



T.C.
ORTA DOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ KOORDİNASYON BİRİMİ

**Covid-19 Temel Çoğalma Sayısının Ülke Bazında Tahmini ve Pandeminin
ABD Finans Piyasasına Etkisi
Proje No: 10882**

Genel Araştırma Projesi (GAP)

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:
Prof. Dr. A. Sevtap Selçuk Kestel
Aktüerya Bilimleri EABD
Uygulamalı Matematik Enstitüsü

Araştırmacı:
Cem Yavrum
Özenç Murat Mert
Finansal Matematik

17 Nisan 2023

ANKARA

Önsöz

Covid-19 etkisinin ekonomik politikalarla ilişkilendirilmiş analizlerinin bu boyuttaki global bir krizin ön hazırlıklarının oluşturulması çerçevesinde önemi fazladır. Bu analizlerde gösterge olarak alınabilecek önemli değişkenlerden birisi de temel çoğalma sayısıdır.

Bu çalışmada Türkiye ve ABD için temel çoğalma sayısının ileri dönük tahminiyle beraber pandeminin finansal piyasaların özellikle S&P 500 ve ham petrol kapanış fiyatlarının üzerinde nasıl bir rol oynadığı araştırma sorusu olarak belirlenmiştir. Her aşamada hastalık seyrini ve vaka sayısını etkileyen faktörlerin göz önüne alındığı bir model kullanılması; bu modelin başarılı ve güvenilir tahmin değerler sunması çalışmanın esas amacını teşkil etmektedir. Araştırmada SIR ve SEIR modelleri göz önüne alınarak, SIR modelden elde edilen analizler; SEIR model varsayımı altında yapılan analizlerle karşılaştırılarak gösterilmiştir.

Üniversitemiz BAP çerçevesinde desteklenen bu proje Finansal Matematik programı doktora öğrencisi ve araştırma görevlisinin araştırmacı, Aktüerya Bilimleri Programı yüksek lisans öğrencisinin ise bursiyer olarak deneyim kazanmalarını ve tez çalışmalarını geliştirmelerini sağlayan bir platform oluşturmuştur. Bu bağlamda, projenin gerçekleşmesinde katkısı olan yetkililere ve paydaşlara teşekkürlerimizi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
3. GEREÇ VE YÖNTEM	7
3.1. Yöntem	7
3.1.1. SIR Model	7
3.1.2. SEIR Model	8
3.1.3. Sonraki Nesil Matrisi ve Temel Çoğalma Katsayısı	9
3.1.4. Zaman Serisi Analizleri	12
3.1.5. L-BFGS-B Methodu ve Optimizasyon	13
3.1.6. Akış Şeması	14
3.2. Veri Seti	15
4. BULGULAR	20
4.1. Türkiye Verisi Analizleri	20
4.2. ABD Verisi Analizleri	21
4.3. Temel Çoğalma Katsayısı Modeli Sonuçları: ABD verisi	22
4.3.1. SIR Model için Zaman Serisi Uygulamaları	22
4.3.1.1. 100 Günlük Aralıklar için Uygulamalar	22
4.3.1.2. 200 Günlük Aralıklar için Uygulamalar	26
4.3.2. SEIR Model için Zaman Serisi Uygulamaları	29
4.3.2.1. 100 Günlük Aralıklar için Uygulamalar	29
4.3.2.2. 200 Günlük Aralıklar için Uygulamalar	32
4.3.3. S&P 500 ve Ham Petrol Kapanış Fiyatları Zaman Serisi Uygulamaları	34
4.4. Covid-19 Etkisi: Korelasyon İncelemeleri	39
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	41
Kaynaklar	42

TABLO VE ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1: Analizler için Uygulanan Algoritmaya ait Akış Şeması	14
Tablo 1: Tanımlayıcı İstatistikler	15
Şekil 2: Türkiye'deki Kümülatif Vaka Sayısının Zamana Göre Değişimi	16
Şekil 3: S&P 500 Kapanış Fiyatlarının ve Kümülatif Vaka Sayılarının Zamana Göre Değişimi	16
Şekil 4: S&P 500 Kapanış Fiyatlarının ve Günlük Vaka Sayılarının Zamana Göre Değişimi	17
Şekil 5: S&P 500 ve Ham Petrol Kapanış Fiyatlarının Zamana Göre Değişimi	18
Şekil 6: Ham Petrol Kapanış Fiyatlarının ve Kümülatif Vaka Sayılarının Zamana Göre Değişimi	19
Şekil 7: Türkiye için Temel Çoğalma Katsayısının Zaman Aralıklarına Göre Değişimi	20
Şekil 8: ABD için Temel Çoğalma Katsayısının Zaman Aralıklarına Göre Değişimi	21
Şekil 9: ABD için Temel Çoğalma Katsayısının Zaman Aralıklarına Göre Değişimi	22
Şekil 10: Temel Çoğalma Katsayısı için Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon	23
Şekil 11: Temel Çoğalma Katsayısının Birinci Farkı	24
Şekil 12: Temel Çoğalma Katsayısının Birinci Farkı için Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon	24
Şekil 13: ARIMA(3,1,3) Kullanılarak Test Seti Ayırmaya Göre Tahmin	25
Şekil 14: ARIMA(3,1,3) Kullanılarak Bütün Veri Seti için Tahmin	25
Tablo 2: ARIMA(3,1,3) Tablosu	26
Tablo 3: Eğitim ve Test Seti Hataları	26
Şekil 15: Temel Çoğalma Katsayısı için Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon	27
Şekil 16: Temel Çoğalma Katsayısının İkinci Farkı	27
Şekil 17: Temel Çoğalma Katsayısının İkinci Farkı için Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon	27

Şekil 18: <i>ARIMA(1,2,4) Kullanılarak Test Seti Ayırmaya Göre Tahmin</i>	28
Şekil 19: <i>ARIMA(1,2,4) Kullanılarak Bütün Veri Seti için Tahmin</i>	28
Tablo 4: <i>ARIMA(1,2,4) Tablosu</i>	29
Tablo 5: <i>Eğitim ve Test Seti Hataları</i>	29
Şekil 20: <i>Temel Çoğalma Katsayısı için Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon</i>	29
Şekil 21: <i>Temel Çoğalma Katsayısının İkinci Farkı</i>	30
Şekil 22: <i>Temel Çoğalma Katsayısının İkinci Farkı için Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon</i>	30
Şekil 23: <i>ARIMA(5,2,0) Kullanılarak Test Seti Ayırmaya Göre Tahmin</i>	30
Şekil 24: <i>ARIMA(5,2,0) Kullanılarak Bütün Veri Seti için Tahmin</i>	31
Tablo 6: <i>ARIMA(5,2,0) Tablosu</i>	31
Tablo 7: <i>Eğitim ve Test Seti Hataları</i>	31
Şekil 25: <i>Temel Çoğalma Katsayısı için Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon</i>	32
Şekil 26: <i>Temel Çoğalma Katsayısının Birinci Farkı</i>	32
Şekil 27: <i>Temel Çoğalma Katsayısının Birinci Farkı için Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon</i>	32
Şekil 28: <i>ARIMA(0,1,0) Kullanılarak Test Seti Ayırmaya Göre Tahmin</i>	33
Şekil 29: <i>ARIMA(0,1,0) Kullanılarak Bütün Veri Seti için Tahmin</i>	33
Tablo 8: <i>ARIMA(0,1,0) Tablosu</i>	33
Tablo 9: <i>Eğitim ve Test Seti Hataları</i>	33
Şekil 30: <i>Ham Petrol Kapanış Fiyatlarının Zamana Göre Değişimi</i>	34
Şekil 31: <i>Ham Petrol Kapanış Fiyatları için Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon</i>	34
Şekil 32: <i>Ham Petrol Kapanış Fiyatlarının Birinci Farkı</i>	35
Şekil 33: <i>Ham Petrol Kapanış Fiyatlarının Birinci Farkı için Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon</i>	35
Şekil 34: <i>ARIMA(0,1,1) Kullanılarak Test Seti Ayırmaya Göre Tahmin</i>	35
Şekil 35: <i>ARIMA(0,1,1) Kullanılarak Bütün Veri Seti için Tahmin</i>	36
Tablo 10: <i>ARIMA(0,1,1) Tablosu</i>	36
Tablo 11: <i>Eğitim ve Test Seti Hataları</i>	36
Şekil 36: <i>S&P 500 Kapanış Fiyatlarının Zamana Göre Değişimi</i>	36

Şekil 37: S&P 500 Kapanış Fiyatları için Otokorelasyon ve Kısmi Otekorelasyon	37
Şekil 38: S&P 500 Kapanış Fiyatlarının Birinci Farkı	37
Şekil 39: S&P 500 Kapanış Fiyatlarının Birinci Farkı için Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon	37
Şekil 40: ARIMA(1,1,0) Kullanılarak Test Seti Ayırmaya Göre Tahmin	38
Şekil 41: ARIMA(0,1,1) Kullanılarak Bütün Veri Seti için Tahmin	38
Tablo 12: ARIMA(0,1,1) ve ARIMA(1,1,0) Tablosu	38
Tablo 13: Eğitim ve Test Seti Hataları	38
Tablo 14: Korelasyon Tablosu	40

ÖZET

Yeni tip Korona virüs hastalığı, Covid-19, çıkış tarihi olan Aralık 2019'dan 6 Nisan 2023 tarihine kadar Dünya genelinde 762.200.405 vakaya ve 6.893.177 kişinin de hayatını kaybetmesine neden olmuştur [8]. Salgının pandemi olarak ilan edildiği hafta içinde ABD ham petrol fiyatları son 18 yılın en düşük seviyesine gerilemiştir. Virüsün bulaşma dinamiklerini modellemek ve gelişimini tahmin etmek salgın mücadelesinde önem taşımaktadır. Virüsün yayılımını modellemede birden çok yöntem olmasına rağmen en bilineni ve en çok kullanılanı SIR modeldir. Ancak, SIR modelin hastalığın inkubasyon periyodunu göz önüne almaması nedeniyle, bu projede SIR modele ek olarak bu modelin varyasyonu olan SEIR model de kullanılacaktır. Model sonucunda elde edilecek temel çoğalma sayısı R_0 , virüsü kapmış bir kişinin virüsün olmadığı bir ortamda bu virüsü kaç kişiye bulaştıracakını ifade etmektedir ve salgının hangi ölçüde kontrol altına alındığını göstermektedir. Bu çalışma temel çoğalma sayısına dayalı bir tahmin örgüsü geliştirmeyi amaçlamaktadır. Türkiye ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) bazında veri uygunluğuna göre ileriye dönük R_0 tahmini yapılarak sonuçların etkinliği araştırılmıştır. Araştırma sonucunun politika karşılaştırmalarının yapılabilmesi için önemli bir temel oluşturması beklenmektedir. Bunun yanı sıra, Covid-19'un veri uygunluğu ve Dünya finans piyasalarını etkilemesi nedeniyle özellikle ABD finans piyasasındaki dalgalanmalara etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: SEIR model, Temel Çoğalma Sayısı, Covid-19, ARIMA

ABSTRACT

The new type of coronavirus disease, which emerged for the first time in December 2019, caused 762,200,405 cases and 6,893,177 deaths worldwide from the date of release until April 6, 2023 [8]. In addition, during the week when the epidemic was declared as a pandemic, US crude oil prices declined to their lowest level in the last 18 years. It is important to model the transmission dynamics of the virus and predict its development. Although there are multiple methods in modeling the spread of the virus, the most known and most used one is the SIR model. Since SIR model does not consider the incubation period coming from the time before spread of the virus, the variation of SIR model, SEIR model, is used in this research project as well. The basic reproduction number R_0 to be obtained as a result of the model, expresses how many people an infected person will infect this virus, and shows to what extent the epidemic is brought under control. This research aims to develop a prediction grid based on the basic reproduction number. The effectiveness of the results is examined by forecasting R_0 on the basis of US. The findings of this research are expected to form an important basis for making policy comparisons for many industries, such as health, finance and governance. In addition, with the Covid-19 pandemic process, the direction, intervals and duration of fluctuations, especially in the US financial markets are examined due to the data availability and its influence on the world's financial markets.

Keywords: SEIR model, Basic Reproduction Number, Covid-19, ARIMA

1.GİRİŞ

Koronavirüs (Covid-19) hastalığı, kişiden kişiye direkt temasla ve damlacık yoluyla hızlıca bulaştığından çok kısa sürede Avrupa, Kuzey Amerika ve Asya-Pasifik'te yer alan çeşitli ülkelerde ilk vakaların görülmesi ile farkındalığı küreselleşmiştir ve Covid-19 virüsü, 11 Mart 2020 tarihinde Dünya Sağlık Örgütü tarafından küresel salgın olarak kabul edilmiştir. Kişiye temasından itibaren bir ile on dört gün içinde ateş, öksürük, solunum güçlüğü ve kas ağrısı gibi semptomları olan bu virüsün başlangıcından itibaren 6 Nisan 2023 tarihine kadar Dünya genelinde 762.200.405 onaylanmış vakası bulunurken, 6.893.177 kişinin de bu virüsten hayatını kaybettiği bildirilmiştir [8].

Tüm bu nedenlerden ötürü virüsün bulaşma dinamiklerini modellemek ve gelişimini tahmin etmek ülkelerin virüse karşı geliştireceği önlemleri ve bununla bağlantılı diğer politikaları yürürlüğe sokmak için son derece önem taşımaktadır. Covid-19 virüsünün yayılımına ait tahminleri incelemede kullanılan matematiksel modeller, salgınların bulaş hızını değerlendirmede, hastalıkların yayılma eğilimini tahmin etmede ve hastalığa karşı optimal müdahale stratejileri ve kontrol önlemlerini sağlamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Son zamanlarda yapılan önemli çalışmalardan bir kaçı Covid-19'un yaygınlığını ve etkisini tahmin etmeye çalışırken, bu çalışmaların büyük bir çoğunluğu ise Covid-19'un bulaşma potansiyelini değerlendirmede anahtar parametre olan temel çoğalma sayısını (basic reproduction number, R_0) tahmin etmeye çalışmaktadır [21]. Bu çalışmada da incelenecek temel bileşenlerden olan temel çoğalma sayısı, virüsü kapmış bir kişinin virüsün olmadığı bir ortamda bu virüsü kaç kişiye bulaştıracığını ifade etmektedir. Genel olarak R_0 , bir virüsün ne kadar bulaşıcı olduğunun tespitinde kullanılmakta ve salgının hangi ölçüde kontrol altına alındığını göstermektedir. Ülkeler salgına karşı yapmış olduğu tüm müdahalelerle R_0 sayısını 1'in altında tutmaya çalışmaktadır. Böylece her bir virüslü kişinin birden az kişiye hastalık bulaştırması durumunda zamanla hastalığın yok olması planlanmaktadır.

Ülkeler virüsün hızlı yayılımını engellemek ve yayılımı yavaşlatıp sağlık sisteminin üzerindeki etkisini azaltmak adına aldıkları önlemlerin başında, seyahat kısıtlaması, karantina uygulamaları, ticari faaliyetlerin azaltılması/durdurulması ve insanların toplanabileceği yerlerin kapatılması ya da açık olma süresinin azaltılması yer almaktadır. Bu önlemlerin sürdürülebilirliği özellikle ülkelerin ekonomisi açısından sorun teşkil ettiğinden bu önlemler duruma ve ülke politikalarına göre farklılıklar göstermiştir. Finansal piyasalar ve reel

ekonomilerdeki değişimler göz önüne alındığında, Covid-19 salgınının bu piyasalara etkisi yadsınamaz hale gelmiştir. Daha önce de bahsedildiği üzere, karantina ve çeşitli kapanma politikaları gözlemlendiğinde, ekonomik faaliyetleri kısıtlayıcı bir etkiden de söz etmek mümkündür.

Ekonomik faaliyetleri ve finansal piyasaları daha etkin gözlemleyebilmek için borsa endeksleri kullanılmaktadır. Borsa endeksi, standart bir metodoloji kullanarak bir menkul kıymetler sepetinin fiyat performansını ölçer. Bu sebeple de, bir ülke ekonomisi hakkında bilgiler içermektedir. Piyasanın genel durumu ve hisse senetleri hakkında bilgi sahibi olunmasında büyük önem taşır. Fakat; piyasalar açısından Covid-19 gibi beklenmeyen bir salgın durumunda, borsa endekslerinde önceden tahmin edilmesi güç değişimler gözlemlenmiştir. Tahmin edilmesi güç değişimleri modellemek gelecekte ortaya çıkabilecek olan belirsizlikler açısından araştırmacılar ve yatırımcılar açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak R_0 sayısının ileriye dönük tahminini yapan bir stokastik model önermektedir. Bu tahmin sonucunda ülkelerin hangi noktada R_0 sayısını 1'in altına düşürebileceği bulunabilecekken, yine aynı şekilde 1'in üstüne çıkılabilecek noktalar da tespit edilebilecektir. Bu tahminin başarısının bulunabilmesi açısından ilgili bazı zaman serileri analizlerine ek olarak yine koronavirüs kaynaklı 2002 yılında ortaya çıkan ve Covid-19 ile benzer özellikler içeren SARS virüsünün ve salgınının verileri ile karşılaştırmalar yapılacaktır. İleriye dönük R_0 tahmininin modellenmesi, ülkelerin salgına karşı geliştirmiş olduğu sağlık politikalarının, önlemlerin, aşılama hızının, karantina şartlarının başarısını göstermede önemli bir bulgu sağlayacak ve ülkeler arası politika karşılaştırmalarının yapılabilmesini için önemli bir temel oluşturacaktır. Analizin finans ayağında ise Covid-19 pandemisinin ABD ham petrol ve S&P 500 fiyatlarındaki beklenen tahmini değerlerden uzaklaşarak yarattığı etkiler ve bu etkilerin hangi parametrelere bağlı olarak olduğu belirlenecektir.

Çalışmanın geri kalan kısmında; genel bilgiler bölümünde, Covid-19 salgınının temel çoğalma katsayısının epidemiyolojik modellerle tahmini ve bu salgının finansal piyasalar ve S&P 500 ve ham petrol üzerindeki etkilerini inceleyen literatür çalışmalarına yer verilmiştir. Gereç ve yöntem bölümünde, basit çoğalma katsayısının tahmini ve bu katsayının Amerika finansal piyasasına etkisini hesaplarken kullanılacak olan veri seti ve yöntemler anlatılmıştır.

Sonraki bölümde ise, gereç ve yöntemlerden yola çıkılarak elde edilen bulgular özetlenmiştir. Son bölümde ise sonuçlar değerlendirilmiş; beklenen çıktılarla sonuçların benzer olup olmadığı tartışılmıştır. Ayrıca; sonuç kısmında gelecek çalışmalar için önerilere de yer verilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

Virüs salgınları, tarih boyunca insan topluluklarında yüksek ölüm oranlarına neden olan en önemli sağlık sorunlarından biri olarak bilinmektedir. 1918 yılında ortaya çıkan İspanyol Gribi, 2 yıl içinde 50 milyon insanın hayatını kaybetmesine neden olmuştur [26]. Ayrıca 1980 yılındaki ilk HIV enfeksiyonunun bildirilmesinden bu yana dünya çapında bu virüsten kaynaklı 32 milyondan fazla insanın hayatını kaybettiği resmi kayıtlara geçmiştir [14]. Bu eski salgınlara ek olarak daha yakın tarihte SARS, MERS ve Ebola virüslerinin küreselden ziyade yerel olarak yayılması bile ülkelerin bu tür krizlere ve salgınlara karşı hazır olmasını sağlayamamıştır. Covid-19 salgını için hazırlık eksikliğinin yanında yüksek bulaşıcılık oranı, bilinmeyen komplikasyonlar ve olası virüs mutasyonları ile uygun olmayan ilaç kullanımı, gelişmiş ülkelerde bile sağlık sistemini felç eden dünya çapında bir felakete yol açmıştır. Daha da önemlisi hastalığın gelecekteki seyri etkilenen birçok ülkede henüz net olarak bilinmemekte ve salgının gelecekteki yayılma tahminleri tutarlı olmamaktadır. Bu gibi durumlar ülkelerin gerekli kaynakları ayırmasında ve bu kaynakları yönlendirmesinde sorun teşkil etmektedir [12]. Bu bilinmezlik durumunda tahmin yaklaşımları ve modellemelerdeki etkinlik ve yeterlilik özellikle önem taşımaktadır.

Covid-19'un ortaya çıkmasından bu yana, hastalığın seyrini simüle etmek için farklı matematiksel modelleme yaklaşımları kullanılmıştır [21, 10, 23, 24]. Son zamanlarda popüler olan yapay zeka temelli modeller birçok öğrenme adımına bağlı olduklarından yeterli derecede veri olmaması durumunda performansları sorgulanabilmektedir [15]. Hastalığın seyrini tahmin etmek için ajan temelli modellemeler rasyonel bir yaklaşım olmasına rağmen bu modeller insanların hareket düzeyleri, birbirleri arasındaki mesafeler ve virüs bulaşıcılığı gibi henüz bilinmeyen nüfusla ilişkili parametrelere dayanmaktadır [17]. Sıradan diferansiyel denklem (Ordinary differential equation- ODE) tabanlı modeller ise salgınların dinamiklerini simüle etmek için literatürde uzun süredir var olan modellerdendir. Bu tür modeller ilk olarak 1927 yılında Kermack ve McKendrick tarafından kızamık ve kızamıkçık gibi bulaşıcı hastalıkların yayılımını simüle etmek için ortaya çıkmıştır [19]. Bu tür modeller (Susceptible-Infective-Removed (SIR)), kapalı bir popülasyonu virüse karşı hassas (Susceptible-S), enfekte olmuş (Infective-I) ve iyileşmiş ya da hayatını kaybetmiş (Removed-R) olarak üç gruba ayırır ve sıradan diferansiyel denklemlerle grup içindeki değişim oranını hesaplamaktadır [31, 5].

Geçtiğimiz yıllarda boyunca Covid-19'un gelişimini tahmin edebilmek için çeşitli klasik ve modifiye edilmiş SIR modelleri geliştirilmiştir. Anastassopoulou vd. [3] kesikli-zamanlı SIR modelini kullanarak Vuhan nüfusunun ölme ve iyileşme oranlarını hesaplamışlardır. Giordano vd. [13] ise farklı kapanma stratejilerinin İtalya'daki salgın üzerindeki etkisini tahmin etmeye çalışan bir model geliştirmişlerdir. Bu modelde enfekte olmuş bireylerde hastalığın evresi ve şiddeti göz önüne alınarak farklı alt gruplar değerlendirilmiştir. Benzer şekilde Lin vd., Çin nüfusu için SEIR modelini kullanarak hükümetin politikalarını ve bireylerin davranışlarını salgının yayılımı üzerindeki etkisini tahmin etmeye çalışmışlardır [18]. Bunlara ek olarak Covid-19 salgınının toplumları ekonomik ve sosyal yönden etkilediğini de içeren çalışmalar literatürde yerini almıştır. Salgının bir sağlık krizine ek olarak, tüm ülkeleri uzun süre kalıcı olacak şekilde sosyal, ekonomik ve politik bir krizle karşı karşıya bırakacağı beklenmektedir [7]. Uluslararası Çalışma Örgütü 400 milyon kişinin işini kaybedeceğini tahmin etmesinin yanında, Dünya Bankası işçi gelirlerinde 100 milyar dolarlık bir düşüş olacağını öngörmüş, bunun da 800 milyon insanın temel ihtiyaçlarını karşılayamamasına neden olacağını belirtmiştir [7]. Yine pandemi kaynaklı olarak dünya genelinde ham petrol fiyatlarında sadece bir günde %20'den fazla dalgalanmalar olmuştur [1]. Literatürde Covid-19 pandemisinin finans piyasasındaki etkisini araştıran çalışmalarda birçok farklı istatistik testleri kullanılmıştır. Sıradan En Küçük Kareler (OLS) yöntemi kullanılarak haftalık yeni vaka sayılarındaki artışın bir sonraki haftanın getirilerini nasıl önemli ölçüde düşürdüğü gösterilmiştir [16]. Bunun yanında GARCH (Oto regresif koşullu değişen varyans) modeli toplanan verilere uygulanarak Covid-19 vaka sayıları ile finans araçları arasındaki etkileşim gösterilmiştir [2, 11, 20].

Covid-19 salgınının Amerika finansal piyasası üzerindeki etkisini inceleyen bir makale, günlük verileri kullanan yapısal bir vektör oto regresyon modeline dayalı olarak Covid-19 salgınının S&P 500 endeksi üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Covid-19 pandemisi ile ilişkili borsa riski istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Doğrulanmış Covid-19 vaka sayısının artması S&P 500 endeksini düşürmekle beraber aynı zamanda politika belirsizliğini de artırmaktadır [30].

Covid-19 pandemisinin S&P 500 endeksi üzerindeki etkisini açıklayan bir başka makaleye göre, bu etki rastgele değişme (random walk) ile açıklanabilir. Rastgele değişme

modeli kısa dönemde S&P 500 endeksine uyma konusunda etkili olsa bile uzun dönemdeki değişimleri açıklama konusunda yetersiz kalmaktadır [29].

Bir başka çalışma, Covid-19 salgınının S&P 500 şirketlerinin hisse senedi likiditesi üzerindeki etkisini incelemektedir. Bu makalede Sıradan En Küçük Kareler Yöntemi (OLS, Ordinary Least Squares) kullanılması sonucunda elde edilen regresyon sonuçları Covid-19 salgını ve hisse senedi likiditesi arasında belirgin bir negatif ilişki olduğunu göstermektedir. Bir başka deyişle, Covid-19 salgını firma likiditesini azaltmaktadır [6]. Buna benzer başka bir çalışmada, OLS yöntemi yerine GARCH-X modeli kullanılmıştır. Bu makaleye göre, Covid-19 vaka sayılarındaki artış, hisse senedi getirilerinin oynaklığını da artırmaktadır. Makaledeki bulgular, Covid-19 pandemisi ile hisse senedi getirileri oynaklığı arasında istatistiki olarak anlamlı ve pozitif bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır [27].

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Yöntem

Bu çalışmanın yöntem kısmında; kullanılacak olan epidemiyolojik modellerden SIR ve SEIR modelin diferensiyal denklem açıklamalarına değinilmiş olup, basit çoğalma katsayısını elde edebilmek için kullanılacak yöntem de yer verilmiştir. Son olarak; bu çalışmanın son kısmında kullanılacak olan yöntemden, yani zaman serisi analizinden, bahsedilmiştir. Zaman serisi analizi, basit çoğalma katsayısının gelecek tahmini ve ham petrol ile beraber S&P 500 kapanış fiyatlarının Covid-19 gibi ani şoklardan nasıl etkilendiğini analiz etmek açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmanın nihai sonucuna ulaşmak için önemli bir adım olarak değerlendirilebilir. Bunlara ek olarak bu çalışmanın analiz kısmı için yöntem olarak R programlama dili kullanılmıştır.

3.1.1. SIR Model

İlk olarak 1927 yılında Kermack ve McKendrick tarafından kızamık ve kızamıkçık gibi bulaşıcı hastalıkların yayılımını simüle etmek için kullanılan SIR modelde popülasyon kapalı olarak değerlendirilir ve 3 ana gruba ayrılır [19]. Popülasyonun tümü N olmak üzere, Susceptible (S) hastalığa henüz yakalanmamış ve yakalanmaya açık olanları, Infected (I) virüse yakalanmış enfekte olmuş bireyleri, Removed (R) ise iyileşen, hastalığa bağışıklık kazananlar ya da ölenleri ifade eder. Toplam popülasyonun N olması durumunda her zaman diliminde $N=S+I+R$ eşitliği geçerliliğini korur. Zaman içindeki gruplar arası geçişleri belirleyebilmek için diferansiyel denklem sistemlerine ihtiyaç duyulur. Popülasyonun yeterince büyük olduğu durumu altında S, I ve R değerleri sürekli değişken olarak gösterilebilir. Buna göre denklemler t zamanına göre aşağıda gösterildiği şekliyle oluşturulur.

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\beta SI}{N} \quad [1]$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\beta SI}{N} - \gamma I \quad [2]$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I \quad [3]$$

Bu denklemlerde bulunan, β hastalığın yayılım hızı olarak, γ ise hastalığın iyileşme hızı olarak ifade edilir. Denklemlerdeki (-) terimler azalışa, (+) terimler ise artışı ifade eder. SIR

modelde popülasyonun kapalı ve iyileşen kişilerin hastalığa karşı bağışıklık kazandığı varsayıldığı için aşağıdaki eşitliğe ulaşılır.

$$\frac{dS}{dt} + \frac{dI}{dt} + \frac{dR}{dt} = 0 \quad [4]$$

$$S(t) + I(t) + R(t) = N \quad [5]$$

Yukarıdaki eşitlikler sıradan diferansiyel denklemler yardımıyla (Ordinary differential equation (ODE)) bulunabilmektedir. Temel çoğalma sayısı, R_0 , ise next generation matrix hesaplamalarıyla β/γ değerlerine bağlı olarak bulunur. Burada β ve γ 'nın 0'dan büyük olduğu varsayılır ve bir kişinin kaç bireyi enfekte edebileceğini ifade eder. Salgının seyrini göstermede ve müdahalelerin yeterli olup olmadığının tespitinde sayının 1'in altına düşmesi gösterge olarak kabul edilir. Yukarıdaki bölümlerde de belirtildiği gibi Covid-19'un kuluçka süresi olduğundan SIR modelin kullanılması yerine kuluçka süresini hesaba katan model olan SEIR model kullanılmalıdır.

3.1.2. SEIR Model

Covid-19 kuluçka süresi ile gelişen bir hastalık olduğundan dolayı SIR modelinin etkinliğinin belirlenmesi için kuluçka süresini hesaba katan model olan SEIR modelinin de kullanılması gereklidir. Bu modelde virüse maruz kalan bireyler direkt Infected (I) grubuna girmeden önce kuluçka süresi boyunca Exposed (E) grubunda yer almaktadırlar. SIR modelde olduğu gibi kapalı bir popülasyon sayısı altında (N), bu modelin eşitlikleri de aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\beta SI}{N} \quad [6]$$

$$\frac{dE}{dt} = \frac{\beta SI}{N} - \varepsilon E \quad [7]$$

$$\frac{dI}{dt} = \varepsilon E - \gamma I \quad [8]$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I \quad [9]$$

$$\frac{dS}{dt} + \frac{dE}{dt} + \frac{dI}{dt} + \frac{dR}{dt} = 0 \quad [10]$$

$$S(t) + E(t) + I(t) + R(t) = N \quad [11]$$

Burada SIR modeline ek olarak ϵ katsayısı bize kuluçka süresi sonunda bireyin infected grubuna geçme hızını ifade etmektedir. Aynı şekilde temel çoğalma sayısı da β/γ olarak bulunur. Temel çoğalma katsayısı, Next Generation Matrix (Sonraki Nesil Matrisi) yöntemiyle bulunabilir.

3.1.3. Sonraki Nesil Matrisi ve Temel Çoğalma Katsayısı

Sonraki Nesil Matrisi (Next Generation Matrix (NGM)), enfeksiyon hastalıklarının yayılmasını modellemek için kullanılan matematiksel bir yöntemdir. Bu çalışmada SIR ve SEIR modellerinde basit çoğalma katsayısını bulmak için kullanılan NGM, hastalığın yayılma hızını tahmin etmek için kullanılır. Bu matris, salgının gelişme hızını yani basit çoğalma katsayısını tahmin ederek, enfeksiyonun yayılmasını kontrol etmek için alınabilecek önlemleri belirlemede kullanılır. NGM metodu ilk olarak Van den Driessche ve Watmough tarafından ortaya koyulmuştur [28]. X vektörü, virüsü taşıyanları yani maruz kalanlar (E) ve enfekte olanlar (I) sınıflarını ifade ederken; Y vektörü duyarlı (S) ve iyileşmiş (R) gibi virüs taşımayan sınıfları ifade eder.

$$\frac{dX}{dt} = F(X, Y) - V(X, Y) \quad [12]$$

Yeni enfeksiyonların oranlarının vektörü F ile ifade edilsin. Bir başka deyişle, F , Y 'den X 'e geçişi göstermektedir. Burada, V ise; diğer tüm oranların vektörünü ifade etmektedir. İyileşme oranları ve ölüm oranı V vektörünün içine dahildir. Buna göre,

$$\frac{dY}{dt} = W(X, Y) \quad [13]$$

$$DF|_{(0, \bar{Y})} = \begin{bmatrix} \frac{\partial F}{\partial X} & \frac{\partial F}{\partial Y} \end{bmatrix}_{(0, \bar{Y})} = \begin{bmatrix} \frac{\partial F}{\partial X}|_{(0, \bar{Y})} & 0 \end{bmatrix} \quad [14]$$

$$DV|_{(0, \bar{Y})} = \begin{bmatrix} \frac{\partial V}{\partial X} & \frac{\partial V}{\partial Y} \end{bmatrix}_{(0, \bar{Y})} = \begin{bmatrix} \frac{\partial V}{\partial X}|_{(0, \bar{Y})} & 0 \end{bmatrix} \quad [15]$$

$$F = \left(\frac{\partial F}{\partial X} \right)_{(0, \bar{Y})} \quad [16]$$

$$V = \left(\frac{\partial V}{\partial X} \right)_{(0, \bar{Y})} \quad [17]$$

Burada, FV^{-1} yeni nesil matrisi olarak adlandırılmaktadır. Bu değerin spektral yarıçapı ise temel çoğalma katsayısını yani R_0 'ı hesaplamaya yardımcı olmaktadır. FV^{-1} 'in spektral yarıçapı, FV^{-1} 'in maksimum karakteristik kökü olan FV^{-1} 'in baskın karakteristik kök değerine eşittir.

Sonraki Nesil Matrisi SIR ve SEIR modeller için ayrı ayrı açıklanmıştır. Ele alınan model SIR ise, yeni nesil matrisine ait çıkarım aşağıdaki gibi olacaktır:

$X =$ enfekte sınıfların vektörü

$Y =$ enfekte olmayan sınıfların vektörü

$$X = I \quad [18]$$

$$Y = (S, R)^T \quad [19]$$

$$F(I) = \frac{\beta SI}{N} \quad [20]$$

$$V(I, S, R, V) = \gamma I \quad [21]$$

$$F = \left(\frac{\partial F}{\partial X} \right) = \beta \quad [22]$$

$$V = \left(\frac{\partial V}{\partial X} \right) = \gamma \quad [23]$$

$$FV^{-1} = \frac{\beta}{\gamma} = R_0 \quad [24]$$

Benzer şekilde SEIR model için de Sonraki Nesil Matrisi oluşturulabilir:

X = enfekte sınıfların vektörü

Y = enfekte olmayan sınıfların vektörü

$$X = \begin{bmatrix} E \\ I \end{bmatrix} \quad [25]$$

$$Y = \begin{bmatrix} S \\ R \end{bmatrix} \quad [26]$$

$$F(E, I) = \begin{bmatrix} \beta SI \\ \frac{N}{N} \\ 0 \end{bmatrix} \quad [27]$$

$$V(E, I, S, R) = \begin{bmatrix} \varepsilon E \\ -\varepsilon E + \gamma I \end{bmatrix} \quad [28]$$

$$F = \begin{bmatrix} 0 & \beta \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad [29]$$

$$V = \begin{bmatrix} \varepsilon & 0 \\ -\varepsilon & \gamma \end{bmatrix} \quad [30]$$

$$FV^{-1} = \frac{1}{\gamma\varepsilon} \begin{bmatrix} \varepsilon\beta & \varepsilon\beta \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad [31]$$

$$FV^{-1} = \frac{\beta}{\gamma} = R_0 \quad [32]$$

3.1.4. Zaman Serisi Analizleri

Zaman serileri istatistiksel açıdan bakıldığında, stokastik sürecin zamana göre değişen kayıtları olarak kabul edilmektedir. Zaman serilerinin ayırt edici özelliği zamansal bağımlılıktır: bir gözlemin belirli bir zaman noktasında serinin önceki değerine bağlı olarak dağılımı, önceki gözlemlerin sonucuna bağlıdır. Bir başka deyişle; sonuçlar bağımsız değildir.

Bu çalışmada; doğal doğum ve ölüm oranlarının eşit olduğu varsayımı altında her güne ait temel çoğalma katsayıları SIR ve SEIR model yardımıyla bulunup R_0 'ların ileriye dönük tahminleri yapılmıştır. Geleceğe yönelik tahmin yapılabilmesi için en uygun ARIMA modeli bulunmuştur. ARIMA modelleri, bir değişkenin t zamanındaki davranışını biliyorsak; $(t+1)$ zamanındaki davranışını tahmin etmek için kullanılır. Bu modeli kullanmadan önce; gözlemlerin durağan olup olmadığını bilmek gerekir. Bunun için de yapılması gereken ilk şey verinin grafiğine bakmaktır. ACF, Otokorelasyon Fonksiyonu, t ve $(t-k)$ zaman periyotlarının gecikmelerle birlikte korelasyonunu hesaplar; PACF, Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu, bütün gecikmeleri göz önüne almadan sadece gerekli gecikmeyi inceleyerek otokorelasyonu hesaplar. ACF ve PACF şekillerinden yararlanılarak; modelin zaman serisine entegrasyonu sağlanmıştır. Bu sayede, geleceğe dönük her güne ait temel çoğalma sayıları hesaplanmıştır.

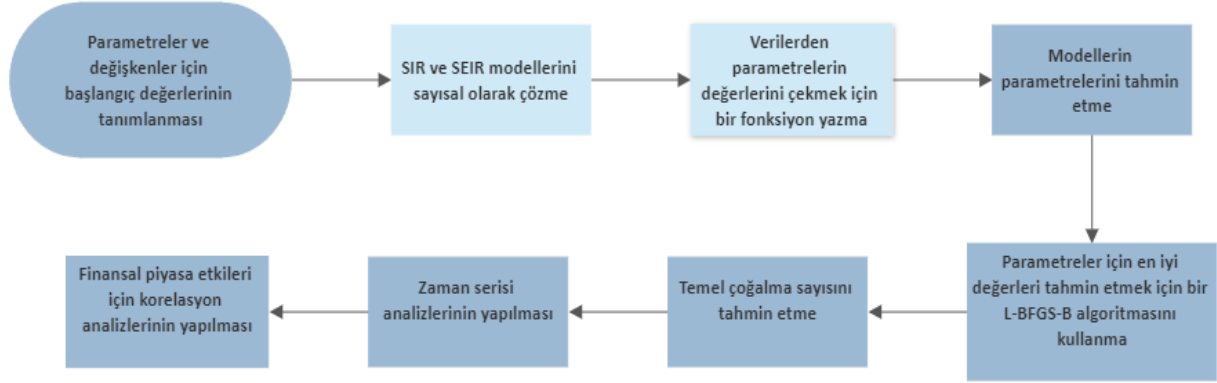
3.1.5. L-BFGS-B Metodu ve Optimizasyon

SIR ve SEIR modelleri, enfeksiyonların yayılmasını modelleyen ve geleceğe yönelik tahmini kolaylaştıran yöntemlerdir. Eğri uydurma yöntemleri (curve fitting methods); salgını modellemek amacıyla kullanılan bir yöntem olup, eğrileri optimize etmeye yaramaktadır. Eğri uydurma, doğrusal veya doğrusal olmayan bir $f(x)$ model işlevi oluşturmaya çalışan bir veri analizi yöntemidir. SIR ve SEIR modellerinin parametrelerini optimize etmek ve tahmin yeteneklerini geliştirmek için L-BFGS-B yöntemi de kullanılabilir [22]. L-BFGS-B algoritması, her adımda sabit ve serbest değişkenleri tanımlar. Yöntem, yüksek doğruluk elde etmek için yalnızca L-BFGS yöntemini serbest değişkenler üzerinde tekrarlayarak çalışmaktadır.

L-BFGS-B yöntemi, SIR ve SEIR modellerindeki değişkenlerin optimizasyonunda kullanılmaktadır. L-BFGS-B yöntemi, amaç fonksiyonunu minimize ederek; SIR ve SEIR modellerindeki değişkenleri optimize etmektedir. Bu amaç fonksiyonu, enfekte olanların sayısı, enfekte olmayanların sayısı ve iyileşenlerin sayısı arasındaki farkı minimize etmektedir.

SIR ve SEIR modelleri, enfeksiyon hastalıklarının kontrolü için önemli bir yere sahip epidemiyolojik modeller içinde değerlendirilmektedir. Bu modeller; temel çoğalma katsayısının tespitini sağladığından, enfeksiyonun yayılmasını daha hızlı kontrol altına almak için uygulanabilecek yöntemleri önceden belirlemede kullanılabilir. L-BFGS-B yöntemi, SIR ve SEIR modellerindeki değişkenlerin optimize edilmesiyle enfeksiyon hastalıklarının yayılmasını kontrol etmeyi amaçlamaktadır.

3.1.6. Akış Şeması



Şekil 1: Analizler için Uygulanan Algoritmaya ait Akış Şeması

Şekil 1’de yer alan Akış şemasında bu çalışmada kullanılan adımlar özetlenmiştir. Temel çoğalma sayısının hesaplanmasıyla beraber pandeminin finansal piyasalar üzerinde nasıl bir etki yarattığının ölçülmesi amacına yönelik olarak birinci ve en önemli adım; başlangıç değerlerinin tanımlanmasıdır. Bu tanımlama olmadan diğer adımlara geçilememektedir. Temel çoğalma sayısının tahmininden sonra zaman serisi ve finansal piyasa analizleri yapılmıştır.

3.2. Veri Seti

Bu çalışmada, 22 Ocak 2020 ile 31 Ocak 2023 dönemleri arası gerçekleşen günlük veriler kullanılarak Amerika Birleşik Devletleri ve Türkiye için basit çoğalma katsayıları bulunmuş olup buna ek olarak ABD’de gerçekleşen Covid-19 salgınının S&P 500 ve ham petrol kapanış fiyatları üzerindeki etkileri zaman serileri yöntemiyle (ARIMA) analiz edilmiştir. Türkiye’nin ilk Covid-19 vakası 11 Mart 2020 tarihinde gözlemlendiğinden dolayı, Türkiye için bu tarih analizlerde kullanılmak üzere baz tarih olarak ele alınmıştır. Türkiye için kümülatif iyileşen veya vefat edenlerin sayısını içeren veri seti kullanılabilir durumda olmasına rağmen, ABD için bu veri seti bir süre sonra kullanımdan kaldırılmıştır. Tüm bu sebeplerden dolayı; bu raporda günlük açıklanan vaka sayıları kullanılmıştır. Veriler, John Hopkins Üniversitesi’nin gerçek zamanlı veri setinden alınmıştır [10]. Kümülatif veri setinden yararlanılarak, günlük bazlı veri setleri oluşturulmuştur. Bu çalışmada kullanılan diğer endeksler ise, S&P 500 endeksi ve ham petrol kapanış fiyatları serileridir. Bu veri setlerine Yahoo Finance’den ulaşılmıştır [25, 9]. Tüm bu değişkenler, aşağıda Tablo 1’de özetlenmiştir.

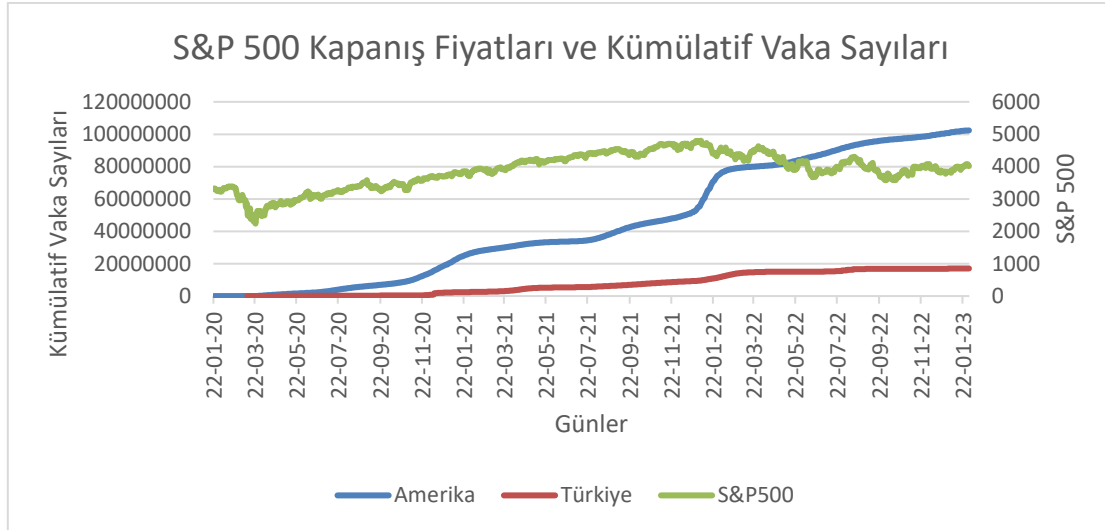
Tablo 1: Tanımlayıcı İstatistikler

Değişkenler	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	25. Yüzdelik Dilim	75. Yüzdelik Dilim	Maksimum	Medyan
Amerika kümülatif vaka sayısı	1106	47300417	35009993	1	13667915	82458677	102362870	34762371
Türkiye kümülatif vaka sayısı	1057	7767419	6455848	1	638847	15050227	17042722	6197041
S&P500 kapanış fiyatları	1106	3876	542	2237	3610	4323	4797	3932.64
Amerika günlük vaka sayısı	1105	92636	128162	0	30471	113440	1354505	56562
Türkiye günlük vaka sayısı	1105	15423	37094	0	0	21061	823225	3668
Ham petrol kapanış fiyatları	1106	68	25	10	46	85	124	69.72



Şekil 2: Türkiye’deki Kümülatif Vaka Sayısının Zamana Göre Değişimi

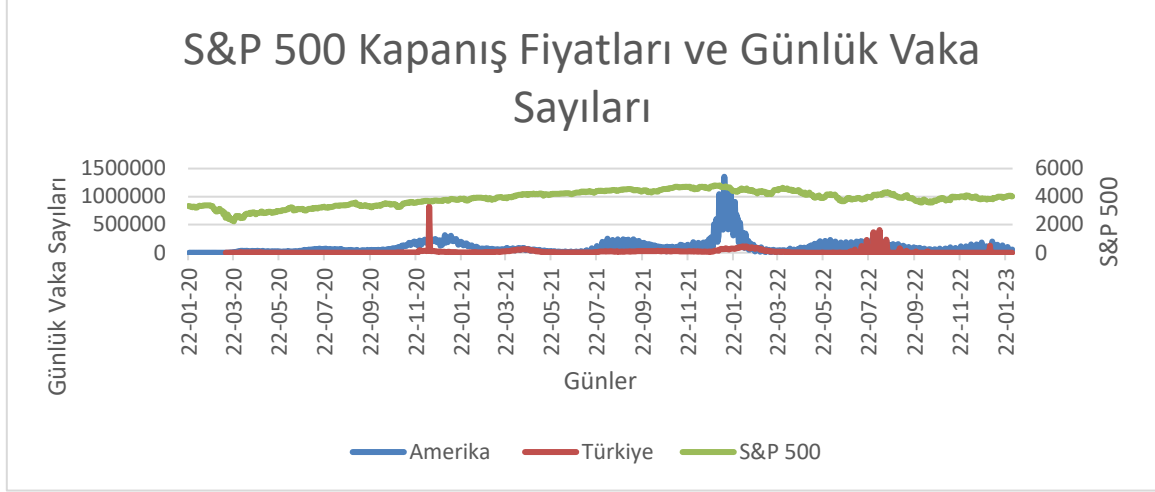
Şekil 2’den görülebileceği üzere; Türkiye’de ilk vaka 11 Mart tarihinde gözlemlenmiş olup, 10 Aralık 2020 tarihine kadar olan veri setinde vaka sayısı yerine hasta sayısı tanımı kullanılmıştır. Hasta sayılarının içinde pozitif test sonucu olan vakaların tümüne yer verilmemiştir. Bir başka deyişle; test sonucu pozitif çıkan herkes vaka olarak adlandırılırken, Türkiye veri setinde 10 Aralık 2020 tarihine kadar açıklanan vaka sayıları hastalık bulgusu olup tedavi altına alınan hastalardır.



Şekil 3: S&P 500 Kapanış Fiyatlarının ve Kümülatif Vaka Sayılarının Zamana Göre Değişimi

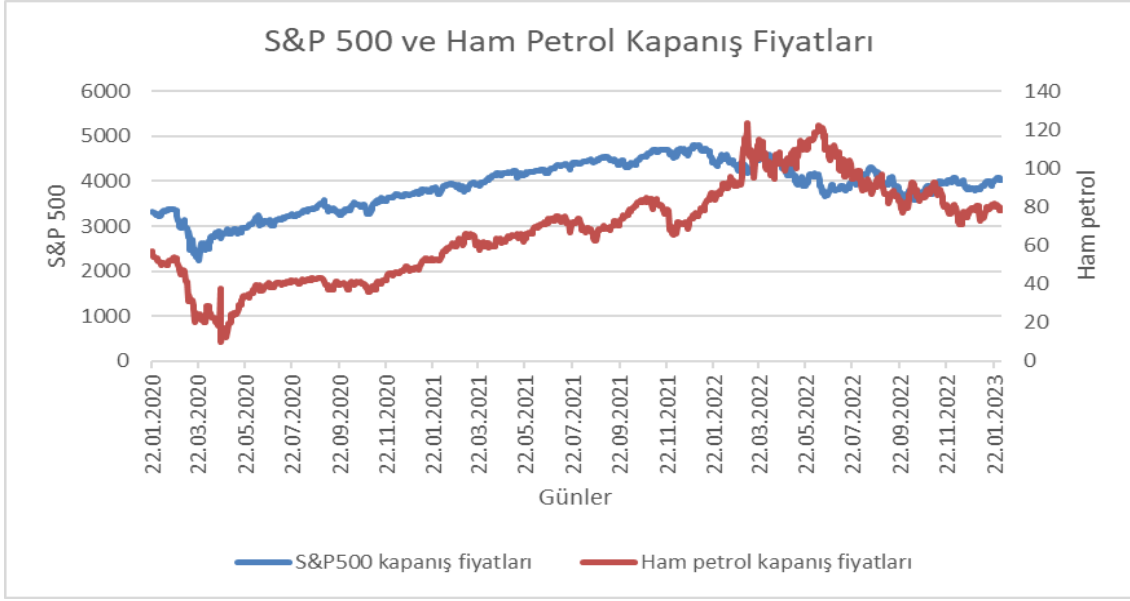
Şekil 3, S&P 500 kapanış fiyatlarının ve kümülatif vaka sayılarının zamana göre değişimini göstermektedir. Türkiye veri setinden farklı olarak ABD’de ilk vaka 22 Ocak 2020 tarihinde gözlemlenlenmiştir. S&P 500 (Standard and Poor's 500), Amerika Birleşik Devletleri

borsalarında listelenen en büyük 500 şirketin hisse senedi performansını izleyen bir borsa endeksidir ve en sık takip edilen hisse senedi endekslerinden biridir. Şekil 4den de görüleceği üzere ABD'deki Covid-19 vaka sayılarının hız kazandığı dönemde bu endeksin kapanış fiyatlarında ciddi bir düşüş yaşanmıştır.



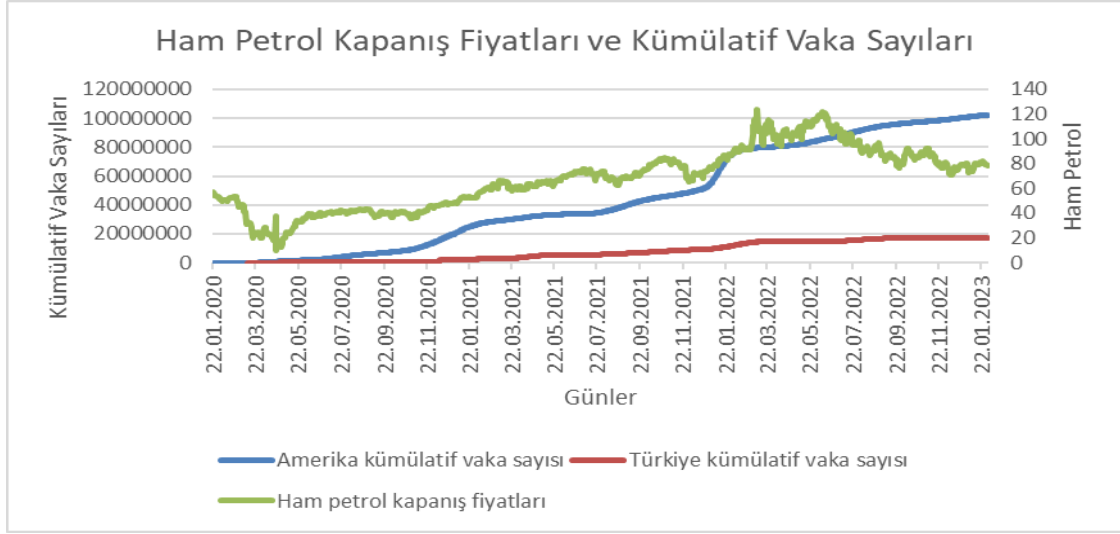
Şekil 4: S&P 500 Kapanış Fiyatlarının ve Günlük Vaka Sayılarının Zamana Göre Değişimi

Türkiye veri seti için hasta ve vaka sayılarının farklı tanımlamaları nedeniyle gözlemlerde değişiklik olmuştur. Pandeminin başlangıcında asemptomatik hasta sayıları vaka sayısına dahil edilmediğinden dolayı veriler tam olarak gerçeği yansıtmadığı belirlenmiştir. Tanımdaki bu değişiklik günlük vaka sayılarının gösterildiği Şekil 4'te daha net gözlemlenmektedir. Günlük vaka sayısında 10 Aralık 2020 tarihinde gözlemlenen ani yükseliş hasta ve vaka sayısı kavram karmaşasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5: S&P 500 ve Ham Petrol Kapanış Fiyatlarının Zamana Göre Değişimi

Şekil 5, S&P 500 ve ham petrol kapanış fiyatları arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Ham petrol fiyatlarındaki değişimler, dünya ekonomisinin önemli bir göstergesi olmakla beraber, ABD finansal piyasasını da önemli bir ölçüde etkilemektedir. Enerji talebi, ABD tüketici harcamalarının önemli bir bölümünü oluşturmakla beraber; hisse senetleri ile birbirlerini etkileyen bir döngü içerisinde hareket ederler. Fiyatlardaki ani bir artış tüketici harcamalarını baskı altına alır ve ekonomik büyümeyi zorlar. Öte yandan, ham petrol fiyatlarında ani bir düşüş ekonomik aktivitede yavaşlamaya neden olabilir. Ayrıca, ham petrol fiyatlarında keskin bir düşüş, sektörlerdeki istihdamı ve ona borç veren finans sektörünü etkileyebilir. Dolayısıyla bu iki değişkenin beraber hareket etmesi olağandır. S&P 500 ve ham petrol kapanış fiyatları arasındaki korelasyon ilişkisi bulgular bölümünde daha detaylı incelenmiştir.



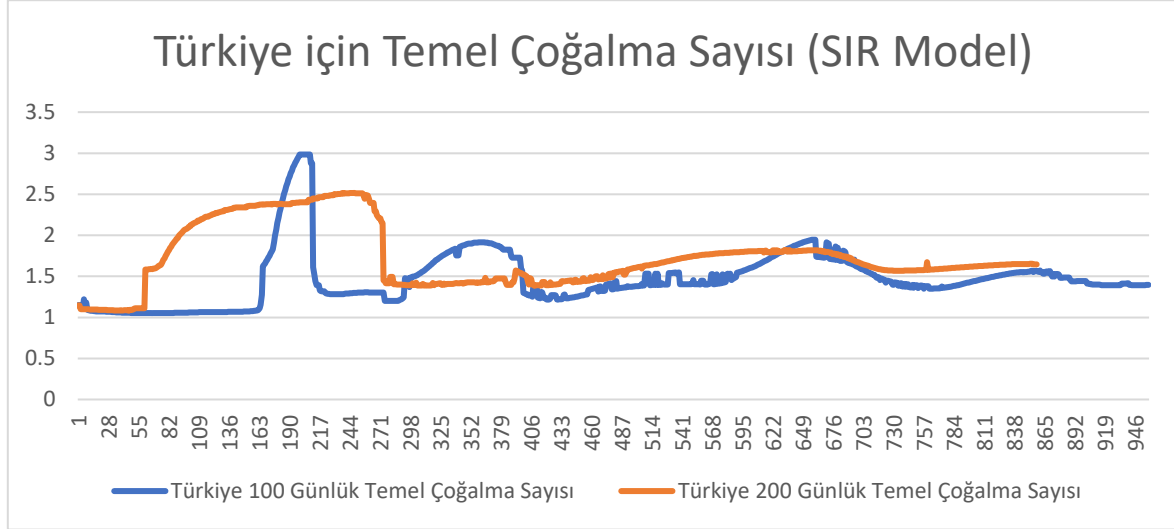
Şekil 6: *Ham Petrol Kapanış Fiyatlarının ve Kümülatif Vaka Sayılarının Zamana Göre Değişimi*

Şekil 6, Şekil 3'e benzer şekilde ham petrol kapanış fiyatlarının ve kümülatif vaka sayılarının zamana göre değişimini göstermektedir. Ham petrol; birçok mal ve hizmetin üretiminde kullanılmakla birlikte ulaşım sektöründe de rol oynamaktadır. Bu yüzden; önemli bir ekonomik göstergedir. Ham petrol fiyatı; arz ve talep, jeopolitik olaylar ve ekonomik koşullar gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Bu nedenle; Covid-19 pandemisinden de etkilenmesi beklenmektedir. Daha önceden de bahsedildiği üzere, S&P 500 ile aralarında bir ilişki bulunmaktadır. Bir başka deyişle; her iki endeks hem birbirlerini etkilemekte hem de birbirlerinden etkilenmektedir. Şekilden de görüleceği üzere ABD'deki Covid-19 vaka sayılarının ilk kez gözlemlendiği başlangıç döneminde ham petrol fiyatları endeksinde ciddi bir düşüş yaşanmıştır.

4.BULGULAR

Hedeflenen ve önerilen yaklaşım kullanılarak, Türkiye ve ABD verisine modeller uygulanmıştır. Bu modellere dayanılarak çıkarılan sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

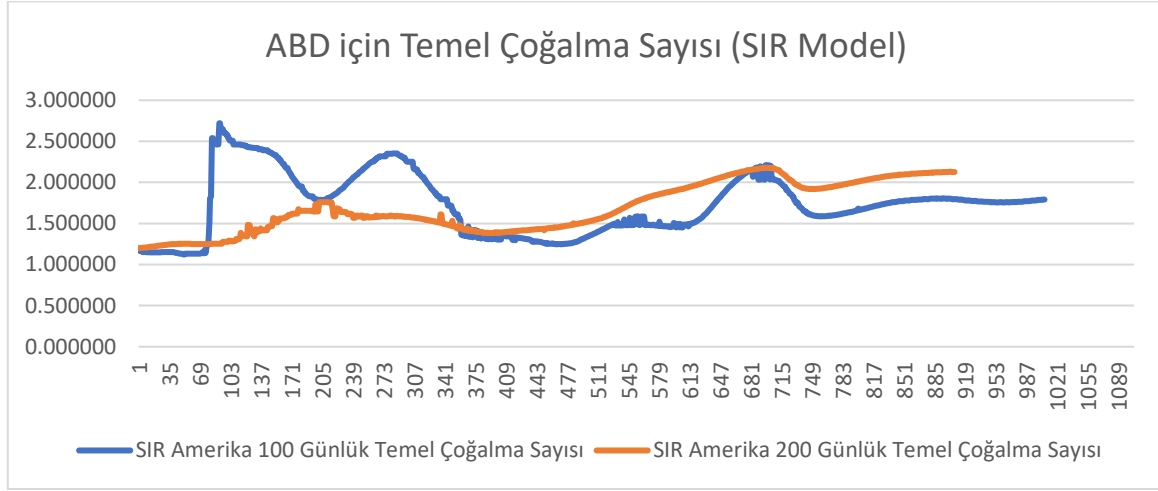
4.1. Türkiye Verisi Analizleri



Şekil 7: Türkiye için Temel Çoğalma Katsayısının Zaman Aralıklarına Göre Değişimi

Şekil 7, belirli zaman aralıkları göz önünde bulundurularak; Türkiye için SIR model yardımıyla elde edilen temel çoğalma katsayılarını göstermektedir. Oluşturulan 100 ve 200 günlük aralıklar baz alınarak bu katsayı hesaplanmıştır. Yüz günlük aralıklar için; 1. ve 2. aralık sırasıyla 11 Mart 2020 tarihi ile 18 Haziran 2020 ve 12 Mart 2020 tarihi ile 19 Haziran 2020 tarihleri arasını kapsarken, 958. yani sonuncu aralık 24 Ekim 2022 tarihi ile 31 Ocak 2023 tarihi arasını kapsamaktadır. İki yüz günlük aralıklar için de aynı sistematik geçerlidir. Şekil 7’den de görüleceği üzere; Türkiye veri setinde beklenmeyen ani yükselişler bulunmaktadır. Bunun sebebi; 11 Mart 2020 tarihi ile 10 Aralık 2020 tarihi arasında vaka sayıları yerine hasta sayılarının açıklanması olarak görülmektedir. Her hasta vaka iken her vaka hasta olarak değerlendirilmemiştir. Asemptomatik vaka sayıları hasta sayıları içine dahil edilmediğinden; Türkiye verisi için temel çoğalma katsayıları tam olarak gerçeği yansıtmamaktadır. Bu sebeple; Türkiye veri seti için zaman serisi analizi uygulamalarına gerek duyulmamıştır.

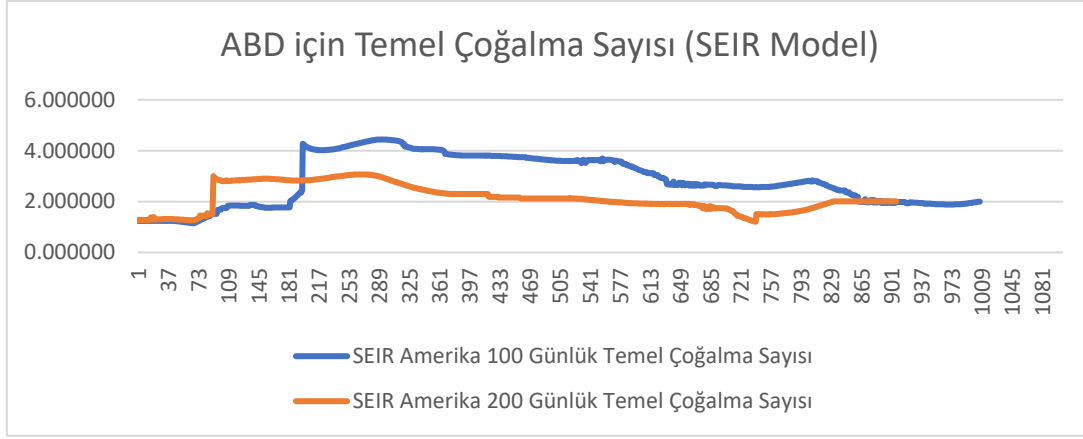
4.2. ABD Verisi Analizleri



Şekil 8: ABD için Temel Çoğalma Katsayısının Zaman Aralıklarına Göre Değişimi

Şekil 8, belirli zaman aralıkları göz önünde bulundurularak; ABD için SIR model yardımıyla elde edilen temel çoğalma katsayılarını göstermektedir. Oluşturulan 100 ve 200 günlük aralıklar baz alınarak bu katsayı hesaplanmıştır. Yüz günlük aralıklar için; 1. ve 2. aralık sırasıyla 21 Ocak 2020 tarihi ile 30 Nisan 2020 ve 22 Ocak 2020 tarihi ile 1 Mayıs 2020 tarihleri arasını kapsarken, 1107., yani sonuncu aralık 24 Ekim 2022 tarihi ile 31 Ocak 2023 tarihi arasını kapsamaktadır. İki yüz günlük aralıklar için de aynı sistematik geçerlidir. Şekil 8’den görüleceği üzere; Türkiye veri setinden farklı olarak beklenmeyen ani yükselişler gözlenmemektedir. Bu sebeple ABD veri seti için; SIR modelin yanı sıra, SEIR model incelemesine de yer verilmiş olup zaman serisi incelemeleri de yapılmıştır.

Şekil 9, belirli zaman aralıkları göz önünde bulundurularak; ABD için SEIR model yardımıyla elde edilen temel çoğalma katsayılarını göstermektedir. Oluşturulan 100 ve 200 günlük aralıklar baz alınarak bu katsayı hesaplanmıştır. İkiyüz günlük aralıklar için; 1. ve 2. aralık sırasıyla 21 Ocak 2020 tarihi ile 26 Eylül 2020 ve 22 Ocak 2020 tarihi ile 27 Eylül 2020 tarihleri arasını kapsarken, 1107. yani sonuncu aralık 16 Temmuz 2022 tarihi ile 31 Ocak 2023 tarihi arasını kapsamaktadır. Yüz günlük aralıklar için de aynı sistematik geçerlidir. SEIR model analizinde Exposed (Maruz kalanlar) bölümü hesaplamaları için Infected (Enfekte olanlar) sayısının 3 katı kullanılmıştır [4]. Şekil 9’dan anlaşılabacağı üzere; Türkiye veri setinden farklı olarak beklenmeyen ani yükselişler gözlenmemektedir. Bu sebeple ABD veri seti için; SEIR model incelemesinin yanı sıra zaman serisi incelemeleri de yapılmıştır.



Şekil 9: ABD için Temel Çoğalma Katsayısının Zaman Aralıklarına Göre Değişimi

4.3. Temel Çoğalma Katsayısı Modeli Sonuçları: ABD verisi

Bu bölümde; ABD veri seti için SIR ve SEIR modelin zaman serisi uygulamalarına yer verilmiş olup, ayrıca ham petrol ve S&P 500 kapanış fiyatları için de aynı analizler gerçekleştirilmiştir.

4.3.1. SIR Model için Zaman Serisi Uygulamaları

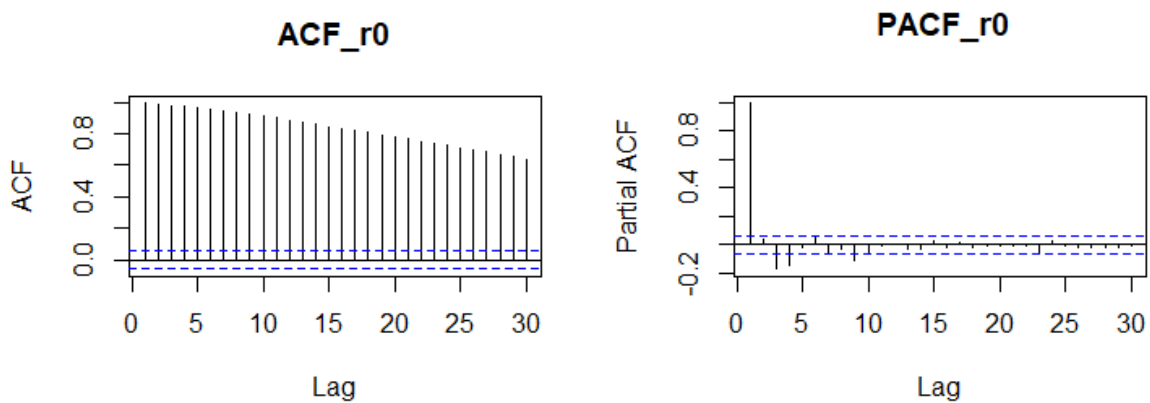
Analizlere geçilmeden önce salgının gidişatını daha güçlü yakalayabilmek adına, tüm veri seti 100 ve 200 günlük veri setlerine bölünmüştür. Böylece yapılacak olan modellerin 100 günlük salgın verisiyle mi yoksa 200 günlük salgın verisiyle mi daha iyi sonuçlar verdiğine bakılabilecektir. Karşılaştırma yapılırken modellerin geleceği tahmin etme başarısına bakılacak olup, daha iyi sonuç veren modelin yanında daha güçlü sonuç üreten veri seti aralığı da (100 günlük veya 200 günlük) teyit edilecektir.

4.3.1.1. 100 Günlük Aralıklar için Uygulamalar

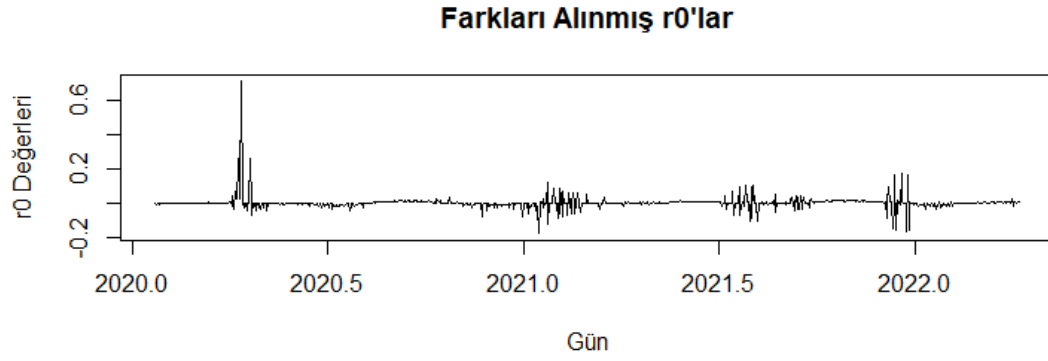
Zaman serisi analizlerinde; ham verilerin grafiğini çizmek veriler hakkında genel fikir edinmek ve duranlığı kontrol etmek açısından önemlidir. Bu analizlerdeki temel varsayım durağanlık sağlandığı durumda ortalama ve varyansın zamanla değişmemesi yani sabit olmasıdır. Durağanlığı kontrol etmek için Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon fonksiyonlarının dışında Birim Kök Testi (Augmented Dicker Fuller Test) de kullanılabilir. Bu çalışmada birim kök testinin p değeri 0.05’den büyük bulunduğundan varsayılan hipotez (null hypothesis) reddedilememiş olup; ham veri setinin durağan olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Otokorelasyon grafiği (ACF); zaman serisindeki gecikmelere karşı çizilir. Kısmi otokorelasyon

(PACF); otokorelasyondan farklı olarak her kısmi korelasyonun daha kısa gecikme uzunluğuna sahip gözlemler arasındaki korelasyonunu kontrol eder. Burada bahsedilen gecikme; bir gözlem ile bir önceki gözlem arasındaki zaman farkıdır. Ham veri setinin durağan olmaması durumunda; verilerin durağan yapılabilmesi için dönüştürülmesi gerekir. Durağan olmayan ham veri setinin durağan hale getirilmesi için kullanılan bir çok yöntem olsa da; bu çalışmada fark yöntemi (first, second order differencing) kullanılmıştır. Fark yöntemi; iki ardışık gözlem arasındaki farkı almak anlamına gelmektedir. Aşırı fark almak korelasyonu artırıcı bir etki yaptığından adım adım ilerlemek daha mantıklı olacaktır. Birinci farkın ACF ve PACF grafikleri gözlemlendikten sonra; ikinci farkın alınıp alınmayacağına karar verilir. ARIMA modelinde AR ve MA terimlerinin sayısını belirlemek için ACF ve PACF grafiklerinden yararlanılmaktadır.

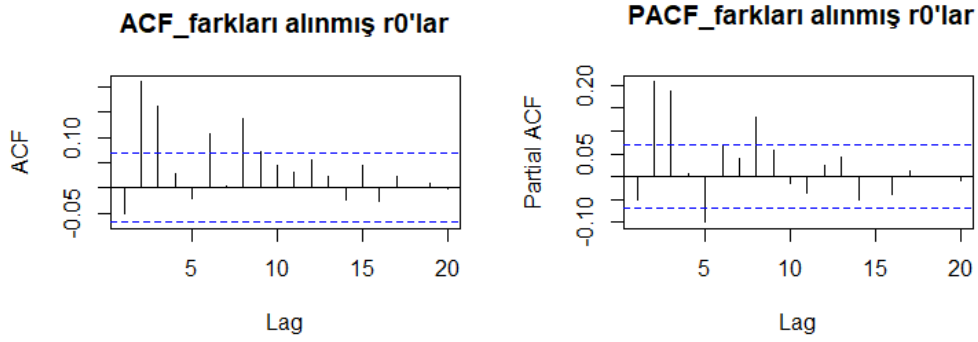
Zaman serisi analizlerine başlanmadan önce yapılması gereken ilk gözlem verinin durağan olup olmadığını kontrol etmektir. Durağanlık, zaman serisi analizinde önemli bir kavramdır. Durağanlık, bir zaman serisinin istatistiksel özelliklerinin zaman içinde değişmediği anlamına gelir. Durağanlık özelliğinin sağlanması önemlidir, çünkü birçok yararlı analitik araç ve istatistiksel test ve model buna dayanır. Bu sebeple; otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon şekillerine bakmak doğru olacaktır. Şekil 10'dan anlaşılabileceği üzere veri seti durağan olmayıp; durağanlaştırmak için birinci farka bakılmıştır. Şekil 11 ve 12'den görüleceği üzere birinci fark durağan hale gelmiş olup, model belirlemesi ve parametre tahminleri aşamasına geçilmiştir.



Şekil 10: Temel Çoğalma Katsayısı için Otokorelasyon ve Kısmi Oteokorelasyon

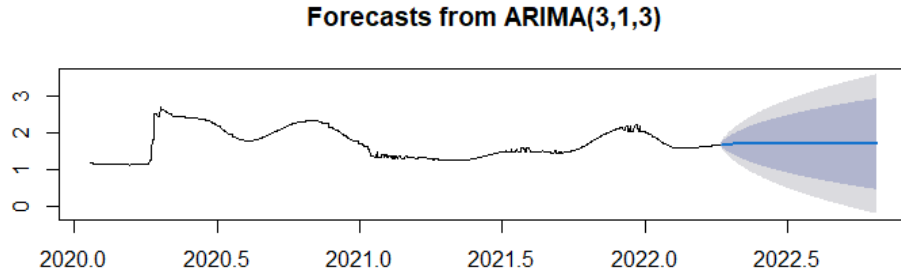


Şekil 11: Temel Çoğalma Katsayısının Birinci Farkı

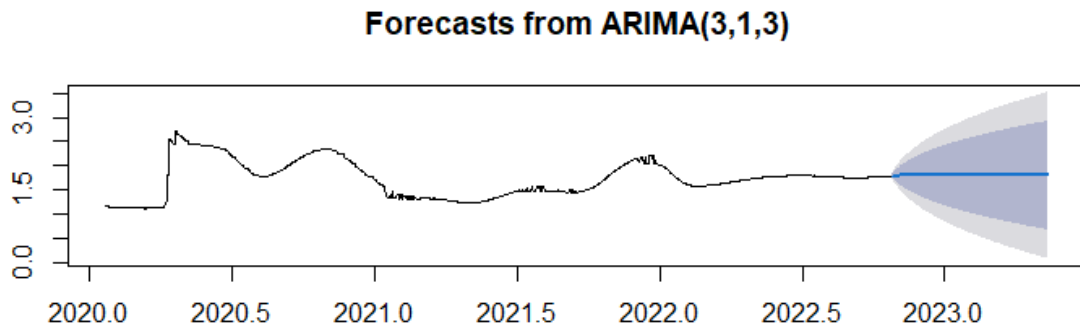


Şekil 12: Temel Çoğalma Katsayısının Birinci Farkı için Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon

Şekil 13 ve Şekil 14, geleceğe yönelik tahminleri yansıtmaktadır. Tablo (2)'de bahsedilen Akaike Bilgi Kriterleri (AIC) ve Bayes Bilgi Kriterleri (BIC), model seçim kriterlerinde kullanılmaktadır. İki model seçimi yaklaşımı arasında fark olabilir. AIC, tahmin edilen herhangi bir istatistiksel modelin uyum iyiliğinin bir ölçüsü olarak adlandırılabilir. BIC, farklı sayıda parametreye sahip bir parametrik modeller sınıfı arasından bir model seçimi türüdür.



Şekil 13: *ARIMA(3,1,3) Kullanılarak Test Seti Ayırmaya Göre Tahmin*



Şekil 14: *ARIMA(3,1,3) Kullanılarak Bütün Veri Seti için gelecek tahminleri*

ARIMA modeli; $ARIMA(p,d,q)$ olarak gösterilmektedir. P otoregresif terimlerin sayısı iken, d veri setini durağan yapabilmek için alınması gereken farkların sayısını ifade etmektedir. Son terim olan q ise; gecikmeli tahmin hatalarının sayısı (lag) olarak adlandırılır. Ayrıca; $ARIMA(3,1,3)$ modeli en uygun model olarak seçildiğinden q değeri 3'tür. Bu değer gecikme hatalarının sayısını verdiğinden 3 gecikmesi (lag) var diye ifade edilebilir. Tablo (2) ilgili veri seti için uygun bulunan modelin parametrelerini göstermektedir. $ARIMA(3,1,3)$ olarak bulunduğu toplamda 6 adet parametre değeri mevcuttur. Bu parametreler hem ayrı olarak değerlendirilen eğitim seti için verilmiş olup hem de tüm veri seti için sunulmuştur. İki model de $ARIMA(3,1,3)$ olarak bulunduğu parametre değerleri birbirlerine çok yakındır. AR parametreleri ilgili zaman serisinin belirli bir zaman öncesindeki değeri ile ilişkisini ortaya koyarken, MA parametreleri belirli bir zaman öncesindeki hata terimi ile ilişkisini göstermektedir. Bu parametrelerin büyüklüğü ve işareti, zaman serisinin önceki değerlerinden ne kadar etkilendiğini ifade etmektedir.

Tablo 2: ARIMA(3,1,3) Tablosu

ARIMA(3,1,3)								
Katsayılar	ar1	ar2	ar3	ma1	ma2	ma3	AIC	BIC
Test Seti Ayırma	1.321	-0.7986	0.3998	-1.4044	1.1511	-0.6013	-2985.99	-2953.28
Bütün Veri Seti	1.3212	-0.7995	0.4008	-1.4044	1.1519	-0.6023	-3953.11	-3918.82

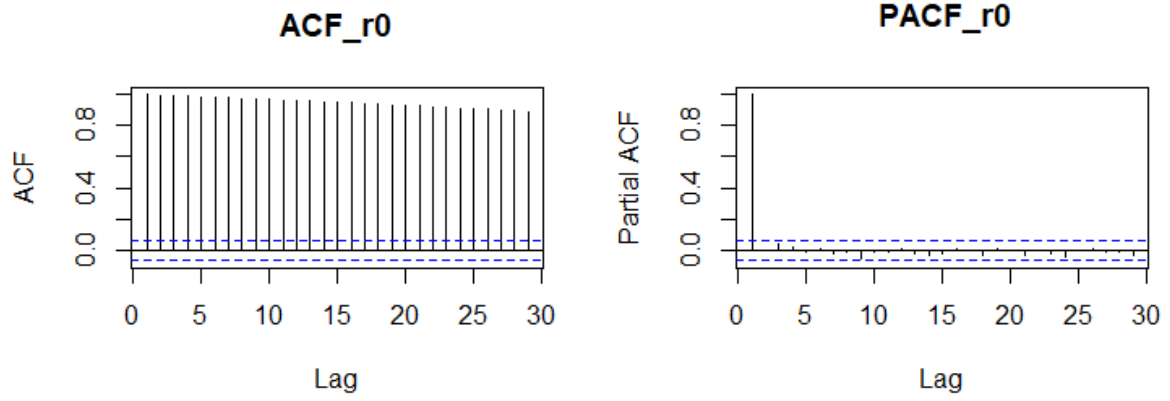
Tablo 3: Eğitim ve Test Seti Hataları

	RMSE	MAPE
Eğitim Seti	0.000347	0.812548
Test Seti	0.081304	4.572467

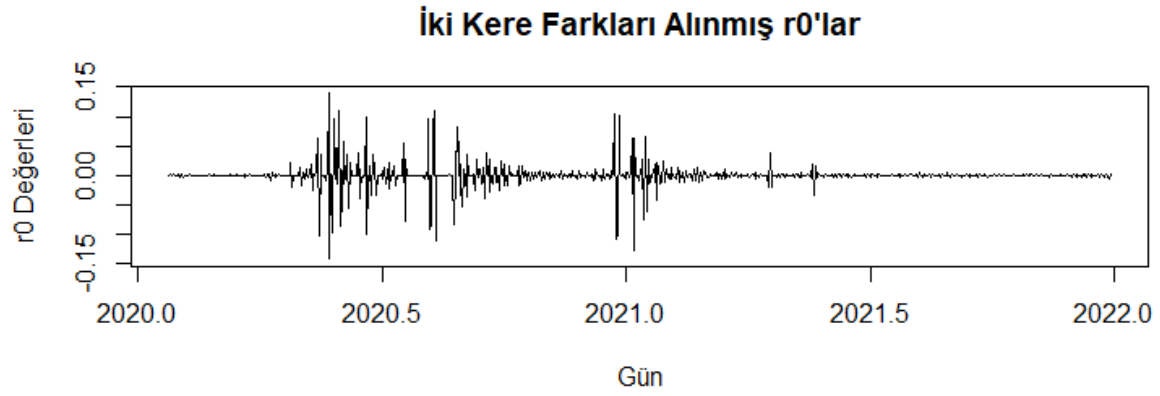
Tablo (3)'te yer alan değişkenlerden biri olan Ortalama Hatanın Karekökü (RMSE), tahmin edilen ve gerçek değerler arasındaki ortalama hata karelerinin kareköküdür. Bir diğer değişken ise; Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (MAPE), tahmin edilen ve gerçek değerler arasındaki tüm mutlak yüzde hatalarının ortalamasıdır. Tablo (3)'ten görüleceği üzere, test setinin RMSE değeri oldukça düşüktür. RMSE, modelin yanıtı ne kadar doğru tahmin ettiğini gösteren iyi bir ölçü olduğundan; düşük değer gerçek değer ile tahmin edilen değer arasındaki farkın düşüklüğünü göstermektedir. MAPE içinse 10'un altındaki değerler yüksek oranda doğruluk içeren bir tahmin sonucu anlamına gelmektedir. Tablo (3)'te görülen değer 4.58 olduğundan SIR Modelin 100 günlük aralıkları kullanılarak yapılan zaman serisi analizi sonucunda elde edilen tahmin oldukça başarılıdır.

4.3.1.2. 200 Günlük Aralıklar için Uygulamalar

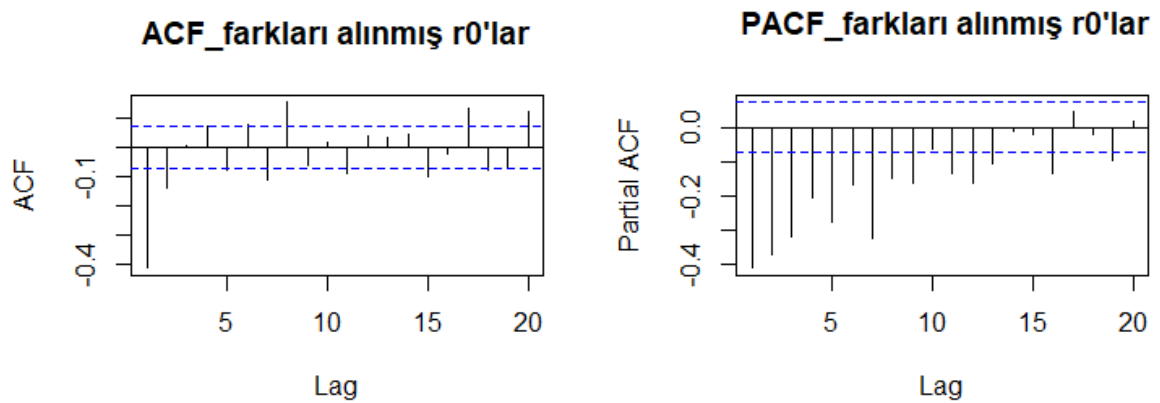
Şekil 15'ten anlaşılacağı üzere veri seti orijinali ve birinci farklarında durağan olmadığından dolayı serinin ikinci farkına bakılmıştır. Şekil 16 ve 17'den görüleceği üzere ikinci fark durağandır.



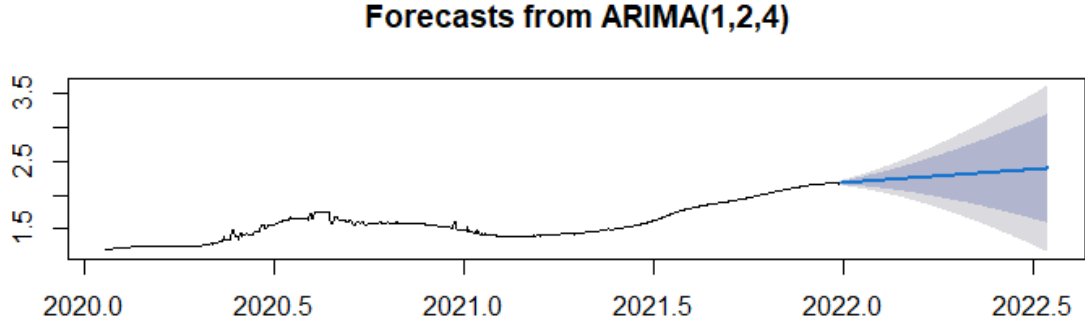
Şekil 15: Temel Çoğalma Katsayısı için Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon



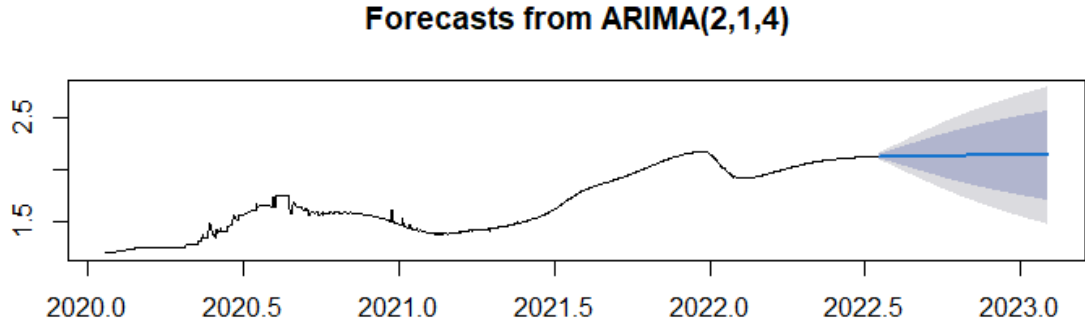
Şekil 16: Temel Çoğalma Katsayısının İkinci Farkı



Şekil 17: Temel Çoğalma Katsayısının İkinci Farkı için Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon



Şekil 18: *ARIMA(1,2,4) Kullanılarak Test Seti Ayırmaya Göre Tahmin*



Şekil 19: *ARIMA(1,2,4) Kullanılarak Bütün Veri Seti için Tahmin*

Şekil 18 ve 19 geleceğe yönelik tahminleri yansıtmaktadır. Tablo (4)'ten görüleceği üzere, test setinin RMSE değeri oldukça düşüktür. RMSE, modelin yanıtı ne kadar doğru tahmin ettiğini gösteren iyi bir ölçü olduğundan; düşük değer gerçek değer ile tahmin edilen değer arasındaki farkın düşüklüğünü göstermektedir. MAPE içinse 10 ve 20 arasındaki değerler iyi bir tahmin sonucu anlamına gelmektedir. Tablo (4)'te gözlemlendiği üzere; hem test seti ayırma hem de bütün veri seti için yapılan tahminlerde ARIMA(1,2,4) bulunduğundan p değeri 1, d değeri 2, q değeri ise 4'tür. Bu sebeple ikinci farkları durağan bulunmuş olup gecikmeli tahmin hatalarının sayısı ise 4 olarak en uygun modelde seçilmiştir.

Tablo (5)'te görülen değer 11.99 olduğundan SIR Modelin 200 günlük aralıkları kullanılarak yapılan zaman serisi analizi sonucunda elde edilen tahmin sonucu 100 günlük aralıklar kullanılan oranla daha az başarılıdır.

Tablo 4: ARIMA(1,2,4) Tablosu

ARIMA(1,2,4)							
Katsayılar	ar1	ma1	ma2	ma3	ma4	AIC	BIC
Test Seti Ayırma	-0.875	-0.2328	-1.1501	0.0564	0.3691	-3968.3	-3940.95
Bütün Veri Seti	0.1247	0.8338	0.0482	0.0447	0.3585	-5311.72	-5278.05

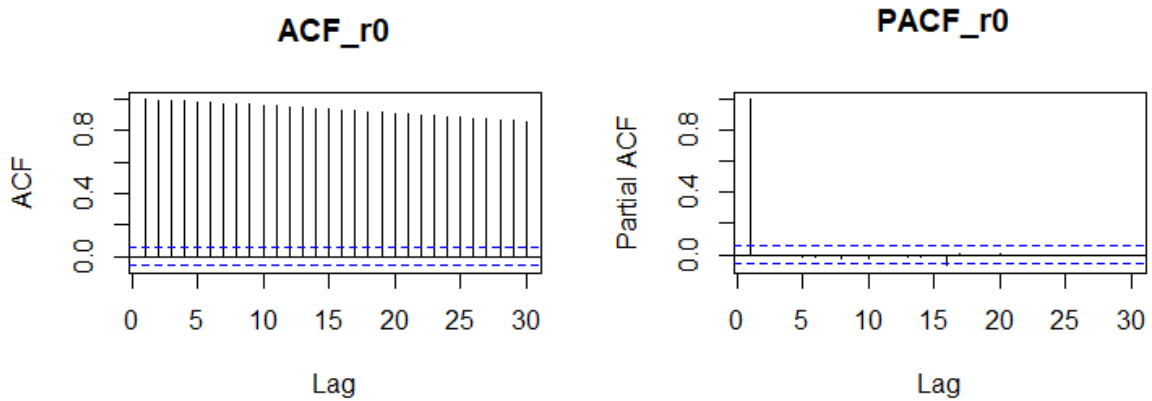
Tablo 5: Eğitim ve Test Seti Hataları

	RMSE	MAPE
Eğitim Seti	0.014318	0.386499
Test Seti	0.249505	11.99617

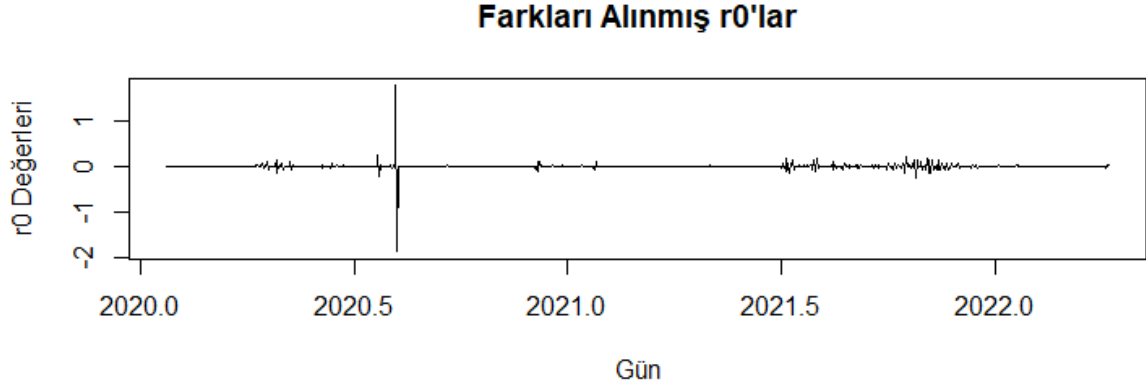
4.3.2. SEIR Model için Zaman Serisi Uygulamaları

4.3.2.1. 100 Günlük Aralıklar için Uygulamalar

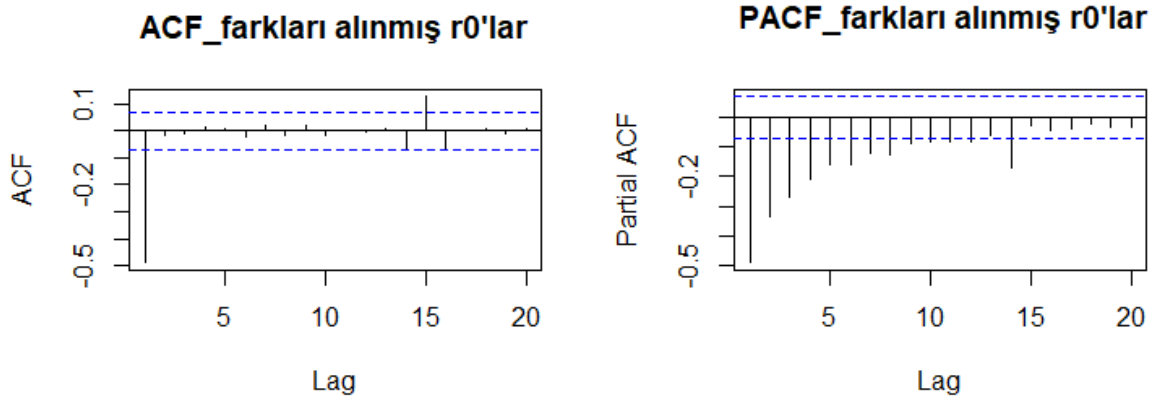
SIR modelinde izlenen aşamalar, SEIR modeli göz önüne alınarak yapılmıştır. Daha hassas sonuçlar vermesi beklenen bu modelde temel çoğalma sayısının SIR modeline göre tahmin gücü de incelenmiştir.



Şekil 20: Temel Çoğalma Katsayısı için Otokorelasyon ve Kısmi Otekorelasyon

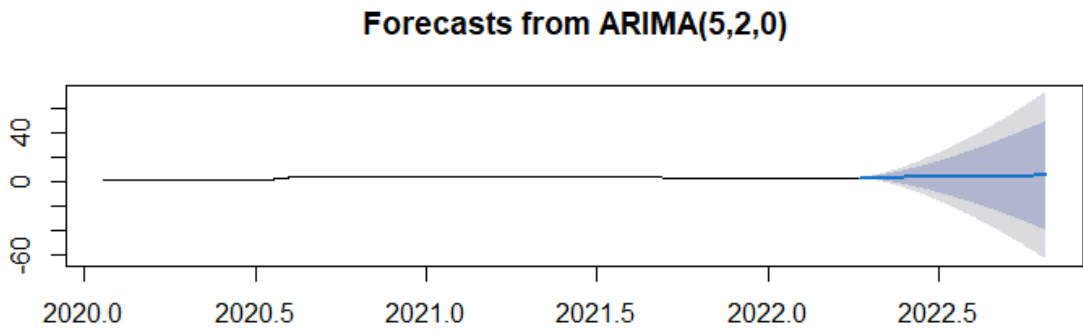


Şekil 21: Temel Çoğalma Katsayısının İkinci Farkı

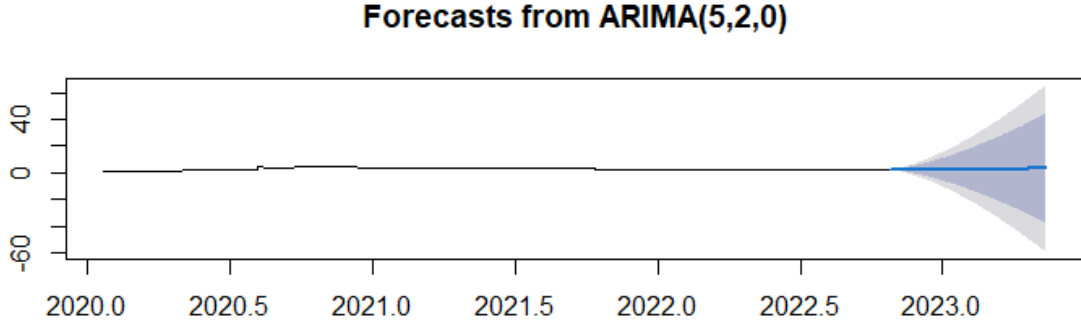


Şekil 22: Temel Çoğalma Katsayısının İkinci Farkı için Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon

Şekil 20 veri setinin durağan olmadığını göstermektedir. Şekil 21 ve 22’den görüleceği üzere seriyeye uygulanan ikinci fark durağandır. Modelleme bu set üzerinden yapılmaktadır.



Şekil 23: ARIMA(5,2,0) Kullanılarak Test Seti Ayırmaya Göre Tahmin



Şekil 24: ARIMA(5,2,0) Kullanılarak Bütün Veri Seti için Tahmin

Tablo 6: ARIMA(5,2,0) Tablosu

ARIMA(5,2,0)							
Katsayılar	ar1	ar2	ar3	ar4	ar5	AIC	BIC
Test Seti Ayırma	-0.83	-0.6789	-0.5169	-0.3325	-0.1574	-1896.48	-1868.34
Bütün Veri Seti	-0.8428	-0.6853	-0.5232	-0.3336	-0.1546	-2551.78	-2522.3

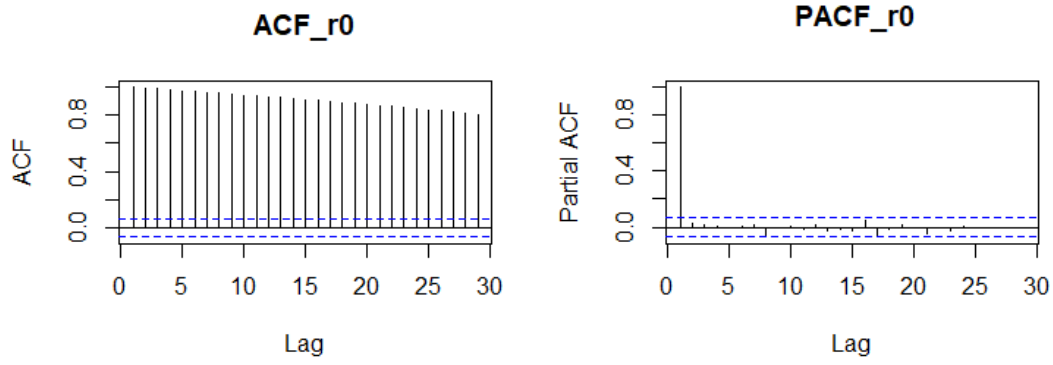
Tablo 7: Eğitim ve Test Seti Hataları

	RMSE	MAPE
Eğitim Seti	0.073814	0.459777
Test Seti	1.869701	85.82569

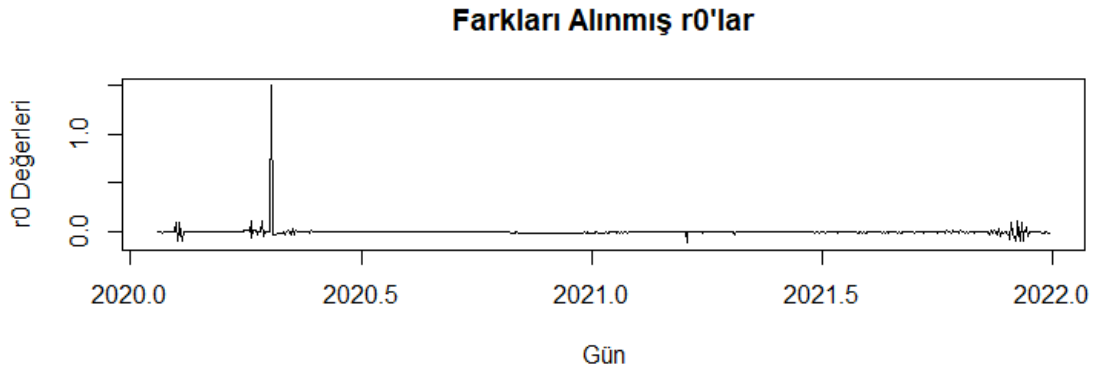
Şekil 23 ve Şekil 24 geleceğe yönelik tahminleri yansıtmaktadır. Tablo (6)'dan görüleceği üzere, test setinin RMSE değeri 1'in üstüne çıkmıştır. RMSE, modelin yanıtı ne kadar doğru tahmin ettiğini gösteren iyi bir ölçü olduğundan; düşük değer gerçek değer ile tahmin edilen değer arasındaki farkın yüksekliğini göstermektedir. MAPE içinse 50'den büyük değerler doğru olmayan bir tahmin sonucu anlamına gelmektedir. Tablo (6)'da görüldüğü üzere; ARIMA(5,2,0) modeli test seti ayırma ve bütün veri seti için ortak olarak seçilmiştir. Bu yüzden p değeri 5, d değeri 2, q değeri ise 0 olup; gecikme hatalarının sayısı 0'dır. Tablo (7)'de görülen değer 85.82 olduğundan SEIR Modelin 100 günlük aralıkları kullanılarak yapılan zaman serisi analizi sonucunda elde edilen tahmin sonucu SIR model için oluşturulan tahmin sonucu kadar başarılı olamamıştır.

4.3.2.2. 200 Günlük Aralıklar için Uygulamalar

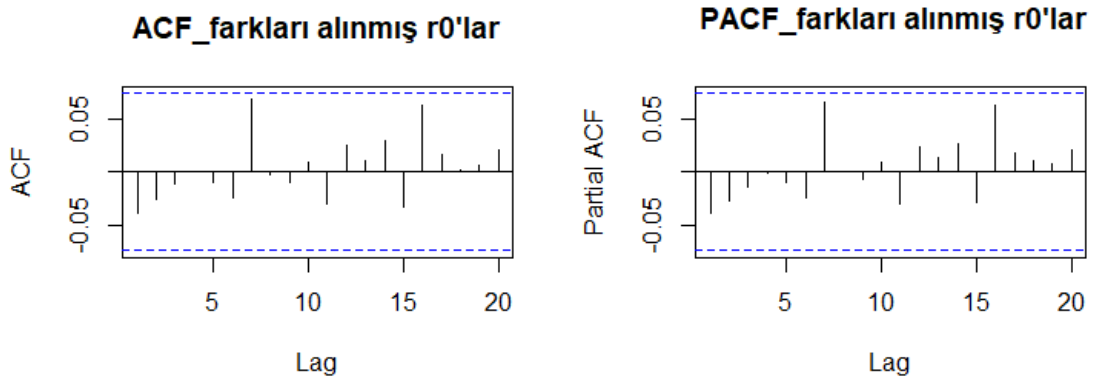
Şekil 25'ten anlaşılacağı üzere veri seti orijinali durağan olmadığından dolayı serinin birinci farkına bakılmıştır. Şekil 26 ve 27'den görüleceği üzere birinci fark durağandır.



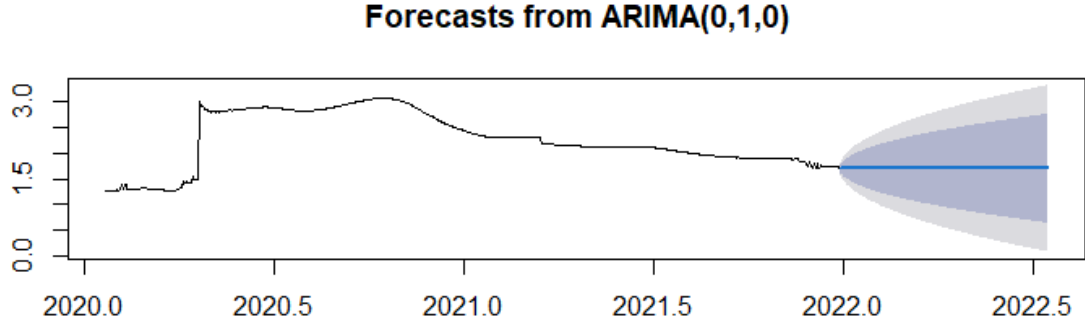
Şekil 25: Temel Çoğalma Katsayısı için Otokorelasyon ve Kısmi Otekorelasyon



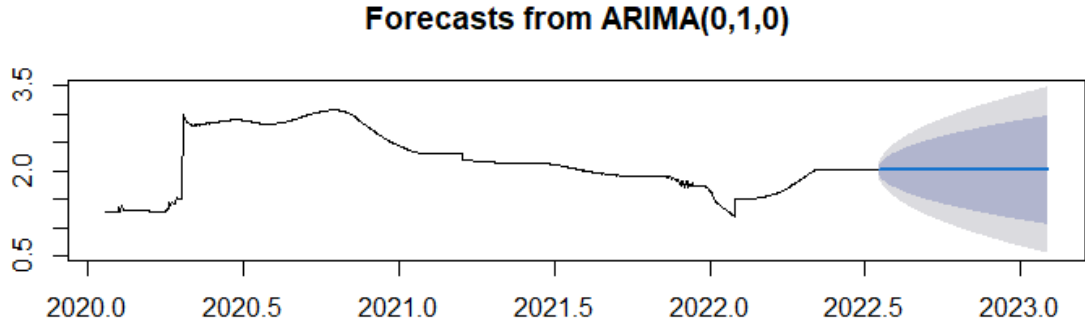
Şekil 26: Temel Çoğalma Katsayısının Birinci Farkı



Şekil 27: Temel Çoğalma Katsayısının Birinci Farkı için Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon



Şekil 28: $ARIMA(0,1,0)$ Kullanılarak Test Seti Ayırmaya Göre Tahmin



Şekil 29: $ARIMA(0,1,0)$ Kullanılarak Bütün Veri Seti için Tahmin

Tablo 8: $ARIMA(0,1,0)$ Tablosu

ARIMA(0,1,0)		
Katsayılar	AIC	BIC
Test Seti Ayırma	-2004.37	-1999.81
Bütün Veri Seti	-2760.05	-2755.24

Tablo 9: Eğitim ve Test Seti Hataları

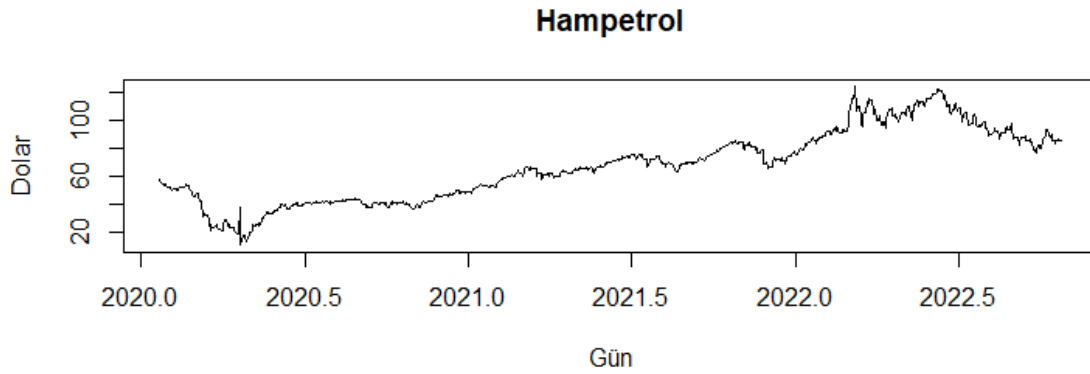
	RMSE	MAPE
Eğitim Seti	0.058392	0.191356
Test Seti	0.257719	13.61867

$ARIMA(0,1,0)$ modeli rastgele değişme (random walk) anlamına gelmektedir. Bu rastgele değişme modelinde; zaman serisi, tamamen önceki zaman noktası $t-1$ 'e dayanan zamana bağlı olarak tamamen stokastik bir model olarak tahmin edilir. Şekil 28 ve Şekil 29 geleceğe yönelik tahminleri yansıtmaktadır. Tablo (8)'den görüleceği üzere, test setinin RMSE

değeri 1'in altındadır. MAPE içinse 10 ile 20 arasındaki değerler iyi bir tahmin sonucu anlamına gelmektedir. Tablo (9)'da görülen değer 13.61 olduğundan SEIR Modelin 200 günlük zaman aralıkları kullanılarak yapılan zaman serisi analizi sonucunda elde edilen tahmin sonucu 100 günlük zaman aralıkları kullanılarak oluşturulan tahmin sonucundan daha başarılı olmuştur.

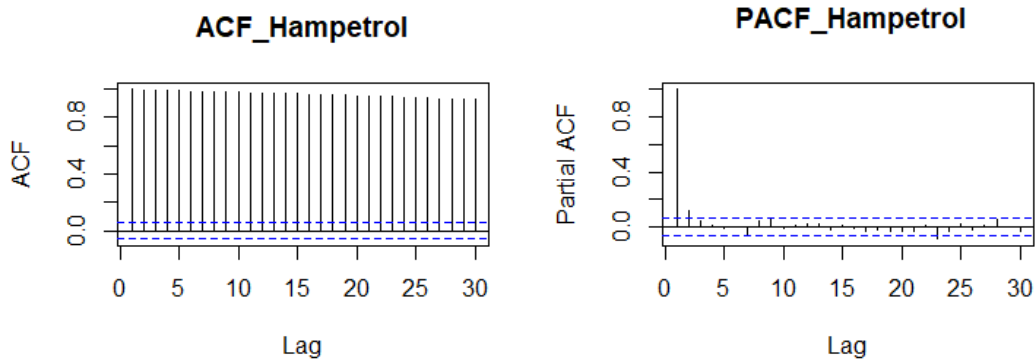
4.3.3. Ham Petrol ve S&P 500 Kapanış Fiyatları İçin Zaman Serisi Uygulamaları

Covid-19 sürecinde üretim ve ulaşımdaki azalma ve yavaşlama özellikle ham petrol fiyatlarında beklenmedik fiyat düşüşlerine neden olmuştur. Şekil 30'da gözleneceği gibi 2020 yılının ilk yarısındaki keskin düşüş, Covid-19 tedavi ve aşı sürecinin başlaması sürecinden sonra yükselişe geçmiştir.

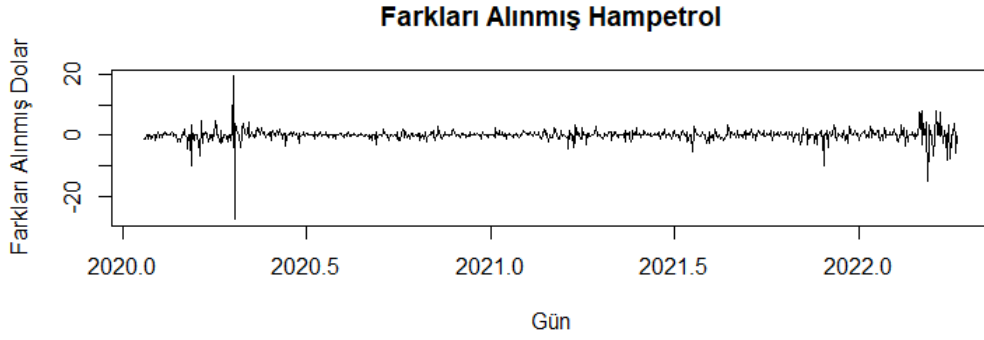


Şekil 30: Ham Petrol Kapanış Fiyatlarının Zamana Göre Değişimi

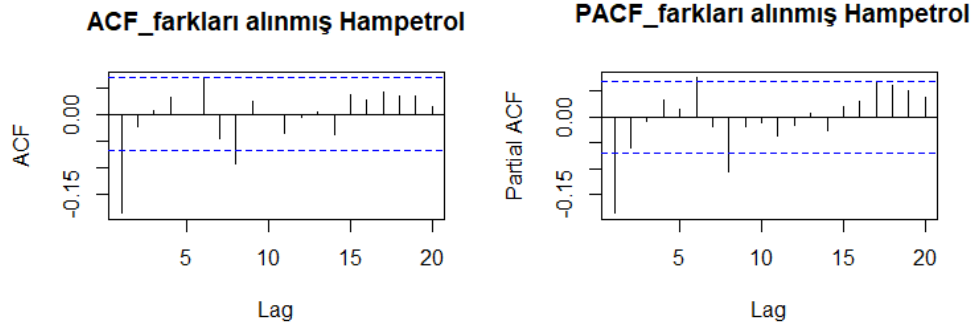
Şekil 30 ve Şekil 36'dan görüleceği üzere veri setlerinin orijinali durağan olmayıp; durağanlaştırmak için birinci farka bakılmıştır. Şekil 32, 33 ve Şekil 38, 39'da bu serilerin birinci farkları alınmış olup, durağan oldukları gösterilmiştir. Şekil 34, 35 ve Şekil 40, 41 zaman serilerinin geleceğe yönelik tahminlerini yansıtmaktadır.



Şekil 31: Ham Petrol Kapanış Fiyatları için Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon

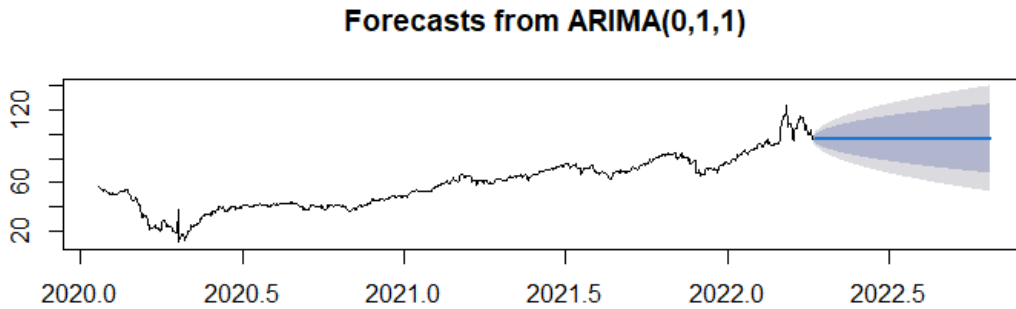


Şekil 32: Ham Petrol Kapanış Fiyatlarının Birinci Farkı

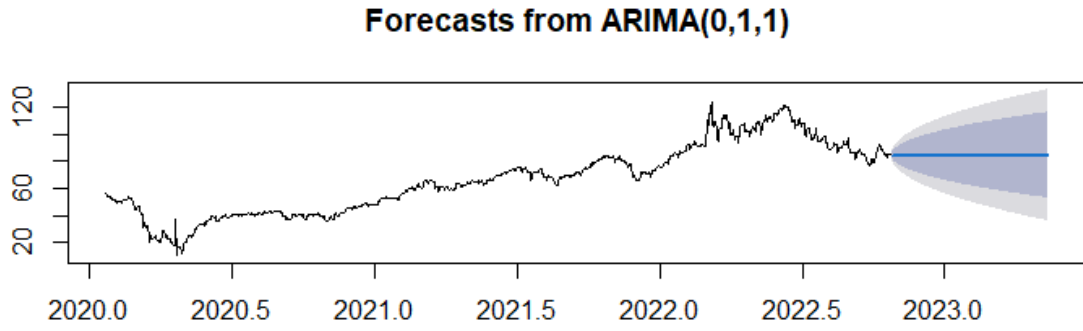


Şekil 33: Ham Petrol Kapanış Fiyatlarının Birinci Farkı için Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon

Şekil 33 ve Tablo (10)'dan yola çıkılarak; hem test seti ayırma hem de bütün veri seti için yapılan tahminlerde ARIMA(0,1,1) bulunduğundan p değeri 0, d değeri 1, q değeri ise 1'dir. Bu sebeple birinci farkları durağan bulunmuş olup gecikmeli tahmin hatalarının sayısı ise 1 olarak en iyi modelde seçilmiştir.



Şekil 34: ARIMA(0,1,1) Kullanılarak Test Seti Ayırmaya Göre Tahmin



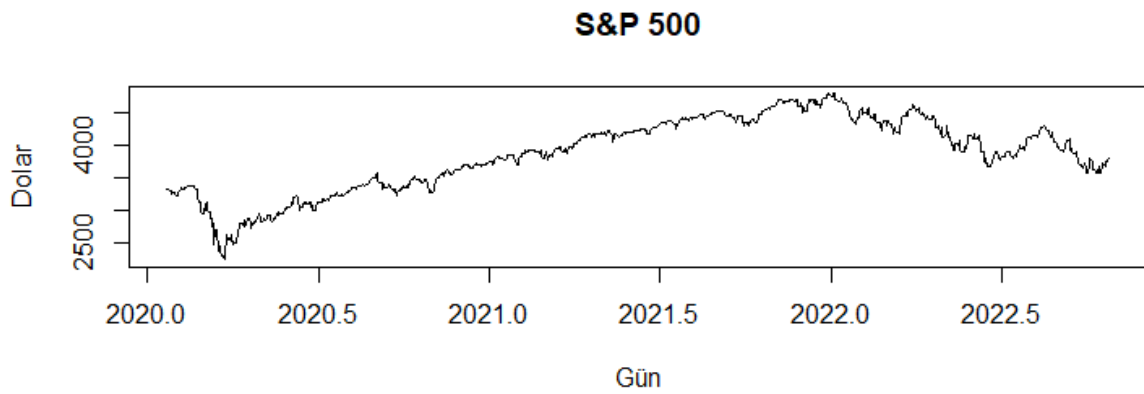
Şekil 35: $ARIMA(0,1,1)$ Kullanılarak Bütün Veri Seti için Tahmin

Tablo 10: $ARIMA(0,1,1)$ Tablosu

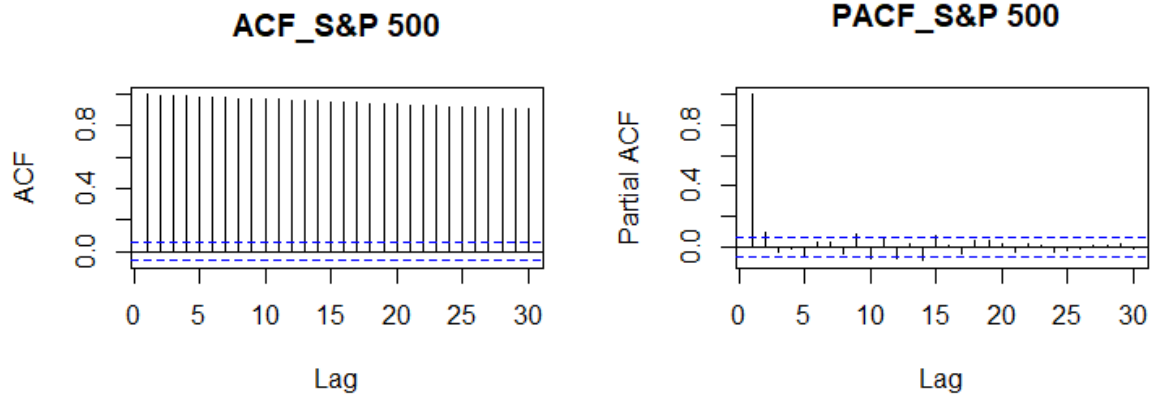
$ARIMA(0,1,1)$			
Katsayılar	ma1	AIC	BIC
Test Seti Ayırma	-0.2004	3390	3399.38
Bütün Veri Seti	-0.0326	4325.33	4335.16

Tablo 11: Eğitim ve Test Seti Hataları

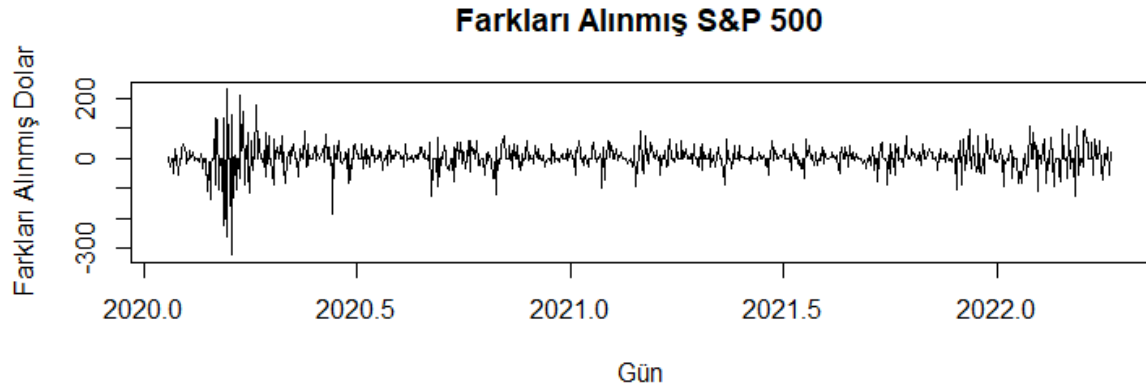
	RMSE	MAPE
Eğitim Seti	1.975679	2.177745
Test Seti	11.75209	10.07418



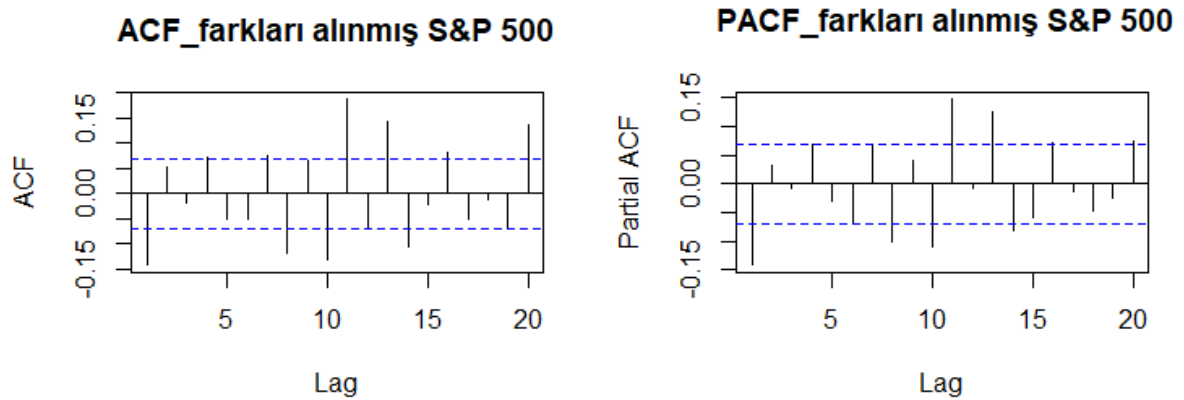
Şekil 36: S&P 500 Kapanış Fiyatlarının Zamana Göre Değişimi



Şekil 37: S&P 500 Kapanış Fiyatları için Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon

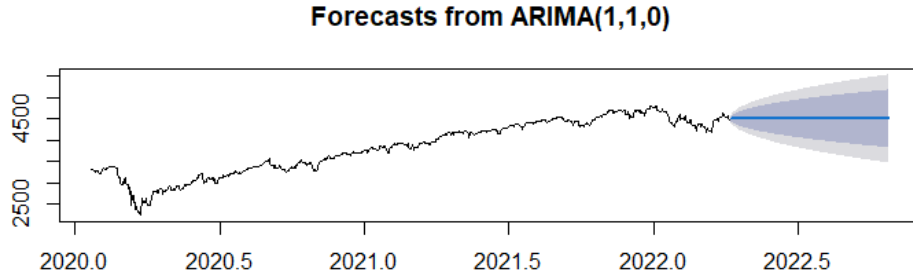


Şekil 38: S&P 500 Kapanış Fiyatlarının Birinci Farkı

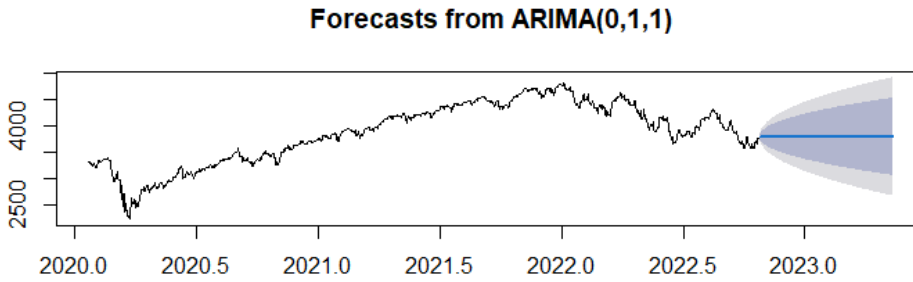


Şekil 39: S&P 500 Kapanış Fiyatlarının Birinci Farkı için Otokorelasyon ve Kısmi Otokorelasyon

Şekil 39 ve Tablo (12)'de görüldüğü üzere; test seti ayırma için yapılan tahminlerde ARIMA(1,1,0) bulunurken, tüm veri seti için ise ARIMA(0,1,1) bulunmuştur. İki tahmin için de birinci fark durağıdır.



Şekil 40: ARIMA(1,1,0) Kullanılarak Test Seti Ayırmaya Göre Tahmin



Şekil 41: ARIMA(0,1,1) Kullanılarak Bütün Veri Seti için Tahmin

Tablo 12: ARIMA(0,1,1) ve ARIMA(1,1,0) Tablosu

Katsayılar	ar1	ma1	AIC	BIC
Test Seti Ayırma(ARIMA(1,1,0))	-0.1406	-	8328.19	8337.57
Bütün Veri Seti(ARIMA(0,1,1))	-	-0.108	10513.67	10523.5

Katsayılar	ar1	ma1	AIC	BIC
Test Seti Ayırma(ARIMA(1,1,0))	-0.1406	-	8328.19	8337.57
Bütün Veri Seti(ARIMA(0,0,1))	-	-0.108	10513.67	10523.5

Tablo 13: Eğitim ve Test Seti Hataları

	RMSE	MAPE
Eğitim Seti	42.28026	0.717603
Test Seti	562.3119	13.32156

Tablo (11) ve Tablo (13) ise bulunmuş olan modellerin eğitim ve test seri özelinde performans ölçütlerini göstermektedir. Buna göre, test setinin RMSE değerleri oldukça yüksektir. Bunun sebebi; veri setlerinin ölçekleri temel çoğalma katsayısına göre oldukça yüksek olmasıdır. Bu yüzden yorumlama için MAPE'yi göz önünde bulundurmak daha mantıklıdır. MAPE yorumlaması için ise 10 ile 20 arasındaki değerler iyi bir tahmin sonucu anlamına gelmektedir. Tablo (11) ve (13)'te görülen MAPE değerleri sırasıyla 10.07 ve 13.32 olduğundan ham petrol ve S&P 500 kapanış fiyatlarının zaman serileri analizi sayesinde geleceği tahmin etme başarısı iyi olarak değerlendirilebilir. Şekil 35 ve 41'den görüleceği üzere; tahmin sonuçlarında dalgalanma yoktur.

4.4. Covid-19 Etkisi: Korelasyon İncelemeleri

Korelasyon analizi, sayısal değişkenler arasında ilişkilerin boyutuna ve yönüne bakılması için gerçekleştirilen analizlerdir. Korelasyon analizinde boyut, ikililer arasındaki ilişkinin gücünü ifade etmektedir ve güçlü, orta veya zayıf olarak üçe ayrılmaktadır. İlişkinin yönü ise negatif veya pozitif olarak ikiye ayrılan, değişkenlerin birbirlerini nasıl etkilediğini ifade eden göstergedir. Covid-19'un finansal piyasaları hangi yönde ve ne boyutta etkilediğini bulabilmek adına SIR ve SEIR modelleri yardımıyla bulunan temel çoğalma katsayıları ile S&P 500 ve hampetrol kapanış fiyatları arasındaki korelasyonların analizi gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak, SIR ve SEIR modelleri için 100 ve 200 günlük veri setleriyle bulunan temel çoğalma katsayılarının kendi içlerindeki ilişkiler de incelenmiştir. Böylece, SIR ve SEIR modelleriyle ve 100 ve 200 günlük veri setleriyle bulunan temel çoğalma katsayılarının kendi içinde tutarlı olup olmadığı sonucuna varılıp, bunların finansal piyasaları hangi düzeyde etkilediği gözlemlenebilecektir. Beklenen çıktı, tüm modeller yardımıyla bulunan temel çoğalma katsayılarının S&P 500 ve hampetrol fiyatlarıyla negatif yönde orta veya güçlü düzeyde korelasyon göstermesidir. Başka bir deyişle, Covid-19 vaka sayıları ve buna paralel olarak temel çoğalma katsayısı artarken, finansal piyasaların bundan negatif düzeyde etkilenip düşüş eğiliminde olması veya direkt düşmesidir. Buna ek olarak, SIR ve SEIR modellerden 100 ve 200 günlük veri setleriyle bulunan temel çoğalma katsayılarının kendi içlerinde zayıf veya orta düzeyde pozitif yönde korelasyon göstermesi beklenmektedir. Böylece tüm modeller içinde tutarlılık olduğu yorumuna varılabilecektir.

Tablo 14: Korelasyon Tablosu

Değişkenler		SIR_200	SEIR_100	SEIR_200	Hampetrol	SP_500
SIR_100	Korelasyon Katsayısı	0.328	-0.021	0.462	-0.185	-0.204
	Anlamlılık (p)	<0.001	0.496	0.442	<0.001	<0.001
SIR_200	Korelasyon Katsayısı		-0.003	0.246	-0.743	-0.694
	Anlamlılık (p)		0.934	0.354	<0.001	<0.001
SEIR_100	Korelasyon Katsayısı			0.536	-0.106	-0.240
	Anlamlılık (p)			<0.001	<0.001	<0.001
SEIR_200	Korelasyon Katsayısı				-0.530	-0.455
	Anlamlılık (p)				<0.001	<0.001
Hampetrol	Korelasyon Katsayısı					0.714
	Anlamlılık (p)					<0.001

Tablo (14)'te analize dahil olan tüm değişkenlerin kendi aralarındaki korelasyon sonuçları verilmiştir. Amerika verisi için 100 ve 200 günlük SIR ve SEIR modellerinden elde edilen temel çoğalma katsayıları ile ham petrol ve S&P 500 kapanış değerleri arasında korelasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Anlamlılık yani p değeri 0.05'ten küçük bulunduğu bakılan ikililer arasında anlamlı ilişki olduğu sonucuna varılabilir. Korelasyon katsayısı ise anlamlı bulunan korelasyonlarda ikili ilişkinin ne kadar güçlü ve hangi yönde olduğuna dair bilgi sunmaktadır. Buna göre, SIR 100 ile SIR 200 arasında pozitif yönde düşük düzeyde, SEIR 100 ile SEIR 200 arasında pozitif yönde orta düzeyde korelasyonlar bulunmuştur. Ancak SIR model ile SEIR model yardımıyla bulunan temel çoğalma katsayıları arasında anlamlı ilişkiler bulunmamıştır. Bunun nedeni, SEIR modelinin SIR modelinden ayrı olarak hastalığın kuluçka süresini de dahil ederek modelleme yapması olarak düşünülebilir. Ayrıca, beklendiği üzere ham petrol ve S&P 500 arasında güçlü yönde pozitif korelasyon bulunmuşken, tüm temel çoğalma katsayıları ile ham petrol ve S&P 500 değerleri arasında negatif yönde anlamlı korelasyonlar bulunmuştur. Sonuç olarak, temel çoğalma katsayılarının artışa geçtiği zaman dilimlerinde ham petrol ve finansal piyasaların düşüş eğilimi gösterdiği görülmektedir. Beklendiği gibi Covid-19'un finansal piyasaları anlamlı düzeyde negatif yönde etkilediği görülmektedir. Bu sonuçtan hareketle, Covid-19'un vaka sayılarının azalması, karantina veya daha farklı önlemler neticesinde salgının yavaşlaması neticesinde bu durumdan finansal piyasaların pozitif yönde etkileneceği ve artışa geçeceği sonucuna varılabilir.

5.TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada; Türkiye ve ABD veri setleri için Covid-19 salgınının gelişimini tahmin etmek amacıyla SIR ve SEIR modelleri kullanılmıştır. Bu modellerde; kapalı popülasyon dikkate alınmış olup ve doğum ve ölüm oranlarının birbirine eşit olduğu varsayımı altında hareket edilmiştir. Gelecek çalışmalar için öneri oluşturmak açısından; bu modellerden yola çıkarak oluşturulabilecek daha kapsamlı modeller, temel çoğalma katsayısını belirlemede öngörücü olabilir. Alınacak çeşitli önlemler çok erken ve kapsamlı bir şekilde uygulanırsa, salgınlar kontrol altına alınabilir ve günlük bildirilen vakalarda düşüşler gözlemlenebilir. Ancak, ülkeler bu önlemleri ciddiye almaz ve çok erken azaltırsa, kümülatif vaka sayıları istenilen düzeye düşmeyebilir, bunun yerine doğrusal bile olsa artmaya devam edebilir. Kümülatif vaka sayılarının artması durumunda, salgının bir sonraki dalgalanmasını tahmin etmek için daha kapsamlı modellere ve bu modellerin optimize edilmiş yeni parametrelerine ihtiyaç duyulabilir. Bu sebeple; bu çalışma geliştirilebilecek kısımlar içermektedir.

Türkiye verisi daha önce de bahsedildiği üzere çeşitli eksiklikler içerdiğinden sadece SIR model için analiz yapılmış; diğer analizlere yer verilmemiştir. ABD verisi için, SIR modelin 100 günlük aralıklarının zaman serisi analizleri yardımıyla geleceğe yönelik tahmin başarısı 200 günlük aralıklara göre daha iyidir. SEIR modelde ise bu durum tam tersidir. SEIR modelin tahmin başarısı SIR modele göre daha az bulunmuştur. Ham petrol ve S&P 500 kapanış fiyatlarının ise geleceği tahmin etme başarısı yüksektir. Korelasyon ilişkilerine bakıldığında ise; ham petrol ve S&P 500 kapanış fiyatları arasında güçlü pozitif yönlü bir ilişki bulunmuş olup, finansal piyasalar ve temel çoğalma katsayısı arasında negatif yönlü bir ilişki bulunmuştur. Beklenen ve gerçekleşen çıktılar birbirleriyle uyumludur.

Bu çalışmaya; virüs dinamikleri arasında karşılaştırma yapabilmek amacıyla ABD için SARS veri seti analizleri dahil edilmek istenmiştir. Ancak; veri seti 19 Mart 2003 tarihi ile 11 Temmuz 2003 tarihi arasını kapsamaktadır. Ayrıca; iyileşme 1 Mayıs 2003 tarihi ile başlamaktadır. Bütün bunlara ek olarak; Amerika’da SARS virüsünden ölen bireyler bulunmasına rağmen, veri setinde ölen sayısı tüm günler için 0 ile gösterilmektedir. Veri seti kısa ve tutarsız olduğundan SIR ve SEIR modelin dinamiklerine tam olarak yansıtamayacağı düşünülmüştür. Bu sebeple; bu çalışmada SARS veri setiyle yapılacak olan analizlere yer verilmemiştir.

Kaynaklar

- [1] Albulescu, C. T. (2021). COVID-19 and the United States financial markets' volatility. *Finance Research Letters*, 38, 101699. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101699>
- [2] Ali, M., Alam, N., & Rizvi, S. A. R. (2020). Coronavirus (COVID-19) — An epidemic or pandemic for financial markets. *Journal of Behavioral and Experimental Finance*, 27, 100341. <https://doi.org/10.1016/j.jbef.2020.100341>
- [3] Anastassopoulou, C., Russo, L., Tsakris, A., & Siettos, C. (2020). Data-based analysis, modelling and forecasting of the COVID-19 outbreak. *PLOS ONE*, 15(3), e0230405. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230405>
- [4] Bhaduri, R., Kundu, R., Purkayastha, S., Kleinsasser, M., Beesley, L. J., & Mukherjee, B. (2020). Extending the Susceptible-Exposed-Infected-Removed (SEIR) model to handle the high false negative rate and symptom-based administration of COVID-19 diagnostic tests: SEIR-fansy. *MedRxiv*.
- [5] Britton, T. (2010). Stochastic epidemic models: A survey. *Mathematical Biosciences*, 225(1), 24–35. <https://doi.org/10.1016/j.mbs.2010.01.006>
- [6] Chebbi, K., Ammer, M. A., & Hameed, A. (2021). The COVID-19 pandemic and stock liquidity: Evidence from S&P 500. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 81, 134–142. <https://doi.org/10.1016/j.qref.2021.05.008>
- [7] *Coronavirus | United Nations Development Programme*. (n.d.). Retrieved April 10, 2023, from <https://www.undp.org/coronavirus>
- [8] *Coronavirus Pandemic (COVID-19) - Our World in Data*. (n.d.). Retrieved April 10, 2023, from <https://ourworldindata.org/coronavirus>
- [9] *Crude Oil May 23 (CL=F) Stock Price, News, Quote & History - Yahoo Finance*. (n.d.). Retrieved April 10, 2023, from <https://finance.yahoo.com/quote/CL=F/>
- [10] Dong, E., Du, H., & Gardner, L. (2020a). An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time. *The Lancet Infectious Diseases*, 20(5), 533–534. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30120-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30120-1)
- [11] Dutta, A., Das, D., Jana, R. K., & Vo, X. V. (2020). COVID-19 and oil market crash: Revisiting the safe haven property of gold and Bitcoin. *Resources Policy*, 69, 101816. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101816>
- [12] Gates, B. (2020). Responding to Covid-19 — A Once-in-a-Century Pandemic? *New England Journal of Medicine*, 382(18), 1677–1679. <https://doi.org/10.1056/NEJMp2003762>
- [13] Giordano, G., Blanchini, F., Bruno, R., Colaneri, P., Di Filippo, A., Di Matteo, A., & Colaneri, M. (2020). Modelling the COVID-19 epidemic and implementation of population-wide interventions in Italy. *Nature Medicine*, 26(6), 855–860. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0883-7>
- [14] *Global HIV & AIDS statistics — Fact sheet | UNAIDS*. (n.d.). Retrieved April 10, 2023, from <https://www.unaids.org/en/resources/fact-sheet>
- [15] Hu, Z., Ge, Q., Li, S., Jin, L., & Xiong, M. (2020). *Artificial Intelligence Forecasting of Covid-19 in China*.
- [16] KHAN, K., ZHAO, H., ZHANG, H., YANG, H., SHAH, M. H., & JAHANGER, A. (2020). The Impact of COVID-19 Pandemic on Stock Markets: An Empirical Analysis of World Major Stock Indices. *The Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 7(7), 463–474. <https://doi.org/10.13106/jafeb.2020.vol7.no7.463>
- [17] Kim, Y., Ryu, H., & Lee, S. (2018). Agent-Based Modeling for Super-Spreading Events: A Case Study of MERS-CoV Transmission Dynamics in the Republic of Korea. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(11), 2369. <https://doi.org/10.3390/ijerph15112369>

- [18] Lin, Q., Zhao, S., Gao, D., Lou, Y., Yang, S., Musa, S. S., Wang, M. H., Cai, Y., Wang, W., Yang, L., & He, D. (2020). A conceptual model for the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in Wuhan, China with individual reaction and governmental action. *International Journal of Infectious Diseases*, 93, 211–216. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.02.058>
- [19] Nicolas Bacaër. (2011). *A Short History of Mathematical Population Dynamics* (B. Nicolas, Ed.). Springer.
- [20] Prabheesh, K. P., Padhan, R., & Garg, B. (2020). COVID-19 and the Oil Price – Stock Market Nexus: Evidence From Net Oil-Importing Countries. *Energy RESEARCH LETTERS*, 1(2). <https://doi.org/10.46557/001c.13745>
- [21] Rabajante, J. F. (2020). *Insights from early mathematical models of 2019-nCoV acute respiratory disease (COVID-19) dynamics*.
- [22] Rahimi, I., Gandomi, A. H., Asteris, P. G., & Chen, F. (2021). Analysis and Prediction of COVID-19 Using SIR, SEIQR, and Machine Learning Models: Australia, Italy, and UK Cases. *Information*, 12(3), 109. <https://doi.org/10.3390/info12030109>
- [23] *Report 3 - Transmissibility of 2019-nCoV | Faculty of Medicine | Imperial College London*. (n.d.). Retrieved April 10, 2023, from <https://www.imperial.ac.uk/mrc-global-infectious-disease-analysis/covid-19/report-3-transmissibility-of-covid-19/>
- [24] Shen, M., Peng, Z., Xiao, Y., & Zhang, L. (2020). Modeling the Epidemic Trend of the 2019 Novel Coronavirus Outbreak in China. *The Innovation*, 1(3), 100048. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2020.100048>
- [25] *S&P 500 (^GSPC) Charts, Data & News - Yahoo Finance*. (n.d.). Retrieved April 10, 2023, from https://finance.yahoo.com/quote/%5EGSPC/?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xILmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAAKxh4Wp5b5tJK-ccnDkb3cfMikPs5YHjYeT10dVvpDYV4WF61erl1D4Q9PRCoQbUAZjUC27JD9xiWvPwElesHmHoOJoVStyMI0fv8NDeTq3mGAIGR6LKjG94viHnQ76KPPj4_jTmuwF863VIWhI5cGnS3UfSmbK-tVTqFwHULPZO
- [26] Taubenberger, J. K., & Morens, D. M. (2006). 1918 Influenza: The mother of all pandemics. *Emerging Infectious Diseases*, 12(1), 15–22. <https://doi.org/10.3201/EID1209.05-0979>
- [27] Ürkmez, E. (2022). *COVID-19 Salgınının S&P 500 Endeksi Oynaklığı Üzerindeki Etkisi. Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*. 22, 1–15. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.000000>
- [28] van den Driessche, P., & Watmough, J. (2002). Reproduction numbers and sub-threshold endemic equilibria for compartmental models of disease transmission. *Mathematical Biosciences*, 180(1–2), 29–48. [https://doi.org/10.1016/S0025-5564\(02\)00108-6](https://doi.org/10.1016/S0025-5564(02)00108-6)
- [29] Yan, S., & Wu, G. (2020). Fitting of Impact of COVID-19 Pandemic on S&P 500 Index Using Random Walk. *2020 2nd International Conference on Economic Management and Model Engineering (ICEMME)*, 1007–1011. <https://doi.org/10.1109/ICEMME51517.2020.00204>
- [30] Yilmazkuday, H. (2023). COVID-19 effects on the S&P 500 index. *Applied Economics Letters*, 30(1), 7–13. <https://doi.org/10.1080/13504851.2021.1971607>
- [31] Zhou, Y., Ma, Z., & Brauer, F. (2004). A discrete epidemic model for SARS transmission and control in China. *Mathematical and Computer Modelling*, 40(13), 1491–1506. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2005.01.007>