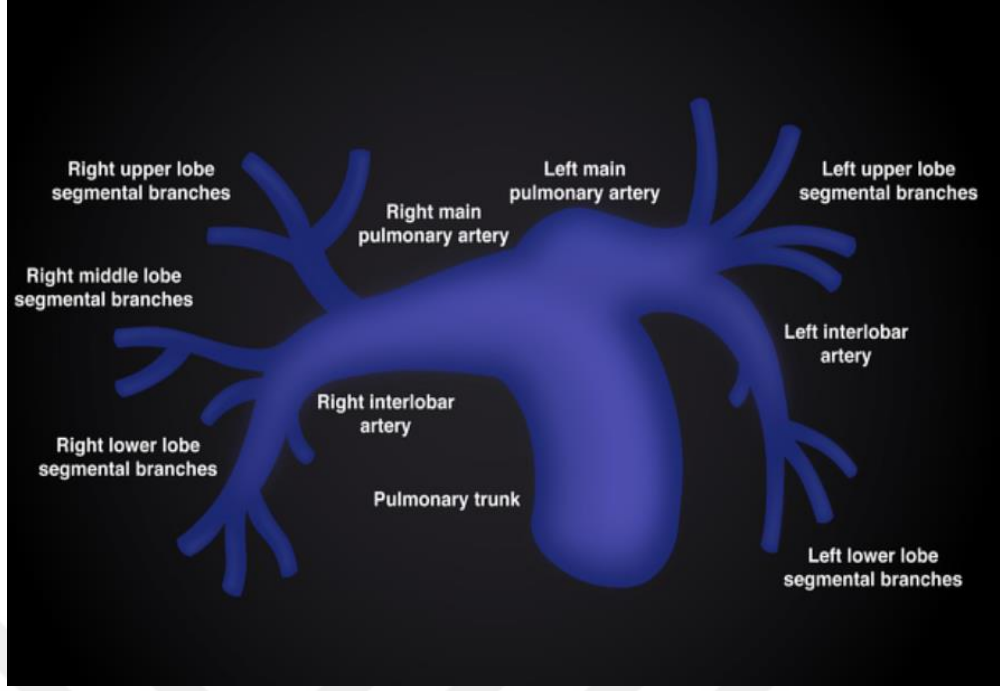
Ana pulmoner arter sağ ventrikülden çıkar. Seyri sırasında şu şekilde dallanma gösterir : Sol ana pulmoner arter ve sağ ana pulmoner arter. Pulmoner arter dalları genellikle bronş ağacının dalları boyunca uzanır ve sonunda alveollerin etrafındaki kapillerleri oluşturur. Pulmoner venler, alveol kapillerlerinden oksijenli kanı alır ve genellikle sol atriuma açılırlar.

Bronşiyal dolaşım, sistemik dolaşımın bir parçasıdır. Bronşial arterler genellikle inen aortadan köken alırlar[5].





Şekil 3. Akciğer yerleşimi ve segmenter anatomisi[5]



Şekil 4. Pulmoner arter ve dalları (<https://radiopaedia.org/cases/pulmonary-arteries-illustrations>)

2.3 Pulmoner Emboli

2.3.1 Tanım ve Epidemiyoloji

Pulmoner emboli, pulmoner arter ve/veya dallarında trombotik veya nontrombotik(hava, yağ, tümör hücreleri, septik materyal, amnios mayi vb.) tıkanıklığa bağlı bölgesel dolaşım bozukluğudur. Pulmoner emboli, derin ven trombozunun sık görülen bir komplikasyonudur. Pulmoner emboli, nekropsilerde en sık görülen ölüm nedenlerinden birisidir. Hastane ölümlerinin yaklaşık %15 'inden sorumludur. Pulmoner embolili olguların %10-15' inde enfarkt gelişmektedir. Bu durum, genellikle besleyici olan bronşiyal kan akımının sağlam kalmasına ve retrograd venöz doluma bağlıdır. Tedavi almayan olguların morbidite ve mortalite

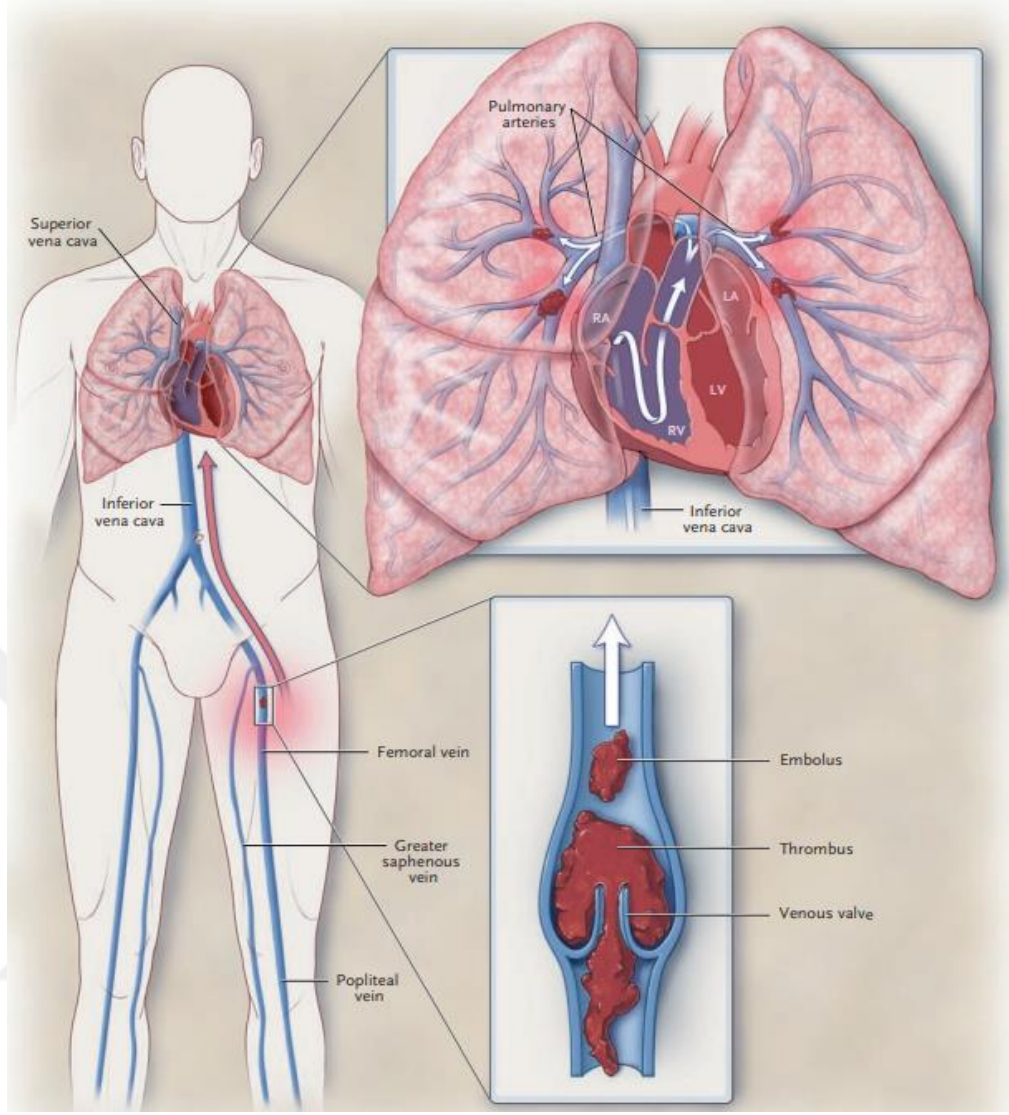
oranları yüksektir. Çoğu olguda klinik bulgular spesifik değildir. Bu nedenle tanısal gecikmeler yaşanabilmektedir[6].

Pulmoner emboli; akut miyokard infarktüsü ve inmeden sonra en sık görülen üçüncü kardiyovasküler hastalıktır. Amerika Birleşik Devletleri'nde yılda 500.000-600.000 kişinin PE geçirdiği öngörülmektedir. Bu hastalardan 50.000-200.000 arasında ölüm gerçekleştiği değerlendirilmektedir[7].

2.3.2 Etyoloji ve Patogenez

Pulmoner embolinin temel nedenlerinden biri, genellikle derin bacak venlerinde oluşan trombozlar olarak öne çıkar. Her iki hastalığın kökeninde yatan etyolojik faktörler benzerdir ve Virchow triadı olarak adlandırılan; staz , damar duvar hasarı ve koagülasyon bozuklukları, bu tablonun oluşmasında önemli etkindir. Pulmoner emboli ve derin ven trombozu arasındaki bu yakın ilişki, bu tür durumların erken teşhis ve tedavi edilmesi gerekliliğini göstermektedir[8].

Pulmoner embolideki patofizyolojik değişimlerde temel etken mekanik tıkanıklık sonrası trombositlerden açığa çıkan prostaglandin, katekolamin, serotonin ve histamin deşarkı sonrası damarlarda ve bronşlarda konstriktör etki oluşmasıdır. Sonrasında pulmoner vasküler direnç yükselir ve alveol ölü boşluk artışı ile gaz değişimi bozulur. Böylece hipoksemi şiddeti artar ve hiperventilasyon gelişir[9].



Şekil 5. Pulmoner emboli patofizyolojisi[10]

2.3.3 Risk Faktörleri

Pulmoner emboli, önceden bilinen risk faktörü olmasa dahi ortaya çıkabilen bir hastalıktır. Bununla birlikte, çoğu hastada venöz tromboemboli riskini artıran çeşitli durumlar bulunmaktadır. Bu nedenle, venöz tromboemboliyi tetikleyen risk faktörleri aynı zamanda pulmoner emboli için de risk faktörleri olarak kabul edilebilir. Risk faktörlerini tanımlamak, hangi hastalarda PE düşünülmesi gerektiğini ve hangilerinde dışlanması gerektiğini belirlemede önemlidir.

Virchow, 1856 yılında venöz tromboemboli nedenlerini üç ana başlık altında tanımladı ve bu hipotez günümüzde Virchow triadı olarak bilinir. Bu üç ana başlık, endotel hasarı,

hiperkoagölabilite, ve kan akımındaki yavaşlamayı içerir. Ancak günümüzde bu risk faktörlerinin daha ayrıntılı bir şekilde incelendiğini görüyoruz.

Son araştırmalar, venöz tromboemboli riskini artırabilen daha spesifik faktörleri tanımlamıştır. Örneğin; genetik yatkınlık faktörleri, hormonal değişiklikler (örneğin, doğum kontrol hapları veya hamilelik), kanser, cerrahi müdahaleler, uzun süreli immobilité, ağır obezite ve sigara içme gibi faktörler venöz tromboemboli riskini artırabilir.

Bu nedenle, hastaların özellikle bu risk faktörlerine sahip olup olmadığının değerlendirilmesi, venöz tromboemboli açısından potansiyel riskleri belirlemede kritik bir adımdır[11].



Tablo 1.ESC 2019 Pulmoner Emboli Kılavuzundan alınmıştır.

Yüksek derece risk faktörleri	Orta derece risk faktörleri	Düşük derece risk faktörleri
Alt ekstremitte kırıkları	Artroskopik diz operasyonu	>3 gün immobilizasyon
Kalp yetmezliği veya atriyal fibrilasyon nedeniyle son 3 ayda hastane yatışı	- Otoimmün hastalıklar - Kan transfüzyonu - Santral venöz kateter	- Diyabetes Mellitus - Hipertansiyon - Uzun yolculuklar
Kalça veya diz protezi	Kemoterapi ilaçları, kanserler	İleri yaş
Majör travma	Kalp yetmezliği, solunum yetmezliği	Laparoskopik ameliyat
Son 3 ayda geçirilmiş myokard infarktüsü	- Eritropoez ilaçları - Hormon tedavileri	Obezite, gebelik
Geçirilmiş venöz tromboz	İn vitro fertilizasyon	Variköz venler
Omurilik yaralanması	Oral kontraseptifler, postpartum dönem, yüzeysel ventrombozu	

2.3.4 Semptomlar, Skorlamalar ve Laboratuvar bulguları

2.3.4.1 Semptomlar

Pulmoner emboliye bağlı klinik belirtiler oldukça çeşitli olup, asemptomatik olgulardan kardiyojenik şok ve ani ölüme kadar farklılık gösterebilir. Özellikle belirti ve bulgular,

pulmoner emboliye özgü değildir. Diğer kardiyovasküler ve solunumsal hastalıklarla benzerlikler taşıyabilir. Bununla birlikte, semptomların şiddeti, emboli şiddeti ve eşlik eden diğer hastalıklara bağlı olarak farklılık gösterebilir.

Hastalarda derin ven trombozu kaynaklı olarak genellikle tek bacakta ağrı, şişlik, kızarıklık, hassasiyet, ısı artışı, bacak venlerinde belirginleşme ve Homans bulgusu pozitifliği gibi belirtiler gözlemlenebilir[12].

Pulmoner emboli hastalarında en sık karşılaşılan semptomlar arasında nefes darlığı, göğüs ağrısı ve senkop bulunur. Göğüs ağrısı genellikle distal emboliye bağlı olarak plevral inflamasyon ve pulmoner infarkt nedeniyle ortaya çıkabilir ve bu ağrı, plörotik bir tarzda veya kardiyak ağrısını hatırlatan bir şekilde substernal bölgede hissedilebilir. Öksürük ve hemoptizi gibi semptomlar daha az sıklıkla görülebilir.

Masif pulmoner emboli gelişen hastalarda kardiyak output azalması nedeniyle senkop riski artabilir. Senkop yaşayan hastalarda daha yüksek mortalite oranlarının tespit edilmiştir.

Hastalarda semptomlara ek olarak, takipne, taşikardi, hipotansiyon ve ateş de gözlemlenebilir. Özellikle plevral inflamasyon ve vücudun inflamasyona karşı cevabı olarak ateş görülebilir. Masif pulmoner emboli durumunda ise hipotansiyon, şok ve kardiyak arrest gibi ciddi komplikasyonlar gelişebilir[13].

Skorlamalar

Pulmoner emboli tanısının zor olması nedeniyle klinik semptomlar, bulgular ve hastanın özgeçmişi temel alınarak klinik olasılık skorları kullanılır. Bu skorlar, basit, anlaşılır ve net sorulardan oluşurlar ve sağlık hekimlere zaman kazandırır. Klinik olasılık skorlamaları, gereksiz ileri tetkikleri azaltmada önemli bir rol oynar.

En sık kullanılan iki skarlama sistemi, Wells ve Geneva skarlama sistemleridir. Bu skorlar, hastanın semptomları, özgeçmişi ve klinik bulgularına dayalı olarak pulmoner emboli olasılığını değerlendirmeye yardımcı olur. Wells skoru, özellikle D-dimer testi gerekliliğini belirlemede yaygın olarak kullanılırken, Geneva skoru da benzer bir amaçla kullanılır.

Bu skorlamalar, hekimlere daha kesin bir yol haritası sunar ve hangi hastaların ileri tetkiklere ihtiyaç duyduğunu belirlemede yardımcı olur. Bu nedenle, pulmoner emboli şüphesi taşıyan hastaların daha hızlı ve etkili bir şekilde değerlendirilmesine katkıda bulunurlar[14].

Tablo 2. Wells' klinik skorlama sistemi[14]

• DVT semptomları	3 puan
• Alternatif tanı düşünülmemesi	3 puan
• Taşikardi	1.5 puan
• Son 1 ayda geçirilmiş cerrahi veya immobilizasyon	1.5 puan
• Geçirilmiş PE/DVT öyküsü	1.5 puan
• Aktif malignite	1 puan
• Hemoptizi	1 puan
• Toplam puan ; 0-1 puan: Düşük risk 2-6 puan: Orta risk >6 puan: Yüksek risk	

Wells' skorlaması harici en yaygın kullanılan klinik skorlama sistemi ise, Geneva skorlama sistemidir. Bu skorlama sisteminde Wells' skorlamasında yer alan alternatif tanı düşünülmemesinin klinisyene olan bağlılığı değerlendirilerek çıkarılmıştır. Bunun yerine yaş kriteri eklenmiştir[15].

Tablo 3.Modifiye Geneva skorlama sistemi[15]

• >65 yaş	1 puan
• 1 ay içinde geçirilmiş cerrahi/alt ekstremite kırığı	2 puan
• Aktif malignite	2 puan
• Hemoptizi	2 puan
• Geçirilmiş DVT/PE öyküsü	3 puan
• Tek taraflı alt ekstremite ağrısı	3 puan
• Tek taraflı bacakta ödem	4 puan
• Nabız: 75-94/dk	3 puan
• Nabız>95/dk	5 puan
Toplam puan; 0-3 puan: Düşük risk 4-10 puan: Orta risk >10 puan: Yüksek risk	

2.3.4.2 Laboratuvar Bulguları

D-Dimer

Trombotik süreçler başladıktan sonra koagülasyon ve karşıt mekanizma olarak fibrinolizis kaskadları aktiflenmektedir. Bu nedenle D-Dimer düzeyleri trombotik süreçlerde karşıt mekanizma olarak başlayan fibrinolizis aktivitesi sonucunda yükselmektedir. D-Dimer düzeyinin normal sınırlarda olmasının pulmoner emboli tanısında negatif prediktif değeri yüksektir.

Laktat

Dokulardaki oksijenizasyonun azalması sonucu oluşan metabolik üründür. Ayrıca son yıllarda organ yetmezliğinin belirteci olarak kullanımı artmıştır. Pulmoner emboli haricinde

travma, sepsis, şok vb. birçok durumda da laktat artışı izlenebilmektedir. Pulmoner emboli tanılı hastalarda laktat yüksekliği eşlik edenlerde, laktat düzeyi normal olan hastalara kıyasla mortalitede artış izlenmiştir.

Kardiyak markerlar

Pulmoner embolinin trombotik yükü fazla hasta grubunda, geriye doğru basınç artışı nedeniyle sağ ventrikül duvarında gerilim artar. Buna sekonder olarak kardiyak markerlarda (troponin, proBNP vs.) artış izlenebilmektedir. Kardiyak markerlarda artış olan hastalarda, marker artışı olmayan hastalara kıyasla mortalitede artış izlenmektedir[16].

EKG ve Ekokardiyografi

Pulmoner emboli tanısında EKG bulguları spesifik değildir. Sağ kalp yüklenme bulguları gelişmeye başlaması itibarıyla sağ derivasyonlarda bazı değişiklikler ve kalpte aritmi gelişebilmektedir. Sağ derivasyonlardan V1 de QR dalgası, ST çökmesi, sol derivasyonlardan V5-V6 da karşıt olarak derin S dalgası, V1-aVR-D3 derivasyonlarında ST elevasyonu ve S1Q3T3 paterni izlenebilmektedir.

Ekokardiyografi ile pulmoner emboli tanısı konulabilmekle birlikte, alternatif kardiyak patolojileri de dışlayabilmektedir. Ulaşımı kolay olduğu için klinisyenlerce sıklıkla tercih edilmektedir. Ekokardiyografide sağ ventrikül dilatasyonu, sağ kalpte trombüs, pulmoner hipertansiyon ve sağ ventrikül serbest duvar hareketlerinde bozulma gibi bulgulara rastlanılabilmektedir. Klinik olarak anstabil hastalarda kullanımı önerilmektedir. Pozitif prediktif değeri yüksektir ama negatif prediktif değeri düşüktür. Bu nedenle ekokardiyografinin normal olması, pulmoner emboli tanısını net olarak dışlayamaz[17].

2.3.5 Tanısal Görüntülemede Kullanılan Modaliteler

2.3.5.1 Akciğer Grafisi

Kardiyopulmoner hastalık öyküsü bulunmayan pulmoner emboli tanılı hastaların büyük bir kısmında akciğer grafisi normaldir. Akciğer grafisi bulguları tanı için nonspesifiktir. Bunlar : Atelektazi, parankimal opasite artışları, plevral sıvı, plevra tabanlı opasite artışı, azalmış

pulmoner vaskülarite, santram pulmoner arterlerde genişleme, kardiyomegali, bölgesel oligemi, pulmoner ödemdir[18].

2.3.5.2 Ultrasonografi

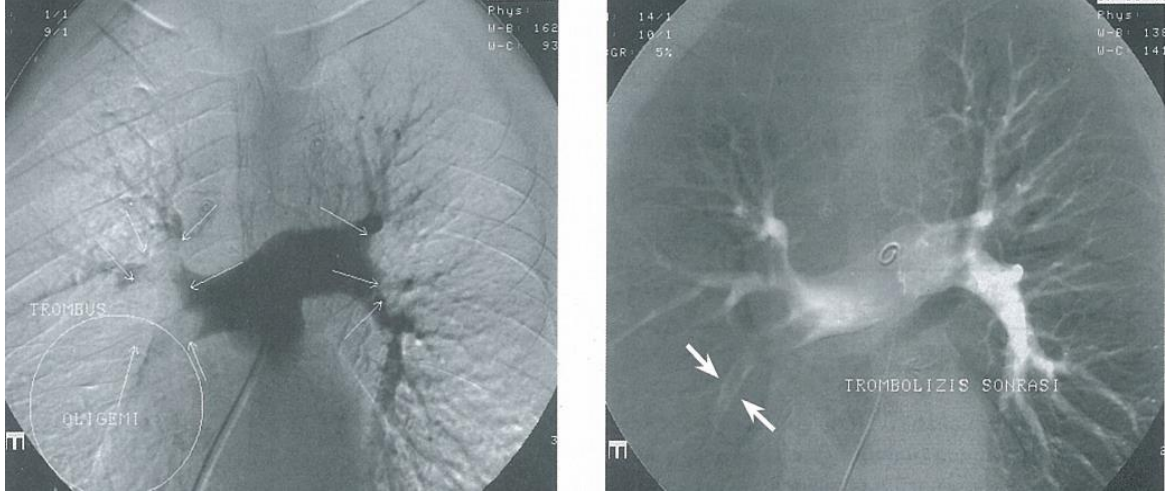
Pulmoner emboli olgularında kaynak genellikle bacaklardaki derin ven trombozlarıdır ve doppler ultrasonografinin ile akut derin ven trombozu saptamadaki duyarlılığı %95' e, özgüllüğü ise %98' e ulaşmaktadır. Yalancı negatif sonuçların nedenleri ise, trombüsün çok distalde olması, bacak venlerindeki duplikasyon veya pelvik alan içerisinde olmasıdır[6].

2.3.5.3 BT venografi

Pulmoner emboli için yapılan pulmoner bt anjiyografi tetkikinden sonra aynı seansta yapılan alt ekstremité taramasıdır. Hastaya pulmoner emboli taraması için verilen kontrastın başlangıcından 3 dakika sonra, diz altından diyaframa kadar olan kesimi multi dedektör bt ile hızla taranarak görüntüler elde edilir. Proksimal alt ekstremité ve pelvik venlerdeki trombüsün saptanmasında yüksek duyarlılığa sahiptir[6].

2.3.5.4 Pulmoner anjiyografi

Kateter anjiyografisi pulmoner emboli tanısında %98-99 duyarlılık oranı ile altın standardı sağlamaktadır. Akut olgularda hem tanı hem de tedavi amacı ile doğrudan uygulanabilir. Pulmoner anjiyografinin diğer endikasyonları ise pulmoner arteriovenöz malformasyonlar ve psödoanevrizmanın tanı ve tedavisidir. Akut emboli anjiyografisinde intraluminal dolum defekti görülür. Kontrast maddenin emboli materyali çevresinden geçmesi ile tren rayı benzeri görünüm oluşur. Emboli materyalinin lümeni tam tıkadığı durumlarda ise arter içerisindeki kontrast maddede ani sonlanım görülür ve damarın distali opasifiye olmaz[6].



Şekil 6. Pulmoner embolide pulmoner dijital substraction anjiyografi. Soldaki görüntü sağ akciğer alt lobu besleyen arterin başlangıcında trombüse bağlı olarak kontrast madde geçişinin ani sonlanımı. Sağdaki görüntü ise lümeni tam tıkamayan trombüs etrafından geçen kontrast maddenin tren rayı benzeri görüntü oluşturması[6].

2.3.5.5 Ventilasyon/perfüzyon sintigrafisi

Klinisyene emboli tanısı için değerli bilgiler sağlamaktadır. Akciğer perfüzyonu doku düzeyinde değerlendirmeye yarar ve intravenöz olarak teknesyum-99m işaretli albümin enjeksiyonu ile görüntüler elde edilir. Normal ventile olan kısımda segmental perfüzyon defekti bulunması pulmoner emboli şüphesi yüksek anlamını taşımaktadır. Normal perfüzyon durumunda pulmoner emboli tanısı yüksek doğrulukla dışlanabilmektedir[19].

2.3.5.6 Manyetik Rezonans Görüntüleme

Pulmoner arterlerdeki trombüsü anjiyografik çekimler ile gösterebilen bir diğer modalitedir. En önemli kullanım alanı iyonize radyasyon kullanılmayan gebelerdeki pulmoner emboli şüphesidir. En önemli kısıtlayıcı durumu ise hareket artefaktlarının yoğunluğudur[20].

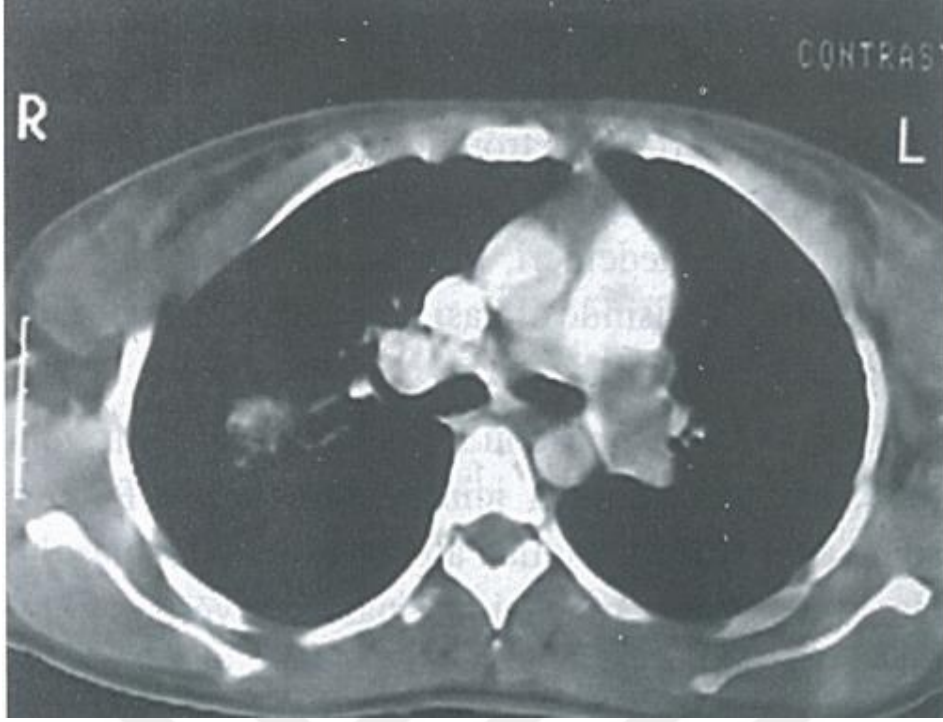
2.3.5.7 Multi Dedektör Bilgisayarlı Tomografi

Büyük arterleri tutan emboli, diseksiyon, anevrizma vb. patolojilerin tanısında temel olarak kullanılan tanısal yöntem BT anjiyografi tetkikidir. En iyi sonuçlar multi dedektör BT anjiyografi tetkikleri ile en hızlı şekilde alınabilmektedir. Tüm akciğer ince kesitler ile taranır. Embolinin BT bulgusu damarlarda dolum defekti veya distali seçilemeyen damarlar halinde görülebilmektedir. BT tetkiki ile emboliye ek olarak akciğer parankimi, mediasten, plevra ve kalp değerlendirmesi de yapılabilir. Multi dedektör BT' nin pulmoner emboli tanısı koymada etkinliği ventilasyon/perfüzyon sintigrafiye kıyasla daha yüksektir. Ventilasyon/perfüzyon sintigrafisi gibi dört farklı sonuç vermediği, kolay ulaşılabilirliği, ve ekartasyon tanılarında daha iyi sonuçlar verdiği için pulmoner emboli tanısında ana görüntüleme yöntemidir. PIOPED II çalışmasında pulmoner emboli tanısında BT anjiyografinin duyarlılığı %83, özgüllüğü %96, pozitif prediktif değeri %96 olarak tespit edilmiştir[13].

Pulmoner BT anjiyografi tanısı için BT' nin dedektör sayısı ne kadar yükselirse segmenter ve subsegmenter emboli saptama duyarlılığı artmaktadır. Klinik olarak pulmoner emboli ihtimali düşük olduğu değerlendirilen hastalarda , pulmoner BT anjiyografi tetkikinin negatif gelmesi ile pulmoner emboli dışlama özgüllüğü yüksek değerlendirilmiştir[21].

Pulmoner BT anjiyografinin yetersiz kalabileceği durumlar : Hastanın hareketsiz durmaması, obezite, metalik artefaktlar, kalp debisindeki değişikliklere bağlı olarak pulmoner arterde optimal kontrast dolumu sağlanamaması[22].

İyotlu kontrast allerjisi veya renal yetmezliği olan hastalarda BT anjiyografi rölatif kontrendike olabilir ve fayda zarar gözetilerek çekim planlanabilir[23].



Şekil 7. Sol ana pulmoner arterde emboli[6].



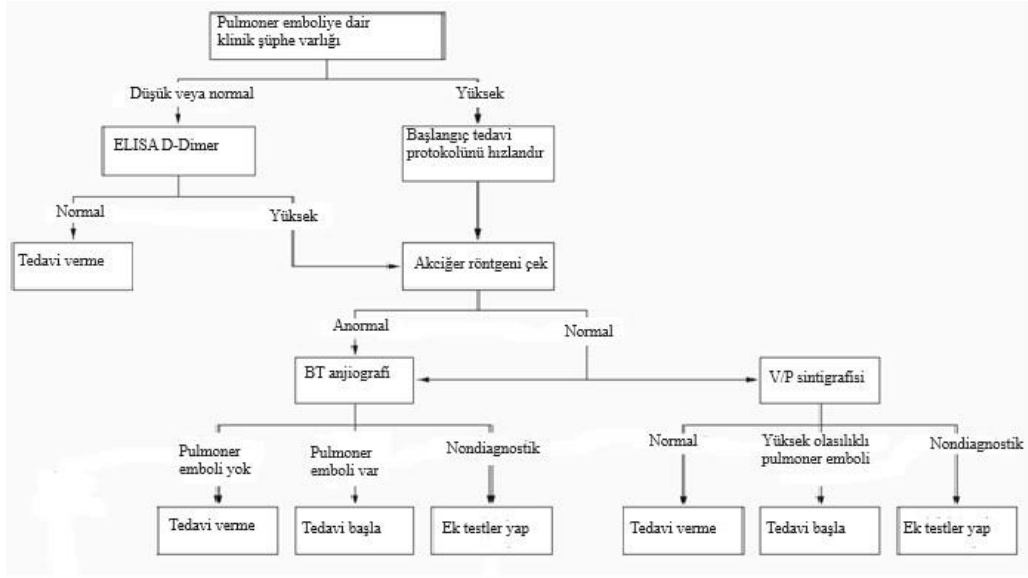
Şekil 8. Pulmoner embolili hastada akciğer enfarktı. Sağ akciğer alt lob superiorda plevra tabanlı üçgen şekilli konsolide alan.

Tablo 4. Pulmoner emboli tanısında kullanımı yaygın testlerin artı ve eksileri[11]

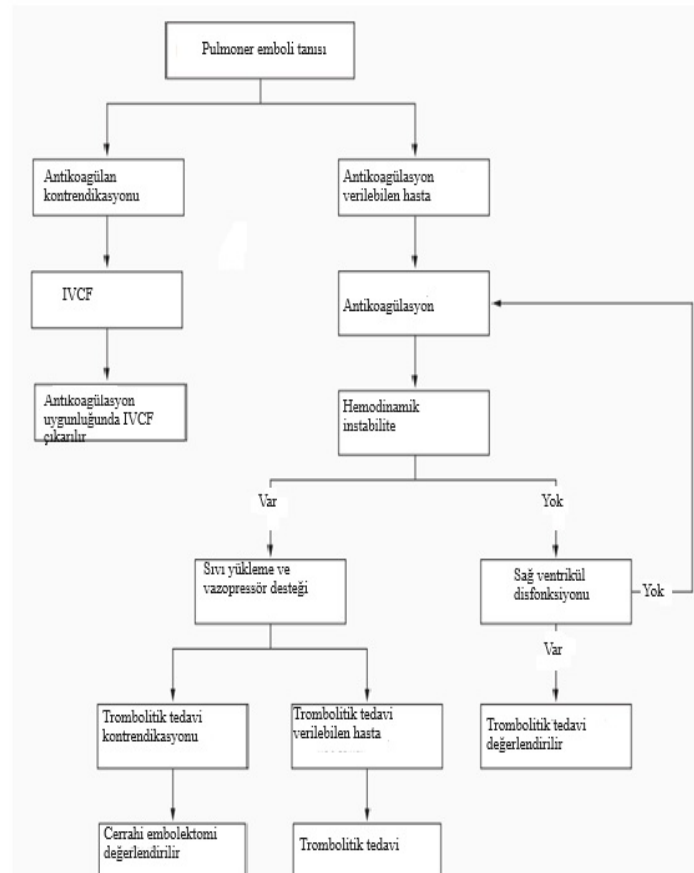
	Güçlü Yanları	Zayıf Yanları	Radyasyon durumu
BTPA	• Çoğu merkezde kolay erişilebilir • Yüksek doğrulukta tanı • Alternatif tanımlar için de imkan sağlar • Kısa sürede uygulanır	• Radyasyon • İyotlu kontrast madde • Kolay ulaşılabilir olması nedeniyle tekrarlayan çekimler • Subsegmental emboli tanısında görece zayıf olması	• Etkin radyasyon dozu 3-10 mSv • Genç kadınlarda meme dokusu özelinde yüksek radyasyon maruziyeti
V/P Sintigrafisi	• Hemen hemen kontraendikasyonu yoktur • Nondiagnostik test < %3 • Yüksek doğrulukta tanı koyma	• Değişken teknikler • Değişken tanısal kriterler • PE dışlayıcı tanılarda yetersiz • Prospektif incelemeler için uygun değil	• Radyasyon maruziyeti BTPA' dan düşük olup, etkin dozu yaklaşık 2 mSv
İnvaziv Pulmoner Anjiyografi	• Tarihsel altın standart	• İnvaziv • Çoğu merkezde yok	• Yüksek radyasyon maruziyeti 10-20 mSv

2.3.5.8 Pulmoner Emboli Tedavi Seçenekleri

- **Antikoagölasyon :** Hem mortaliteyi hem de pulmoner emboli tekrarlama sıklığını azaltır. Unfraksiyone Heparin, düşük molekül ağırlıklı Heparin, K vitamini antagonistleri ve yeni nesil oral antikoagülanlar kullanılabilmektedir[24, 25].
- **Trombolitik Tedavi :** Kateter aracılığı ile trombolitik madde enjeksiyonu yapılmaktadır. Mortaliteyi belirgin olarak azalttığı klinik çalışmalarda gösterilmiştir. Şok ve inatçı hipotansiyon durumunda mutlak endikedir. Kullanılan trombolitik ajanlar : Streptokinaz, ürokinaz, anistreplaz ve rekombinant doku plazminojen aktivatörü. Plazminojeni plazmine dönüştürerek, fibrin yıkımını başlatırlar. Trombolitik tedavinin kesin kontrendikasyon olduğu durumlar : Aktif kanama, geçirilmiş intrakranyal hemoraji, intrakranyal vasküler malformasyonlar, kraniospinal cerrahi, son 3 ayda geçirilmiş iskemik inme, kontrolsüz ciddi hipertansiyon, son 1 ayda geçirilmiş intestinal kanama ve aort diseksiyonu[26].
- **İnvaziv Pulmoner Embolektomi :** Masif pulmoner emboli olgularında, kontraendikasyon nedeniyle sistemik trombolitik tedavi yapılamıyorsa veya trombolitik tedaviye yanıt alınamamışsa cerrahi veya invaziv pulmoner embolektomi endikasyonu vardır. İnvaziv pulmoner embolektomi, masif ve seçilmiş submasif pulmoner emboli olgularında pigtail veya balon kateter ile trombus fragmentasyonu, hidrodinamik kateter ile reolitik trombektomi, aspirasyon kateterleri ile trombektomi ve rotasyonel trombektomi gibi farklı teknikler ile yapılabilmektedir. Ayrıca trombolitik madde lokal olarak uygulanabilmektedir[27].
- **İnferior Vena Cava Filtreleri :** Trombolitik ve antikoagülan tedavinin kontraendikasyon olduğu ve/veya tekrarlayan pulmoner emboli olgularında kullanılmaktadır. Mortaliteyi ve pulmoner emboli rekürrensini azaltmaktadır ama zamanla filtre tıkanabilmektedir. Bu nedenle kontraendikasyon olmaması halinde antikoagölasyon tedaviye mutlaka devam edilmelidir[28].



Şekil 9. Akut pulmoner emboli şüphesine yaklaşım şeması[10]



Şekil 10. Pulmoner emboli tanısı konulan hastalarda tedavi akış şeması[10]

2.3.6 Yapay Zeka

2.3.6.1 Genel bilgiler

Yapay zeka teknolojilerinin son dönemlerde göstermiş olduğu gelişmeler, radyoloji alanında da karşılık bulmuş ve bu konu üzerinde çalışmalar artırılmıştır. Makine öğrenmesi ve alt dalı olan derin öğrenme temelli yaklaşımlar mevcuttur. Derin öğrenmenin birden fazla gizli katmanı olduğundan, sonuçların nasıl elde olunduğuna dair tam bir bilgiye sahip değiliz. Buna da yapay zeka teknolojilerinin siyah kutu sorunu denilmektedir.

Makine öğrenmesi, eldeki veri setinden farklı istatistiki yöntemler ile öğrenme sonucunda daha önce tanımlanmamış veri setleri halinde yorum yapabilir hale gelmesine denilmektedir.

Derin öğrenme, makine öğrenmesinin alt dalı olup, eldeki veri setinden öngörü oluştururken yapay sinir ağları denilen çok bileşenli ve adeta insan beynindeki nöron sistemlerini taklit ederek bilgileri işlemeye ve yorum oluşturabilmeye denilmektedir[29].

2.3.6.2 Yorumlanabilirlik Yaklaşımları

Yorumlanabilirlik yaklaşımları, bir modelin iç bilgi ve yapısına ihtiyaç duyup duymadıklarına göre kategorize edilebilir. Bu aynı zamanda bir modelin şeffaflık seviyesi veya iç bilgilere erişim düzeyi olarak da adlandırılır. Modelin iç bilgilerine erişim gerektiren yorumlanabilirlik yöntemleri "beyaz kutu" yöntemleri olarak adlandırılır. Örneğin, kıvrımlı sinir ağlarında, bir radyolog, ağın belirli bir katmanına olan gradyan akışını kullanarak, bir radyografik görüntüye bindirilebilecek bir harita elde edebilir. Bu harita, belirli bir sınıf veya hastalığı tahmin etmek için hangi anatomik bölgelerin önemli olduğuna dair bilgi verir. "Siyah kutu" üzerinde çalışan yorumlanabilirlik yöntemleri, analiz edilen modelin iç bilgilerine erişim gerektirmez. Bunun yerine, bir modelin girişi ve çıkışı üzerinde doğrudan çalışır ve genellikle girişte yapılan değişikliklerin çıkışı nasıl etkilediğini analiz eder. Pratikte, siyah kutu modeller üzerinde çalışan yorumlanabilirlik yaklaşımları, iç erişimin sınırlı olduğu sistemlere daha kolay entegre edilebilir[30].

Global yorumlanabilirlik yöntemleri, bir modelin tahminlerini yönlendiren popülasyondaki ortak desenleri değerlendirmeyi amaçlar. Örneğin, bir modeli tıbbi görüntülerin tüm popülasyon üzerinde analiz eder ve verinin hangi desenlerinin modelin tahminleri için en önemli olduğunu tespit eder. Dolayısıyla yapay zeka çözümlerinin geliştirilmesi ve doğrulanması sırasında, popülasyondan elde edilen öğrenilmiş desenlerin mevcut alan bilgisiyle uyumlu olduğunu doğrulamak için kullanılmaktadır.

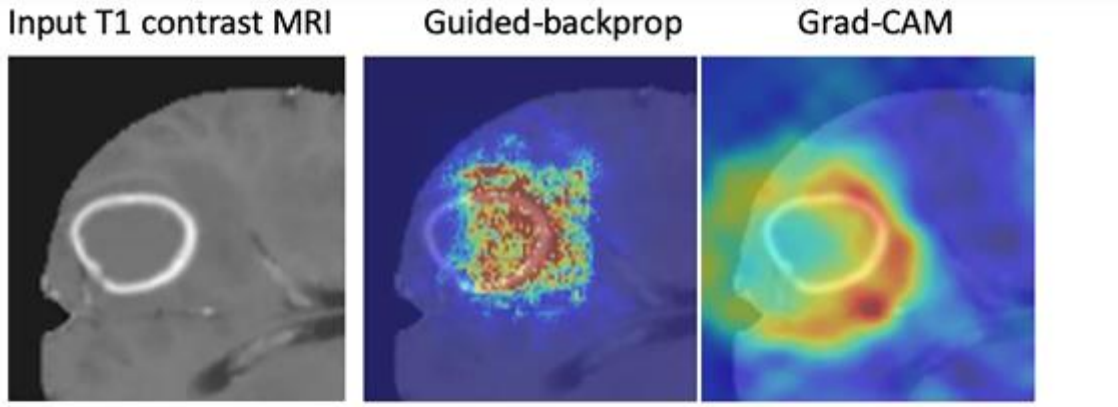
Yerel yorumlanabilirlik yöntemleri ise görüntü piksellerini tam bir görüntü hacmi üzerinden değerlendirerek, spesifik popülasyona özgü açıklamaları artırır[31].

2.3.6.3 Görselleştirme Teknikleri

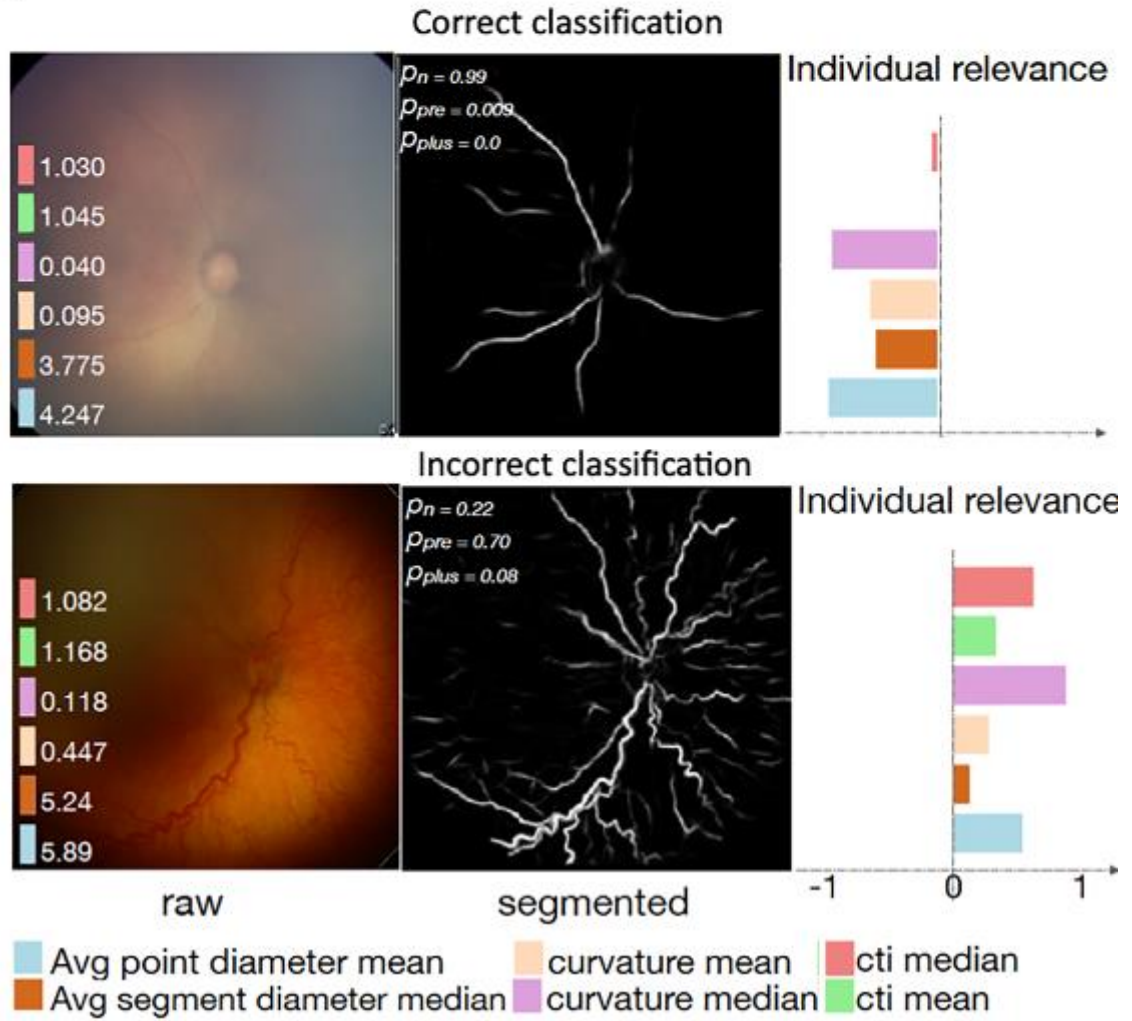
Görselleştirme teknikleri, makine öğrenme modellerinin davranışları hakkında bilgi sağlamak ve yorumlamak için güçlü araçlar sunar. Bir modelin çıktısına giriş özelliklerinin önemini görselleştirmek için temel yaklaşımlar, kara kutu modelleri için bağımlılığı göstermeyi amaçlayan kısmi bağımlılık grafikleri ve bireysel koşullu beklenti grafiklerini içerir.

Kısmi bağımlılık grafikleri ve bireysel koşullu beklenti grafikleri, bir tahmincinin değerini her seferinde bir tahmincinin değerini değiştirerek ve bir özelliğin popülasyon ortalaması veya bireysel katkısını nasıl değiştirdiğini raporlayarak bir makine öğrenme modelinin eğitim seti kullanılarak değerlendirilir. Kavramsal olarak, önemli bir özelliğin değeri değiştiğinde modelin tahminlerini etkilemesi beklenir. Özelliklerin önceden elde edilen bilgilere dayalı olduğu radyoloji uygulamalarında, kısmi bağımlılık grafikleri ve bireysel koşullu beklenti grafikleri, o özelliğin etkisini görselleştirmek ve temsil ettikleri önceden bilgiyi doğrulamak için kullanılabilir[32].

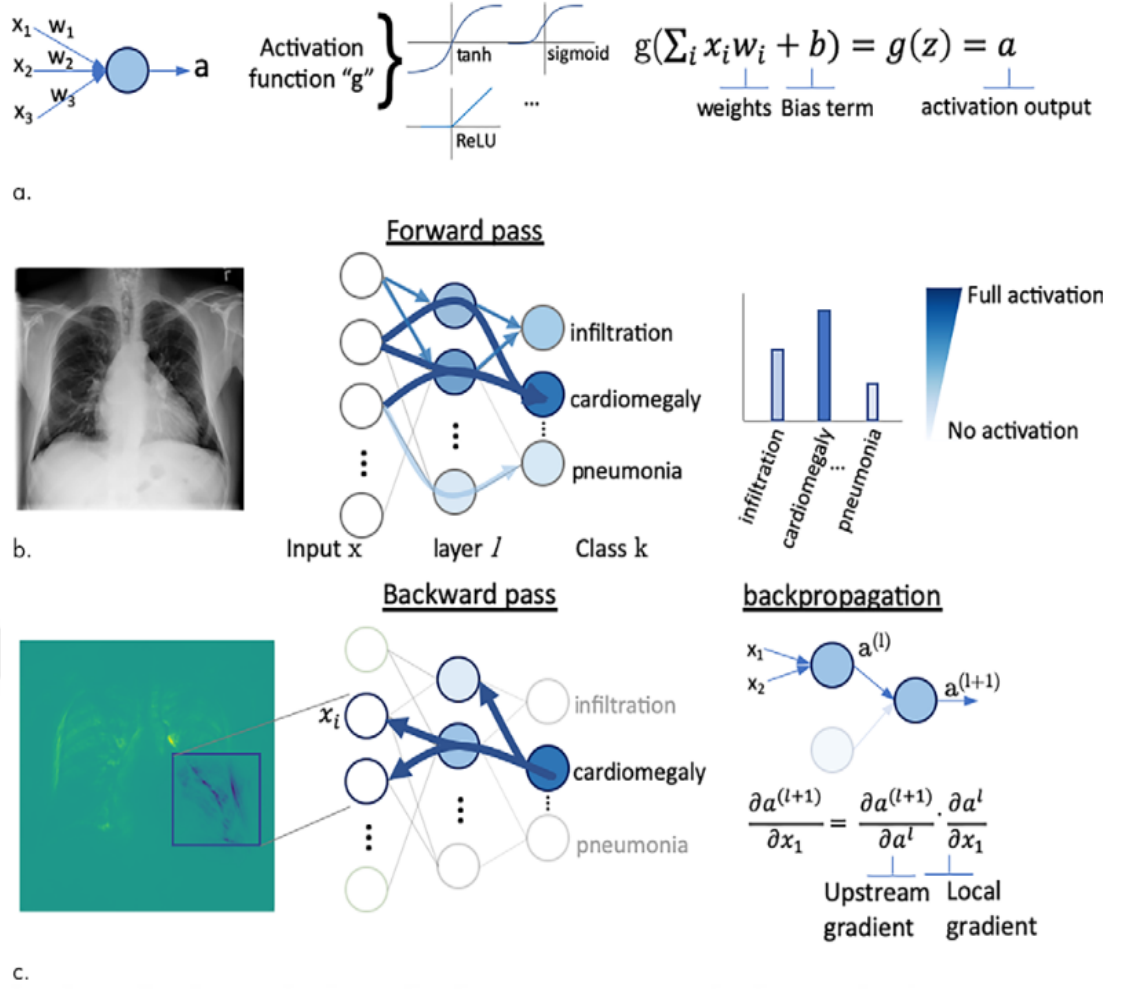
Bu yöntemlerin temel prensibi, tahminini yönlendiren bir görüntünün ilgili bölgelerini vurgulamaktır. Bu bölgelerin önemi ise, bir derin öğrenme modelinin çıkışından giriş görüntüsüne hesaplanan gradyentlerin akışını inceleyerek veya bir bölgenin etkisini analiz ederek elde edilir.



a.



Şekil 11. Medikal görüntülemelerde raporlama örnekleri. (a) Yönlendirilmiş geri yayılma ve gradyent ağırlıklı sınıfsal aktivasyon haritalama, derin öğrenme modelinin girdileri görüntüyü yüksek dereceli gliom olarak sınıflandırmıştır. Önemli pikseller kırmızı ile, daha az önemli pikseller mavi ile kodlanmıştır[33]. (b) Retina görüntülerinden seçilen vasküler dilatasyon, tortüözite vs. detaylandırmada kullanılan regresyon kavram vektörleri, derin konvolüsyonel sinir ağı tarafından analiz edilir[34].



Şekil 12. Gradyent temelli görüntülerin sınıflandırılması. (a) Temel konsept nöron aktivasyonudur. (b) Gradyent bazlı metodlar ileri ve geri geçişli sinyallerden oluşur. Bir görüntüye x girdisi verildiğinde, sınıf k , ağıın tüm katmanları boyunca ileri geçişle maksimum şekilde aktiflenir. Tüm pozitif aktivasyonlar, geri geçiş sinyalleri sırasında, sonradan kullanılmak üzere kaydedilir. Görüntüdeki piksellerin sınıf k 'ya katkısını görselleştirmek için, tüm aktivasyonlar incelenen sınıf k haricinde sıfır olarak ayarlanır. (c) Geri besleme, ağıın çıkışından girdisine kadar gradyentleri hesaplamak için zincir kuralını kullanır[35].

2.3.6.4 Veri madenciliği

Veri madenciliği, depolanmış olan veri setlerindeki örtüntüleri keşfetme işlemidir. Veri madenciliği modelleri sınıflandırma, regresyon, kümeleşme ve birliktelik başlıkları altında incelenmektedir. Bu modeller tahmin edici ve tanımlayıcı olmak üzere iki başlıkta toplanabilir.

Tahmin edici modellerde sonuçları belirli verilerin toplanmasından hareketle bir model geliştirilir ve bu modelden yola çıkılarak sonuçları henüz bilinmeyen veri gruplarının sonuçları tahmin edilebilmektedir. Tanımlayıcı modellerde ise mevcut verilerdeki örüntüler tanımlanmaktadır[36].

Veri madenciliği sürecinde sıralı şekilde; problem tanınır, veriler oluşturulur, model kurulur ve sağlama yapılır, model izlemesi yapılır.

Veri madenciliği denetimli ve denetimsiz olarak da iki ana başlıkta incelenebilir. Elde kesin bir örneklem grubu işliyorsak buna denetimli adı verilmektedir. Denetimli yöntemler mevcut veriden sonuç elde etmeye yarar. Denetimli yöntemler : Sinir ağları, K-ortalama kümeleme, Regresyon analizi, Karar ağaçları ve K yakın komşuluk[37].

Elde edilecek sonuç için belirli bir tanımlama yapılmamışsa veya örneklem homojen değilse buna denetimsiz adı verilmektedir. Denetimsiz yöntemler daha fazla veriyi keşfetmek için kullanılır ve sonraki modellemeler için fikir oluşturur. Denetimsiz yöntemler : Kademeli kümeleme ve kendi kendini organize edebilen haritalar.

Veri madenciliği yöntemlerini detaylandıracak olursak ;

- K yakın komşuluk : Geniş veritabanlarında yaygın kullanılan sınıflandırma yoludur. Öğrenme kümesindeki normal aralıkları belirleyerek, buna benzerleri hesaplanan K adet verinin ortalamasına göre sınıflandırılmasıdır.
- K ortalama kümeleme : N birim materyalin, K adet gruba bölünmesi ile elde olunur. Sınıf aralıkları heterojendir. Aynı kümedeki veriler birbirine benzer şekilde, farklı kümelerdeki veriler benzeşmeyecek şekilde gruplandırmada kullanılmaktadır.
- Regresyon analizi : Doğrusal ve doğrusal olmayan modelleme şeklinde alternatifleri vardır. Bağımsız değişkenlerin, bağımlı değişken değerini oluşturacak verileri barındıran değişkenler birleşimidir.
- Kendi kendini düzenleyen haritalar : K ortalama küme analizinin sınırlı versiyonudur. Veriler iki boyutlu düzlemde sınıflandırılır.
- Kademeli kümeleme : K ortalama küme analizindeki gibi sınıf aralıklarının heterojen olduğu durumlarda kullanılır. Ana farkları ise, kademeli kümelemede küme sayısının uygulayan kişiden bağımsız olarak gözlem değerlerinin farklarına göre direkt olarak oluşmasıdır.

- Karar ağaçları : Ağaç benzeri şekilde, her bir dalın ve yaprağın kalitatif, kantitatif, sürekli veya kesikli tüm değişkenler üzerinde uygulanabilmesidir.
- Sinir ağları : İnsan beyni model alınarak geliştirilmiştir. Veri setinin bir kısmı sinir ağına gönderildiğinde bir çıktı değer tahmini sunmaktadır. Çıkan değer ile gerçek değer benzer ise ek aktivite göstermez ama farklılık mevcutsa eldeki veri setleri ile tahmin kalitesini artırmaya çalışır[38, 39].

Radyoloji özelinde yapay zeka tekniklerinin uygulama sıklığı artış göstermekle birlikte, yapay zeka uygulamalarının bazı kısıtlılıkları olduğunu unutmamak gerekmektedir. Örnek verecek olursak, görüntülerden veri elde edilirken, verilerin homojen olmayışı (çekim tekniği, çekim protokolü vs.) hata payını artırmaktadır. Yapay zeka çalışmalarında başarı yüzdesini artırmak adına geniş veri setleri kullanılmalıdır[40].

3. MATERİYAL VE METHOD

3.1 Araştırma Yeri ve Zamanı

İstanbul Üniversitesi Radyoloji AB dalı tarafından planlanan bu retrospektif çalışmaya 01.01.2019-01.06.2023 tarihleri arasında pulmoner bt anjiyografi görüntüleri sistemde mevcut olan, 18 yaş ve üzeri, ideal çekim bulgularına sahip 1474 erişkin hasta dahil edilmiştir. Bu çalışmanın Etik Kurul değerlendirmesi 26/05/2023 tarihli 11 sayılı toplantıda 2023/962 dosya numarası ile onaylanmıştır.

3.2 Araştırma Evreni

Çalışma veri seti, İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Hastanesine 01.01.2019-01.06.2023 tarihleri arasında başvurmuş ve pulmoner emboli kuşkusu üzerine pulmoner bt anjiyografi tetkiki çekilmiş olan hastaların anonimleştirilmiş görüntülerini içeren bir veri tabanı kullanılarak oluşturulmuştur.

Çalışmaya alma kriterleri:

- 18 yaş ve üzeri hastalar
- Pulmoner bt anjiyografi tetkikinin ideal görüntülemesine sahip hastalar

Çalışmaya almama kriterleri :

- 18 yaş altı hastalar
- Pulmoner bt anjiyografi tetkikinin görüntüleme bulgularının ideal olmayışı

3.3 Araştırmada Veri Toplama Araçları ve Değerlendirilmesi

Tüm hastalara çekim öncesi bir miktar sıvı tüketmeleri söylenmiş olup, karaciğer ve böbrek fonksiyonlarının uygunluğuna çekim öncesinde bakılmıştır. Allerji öyküleri, kronik hastalıkları olup olmadığı, daha önce kontrastlı çekim yapıp yapılmadığı gibi sorular yöneltilerek onamları alınmıştır. Görüntülemeye Canon TSX-305A/5K model 640 slice 320 dedektörlü tomografi cihazı kullanılmıştır. Çekimlerde kesit kalınlığı 0.5-1 mm aralığındadır. Çekimde iyotlu kontrast maddeler kullanılmaktadır. 300 mg/ml içerikli iyotlu kontrast madde enjeksiyonu 4mL/sn şeklinde yapılır ve totalde 70-80 mL kullanımı takiben, 40 mL normal salin enjeksiyonu yapılmaktadır. ROİ pulmoner trunkusa yerleştirilmektedir. Çekim sınırlarında tüm akciğer segmentleri ve altta her iki diyafram yer almaktadır.

Araştırmaya 01.01.2019-01.06.2023 tarihleri arasında hastanemize başvuran ve pulmoner emboli kuşkusu üzerine pulmoner bt anjiyografi tetkiki elde olunan, görüntülemesi ideal çekim kriterlerine sahip olan 18 yaş ve üzeri hastalar dahil edilmiştir. İlgili veriler etik kurul onayından sonra hastane yazılım sisteminden istenerek, protokol numaraları elde olunan hastaların medikal verilerine yine hastane yazılım sistemi ve hastane arşivi üzerinden ulaşılmış ve veriler çalışmanın veri formlarına kaydedilmiştir.

Hastaların yaş ve cinsiyet bilgileri, tetkiklerin 20 yılı aşkın radyoloji tecrübesi mevcut olan Prof.Dr.Şükrü Mehmet Ertürk tarafından raporlanan pulmoner bt anjiyografi tetkik sonuçları çalışma veri formlarına kaydedilmiştir. Hastaların pulmoner bt anjiyografi sonucu raporları ile “automation platform” isimli yapay zeka programının verileri karşılaştırılmış ve bu programın pulmoner emboliyi saptamadaki sensitivite ve spesifitesi hesaplanmıştır.

Hastalara ait pulmoner bt anjiyografi görüntüleri hastanenin PACS sistemi üzerinden ince kesitler halinde toplanarak DICOM formatında kaydedilmiştir. “Canon Automation Platform” isimli yapay zeka programı PACS sistemi ile kapalı devre şekilde entegre edilerek, PACS üzerinden buraya yollanan hastalara yapay zeka otomatik bir şekilde emboli varsa çizerek, yoksa da emboli yoktur şeklinde PACS sistemimize rapor şeklinde dönüt vermiştir. Vasküler prob teknolojisi ile yapay zekanın ana pulmoner arter, sağ ve sol pulmoner arter ile bunların dallanmalarını multiplanar reformat görüntüler ile çizmekte ve taramaktadır.

Mevcut yapay zeka programına veri setlerini girerek öğrenme süreci ve hasta kaybı olmaksızın, doğrudan elde olunan tüm veri setlerinin raporlatılması sağlanmıştır. Bu program

emboli ile uyumlu değerlendirdiği alanları çember şeklinde çizimle vurgulayarak tanıda yardımcı olmaktadır.

3.4 Araştırma Yöntemi

Karşılaştırma yapılmadan önce standardizasyonu sağlamak adına pulmoner arterin radyolojik majör vasküler dallanmaları baz alınmıştır. Sağ akciğer tarafı için, sağ ana pulmoner arter, interlober arter, üst lob segment dalları, orta lob segment dalları ve alt lob segment dalları şeklinde olmak üzere beş ayrı başlık altında toplanmıştır. Sol akciğer tarafı için, sol ana pulmoner arter, interlober arter, üst lob segment dalları ve alt lob segment dalları şeklinde olmak üzere dört ayrı başlık altında toplanmıştır. Bunlara ek olarak ana pulmoner arter dallanmaları baz alındığında dördüncü ve sonrası için kabul ettiğimiz subsegmenter embolileri de sağ subsegmenter ve sol subsegmenter olmak üzere iki ayrı başlık altında toplanmıştır. Yaş ve cinsiyete ek olarak bakıldığına radyolojik raporlamada 11, yapay zekada 11 olmak üzere toplamda 24 ayrı başlıkta veriler toplanmıştır.

3.5 Araştırma İstatistiki alışması

Kategorik değişkenler sayı (yüzde), sayısal değişkenler ortalama $\pm$ standart sapma (SS) ile gösterilmiştir. Emboli tanısında yapay zekanın tanısıl performansı referans değer ile çapraz tablo oluşturularak değerlendirilmiştir. Performans ölçütü olarak ROC-AUC (“receiver operating characteristic–area under the curve”), doğruluk, duyarlılık, özgüllük, kesinlik ve F1 skoru kullanılmıştır. İstatistiksel analizler IBM SPSS Statistics for Windows, version 26 (IBM Corp., Armonk, N.Y., USA) ile yapılmıştır.

4. BULGULAR

4.1 TANIMLAYICI BULGULAR

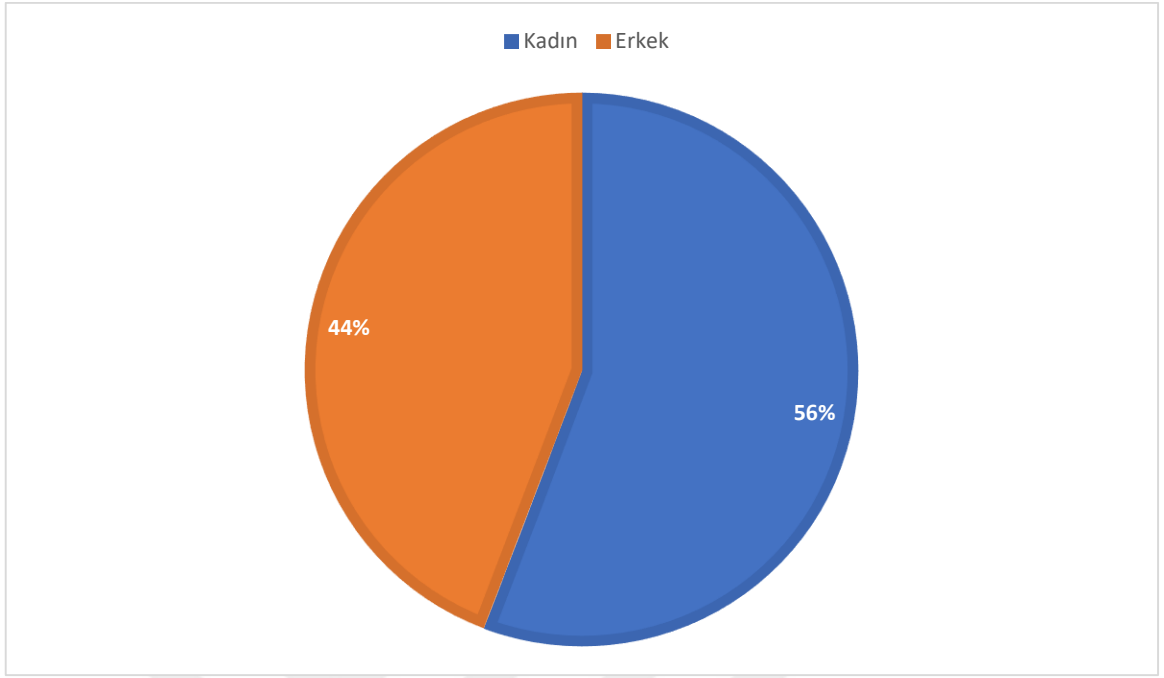
İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Hastanesi'ne 01.01.2019-01.06.2023 tarihleri arasında başvuran, pulmoner emboli kuşkusu üzerine pulmoner bt anjiyografi çekilen, görüntüleme bulguları ideal olan 1474 hastanın radyoloji raporu altın standart sayılarak, yapay zeka raporlaması ile karşılaştırılmıştır. Çalışmamıza 822 kadın(%55.8) ; 652(%44.2) erkek olmak üzere toplamda 1474 kişi katılmıştır. Yaşları 18-96 arasında dağılım göstermekte olup, ortalama yaş 59,7 (± 15.8) olarak hesaplanmıştır.

Çalışmamızda yer alan 1474 hastada, radyoloji tarafından toplamda 385(%26.1) hastaya en az bir parametresinde emboli var denilmiş ve 1089(%73.9) hastada hiçbir parametresinde emboli yok şeklinde raporlanmıştır. Emboli var denilen 385 hastanın 354(%91.9) tanesinde santral ve segmenter emboli var denilmiş ve 41(%8.1) tanesinde izole subsegmenter emboli raporlanmıştır.

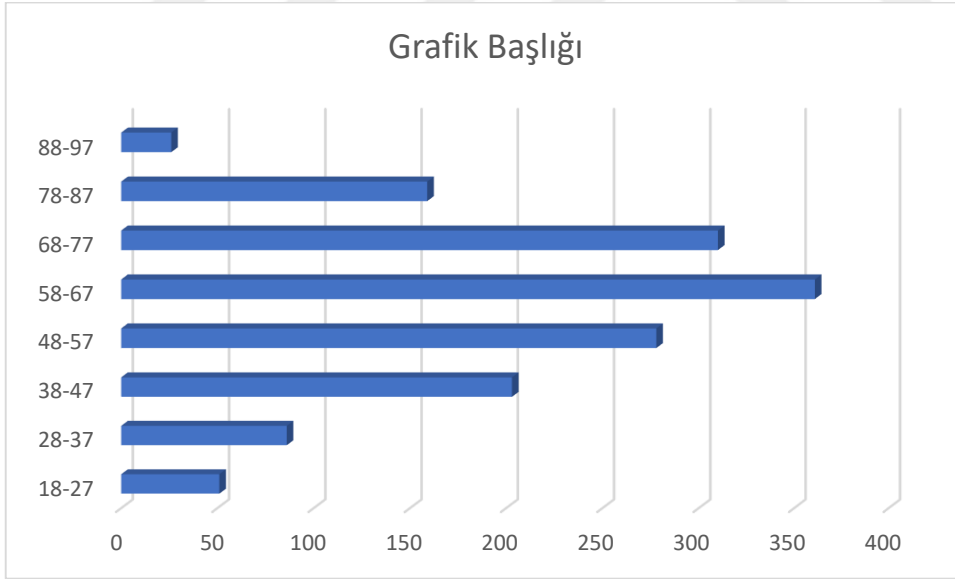
Çalışmamızda detaylı bir şekilde pulmoner vasküler dallanma parametreleri oluşturulmuş olup, sağ ana pulmoner arter, sağ interlober arter, sağ üst lob segment dalları, sağ orta lob segment dalları, sağ alt lob segment dalları, sol ana pulmoner arter, sol interlober arter, sol üst lob segment dalları, sol alt lob segment dalları, sağ subsegmenter dallar ve sol subsegmenter dallar olarak 11 parametre belirlenmiştir. Bu parametrelere radyolog ve yapay zeka özelinde ayrı ayrı bakılmıştır.

Bu bilgilendirmeyi takiben baktığımızda en az bir parametresinde pulmoner emboli var denilen toplam 385 hastanın toplam 2056 adet parametresinde radyoloji raporlamasında emboli tespit edilmiştir. Radyoloji raporlamalarında klinik bilgi ile verifiye şekilde izole subsegmenter emboli tespit edilen 41 hastada 24'ü tek taraflı iken, 17'si çift taraflı subsegmenter emboli olarak raporlanmıştır.

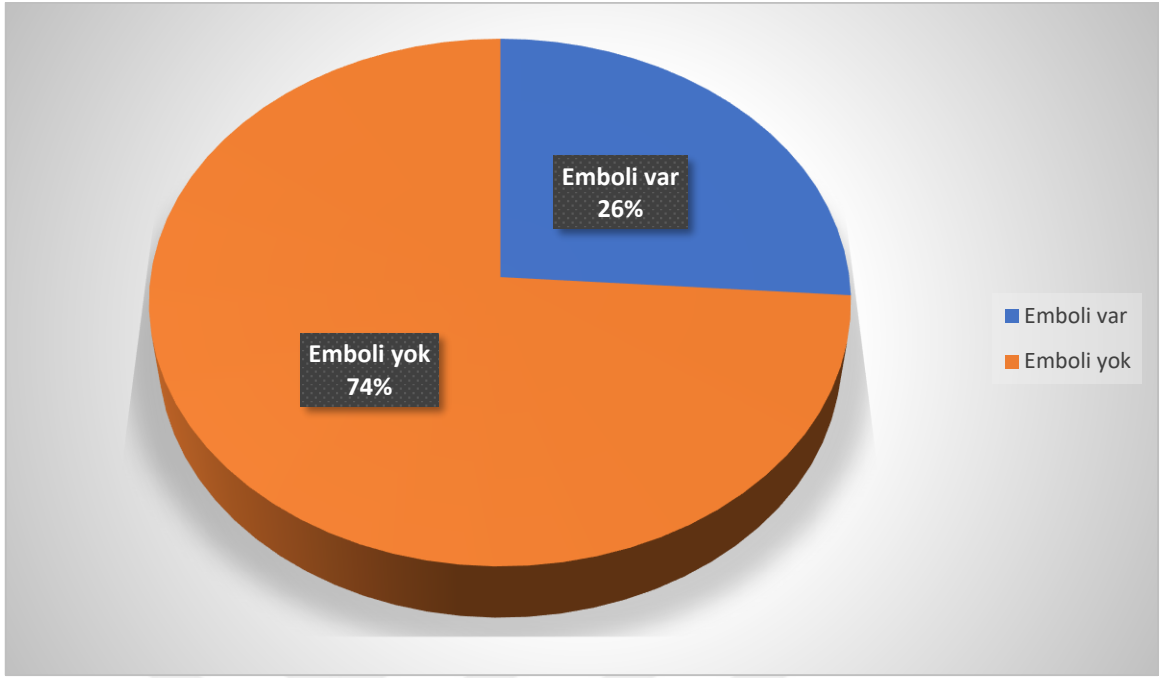
Grafik 1.Çalışma Grubu Cinsiyet Dağılımı



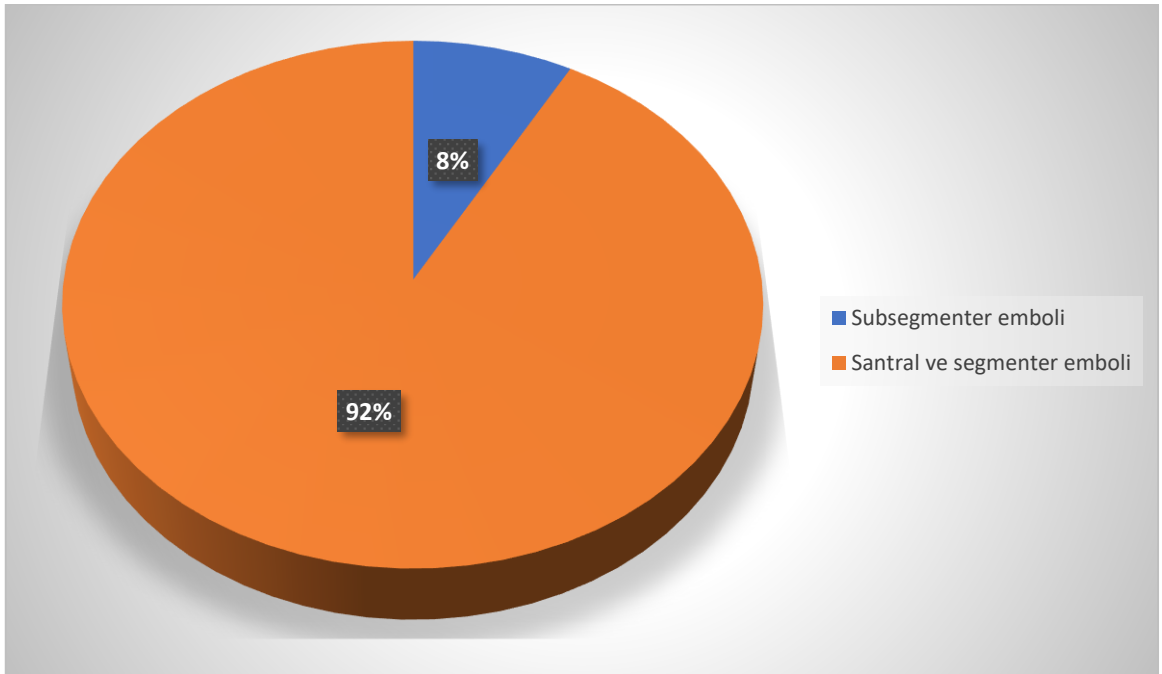
Grafik 2.Çalışma Grubu Yaş Dağılımı



Grafik 3.Radyoloji raporlamalarına göre emboli değerlendirmesi.



Grafik 4.Radyoloji raporlamalarında emboli var denilen hastaların gruplandırması.



Radyoloji raporlamaları özelinde 1474 hastayı 11 ayrı başlıkta değerlendirdiğimizde: Hastaların 118 'inde (%8) sağ ana pulmoner arterde, 158 'inde (%10.7) sağ interlobar arterde, 167 'sinde (%11.3) sağ üst lob segment dallarında, 178 'inde (%12.1) sağ lob orta segment dallarında, 277 'sinde (%18.8) alt lob segment dallarında ; 91 'inde (%6.2) sol ana pulmoner arterde, 111 'inde (%7.5) sol interlobar arterde, 135 'inde (%9.2) sol üst lob segment dallarında, 224 'ünde (%15.2) alt lob segment dallarında, 339 'unda (%23) sağ subsegmenter dallarda ve son olarak 258 'inde (%17.5) sol subsegmenter dallarda emboli raporlanmıştır. Bu raporlamalar ışığında embolinin her iki akciğer alt loblarında ve subsegmenter dallarında daha sıklıklar görüldüğünü söyleyebiliriz.

Tablo 5. Segmentlere göre radyoloğun belirlediği pulmoner emboli dağılımı

	n = 1474	%
Sağ ana pulmoner arter	118	8
Sağ interlobar arter	158	10.7
Sağ üst lob segment dalları	167	11.3
Sağ orta lob segment dalları	178	12.1
Sağ alt lob segment dalları	277	18.8
Sol ana pulmoner arter	91	6.2
Sol interlobar arter	111	7.5
Sol üst lob segment dalları	135	9.2
Sol alt lob segment dalları	224	15.2
Sağ subsegmenter dallar	339	23
Sol subsegmenter dallar	258	17.5

Yapay zekanın mevcut 1474 hastayı 11 ayrı başlıkta radyoloji raporları altın standart kabul ederek, emboli tespit başarısı istatistiki olarak şu şekilde tespit edilmiştir:

- Sağ ana pulmoner arter: ROC-AUC değeri 0.994, Accurary(doğruluk) değeri 0.997, Sensitivite(Recall) değeri 0.966, Spesifite değeri 0.999, PPV(Precision) değeri 0.991, NPV değeri 0.997 ve F1 skoru 0.978 bulunmuştur.
- Sağ interlober arter: ROC-AUC değeri 0.998, Accurary(doğruluk) değeri 0.997, Sensitivite(Recall değeri) 0.975, Spesifisite değeri 1, PPV(Precision) değeri 1, NPV değeri 0.997 ve F1 skoru 0.987 bulunmuştur.
- Sağ üst lob segment dalları: ROC-AUC değeri 0.987, Accurary(doğruluk) değeri 0.992, Sensitivite(Recall değeri) 0.946, Spesifisite değeri 0.998, PPV(Precision) değeri 0.981, NPV değeri 0.993 ve F1 skoru 0.963 bulunmuştur.
- Sağ orta lob segment dalları: ROC-AUC değeri 0.996, Accurary(doğruluk) değeri 0.993, Sensitivite(Recall değeri) 0.944, Spesifisite değeri 1, PPV(Precision) değeri 1, NPV değeri 0.992 ve F1 skoru 0.971 bulunmuştur.
- Sağ alt lob segment dalları: ROC-AUC değeri 0.987, Accurary(doğruluk) değeri 0.988, Sensitivite(Recall değeri) 0.953, Spesifisite değeri 0.997, PPV(Precision) değeri 0.985, NPV değeri 0.989 ve F1 skoru 0.969 bulunmuştur.
- Sol ana pulmoner arter: ROC-AUC değeri 0.945, Accurary(doğruluk) değeri 0.992, Sensitivite(Recall değeri) 0.989, Spesifisite değeri 0.992, PPV(Precision) değeri 0.891, NPV değeri 0.999 ve F1 skoru 0.937 bulunmuştur.
- Sol interlober arter: ROC-AUC değeri 0.978, Accurary(doğruluk) değeri 0.996, Sensitivite(Recall değeri) 0.991, Spesifisite değeri 0.996, PPV(Precision) değeri 0.957, NPV değeri 0.999 ve F1 skoru 0.974 bulunmuştur.
- Sol üst lob segment dalları: ROC-AUC değeri 0.968, Accurary(doğruluk) değeri 0.986, Sensitivite(Recall değeri) 0.904, Spesifisite değeri 0.995, PPV(Precision) değeri 0.946, NPV değeri 0.990 ve F1 skoru 0.925 bulunmuştur.
- Sol alt lob segment dalları: ROC-AUC değeri 0.981, Accurary(doğruluk) değeri 0.988, Sensitivite(Recall değeri) 0.946, Spesifisite değeri 0.995, PPV(Precision) değeri 0.972, NPV değeri 0.990 ve F1 skoru 0.959 bulunmuştur.

- Sağ subsegmenter dallar: ROC-AUC değeri 0.956, Accurary(doğruluk) değeri 0.954, Sensitivite(Recall değeri) 0.847, Spesifisite değeri 0.989, PPV(Precision) değeri 0.957, NPV değeri 0.956 ve F1 skoru 0.899 bulunmuştur.
- Sol subsegmenter dallar: ROC-AUC değeri 0.945, Accurary(doğruluk) değeri 0.957, Sensitivite(Recall değeri) 0.814, Spesifisite değeri 0.987, PPV(Precision) değeri 0.929, NPV değeri 0.962 ve F1 skoru 0.868 bulunmuştur.

Tablo 6. Yapay zekanın radyolog baz alınarak ölçülen performansı

	ROC-AUC	Accurary	Sensitivity (Recall)	Specificity	PPV (Precision)	NPV	F1 score
Sağ ana pulmoner arter	0,994	0,997	0,966	0,999	0,991	0,997	0,978
Sağ interlober arter	0,998	0,997	0,975	1	1	0,99	0,987
Sağ üst lob segment dalları	0,987	0,992	0,946	0,998	0,981	0,993	0,963
Sağ orta lob segment dalları	0,996	0,993	0,944	1	1	0,992	0,971
Sağ alt lob segment dalları	0,987	0,988	0,953	0,997	0,985	0,989	0,969
Sol ana pulmoner arter	0,945	0,992	0,989	0,992	0,891	0,999	0,937
Sol interlober arter	0,978	0,996	0,991	0,996	0,957	0,999	0,974
Sol üst lob segment dalları	0,968	0,986	0,904	0,995	0,946	0,990	0,959

Sol alt lob segment dalları	0,981	0,988	0,946	0,995	0,972	0,990	0,959
Sağ subsegmenter dallar	0,956	0,954	0,847	0,989	0,957	0,956	0,899
Sol subsegmenter dallar	0,945	0,957	0,814	0,987	0,929	0,962	0,868

Confusion Matriks Yorumlama

Makine öğrenmesinde kullanılan sınıflandırma modellerinin performansını değerlendirmek için hedef niteliğe ait tahminlerin ve gerçek değerlerin karşılaştırıldığı hata matrisi sıklıkla kullanılmaktadır. Her ne olursa olsun sınıflandırma tahminleri şu dört değerlendirmeden birine sahip olacaktır.

1. Doğruya doğru demek (True Positive= TP) – DOĞRU
2. Yanlışla yanlış demek (True Negative= TN)- DOĞRU
3. Doğruya yanlış demek (False Positive= FP)- YANLIŞ
4. Yanlışla doğru demek (False Negative= FN)- YANLIŞ

		Predicted	
		Negative (N) -	Positive (P) +
Actual	Negative -	True Negative (TN)	False Positive (FP) Type I Error
	Positive +	False Negative (FN) Type II Error	True Positive (TP)

Şekil 13. Confusion Matrix

Benzer şekilde hipotez testlerinde de kullanılan Tip I (FP) ve Tip II (FN) hatalar bizim FP ve FN'ye benzerdir.

Aslına bakarsak iki tane sonuç vardır: Ya sınıfı doğru tahmin edecek ya da yanlış tahmin edecektir. Örnek; bazı nitelikleri kullanarak bir hastada pulmoner emboli var veya yok diyelim. Eğer pulmoner emboli olmayanlara pulmoner emboli değil demişse yapay zeka TN, pulmoner emboli olmayanlara pulmoner emboli var demişse yapay zeka FP, pulmoner emboli olana pulmoner emboli değil demişse yapay zeka FN, pulmoner emboli olana pulmoner emboli demişsek TP olarak adlandırılır.

Doğruluk (Accuracy): Doğru sınıflandırmanın toplama bölümüdür. Yani; yoka yok veya vara var dediklerimizin toplama oranıdır.

$$\text{Doğruluk} = \text{TN} + \text{TP}$$

Hata Oranı (Error Rate / Misclassification Rate) : Yanlışların toplama oranıdır. Bu aynı zamanda 1'den doğruluk oranını çıkararak da elde edilir.

$$\text{Hata Oranı} = \text{FN} + \text{FP}$$

$$\text{Hata Oranı} = 1 - \text{Doğruluk Oranı}$$

Doğru Pozitif Oranı/ Duyarlılık/Sensitivity (True Positive Rate) : Doğru olarak tahmin edilen varların (TP) gerçek varlara oranıdır. Modelin doğruları bilme konusundaki etkinliği de denilebilir.

$$\text{Duyarlılık (Sensitivity)} = \text{TP} / \text{Gerçek Varlar (Actual positive)}$$

$$\text{Gerçek Varlar} = \text{FN} + \text{TP}$$

Yanlış Pozitif Oranı (False Positive Rate) : Yoka var deme oranıdır. Gerçekte yok olan ancak var diye tahmin edilen hastaların gerçekten hasta olmayanlara oranıdır.

$$\text{Yanlış Pozitif Oranı} = \text{FP} / \text{Gerçek Yoklar (Actual Negative)}$$

$$\text{Gerçek Yoklar} = \text{TN} + \text{FP}$$

Precision (Kesinlik) : Doğru var olarak tahmin edilenlerin, toplam tahminlere oranıdır

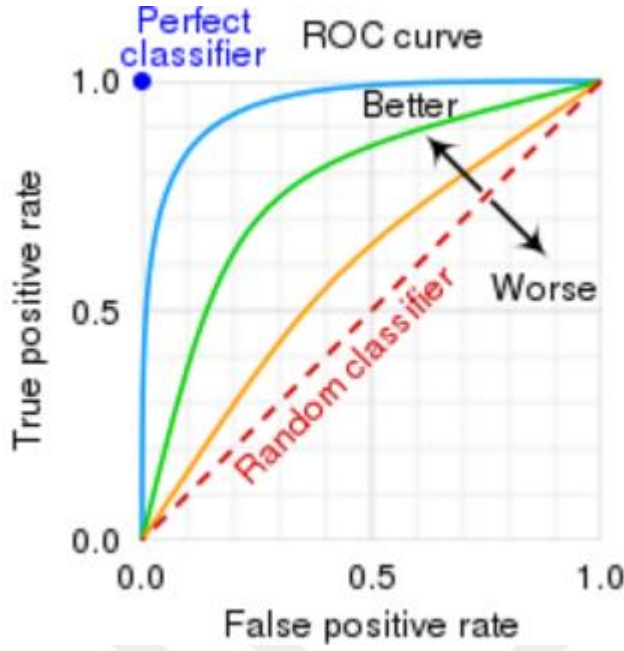
$$\text{Precision} = \text{TP} / (\text{FP} + \text{TP})$$

Prevalence : Gerçekten varların toplama oranıdır

$$\text{Prevalence} = (\text{FN} + \text{TP}) / \text{Toplam}$$

Not: Doğru Pozitif Oranı ve Yanlış Pozitif Oranı ROC(Receiver Operating Characteristic) grafiği çizimi ve AUC(Area Under Curve) hesaplamada kullanılır.

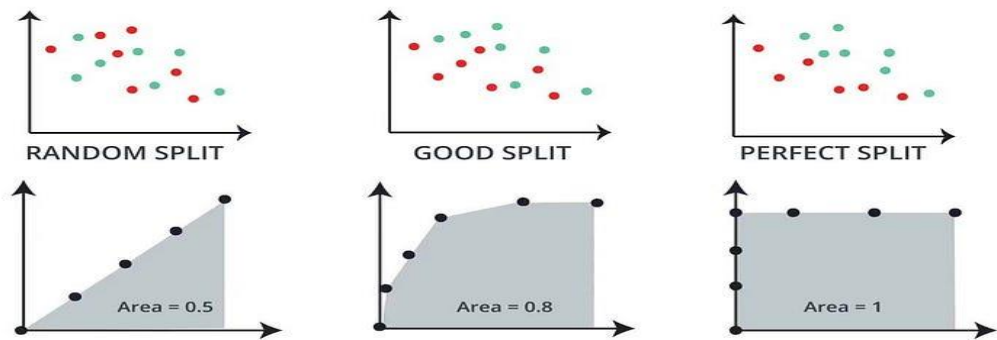
ROC eğrisi: Sınıflandırma modelleri başarı değerlendirme ölçütlerinden biri olan ROC eğrisi doğruluk oranının grafik olarak yorumlanması diye de tanımlayabiliriz (aşağıdaki şekilde X ekseninde Yanlış Pozitif Oranı ve Y ekseninde Doğru Pozitif oranı yer almaktadır)



Şekil 14. ROC eğrisi

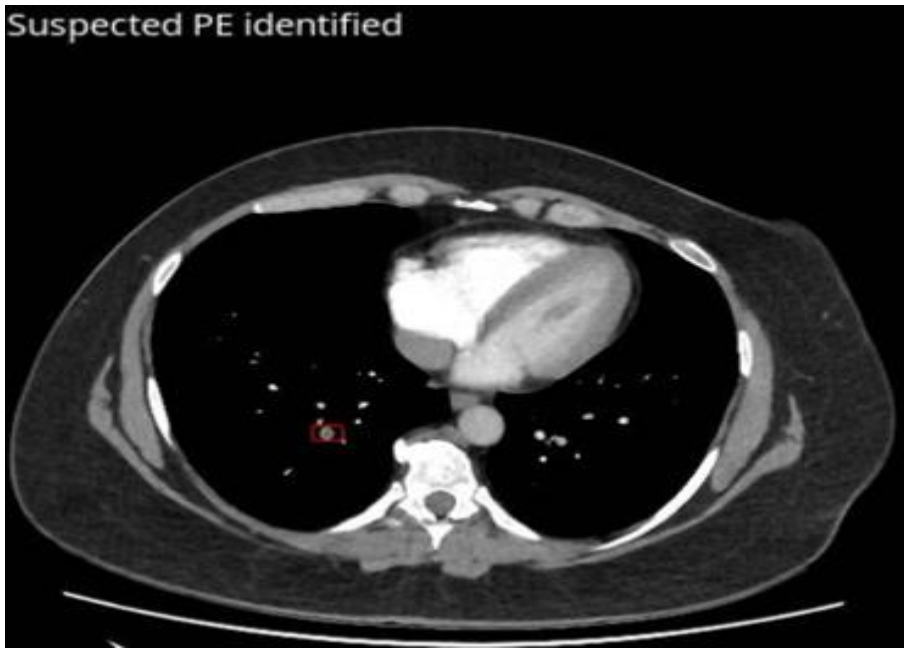
Yalancı Pozitif Oranı ve Gerçek Pozitif Oranı göz önünde bulundurarak X ve Y ekseninde 0'dan 1'e kadar olan değerlerin üzerinde bir eğri oluşturulur. Bu eğrinin altında kalan alana Area Under Curve (AUC) adı verilir. Bu alanın büyük olması yani sürekli çizgi ne kadar geniş bir alan kaplıyorsa modelin tahmini başarısı o kadar yüksek, küçük olması yani çizgi ortadaki kesikli çizgiye ne kadar yaklaşıyorsa modelin tahmin başarısı o kadar düşüyor demektir.

◦ AREA UNDER A ROC CURVE

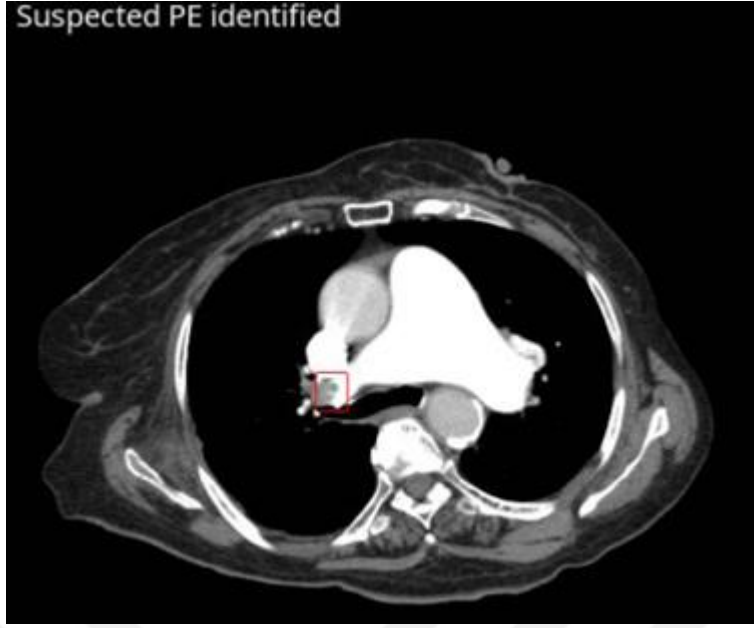


Şekil 15. AUC örnekleri

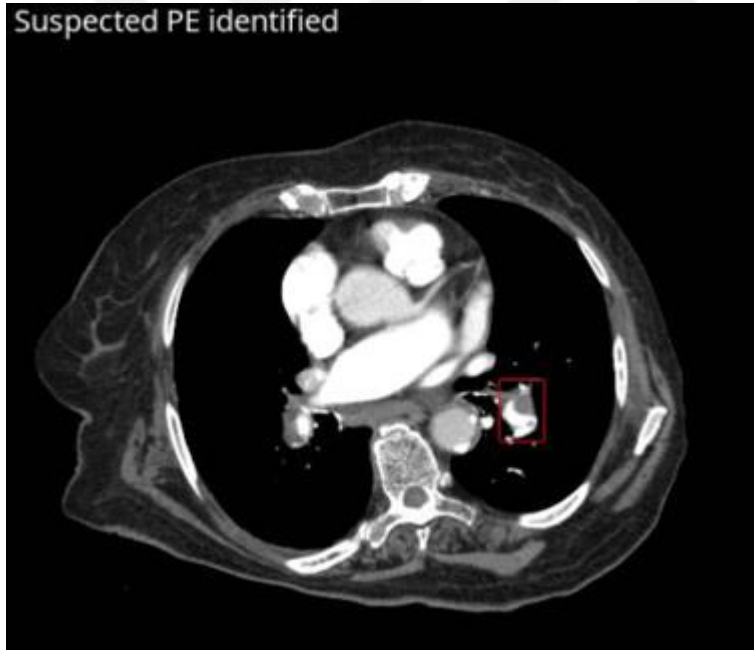
Confusion matrix sonuçlarına göre, yapay zekanın yukarıda her biri teker teker ana raporlarla kıyaslanarak elde edilen değerler ışığında, pulmoner emboli varlığında ve dışlanmasında yüksek başarı gösterdiği görülmektedir. Subsegmenter dallarda görece daha düşük değerler elde olunmasının nedeni olarak az sayıdaki izole subsegmenter emboli tespitinde yapay zeka başarısı diğer parametrelere kıyasla düşük kalmıştır. Fakat buna rağmen geniş kapsamlı çalışmamızda yapay zeka başarısını gösteren güvenilir değerler elde edilmiştir. Son olarak hassasiyet ve duyarlılık değerleri arasındaki dengeyi ölçmede kullanılan F1 skorunun da yüksek çıkması ile yapay zekanın hem pozitif hem de negatif sınıfta dengeli tahminler yaptığını söylemek mümkündür.



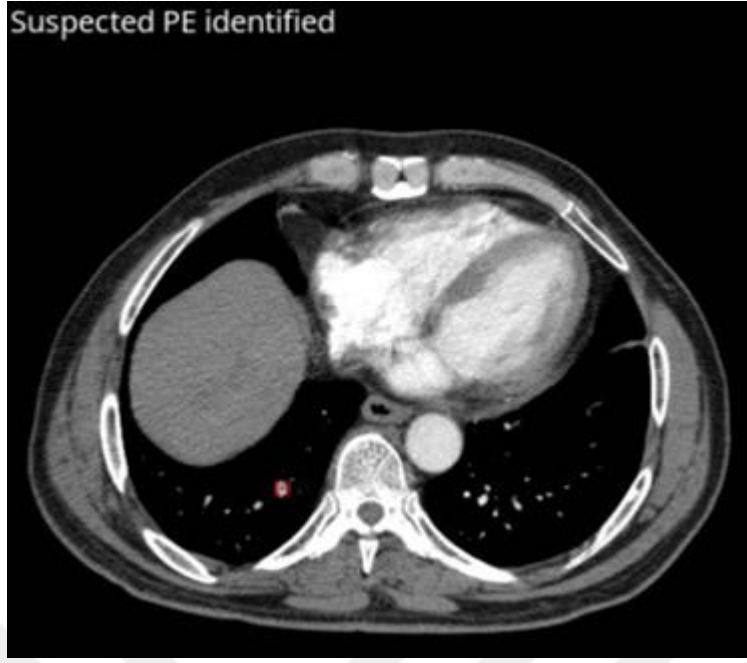
Şekil 16.Yapay zekanın kutu şeklinde işaretlediği trombüs materyal örneği.



Şekil 17.Yapay zekanın kutu şeklinde işaretlediği trombüs materyal örneği.



Şekil 18.Yapay zekanın kutu şeklinde işaretlediği trombüs materyal örneği.



Şekil 19. Yapay zekanın kutu şeklinde işaretlediği periferel trombüs örneği.

5. TARTIŞMA

Pulmoner emboli günümüzde kardiyovasküler kökenli ve tedavi edilmediğinde %20-35 arası değişen ölüm oranına ulaşabilen önemli bir hastalıktır[41]. Bu nedenle erken tanı ve tedavi yüksek önem arz etmektedir. Son yıllarda pulmoner emboli kuşkusu olan hastaların klinik yönetimleri konusunda çeşitli skorlamalar, D dimer bakılması ve görüntüleme yöntemlerine risk düzeylerine göre sıralı veya doğrudan BTPA 'ya başvurmak şeklinde ilerlemeler göstermiştir[42]. BTPA, yüksek çözünürlüklü görüntüleme sağladığı ve ek patolojilere dair de tanı şansı verdiği için güncel kullanımı giderek artmaktadır[43].

FDA onaylı yapay zeka programımızın geniş kapsamlı çalışmamızda göstermiş olduğu yüksek başarı, yapay zekanın günümüzde ve ileride neler yapabileceği hakkında önemli bir yol gösterici olmuştur. Weikert ve arkadaşlarının 1465 hasta ile yaptıkları ve hastaları santral, segmental, periferik şeklinde kategorize ettikleri çalışmada kullandıkları yapay zekanın sensitivitesini %92.7 ve spesifitesini %95 buldukları görülmüştür. Yine aynı çalışmada pulmoner emboli görülen hastaların toplamdaki yeri %18.5 ölçülmüştür. Ek olarak F1 skoru en yüksek 0.86 tespit edilmiştir. PPV %79, NPV %95 hesaplanmıştır[44].

Bizim çalışmamızda ise santral ve segmental bölgelerde sensitivite değeri sol üst lob segmentleri embolisinde en düşük %90.4 değerinde, sol interlobar arter embolisinde en yüksek %99.1 değerinde saptanmıştır. Spesifite değeri sol subsegmenter dallarda emboli için en düşük %98.7 değerinde, en yüksek sağ interlobar arter ve sağ orta lob segment dalların emboli için %100 değerinde saptanmıştır. Ayrıca bizim çalışmamızda parametreler daha detaylı olarak planlanmış olup, F1 skoru en düşük sol subsegmenter pulmoner emboli için 0.87, en yüksek sağ interlobar arter için 0.99 hesaplanmıştır. PPV, bizde en düşük sol ana pulmoner arter için %89, en yüksek sağ interlobar ve orta lob segment dalları embolisi için %100 olarak hesaplanmıştır. NPV, bizde en düşük sağ subsegmenter pulmoner emboli için %95.6, en yüksek birçok parametremizde %99.9 olarak hesaplanmıştır.

Bizim çalışmamızda toplama bakıldığında pulmoner emboli raporlanma yüzdesi %26.1 olarak tespit edilmiştir. Bizim çalışmamızda pulmoner emboli pozitif hasta sayısı ve parametreler ile detaylandırılması ile konuyu ileriye taşıdığımız görülmektedir.

Bizim çalışmamızda subsegmenter dallardaki sensitivite değerinin görece düşük olmasının nedeni izole subsegmenter emboli olarak raporlanan 41 hastanın yapay zeka tarafından diğer parametrelere kıyasla görece düşük yüzde ile başarılı tespit edilmesidir. Bununla birlikte yapay zekanın subsegmenter dallardaki spesifitesi yüksek olarak tespit edilmiştir. Yani yapay zekanın izole subsegmenter dallarda pulmoner emboli yok demesinin güvenilirliği, pulmoner emboli var demesine kıyasla daha yüksek tespit edilmiştir.

A.B.Cheikh ve arkadaşları tarafından 1202 hasta ile yapılan çalışmada pulmoner emboli var ve yok şeklinde sınıflandırma yapılmış olup, sensitivite ve spesifitesini $> \%90$, pulmoner emboli prevalansını ise $\%15.8$ (190 hasta) bulmuşlardır[45]. Bizim çalışmamıza kıyasla bu çalışmada emboli var denilen olguların tarafı ve yeri ile bilgi bulunmamakta olup, çalışma detaylandırmasında konuyu ileri taşıdığımızı göstermektedir. Ayrıca bu çalışmada 100 ‘ün üzerinde teleradyoloji doktorunun raporları baz alınarak değerlendirilmiştir. Biz ise çalışmamızda 5 yıllık radyoloji hekimi olan Önder BABACAN ve Ahmet Yasin KARKAŞ’ın ön elemelerinden sonra, 20 yılı aşkın toraks radyolojisi deneyimi olan Prof.Dr.Şükrü Mehmet Ertürk’ün söylediklerini baz alarak çalışmamızı gerçekleştirdik. Ek olarak pulmoner emboli raporlanan hasta sayımız iki katı kadardır. Tabii yapay zekanın pulmoner emboli tanıyor olması tek başına kullanıma hazır olduğu ve raporlama yapabilir olduğunu bu aşamada göstermemektedir. Acil servislerde ve branş hekimlerine yüksek doğrulukla ön tanı vermektedir. Fakat eşlik edecek başka parankimal ve vasküler patolojilerin tanısı için üzerinde çalışmaların artırılarak devam etmesi gerekmektedir[46]. Ayrıca kullanmış olduğumuz yapay zekanın ana odağı pulmoner vasküler trombüslerin tespiti olduğu için, radyologların ek olarak yapay zekayı takip etmesi önem taşımaktadır. Nedeni şudur: Sağ atrial trombüs, pulmoner hipertansiyon, sağ ventrikül yüklenmesi vb vasküler ve kardiyak hadiselerin tanısında ek radyolog bakışı günümüzde gereklilik göstermektedir. Yapay zeka geliştirilmesi ile bu ihtiyaçlar zaman içerisinde azalacaktır[47, 48].

Kıyaslama yaptığımız görece yüksek katılımlı bu iki çalışma haricinde geçmişte yapılan benzer konudaki çalışmalara bakacak olursak; Tajbakhsh ve arkadaşları 2015 yılında 121 hasta ile çalışma yapmış. Sensitivitesi $\%83$ tespit edilmiş olup, çalışma detaylarına bakıldığında yanlış pozitiflik oranlarının yüksek olduğu ve hasta sayısının artırılması gerekliliği görülmektedir[49].

Maizlin ve arkadaşları tarafından 2007 yılında 104 hasta ile çalışma yapmıştır. Sensitivite değeri en yüksek $\%53.3$ tespit edilmiş olup, çalışma detaylarına bakıldığında yanlış pozitiflik

ve negatiflik oranlarının yüksek olduğu ve hasta sayısının artırılması gerektiği görülmektedir[50].

Wittenberg ve arkadaşları tarafından 2010 yılında 292 hasta ile çalışma yapılmıştır. Ana dallar, lobar, segmenter ve subsegmenter şeklinde oluşturdukları parametrelerde en yüksek sensitivite değeri %90, en düşük sensitivite değeri %53 saptanmıştır. Spesifite değerleri ise belirgin düşük görülmektedir. Hasta sayısının artırılması gerekliliği görülmektedir[51].

6. SONUÇ

Genel olarak bakacak olursak, çalışmamızın güvenilirliği yüksek ve kullanıma hazır denilebilecek kadar başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Çalışmamızda hasta sayısının yüksekliği nedeniyle belirgin bir problem oluşturmamakla birlikte; çekim fazı, kontrast madde miktarı ve veriliş hızı, olası hareket artefaktları ile pulmoner venlerin seçilmesi vb durumlarda izole subsegmenter emboliler yapay zeka tarafından diğer embolilere eşlik eden subsegmenter emboliler kadar iyi netice vermemiştir. Tabii yapay zekanın bu gelişimi göz önünde bulundurulacak olursa, yakın gelecekte radyoloji hekimleri için de olası tanısal atlamaların da önüne geçmekte önemli bir yardımcı olacaktır. Mevcuttaki yapay zeka yazılımları farklı konularda da çalıştırılmaya ve geliştirilmeye devam edilecektir.

7. KAYNAKLAR

1. Herriges, M. and E.E. Morrissey, *Lung development: orchestrating the generation and regeneration of a complex organ*. Development, 2014. **141**(3): p. 502-513.

2. Moore, K.L., T.V.N. Persaud, and M.G. Torchia, *The developing human-e-book: clinically oriented embryology*. 2018: Elsevier Health Sciences.
3. Schittny, J.C., *Development of the lung*. Cell and tissue research, 2017. **367**: p. 427-444.
4. Moore, K.L. and A.F. Dalley, *Clinically oriented anatomy*. 2018: Wolters kluwer india Pvt Ltd.
5. Chaudhry, R. and B. Bordon, *Anatomy, thorax, lungs*. 2017.
6. radyoloji, e.t.k. 2008.
7. Li, X., et al., *Preliminary study on artificial intelligence diagnosis of pulmonary embolism based on computer in-depth study*. Annals of Translational Medicine, 2021. **9**(10).
8. Bertina, R.M., *Genetic approach to thrombophilia*. Thrombosis and haemostasis, 2001. **86**(07): p. 92-103.
9. Joffe, H.V. and S.Z. Goldhaber, *Upper-extremity deep vein thrombosis*. Circulation, 2002. **106**(14): p. 1874-1880.
10. Tapson, V.F., *Acute pulmonary embolism*. New England Journal of Medicine, 2008. **358**(10): p. 1037-1052.
11. Claes, M.J., et al., *Summary of 2019 ESC Guidelines on chronic coronary syndromes, acute pulmonary embolism, supraventricular tachycardia and dislipidaemias*. Acta Cardiologica, 2021. **76**(1): p. 1-8.
12. Bauersachs, R.M., *Clinical presentation of deep vein thrombosis and pulmonary embolism*. Best practice & research Clinical haematology, 2012. **25**(3): p. 243-251.
13. Stein, P.D., et al., *Clinical characteristics of patients with acute pulmonary embolism: data from PIOPED II*. The American journal of medicine, 2007. **120**(10): p. 871-879.
14. Wells, P.S., et al., *Derivation of a simple clinical model to categorize patients probability of pulmonary embolism: increasing the models utility with the SimpliRED D-dimer*. Thrombosis and haemostasis, 2000. **83**(03): p. 416-420.
15. Ceriani, E., et al., *Clinical prediction rules for pulmonary embolism: a systematic review and meta-analysis*. Journal of thrombosis and haemostasis, 2010. **8**(5): p. 957-970.
16. Shapiro, N.I., et al., *A prospective, multicenter derivation of a biomarker panel to assess risk of organ dysfunction, shock, and death in emergency department patients with suspected sepsis*. Critical care medicine, 2009. **37**(1): p. 96-104.
17. ten Wolde, M., et al., *Prognostic value of echocardiographically assessed right ventricular dysfunction in patients with pulmonary embolism*. Archives of internal medicine, 2004. **164**(15): p. 1685-1689.
18. Goldhaber, S.Z. and C.G. Elliott, *Acute pulmonary embolism: part I: epidemiology, pathophysiology, and diagnosis*. Circulation, 2003. **108**(22): p. 2726-2729.
19. Reinartz, P., et al., *Tomographic imaging in the diagnosis of pulmonary embolism: a comparison between V/Q lung scintigraphy in SPECT technique and multislice spiral CT*. Journal of Nuclear Medicine, 2004. **45**(9): p. 1501-1508.
20. Gupta, A., et al., *Acute pulmonary embolism: diagnosis with MR angiography*. Radiology, 1999. **210**(2): p. 353-359.
21. Remy-Jardin, M., J. Remy, L. Wattinne, and F. Giraud, *Central pulmonary thromboembolism: diagnosis with spiral volumetric CT with the single-breath-hold technique--comparison with pulmonary angiography*. Radiology, 1992. **185**(2): p. 381-387.
22. Sinert, R., E. Brandler, R.A. Subramanian, and A.C. Miller, *Does the current definition of contrast-induced acute kidney injury reflect a true clinical entity?* Academic Emergency Medicine, 2012. **19**(11): p. 1261-1267.

23. Eng, J., et al., *Accuracy of CT in the diagnosis of pulmonary embolism: a systematic literature review*. American Journal of Roentgenology, 2004. **183**(6): p. 1819-1827.
24. Schulman, S., et al., *Treatment of acute venous thromboembolism with dabigatran or warfarin and pooled analysis*. Circulation, 2014. **129**(7): p. 764-772.
25. Saraf, K., et al., *Non-vitamin K antagonist oral anticoagulants (NOACs): clinical evidence and therapeutic considerations*. Postgraduate medical journal, 2014. **90**(1067): p. 520-528.
26. Haire, W.D., *Pharmacology of fibrinolysis*. Chest, 1992. **101**(4): p. 91S-97S.
27. He, C., et al., *Acute pulmonary embolectomy*. European Journal of Cardio-Thoracic Surgery, 2013. **43**(6): p. 1087-1095.
28. Caplin, D.M., et al., *Quality improvement guidelines for the performance of inferior vena cava filter placement for the prevention of pulmonary embolism*. Journal of Vascular and Interventional Radiology, 2011. **22**(11): p. 1499-1506.
29. Hosny, A., et al., *Artificial intelligence in radiology*. Nature Reviews Cancer, 2018. **18**(8): p. 500-510.
30. Ribeiro, M.T., S. Singh, and C. Guestrin. "Why should i trust you?" Explaining the predictions of any classifier. in *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining*. 2016.
31. Pereira, S., et al., *Enhancing interpretability of automatically extracted machine learning features: application to a RBM-Random Forest system on brain lesion segmentation*. Medical image analysis, 2018. **44**: p. 228-244.
32. Goldstein, A., A. Kapelner, J. Bleich, and E. Pitkin, *Peeking inside the black box: Visualizing statistical learning with plots of individual conditional expectation*. journal of Computational and Graphical Statistics, 2015. **24**(1): p. 44-65.
33. Pereira, S., et al. *Automatic brain tumor grading from MRI data using convolutional neural networks and quality assessment*. in *Understanding and Interpreting Machine Learning in Medical Image Computing Applications: First International Workshops, MLCN 2018, DLF 2018, and iMIMIC 2018, Held in Conjunction with MICCAI 2018, Granada, Spain, September 16-20, 2018, Proceedings 1*. 2018. Springer.
34. Graziani, M., et al. *Improved interpretability for computer-aided severity assessment of retinopathy of prematurity*. in *Medical Imaging 2019: Computer-Aided Diagnosis*. 2019. SPIE.
35. Springenberg, J.T., A. Dosovitskiy, T. Brox, and M. Riedmiller, *Striving for simplicity: The all convolutional net*. arXiv preprint arXiv:1412.6806, 2014.
36. Yao, Y. and N. Zhong. *An analysis of quantitative measures associated with rules*. in *Pacific-asia conference on knowledge discovery and data mining*. 1999. Springer.
37. Akpınar, H., *Veri tabanlarında bilgi keşfi ve veri madenciliği*. İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi, 2000. **29**(1): p. 1-22.
38. Shearer, C., *The CRISP-DM model: the new blueprint for data mining*. Journal of data warehousing, 2000. **5**(4): p. 13-22.
39. Moss, L.T. and S.A.-B.I. Roadmap, *The Complete Project Lifecycle for Decision Support Applications*. 2003, Addison-Wesley Professional.
40. Kocak, B., E.A. Kus, and O. Kilickesmez, *How to read and review papers on machine learning and artificial intelligence in radiology: a survival guide to key methodological concepts*. European Radiology, 2021. **31**: p. 1819-1830.
41. Righini, M., H. Robert-Ebadi, and G. Le Gal, *Diagnosis of acute pulmonary embolism*. Journal of Thrombosis and Haemostasis, 2017. **15**(7): p. 1251-1261.
42. Le Gal, G., M. Righini, and P.S. Wells, *Computed tomographic pulmonary angiography for pulmonary embolism*. JAMA, 2015. **314**(1): p. 74-75.

43. Ghaye, B., et al., *Peripheral pulmonary arteries: how far in the lung does multi-detector row spiral CT allow analysis?* Radiology, 2001. **219**(3): p. 629-636.
44. Weikert, T., et al., *Automated detection of pulmonary embolism in CT pulmonary angiograms using an AI-powered algorithm.* European radiology, 2020. **30**: p. 6545-6553.
45. Cheikh, A.B., et al., *How artificial intelligence improves radiological interpretation in suspected pulmonary embolism.* European Radiology, 2022. **32**(9): p. 5831-5842.
46. Geis, J.R., et al., *Ethics of artificial intelligence in radiology: summary of the joint European and North American multisociety statement.* Radiology, 2019. **293**(2): p. 436-440.
47. Eskandari, A., et al., *Prevalence and significance of incidental findings on computed tomography pulmonary angiograms: A retrospective cohort study.* The American journal of emergency medicine, 2022. **54**: p. 232-237.
48. Devaraj, A., et al., *Diagnosing Acute Pulmonary Embolism With Computed Tomography.* Journal of thoracic imaging, 2015. **30**(3): p. 176-192.
49. Tajbakhsh, N., M.B. Gotway, and J. Liang. *Computer-aided pulmonary embolism detection using a novel vessel-aligned multi-planar image representation and convolutional neural networks.* in *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention--MICCAI 2015: 18th International Conference, Munich, Germany, October 5-9, 2015, Proceedings, Part II* 18. 2015. Springer.
50. Maizlin, Z.V., P.M. Vos, M.B. Godoy, and P.L. Cooperberg, *Computer-aided detection of pulmonary embolism on CT angiography: initial experience.* Journal of thoracic imaging, 2007. **22**(4): p. 324-329.
51. Wittenberg, R., et al., *Computer-assisted detection of pulmonary embolism: evaluation of pulmonary CT angiograms performed in an on-call setting.* European radiology, 2010. **20**: p. 801-806.

8.EKLER