

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI



ZATÜRRE MORFOLOJİSİ VE KÜME İSTATİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

FERHUNDE SEMA GÖÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Orhan ZEYBEK (Tez Danışmanı)
Prof. Dr. Mehmet BAYIRLI
Dr. Öğr. Üyesi Ali ÇETİN

BALIKESİR, OCAK - 2026

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Zatürre Morfolojisi ve Küme İstatistiklerinin Belirlenmesi**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ferhunde Sema GÖÇ

ÖZET

ZATÜRRE MORFOLOJİSİ VE KÜME İSTATİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
FERHUNDE SEMA GÖÇ
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF.DR. ORHAN ZEYBEK)
BALIKESİR, OCAK - 2026

Tıbbi görüntüler klinik uygulamalarda patolojik durumların belirlenmesinde önemli rol oynar ve özellikle hekimlerin tercih ettiği bir uygulamadır. Ancak zatürre patolojisini tespit etmek için akciğer röntgen görüntüleri üzerinde oluşan gözeneklerin değişimine bakılarak karar verilmektedir. Dolayısı ile klinik zatürre enfeksiyonun tıbbi tanısı için, tıbbi röntgen görüntüde gözlenebilen akciğer içindeki nesnelere fraktal yapılanması nedeniyle boyutun belirlenmesi en büyük karmaşık problemlerden biridir. Bu amaçla bu tez çalışmasında, zatürre hastalığı teşhisinde kullanılan röntgen görüntüleri üzerinde normal, bakteri, virüs ve COVID-19 virüs hetero-morfolojik yapılanmanın fraktal boyut analizi kullanılarak incelenmektedir. Fraktal boyut değerleri görüntüdeki kontrast ve kaplama oranına göre değişim göstermektedir. Normal akciğer radyoloji görüntüsüne göre bakteri kaynaklı zatürrede fraktal boyut azalırken virüs ve COVID-19 virüsü kaynaklı zatürrede artmaktadır. Ayrıca fraktal boyutlar kaplama oranı arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiş ve diğer güncel yaklaşımlarla karşılaştırılmıştır. Bulgular zatürre patolojisini tanı olarak belirlemede fraktal boyut belirleme metodolojileri arasında fraktal geometri, tıbbi görüntü araştırmalarında etkili bir araç olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. Fraktal boyut belirleme tekniklerinin performansının, klinik görüntüden teşhis açısından önemli bilgileri belirlemek için diğer son teknoloji yöntemlere ek olarak kullanılması gerekliliği önerilmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Fraktal, Hetero Morfoloji, Koronavirüs, Küme istatistikleri, Ölçekleme

Bilim Kod / Kodları : 20206, 20208

Sayfa Sayısı : 37

ABSTRACT

**DETERMINATION OF PNEUMONIA MORPHOLOGY AND CLUSTER
STATISTICS
MSC THESIS
FERHUNDE SEMA GÖÇ
BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
PHYSICS
(SUPERVISOR: PROF.DR. ORHAN ZEYBEK)
BALIKESİR, JANUARY - 2026**

Medical images play an important role in determining pathological conditions in clinical applications and are an application preferred especially by physicians. However, in order to detect pneumonia pathology, a decision is made by looking at the changes in the pores formed on lung X-ray images. Therefore, for the medical diagnosis of clinical pneumonia infection, determining the size is one of the biggest complex problems due to the fractal structuring of the objects in the lung that can be observed in medical X-ray images. For this purpose, in this thesis study, normal, bacteria, virus and COVID-19 virus hetero morphological structuring on X-ray images used in the diagnosis of pneumonia disease are examined using fractal dimension analysis. Fractal dimension values vary according to the contrast and coverage ratio in the image. While the fractal dimension decreases in bacterial pneumonia compared to the normal lung radiology image, it increases in virus and COVID-19 virus-induced pneumonia. Furthermore, it was concluded that there is a linear relationship between fractal dimensions and coverage ratio and compared with other current approaches. The findings show that fractal dimension determination methodologies may be used as an operative apparatus in medical image research in determining the pathology of pneumonia as a diagnosis. It is suggested that the performance of fractal dimension determination techniques should be used in addition to other state-of-the-art methods to determine diagnostically important information from clinical images.

KEYWORDS: Fractal, Hetero Morphology, Coronavirus, Cluster statistics, Scaling

Science Code / Codes: 20206, 20208

Page Number : 37

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1 COVID-19 Virüsü.....	1
1.2 Tez Çalışmasının Amacı	4
2. FRAKTALIN TEORİSİ	5
2.1 Hetero Morfolojik Küme Ve Kümeleşme	5
2.2 Kümeleşmeyi Etkileyen Faktörler	5
2.3 Bakteri Ve Virüslerinin Kümelerinin Tanımlanması	5
2.4 Ölçekleme Teorisi	7
2.5 Kümeyi Tanımlama Ve Kaplama Oranı	8
2.6 Fraktal Boyut	9
2.7 Doğrusal Regresyon Analizi.....	11
2.8 İki Değişkenli Regresyon Katsayı Kestirimleri.....	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM	14
4. BULGULAR	16
4.1 Teorik Çalışmalar	16
4.2 Genel Değerlendirme.....	28
5. GENEL SONUÇLAR	29
6. KAYNAKLAR	30
7. ÖZGEÇMİŞ	32

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

- Şekil 4.1 :** Akciğer x-ray görüntüleri [12-14]. Herhangi normal birey (1A), bakteri (1B), virüs (1C) ve COVID-19 bulaşısı sonucunda oluşan yapılanma (1D) görüntüsü.bor rezervleri..... 18
- Şekil 4.2:** Normal, bakteri, virüs ve COVID-19 virüsü kaynaklı zatürre maskelenmiş akciğer sağ ve sol lobların görüntüleri. 22
- Şekil 4.3:** (4.3 a) Normal sağlıklı akciğer radyoloji görüntüsündeki sağ ve sol loplardaki parçacık sayısının parçacık büyüklüğüne ait dağılımı. (4.3 b) Fraktal boyutu hesaplamak için her iki eksenin logaritmaları alınarak lineer regresyonun eğim değerinden belirlenmiştir 23
- Şekil 4.4:** Normal, bakteri, virüs ve COVID-19 kaynaklı zatürre enfeksiyonunun dijitalleştirilmiş radyoloji görüntülerine ait kontrast değerlerine göre fraktal boyutlar 26
- Şekil 4.5:** Normal, bakteri, virüs ve COVID-19 kaynaklı zatürre enfeksiyonunun dijitalleştirilmiş radyoloji görüntülerinin kaplama oranına göre fraktal boyutların değişimi 27

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1: Normal ve bakteri, virüs bulaşışı sonucu oluşan zatürre patolojisine ait akciğer röntgen hetero morfolojik görüntülerinin küme tanımlama parametre değerleri. Dijitalleştirilmiş kontrast değerlerine göre örgü boyutu, küme sayısı, kaplama oranı ve fraktal boyutlar.	24
--	----

SEMBOL LİSTESİ

- COVID-19** : Koronavirüs hastalığı 2019
SEM : Taramalı elektron mikroskobu
BT : Bilgisayarlı Tomografi
SEM : Taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope)

ÖNSÖZ

Danışmanım olduğu için kendimi her zaman şanslı hissettiğim, her daim yanımda olan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen başta danışmanım Prof. Dr. Orhan Zeybek'e; tez sürecinde değerli bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, bana zaman ayıran, kendisinden çok şey öğrendiğim ve çalışmanın her aşamasına katkı sağlayan çok kıymetli hocam Prof. Dr. Mehmet Bayırlı'ya; bugünlere gelmemde desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, gölgesinde olmaktan her zaman mutluluk duyduğum annem Hafize Göç'e sonsuz teşekkür ve minnetlerimi sunarım.

Balıkesir, Ocak 2026

Ferhunde Sema GÖÇ

1. GİRİŞ

Koronavirüs, Aralık 2019'da Çin'in Wuhan kentinde keşfedildi. Bilim adamları ve tıp uzmanları, bu ölümcül virüsün erken aşamalarında kişiden kişiye hızla yayılabileceği ve etkisinin daha önce keşfedilen virüslerden çok daha şiddetli olacağı konusunda uyarıda bulundu. Dünya Sağlık Örgütü, tüm ülkelere bu zararlı virüs hakkında uyarı propagandası yaptı. Ancak, COVID-19'un yayılma hızı o kadar hızlıydı ki, araştırmacıların tahminlerinden çok daha hızlı bir şekilde tüm ülkelere yayıldı ve yaygın bir insanlık felaketine neden oldu [1].

1.1 COVID-19 Virüsü

Zatürre (Pnömoni), dünyadaki farklı insan toplulukları arasında, özellikle çocuklar ve yaşlılarda ciddi mortalite ve morbiditeye neden olabilen yaygın olarak karşılaşılan bir akciğer enfeksiyonu şeklidir [2]. Genelde zatürrenin hastalığının oldukça fazla farklı nedeni vardır. Genel bakış açısı ile zatürrenin ana türleri bakteriyel pnömoni (BP), viral pnömoni (VP), mikoplazma pnömonisi (MP) ve etken patojenlere göre diğer pnömonin farklı türleridir [3]. Bunların içerisinde bir VP türü olan COVID-19 pnömonisinin salgını, tüm ülkelerde yaşayan insan türü için gerçek ve ciddi bir tehdit oluşturduğu son zamanlardaki gözlemlerden ortaya konmaktadır. Ayrıca farklı tedavi protokolleri uygulanmasına rağmen oldukça fazla ölümlü vakalarla sonuçlanmaktadır [4]. Bundan dolayı klinik vakalarda zatürre tipinin hızlı ve kesin olarak tanımlanması gerekir. Dolaysı ile geliştirilen yeni güvenilir yöntemlerin sonuçları hekimlere klinik uygulamalarda ilaç tedavisi ve hasta yönetimi protokollerinin uygulanması konusunda rehberlik edebilir. Örneğin BP acil antibiyotik tedavisi için acil sevki gerektirirken VP destekleyici bakım gerektirir [5].

Zatürre, bir veya her iki akciğerdeki hava keselerinin iltihaplanmasına neden olan bir enfeksiyondur. Pulmoner alveollerin sıvı veya pürülan materyal ile dolması sonucunda, balgamlı ya da irin içeren öksürük gelişebilir; bu tabloya ateş, titreme ve dispne sıklıkla eşlik eder. Zatürre etiyojisinde bakteriler, virüsler ve mantarlar dâhil olmak üzere çeşitli mikroorganizmalar rol oynayabilmektedir. Herhangi bir birey vücuduna korona virüsün bulaştığını belirlemenin ve enfeksiyonunu teşhis etmenin çeşitli yolları vardır. Öncelikle virüsün birincil etkileri hastanın göstermiş olduğu semptomlardır. Bu semptomları gösteren olası virüslü hastanın kesin durumunu belirlemek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan biri akciğer röntgen görüntü sonuçlarıdır. Genelde bakteri ve virüsü temas ve

solunum yolu ile solunum sistemine yerleşmektedir. Solunum sistemi basit olarak ağız, larink, ezofokus, ribs, pelurea, brach ve bronşlardan oluşur. Dolası ile solunum sistemi içerisindeki her bir terminal bakteri ve virüs miktarı belli düzeyde ve miktarda bulunur. Ancak akciğerde bronş ve bronşitlerdeki virüs miktarı belli seviyeyi aştığı zaman zatürre patolojisi oluşur. Bunlardan biri ise COVID-19 olarak tanımlanır [6]. Ancak vücudun solunum sistemindeki her bir bileşeninde her bir bireyde söz konusu virüs belli miktarda bulunmaktadır. Ancak etkisini göstermemesi virüsün miktarı, solunum sisteminin terminallerindeki dağılımı ve vücudun bağışıklık durumu ile ilişkilidir.

COVID-19 virüsü insandan insana solunum yoluyla yayılımı bulaşma yolları arasında en dikkat çekici ve temel olanıdır. COVID-19 virüsü (SARS-CoV-2) ACE2 reseptörleri aracılığıyla akciğerlere girer. Enfeksiyon bağışıklık sistemini aşırı uyararak akciğer dokusunda hasar ve yaygın iltihaplanmaya neden olur. Virüslü insan atığı yüklü damlacıklar çeşitli yüzey ve nesnelere üzerine yerleşmesi veya kalıntı oluşturması ile virüs yayılabilir. Kontamine olmuş yüzey üzerine temas eden bir birey; ellerini ağız, burun veya göz ile teması sonucunda virüs bulaşı olabilir. Dolayısı ile virüsün vücut içerisinde solunum sistemindeki bulaşışı sırası ile buruna, yutağa, gırtlığa, soluk borusuna ve bronşlara kadar belirli miktarda yerleşebilir.

COVID-19 virüsü özellikle akciğerlere ve bronşlara yerleşir. Birbiri ile etkilenen veya bağımsız bir küme oluşturabilir. Virüs yoğunluğunun kritik değerden farklı olması patolojik bir durum oluşturabilir. Genelde teşhis için radyolojiden faydalanır. Mikroskopik görüntü gözlemi sonucunda yüzeysel görüntü yoğunluğu ile bulaş virüs miktarını tayin etmek mümkündür. Dolayısı ile son zamanlarda görüntü analiz sistemlerine sahip hematolojik analizörleri tasarlamak ve patolojide yeni bir teknolojik yaklaşımlar haline gelmektedir [4, 5]. Farklı tıbbi görüntüler dijitalleştirildikten sonra, eklenen bu sayısal bilgileri analiz etmek için bilgisayar uygulamaları kullanılmaktadır. Yardımcı görüntü analizi ve multispektral görüntü analizi gibi çeşitli araçların tanı için doğruluğu, güvenilirliği, özgüllüğü, üretkenliği iyileştirmeyi önemli ölçüde sağlamaktadır. Ayrıca, görüntü içeriklerini muhtemel patolojik durumlara göre sınıflandırmak için hem mekânsal ve hem de spektral görüntü bilgilerini de içerdiği bilinmektedir [6].

Genelde bakteri, virüs ve hücre yapılıları birbiri ile etkileşimli ya da bağımsız oluşumları içerir ve bulunmuş olduğu ortamda parçacık dağılımını içerir. Her bir birbirinden bağımsız

yapılanmalar bir kümeyi oluşturur. Bunların aktif olarak kombinezonları vardır ve kritik miktara ulaştığında bulunmuş olduğu ortamın işleyişini olumsuz olarak etkiler. Hetero morfolojiye sahip bu yapılanmaları tanımlamak için ölçekleme teorisi ve fraktal analiz yöntemleri kullanılmaktadır.

Geleneksel görüntüleme yöntemleri genellikle yapısal değişikliklere odaklanırken, fraktal analizi, bu değişikliklerin karmaşıklığını ve hetero morfolojisin değerlendirmek için yeni bir yaklaşım sunmaktadır. COVID-19 virüsünün akciğer lezyonlarında dağılımı heterojen bir morfoloji oluşturur. Bu yapılanmaya ait görüntü işleme ve ölçekleme teorisi kullanılarak birçok çalışma yapılmaktadır [7]. Uygun koşullarda virüsleri üç boyutlu gözlemek nerde ise mümkün olmayıp sadece profil yapılanmalarından belirlemek mümkündür. Bundan dolayı röntgen görüntü yardımıyla tespit edilmesi bazen lezyonun yerini belirlemekte oldukça zorluk yaşanabilmektedir. Çünkü bu durum görüntüleme tekniğindeki büyük miktarda gürültü nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, X-ışını sonuçları, normal akciğerleri ve COVID-19 ile enfekte akciğerleri analiz etmek için bölgesel görüntü kesme algoritması kullanılarak bölümlere ayrılmış görüntüler kullanılarak incelemektedir [8-10]. Razi ve ark. x-ışını görüntülerinden hem normal hem de COVID-19 virüsü ile enfekte olmuş akciğer görüntülerindeki dağılımlara ait fraktal boyut analizi yapmışlardır. Bölgesel seçim sonuçları ikili görüntüler halinde elde edildikten sonraki adım, kutu sayma yönteminin fraktal boyutlarını kullanarak analiz yapmaktır. Bu çalışmanın fraktal Boyut sonuçlarına göre normal akciğerlerin ortalama boyutu $\sim 1,789$, COVID-19 ile enfekte akciğerlerin ise ortalama boyutu $\sim 1,583$ olarak hesaplamışlardır. Normal akciğerler, akciğerlerin lezyonlarla kaplanması veya vücut dokularındaki anormal durumlar nedeniyle korona virüs ile enfekte akciğerlerden daha büyük boyutlara sahiptir. COVID-19 hastalarının nefes almada zorluk çekme yaşamasına neden olan durumun bu alabileceğini belirtmişlerdir [9]. Akciğer X-ışını görüntülerinin kutu sayma yöntemi kullanılarak fraktal analiz gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada fraktal boyutların kutu sayma metoduna göre 1.652 ile alternatif kutu sayma yöntemine göre 1.853 olarak değiştiğini rapor etmişlerdir [11].

Bu tez çalışmasında COVID-19 virüsü ile bulaşı gerçekleşmiş olmuş bireyin radyolojik görüntüsü üzerinden ölçekleme teorisi kullanılarak fraktal boyutlar görüntü kontrast değerlerine göre belirlenmektedir. Bu amaçla olası zatürre teşhisi konulmuş radyolojik akciğer görüntüleri için gözlenebilen hetero morfolojik yapılanmada kaplama oranı, fraktal

boyut ve gözlenebilen olası parçacık büyüklüğü belirlenmektedir. Sonuçlar literatürdeki COVID-19 virüsü için daha önce yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmaktadır.

1.2 Tez Çalışmasının Amacı

COVID-19'un genetik varyasyonları da, çok büyük genetik soylarda mutasyonunu değiştirdiği için bugün araştırmacıları şaşırtmaktadır. Sağlık kuruluşlarına göre, koronavirüs doğrudan akciğerleri etkileyerek nefes almada zorluk gibi başlıca sorunlara neden olmaktadır. Ayrıca, doktorların normal süreçleri kullanarak hastalığın seviyesini doğru bir şekilde teşhis etmesi de zordur. Virüs normal test yöntemleriyle tespit edilebilse de, COVID-19 virüsünün neden olduğu solunum sorunlarını belirlemek için tıp alanında bilgisayarlı tomografi (BT) ve röntgen görüntüleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Fraktal boyut, görsel görüntülerin karmaşıklığını tanımlamak için ilginç bir doğrusal olmayan ölçüdür. Bu bağlamda, X-ışını görüntülerinin karmaşıklığı fraktal boyut kullanılarak analiz edilir. Fraktal boyut, gerçekçi görüntülerin karmaşıklığını tanımlamak için mükemmel bir doğrusal olmayan ölçüdür. COVID-19 ile enfekte hastaların X-ışını görüntülerinin karmaşıklığı ile diğer tip pnömoni (pnömoni, halk arasında “zatürre” olarak bilinen bir akciğer enfeksiyonudur) solunum hastalıklarının X-ışını görüntülerinin karmaşıklığı arasındaki fark, fraktal boyut kullanılarak iyi bir şekilde açıklanmaktadır.

Bu tez çalışmasında, zatürre hastalığı tanı ve teşhisinde kullanılan ve literatüre sunulmuş anonim özellikli X-ray (röntgen) görüntüleri [12-14] üzerinde normal, bakteri, virüs ve COVID-19 virüs hetero-morfolojik yapılanmanın fraktal boyut analiz yöntemi kullanılarak incelenmektedir. Çalışmanın hiçbir aşamasında tedavi amaçlı bir uygulama yapılmamıştır. Fraktal boyut belirleme tekniklerinin yardımıyla hetero-morfolojik yapılanmanın, tıbbi görüntü araştırmalarında etkili bir araç olarak kullanılabileceğini gösterilmektedir. Fraktal boyut değerleri klinik görüntüden tanı koyma açısından önemli bilgileri belirlemek için diğer son teknoloji yöntemlere ek olarak kullanılması gerekliliği bu tezde önerilmektedir. Bir sonraki bölümde tez konusu ile ilgili teorik bilgiler sunulacaktır. Tez çalışma konusu ile ilgili teorik bilgiler ve tez çalışmasının amacı bu bölümünde sunulacaktır. İlerleyen bölümlerde yapılan çalışmalar ve bu çalışmaların sonuçlarıyla ilgili detaylı bilgiler sunulacaktır. Bu tezin son kısmında ise yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar sunulacaktır. Bu tezde kullanılan görüntülerin alındığı kaynaklar [12-14] açık erişimli ve anonimdir.

2. FRAKTALIN TEORİSİ

2.1 Hetero Morfolojik Küme Ve Kümeleşme

Küme alt elemanların bulunmuş olduğu doğal ve deneysel koşullar sonucunda birbiri ile etkileşerek bir grup halinde bulunması ile oluşan yapılanma olarak tanımlanabilir. Bütün kümeler makroskobik olarak homojen olarak gözlenmesine rağmen mikroskobik olarak hetero morfolojik bir oluşum içerir [15]. Metallerde olduğu gibi bütün doğal maddeler birimsel yapılanmaya göre bir morfoloji gözlenir. Örneğin bakteri ve virüs gibi biyolojik karbon temelli organizmaların bütünsel şekli ve yapısı ile bunları tanımlamak ve özellikleri ölçekleme yaklaşımları ile incelenir.

Genel olarak biyolojik sistemlerde küme yapılanması dış görünümün (şekil, yapı, renk, desen, boyut) yönlerini, yani dış morfolojiyi (veya eidonomiyi) ve ayrıca kemikler ve organlar gibi iç parçaların biçimini ve yapısını, yani iç morfolojiyi (veya anatomiyi) içerir. Bu, öncelikle işlevle ilgilenen fizyolojinin tersidir. Morfoloji, bir organizmanın veya taksonun genel yapısının ve onu oluşturan parçaların incelenmesiyle ilgilenen bir yaşam bilimi dalıdır [16].

2.2 Kümeleşmeyi Etkileyen Temel Faktörler

Küme yapılanması için incelenen sisteme göre farklılık gösterir. Eğer sistem canlı organizma ise çevre koşulları ve bağışıklık sisteminin genel durumu etkin rol oynar. Eğer sistem fiziksel ve kimyasal sistem ise kümeleşmeyi gerçekleştiren maddenin türü, miktarı ve üretim metotları etkindir [17].

2.3 Bakteri Ve Virüslerinin Kümelerinin Tanımlanması

Lantan (La), canlı organizmanın hetero morfolojisini inceleyen histologlar ve sitologlar, hücre ve hücrelerin oluşturduğu küme yapısının belirli özelliklerini araştırmak için ışık, faz kontrast, girişim, polarizasyon, floresan ve tarama elektron mikroskobu kullanan tekniklerden yararlanır [18]. Faz kontrast mikroskobu canlı hücrelerin yapısını incelemek için yaygın olarak kullanılır çünkü bu tür aparatlarla iç yapılar hücrenin hayati fonksiyonlarına zarar vermeden veya deforme etmeden gözlemlenebilir. Ayrıca, faz kontrast mikroskobu kullanılarak bölünen hücrelerin veya hareketli hücrelerin kısmen yaşam süreci görüntüleri belirlenebilir.

Girişim mikroskobu, numuneden iki ayrı ışık ışınının geçmesini içerir. Uygun aletle numunenin birim alanı başına malzeme kütlesi belirlenebilir ve küçük nesnelere kontur haritalaması mümkündür [19].

Her ikisi de düzenli veya katmanlı bir moleküler yapı ile karakterize edilen kristal veya lifli elementler, polarizasyon mikroskobu ile incelenir; Polarizasyon mikroskobu özellikle kemiğin ayrıntılı yapısının incelenmesinde yararlı olmuştur [20].

Floresan mikroskobunda görülen görüntüler, belirli hücrelere bağlanan hücrelere eklenen floresan boya molekülleridir. Görüntüye yalnızca daha uzun dalga boyundaki ışığın katkıda bulunmasını sağlamak için uygun filtreler gereklidir. Floresan antikorlar, bir dokunun belirli hücrelerinde veya bir hücrenin belirli bölgelerinde belirli protein türlerinin ve diğer materyallerin yerini tespit etmek için kullanılmıştır [21]. Antikorlar, bir tavşana, lenfositler adı verilen beyaz kan hücrelerini, antijenle spesifik olarak reaksiyona giren antikorları sentezlemek üzere uyaran bir antijenin (örneğin, miyozin proteini) enjekte edilmesiyle hazırlanır. Antikorlar izole edilip saflaştırıldıktan sonra, floresan boya olan floresan boya, kimyasal bir reaksiyonla bunlara bağlanır. Floresan antikorlar bir dokuya yayılırsa, özellikle bunların oluşumunu uyaran moleküllere (miyozin) bağlanırlar. Floresan mikroskobu, antijen-antikor kompleksini içeren bölgeleri karanlık bir arka planda alanlar olarak ortaya çıkarır [22].

Taramalı elektron mikroskobunda (scanning electron microscope (SEM)), bir nesne veya objenin gözlenebilen yüzeyini tarayarak ve görüntü ekranında anlamlı görüntü gözlenebilene kadar hareketli bir elektron noktası (negatif yüklü elektron parçacıklar) kullanılır [23]. Dolayısıyla bu sayede üç boyutlu görünüme sahip morfolojik fotoğraflar üretilebilmektedir. Transmisyon elektron mikroskobunda, bir elektron demeti hücre gibi bir nesnenin içinden geçer ve diğer tarafta floresan bir ekrana veya fotoğraf plakasına odaklanır [24]. Taramalı elektron mikroskobundaki elektron ışını odaklanır ve ardından numune boyunca taranır. Numuneyi terk eden ve numuneye çarpan elektronlarla aynı olması gerekmeyen elektronlar daha sonra katot ışını resim tüpünün ışını kontrol etmek için kullanılır. Taramalı elektron mikroskopları, yalnızca DNA gibi büyük moleküllerin değil, aynı zamanda uranyum veya toryum gibi elementlerin bireysel atomları gibi çok küçük nesnelere de fotoğraflarının çekilmesine olanak tanır.

Röntgen klinik patolojik durumları tespit etmek için pratik olarak tercih edilen bir uygulamadır. Radyografik görüntüleme (röntgen), kemik yapılar başta olmak üzere organlar ve diğer yumuşak dokuların değerlendirilmesinde kullanılan bir tıbbi görüntüleme yöntemidir [25]. Röntgen uygulamalarında, görüntülerin elde edilebilmesi amacıyla belirlenmiş güvenli sınırlar içerisinde iyonize edici radyasyon kullanılmaktadır. Bir röntgen çekiminde vücuda ilgilenilen bölgeye radyasyon ışınları gönderir. X-ışınları vücuttan geçerek yakındaki bir X-ışını dedektörü üzerinde kesitsel bir görüntü oluşmasını sağlar. Işınlardan vücut dokularından geçişi sırasında, kemik dokular, yumuşak dokular ve diğer anatomik yapılar radyasyonu farklı oranlarda soğurarak görüntü kontrastının oluşmasına katkıda bulunur ve detektörde farklı yoğunlukta ışık demeti oluşur. Röntgen, hekimlerin hastanın patolojik durumunu değerlendirmesi için en güvenli ve etkili bir yöntemlerden biridir. Genelde çeşitli röntgen türleri, vücuttaki farklı bölgelerin görüntülerini oluşturabilir. Radyografik görüntülerin daha net ve ayırt edici hâle getirilmesi amacıyla kontrast maddelerin (boyalar) kullanımı tercih edilebilmektedir. En yaygın röntgen uygulamalarından biri, akciğerlerde zatürre tanısının konulmasında kullanılan göğüs radyografisidir. Göğüs röntgeni ile kalp, akciğerler, kemik yapılar ve torasik bölgede yer alan anormallikler ile zatürre gibi patolojik durumlar değerlendirilmekte ve saptanmaktadır [26].

Radyografik görüntüleme işlemlerinde kullanılan kontrast maddeler sıvı, toz veya tablet formunda uygulanabilmektedir. Gerekli görülen durumlarda, kontrast madde röntgen çekimi öncesinde yetkili sağlık personeli tarafından hastaya uygulanmaktadır. Röntgen incelemesinin türüne bağlı olarak kontrast maddeler oral yolla, intravenöz enjeksiyon şeklinde ya da rektal yoldan (lavman aracılığıyla) uygulanabilmektedir [27].

2.4 Ölçekleme Teorisi

Nümerik olarak bir fonksiyon değişimim farklı yaklaşımlarla değerlendirilebilir. Bunlardan biri de ölçeklendirmedir. Buna göre bir fonksiyonun veya $f(x)$ eğrisinin ölçeklendirme özellikleri, x bağımsız değişkeninin yeniden ölçeklendirmeleri altında dikkate alınabilir [28]. Yani, uzunluk veya boyutun yeniden ölçeklendirilmesi olarak alınabilecek bazı ölçek faktörü λ için $f(\lambda x)$ şekli belirlenir. $f(x)$ değerlerinin tüm yeniden ölçeklendirmeler altında değişmez olması gerekir. Dolayısı ile:

$$f(\lambda x) = \lambda^A f(x) \quad (1)$$

bağıntısı tanımlanabilir ve böylece bazı fonksiyonun değişimine ait üst seçimi için Δ ve tüm genişlemeler için λ sabit değeri belirlenir. Bu, f fonksiyonu, Δ üs derecesinin homojen bir fonksiyonu olmasına eşdeğerdir.

Ölçeğiyle değişkenlik göstermeyen fonksiyonlara örnek olarak, $\Delta = n_1$ olan $f(x) = x^n$ tek terimlileri verilebilir. Buna göre:

$$f(x) = f(\lambda x) = \lambda^n f(x) \quad (2a)$$

$$f(\lambda x) = \lambda x^n = x^n f(x) \quad (2b)$$

Ölçekle değişmeyen bir eğrinin bir örneği, doğada sıklıkla görülen bir tür eğri olan logaritmik spiraldir. Kutupsal koordinatlarda (r, θ) , spiral eğri ile sonuçlanan fonksiyon:

$$r(\theta) = a e^{(b\theta)} \text{ veya } \theta = \frac{1}{b} \ln\left(\frac{r}{a}\right) \quad (3)$$

bağıntısı ile tanımlanabilir. Eğrinin dönüşlerine izin verildiğinde, tüm yeniden ölçeklendirmeler, λ değeri altında değişmezlik gösterir. Yani $\theta(\lambda r)$ değişimleri, $\theta(r)$ değerinin döndürülmüş sürümleri ile aynı değerler ile sonuçlanır [29].

2.5 Kümeyi Tanımlama Ve Kaplama Oranı

Modern istatistiksel fizikte sistemlerin davranışını belirleme yaklaşımında katı, sıvı ve gaz moleküllerinin oluşturduğu morfolojik yapılanma incelemesinde standart olarak gözlenebilen en küçük birim, parçacık olarak tanımlanır [30]. Genel olarak morfolojik yapılanmayı oluşturan en küçük atom, hücre ve gaz moleküllerinin davranışını takip etmek mümkün değildir. Dolayısı ile bir grubu parçacık olarak tanımlanır ve bunların sınırlı bölgede bulunma olasılığı yani kaplama veya örtme oranı belirlenir. Hetero morfolojik yüzeyini oluşturan farklı tür yapılanmaları gözlenebilen desen örgü içerisindeki her bir hücre görüntü yoğunluğu (intensity) ve optimum eşik değeri referans alınarak kümeleri oluşturan en küçük parçası parçacık yoğunluğu $\rho(x_i, y_i)$ belirlenmektedir. Bu görüntülerin gözlenebilen görüntüsü fotometrik yöntemlerde bitmap görüntüsünde küme ve küme parçalarını temsil eden parçacık yoğunluğu $\rho(x_i, y_i)$ değeri [31]:

$$\rho(x_i, y_j) = \begin{cases} 1 & \text{eğer beyaz renkli,} \\ 0, & \text{eğer siyah renkli.} \end{cases} \quad (4)$$

alınarak ölçekleme parametreleri hesaplanmaktadır. Numune yüzeyinde kümelenmeyi oluşturan parçacık yoğunluklarının toplamı dikkate alınarak, tespit edilen siyah pikseller aracılığıyla küme boyutları ve küme sayıları hesaplanmaktadır. Beyaz pikseller ise yüzeyin farklı bir alt tabakasını ifade etmektedir. Parçacıkların örgü yüzeyinde yer alma olasılığı, numune tipine bağlı olarak alt tabakanın kaplanma oranı şeklinde tanımlanmakta olup, bu oran yüzeyde bulunan toplam parçacık sayısının örgü alanına oranlanmasıyla elde edilmektedir. Bu doğrultuda örtme oranı [32]:

$$\sigma(N, L) = L^{-d} \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L \rho(x_i, y_j) \quad (5)$$

formülü ile hesaplanır ve burada $N = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L \rho(x_i, y_j)$, yüzeysel küme yapılarını temsil eden siyah piksellerin toplam sayısı dikkate alınmakta olup, $d = 2$ değeri Öklidyen boyutu ifade etmektedir.

2.6 Fraktal Boyut

Fraktal boyut, bir fraktal şeklin karmaşıklığını ölçmenin bir yoludur. Şeklin alanı nasıl doldurduğunu veya parçalarının ne kadarını kapladığını açıklayan bir sayıdır. Fraktal boyut genellikle D sembolüyle gösterilir. Doğa genel görüntüsü ile farklı yapılanmalardan oluşur. Katı maddeler atom ve moleküllerinin farklı kombinasyonu ile geometrik yapılanması makroskobik olarak gözlenir [33]. Canlı hücre, virüs ve bakterilerde belirli koşullarda genel bir geometrik desene sahiptir. Bunları Öklid geometrisi ile tanımlamak mümkün değildir. Dolayısı ile bu yapılanmaların kaotik derecelendirilmesi ve tanımlanması için fraktal boyut kavramı önerilmektedir. Bu yapılanmaların bazıları fraktal olarak tanımlanabilir. Fraktal, Latince “fractus” kelimesinden türetilmiş “kırık” anlamına gelen bir kavramdır. Temel yapı taşı ne olursa olsun bir yapılanmanın fraktal olarak tanımlanabilmesi için en küçük birimi kendini tekrar etmesi gerekir. Ancak doğa yapılanması burada tanımlanan kısmen fraktal özellik göstermektedir [34].

Genel olarak doğada iki farklı tür fraktal vardır. Bunlardan biri geometrik (düzenli) ve geometrik olmayan (düzensiz) yapılanmalardır. Geometrik bir fraktal, birbirinin kesin kopyasına benzeyen büyük ve küçük temel yapılardan oluşur ve kendini tekrarlayarak

bütünü oluşturur. Düzensiz fraktallarda da irili ufaklı yapılar bulunur, ancak bunlar birbirine benzemez. Bunun yerine yapılar geometrik olarak ilişkilidir. Düzensiz fraktalların doğada birçok deseni vardır [35].

Fraktal boyutlar, yalnızca yüzey pürüzlülüğünün nicel olarak tanımlanmasını sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda yüzeylerin fonksiyonel özelliklerini de yansıtmaları nedeniyle tercih edilmektedir. Bu bağlamda, yüzey teknolojileri kapsamında fonksiyonel karakteristiklerin daha ayrıntılı biçimde anlaşılması, ilgili süreçlerin daha etkin ve kontrollü bir şekilde yönetilebilmesi ve mevcut performansın artırılabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır [36].

Doğada bulunan maddeler atomik ölçekte incelendiğinde, çoğunlukla fraktal boyuta sahip geometrik yapılar sergiledikleri görülmektedir. Fraktal boyut kavramı, farklı bağlamlarda çeşitli anlamlar taşımakta olup, köklü bir matematiksel geçmişe sahiptir. İlk kez 1975 yılında Polonya asıllı matematikçi Beneoit B. Mandelbrot [37, 38] tarafından ortaya konulan fraktal kavramı, yalnızca matematik alanında değil; fizikokimya, fizyoloji ve akışkanlar mekaniği gibi pek çok disiplin üzerinde de önemli etkiler yaratarak yeni bir geometrik yaklaşımın gelişmesine öncülük etmiştir. Fraktal kavramı, doğa bilimlerinde farklı nedenlerle yaygın olarak kullanılmaktadır. Kendine benzerlik ve kendini yineleme özellikleri, fraktal olarak tanımlanan yapıları kuvvet yasaları ve kaos gibi olgularla ilişkilendiren temel kavramlar arasında yer almaktadır. Bu bağlamda kendine benzerlik, evreni yöneten temel simetri ilkelerinden biri olarak kabul edilmektedir.

Fraktal boyut, doğada bulunan ya da deneysel koşullar altında üretilen yapıların geometrik karmaşıklığını ve yapısal karakteristiklerini tanımlamak amacıyla kullanılmaktadır. Yapıların fraktal boyutunun belirlenmesinde en yaygın olarak kullanılan yöntemler arasında Hausdorff boyutu, kutu sayma boyutu (box-counting dimension), kendine benzerlik boyutu ve korelasyon boyutu yer almaktadır. Görüntü yüzeylerinin analizinde ise kutu sayma yöntemi, uygulama kolaylığı ve yüzeydeki geometrik karmaşıklığı etkin biçimde yansıtabilme yeteneği nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir [39].

Fraktal boyut değeri ile boşluk doldurma arasındaki ilişki, yapının yoğunluğunu tanımlayan nicel bir ölçüt ortaya koymaktadır. Fraktal boyut; öz-benzerlik, detay düzeyi ve düzensizlik gibi fraktal yapılara özgü özelliklerin değerlendirilmesinde kullanılan bir kavram olup, bir

çizginin ya da yapının mutlak uzunluğunu ölçmek amacıyla kullanılmamaktadır. Bununla birlikte, fraktal boyut sayesinde yapıların uzayı doldurma kapasitesi, düzenlilik düzeyi ve benzeri geometrik özellikler açısından karşılaştırılabilmesi mümkün olmaktadır [40].

Bilgisayar tabanlı analizlerde fraktal boyutlar, genel olarak kutu sayma (box-counting) yöntemi kullanılarak hesaplanmaktadır. Fraktal boyutun bu yöntemle belirlenmesi, ilgili matematiksel formülasyona dayanmaktadır. Bu kapsamda $N(\delta)$, incelenen desenin özelliklerini içeren kutuların sayısını ifade ederken, δ ise kullanılan kutuların boyutunu temsil etmektedir [41].

Katı ve canlı organizma yüzeyindeki hetero morfolojik yapılanmaların desen davranışını belirlemek için nümerik yaklaşım ile fraktal geometri kullanılmaktadır. Fraktal geometride, bir hetero morfolojik gözlenebilen desenin fraktal boyutu, bir modeldeki ayrıntıların belirlendiği ölçekle yüzeysel yapılanmanın nasıl değiştiğini belirleyebilir ve yapılanmanın karmaşıklık indeksi sağlayan bir oran değeridir [42]. Ayrıca, yüzeysel fraktal yapılanmanın oluştuğu iki ya da üç boyutlu (2B ve 3B) uzayda nasıl farklı ölçeklendiğini belirler ve incelenen sistemdeki bir desenin içindeki boşluk doldurma kapasitesinin bir ölçüsü olarak da karakterize edilebilir. Dolayısıyla ile fraktal boyut d_f tam sayı (integer) değerinde olması beklenemez. Böylece 2B'lu yüzeysel hetero morfolojide fraktal boyut $1 \leq d_f \leq 2$ arasında değerler olması beklenir. Eğer $d_f=1$ ise desenin doğrusal olduğunu ve eğer $d_f \rightarrow 2$ değerine asimptotik olarak yaklaştıkça hetero morfolojik desenin hemen hemen 2B'lu geometrik şekli ne olursa olsun yüzeyi tamamen kapladığını gösterebilir [43].

2.7 Doğrusal Regresyon Analizi

X-ışını Doğrusal regresyon analizde, ana kütle model belirlenmesine göre bağımlı değişken y_i parametrelerinin değişimi bağımsız değişkene göre bir doğrusal birleşimi olarak tanımlanabilir. Burada dikkat edildiğinde parametreler ile tanımlanmaktadır, çünkü bağımsız değişken değerlerinin bir doğrusal bileşimi olması gerekli değildir [44]. Buna göre, tek bir bağımsız değişkenli x_i ve iki parametrelili (β_0 ve β_1) herhangi doğru:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \epsilon_i, i = 1, n \quad (6)$$

bağıntısı ile tanımlanır. Bu modelde ϵ_i bir hata terimini temsil etmekte olup, alt indis i belirli koşullar altında elde edilen olası bir gözlemi ifade etmektedir. ϵ_i , i 'nci gözlemin regresyon doğrusundan olan sapmasını göstermekte ve ortalaması sıfır, varyansı σ^2 olan bir normal dağılıma sahip olduğu varsayılmaktadır. Çoklu doğrusal regresyon analizinde, iki veya daha fazla bağımsız değişken ya da bağımsız değişken fonksiyonu modele dâhil edilmektedir. Örneğin, daha önce tanımlanan regresyon modeline x_i^2 teriminin eklenmesi durumunda, ana kütle için çoklu doğrusal regresyon modeli elde edilmektedir [45]. Buna göre parabol:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \epsilon_i, i = 1, m \quad (7)$$

Denklemin sağ tarafında yer alan bağımsız değişken için ikinci dereceden (kuadratik) bir terim bulunmasına rağmen, model doğrusal regresyon modeli olarak sınıflandırılmaktadır. Bunun nedeni, modelin üç parametreye yani β_0, β_1 ve β_2 ile göre doğrusal bir yapıya sahip olması ve çoklu değişkenli doğrusal bir formda tanımlanabilmesidir.

Daha genel birçoklu doğrusal regresyon modelinde, p adet bağımsız değişkenin bulunduğu varsayılmakta olup, ana kütleyle ilişkin model aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \dots + \beta_p x_{pi} + \epsilon_i, \quad (8)$$

veya biraz daha kısa olarak:

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^p x_{ij} \beta_j + \epsilon_i \quad (9)$$

2.8 İki Değişkenli Regresyon Katsayı Kestirimleri

Ana kütlede rastgele bir örneklem elde edilmesi durumunda, ana kütle parametreleri β_i için örneklem tahminleri $\hat{\beta}_i$ hesaplanmakta ve bu tahminlere dayanarak aşağıdaki örneklem doğrusal regresyon denklemi elde edilmektedir [46-48]:

$$y_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_i + e_i \quad (10)$$

Burada terimi örneklemde elde edilen artık ya da hata terimi olur. Hata terimi:

$$e_i = y_i - \hat{y}_i \quad (11)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Örneklem regresyon denkleminin kestirimini elde etmek amacıyla kullanılan yöntem, En küçük kareler yöntemi (ordinary Least Squares) olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemde parametre tahminleri, hata terimlerinin kareleri toplamının en küçük değeri alacak şekilde belirlenmektedir [46]. Buna göre artıkların kareleri toplamı şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\sum_{i=1}^N e_i^2 \quad (12)$$

Bu fonksiyonun minimum değerinin belirlenmesi, her bir parametreye göre birinci dereceden kısmi türevlerinin alınarak sıfıra eşitlenmesiyle gerçekleştirilmektedir. Bu işlem sonucunda, her bir kısmi türev için ayrı bir denklem elde edilmektedir. Örneğin, iki parametrelili doğrusal regresyon modelinde iki bilinmeyenli iki denklem ortaya çıkmaktadır. Bu eşzamanlı denklem sistemine normal denklemler adı verilmekte olup, söz konusu sistemin birlikte çözülmesiyle her bir ana kütle parametresi için kestirim değerleri hesaplanmaktadır.

İki parametrelili basit doğrusal regresyon modelinde, ana kütleyle ait iki parametre kestirimi, ilgili $\widehat{\beta}_0, \widehat{\beta}_1$ normal denklemlerin birlikte çözülmesi sonucunda elde edilmektedir [47,48]:

$$m \alpha + \sum x_i \beta = \sum y_i \quad (13)$$

$$\sum x_i \alpha + \sum x_i^2 \beta = \sum x_i y_i \quad (14)$$

Bu kapsamda, tüm toplamlar $i=1$ den $i=n$ kadardır ve örneklem toplamları, toplam kareleri ve toplam karşı çarpımı ile elde edilirler.

Bu iki değişkenli doğrusal denklem sisteminin çözümünde farklı yöntemler kullanılabilir. Bu çalışmada, Cramer'in kuralı uygulanarak aşağıdaki ifade elde edilmiştir:

$$\hat{\beta} = \frac{m \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\Delta} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (15)$$

$$\hat{\alpha} = \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i}{\Delta} = \bar{y} - \bar{x} \hat{\beta} \quad (16)$$

burada,

$$\Delta = m \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2 \quad (17)$$

şeklindedir. Böylece iki parametrelili doğrusal regresyon için en küçük kareler parametre tahminleri için formüller şöyledir:

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2} a \quad (18)$$

ve

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x} \quad (19)$$

Burada \bar{x} , x gözlem değerlerinin ortalaması ve \bar{y} ise y gözlem değerlerinin ortalamasıdır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Fraktal boyut hesaplamaları, zatürre gibi hastalıkların erken evrelerinde akciğer dokusunda meydana gelen makroskobik ve mikroskobik değişiklikleri belirlemede yardımcı olabilir. Akciğerlerin radyolojik görüntüsündeki pürüzlülük ve mikroskobik yapısal değişiklikler, zatürre başlangıcında henüz belirgin olmamakla birlikte, fraktal boyut analizi yardımı ile daha erken bir aşamada tespit edilebilmesi olasıdır. Bu tez çalışmasında normal sağlıklı birey ile bakteri, virüs ve özellikle COVID-19 virüsünün etkilediği akciğer x-ray görüntülerine ait ölçekleme teorisi kullanılarak küme istatistikleri belirlenmektedir. Ayrıca aynı işlemler COVID-19 virüsü bulaşışı olan patolojik akciğer kesitli taramalı elektron mikroskobu görüntüsüne (SEM) ait gözlenebilen hetero morfolojik yapılanması üzerinde uygulanmaktadır. Çalışma sürecinde SEM görüntüleri, açık kod yazılımlı imageJ kullanılarak bilgisayar ortamına taşındı ve görüntüler dijitalleştirildi. Görüntü çözünürlüğü ve belirginliğini sağlamak için Gaussian Blur standartlı $\sigma = 2$ büyüklüklü değer ile filtrelendi ve 8-bit değerli Bitmap görüntü biçimine dönüştürüldü. Görüntüler gözlenebilen farklı topografik görüntü yapılanması ve yüzeysel dağılımına göre bölgeler seçildi. Görüntüler, biküçük interpolasyon ile kenar boyutu LxM piksel örgü formatı için yeniden boyutlandırıldı. Tipik bu bölgelerde dört adedi Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Bu görüntülerde, siyah renkler virüsleri, diğer beyaz bölgeler ise canlı biyolojik ortamın ayırt edilebildiği yerlere göre yüksek zıtlık oluşturuldu. Her bir görüntüde piksel değeri referans alınarak nümerik hesaplamalar gerçekleştirildi. Piksel ölçüt değeri için gerçekleşen değer 1 piksel (pixel) = 0.1675 nm olarak belirlendi. Dolayısı ile radyolojik görüntülerde fraktal boyut hesaplama aşağıda belirtilen adımlarla gerçekleştirilmektedir.

(i) Görüntü Ön İşleme: Radyolojik görüntüler, gürültü azaltma ve kontrast artırma gibi işlemlerle önce dijitalleştirilir.

(ii) Fraktal Analiz Yöntemi Seçimi: Fraktal boyut hesaplamak için çeşitli yöntemler vardır. Bu çalışmada en yaygın olan kutu-sayma algoritması kullanılmaktadır.

(iii) Veri Analizi: Fraktal boyut hesaplama yöntemi belirlendikten sonra görüntü kontrastı %40 ile %65 aralığında değişen değerlerde her bir görüntü için kaplama oranı ve fraktal boyutlar hesaplanır ve elde edilen sonuçlar istatistiksel analizlerle değerlendirilir.

4. BULGULAR

4.1 Teorik Çalışmalar

Yapılan çalışmalarda, zatürre hastalarının radyolojik görüntülerinin fraktal boyutlarının kontrol grubu ile karşılaştırıldığında anlamlı farklılıklar gösterdiği gözlemlenmiştir. Özellikle, hastalığın ilerlemesi ile fraktal boyutun arttığı ve bu durumun akciğer dokusundaki heterojenliğin bir göstergesi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu bulgular, fraktal analizin, zatürre gibi hastalıkların değerlendirilmesinde potansiyel bir araç olabileceğini göstermektedir. Virüs ve özellikle COVID-19'un, bulaşmasının hızlı bir şekilde gerçekleşmesi ve farklı mutasyonlara uğraması sonucunda insanlık tarihinde büyük bir felakete sebep olmuştur. Virüs, özellikle bulaştığı hastalarda soğuk algınlığı, kuru öksürük ve solunum problemlerine neden olmaktadır. Virüsü tespit etmek ve olası olumsuz etki ilerleyişini izlemek için çeşitli test yöntemleri kullanılmaktadır. Genelde BT ve röntgen görüntüleri, virüsün neden olduğu solunum problemlerini tespit etmek amacıyla kullanılan önemli bir yöntem haline gelmiştir. COVID-19'un mutasyonlar geçirmesi, bilim insanlarını yeni yöntemler geliştirmeye teşvik etmiştir. COVID-19 daha iyi anlaşılabilmesi için mutasyonlarının başlangıcından bu yana mevcut verilerden yeni bilgilerin çıkarılması son derece önemlidir.

Bu tez çalışmasında bakteri ve virüs temelli zatürre oluşumu ile akciğerde hetero morfolojisinin gözlenebilen radyolojik (x-ray) görüntülerin fraktal analizi ile tanımlanması ve fraktal boyuta dayalı karmaşıklıklarını belirlemeyi amaçlamaktadır.

Doğal koşullarda zatürre, bakteriyel, virüs veya mantar enfeksiyonunun neden olduğu akciğerlerde iltihaplanma ve sıvı miktarının artması ile oluşur. Genel olarak insan üzerindeki belirtileri nefes almayı zorlaştırır. Vücut ateşinin artmasına sarı, yeşil veya kanlı mukuslu öksürüğe neden olabilir. Grip, COVID-19 ve pnömokok hastalığı zatürre (pnömoninin) yaygın nedenleridir. Hekimler zatürre teşhisinin konulabilmesi için röntgen filmi üzerindeki sıvı miktar ve yoğunluğunun hetero morfolojisine göre oluşan görüntü yoğunluğunun durumu sonucu teşhis koymaktadır. Dolayısı ile herhangi bakteri ve virüs gibi kaynağı farklı akciğer görüntüsü aynı görüntü yoğunluğunda farklı yapılanma gözlenir.

Herhangi bir birey normal, bakteri, virüs ve COVID-19 bulaşısı sonucunda akciğer x-ray görüntülerinde önemli farklılıklar gözlenir. Ölçekleme teorisi kullanarak görüntü ön işleme

teknikleri, bir görüntünün belirginliğini ve kalitesini iyileştirmek ve/veya hedeflenen bulguyu belirlemek ve içsel değişken nesne hakkında daha anlamlı bilgiler ortaya çıkarmak için oldukça faydalıdır. Bu çalışmadaki zatürre belirleme ön işlem adımları yüzeysel görüntü yoğunluk yapılanmasının belirlenmesi ve zatürre yapılanmasının akciğer dışı alanların maskelenmesi ve görüntü dokusu iyileştirmesi gerçekleştirildi. Bu çalışmada başlangıçta 0 ile 255 yoğunluk seviyeli ve 8 bitlik gri tonlama spektrumu formatındaki görüntüler kullanılmaktadır. Görüntüler eğer gerekiyorsa burada tanımlanan formata dönüştürülür. İlk ön işleme adımı olarak, radyolojik görüntülerin eşikleme histogramı, her bir görüntünün yoğunluk seviyeleri belirlenir ve görüntü üzerindeki hetero morfolojik yapılanmanın oluşumu diğer için tüm değerler sabitlenir. Daha sonra, bu çalışmayla alakalı olmayan görüntü parçalarının varlığını sınırlamak için basit bir maskeleyme ve zatürre dışı morfolojik yapılanmalar görüntü işleme ile silinir. Bu işlem, görüntünün arka planını kaldırmayı yani görüntü kenarlarıyla temas halinde sifra eşit yoğunluktaki bölgeler olarak tanımlanır. Daha sonra parlak ve daha koyu bölgeler arasındaki kontrast farklarını bir denge kontrast geliştirme tekniği kullanarak büyütme ve çıktı görüntüsünün ortalamasını 60'lık bir yoğunluğa ayarlamayı içerir. Kemik ve daha yüksek yoğunluklu dokuya karşılık gelen alanlar (görüntü yoğunluğunun en üst %25'lik yüzdelerdeki pikseller olarak tanımlanır) daha sonra maskelenir. Şekil 4.1 Aa'da normal akciğer görüntüsü izlendiğinde sıvı yoğunluğu optimum olup hem sağ lopta hem de sol lopta yoğun ve düzenli bir yapılanma gözlenmektedir. Şekil 4.1 Ab'de ise gri tonlamada hetero morfolojik yapılanmanın histogramı ve -4.1 Ac'de ise bit mat formatında oluşum gösterilmektedir. Şekil 4.1 Ba'da bakteri enfeksiyonu ile zatürre oluşumunda sağ ve sol lopta düzensiz parçalı bir yapılanma oluştuğu ve sıvı yoğunluğunun düzensiz bir değişimi, -4.1 Bb'de histogramı ve -4Bc'de ise bitmap görüntüsü göstermektedir. Virüs kaynaklı zatürre oluşumunda ise -4.1 Ca ve COVID-19 -4.1 Da'de ise sıvı yoğunluğunun oldukça azaldığını ve akciğer içerisinde belirli bölgelerde küme oluşumunun gerçekleştiği belirlenebilir. Ayrıca Şekil 4.1 Db'de histogramı ve -Dd'de ise bitmap görüntüsü sunulmuştur. Gerek bakteri gerekse virüs kaynaklı zatürre oluşumunda genel olarak akciğer sıvı yoğunluğunun azaldığını ve normal akciğere göre düzensiz bir görüntüleme oluşturduğunu belirlemek mümkündür.

Akciğer zatürre patolojisinde bakteri, virüs ve COVID-19 virüs hetero morfolojisinin yapılanması ve normal sağlıklı birey ile karşılaştırmak ve küme istatistiklerini belirlemek için ölçekleme teorisi kullanılmaktadır. Bu amaçla zatürre teşhisi konulmuş bakteri ve virüs topluluğunun röntgen çıktıları bilgisayar ekran görüntü özellikleri referans alınarak patolojik

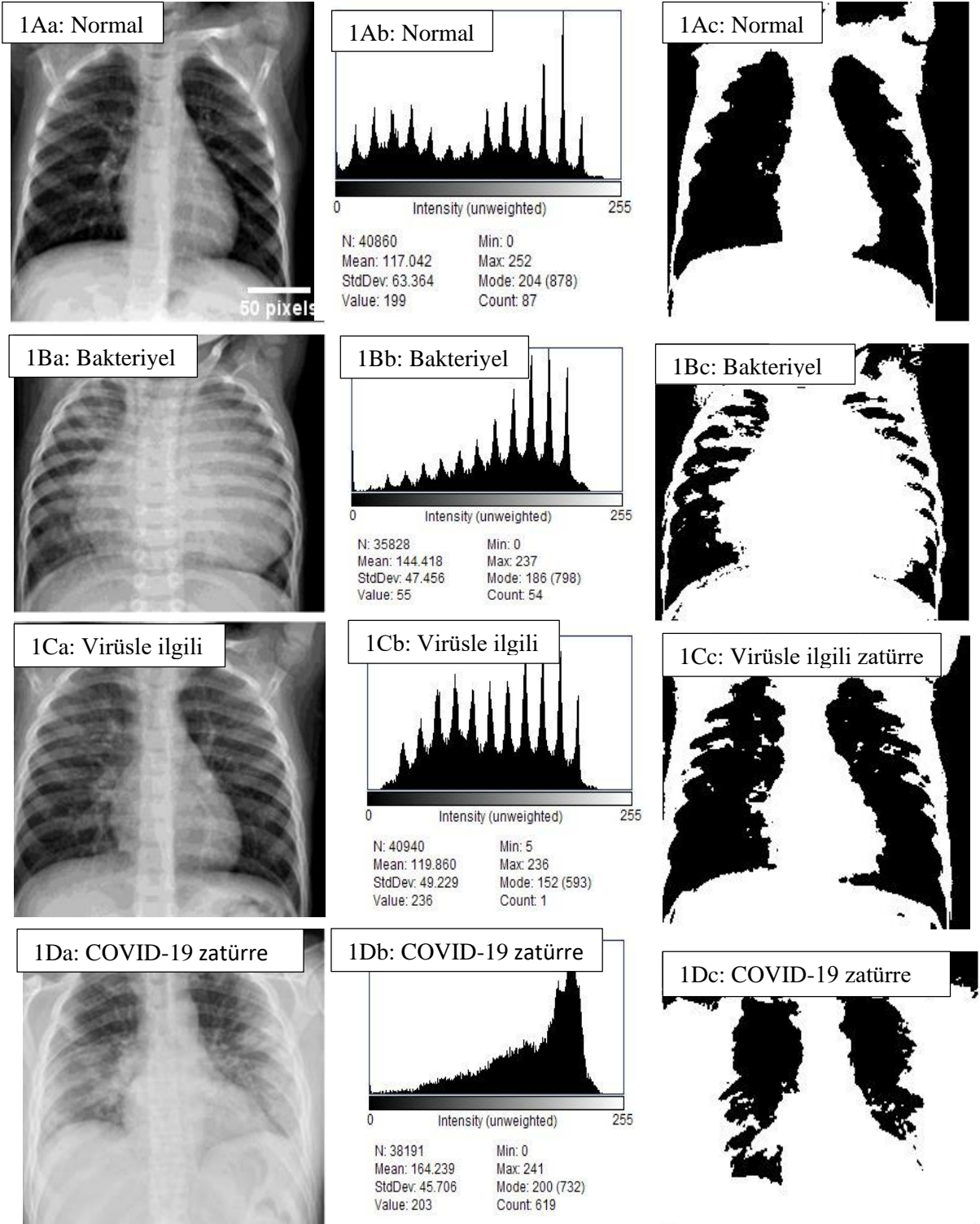
durumu oluşturan akciğer sıvısının yoğunluğuna bağlı olarak gözlenebilen küme ve küme parçacıkların için $L \times M$ boyutlu örgü içerisine taşınarak yukarıda tanımlandığı gibi dijitalleştirilmiştir. Buna göre yüzeysel hetero morfolojik yapılanmadaki her bir pikselin parçacık yoğunluğu, $\rho(x_i, y_j)$ olarak tanımlanır. Buna göre gözlenebilen ve akciğer sıvı yoğunluğu içindeki bakteri ve virüsü oluşturan kümülatif her bir piksel için parçacık yoğunluğu:

$$\rho(x_i, y_j) = \begin{cases} 1 & \text{şayet siyah ise,} \\ 0, & \text{şayet beyaz ise.} \end{cases} \quad (20)$$

bağıntısı ile tanımlanır. Bu yaklaşım sayesinde, görüntü yüzeyinde bakteri ve virüs kümelerini oluşturan parçacık yoğunluklarının toplamı esas alınarak, kümülatif siyah pikseller üzerinden küme büyüklükleri ile birbirinden bağımsız bakteri ve virüs kümelerinin sayıları belirlenmektedir. Görüntüdeki beyaz pikseller ise akciğer içi canlı organizmanın yaşamsal aktivitesini sürdürebilme için gerekli sıvıyı göstermekte, yani virüs ve virüs topluluğu bu sıvı içerisinde topluluk halinde bulunmaktadır. Bunların miktarı sıvı yoğunluğunu ortaya koymaktadır. Virüs parçacıklarının gözlenebilen yüzey üzerinde bulunma olasılığı yani kaplama veya örtme oranı, yüzeydeki toplam virüs temelli parçacık sayısının gözlenebilen ve kapalı kare örgü alanı ile sınırlandırılan değere oranı olarak belirlenir. Buna göre gözlenebilen sınırlandırılmış bölge için virüs bulunma olasılığı:

$$\sigma(N, L) = L^{-d} \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L \rho(x_i, y_j) \quad (21)$$

formülü ile hesaplanır ve burada $N = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L \rho(x_i, y_j)$, gözlenebilen yüzeysel küme parçalarını oluşturan kümülatif siyah piksellerin toplam sayısı ve $d = 2$ ise Öklid boyut değeridir. Normal göründe %40 kontrastlı radyolojik 224 piksel x186 pikseli normal insan görüntüsünde kaplama oranı 66,09, küme sayısı 7 ve bunlardan 2 tanesi akciğerin sağ ve sol lobları olmak üzere belirlendi.



Şekil 4.1: Akciğer X-ray görüntüleri [12-14]. Herhangi normal birey (1Aa), bakteri (1Ba), virüs (1Ca) ve COVID-19 bulaşısı sonucunda oluşan yapılanma (1Da) görüntüsü

Hetero morfolojik yapılanmada fraktal boyut, skolastik kompoze yapılanmış parçacık gruplarını istatistiksel yaklaşımla tanımlamada önemli bir parametredir. Dolayısı ile hem morfolojik desen hem de yapısal doku özellikleri ile bir ilişkiyi belirlemek için yararlı bir niceliktir. Hetero morfolojili yapıların yaklaşık geometrik yapılanmasını nicel olarak belirlemek ve gözlenebilen yüzeyde virüs küme yapılanmasını tanımlamak için genelde ölçekleme metodu kullanılarak fraktal boyut d_f , değeri ölçümlenmektedir. Ayrıca fraktal boyut virüs yapılanmasını bir parçacık dağılımı olarak belirlersek gözlenebilen yüzeysel yapılanmaya ait karmaşıklığı belirlemek mümkündür ve bir anlamda ölçüsüdür. Yapılanma özelliklerini belirlemede referans alınan ölçeğin değişmesiyle yapılanmadaki detayın değişimini açıklayabilir. Bu nedenle akciğerdeki bronşlara yerleşmiş ve miktar olarak gözlenebilen düzey sonucunda morfolojik virüs yapılanmanın ölçeklenebilirliği, parçacık dağılımı ve küme oluşumu hakkında bilgi verebilir. Genel olarak, fraktal boyut parçacık yoğunluğu ve aynı parçacık büyüklüğüne ait grubun sayısı $N(\epsilon)$ için kullanılan ϵ ölçeği ile orantılıdır. Buna göre ölçek ϵ değeri kümülatif pikselleri ifade eder. Gözlenebilen virüs grubunun parçacık yoğunluğu grup sayısı ile fraktal boyut arasındaki ilişki:

$$N(\epsilon) \sim \epsilon^{-d_f} \quad (22)$$

bağıntısı ile tanımlanır. Burada d_f , fraktal boyut, ϵ ise gözlenebilir minimum ölçek (yarstick) olarak kümülatif piksellerin değeridir. Hetero morfolojili yapılanma için fraktal boyut değerinin belirlenmesi, numune yüzeyindeki virüslerin oluşturduğu ada yapılanmalı küme örüntülerini nicel olarak kategorize etmeye yardımcı olabilir. Fraktal boyut d_f , kendine benzer (self-affine) fraktal örüntü formların karmaşıklığını temsil eden bir parametredir. Yüzey üzerindeki küme örüntülerinin yapılanmasını ve parçacık dağılımının oluşturduğu desen yapılanmasını karakterize etmek için fraktal boyut hesaplanmak uygundur. Fraktal boyutu hesaplama için birçok farklı yöntem ve algoritma önerilmiştir. Bu tez çalışmada kutusayma yöntemi kullanılmaktadır. Numune yüzeyi birinci katmanı için gözlenebilen oluşum formları, çeşitli kenar uzunluklarına sahip kare örgü içine taşınmakta ve dolu pikseller ϵ belirlenmektedir. Parçacık olarak dolu piksellerin sayısı aşağıdaki bağıntıda belirtildiği gibi $N(\epsilon)$ olarak ölçeklenir. Genelde, görüntüdeki parçacık sayısı $N(\epsilon)$ olarak bir veri dağılımı oluşturulur. Fraktal boyut:

$$d_f = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{-\log N(\epsilon)}{\log(\epsilon)} \quad (23)$$

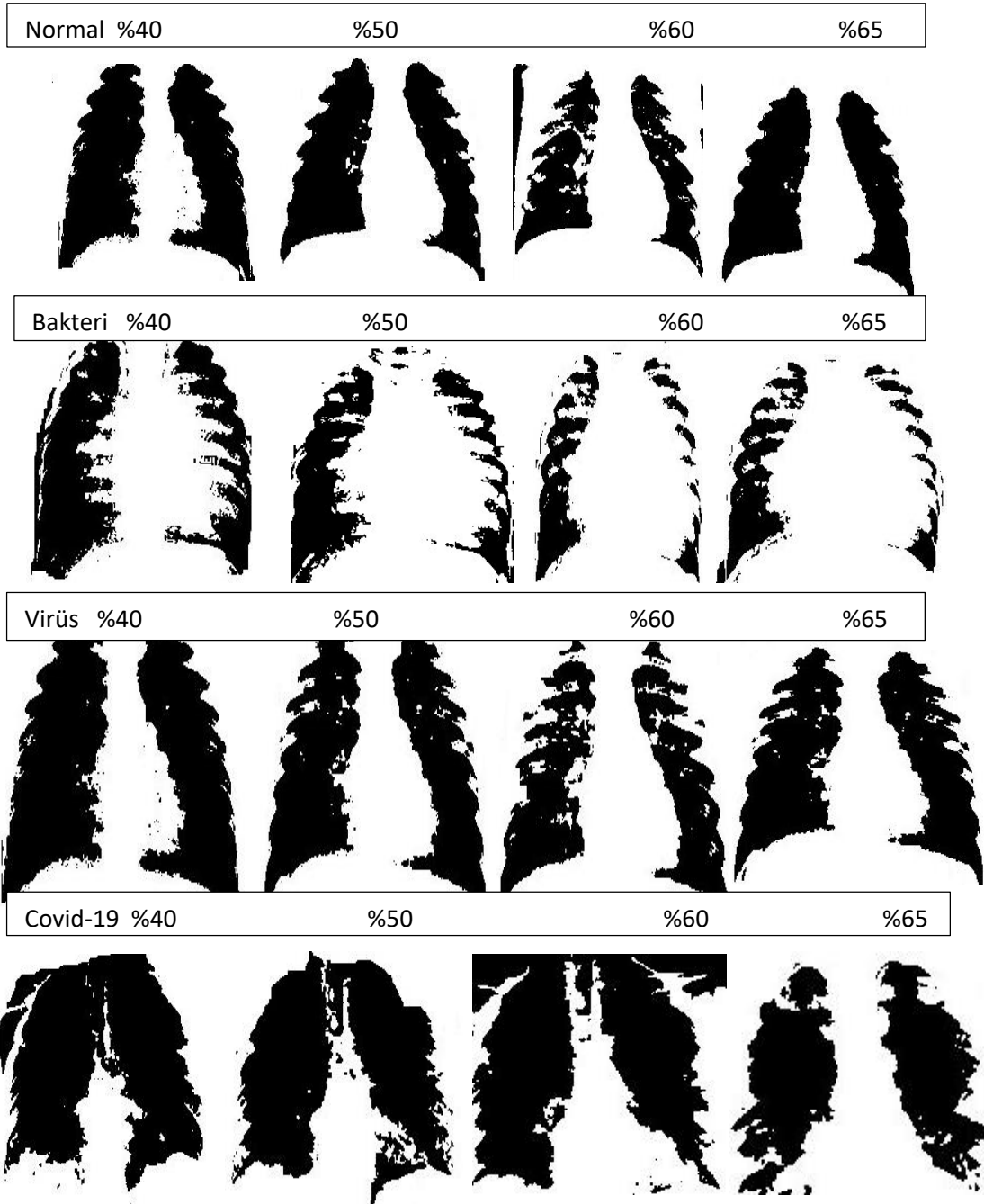
bağıntısı ile belirlenir. Burada, sırası ile $N(\epsilon)$ morfolojik yapılanmayı oluşturan piksellerin sayısı veya bilgisayar ekran ölçeğine göre kare sayısı ve ϵ yapılanmada değişimi oluşturan piksel parçacıkların en küçük dolu hücrelerin boyutudur. Fraktal boyutun nümerik olarak hesaplanması, adım adım yineleme (iterasyonu) algoritmasını içerir. Her bir işlem adımından sonra, hücre boyutu ϵ değeri artırılır oluşan parçacık grup sayısı $N(\epsilon)$ belirlenir. Bu çalışmada kullanılan kutu-sayma algoritmasında, iki ($\epsilon = 2^i$ piksel $i = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$) değerleri hesaplanır ve $\log N(\epsilon)$ 'ye karşı $\log \epsilon$ veri dağılımının grafiği çizilir. Genelde morfolojik yapılanma veri setleri için dağılım ilişkileri doğrusal olup lineer regresyon yöntemi ile hesaplanan eğimin mutlak değeri fraktal boyut d_f ye karşılık gelir.

Hetero morfolojik yapılanma normal ya da görüntü işlemede kullanılan eşikleme ve kontrast değerine göre farklılık gösterir. Bir görüntüde kontrast, monitörün sağladığı gözlenen ve kaydedilen görüntü içinde yer alan en parlak pikseller ile en karanlık pikseller arasındaki fark olarak belirlenir. Ekrandaki siyah ile beyaz renk arasında yer alan kontrast aralığı genişledikçe bu iki renk arasında yer alan ton seviyesi de artar. Görüntüleme ve eşikleme sonucunda oluşan görüntüde akciğerin sağ ve sol lobu dışındaki görüntüler belirlenerek olası zatürre dışı bölgele maskelendi. Böylece, ikili eşirme (binary) için kullanılan görüntü yoğunluğu eşik değeri değiştiğinden, görüntü hetero morfolojisi ve karmaşıklığındaki değişikliklerden görüntünün dokusal kendine özgü yapısal değişimleri oluşturmak mümkün olmuştur. Şekil 4.1 Ac, Şekil 4.1 Bc, Şekil 4.1 Cc ve Şekil 4.1 Dc'de gösterilen akciğere ait ikili görüntüler fraktal boyut hesaplamaları için farklı görüntü yoğunluğu eşik değerine göre analiz edildi. Bu hesaplama için açık kod yazılımı imageJ kullanıldı [7]. Her bir RGB formatındaki görüntü yazılım kullanılarak 8 bit-map eşik değerli gri ölçekli formata dönüştürüldü. Her bir numune görüntüsü optimum $L \times M$ boyutlu dikdörtgen örgü içerisine taşınarak dijitalleştirildi. Daha sonra gri formattaki görsel değerleri normal, bakteri, virüs ve COVID-19 virüsü temelli zatürre görüntüleri kullanarak zıtlık oranları %40, %45, %50, %55, %60 ve %65 değerlerde eşiklendi. Görüntüler incelendiğinde zatürre enfeksiyonuna sebep alan bakteri ve virüslerin akciğer loblarında oluşturduğu hetero morfolojik yapılanma birbirinden farklı olduğu gözlenmektedir. Normal, bakteri, virüs ve COVID-19 virüsü kaynaklı zatürre enfeksiyonlu radyoloji görüntülerinin %40, %50, %60 ve %65 değerli kontrast değerli maskelenmiş akciğer sağ ve sol lobların görüntüleri Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Görüntüler incelendiğinde normal akciğer lobları birbirine göre simetrik bir morfolojiye sahip olduğu gözlenmektedir. Ancak bakteri, virüs ve COVID-19 virüsü

kaynaklı zatürrenin akciğer sağ ve sol lobundaki görüntüleri oldukça normal yapılanmalı akciğer görüntülerinden farklıdır. Bakteri temelli hetero-morfolojide kontrast attıkça görüntü dağılımında gözenekler artmaktadır. Benzer durum virüs ve COVID-19 temelli zatürre görüntülerinde de gözlenmektedir. Özellikle COVID-19 temelli zatürre hetero-morfolojisinde düzensiz ve simetrisinin oldukça bozulduğu bir durum ortaya çıktığı belirlenebilir.

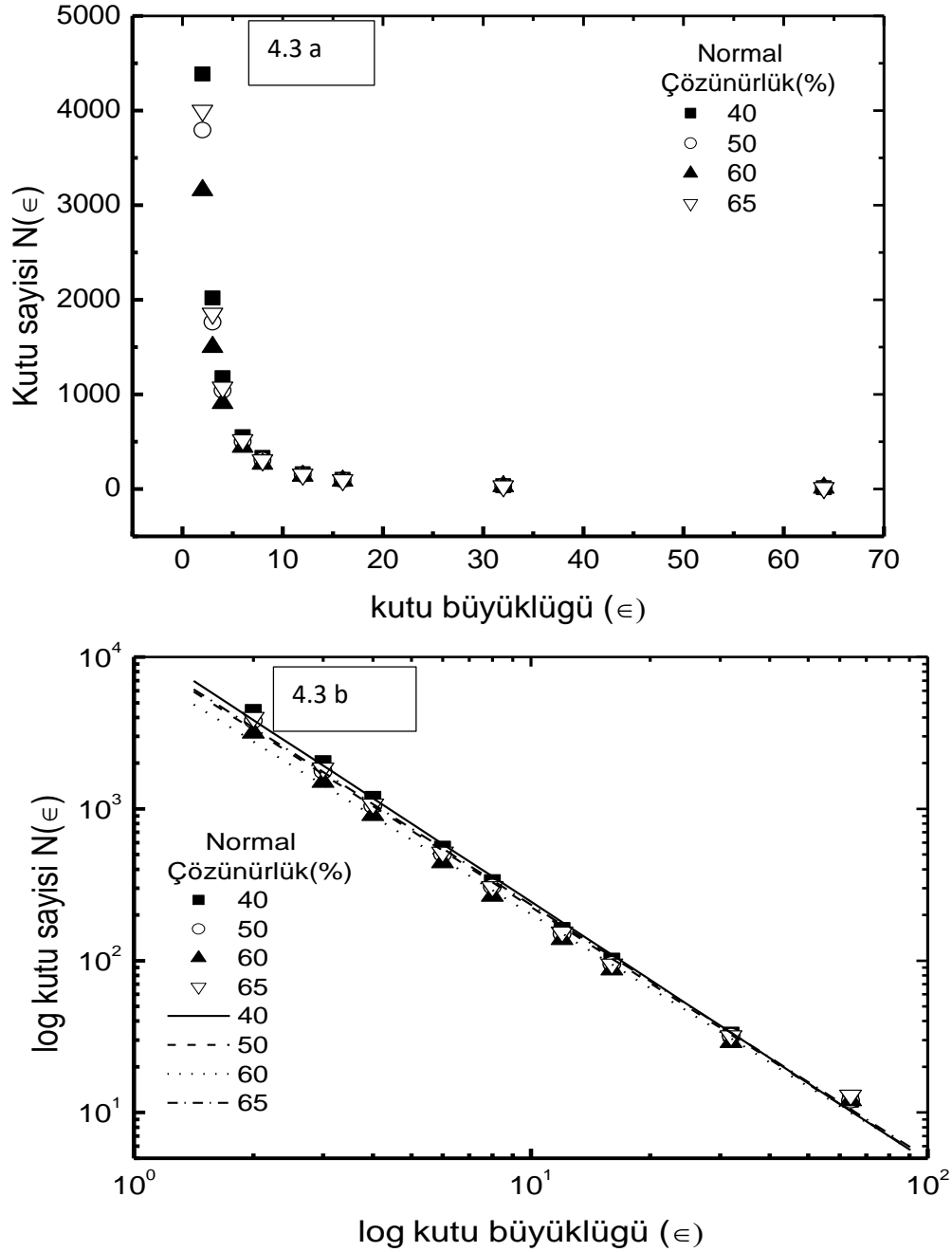
Görüntülerdeki hetero-morfolojik değişimi belirlemek ve birbiri ile karşılaştırmak için fraktal boyutlar hesaplanmaktadır. Buna göre numunelerin fraktal boyutlarını hesaplamak için kutu sayma yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem, basit bir kutu sayma uygulamasına dayanır. Burada fraktal boyut d_f , $L \times M$ boyutlu örgü içerisini kaplayan bir görüntü kümülatif piksellerin ϵ büyüklük değeri ile bu piksellerin grup sayısı $N(\epsilon)$ değerleri belirlenir. Daha sonra ölçekleme teorisine göre $\log \epsilon$ değeri ile $\log N(\epsilon)$ değerlerinin istatistiksel olarak lineer regresyon yöntemi ile eğim değerleri hesaplanır. Tipik olarak Şekil 4.3 a'de piksel boyutu ϵ ve gözlenebilen piksel grup sayısına göre dağılımı ve Şekil 4.3b'de ise kontrast değerleri %40, %50, %60 ve %65 olan her bir eksene ait logaritmik değerlerinin dağılımı ve bu değerler kullanılarak lineer olmayan regresyon ile hesaplanan eğilim çizgileri veri dağılımı üzerinde gösterilmektedir. Böylece her bir hetero-morfolojik akciğer zatürre radyolojik görüntüler için fraktal boyutlar hesaplanır. Uygulamanın güvenilirliği lineer regresyon sabit değeri ile kontrol edilir.

Bu çalışmada lineer regresyon sabiti $r^2 > 0,999$ değerlerindeki eğim değerleri kabul edilmiştir. Tüm numuneler için fraktal boyutlar ve regresyon sabiti Tablo 4.1'de özetlenerek sunulmaktadır.



Şekil 4.2: Normal, bakteri, virüs ve COVID-19 virüsü kaynaklı zatürre maskelenmiş akciğer sağ ve sol lobların görüntüleri

Fraktal boyutlar tüm numuneler için görüntü kontrast değerine göre değişim göstermektedir. Kontrast değeri arttıkça fraktal boyutlar da artmaktadır.



Şekil 4.3: (4.3 a) Normal sağlıklı akciğer radyoloji görüntüsündeki sağ ve sol loplardaki parçacık sayısının parçacık büyüklüğüne ait dağılımı (4.3 b) Fraktal boyutu hesaplamak için her iki eksenin logaritmaları alınarak lineer regresyonun eğim değerinden belirlenmiştir

Numuneler için hesaplanan optimum örgü, örgü çerisinde gözlenen küme büyüklüğü, kaplama oranı ve fraktal boyutlar oldukça düzensiz değişim göstermektedir. Elde edilen ilgili değerler, Tablo 4.1’de özetlenerek sunulmaktadır.

Tablo 4.1: Normal ve bakteri, virüs bulaşığı sonucu oluşan zatürre patolojisine ait akciğer röntgen hetero morfolojik görüntülerinin küme tanımlama parametre değerleri. Dijitalleştirilmiş kontrast değerlerine göre örgü boyutu, küme sayısı, kaplama oranı ve fraktal boyutlar

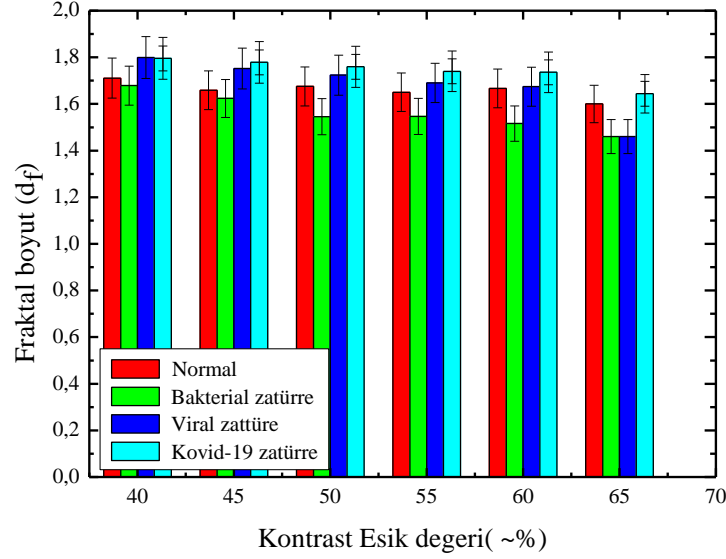
Numuneler	Parametreler	Kontrast Eşik değeri (~%)					
		40	45	50	55	60	65
Normal	Örgü boyutu	220x185	210x197	221x178	227x169	210x173	217x162
	Küme sayısı	6	40	4	4	6	21
	Kaplama oranı (~%)	41,21	29,95	36,37	33,83	30,65	25,48
	Fraktal boyut	1,711	1,6484	1,6752	1,621	1,6667	1,60
Bakteri Kaynaklı	Örgü boyutu	215x189	229x209	204x197	206x179	213x173	202x174
	Küme sayısı	73	37	36	47	42	17
	Kaplama oranı (~%)	35,25	27,39	25,44	23,73	17,61	15,74
	Fraktal boyut	1,675	1,6236	1,5469	1,5459	1,5159	1,460
Virüs Kaynaklı	Örgü boyutu	245x188	235x189	233x188	233x187	233x185	230x189
	Küme sayısı	48	8	38	10	10	34
	Kaplama oranı (~%)	45,63	43,46	40,27	35,61	35,61	26,48
	Fraktal boyut	1,752	1,7515	1,7235	1,690	1,690	1,6439
Virüs Kaynaklı (COVID-19)	Örgü boyutu	219x175	211x163	207x172	200x154	200x154	187x153
	Küme sayısı	32	38	19	19	19	46,29
	Kaplama oranı (~%)	49,54	51,09	46,27	53,80	56,33	48,26
	Fraktal boyut	1,7955	1,7784	1,7630	1,7422	1,7357	1,7033

Tablo 1 incelendiğinde fraktal boyutların görüntülemenin kontrast değerine göre değiştiği belirlenmektedir. Bu değişim Şekil 4.4’de sütun grafiği olarak gösterilmekte ve olası değerlerdeki %5’lik hata oranı da gösterilmektedir. Dijitalleştirilen ve işlenen radyoloji görüntüleri gözlenme durumuna göre değişim göstermektedir. Şekil 4.4’de Normal, bakteri, virüs ve COVID-19 kaynaklı zatürre enfeksiyonunun dijitalleştirilmiş radyoloji görüntülerine ait kontrast değerlerine göre fraktal boyutların değişimi gösterilmektedir. Şekil 4.4 incelendiğinde bakteri kaynaklı zatürrede fraktal boyut değerleri azaldığı gözlenmektedir. Bu durum gözlenen hetero morfolojik yapılanmanın sıklaştığını gösterebilir. Ancak virüs ve özellikle COVID-19 kaynaklı zatürrede ise nerde ise bütün kontrast değerlerinde fraktal boyut değerinin arttığı belirlenmektedir. Bu bulgu virüs temelli zatürrede akciğerin hem sağ hem de sol lobunda bulunan bronş ve bronşçukların nerede ise tamamen etkilendiği sonucunu çıkarmak mümkün olabilir. Şekil 4.2’de gösterildiği gibi nerede ise tüm dijitalleştirilmiş kontrast değerinde hetero morfolojik yapılanmada virüs kaynaklı zatürrede görüntü hetero morfolojisi oldukça farklı olduğu gözlenir.

Ayrıca, fraktal boyut ölçümlerinin, zatürreyi tespit etmede geleneksel görüntüleme yöntemlerine (örneğin, uzman radyologlar tarafından yapılan inceleme) ek olarak önemli bir destekleyici araç olabileceği öne sürülmüştür. Fraktal boyut hesaplamalarının, radyolojik görüntülerdeki patolojik değişiklikleri daha objektif ve nicel bir şekilde değerlendirmeye olanak tanıdığı belirlenmiştir.

Normal insanın akciğer görüntüsü için yaklaşık fraktal boyut değeri 1.711 ile 1.600 aralığında değişim göstermektedir. Nichita ve ark akciğer X-ışını görüntülerinin kutu sayma yöntemleri kullanılarak fraktal analiz gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada fraktal boyutların kutu sayma metoduna göre 1.652 ile alternatif kutu sayma yöntemine göre 1.853 olarak değiştiğini rapor etmişlerdir [19]. Bakteri kaynaklı zatürre görüntülerinde ise fraktal boyutlar 1.460 ile 1.675 aralığında değişim göstermektedir. fraktal boyutlar bakteri etkili zatürrede küçülmektedir. Virüs kaynaklı zatürre akciğer görüntülerinde ise 1.752 ile 1.6459 aralığında değişim göstermesine rağmen, ve COVID-19 kaynaklı görüntülerde ise 1.7955 ile 1.7451 aralığında değişim göstermektedir. virüs kaynaklı görüntülerden elde edilen sonuçlar fraktal boyutun arttığını yani hetero morfolojinin normal insaninkine ve bakteri temelliye göre değişim gösterdiğini belirlemek mümkündür. Razi ve ark hem normal hem de COVID-19 virüsü ile enfekte olmuş akciğer görüntülerindeki dağılımlara ait fraktal boyut değerlerini

normal akciğerlerin ortalama fraktal boyutu $\sim 1,789$, COVID-19 virüsü ile enfekte akciğerlerin ise ortalama boyutu $\sim 1,583$ olarak hesaplamışlardır [9]. Bu çalışmadaki bulgular ile kısmen uyumludur.



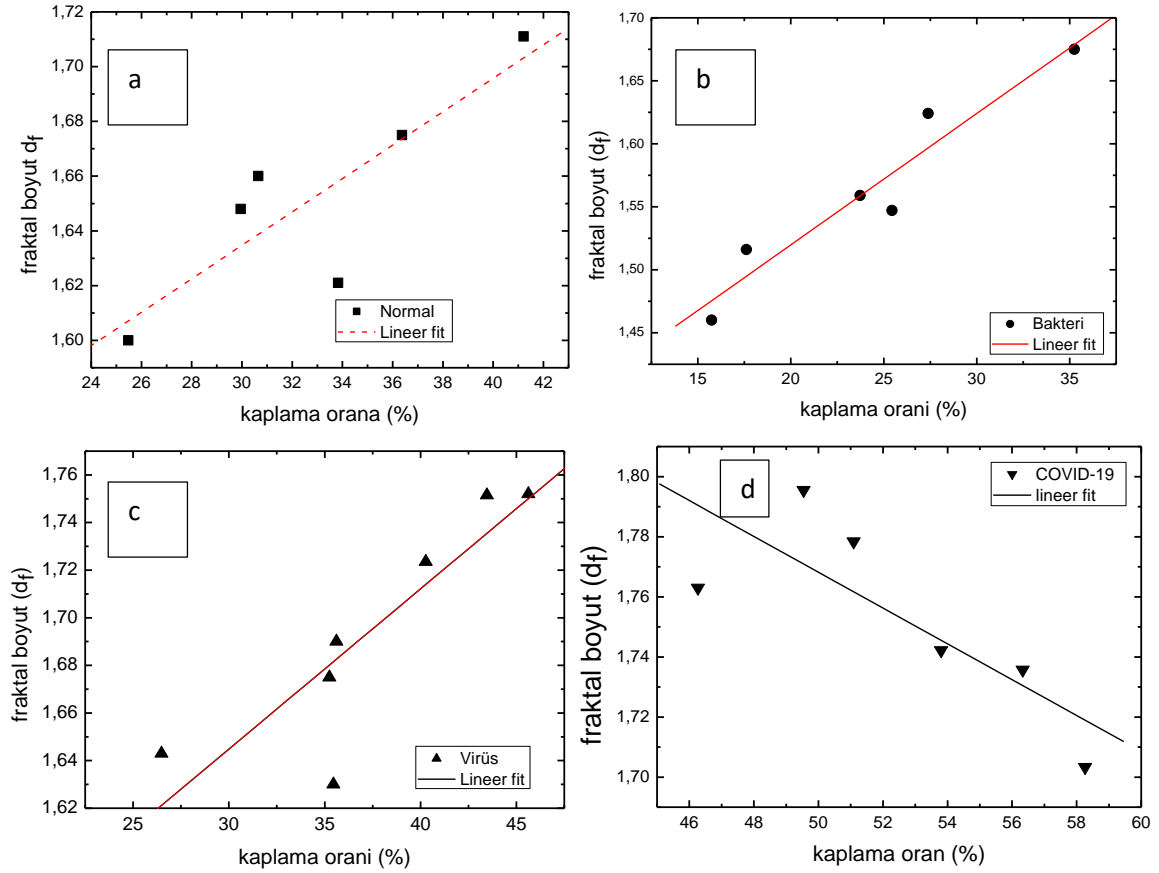
Şekil 4.4: Normal, bakteri, virüs ve COVID-19 kaynaklı zatürre enfeksiyonunun dijitalleştirilmiş radyoloji görüntülerine ait kontrast değerlerine göre fraktal boyutlar

Görüntü kaplama oranına göre fraktal boyut değişimleri Şekil 4.5 a’da gösterilmiştir. Veri dağılımında değişim yaklaşık doğrusal olarak tanımlamak mümkündür. Buna göre:

$$d_f = c_1 \sigma(\%) + c_2 \quad (24)$$

bağıntısı fraktal boyut ile kaplama oranı arasındaki ilişkiyi belirleyebilir. Burada normal akciğer görüntüsü için $c_1 = 0,06256 \pm 0,001$ olarak eğim değeri ve $c_2 = 1,451 \pm 0,063$ olarak fraktal boyut eksenini kesen sabit değerdir. Lineer regresyon $r^2 = 0,85167$ olup P değeri 0,03137 olarak hesaplanmıştır. Nümerik model için bu değer genellikle, istatistiksel analizlerde %5 (0,05) anlamlılık seviyesi (α) kullanılır. Eğer $p < 0,05$ ise, kaplama oranına göre bağımsız değişkenin, fraktal boyut olarak bağımlı değişken üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu anlamına gelir. Dolayısı ile burada $p = 0,03137$, yani 0,05’ten küçük olduğu için, regresyondaki ilgili bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu sonucunu ima eder. Güven Seviyesi için $p = 0,03137$ değeri, %95 güven seviyesinde

bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni etkilediğini gösterir. Ancak, %1 anlamlılık seviyesinde (0,01) değerlendirildiğinde bu etki istatistiksel olarak anlamlı olmazdı. Bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki vardır. Ancak, $p = 0,03137$, 0,01 gibi daha düşük bir anlamlılık seviyesinde test edilirse bu ilişki daha az güçlü kabul edilebilir. Dolayısıyla, doğrusal regresyon modelindeki değişkenin zayıf ancak anlamlı bir etkisi olduğu söylenebilir.



Şekil 4.5: Normal, bakteri, virüs ve COVID-19 kaynaklı zatürre enfeksiyonunun dijitalleştirilmiş radyoloji görüntülerinin kaplama oranına göre fraktal boyutların değişimi

Şekil 4.5 b’de bakteri temelli zatürrenin kaplama oranının fraktal boyuta göre değişim grafiği gösterilmiştir. Buna göre $c_1 = 0,010 \pm 0,001$ olarak eğim değeri ve $c_2 = 1,311 \pm 0,038$ ise fraktal boyut eksenini kesen sabit değerdir. Lineer regresyon $r^2 = 0,95992$ olup P değeri 0,00238 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.5 c’de virüs kaynaklı zatürre görüntüsünün kaplama oranının fraktal boyuta göre değişim grafiği sunulmaktadır. Lineer regresyon katsayıları $c_1 = 0,007 \pm 0,002$ olarak eğim değeri ve $c_2 = 1,442 \pm 0,065$ ise fraktal boyut eksenini kesen sabit değerdir. Lineer regresyon $r^2 = 0,86912$ olup P değeri 0,01108 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.5 d’de ise COVID-19 virüsü kaynaklı zatürrenin kaplama oranının

fraktal boyuta göre değişim grafiği gösterilmiştir. Buna göre $c_1 = 2,06617 \pm 0,115$ olarak eğim değeri ve $c_2 = -0,00596 \pm 0,022$ ise fraktal boyut eksenini kesen sabit değeridir. Lineer regresyon katsayısı $r^2 = -0,80447$ olarak belirlenmiş ve istatistiksel olasılık değeri $P= 0,05361$ olarak hesaplanmıştır. Akciğer lejyonlarında COVID-19 virüs görüntü olarak diğer bakteri ve virüs görüntülerine göre hem kaplama oranı hem de görüntü yoğunluğu açısından oldukça farklı davranış göstermektedir.

4.2 Genel Değerlendirme

Fraktal geometri, biyolojik sistemlerdeki değişimleri tanımlamak için kullanılan önemli bir araçtır. Akciğerdeki bronş ve bronşitlere konumlanan bakteri ve virüsler dağılımının kritik değeri aşması, karmaşık röntgen görüntüler oluşturur. Oluşan bu görüntüleri kullanarak fraktal analiz yolu ile zatürre tanısının belirlenmesi, tedavi sürecinin hızlandırabilir. Bu çalışmada elde edilen bulgular, zatürre lezyonlarının fraktal boyutlarda önemli değişim oluşturduğunu göstermektedir. Dolayısı ile fraktal boyutların, zatürre gibi hastalıkların tanı ve izleminde potansiyel bir araç olarak kullanılabileceğini düşündürmektedir.

Ancak, bu bulguların doğruluğu ve genelleştirilebilmek için daha geniş hasta grupları ve farklı görüntüleme tekniklerinin kullanılması gerekmektedir. Fraktal boyut hesaplaması, görüntülerin doğru bir şekilde işlenmesini ve yorumlanmasını gerektiren hassas bir süreçtir. Ayrıca, fraktal boyutun hastalığın her aşamasındaki davranışını anlamak için daha fazla araştırma yapılmalıdır.

Çalışmamızda elde edilen bulgular, fraktal boyut ölçümlerinin, akciğer hastalıklarının tanı ve takibinde geleneksel radyolojik yöntemlere ek olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, fraktal boyutun, hastalığın evresini ve şiddetini değerlendirmek için güçlü bir gösterge olabileceği sonucuna varılmıştır. Ancak, bu yöntemin klinik pratikte uygulanabilirliğini değerlendirebilmek için daha büyük örneklem grupları ve uzun süreli takip çalışmalarına ihtiyaç vardır.

Fraktal boyut hesaplamaları, yalnızca zatürre değil, diğer akciğer hastalıklarının tanı ve izlenmesinde de potansiyel bir yöntem olarak kullanılabilir. Ancak, bu yaklaşımın doğruluğu, görüntüleme tekniklerine, kullanılan algoritmalara ve hasta popülasyonunun özelliklerine bağlı olarak değişebilir..

5. GENEL SONUÇLAR

Zatürre, dünya genelinde yaygın olarak gözlemlenen önemli sağlık sorunlarına yol açan bir hastalıktır. Doğru tanımlanması doğal olarak tedavi sürecini etkinliğinden dolayı kritik bir öneme sahiptir. Dolayısı ile zatürre patolojisi akciğerin lejyon dokusundaki yapısal değişiklikleri belirlemede etkili bir araç olabileceğini göstermektedir. Bu çalışmada, tanı için hekimler tarafından tercih edilen radyolojik görüntülerde ölçekleme yöntemi ve fraktal boyut analizi ile zatürre teşhisindeki tanı için önemli katkı potansiyeli incelenmiştir. Bu amaçla, normal, bakteri, virüs ve COVID-19 kaynaklı zatürre tanısı konulmuş bir vakanın radyolojik görüntüler kullanılarak fraktal boyut değerleri görüntü kontrast ve yüzeysel kaplama oranı kullanılarak hesaplanmıştır. Bakteri temelli zatürre radyolojik görüntülerin fraktal boyutu azalırken, virüs ve COVID-19 virüsü kaynaklı zatürrede fraktal boyut değerleri artmaktadır. Ayrıca kaplama oranına göre fraktal boyutlar arasında doğrusal istatistiksel olarak doğrusal ilişki olduğu belirlendi.

Sonuç olarak fraktal boyut hesaplaması, radyolojik görüntüleme bulgularının yeniden değerlendirilmesi ile bu alanda yeni bir perspektif sunmakta olduğu belirlendi. Dolayısı ile zatürre gibi hastalıkların tanısı için değerlendirilmesi gerekliliği ve önemli bir araç olarak belirlenmesi gerekliliği önerilmektedir. Yakın gelecek çalışmalarda, fraktal analizin klinik uygulamalarda nasıl daha etkin kullanılabileceği üzerine daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Foto metrik yöntemler ve fraktal boyut hesaplamaları, zatürre hastalığının erken teşhisi, evresinin belirlenmesi ve tedavi sürecinin izlenmesinde güçlü bir araç olarak kullanılabilir. Bu hesaplamalar, geleneksel radyolojik görüntüleme yöntemlerinin ötesine geçerek, akciğerlerdeki mikroskobik değişiklikleri tespit etmekte ve hastalığın ilerleyişini izlemekte yardımcı olabilir. Fraktal boyut analizinin klinik pratiğe entegrasyonu, zatürre gibi hastalıkların tanı ve tedavi süreçlerini önemli ölçüde iyileştirebilir.

Ayrıca fraktal analizin klinik uygulamalarda yaygın olarak kullanılabilmesi için daha fazla örnek üzerinde araştırma ve doğrulama gerekmektedir. Ancak, bu yaklaşımın yakın gelecekte hem yapay zekâ hem de tıbbi görüntüleme alanında dikkate değer önemli bir yere sahip olacağı düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- [1] **Zhu, N., Zhang, D., Wang, W., Li, X., Yang, B., Song, J., Zhao, X., Huang, B., Shi, W., Lu, R., Niu, P., Zhan, F., Ma, X., Wang, D., Xu, W., Wu, G., Gao, G. F., and Tan, W.** (2020). A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019. *New England Journal of Medicine*, 382(8), 727–733.
<https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001017>.
- [2] **Grief, S.N. and Loza, J.K.** (2018). Guidelines for the evaluation and treatment of pneumonia. *Primary Care: Clinics in Office Practice*, 45(3), 485–503.
<https://doi.org/10.1016/j.pop.2018.04.001>.
- [3] **Wong, P. K., Yan, T., Wang, H., Chan, I. N., Wang, J., Li, Y., Ren, H., and Wong, C. H.** (2022). Automatic detection of multiple types of pneumonia: Open dataset and a multi-scale attention network. *Biomedical Signal Processing and Control*, 73, 103415.
<https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.103415>.
- [4] **Rudan, I., Boschi-Pinto, C., Biloglav, Z., Mulholland, K., and Campbell, H.** (2008). Epidemiology and etiology of childhood pneumonia. *Bulletin of the World Health Organization*, 86(5), 408–416(A-B).
<https://doi.org/10.2471/BLT.07.048769>.
- [5] **Kermany, D.S., et al.** (2018). Identifying Medical Diagnoses and Treatable Diseases by Image-Based Deep Learning. *Cell*, 172(5) 1122–1131.
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2018.02.010>
- [6] **De Hao, D., Liu, Y., Li, L., Stripp, B.R., and Chen, H.** (2026). Immunological and regenerative properties of lung stem cells. *Physiological Reviews*, 106(1), 485-527.
<https://doi.org/10.1152/physrev.00056.2024>
- [7] **Schneider, C. A., Rasband, W. S., and Eliceiri, K. W.** (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9(7), 671-675.
<https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>.
- [8] **Cardim, G. P., et al.** (2025). A Study of COVID-19 Diagnosis Applying Artificial Intelligence to X-Rays Images. *Computers*, 14(5), 163.
<https://doi.org/10.3390/computers14050163>
- [9] **Razi, F. A.** (2021). An Analysis of COVID-19 using X-ray Image Segmentation based Graph Cut and Box Counting Fractal Dimension. *Telematika*, 14(1), 25-32.
<http://dx.doi.org/10.35671/telematika.v14i1.1217>.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

[10] **Elblbesy, M. A. and Attia, M.** (2020). Optimization of fractal dimension and shape analysis as discriminators of erythrocyte abnormalities. A new approach to a reproducible diagnostic tool [J]. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 17(5): 4706-4717.

<https://doi.org/10.3934/mbe.2020258>

[11] **Abdikerimova, G., Shekerbek, A., Tulenbayev, M., Sultanova, B., Beglerova, S., Dzhaulbaeva, E., Zhumakanova, K., and Rysbekkyzy, B.** (2023). Detection of lung pathology using the fractal method. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 13(6), 6778-6786.

<https://doi.org/10.11591/ijece.v13i6.pp6778-6786>

[12] **Cohen, J. P., Morrison, P., Dao, L., Roth, K., Duong, T. Q., and Ghassemi M.** (2020). COVID-19 Image Data Collection: Prospective Predictions Are the Future. *Machine Learning for Biomedical Imaging*, 1.

<https://doi.org/10.59275/j.melba.2020-48g7>

[13] **Cohen, J. P., Dao L., Morrison, P., Roth K. Bengio, Y., Shen, B., Abbasi, A., Hoshmand-Kochi, M., Ghassemi, M., Li, H., and Duong, T. Q.** (2020). Predicting COVID-19 Pneumonia Severity on Chest X-ray with Deep Learning. *Electrical Engineering and Systems Science, Image and Video Processing*.

<https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.11856>

[14] **Katsamenis, I., Protopapadakis, E., Voulodimos, A., Doulamis, A., and Doulamis, N.** (2021). Transfer Learning for COVID-19 Pneumonia Detection and Classification in Chest X-ray Images. *PCI '20: Proceedings of the 24th Pan-Hellenic Conference on Informatics*, 170 – 174.

<https://doi.org/10.1145/3437120.3437300>

[15] **Vartiainen, M. and Vanharanta, O.** (2024). True nature of hybrid work. *Sec. Performance and Development*, 2. <https://doi.org/10.3389/forgp.2024.1448894>

[16] **Shurig, R.** (1986). Morphology: A knowledge tool, *Systems Research*, 1(3), 9-19. <https://doi.org/10.1002/sres.3850030103>.

[17] **McComb, S., Thiriot, A., Akache, B., Krishnan, L., and Stark, F.** (2024). Introduction to the Immune System. In: Fulton, K., Twine, S. (eds) *Immunoproteomics. Methods in Molecular Biology*, vol 2024. Humana, New York, NY.

https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9597-4_1

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [18] **Mekuria, T. A. and Kinde, M. Z.** (2022). Basic Principles and Applications of Live Cell Microscopy Techniques: A Review. *World's Veterinary Journal*, 12(3), 339-346. <https://dx.doi.org/10.54203/scil.2022.wvj43>.
- [19] **Cricenti, A., Colonna, S., Girasole, M., Gori, P., Ronci, F., Longo, G., Dinarelli, S., Luce, M., Rinaldi, M., and Ortenzi, M.** (2011). Scanning probe microscopy in material science and biology. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 44 (46), 464008. <https://dx.doi.org/10.1088/0022-3727/44/46/464008>.
- [20] **Gashti, M.P., Alimohammadi, F., Hulliger, J., Burgener, M., Oulevey-Aboulfad, H., and Bowlin, G.L.** (2012). Microscopic methods to study the structure of scaffolds in bone tissue engineering: a brief review. *Current Microscopy Contributions to Advances in Science and Technology*. 1:625-638. Formatex Research Centre: Norristown, PA, USA
- [21] **Johnson, W. L. and Straight, A. F.** (2013). Fluorescent Protein Applications in Microscopy. *Methods in Cell Biology*, 114, 99-123. <https://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-407761-4.00005-1>.
- [22] **Fujiwara, K. and Pollard, T. D.** (1976). Fluorescent antibody localization of myosin in the cytoplasm, cleavage furrow, and mitotic spindle of human cells. *Journal of Cell Biology*, 71(3), 845-875. <https://doi.org/10.1083/jcb.71.3.848>.
- [23] **Vladár, A. E. and Postek, M. T.** (2017). The Scanning Electron Microscope. In *Handbook of Charged Particle Optics*, Chapter 9, Taylor and Francis Group, London.
- [24] **Kannan, M.** (2002). Transmission Electron Microscope – Principle, Components and Applications. In *Transmission Electron Microscope – Principle, Components and Applications*, Chapter 9, 93-102, Ed. Subramanian, K.S, Tamil Nadu Agricultural University, Hindistan.
- [25] **Hassan, S. K. K., Hajm, S. R. K., Malek, M. H., and Mohammed, Z. J.** (2024). Diseases That are Diagnosed and Treated by X-Rays and Gamma Rays. *Journal of Medical Genetics and Clinical Biology*, 1(7). <https://doi.org/10.61796/jmgcb.v1i7.713>.
- [26] **Bansal, T. and Beese, R.** (2019). Interpreting a chest X-ray. *British Journal of Hospital Medicine*, 80(5).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

<https://doi.org/10.12968/hmed.2019.80.5.C75>.

[27] **Bourin, M., Joliet, P., and Ballereau, F.** (2012). An Overview of the Clinical Pharmacokinetics of X-Ray Contrast Media. *Clinical Pharmacokinetics*, 32, 180-193. <https://doi.org/10.2165/00003088-199732030-00002>.

[28] **Feigenbaum, M. J.** (1988). Presentation functions, fixed points, and a theory of scaling function dynamics. *Journal of Statistical Physics*, 52, 527–569 (1988). <https://doi.org/10.1007/BF01019716>

[29] **Lebmeir, P. and Richter-Gebert, J.** (2008). Rotations, translations and symmetry detection for complexified curves. *Computer Aided Geometric Design*, 25(9), 707-719. <https://doi.org/10.1016/j.cagd.2008.09.004>

[30] **Hansen, K.** (2013). *Statistical Physics of Nanoparticles in the Gas Phase*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-90062-9>.

[31] **Becton, M., Hou, J., Zhao, Y., and Wang, X.** (2024). Dynamic Clustering and Scaling Behavior of Active Particles under Confinement. *Nanomaterials*, 14(2), 144. <https://doi.org/10.3390/nano14020144>.

[32] **Yang, Z., Ding, H., Guo L., and Lian, M.** (2021). Superpixel Image Segmentation-Based Particle Size Distribution Analysis of Fragmented Rock. *IEEE Access*, 9, 59048-59058, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3072998>.

[33] **Ahuja, R.** (2017). An Introduction to Fractals Geometry. *International Journal of Mathematics Trends and Technology*, 52(10), 645-648. <https://ijmттjournal.org/public/assets/volume-52/number-10/IJMTT-V52P593.pdf>.

[34] **Ángel, M. and Cruz, M.** (2024). A Brief Survey of Paradigmatic Fractals from a Topological Perspective. *Fractal and Fractional*. <https://doi.org/10.3390/FRACTALFRACT7080597>.

[35] **Fernández-Martínez, M. and Sánchez-Granero, M.A.** (2014). Fractal dimension for fractal structures. *Topology and its Applications*, 163, 93-111. <https://doi.org/10.1016/J.TOPOL.2013.10.010>.

[36] **Losa, G. A., Ristanović, D., Ristanović, D., Zaletel, I., and Beltraminelli, S.** (2016). From Fractal Geometry to Fractal Analysis. *Applied Mathematics*, 7(4). <https://doi.org/10.4236/am.2016.74032>

[37] **Mandelbrot, B.B.** (1982). *The Fractal Geometry of Nature*. New York: W.H. Freeman.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [38] **Mandelbrot, B.B.** (1988). *Fractals and Multifractals: Noise, Turbulence and Galaxies*. New York, Springer.
- [39] **Jaquette, J. and Schweinhart, B.** (2019). Fractal Dimension Estimation with Persistent Homology: A Comparative Study. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 84(1):105163.
<https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2019.105163>
- [40] **Napolitano, A., Ungania, S., and Cannata, V.** (2012). Fractal Dimension Estimation Methods for Biomedical Images. *A Fundamental Tool for Scientific Computing and Engineering Applications*, 3, Ed. Katsikis, V. N.
<https://doi.org/10.5772/48760>.
- [41] **Klinkenberg, B.** (1994). A Review of Methods Used to Determine the Fractal Dimension of Linear Features. *Mathematical Geology*, 26(1), 23-46.
<https://doi.org/10.1007/BF02065874>.
- [42] **Kusák, M.** (2014). Review article: Methods of fractal geometry used in the study of complex geomorphic networks. *Acta Universitatis Carolinae. Geographica. Univerzita Karlova*, 49(2), 99-110.
<https://dx.doi.org/10.14712/23361980.2014.19>.
- [43] **Fernández-Martínez, M.** (2016). A survey on fractal dimension for fractal structures. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 1(2), 437–472.
<https://doi.org/10.21042/AMNS.2016.2.00037>.
- [44] **Mou, D. and Wang, Z. W.** (2016). Comparison of box counting and correlation dimension methods in well logging data analysis associate with the texture of volcanic rocks. *Nonlinear Processes Geophysics Discussions*.
<https://doi.org/10.5194/npg-2014-85>.
- [45] **Datseris, G., Kottlarz, I., Braun, A. P., and Parlitz, U.** (2023). Estimating fractal dimensions: A comparative review and open source implementations. *Chaos*, 33, 10210.
<https://doi.org/10.1063/5.0160394>.
- [46] **Huang, H. H., Hsiao, C. K., and Huang, S. Y.** (2010). Nonlinear Regression Analysis. *International Encyclopedia of Education (Third Edition)*, 339-346.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-044894-7.01352-X>

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

[47] **Andrade-Garda, J. M., Carlosena-Zubieta, A., Soto-Ferreiro, R. M., Teran-Baamonde, J., and Thompson, M.** (2014). Chap. 2: Classical Linear Regression by the Least Squares Method. *Basic Chemometric Techniques in Atomic Spectroscopy*, 52-122.
[https://doi.org/ 10.1039/9781849739344-00052](https://doi.org/10.1039/9781849739344-00052).

[48] **Ramachandran, K. M. and Tsokos, C. P.** (2010). Chapter 8 - Linear Regression Models. *Mathematical Statistics with Applications in R (Second Edition)*, 409-458.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417113-8.00008-4>.

7. ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Ferhunde Sema GÖÇ

Doğum tarihi ve yeri : 10.03.1977

e-posta : semagoc10@gmail.com

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Fizik	2026
Lisans	Balıkesir Üniversitesi / Necatibey Eğitim Fakültesi / Fizik Öğretmenliği	2003
Lise	Balıkesir Sındırgı Lisesi	1994