



Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

İşletme Bilim Dalı

**SALGIN DÖNEMİ SAĞLIK HARCAMALARI ETKİNLİĞİNİN
DALGA VE FAZ BAĞIMLI ANALİZİ: SEÇİLMİŞ OECD ÜLKELERİ
ÜZERİNE UYGULAMA**

Elif BODUROĞLU

Doktora Tezi

Ankara, 2023

SALGIN DÖNEMİ SAĞLIK HARCAMALARI ETKİNLİĞİNİN DALGA VE FAZ BAĞIMLI
ANALİZİ: SEÇİLMİŞ OECD ÜLKELERİ ÜZERİNE UYGULAMA

Elif BODUROĞLU

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

İşletme Bilim Dalı

Doktora Tezi

Ankara, 2023

KABUL VE ONAY

Elif Boduroğlu tarafından hazırlanan "Salgın Dönemi Sağlık Harcamaları Etkinliğinin Dalga ve Faz Bağımlı Analizi: Seçilmiş OECD Ülkeleri Üzerine Uygulama" başlıklı bu çalışma, 15.06.2023 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Aydın Ulucan (Başkan)

Prof. Dr. Kazım Barış Atıcı (Danışman)

Prof. Dr. Fazıl Gökğöz (Üye)

Prof. Dr. Tolga Omay (Üye)

Doç. Dr. Mustafa Çimen (Üye)

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.

Prof.Dr. Uğur ÖMÜRGÖNÜLŞEN

Enstitü Müdürü

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

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

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan **“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezimin aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H.Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açıktır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir. ⁽¹⁾
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ay ertelenmiştir. ⁽²⁾
- Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. ⁽³⁾

...../...../.....

Elif BODUROĞLU

¹“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”

- (1) Madde 6. 1. Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez **danışmanın** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.
- (2) Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez **danışmanın** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulunun** gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.
- (3) Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, **tezin yapıldığı kurum** tarafından verilir *. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, **ilgili kurum ve kuruluşun önerisi** ile **enstitü** veya **fakültenin** uygun görüşü üzerine **üniversite yönetim kurulu** tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.
Madde 7.2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

* Tez **danışmanın** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** tarafından karar verilir.

ETİK BEYAN

Bu çalışmadaki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında özgün olduğunu, **Prof. Dr. Kazım Barış ATICI** danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.

[İmza]

Elif BODUROĞLU

İTHAF

Canım Annem'e

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasını tamamlamamda bilgi birikimini, tecrübesini benimle paylaşmanın yanında fark yarataran nezaketi için Danışman'ım Sayın Hocam Profesör Doktor Kazım Barış Atıcı'ya içtenlikle teşekkür etmek istiyorum.

Tezin yazım süreci içerisinde gerçekleştirilen tez izleme komitelerinde ve savunma aşamasında yer alan, kendisinden ders alma fırsatı da bulduğum Hocam Prof. Dr. Aydın Ulucan'a, lisansüstü öğrenim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen, akademik hayatımda kıymetli yeri olan değerli Hocam Prof. Dr. Fazıl Gökgöz'e, tezin gelişimi için vermiş oldukları değerli öneriler, eleştiriler ve emekleri için teşekkür ediyorum. Diğer taraftan, tezin savunma aşamasında yer alan ve akademik hayatımın şekillenmesine büyük katkı sağlayan, bilgisini ve tecrübesini büyük bir özgüvenle paylaşan, insan yetiştirmeyi amaç edinmiş, birlikte çalışma fırsatı bulduğum, emeklerini esirgemeyen, bilgisini aktarırken etrafa ışıklar saçılan saygıdeğer Hocam Prof. Dr. Tolga Omay'a, çalışmamı geliştirmeye yönelik katkılarını esirgemeyen Doç Dr. Mustafa Çimen'e kıymetli katkılarından dolayı teşekkürü borç bilirim.

Bu yolun başında tanıştığım, disiplini, mesleğine saygısı, tevazusunu örnek almaya çalıştığım insanlığıyla yoluma ışık olan çok kıymetli Hocam Prof. Dr. Alper Özer'e çok teşekkür ederim. Panik anlarımda sakinleştiren ve çıkış yolları arayan değerli Hocam Dr. Burcu Tosun, fikrini açıkça nazaketle söylemekten çekinmeyerek gerçek bir insan olmaktan vazgeçmeyen kıymetli arkadaşım Dr. Eşref Uğur Çelik, geç tanışmaktan hicap duyduğum, bana yeni ufuklar açan kıymetli insan, değerli Hocam Prof. Dr. Kerim Peren Arın'a içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Telaşlarımı telaş edinmiş canım annem, hayat mücadelesindeki silah arkadaşlarım ablalarım Aslı'm ve Şule'm; Altın Kızlara'a kelimelerle ifade edemeyeceğim için sadece gönülden teşekkür ederim :)

Özgürce yaşadığım güzel ülkemde; eşit eğitim, eşit oy, eşit seçilme hakkını tanıyan başta Gazi Mustafa Kemal Atatürk ve silah arkadaşları olmak üzere canını ortaya koymuş her vatansereve minnetlerimi sunarım.

ÖZET

BODUROĞLU, Elif. *Salgın Dönemi Sağlık Harcamaları Etkinliğinin Dalga Ve Faz Bağımlı Analizi: Seçilmiş OECD Ülkeleri Üzerine Uygulama*, Doktora Tezi, Ankara, 2023.

Bu çalışma, pandemi döneminde halk sağlığı sistemi ve politikasını değerlendirmek ve iyileştirmek amacıyla sağlık harcamalarının etkinliğini ölçmeye odaklanmaktadır. Çalışmada, sağlık harcamalarının etkinliğini incelemek için dolaylı bir ölçüm yöntemi kullanılarak günlük vaka sayıları üzerinden iki aşamalı analiz yapılmıştır. Bu yöntemde, vaka sayıları sağlık harcamalarının bir göstergesi olarak önerilmiştir. Test edilebilen hipotezler, sağlık harcamalarının günlük vaka sayısının durağan olduğu durumlarda etkin olduğunu, vaka sayısının durağan olmadığı durumlarda ise etkin olmadığını öne sürmektedir. Veri analizinde, her bir ülkenin günlük vaka sayıları incelenmiş ve doğrusal olmayan periyodik harekete sahip olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle, uzun dönemli periyodik hareketin tahmin edilebilmesi için doğrusal olmayan kümülatif (ayrık) Fourier fonksiyonu önerilmiştir. Önceki çalışmalarda bu yöntemin aşırı tahmin etme sorunu ad-hoc varsayımı altında ele alınırken, bu çalışmada literatürdeki varsayım yerine bir kısıt geliştirilerek optimal frekans (n) seçim kriterine matematiksel bir çözüm önerilmiştir. İkinci aşamada dalga ve fazlara göre etkinliğin ölçülebilmesi için günlük vaka sayısının trendi olan vaka sayısının yayılma katsayısına (R) göre birinci ve ikinci derece türevleri alınarak hızın değişim noktaları (inflection point) tespit edilerek dalga ve faz aralıkları belirlenmiştir. Belirlenen aralıklar için herbir ülkenin dalga ve fazına göre etkin sağlık harcaması yapıp yapmadığını incelemek amacıyla vaka sayılarının durağanlığı ADF birim kök testi ile test edilmiştir. Faz serilerinin durağan olması vakaların öngörülebilir olduğunu ve sağlık harcamalarının o faz için etkin olduğunu göstermektedir. Çalışma, 6 OECD ülkesinde Covid-19 pandemisi sürecinde günlük vaka sayılarına dayalı sağlık harcamalarının etkinliği üzerine bir görünüm sunmaktadır. Ayrıca, ülkeler arasında karşılaştırma yapmanın zorluklarını ve örneklemin homojenliğini ele almaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, ülkelerin pandemilere karşı etkili kısa ve uzun vadeli politikalar geliştirmesine yardımcı olmayı hedeflemektedir. Önerilen yöntem ile, sağlık harcamalarının etkinliği konusunda yeni bir bakış açısı sunulmakta ve pandemilerle mücadelede stratejik kararların geliştirilmesine katkı sağlanmaktadır. Ayrıca enerji, tarım veya turizm gibi farklı sektörlerdeki karar vericilere politika oluşturmalarında yardımcı bir yöntem olarak kullanılabilir.

Anahtar Sözcükler : Covid-19 vaka sayısı, OECD Ülkeleri; Sağlık harcama etkinliği; Dalga ve Faz bağımlılığı; Fourier Dönüşümü, Birim kök testi.

ABSTRACT

BODUROGLU, Elif. *Phase And Wave Dependent Analysis of Health Expenditure Efficiency During Pandemic: A Sample of OECD Evidence*, Ph.D., Ankara, 2023.

This study focuses on evaluating and improving the effectiveness of healthcare expenditures in the public health system during the pandemic. A novel indirect measurement method is employed to examine the effectiveness of healthcare expenditures, using daily case numbers as a proxy. The hypothesis tested suggests that healthcare expenditures are effective when daily case numbers are stationary, whereas they are ineffective when case numbers are non-stationary. The analysis of data reveals that daily case numbers exhibit nonlinear periodic behavior in each country. To forecast the long-term periodic movement, a nonlinear cumulative Fourier function (discrete cumulative Fourier function) is proposed. Previous studies have addressed the issue of overfitting under an ad-hoc assumption, while this study proposes a mathematical solution with a constraint to determine the optimal frequency (n). In the second stage, to measure effectiveness according to waves and phases, the first and second derivatives of the case numbers' trend, represented by the reproduction number (R), are used to identify inflection points indicating changes in speed, which in turn determine wave and phase intervals. In the third stage, the Augmented Dickey-Fuller (ADF) unit root test is conducted to examine the stationarity of case numbers, assessing whether each country's healthcare expenditures are effective based on waves and phases. The stationarity of phase series implies predictability of cases and effectiveness of healthcare expenditures during that phase. The study provides insights into the effectiveness of healthcare expenditures based on daily case numbers during the Covid-19 pandemic in six OECD countries. It also addresses the challenges of inter-country comparisons and sample homogeneity. The findings aim to assist countries in developing effective short and long-term policies against pandemics. Furthermore, the proposed method offers a fresh perspective on the effectiveness of healthcare expenditures and can be utilized as a helpful tool in decision-making processes across various sectors such as energy, agriculture, and tourism.

Keywords: Covid-19 cases, OECD Countries; Health expenditure efficiency; Wave and Phase dependency; Fourier Transform, Unit root testing.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI	ii
ETİK BEYAN	iii
İTHAF	iv
TEŞEKKÜR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLOLAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
GİRİŞ	1
1. BÖLÜM: SAĞLIK HARCAMALARININ ETKİNLİĞİ	4
1.1. ÜLKELERİN SAĞLIK HARCAMALARININ ETKİNLİĞİ	4
1.2. PANDEMİ DÖNEMİ ÜLKE SAĞLIK HARCAMALARININ ETKİNLİĞİ ..	5
1.3. SAĞLIK HARCAMALARININ ETKİNLİK ÖLÇÜMLERİNİN METHODOLOJİLERİ	7
2. BÖLÜM: ZAMAN SERİSİ ANALİZİ	16
2.1. DOĞRUSAL MODELLER	18
2.1.1. Durağanlık.....	22
2.1.2. Birim Kök Testi.....	23
2.1.3. Agumented Dickey Fuller (ADF) Test.....	25
2.2. YAPISAL KIRILMALAR	27
2.3. DOĞRUSAL OLMAYAN MODELLER	32
2.3.1. Zaman Serisinde Rejim Değişim Modelleri	33
2.3.2. Yumuşak Geçiş Modelleri	35
2.3.3. Fourier Dönüşüm.....	40
2.3.4. Kümülatif Fourier Dönüşümü	43
3. BÖLÜM: SALGIN DÖNEMİ MODEL ÖNERİSİ	45
3.1. HİPOTEZ VE TEORİK MODEL	48

3.2. TEORİK MODEL ÖNERİSİ:	49
4. BÖLÜM: UYGULAMA	52
4.1. VERİ SETİ VE ÖRNEKLEM	52
4.2. METODOLOJİK UYGULAMA	53
5. BÖLÜM: TARTIŞMA	69
SONUÇ	76
KAYNAKLAR	78
EK 1. ETİK KURUL MUAFİYET FORMU	86
EK 2 ORJİNALLİK RAPORU	88

TABLolar DİZİNİ

Table 1. Veri İstatistikleri.....	53
Table 2. Kumulatif Fourier Dönüşümü Kullanarak Dalga Ve Faz Tahmini.....	60
Table 3. Dalga Ve Faz Uzunlukları.....	61
Table 4. Sağlık Harcamalarının Etkinliğini Gösteren Birim Kök Testi Sonuçları.....	65
Table 5. Sağlık Harcamalarının Etkinliğinin Sonuç Tablosu.....	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. “Sağlık Harcamaları” İlgili Çalışma Konuları İlişki Ağı	8
Şekil 2. “Sağlık Harcaması” Ve “Etkinlik” İlgili Çalışma Konuları İlişki Ağı	9
Şekil 3. Zaman Serisi Tahmini Ve Bileşenleri	22
Şekil 4. Ülkelerin Günlük Vaka Sayılarının Grafikselsel Gösterimi	53
Şekil 5. N Derecelerine Göre Kümülatif Fourier Tahminleri	54
Şekil 6. N Frekans Sayısı Üzerine Farklı Değerler İle Denemeler	57
Şekil 7. Dalga Ve Faz Ayrımının Değişim Noktaları	59

GİRİŞ

Dünya genelindeki ulusal ekonomilerin enfeksiyonlu hastalıkların ortaya çıkmasını önlemek, tespit etmek ve hızlı bir şekilde yanıt vermek için kapasiteleri ve yetenekleri geliştirmeleri oldukça önemlidir. Bu nedenle küresel düzeyde ekonomik ve sosyal refahı ciddi şekilde etkileyen salgınlar sırasında sağlık sistemlerinin etkinliğini artırmak, ülkelerin yönetmek zorunda kaldığı sağlık şoklarına karşı direnci artırmaktadır (Lupu ve Tiganasu, 2022). Pandemi gibi toplumun tamamını etkileyebilecek sağlık tehditlerine etkin bir şekilde yanıt verebilen sağlık sistemleri sağlık, sosyal ve ekonomik koşullarda oluşabilecek olumsuz durumları azaltma konusunda da önemli bir avantaja sahiptir (Radenovic ve ark., 2022).

Sağlık harcamalarının etkinliği; verimlilik, yararlılık ve kalite gibi faktörleri göz önünde bulundurarak sağlık sistemi tarafından yapılan harcamaların değerlendirilmesidir. Sağlık harcamalarının etkinliğinin ölçülmesi, en yüksek hizmet kalitesinin mümkün olan en düşük maliyetle sağlanmasını hedefler (Barasa ve ark., 2020). Salgın dönemlerinde gerekli teçhizat ve hizmetleri sağlayarak salgını kontrol altına almak hastalığın yayılmasını önleyeceği için sağlık harcamalarının önemini artırır. Ayrıca, sağlık harcamaları, salgınlar tarafından neden olunan hastalıkları koruma ve tedavi etme kapasitesini artırabilir ve toplumun sağlığının korunmasını sağlayabilir (Grigoli ve Kapsoli, 2018). Salgın dönemlerinde sağlık harcamalarının etkinliği, hastalığın yayılmasını önlemede ve toplum sağlığının sürdürülmesinde önemlidir (Jin ve Qian, 2020). Bu nedenle literatürde çalışmalar sağlık harcaması etkinliğine yoğunlaşmış ve birçok farklı yöntemle çalışmalar yapılmıştır.

Bu araştırmanın literatürde bulunan çalışmalardan farkı; ülkelerin sağlık harcamalarının etkinliğinin pandemi seyri boyunca dalga ve faz bağlamında kısa dönemli yüksek frekanslı veriler ile dolaylı olarak incelenmesini sağlamaktır. Literatürde incelenen fiziki imkanlar, medikal teknoloji göstergeleri ve sağlık çalışanlarını temsil eden işgücü gibi değişkenler dönemsel olarak genellikle yıllık bazda veya bir tarih aralığında incelenmiştir. Ancak verilerin yıllık olarak inceleniyor olması pandeminin kontrol

alınması için strateji geliştirilmesine müsaade etmemektedir. Covid dönemi için yapılan yıllık olmayan çalışmalarda ise belirli bir tarih aralığı alınmış ve ülkeler arası karşılaştırmaya gidilmiştir. Bir tarih aralığında yapılan ülke karşılaştırmalarında ülkelerin dalgalara farklı zamanda yakalanmaları sebebi ile ülkeler arası eşzamanlılık sağlanamamakta olup, kısıtlı kaynakların etkin kullanımının ölçülmesi için örneklemin homojenliğinin sağlanmasını engellemektedir (Qin ve ark.,2021; Lupu ve Tiganasu, 2022; Delis ve ark., 2021; Vysochyna ve Jakubowska, 2022).

Literatürde kullanılan yöntemlerden farklı olarak, bu çalışma Covid-19 vakaları serisinin istatistiksel yapısına dayanarak sağlık harcamalarının etkinliği dolaylı olarak test etmiştir. Bu yöntemde kullanılan metodolojik prosedür, sağlık harcamalarının etkinliğini test etmek için farklı bir yaklaşım sunması nedeni ile literatüre katkıda sağlamaktadır. Ayrıca dalgalarda yapıları kullanılarak Fourier ADF testine yeni bir kısıtlama getirilmiş ve ayrık kümülatif Fourier ADF testlerine yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, Covid-19 salgını sırasında sağlık harcamalarının etkinliğini göstermektedir.

Bu çalışma, Şubat 2020'den Kasım 2021'e kadar olan pandemi sürecini kümülatif fourier fonksiyonu kullanarak günlük yeni vaka sayıları üzerinden analiz etmektedir. Çalışma, ülkenin vaka sayısının değişim hızı katsayısına (R) göre dalgalarda ve aşamalara ayırmakta ve aşamaların durağanlığını incelemek için bir birim kök testi uygulamaktadır. Böylece vaka sayılarının durağan olduğu dalgalarda ve aşamalarda sağlık harcamalarının etkinliğini göstermektedir. Sonuçlar, pandemik dalga başlangıçlarının (Faz 1) öngörülemez bir birim kök süreci olduğunu göstermektedir. Ancak birim kökün olmadığı, durağanlığın sağlanabildiği evrelerde vakalar öngörülebilir hale gelmekte, dolayısı ile pandemik süreç kontrol altına alınabilmektedir. Bu nedenle, sadece günlük vakalar kullanılarak sağlık harcamalarının etkinliği belirlenebilir.

Bu çalışmanın sonuçları, ülkelerin sağlık harcamalarının verimliliğini artırmak için yapılacak çalışmaların yönünü belirlemeye yardımcı olabilir. Önerilen yöntem, Covid-19 salgınındaki sağlık harcamalarının etkinliğini test etmenin yanı sıra gelecekteki salgın veya hastalıklar için de uygun bir yaklaşım olabilir. Ayrıca, bu yöntemin enerji, tarım veya turizm gibi diğer sektörlerdeki üretken yatırımları değerlendirmek için

kullanılabilirliği de araştırılabilir. Sonuç olarak, bu çalışma sağlık harcamalarının verimli olup olmadığını test etmek için yeni ve benzersiz bir yöntem sunmaktadır. Bu yöntem, faz ve dalga yapısını dikkate alan bir birim kök testi kullanmaktadır. Bu nedenle, günlük Covid vakalarını kullanarak sağlık harcamalarının etkinliğini dolaylı olarak ölçebildiğini göstermektedir. Çalışma, sağlık harcamalarının etkin kullanımının önemini vurgulayarak önceki çalışmalara katkıda bulunmaktadır.

1. BÖLÜM

SAĞLIK HARCAMALARININ ETKİNLİĞİ

1.1. ÜLKELERİN SAĞLIK HARCAMALARININ ETKİNLİĞİ

Sağlık harcamaları, ülkelerin halk sağlığı performansını incelemek için kullanılan en önemli göstergelerden biri olarak kabul edilmektedir. Sağlık harcamalarının incelenmesi, halk sağlığı sistemini ve politikasını geliştirmek için kullanılan önemli bir göstergedir (Jin ve Qian, 2020). Ayrıca sağlık harcamaları ülkelerin sağlık finansman sistemlerinin de yorumlanmasında önemli bir gösterge olarak kullanılır. Ülkelerin gelişmişlik düzeyini kıyaslayarak uluslararası karşılaştırmalara izin verir ve yararlanıcı nüfusa göre toplam sağlık harcamalarının anlaşılmasına katkıda bulunur (Mirzosaid, 2011). Sağlık harcamalarının etkinliği konusunda birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların çoğunlukla metodolojik olarak parametrik ve parametrik olmayan yöntemlerle ve yıllık verilere sahip değişkenler ile incelenmiştir. Sağlık harcamalarının etkinliği, sağlık sistemi tarafından yapılan harcamaların verimlilik, yararlılık ve kalite gibi faktörleri göz önünde bulundurularak değerlendirilir ve değişkenler bu amaçlara göre seçilmektedir. (Barasa ve ark., 2020).

Sağlık sistemlerine yapılan yatırımların artan verimlilik ve dayanıklılığa yol açtığı kanıtlandığından, sağlık sistemleri finansmanına büyük önem verilmelidir. Bu nedenle, ülkelerin istikrarlı kamu finansmanı ve sağlam temel kapasitelere sahip kapsamlı sağlık sistemleri oluşturmaları, gelecekteki öngörülemez salgınlara karşı daha güçlü direnç ve savunma sağlayabilir (Radenovic ve ark., 2022). Bu nedenle gelecekte, uluslararası düzeyde toparlanma ve işleyiş için sağlık sistemlerinin etkinliğinin artırılması önemli bir gereklilik olacaktır. Ancak sağlık sistemi verimliliği kavramı, uygulamada tartışmalı bir konu olup, ülkeler arasında karşılaştırmalı bir analiz yapılması oldukça zor bir durumdur. Ulusal sağlık sistemlerinin etkinliğini değerlendirmek için benzersiz karşılaştırmalı ölçütler veya göstergeler formüle etme çabaları sınırlıdır. Ayrıca, mevcut çalışmaların açık bir kavramsal çerçeve eksikliği, sınırlı veri mevcudiyeti ve güvenilir ve uygun

ampirik tekniklerin seçiminde zorluklar gibi belirgin sınırlamaları bulunmaktadır (Cylus ve ark, 2017a; Reinhardt ve ark, 2002). Ancak yapılan araştırmalar, sağlık sistemlerine yapılan yatırımların artan verimlilik ve dayanıklılığa yol ağtığını göstermektedir (Radenovic ve ark., 2022).

Bu nedenle, sağlık harcamalarının etkinliği üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Literatürde, sağlık harcamalarının etkinliği parametrik ve non-parametrik yöntemlerle incelenmiştir. Non-parametrik yöntemler arasında, Veri Zarflama Analizi (DEA), Serbest Atılabilir Zarf Modeli (Free Disposable Hull, FDH) ve Malmquist etkinlik indeksi sıkça kullanılmıştır; parametrik yöntemler ise OLS, COLS, stokastik sınır yaklaşımı (SFA), korelasyon ve regresyon analizi, tobit modeli, mekansal Durbin modeli, panel modelleri, birim kök testleri gibi ekonometrik modellerdir (Albouy ve ark., 2010; Chu ve ark., 2015; Çelik ve ark., 2022; Evans ve ark., 2001; Gupta ve Verhoeven, 2001; Lavado ve Cabanda, 2009; Lupu ve Tiganasu, 2022; Kaya Samut ve Cafri, 2016; Wang ve Tao, 2019). Kullanılan modeller ve yapılan çalışmalar pandemi döneminde çok daha yoğunlaşmıştır. Yapılan literatür çalışması sonucu edinilen çıkarım, kısa veya uzun dönem verilerle ampirik analizler yapmak için açıkça kullanılması gereken teorik veya istatistiksel kriterler üzerinde bir fikir birliği olmadığıdır (Street ve Hakkinen, 2009). Kullanılan her yöntemin kendine özgü avantajları ve dezavantajları vardır ve hangisinin en uygun olduğu ölçülen problemler ve amaçlara bağlı olarak değişebilmektedir.

1.2. PANDEMİ DÖNEMİ ÜLKE SAĞLIK HARCAMALARININ ETKİNLİĞİ

Salgın dönemlerinde salgının kontrol altına alınması ve hastalığın yayılmasının önlenmesi için gerekli araçların ve hizmetlerin sağlanması için sağlık harcamaları belirgin biçimde artmaktadır. Çünkü ülkelerin etkin sağlık harcaması yapması, salgının yol ağtığı hastalıklardan korunma ve tedavi edilme kapasitesini artırabilmekte ve toplumun sağlıklı bir şekilde süreci geçirmesine olanak tanıyabilmektedir (Grigoli ve Kapsoli, 2018). Bu nedenlerle salgın dönemlerinde sağlık harcamalarının etkinliği, pandemileri önleme, tespit etme ve hızlı müdahale etme yeteneklerini güçlendirmek ve toplumun sağlıklı bir şekilde korunması açısından oldukça önemlidir (Jin ve Qian, 2020).

Dünya Sağlık Örgütü'nün (2021) verilerine göre, son yirmi yılda (2000-2019), toplam sağlık harcamaları dünya GSYİH'sının %8,5'inden %9,8'ine yükselmiştir (WHO,2021). Bu, mutlak bazda 4,3 trilyon ABD doları ve nispi olarak %102,4 büyüme anlamına gelmektedir (Vysochyna ve Jakubowska, 2022). Pandemi döneminde ise dünya genelinde 766 milyondan fazla COVID-19 vakası ve yaklaşık 7 milyon ölüm rapor edilmiştir (Worldometer, 2022). Bu durum, yıllık beklenen hasta sayısı üzerine fazladan bakım vermeleri gereken hasta sayısındaki artışın sağlık harcamalarına getirdiği yükü göstermektedir. Sağlık sistemlerine yapılan yatırımların, verimliliği artırdığı kanıtlandığından ve pandemi dönemlerinde dayanıklılığın daha kritik hale gelmesinden dolayı, sağlık sistemleri finansmanı büyük önem taşımaktadır (Radenovic ve ark., 2022). Bu amaçla, ülkelerin pandemiye etkili bir şekilde yanıt vermek için uygun maliyetli yanıtları belirlemesi ve adil erişim, verimlilik, kalite ve finansal risk koruması dahil olmak üzere sağlık sistemi hedeflerini geliştirmek için bu müdahaleleri uygulamak üzere kaynakları planlaması ve seferber etmesi gerekmektedir. Bu hedeflere etkili bir şekilde ulaşmak için, ülkelerin müdahalelerinin birim maliyetleri hakkında bilgiye ihtiyaç duymaktadır. Bu bilgi ülkeler tarafından ikincil veri olarak sağlanamasa da, literatürde farklı yöntemlerle birim bazda ölçülmesi için COVID-19 için pozitif test sonuçları olan hastalardan elde edilebileceğine dair çalışmalar yapılmıştır (Barasa ve ark., 2020, Mulligan, 2021). Bu çalışmalar, vaka sayıları ülkelerin sağlık harcamalarına ek birim maliyet olarak yansıdığını göstermektedir.

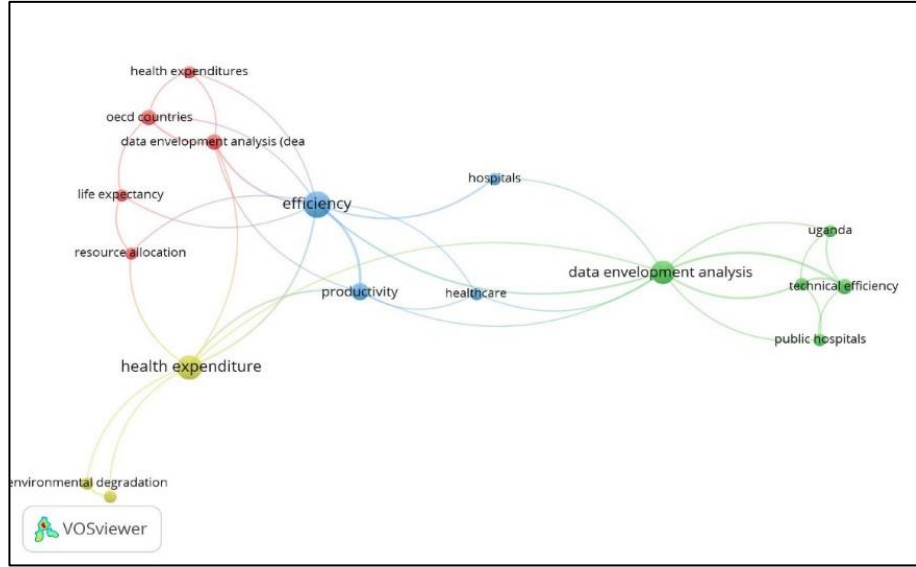
Bu nedenle, kaynakların etkin kullanımını sağlamak ve maliyetleri azaltmak için alınan stratejik kararların amacı vaka sayılarını yönetmektir. Bunun için vaka sayılarının seyri eğrisinin düzleştirilmesi amaçlanmaktadır. Başka bir deyişle, üstel büyümelerini durdurmak ve tıbbi hizmetler üzerindeki baskıyı azaltmak için günlük yeni COVID-19 vakalarının sayısını azaltılması amaçlanır (John Hopkins University, 2020). Bu nedenle, pandemi vaka sayılarına yönelik çalışmalar Duyarlı-Enfekte-İyileşen (SIR) modeline dayanmaktadır. Salgının seyri vaka sayıları aracılığıyla simüle ve analiz edilir. Örneğin Acemoglu ve arkadaşları (2020), Qin ve arkadaşları (2021) Lupu ve Tiganasu (2022) Delis ve arkadaşları (2023), Vysochyna ve Jakubowsk (2022) yaptıkları çalışmada COVID-19 salgını, dünya genelindeki sağlık sistemlerinin etkinliğindeki farklılıkları gözler önüne sermiştir. Bu salgın, ulusal ekonomileri koruma, bulaşıcı hastalıkları tespit

etme, önleme ve hızlı bir şekilde yanıt verme yeteneklerini analiz etme konusunda zorluklar yaratmıştır. Sağlık tehditlerine etkili bir şekilde yanıt verebilen sağlık sistemleri, olumsuz sağlık, sosyal ve ekonomik sonuçları en aza indirmede önemli bir avantaja sahiptir.

Bu çalışmada her ne kadar pandemi ile Covid-19 dönemi ima edilse de son 20 yılda; 2002 yılında başlayan Şiddetli Akut Solunum Sendromu (SARS), 2009'da Domuz Gribi Salgını (H1N1), 2011'de Almanya'da Escherichia Coli salgını, 2014'te Ebola virüsü hastalığı, 2016'da Zika virüsü gibi yeni bulaşıcı hastalıkların ortaya çıkması, herhangi bir zamanda ve herhangi bir yerde küresel tehditlerin olabileceğini göstermiştir. Covid-19 ise küresel anlamda etkili olması sebebi ile endişeyi ve merakı çok daha üst noktalara taşımıştır (Radenovic ve ark., 2022). Bu nedenle, sağlık sistemi verimliliği ve sağlık güvenliği alanındaki teorik ve ampirik çalışmalar, dünya genelinde halk sağlığına yönelik küresel zorluklarla karşı karşıya olduğumuz bir dönemde araştırmacıların büyük ilgisini çekmektedir. Takip eden bölümde sağlık harcamalarının etkinliği için literatürde kullanılan yöntemler ve sonuçları sınıflandırılarak verilmiştir.

1.3.SAĞLIK HARCAMALARININ ETKİNLİK ÖLÇÜMLERİNİN METHODOLOJİLERİ

Sağlık harcamalarına ilişkin yapılan çalışmalara ulaşmak için Web of Science index üzerinden “health expenditure” (sağlık harcaması) anahtar kelimesi ile yapılan aramada 4055 çalışmaya ulaşılmıştır (Şekil 1). Aramayı “public health expenditure” (halk sağlığı harcamaları) olarak daralttığımızda ise 361 çalışmaya ulaşılmıştır. “Health expenditure and efficiency” (sağlık harcaması ve etkinlik) anahtar sözcüğü ile “tüm alanlar” seçilerek yapılan araştırmada 303 sonuca ulaşılmıştır (Şekil 1). Yıllara göre en eski 1994 ve en yeni 2023 olmak üzere farklı disiplinlerden/alanlardan 270 makaleden ekonomi alanında 89 makale, sağlık politikaları alanında 70 makale, tıbbi bakım alanında 51, medikal etik alanında 7, yönetim hakkında 7 makale bulunmaktadır. Geriye kalan 40 makale tıbbi araştırma makalesidir. Yine bu anahtar kelimeler için alt başlığını incelediğimizde makalelerin 77’si veri zarflama analizi, 7’si kişisel sağlık, geriye kalan konular ise sınırlı



Şekil 2. “Sağlık harcaması” ve “etkinlik” ilgili çalışma konuları ilişki ağı

Vysochyna ve Jakubowsk (2022), sağlık harcamalarının pandemik kontrolün sağlanması üzerindeki etkisini incelediği bibliometric çalışmada "sağlık bakım maliyeti", "koronavirüs enfeksiyonu", "COVID-19" ve "ekonomi" gibi anahtar kelimeler kullanılmıştır. Çalışma, Scopus veri tabanında bulunan 262 yayın arasında gerçekleştirilmiş olup, panel veri regresyon modellemesi kullanılarak derinlemesine analiz yapılmıştır. Çalışmanın sonuçları, kamu, özel ve dış sağlık harcamalarının ölüm sayısını azaltmadaki olumlu etkisini ve artan sağlık harcamalarının yaşam beklentisi üzerindeki olumlu etkisini ortaya koymaktadır. Ayrıca, ülkelerin sağlık harcamaları ile Covid-19 ölüm sayıları arasındaki ilişkiyi araştıran bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda, sermaye harcamalarının GSYH içindeki sağlık hizmetleri üzerindeki payının artmasının, ölüm oranı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır. Yine Upadhyay (2021) tarafından yapılan çalışmada, daha iyi bir sağlık sisteminin enfeksiyonlardan kaynaklanan ölüm oranlarını azaltma potansiyeline sahip olduğu iddiası incelenmiştir. Literatür taraması yaparken hem kullanılan değişkenlerin hem de kullanılan yöntemlerin incelendiği çalışmaların sonuçları benzer olup daha yüksek sağlık hizmeti kapasitesinin daha az vaka-ölümle ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu çalışmaların sonuçlarının aksine Elola-Somoza ve arkadaşları (2021) tarafından yapılan çalışmada, Kişi başına düşen kamu sağlık harcaması grupları arasında COVID-19'a bağlı ölüm oranı karşılaştırıldığında anlamlı bir fark bulunamamıştır.

"düşük" kamu sağlık harcamaları ile İspanya'da COVID-19 salgını sırasında gözlemlenen kötü sonuçlar arasındaki ilişkiyi desteklemediği sonucun varılmıştır. Ancak daha sonra Elola-Somoza ve arkadaşları 2022 yılında yayınladıkları düzeltmede Khan ve arkadaşlarının (2020) yaptıkları çalışmaya göre modelin düzeltilerek geliştirilmesi durumunda sonuçların değişebileceğini açıklamıştır (Somoza ve ark., 2022). Meta analiz yöntemi ile Vysochyna ve Jakubowsk (2022) 'ın 262 makaleyi incelemesini de içeren oldukça kapsamlı incelemeler içeren literatüre dair sonuçlar, önerdiğimiz modeli destekler nitelikte sağlık harcamaları ile vaka sayılarının ters ilişkili olduğunu göstermektedir.

Literatürde incelenen sağlık sisteminin etkinliğini ölçen yöntemlerde kullanılan değişkenler genellikle yıllık periyotlarla incelenmektedir. Yıllık verilerin kullanılması, pandemiyle mücadelede hızlı kararların alınmasını zorlaştıran bir durumdur. Bu tür veriler, olayların hızlı bir şekilde izlenmesini ve buna göre stratejilerin geliştirilmesini engelleyebilir. Covid dönemi için yapılan yıllık olmayan çalışmalarda ülkeler arasında karşılaştırma belirli bir tarih aralığı belirlenerek yapılmıştır. Tarih aralığında yapılan ülke karşılaştırmalarında (Qin ve ark., 2021; Lupu ve Tiganasu, 2022, Delis ve ark., 2023; Vysochyna ve Jakubowsk, 2022) ülkeler farklı zamanlarda dalgalara yakalandığı için eşzamanlılık sağlanamamakta ve pandemi dönemlerinde sınırlı kaynakların etkin kullanımının ölçülmesi için homojen şartlar oluşmamaktadır. Bu çalışmalarda uygulanan metodolojik yaklaşım olan mutlak eşzamanlılık karşılaştırma için gerekli olan şartların benzerliğini bozmaktadır. Bu amaçla incelenen çalışmalardan bir diğeri olan Lupu ve Tiganasu çalışmasında pandemi dönemini aşamalara bölerek incelemiştir. Birinci aşama (1 Ocak-15 Haziran), gevşeme dönemi (15 Haziran-1 Ekim) ve ikinci aşama (1 Ekim-31 Aralık) olmak üzere üç aşamaya ayırmıştır. Çalışmada her aşamanın sağlık sistemlerinin etkinliğin belirleyicilerinin farklı olduğu sonucuna varılmıştır (Lupu ve Tiganasu, 2022). Shi ve arkadaşları (2022) ise yaptıkları çalışmada pandemi dönemini mekansal ve zamansal bakımdan incelemiştir. Çin Devleti'nin bölgeleri arasında mekansal farklılığı inceleyen çalışma iyileşme sayılarının ve pandemi bulaşma seyrinin farklı bölgelerde farklı zamanlarda farklı hızlarda hareket ettiği sonucuna varmıştır. Vasconcelos ve arkadaşları (2023), dalgaların ortaya çıkışını nicel ve güvenilir bir şekilde tanımlamanın, kontrol önlemlerinin (ve gevşemelerinin) etkilerini tahmin etmede

yardımcı olabileceği düşüncesi ile salgın evrimini anlamak için zamana bağlı parametrelerle genelleştirilmiş bir yol modeli kullanarak, birden fazla dalga içeren salgın eğrilerini tanımlama ve bitiş-tepe noktalarını belirlemek için bir çalışma yapmıştır. Hastalığın gelecekte nasıl gelişeceğini tahmin etmek, sağlık hizmetlerinin gereksinimlerini öngörebilmek ve bu sayede kaynakların dengeli bir şekilde dağıtılmasını sağlayabilmek açısından çok önemlidir. COVID-19'un farklı ülkelerde farklı şekillerde yayılması göz önüne alındığında, herhangi bir müdahale planının uyarlanabilir ve duruma özgü olması gerekmektedir. Bu nedenle Chatterjee ve arkadaşları (2020), Hindistan'daki COVID-19 salgınının erken bir stokastik matematiksel modelini oluşturarak farmakolojik olmayan müdahalelerin salgını kontrol etme üzerindeki etkisini incelemek için SEIR modeli kullanarak; yayılmanın büyüklüğünü, sağlık hizmetleri kaynakları üzerindeki etkisi ve önlemlerinin salgın üzerindeki etkisini incelediği çalışmada çeşitli ülkelerdeki salgının yayılımını karşılaştırmak için başlangıç noktalarını birleştirmişlerdir. İncelenen çalışmalar aynı zaman diliminde farklı durumlarda olan süreçlerin birbirlerinden farklı özellikler sergilediklerini göstermektedir. Bu nedenle farklı aşamalarda bulunan verilerin birbirleri ile karşılaştırmanın sonuçların yanıltıcı olmasına sebebiyet verebileceği söylenebilir.

Sağlık harcamalarının etkinliğine yönelik araştırmaların bir başka boyutu da değişken seçimidir. Sağlık harcamaları, yoğun bakım yatak sayısı, tıbbi cihaz çeşitliliği, yataklı hastane sayısı, test sayısı, kronik hastalık sayısı, hasta yatağı sayısı, hasta başına düşen doktor sayısı gibi fiziki değişkenler ile tıbbi teknoloji göstergeleri ve sağlık istihdamının etkinliği araştırılırken; insani gelişme endeksi değişkenleri (yaşam süresi beklentisi, bebek ölümleri, enfeksiyon ölümleri, 65 yaş üstü nüfus sayısı vb., sivil toplum endeksi, tüketim harcamalarının GSYİH içindeki payı, ve GSYİH, kişi başına düşen sağlık harcaması vb.) ekonomik göstergeler olarak kullanılmıştır (Afonso ve St. Aubyn, 2004; Chen ve ark., Hassaan ve ark.,2021; del-Granado ve ark., 2018; Gupta ve Verhoeven, 200; Shi vd,2022; Somoza ve ark.,2022; Lupu ve Tiganasu,2022; Vysochyna ve Jakubowsk, 2022). Bu değişkenlerden ekonomik göstergeler ve vaka-ölüm sayısı çıktı değişkeni olarak kullanılırken; diğer değişkenler genellikle girdi değişkeni olarak kullanılmıştır. Bu çalışmalar literatürde kullanılan değişkenlerin yıllık verilerle temsil edildiğini göstermektedir.

Bu araştırma, vaka yönetimini temsil eden vaka sayısının değişim hızı katsayısına dayanmaktadır. Çünkü bulaşma, virüsün kontaminasyonuna göre yayılmaktadır ve iyileşme şansı, hastanın risk faktörlerine (yaş, obezite, kronik rahatsızlık, vb.) ve özellikli sağlık ekipmanına ve yüksek düzeyde kalifiye tıbbi personel istihdamına bağlıdır. (Blondel ve Vranceanu, 2020). Bu nedenle çalışmada dolaylı kriter olarak ölüm sayısı veya toplam vaka sayısı yerine günlük yeni vaka sayısı kullanılmıştır.

Bu araştırma hem metodolojik olarak hem de kullanılan değişken ve veri türü olarak literatürde mevcut olan çalışmalardan farklıdır. İlgili literatürde de ulusal sağlık sistemlerinin etkinliğini değerlendirmek için kullanılacak dolaylı ölçümleri (göstergeleri) formüle etmeye yönelik çok az girişim vardır (Cylus ve ark, 2017a; Reinhardt ve ark, 2002). Bunlardan ikisi pandemi dönemini deneysel bir zaman dilimi olarak gören Mulligan (2021) ve Barasa (2020)'nın hasta sayısının birim maliyeti üzerinden sağlık harcamaları etkinliğine yönelik çalışmalarıdır. Mulligan tarafından yapılan bir çalışmada, bir kuruluşun normal faaliyetlerinin maliyetlerine bir bulaşıcı hastalığın varlığıyla birlikte enfeksiyon ve önleme maliyetlerinin eklendiği belirtilmektedir. Bu çalışmada, enfeksiyon maliyetlerinin, hasta olmuş insan sayısıyla orantılı olduğu varsayılmaktadır. Barasa ve arkadaşlarının (2020) yaptığı çalışmada ise, Kenya'da COVID-19 hastalarının sağlık durumlarının hafif, orta, şiddetli ve kritik durumlarının farklı maliyetlerde olacağını dikkate alarak COVID-19 vaka yönetiminin birim maliyetlerini tahmin etmiştir. Çalışmada, COVID-19 hastalarının günlük birim maliyetlerini tahmin ederek sağlık harcamaları için farklı yöntemler kullanılmıştır.

Sağlık harcamalarının etkinliğinin ölçümünde diğer bir boyut yöntemidir. Matematiksel modeller, bulaşıcı hastalıkların yayılmasını ve kontrolünü analiz etmede en önemli araçtır. Literatürde çok çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Sağlık harcamalarının etkinliği üzerine yapılan literatür çalışmasında kullanılan parametrik yöntemlerden bazıları; OLS, COLS, stokastik sınır analizi (SFA), hibrit meta-frontier modeli, korelasyon ve Regresyon Analizi, negative binominal regresyon yöntemi, Coğrafi Ağırlıklı Regresyon (GWR); Tobit modeli, Pearson korelasyon katsayısı, iki kuyruklu P testi, Spearman sıra korelasyonu ve Yapay Sinir Ağı (YSA) küresel genelleştirilmiş yönlü mesafe fonksiyonu, mekansal Durbin modeli, tek yönlü varyans analizi, birim kök testleri iken

parametrik olmayan yöntemler sıklıkla DEA, iki aşamalı ağ veri zarflama analizi, free disposal hull (FDH) tekniği, Malmquist üretim endeksi olarak sıralanabilir (Chu ve ark., 2015; Çelik ve ark., 2022; Evans ve ark., 2000; Lavado ve Cabanda, 2009; Singh ve ark., 2023; Gupta ve Verhoeven, 2001; Shi, 2022; Jakovljevic ve ark., 2015; Lavado ve Cabana, 2009; Lupu ve Tiganasu, 2022; Hassaan ve ark., 2021; Khan ve ark., 2020; Kaya Samut ve Cafri, 2016; Elola-Somoza ve ark., 2022; Upadhyay, 2021; Wang ve Tao, 2019; 2015; Soofi ve ark., 2021). Parametrik ve parametrik olmayan yöntemlerle yapılan çalışmalar, bilim camiasında sağlık harcamasının etkinliğini ölçmeye yönelik kısa veya uzun dönemli verilerle ampirik analizleri yürütmek için spesifik olarak kullanılması gereken teorik veya istatistiksel kriterler konusunda bir fikir birliği oluşmadığını göstermektedir (Street ve Hakkinen, 2009). Bu nedenle çalışmanın yönteminde kullanılan doğrusal olmayan yöntemler ve alt başlık olarak Fourier dönüşümü ile sağlık harcamalarının etkinliğinin çalışıldığı çalışmaların taranması amacı için pandemi ve Fourier ortak anahtar kelimeleri ile yapılan aramada on adet makale tespit edilmiştir. Fourier dönüşümü ve doğrusal olmayan modeller ile incelenen çalışmalar aşağıda kısaca incelenmiştir.

San ve Wang (2019) yaptıkları R vaka sayısının değişim hızı katsayısını ayrıntılı olarak ölçmek amacı ile fourier fonksiyonunu kullanmıştır. Çalışmada bir enfeksiyonun bölge boyunca nasıl yayıldığını ve her farklı bölgelerdeki popülasyonlar arasındaki etkileşimlerin yayılma hızını nasıl etkilediğini göstermektedir. Bulgular, enfeksiyonun her grup için farklı hızlarda yayıldığını göstermektedir. Ayrıca, modeldeki gecikme faktörünün, enfeksiyonun yayılma hızını azaltarak farklı zamanlarda dalgalanmalara neden olduğu görülmüştür. Burada fourier serisi kullanılarak, modeldeki değişkenlerin genlik ve faz değişimleri belirlenmiştir. Bu çalışma, Fourier analizi kullanarak alt popülasyonlar arasında enfeksiyon yayılmasının modellenmesi için yeni bir yöntem sunmakta ve enfeksiyonun çevrelerde nasıl yayılabileceğine dair anlayışımızı arttırmaktadır. Kerr ve arkadaşları (2022), Laplace dönüşümü çözümünün hata oranını önemli ölçüde azaltan ve değiştiren yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yeni yaklaşım, saf Laplace dönüşümü çözümünün yakınsama oranını iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Sonsuz harmonik olmayan Fourier serileri ve Laplace dönüşümü temel alınarak Laplace-Fourier yöntemi adı altında yeni bir yakınsama yöntemi önerilmiştir. Dong ve arkadaşları

(2022), Tokyo'da yayılan COVID-19'un doğrusal olmayan frekans analizi adlı çalışmalarında, vakaların doğrusal olmayan dalga izleri kullanılarak halk sağlığı ve sosyal önlemlerle COVID-19 yayılmasının durdurulmasının nicel olarak değerlendirilebileceği ve görselleştirilebileceği bir yöntem olan ampirik mod ayrışımını kullanmışlardır. Fourier ve EMD yöntemini kullanarak günlük enfeksiyonları anlık frekans alanında ayrıştırma, COVID-19 yayılmasını durdurmak için halk sağlığını ve sosyal önlemleri geliştirmek adına bir araç olarak önerilmiştir.

Yukarıda belirtilen çalışmalara dayanarak, çalışmadaki ampirik bulguların, çalışmaya konu olan OECD ülkelerindeki politika yapıcılar için sağlık sistemlerinin etkinliğini ve yanıt verebilirliğini artırmayı amaçlayan strateji, önlem ve faaliyetler tanımlamada değerli olabileceği açıktır (Radenovic ve ark., 2022). Dahası, politika yapıcılar ve yöneticiler için sağlık sistemi girdilerinin yani kaynaklarının etkili kullanımı özellikle kriz zamanlarında çok daha önemli hale gelmektedir (Cylus ve ark, 2017b). Bu nedenle bu çalışma OECD ülkeleri için COVID-19 dönemi boyunca sağlık harcamalarının verimliliğine odaklanmıştır.

Bu çalışma literatürde incelenen çalışmalardan farklı olarak, pandemi dönemi boyunca kısa vadeli yüksek frekanslı verilerle ülkelerin sağlık harcamalarının etkinliğini dalga ve faz bağımlılığı bağlamında dolaylı olarak incelemektedir. Bu amaçla önerilen yeni metodolojide; öncelikle her ülke için günlük yeni vaka sayıları kümülatif fourier fonksiyon ile dalga ve fazlara bölünmektedir. Böylece R ile temsil edilen vaka sayısının yayılma katsayısının (pandeminin yayılma hızı) doğrusallaşması hedeflenmektedir. Vaka sayısının yayılma katsayısının doğrusallaşması günlük vaka sayısının parametrik olarak tahmin edilebilmesini sağlamaktadır. Bu durum aynı zamanda pandeminin kontrol altına alınabildiğini, politika yapıcılar için öngörülebilir kararlar alınabilmesini sağlamayı amaçlamaktadır. Çelik ve arkadaşlarının (2022) yaptığı çalışmada politika yapıcılar tarafından alınacak politika önlemlerinin, sağlık harcaması verilerindeki potansiyel doğrusal olmama durumları göz ardı edilerek yapılamayacağını doğrulamıştır. Pandeminin yayılma hızına göre bölümlenen fazlar kümülatif birim kök testi uygulanmış ve birim kök çıkmayan fazlar için vaka sayılarının öngörülebildiği, bu nedenle sağlık harcamalarının etkin olarak yapıldığı sonucuna varılabilir. Birim kök çıkan fazlar için

vaka sayısının yayılma katsayısının doğrusallaşmadığı yani pandeminin kontrol altına alınamadığı bu nedenle sağlık harcamalarının etkin olamayacağı biçiminde yorumlanmıştır.

Yapılan çalışmalarda, uygulanan metodolojiler homojen veri setlerine duyarlı olmaları sebebi ile genellikle benzer ülke özelliklerine sahip ülkeler kıyaslanmıştır. Gelişmiş ekonomiler, sağlık sistemi performansı, sosyoekonomik koşullar ve yönetim kalitesi açısından gelişmekte olan ekonomilerden çok farklıdır. Daha yüksek kamu sağlık harcamaları genellikle daha iyi sağlık çıktıları ve sonuçları ile ilişkilidir. Bununla birlikte, ekonomiler arasında, hatta yükselen ve gelişmekte olan ekonomiler grubu içinde bile önemli farklılıklar bulunmaktadır (Grigoli ve Kapsoli, 2018). Bu nedenle çalışmada gelişmiş ülkeler alınarak homojen bir örneklem oluşturulması hedeflenmiştir. Örneklem için çalışmaya OECD’de bulunan, gelişmiş ekonomiye sahip, insani gelişmişlik endeksinde (2020) yer alan ve yüksek nüfuslu Avustralya (AUS), Kanada (CAN), Almanya (DEU), Fransa (FRA), Amerika Birleşik Devletleri (USA) ülkeleri ve gelişmekte olan ülkelere Türkiye (TUR) seçilmiştir.

2. BÖLÜM

ZAMAN SERİSİ ANALİZİ

Zaman serisi bir değişkenin belirlenen zaman aralıkları boyunca gözlenen değerlerini ifade eder. Bu veriler günlük, haftalık, aylık, yıllık veya belirlenmiş bir kurala göre olabilir. Y_t ile gösterilen zaman serisinde t indisi genellikle zamanı ifade eder. Ancak, seri ile gösterim sayesinde bir saat veya takvim tarafından ölçülen zaman aralığının türünü birim ile belirtmeye gerek yoktur (Gujarati, 2001).

Zaman serileri analizinin ilk kullanımı öncelikle tahmin yapmaya yardımcı olmak için yapılmıştır. Uygun tahmin edilen denklemler, verilerin yorumlanması ve hipotez testi için kullanılmıştır. Bazı ekonomik modeller, ileriye dönük çözümlere izin vermektedir, bu durumda beklenen gelecekteki olayların mevcut dönem için sonuçları vardır. Zaman serisi analizi için geliştirilen ilk modeller serinin durağan olduğu varsayımı altında geliştirilmiştir (Enders, 2015). İlerleyen çalışmalarla birlikte bu durum daima test edilmesi gereken bir özellik olarak belirlenmiştir. Serinin durağan olup olmaması kullanılacak yöntemin de belirlenmesinde temel etkidir (Gujarati, 2001). Zaman serisinin analiz edilebilmesi için seçilen istatistiksel modelin başarısı serinin hareketini belirleyen verinin istatistiksel özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle çözümlenmelerde karşılaşılan verilerin niteliklerini, kaynaklarını ve sınırlarını tartışmak önemlidir. Modern zaman serileri analizi yapılabilmesi için geliştirilen yöntemlerin amacı, verilerle ilgili tahmin yapabilen, yorumlayabilen ve hipotez testleri yapabilen oldukça basit modeller geliştirmektir.

Zaman serisi verilerini çözümlerken verinin görsel sunumu zaman serisi çözümlemesinin ilk adımı olarak önerilmektedir (Gujarati, 2014). Görsel incelemenin yapılması ve değişimlerini analiz etmek verinin davranışının anlaşılması ve durağanlık hakkında fikir edinilebilmesi için önerilir. Serinin analiz edilmesi için ikinci matematiksel adım verinin istatistiksel olarak incelenmesidir. Bu durum durağanlık başlığı altında ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

İstatistik özellikleri belirlenen veri için üçüncü adım olarak zaman serisinde bileşenleri tanımlamak için matematiksel model kurulur. Bu model bileşenlerden bağımsız olarak değişken ve katsayı özelliklerine göre doğrusal veya doğrusal olmayan modeller olarak ayrılır. Bir zaman serisinde, dört farklı bileşen bulunmaktadır. Bunlar; trend, mevsimsellik, düzensiz bileşen ve hata terimidir. Trend veya mevsimsel etkiler, serinin düzensiz bileşen ve hata terimi olarak adlandırılan stokastik kısmından arındırılabilir. Bu arındırma işlemine "detrending" veya "trendden arındırma" denir. Ancak, trend her zaman doğrusal olmayabilir. Zaman serisinin trend hareketinden ayrıştırılması, doğrusal ve doğrusal olmayan modeller başlıkları altında ayrıntılı olarak incelenecektir.

Durağan bir zaman serisine yapılan şoklar mutlaka geçicidir; zamanla, şokların etkileri dağılacak ve seri uzun vadeli ortalama seviyesine geri dönecektir. Ancak bir zaman serisi, stokastik bir eğilim içeriyorsa, uzun vadede bir seviyeye geri dönmez. Bu eğilimden kurtulmanın iki yolu vardır. Eğer deterministik bir trend var ise trendi ortadan kaldırarak (detrend) durağan bir seriye dönüştürmek ya da birim kökü olan stokastik seriyi entegrasyon derecesi kadar farkı alınarak durağan hale getirmektir. Bu yöntemlerin hangisinin kullanılacağı eğilimin yapısına bağlıdır. Eğilim, bir seri içinde stokastik ve deterministik bileşenlerden oluşabilir. Eğer seri Stokastik bir eğilim içeriyorsa ortadan kaldırmak için fark almak yeterliyken, deterministik bir eğilimi seriden temizlemek için detrend etmek gereklidir (Enders, 2015). Kısa vadeli tahminlerde trend şekli önemsizdir ve fark alma, otoregresif ve hareketli ortalama katsayılarının desenini ortaya çıkarabilir. Ancak, tahmin süresi uzadıkça, trendin kesin formu giderek daha önemli hale gelir. Trendin varlığı, serinin uzun vadeli ortalamaya geri dönüşünün olmadığı anlamına gelir.

Eğer $\{y_t\}$ serisindeki eğilimin tamamen deterministik olduğu biliniyorsa, ayrıştırma işlemi basit hale gelir. Örneğin, doğrusal bir zaman eğilimi, her periyotta sabit bir değişikliğe neden olur ve bu eğilim deterministiktir. Bu durumda durağan bileşen elde etmek için eğilim $\{y_t\}$ serisinden ayrıştırılabilir. Ancak eğilim stokastikse, bu kavramsal olarak daha zor bir sorun ortaya çıkarır. Serilerin özellikleri doğrusal ve doğrusal olmayan model başlıkları altında incelenecektir.

2.1. DOĞRUSAL MODELLER

Bir modelin doğrusal olması için hem katsayıların hem de değişkenlerin doğrusal olması gerekir. Değişkenlerde doğrusal olmayıp katsayılarında doğrusal olan modeller yine doğrusal modeldir. Ancak değişkenlerin doğrusal olup olmadığına bakılmaksızın katsayıların doğrusal olmaması durumunda model doğrusal olmayan model olarak ifade edilir. Ancak bazı modellerde katsayılar doğrusal olmasa da uygun dönüşümler ile doğrusal hale getirilen katsayılar ile model doğrusal modele çevrilebilir. Ancak bazı katsayılar doğrusal hale getirilemez. Bunlar özden doğrusal olmayan modeller olarak adlandırılır (Gujarati ve Porter, 2012). Doğrusal modeller; serisinin değerlerinin doğrusal olarak değiştiği doğrusal trend modeli, serideki gözlemlerin geçmiş gözlemlere bağlı olduğunu varsayan Otoresif (AR) Modeli, serideki gözlemlerin geçmiş rasgele hatalara bağlı olduğunu varsayan Hareketli Ortalama (MA) Modeli, serideki gözlemlerin hem geçmiş gözlemlere hem de geçmiş rasgele hatalara bağlı olduğunu varsayan Otoresif Hareketli Ortalama (ARMA) Modeli ve ARMA modeline ek olarak ARIMA modelidir. Fark denlemlerine hata terimi eklenerek stokastik fark denklemleri elde edilmekte ve bu denklemlerin tahmin sorunları zaman serisi analizinin konusu olarak değerlendirilmektedir.

Burada regresyon modeli otoresif (AR) modeli üzerinden anlatılmaktadır. Otoresif (AR) model, bir zaman serisindeki gözlemlerin geçmiş gözlemlerine bağlı olduğunu varsayan istatistiksel bir modeldir. AR(p) modeli, p adet önceki gözlemin mevcut gözlem üzerindeki etkisini açıklar. AR modeli, zaman serisini mevcut değerlerini geçmiş değerlerin bir kombinasyonu olarak tahmin etmek için kullanır. Bu model;

$$Y_{t+1} = \alpha_0 + \alpha_1 Y_t \quad 0 < \alpha_1 < 1 \quad (2.1)$$

Denklemini (2.1) ile ifade edilen deterministik denklemdir. Aynı zamanda standart birinci dereceden otoresif AR(1) modelidir. Burada Y_{t+1} açıklanan değişken, Y_t açıklayıcı değişken, α_0 sabit terim ve α_1 eğim katsayısı olarak temsil edilir. α_1 katsayısının 1'den küçük olması, serinin yakınsak olduğunu gösterir. Bu durumda seri birinci dereceden

entegre veya durağan olarak nitelendirilebilir. Bu model deterministik olup değişkenler arasında kesin ilişkiyi ifade eder. Ancak değişkenler arasında kesin olmayan ilişkileri modele dahil edebilmek için hata terimi veya stokastiklik (rastgelelik) eklenir. Bunun için;

$$Y_{t+1} = \alpha_0 + \alpha_1 Y_t + \varepsilon \quad (2.2)$$

denklemini kullanılır. Hata terimi ya da bozucu terim olarak kullanılan ε , iyi tanımlanmış olasılık özellikleri olan rastgele bir değişkendir. Bu eşitlik aynı zamanda bir doğrusal regresyon modelidir. İngilizcede “regress” kelimesi yaklaşmak, yakınsamak anlamında kullanılır. Yakınsama burada ortalamaya doğru çekilme anlamındadır. Zaman serisi rastgele ya da olasılıklı bir süreçten türediği için regresyon çözümlemesinde fonksiyonel ya da kesin ilişkilere yerine genellikle rastgele ya da olasılıklı (stokastik) değişkenler kullanılır yani hata içerir (Gujarati, 2001).

Y değişkeninin, herhangi bir gerçek r sayısı için, y 'nin r 'den küçük veya r 'ye eşit bir değer alacağı bir olasılık $P(y \leq r)$ varsa, **rastgele** bir değişken yani stokastik olduğu söylenir. Serinin deterministik veya rastgele olduğunu öngörmek için; $0 < P(y = r) < 1$ olan en az bir r değeri olduğu ima edilir. Eğer $P(y = r) = 1$ olan bir r varsa, y rastgele değil deterministiktir. Serinin veri karakterinin incelenmesi için rastgele yürüyüş hipotezi üretilmiştir. Rastgele yürüyüş hipotezini açıklamak için finans teorisinden etkin piyasa hipotezi örneği verilmiştir.

Rastgele yürüyüş hipotezi modeli bir hisse senedinin günlük fiyat değişikliklerinin sıfır ortalama değerine sahip olması gerektiği görüşünü savunmaktadır. Bu varsayım etkin piyasa hipotezinde de yer bulmaktadır. Bir hisse senedini bir gün alıp beklenen kar için hemen bir sonraki gün satmanın bir sermaye kazancı elde edilebileceği biliniyorsa, bu spekülasyon fiyatı yükseltecektir. Benzer şekilde, bir hisse senedinin değer kaybedeceği beklentisi varsa, kimse onu elinde tutmak istemeyecektir. Bu durum piyasanın öngörülebilir olmasına neden olur. Ön savı hisse senedi fiyatları öngörülemez yani rastgeledir. Yani t anındaki fiyata bakarak $t+1$ anındaki fiyatı öngörülemez. Y 'nin

ortalaması sabittir ancak t artarken varyansı sınırsız artar. Bu durum durağanlık koşulunu bozmaktadır. Yani bir hisse senedinin fiyatındaki bir günden diğerine değişimin tamamen rastgele olduğunu anlatmaktadır. Bu nedenle, mevcut fiyat (y_t) geçen dönemin fiyatı ve beyaz gürültü teriminin toplamına eşit olmalıdır.

Tahmin yapmak için seçilen model verilere iyi uyuyorsa, tahminler tarafsızdır. Bu durumda bu tahmin hatalarının toplamı sıfırdan “çok uzak” olmamalıdır. Brown, Durbin ve Evans (1975), tahmin hatalarının kümülatif toplamının istatistiksel olarak sıfırdan farklı olup olmadığını hesaplar. Matematiksel olarak; hisse senedinin fiyatının stokastik fark denkleminde göre gelişmesi gerektiğini iddia eden denklem;

$$y_{t+1} = y_t + \varepsilon_{t+1} \Rightarrow \Delta y_{t+1} = \varepsilon_{t+1} \quad (2.3)$$

biçiminde ifade edilir. $y_{t+1} = y_t + \varepsilon_{t+1}$ denkleminde y değeri t gününde hisse senedi fiyatını ifade eder ve ε_{t+1} hata teriminin beklenen değeri sıfırdır. Daha genel bir ifade ile stokastik denkleminde $Y_{t+1} = \alpha_0 + \alpha_1 Y_t + \varepsilon_{t+1}$ ifadesinde $\alpha_0 = \alpha_1 = 0$ sınırlaması ile hipotez test edilir. Bu sınırlamanın red edilmesi hipotezin teorisinin red edilmesi anlamına gelir. T zamanındaki bilgilere dayanarak, teori ε_{t+1} 'in ortalamasının sıfır olmasını gerektirir. $\{\varepsilon_t\}$ dizisi, dizideki her değer için sıfır ortalaması, sabit bir varyansı varsa ve diğer tüm gerçekleştirilmelerle ilintisizse, bir beyaz gürültü sürecidir. ε_{t+1} 'in öngörülebilir olması, rasgele yürüyüş hipotezini geçersiz kılar.

Zaman serileri rastgele olduklarında, bu rastgele durum düzensiz bileşen ile gösterilir. Düzensiz bileşen stokastiktir ve amaç bu bileşeni modellemek ve tahmin etmektir. Serinin hareketi eğim (trend), tekrarlayan döngüsel hareketler (mevsimsel döngüler) veya ani kırılma hareketleri gibi düzensiz değişimler içerebilir. Trend bileşeni serinin uzun vadeli davranışını temsil eder ve serinin ortalamasını değiştirir. Döngüsel bileşen düzenli periyodik hareketler ile temsil edilir ve her on iki birimde veya belirli sıklıklar ile aynı döngüsel örüntünün meydana geldiği zirvelerle düzenli bir döngüsel desen verir. Serinin davranışının belirlenmesine yönelik bu tanımlamalar, uygun yöntemin seçilmesi için gereklidir. Bu nedenle, seriyi trend, mevsimsel, döngüsel ve düzensiz bileşene ayırmak

için fark denklemi metodolojisi geliştirilmiştir. **Fark denklemlerini** kullanarak, birimler normalleştirilir, böylece i, t zamandaki bir birim değişimini temsil eder (yani, $i=1$) ve bağımsız değişkenin eşit aralıklı değerlerinin sırasını dikkate alınır.

$$\Delta y_{t+1} = \alpha_0 + \alpha_1 y_t + \varepsilon_{t+1} \quad (2.4)$$

olmak üzere, Δ fark denklemi operatörü olarak kullanılır ve fark denkleminin sırası n değeri ile verilir. Denklem ilerletilir ise sabit katsayılı n ' inci dereceden doğrusal fark denkleminin özel durumunu incelemek mümkündür. Bu özel fark denkleminin matematiksel gösterimi aşağıdaki şekilde verilir:

$$y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i y_{t-i} + x_t \quad (2.5)$$

En genel haliyle, bir fark denklemi, bir değişkenin değerini, kendi gecikmiş değerleri, zaman ve diğer değişkenlerin bir fonksiyonu olarak ifade eder. Trend ve mevsimsel terimler her ikisi de zamanın bir fonksiyonudur ve düzensiz terim, kendi gecikmiş değeri ve stokastik değişken ε_t 'nin bir fonksiyonudur.

Trend (Eğilim): $T_t = 1 + 0.1t$: eğim bileşeninin t dönemindeki bileşeni (2.6)

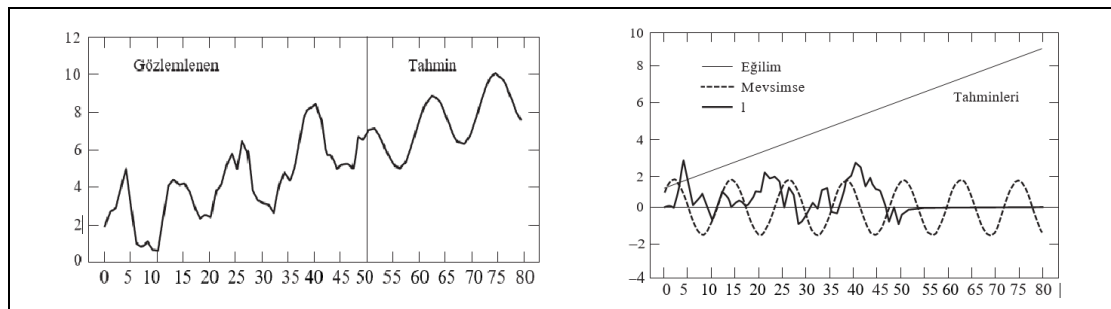
Mevsimsel: $S_t = 1.6 \sin(\pi / 6)t$: mevsimsel bileşenin t dönemindeki değeri (2.7)

Düzensiz: $I_t = 0.7I_{t-1} + \varepsilon_t$: düzensiz bileşenin t dönemindeki değeri (2.8)

Burada $\varepsilon_t = t$ cinsinden saf rastgele hata terimi olmak üzere uygulamada, eğilim ve mevsimsel bileşenler yukarıda gösterilen basit deterministik fonksiyonlar olmayacaktır. Doğrusal stokastik fark denkleminin genel çözümü üç ayrı bileşenden oluşur. Denklemi matematiksel olarak göstermek gerekir ise; “ $Y_t = \text{trend} + \text{sabit bileşen} + \text{gürültü}$ ” biçiminde ifade edilebilir.

Fark denklemleri, bir değişkenin önceki değerleri, zaman ve diğer değişkenlerle bağlantılı olarak ifade edildiği dinamik süreçlerin modellenmesi için kullanılan uygun bir yöntem

iken, Stokastik fark denklemleri ise, bu dinamik süreçlerin stokastik bileşenlerle birleştirildiği fark denklemleridir. Zaman içinde geliştirilen modeller, serilerin dinamik yolunu açığa çıkarmak için ve serinin öngörülebilir bileşenlerini belirlemek ve geleceği tahmin etmek için kullanılır. Dinamik modellerde stokastik fark denklemleri bulunur (Şekil 3.). Zaman serisi analizleri, stokastik bileşenleri koruyan fark denklemlerinin tahmini ile ilgilidir. Bu yöntemler, özellikle ekonometri ve finans gibi alanlarda, gelecekteki değerleri tahmin etmek için kullanılır.



Şekil 3. Zaman serisi tahmini ve bileşenleri

2.1.1. Durağanlık

Durağanlık; bir zaman serisinin ortalaması ve varyansı zaman içinde düzenli olarak değişmediği seriler için kullanılır. Y_t serisi ortalaması ve varyansı zaman içinde değişmeyen ve iki dönem arasındaki ortak varyansı bu ortak varyansın hesaplandığı döneme değil de yalnızca iki dönem arasındaki uzaklığa, açıklığa ya da gecikmeye bağlı olan olasılıklı bir süreci ifade eder. (Gujarati, 2001). Bu tarz duraganlığa zayıf veya covaryans duraganlık denir.

Durağanlığı test etmek için kullanılan yöntemler arasında otokorelasyon fonksiyonu yöntemi bulunmaktadır. Otokorelasyon fonksiyonu yönteminde serilerin ardışık değerleri arasındaki ilişki ölçülmektedir. Serinin değerleri arasındaki ilişki zamanla azalıyor veya ortadan kayboluyorsa, serinin durağanlık özelliği olduğu söylenir. Otokorelasyon yöntemi, serinin elemanları arasında ardışık ilişkinin çeşitlerine odaklanır. Ortalama, varyans ve iki dönem arasındaki ilişkiyi temsil eden otokorelasyon yakınsak ise seri

durağandır. Yani bir zaman serisi, ortalaması ve tüm otokovaryansları zaman kökenindeki bir değişiklikten etkilenmiyorsa kovaryans sabittir (Enders, 2015). Yani serinin elemanları arasında ardışık ilişki olması durağanlığı bozabilir.

$$\text{Ortalama:} \quad E(y_t) = \mu \quad (2.9)$$

$$\text{Varyans:} \quad \text{var}(Y_t) = E(Y_t - \mu)^2 = \sigma_2 \quad (2.10)$$

$$\text{Ortak Varyans:} \quad \gamma_k = E[(Y_t - \mu)(Y_{t+k} - \mu)] \quad (2.11)$$

Burada γ_k , k gecikme ile ortak varyans Y_t ile Y_{t+k} arasındaki k dönem fark olan iki Y değeri arasındaki ortak varyanstır. Eğer $k=0$ ise, γ_0 bulunur ki bu da Y'nin varyansıdır. $k=1$ ise, γ_1 Y'nin ardışık iki değeri arasındaki ortak varyanstır. Yani sonlu bir süreç varyansı nedeni ile ortalamadan fazla uzaklaşamaz.

2.1.2. Birim Kök Testi

Birim kök, ekonometride zaman serisi analizinde kullanılan bir kavramdır. Bir zaman serisi, birim kök içermiyorsa, bu zaman serisi durağan olarak adlandırılır. Bir başka deyişle, birim kök varsa, zaman serisi değişiminin hızı veya büyüklüğü zamanla değişebilir yani ortalaması, varyansı ve iki farklı kesitindeki kovaryansı değişiyor demektir. Bir zaman serisi, birim kök içermezse, bu zaman serisi durağan olarak adlandırılır ve istatistiksel analizler için daha uygun hale gelir. Birim kök kavramının matematiksel modeli birim kökün varlığını ve serinin trendini modellemek için kullanılan basit otoregresif (AR) modeli üzerinden;

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.12)$$

biçiminde gösterilir. y_t ; y 'nin zaman serisinde t anındaki değeri, α_0 sabit bir terim olmak üzere α_1 otoregresif katsayıdır ve birim kökün varlığını ifade eder. y_{t-1} , y'nin bir önceki zaman noktasındaki değeri temsil eder. ε_t hata terimidir ve rasgele bir değişkeni ifade eder. Birim kök modelinde, α_1 katsayısı 1'den küçük olduğunda ($|\alpha_1| < 1$), seride

durağanlık özelliği vardır ve tahmin yapmak için geleneksel durağanlık analiz yöntemleri kullanılabilir. Ancak, birim kök modelinde α_1 katsayısı birime eşit ya da büyük ($|\alpha_1| \geq 1$), seride durağanlık özelliği yoktur ve serinin trendi doğrusal olmayabilir.

Bu matematiksel model, birim kökün varlığını ve serinin trendini modellemek için kullanılan otoregresif bir modelin basit bir örneğidir. Zaman serileri analizinde, bu modele ek olarak dış etkenler, sezonluk varyasyonlar ve gürültü gibi diğer bileşenler de eklenerek modelin gücü ve kapsamı artırılabilir. Böylece serinin hareketini daha iyi anlamak ve analiz etmek mümkün olur. Bileşen kullanımını ve yöntem seçiminde bazı sınırlılıklar olabilir. Örneğin, bileşen sayısındaki artış regresyon analizinde kullanılan serbestlik derecesini azaltabilir veya yapısal kırılmanın varlığına göre uygun model seçiminde sorunlar oluşabilir.

Bir serinin birim kök içerip içermediğini belirlemek için en çok kullanılan testler Dickey ve Fuller testi, Augmented Dickey Fuller (ADF) testleri ve Phillips-Perron Testi, Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin Testi (KPSS Testi) ve serinin varyansında değişim olup olmadığını gözlemleyen Dickey-Fuller Genişletilmiş (ADF-GLS) istatistikleridir. Testler, birim kök, sapma veya birim kök, sapma ve zaman eğilimi ani kırılma gibi durumları belirlemek için kullanılabilir. Bu testler mevsimsel birim kökler için de uyarlanabilirler.

Bahsedilen testler, birim kök varlığını belirlemede düşük bir güce sahiptir. Bir trend, durağan sürece birim kök ile iyi bir şekilde yaklaşılabılır. Ancak test prosedürleri, deterministik regresörlerin (sabit terim ve deterministik trend gibi) varlığı tarafından etkilenebilir ve yanlış sonuçlar verebilir. Serinin ortalama değere dönüşmemesi, trend ve döngüsel bileşenlerinin hesaplanmasını zorlaştırmaktadır. Eğer seri stokastik bir trend içeriyorsa, geleneksel trend çıkarma tekniği durağan bir döngüsel bileşen elde etmek için yetersiz kalabilir. Zaman serilerinin kalıcı ve geçici bileşenlerini ayırmak için geliştirilen yöntemler yapısal kırılma başlığı altında anlatılacaktır.

Durağanlık analizinde kullanılacak yöntem zaman serisi verilerine bağlı olarak belirlenir. Verinin yapısına göre farklı yöntemlerin birlikte kullanılması tavsiye edilebilir. Seride

yapısal kırılmalar olması halinde Dickey-Fuller testinin gücü düşmektedir. Bu durumun tespit edilmesi, yapısal kırılma varlığında serilerin analiz edilebilmesi için testlerin geliştirilmesine neden olmuştur. Takip eden çalışmalarda serininin hareketinin sadece yapısal kırılmalardan etkilenmediği; trend veya mevsimsel bir değişimden de etkilenmesinin mümkün olması nedeni ile farklı yönlere evrilmiştir. Bu yöntemlerin genel özellikleri sırası ile başlıklar altında anlatılacaktır.

2.1.3. Augmented Dickey Fuller (ADF) Test

Dickey-Fuller (DF) testi, bir zaman serisinde birim kökün varlığını test etmek için kullanılan iyi bilinen bir istatistiksel testtir. Bu test, genellikle şu şekilde temsil edilen bir veri üretme sürecini içerir ve doğrusal uyum sürecini varsayar:

$$\Delta y_t = \alpha + \beta y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.13)$$

Burada Δy_t , ilgi duyulan değişkenin birinci farkını, α bir sabit terimi, β ise gecikmiş değişken üzerindeki katsayıyı, ε_t ise hata terimini temsil eder. DF testi, seride birim kökün varlığını değerlendirir. DF testi, Dickey ve Fuller (1979) tarafından geliştirilmiştir ve sadece birinci dereceden otoregresif (AR) modeller için kullanılır. DF testi, aşağıdaki denklemleri kullanır:

$$\Delta y_t = \alpha + \beta y_{t-1} + \gamma y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.14)$$

Burada Δy_t , zaman serisindeki değişimleri ifade eder, α ve β parametreleri trendi temsil eder, γ ; y_{t-1} ise lag 1'in katsayısıdır. DF testi, γ katsayısının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını değerlendirerek birim kök varlığını test eder. ADF testi ise hem birinci dereceden otoregresif (AR) modelleri hem de daha yüksek dereceden otoregresif modelleri kapsar. ADF testi, birim kök varlığını test etmek için aşağıdaki denklemleri kullanır:

$$\Delta y_t = \alpha + \beta y_{t-1} + \gamma y_{t-1} + \delta_1 \Delta y_{t-1} + \delta_2 \Delta y_{t-2} + \dots + \delta_k \Delta y_{t-k} + \varepsilon_t \quad (2.15)$$

Augmented Dickey Fuller (ADF) testi, lagged farkları (Δy_{t-i}) içeren ek terimleri içerir. Bu terimler, serinin otoregresif özelliğini daha fazla kontrol etmeye yardımcı olur ve var olabilecek serisel korelasyon problemlerini giderir. ADF testi, γ katsayılarının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını değerlendirerek birim kök varlığını test eder. DF testinin genelleştirilmiş halidir. ADF testi birinci dereceden ve daha yüksek dereceden otoregresif modelleri kapsar ve lagged farkları içerir. ADF testi, daha kapsamlı bir birim kök testidir ve daha fazla esneklik sunar. Bu test zaman serisinin istatistiksel özelliklerinin zamanla değişip değişmediğini belirlemek için kullanılır. Birinci fark alınmış bir zaman serisine regresyon modeli uygulanır (Denklem 1). Yani, orijinal serinin ardışık farklarının birleşik hali üzerinde bir regresyon modeli oluşturulur. Birinci fark, bir gözlem değerini bir önceki gözlem değerinden çıkartmak demektir ve bu, zaman serisinin değişimini temsil eder. Bu regresyon modelinde, geçmiş gözlemler ve birim kök terimi (birinci farkın katsayısı) yer alır. ADF testinin amacı, bu birinci fark alınmış zaman serisine regresyon modeli uygulayarak birim kök varlığını veya yokluğunu belirlemektir.

ADF testi, aşağıdaki regresyon modelini kullanır:

$$\Delta y_t = \alpha + \beta y_{t-1} + \gamma y_{t-1} + \delta_1 \Delta y_{t-1} + \delta_2 \Delta y_{t-2} + \dots + \delta_k \Delta y_{t-k} + \varepsilon_t \quad (2.16)$$

Burada : $\Delta y(t)$, birinci fark alınmış zaman serisi; y_t , orijinal zaman serisi; α , β , γ , δ_1 , δ_2 , ..., δ_k , regresyon katsayıları; t , zaman değişkeni; $\varepsilon(t)$, hata terimi olarak temsil edilir. ADF testi, sıfır hipotezini “birim kök vardır” ifadesi ile kurar. Yani, zaman serisinin durağanlık özelliği yoktur ve zamanla değişmektedir. Alternatif hipotez ise “birim kök yoktur” şeklindedir. Eğer sıfır hipotez reddedilirse, zaman serisinin durağanlık özelliği olduğu ve regresyon katsayılarının anlamlı olduğu sonucuna varılır. ADF testinde, test istatistiği olarak genellikle t-testi veya F-testi kullanılır. Test sonucunda, elde edilen test istatistiği değeri, kritik değerlerle karşılaştırılır. Eğer test istatistiği kritik değerlerin üzerindeyse, null hipotezi reddedilir ve zaman serisi durağan kabul edilir. Aksi durumda, null hipotez reddedilmez ve zaman serisi durağan değildir. Bu test, trendin varlığını kontrol etmek için

kullanılabileceği gibi, farklı regresyon modelleriyle de genişletilebilir. ADF testi, regresyon modelindeki varyansın homoscedastic olduğu varsayımına dayanır. Yani, varyansın zamanla değişmediğini varsayar. ADF testi, tek bir zaman serisi verisine veya bir değişkene sahip veri setlerinde daha yaygın olarak kullanılır. Bu nedenle, ADF testi, zaman serisinde trendin varlığı durumunda daha uygun bir seçenek olabilir (Enders,2015).

Birim kök testinde en temel test olan Dickey-Fuller testinde doğru gecikme sayısının belirlenmesi önemlidir. Doğru gecikme sayısının kullanılması modelin gerçek hata sürecini doğru şekilde yakalamasını ve γ 'nın standart hatasının doğru tahmin edilmesini sağlar. Gecikme sayısının yeterli olmaması, regresyon artıklarının beyaz gürültü süreçleri gibi davranmadığı anlamına gelir. Bu durumda model, gerçek hata sürecini uygun şekilde yakalamaz, böylece γ ve standart hatası iyi tahmin edilmez. Çok fazla gecikme sayısı kullanmak da overfitting olarak ifade edilen aşırı tahmin etme sorununa yol açar. Fazla gecikme sayısı kullanımı, artan gecikme sayısı nedeniyle ek parametrelerin tahmin edilmesi gerekliliğini ve serbestlik derecelerinin düşmesine neden olur. Bunun sonucunda, tahmin edilen parametrelerin sayısı artarken kullanılabilir gözlem sayısı azalır. Fazladan eklenen gecikmelerin varlığı, Dickey-Fuller testinin gücünü azaltır (Beckers ve ark., 2004).

2.2. YAPISAL KIRILMALAR

Birim kök testleri önerilirken, karşılaşılan bir diğer problem yapısal değişiklik meydana geldiği durumlardır. Çünkü yapısal kırılma varlığında, Dickey-Fuller testi istatistikleri bir birim kökünün varlığını reddetmek konusunda doğru sonuçlar vermeyebilir. Bu nedenle, yapısal kırılmaların varlığı durumunda, birim kök testleri önerilirken yapılrken dikkatli olmak önemlidir.

Eğer yapısal bir kırılma durumu varsa, birim köklerin test edilmesi için ekonometrik bir prosedür uygulanabilir. Veri örneği iki parçaya ayrılabilir ve her bir parça üzerinde Dickey-Fuller testleri uygulanabilir. Ancak, bu yöntemin dezavantajlarından biri, her bir regresyon için serbestlik derecelerinin azalması sonucu testin gücünün düşmesidir.

Ayrıca, kırılmanın gerçekte ne zaman meydana geldiğinin bilinmediği durumlarda prosedürün doğru sonuç vermesi garanti değildir. Bu nedenle, yapısal kırılma durumunda birim kök testlerinin uygulanması için dikkatli bir yöntem seçimi gereklidir. Yapısal kırılmaların varlığı, serilerin hareketinin doğrusal modeller ile temsil edilememesine neden olmaktadır. Bu durum literatürün serilerin doğrusal olmayan modeller ile modellenerek test edilmesine doğru genişlemiştir.

Literatürde doğrusallık üzerine yapılan çalışmalar sırasında serilerin her zaman doğrusal hareket etmediği gözlemlenmiştir. Bu nedenle, belirli bir tarihte yapısal bir kırılma olduğundan şüphelenilen seriler için Chow testi geliştirilmiştir. Chow testi, modeli kırılma öncesi ve kırılma sonrası verilere uyumunu amaçlamaktadır. Bu durumda birim kök testi yapabilmek için örnek iki parçaya bölünür ve her parça ayrı ayrı Dickey-Fuller testine tabi tutulur. Eğer iki model anlamlı derecede farklı değilse, veri üretme sürecinde herhangi bir yapısal değişiklik olmadığı sonucuna varılır. Ancak bu yöntemde serbestlik derecesinin azalması sorunu vardır. Bu nedenle, Perron (1989) tarafından zaman periyodunda yapısal bir değişiklik olduğunda birim kökleri test etmek için kullanılan bir yöntem geliştirilmiştir. Bu test kırılma tarihinin önceden bilindiği durumları ifade eden exojen kırılmalarda kullanılmaktadır. 1929 yılında yaşanan borsa çöküşü, 1975 yılı petrol krizi veya 11 Eylül saldırısı gibi tarihin belli olduğu durumlar, zaman serisinde exojen kırılmaya örnektir. Bu olaylar, değişkenler üzerinde kalıcı etkilere sahip olan dış etkenlerden kaynaklanmakta ve serinin ortalama değerinde bir defalık bir değişime neden olabilmektedir. Exojen kırılma, bir zaman serisindeki yapısal değişikliklerin, veri analiziyle belirlenemeyen veya model tarafından yakalanamayan değişiklikler olduğunu ifade etmektedir. Bu tür kırılmalar, zaman serisindeki dış etkenler veya rastgele olaylar sonucunda ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle, exojen kırılmaların varlığı ve etkisi, zaman serisi analizi sırasında dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Exojen kırılmalar, mevcut modele uymayan ani bir değişiklik olarak görülebilir ve zaman serisinin geçmiş davranışından farklı bir yapı veya ilişkiyi yansıtabilir. Endojen kırılma ise bir zaman serisinin içerisinde yer alan yapısal değişikliklerin, veri analiziyle belirlenebilen ve model tarafından yakalanabilen değişiklikler olduğunu ifade eder. Bu tür kırılmalar, zaman serisinde meydana gelen sistemik değişiklikler veya olaylar sonucunda ortaya çıkabilir. Örneğin, iklim değişikliği, yeni politikaların uygulanması

gibi faktörler endojen kırılmaları tetikleyebilir. Endojen kırılmalar, zaman serisinin davranışının aniden veya yavaşça değişmesine yol açar. Bu değişiklikler, önceki dönemlerde geçerli olan modellere göre farklı bir ilişki veya yapıyı yansıtabilir. Bu tür kırılmalarda kırılma tarihi önceden bilinmemektedir. Bu nedenle, örnekleme hem herhangi bir kırılma olup olmadığını belirlemek için, hem de potansiyel kırılma tarihini belirlemek için çeşitli testler uygulanabilir. Endojen durumların da varlığı sebebi ile kırılmanın tarihi belirlenmeden parametre kararsızlığını kontrol etmek için bir dizi yöntem geliştirilmiştir. Bu modeller arasından seçilen model verilere iyi uyuyorsa, tahminler yansız olur. Bu durumda, tahmin hatalarının toplamı sıfır etrafında salınım gösterir. Bu soruna çözüm olarak tahmin hatalarının (salınımın) kümülatif toplamının istatistiksel olarak sıfırdan farklı olup olmadığı incelenmiştir (Brown ve ark., 1975).

Perron'un kırılma tarihinin bilindiği tek kırılma olduğu durumu inceleyen çalışmasından sonra Schmidt ve Phillips (1992) tarafından iki aşamalı olarak önerilen prosedürü Dickey-Fuller testinden daha güçlü bir test sağlamaktadır. Bu test prosedüründe, eğilim parametreleri tahmin edildikten sonra, veriler üzerinde eğilimi azaltmak ve birim kök testi gerçekleştirmek mümkündür. Nelson ve Plosser (1982) tarafından yapılan çalışmalar, birçok ekonomik zaman serisinin stokastik bir trende ve durağan bir bileşene sahip olduğunu göstermektedir. Birim kök testleri, geçici ve kalıcı hareketler arasında ayırım yapmanın önemini vurgulayan birçok ekonomik teoriyi desteklemektedir. Yani, ekonomik değişkenlerdeki uzun vadeli eğilimlerin geçici dalgalanmalardan ayrı olarak ele alınması gerektiği ifade edilmektedir. Serinin deterministik veya stokastik eğilime sahip olup olmadığı, analiz amacına bağlı olarak farklı yöntemlerle ayrıştırılabilir. Hodrick ve Prescott (1997) tarafından geliştirilen bir yöntem ise seriyi bir eğilim ve durağan bileşene ayrıştırmaktadır. Bu yöntemde, belirli bir λ değeri kullanılarak eğilim "yumuşatılır". λ değerinin artırılması, eğilimi daha pürüzsüz hale getirmek için kullanılır. Bu yöntemler, gerçek zaman serilerinin analizinde kullanılan farklı yaklaşımlardır ve serinin hareketini anlamak ve geleceğe ilişkin tahminler yapmak için önemli bilgiler sağlamaktadır.

2000'li yılların ortalarından itibaren araştırmacılar, yapısal kırılmalı birim kök testleri ve doğrusal olmayan birim kök testleri kullanmaktadır. Ancak zaman içinde yapısal

kırılmaları tespit etmek için kullanılan tipik testlerin sınırlı güce sahip olduğu gözlemlenmiştir (Furuoka, 2017). Bu nedenle çalışmalar rejim değişim modelleri ve yumuşak geçişli modeller üzerine ilerlemiştir. Bu yöntemlerin amacı serinin bileşenlerinden ayrılmasıdır. Doğrusal olmayan serilerin detrend edilmesi için bilinmeyen doğrusal olmamayı hesaba katan çeşitli fonksiyonlar kullanılmıştır (Chang,2011). Ancak bu istatistiksel prosedürlerin bir zayıflığı, çeşitli mevcut alternatifler arasından hangisinin (örneğin, standart doğrusal birim kök testi, yapısal kırılmalı birim kök testi veya doğrusal olmayan birim kök testi) en uygun tahmin modeli olacağını belirlemek için güvenilir yöntemlerin olmamasıdır (Furuoka, 2017).

Doğrusal olmama durumunda birim kökleri ve eşbütünleşmeyi ele alan oldukça geniş bir literatür bulunmaktadır. Bu alanda bazılarında burada da bahsedilen TAR modelleri, eşik birim kök testleri ve eşik eşbütünleşme testleri gibi yöntemler geliştirilmiştir. Bununla birlikte doğrusal olmayan modeller frekans uzayında alanında da modellenebilir. Doğrusal olmayan süreçler, bazen birim kök süreçlerine benzer davranışlar sergileyebilir. Bu nedenle Andrews (1993) ve Andrews ve Ploberger (1994), literatürü geliştirerek tek yapısal kırılma varlığının tahmini için bir test geliştirmiştir. Bu test, zaman içindeki bir eşik modeli olarak eşik değişkeni olan tek bir kesimli bir model kullanır. Bai ve Perron (1998), Andrews (1993) testini genişleterek birden çok yapısal kırılmaya izin veren bir test geliştirmiştir. K kırılmalı (k + 1 rejimli) otoregresyonlarla birlikte, Bai ve Perron (2003) her olası mola tarihi kombinasyonu için aşağıdaki açık ve genelleştirilmiş formu ile ifade edilen denklemler ile tahmin edilebilen verimli bir algoritma geliştirmiştir.

$$y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i y_{t-i} + (\gamma_1 D_{1t} + \gamma_2 D_{2t} + \dots + \gamma_k D_{kt}) + \varepsilon_t \quad (2.17)$$

$$y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i y_{t-i} + \sum_{j=1}^k D_{jt} \left(\gamma_{0j} + \sum_{i=1}^p \gamma_{ij} y_{t-i} \right) + \varepsilon_t \quad (2.18)$$

Bu denklemde D_{ij} kukla değişkeni göstermektedir. Modellerde kullanılan kukla değişken yaklaşımı, yapısal kırılmaların keskin ve belirgin olduğunu varsaymaktadır. Kukla

değişkeni kullanarak, kırılmanın etkisinin t tarih noktasında tam olarak kendini gösterdiği varsayılabilir. Ancak, bir değişikliğin tam etkisinin ilgili değişkene yansması birkaç çeyrek boyunca zaman alabilir. Ayrıca, bazı değişiklikler aşamalı olarak gerçekleşebilir. Kırılmaların ve etkilerinin tek bir belirli zamanda gerçekleşmesi her zaman mümkün değildir. Ancak yapısal kırılmalar, kukla değişken yaklaşımının aksine yumuşak (smooth) olabilir. Bu nedenle, bazı araştırmacılar yumuşak kırılmalara izin veren modelleri tercih etmektedir. Bu nedenle, birçok araştırmacı yumuşak kırılmalara izin veren modeller üzerinde çalışmaktadır. Bai-Perron yönteminin burada kullanılmama sebebi de sadece keskin kırılmaları algılayabilmesidir. González ve Teräsvirta (2008) ise, mevsimsel bir zaman serisini yumuşak kırılmaları algılayabilen bir model geliştirmiştir.

Literatür diğer taraftan önceden belirlenmiş sayıda yapısal kırılma olasılığına izin veren çalışmalar geliştirmeye devam etmiştir. Bazı araştırmacılar, bir serinin seviyesinde ve trendindeki değişiklikleri yakalamak için kukla değişkenler kullanan birim kök testlerini geliştirmişlerdir. Diğer araştırmacılar ise düzey ve eğilimdeki değişiklikleri yakalamak için kukla değişkenlerin dahil edildiği standart bir durağanlık testi olan Kwiatowski, Phillips, Schmidt ve Shin (KPSS) testini değiştirmiştir. Bu çalışmaların ortak noktası, kırılmaların keskin olmasını gerektirmesidir. Zaman serileri için geliştirilen bu modeller, kırılmaların doğasını tam olarak yakalayamadığından, bazı araştırmacılar yumuşak bir geçiş sürecine sahip tek bir kırılmaya izin veren bir birim kök testi geliştirmişlerdir. Bazı çalışmalarda ise serinin doğrusal trendde yumuşak bir geçiş hareketine sahip olduğunu varsayarak durağanlık testi yapmıştır. Bu çalışmalar önceden belirlenmiş sayıda keskin kırılma veya belirli bir doğrusal olmama tipini varsaymaktadır.

Ancak, gerçek kırılmaların genellikle bilinmediği ve bir birim kök veya durağanlık testinde hangi kırılmaların ve kaç kırılmanın kullanılacağı konusunda özel bir kılavuz olmadığı unutulmamalıdır. Yanlış bir kırılma şekli veya kırılma sayısı kullanmak, kırılmaları tamamen göz ardı etmek kadar sorunlu olabilir. Bu nedenle, kırılmaların gerçek doğasını daha iyi anlamak için daha fazla araştırma yapılması önemlidir (Beckers, Enders ve Lee, 2006). İlerleyen bölümlerde kırılmaların doğasına uygun doğrusal olmayan modeller için geliştirilen yöntemler açıklanmaktadır.

2.3. DOĞRUSAL OLMAYAN MODELLER

Literatürde serilerin doğrusal modeller ile açıklanamamasıyla birlikte doğrusal olmayan modellerin birçok ekonomik değişkenin davranışını karakterize edebileceği belirtilir. Zaman serisi değişkenlerinin çoğu doğrusal olmayan davranış sergilemektedir. Ancak doğrusal olmama durumunun farklı türleri bulunmaktadır ve en uygun biçiminin belirlenmesi temel bir problemdir. Doğrusal olmayan modeli yanlış belirlemek, doğrusal olmama durumunu görmezden gelmekten daha yanıltıcı sonuçlara sebep olabilmektedir. Literatürdeki bu belirsizlik birçok farklı yöntemin geliştirilmesine neden olmuştur. Bu çalışmada; doğrusal zaman serisi literatüründe ortaya konmuş OLS, doğrusal olmayan OLS ve maksimum olabilirlik yöntemleri kullanılarak tahmin edilen modellere odaklanılacaktır.

Doğrusal olmayan modellerin belirlenmesinde en temel yolun istatistikleri incelemek olduğu açıklanmıştır. Bu nedenle serinin istatistikleri incelendiğinde; bir zaman serisi durağan değil ise ortalaması veya varyansı ya da ikisi birden zamanla değişmektedir. Burada bahsedilen durağan olmama; zayıf durağan olarak ifade edilen ortak varyans durağanlığı sürecini temsil etmektedir. Eğer zaman serisi, zamanla belirgin bir trend, dönemsel örüntüler veya değişen varyans sergiliyorsa, durağanlık özelliği zayıf olabilir. Bazen de ortalamadaki bir kayma durağan olmama sebebi olabilir (Gujarati,2001). Bir trendin temel özelliği bir seri üzerinde kalıcı bir etkiye sahip olmasıdır (Enders, 2015). Bu durum ortalamada kaymalara sebep olacağı için birçok ekonomik zaman serisinin sabit bir ortalaması olmadığı söylenebilir. Zaman serisinde trend veya mevsimsel etkiler, serinin düzensiz bileşen ve hata terimi olarak adlandırılan stokastik kısımdan trendden arındırma yöntemleri ile arındırılabilir.

Durağan olmayan seriler zaman serileri yöntemleri ile trend, mevsimsel ve düzensiz bileşenlere ayrılabilir. Trend bileşeni, serinin uzun vadeli davranışlarını temsil ederken, mevsimsel bileşen düzenli periyodik hareketleri temsil eder (Enders,2015). Bununla birlikte, modern yaklaşımda, bir zaman serisi trend, mevsimsel ve düzensiz bileşenlerinin hepsinin stokastik (olasılıklı) unsurlar içerdiği kabul edilmektedir. Zaman serisi, stokastik bir eğilim içeriyorsa, uzun vadede eski seviyesine geri dönmez. Bu eğilimden

kurtulmanın iki yolu vardır. Eğer deterministik bir trend var ise trendi ortadan kaldırarak durağan bir seriye dönüştürmek ya da birim kökü olan stokastik seriyi farkını alarak durağan hale getirmektir.

Doğrusal olmayan trend arındırmaları genellikle kukla değişkenler veya mevsimsellik analizinde kullanılan trigonometrik fonksiyonlar kullanılarak gerçekleştirilir. Bu tür doğrusal olmayan ve periyodik hareket gösteren trendler literatürde sıkça karşılaşılr. İncelediğimiz pandemik yayılma süreci, literatürde karşılaştığımız periyodik deterministik trend oluşumuna benzer bir hareket sergilemektedir.

2.3.1. Zaman Serisinde Rejim Değişim Modelleri

Bir zaman serisinde belirli bir eşik değeri üzerinde veya altında bir serinin davranışının değiştiği durumları modellemek için rejim değişim modelleri kullanılır. Bu modellerde, çeşitli rejimler arasında keskin veya belirgin geçişler olabilir. Rejim değişim modelleri, serinin her bir döneminde farklı regresyon denklemleri veya parametreleri kullanır. Yani çoklu rejim modelinde, farklı rejimlerin her biri farklı bir otoregresif süreç tarafından temsil edilir. Rejim değişim modelleri; TAR, NLAR, GAR, Markov Zinciri, Yapay Sınır Ağları modelleri olarak sayılabilir. Rejim değişimi modelleri, sistemin durumuna bağlı olarak davranış değişikliklerine izin veren bir modellerdir. Bu değişimler, değişkenin büyüklüğünden, politika yapıcıların seçimlerinden veya gözlemlenemeyen faktörlerden kaynaklanabilir. Birçok rejim değişimi modeli geliştirilmiştir ve bu modellerin tahmin edilmesi için genellikle programlama diline sahip bir istatistik paketi kullanmak gerekmektedir. Eşik otoregresif (TAR) modelleri gibi bazı rejim değişimi modelleri, OLS kullanılarak tahmin edilebilir. Diğer eşik modelleri, yavaş rejim değişimlerine izin verir ve doğrusal olmayan en küçük kareler veya maksimum olabilirlik yöntemleri kullanılarak tahmin edilir.

Otoregresif (AR) modelinin basit uzantısı olarak doğrusal olmayan otoregresif (NLAR) modelin en basit biçimi;

$$y_t = f(y_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (2.19)$$

denklemleri ile ifade edilir. Bu denklemler, birinci dereceden doğrusal olmayan otoregresif bir modeldir ve en uzun gecikme uzunluğu NLAR(1) ile gösterilir. Bu modeli tahmin etmek zor olabilir çünkü $f()$ fonksiyonunun formu belirsizdir. Bununla başa çıkmak için, bilinmeyen fonksiyonun Taylor serisi yaklaşımı kullanılabilir. Model, daha etkileşimli hale getirilebilir ve yeniden parametrelenerek ifade edilebilir. Böylece 2.20 denklemleri elde edilmektedir.

$$y_t = a_1(y_{t-1}) \cdot y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.20)$$

Bu denklemlerde $a_1(y_{t-1}) \cdot y_{t-1} \equiv f(y_{t-1})$ olmak üzere denklemler otoregresif modeline (AR (1)) benzemektedir. Daha genel olarak, p.inci sıradan doğrusal olmayan otoregresif modeli

$$y_t = f(y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-p}) + \varepsilon_t \quad (2.21)$$

2.21 denklemleri ile ifade edilir ve NLAR(p) ile gösterilir. Modeldeki parametre sayısı genellikle $n \leq 5$ olacak şekilde sınırlandırılır (Enders ve ark.,2016). Taylor serisinin geliştirilmiş bir formu olan GAR modeli kullanılmaktadır. GAR modelleri, standart AR modellerini genişleterek y_{t-i} 'nin farklı kuvvetlerini ve y_{t-i} ve y_{t-j} 'nin kuvvetlerinin çarpımlarını içerir. Bu modeller, farklı fonksiyonel formları taklit etmek için Taylor serisi yaklaşımını kullanır. Ancak, bir dezavantajı, çok sayıda parametreye sahip olma eğiliminde olmalarıdır, bu nedenle son model aşırı parametrelidir olabilir. Bu durum testin gücünün düşmesi sebebi ile istenen bir durum değildir.

$$y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i y_{t-i} + \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^r \sum_{l=1}^s \alpha_{ijkl} y_{t-i}^k y_{t-j}^l + \varepsilon_t \quad (2.22)$$

Eşik otoregresif (TAR) modeli (2.22), literatürde kullanılan diğer bir doğrusal olmayan modeldir. GAR modelleri, doğrusal olmayan bir sürecin fonksiyonel formu bilinmediği

zamanlarda kullanılırken, TAR modeli belirli bir eşik değeri altında ve üstünde farklı davranışlar sergileyen seriler için kullanışlıdır. Bu çalışmada önerilen modelde, serinin doğrusal olmadığı açıkça görülebildiğinden doğrusallık testleri uygulanmamıştır.

$$y_t = \begin{cases} \alpha_1 y_{t-1} + \varepsilon_{1t} & \text{if } y_{t-1} > 0 \\ \alpha_2 y_{t-1} + \varepsilon_{2t} & \text{if } y_{t-1} \leq 0 \end{cases} \quad (2.23)$$

2.23 denklemleri ile ifade edilen rejim değişimi modeli, sistemin durumuna bağlı olarak davranış değişikliklerine izin veren bir modeldir. Bu değişimler, değişkenin büyüklüğünden, politika yapıcıların seçimlerinden veya gözlemlenemeyen faktörlerden kaynaklanabilir. Birçok rejim değişimi modeli geliştirilmiştir ve bu modellerin tahmin edilmesi için genellikle bir programlama diline sahip bir istatistik paketi kullanmak gerekmektedir. Eşik otoregresif (TAR) modelleri gibi bazı rejim değişimi modelleri, OLS kullanılarak tahmin edilebilir. Diğer eşik modelleri, yavaş yavaş rejim değişimlerine izin verir ve doğrusal olmayan en küçük kareler veya maksimum olabilirlik yöntemleri kullanılarak tahmin edilir.

2.3.2. Yumuşak Geçiş Modelleri

Zaman serilerinin hareketi her zaman rejim geçişlerindeki gibi keskin olmayabilir. Bu durumlar için yumuşak geçiş modelleri geliştirilmiştir. Bunlar yumuşak geçiş otoregresif (STAR) modelleridir. Bu modeller bazı seriler için eşik değerlerinin keskin olmadığını varsayarak otomatik regresif parametrelerin yavaş yavaş değişmesine izin vermektedir. Denklem 2.24 ile özel bir doğrusal olmayan NLAR model tanımlandığını düşünelim.

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 y_{t-1} + \dots + \alpha_p y_{t-p} + \theta [\beta_0 + \beta_1 y_{t-1} + \dots + \beta_p y_{t-p}] + \varepsilon_t \quad (2.24)$$

Bu tanımlanan matematiksel model (2.24) yumuşak geçiş otoregresif bir modeli olarak bilinen STAR modelidir. STAR modelinin iki kullanışlı formu vardır. Bunlar modelleme yaparken lojistik fonksiyon kullanan (Logistic Smooth Transition Autoregressive) LSTAR ve üstel fonksiyon kullanan ((Explosive Autoregressive) ESTAR modelleridir.

LSTAR, otoregresif katsayısını lojistik bir fonksiyon olarak genelleştirirken, ESTAR otoregresif katsayısını üstel bir fonksiyon olarak genelleştirir. ESTAR modeli, bir serinin dönüm noktalarına yakın dönemlerde farklı otoregresif bozulma derecelerine sahip olabileceği için faydalıdır. Bu modelin avantajı, çok büyük sapmaların hızlı bir şekilde ortadan kaldırırken, orta büyüklükteki sapmaların daha yavaş ortadan kaldırmasıdır. ESTAR modelini oluşturmak için 2.24 denkleminde θ yerine; (2.25) denkleminde ifade edildiği üzere . lojistik fonksiyonu kullanılır.

$$\theta = [1 + \exp(-\gamma(y_{t-1} - c))]^{-1} \quad (2.25)$$

LSTAR modeli ise serinin farklı dönemlerinde farklı bir otoregresif bozulma derecesine izin verir ve serinin otoregresif teriminin dönüm noktalarına yakın dönemlerde logistik bir geçiş fonksiyonuyla değiştiğini varsayar. ESTAR modelini oluşturmak için ise (2.24) denkleminde θ yerine;

$$\theta = 1 - \exp[-\gamma(y_{t-1} - c)^2] \gamma > 0 . \quad (2.26)$$

ile gösterilen üstel fonksiyon kullanılır. İki yöntem de dönüm noktalarını tespit etmek ve serinin davranışını daha iyi modellemek için farklı durumlarda tercih edilebilirler. Seçim, analiz edilen serinin özelliklerine ve yapısal kırılmaların doğasına bağlı olarak değişebilir.

Daha az kullanılan rejim değişim modellerinden yapay sinir ağı (ANN) ise doğrusal olmayan süreçlerin bilinmeyen fonksiyonel formuna sahip olduğu durumlarda faydalı olabilir. ANN denklemi;

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 y_{t-1} + \sum_{i=1}^n \alpha_i f_i(y_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (2.27)$$

biçiminde ifade edilir. $y_t = \alpha_0 + \alpha_1 y_{t-1} + \beta_1 y_{t-1} f(y_{t-1}) + \varepsilon_t$ olmak üzere burada $f(y_{t-1})$ fonksiyonu, kümülatif bir dağılım veya STAR denklemi için tanımlanan genel form bir lojistik fonksiyon olabilir.

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 y_{t-1} + \sum_{i=1}^n \alpha_i [1 + \exp(-\gamma_i (y_{t-1} - c_i))]^{-1} + \varepsilon_t \quad (2.28)$$

Yapay sinir ağı (ANN), LSTAR modeline benzerlik göstermekle birlikte, bazı önemli farklılıklar taşır. İlk olarak, ANN sadece kesit değişkenliğine izin verir ve otoregresif katsayı α_1 sabit tutulurken, serinin seviyesi zamanla değişebilir. İkinci olarak, ANN farklı sayıda lojistik fonksiyon kullanabilir. Kuan ve White (1994) çalışmasında, yeterince büyük bir veri seti için bu tür bir modelin herhangi bir birinci dereceden doğrusal olmayan modele yaklaşabileceğini göstermiştir. Bu nedenle, Yapay Sinir Ağları (ANN), özellikle bilinmeyen fonksiyonel formlara sahip doğrusal olmayan ilişkileri tahmin etmek için faydalı bir araç olabilir. Model, verilerle olağanüstü derecede iyi bir uyum sağlasada modelin net bir ekonomik açıklaması olmadığı için genelleme yapılamamaktadır. ANN, yüksek dereceli otoregresif işlemlere uyarlanabilir ve bu durum modelin birçok parametreye sahip olmasına neden olabilir. Bu da aşırı uyum sağlama riskini artırabilir. Bu riski azaltmak için, parametre değerlerini tahmin etmek için farklı yöntemler kullanılır.

Markov geçiş modeli, rejim değişimlerinin dışsal olduğunu önerir. Yani iki rejim olduğunu ve y_t için otoregresif sürecin rejime bağlı olduğunu varsayar. TAR modelinin aksine, rejim değişikliği için sabit olasılıklar vardır. P_1 olasılığı sistemin birinci rejimde kalma olasılığını gösterirken, $(1 - P_1)$ olasılığı sistemin birinci rejimden ikinci rejime geçme olasılığını gösterir. Benzer şekilde P_2 olasılığı sistemin ikinci rejimde kalma olasılığını gösterirken, $(1 - P_2)$ olasılığı sistemin ikinci rejimden birinci rejime geçme olasılığını gösterir. Bu durumda, geçiş süreci aslında birinci dereceden bir Markov sürecidir. Markov sürecinde rejim değişikliklerinin nedenleri ve bu değişikliklerin zamanlaması açıklanmaz (Enders,2015). Markov denklemi;

$$y_t = \alpha_{10} + \alpha_1 y_{t-1} + \varepsilon_{1t} \quad \text{eğer system rejim 1 içinde ise} \quad (2.29)$$

$$y_t = \alpha_{20} + \alpha_2 y_{t-1} + \varepsilon_{2t} \quad \text{eğer system rejim 2 içinde ise} \quad (2.30)$$

biçiminde ifade edilir. Markov modelleri, doğrusal bir test doğrusal olmayan bir sürecin çekimleyici varlığını tespit edemeyebilir. Ekonomik değişkenler sıklıkla doğrusal olmayan davranışlar sergiler ve doğrusal olmayan modellerin doğru bir şekilde özelleştirilmesi zor olabilir. Bu bölümde, birçok doğrusal olmayan model sunulmuştur, ancak hangi spesifikasyonun en uygun olduğuna karar vermek kesin bir yöntemle mümkün değildir. Yanlış bir doğrusal olmayan model spesifikasyonunun kullanılması, doğrusal olmayan davranışı tamamen göz ardı etmekten daha kötü sonuçlara neden olabilir. Doğrusal olmayan bir sürecin tahmin edilmesi için bazı öneriler mevcuttur, ancak genel bir modelleme stratejisi kullanmak mümkün görünmemektedir. Mevsimsel serilerin yumuşak kaymalarla modellenmesi, doğrusal olmayan bir model örneğidir. Bu nedenle durağan olmayan serilerde de veriyi grafiklerle görsel olarak incelemeye başlamak her zaman önemlidir. Bu, doğrusal olmayan davranışların tanımlanmasına yardımcı olabilir ve aykırı değerler veya yapısal kırılmaların belirlenmesine yardımcı olabilir. Doğrusal olmayan davranışı belirlemek için birçok test mevcuttur. Eğer doğrusal olmayan model ile çalışılıyorsa, doğru spesifikasyon biçimine karar vermek temel meseledir. Doğrusal olmayan modeller kullanırken, aşırı uyum (overfitting) riski vardır, bu durum serbestlik derecesinin sınırlandırılması problemini ortaya çıkarmaktadır. Serbestlik derecesinin belirlenmesinde bu parsimoni prensibi göz önünde bulundurulur.

Bu bölümde, bir y_t serisini tahmin etmek için kullanılan doğrusal olmayan modeller tartışılmıştır. Ayrıca, birim köklerin varlığı ve doğrusal olmayanların varlığı durumunda bütünleşme ile ilgili literatürün genişlediği belirtilmiştir. Örneğin, Granger, Inoue ve Morin (1997) doğrusal olmayan bir hata düzeltme modeli üzerinde çalışmışlar ve Enders ve Siklos (2001) TAR birim kök testini genişletmiştir. Ayrıca, Tsay (1998) eşik eşbütünleşmesini tespit etmek için bir test geliştirmiştir. Doğrusal olmayan modellerle ilgili çalışırken frekans uzayından da yararlanılabilir. Bununla birlikte, birçok doğrusal olmayan test ve yapısal değişim için yapılan testler, kırılma tarihi bilinmediğinde null hipotezi altında tanımlanamayan bir parametre problemine neden olur. Hansen ve Seo (2002) bir eşbütünleşik sistem analizi yaparken, Caner ve Hansen (2001) ise birim kök testi için bir maksimum olasılık yöntemi geliştirmiştir. Kapetanios, Shin ve Snell (2003)

ise bir ESTAR modelinin alternatifine karşı birim kökü test etmek için öneride bulunmuşlardır.

Deterministik modeller için aşağıdaki intercept ve trend modelleri kullanılmıştır. Yukarıda anlatılan TAR, Markov, Neuronetwork modelleri gibi çok sayıda deterministik kısma yönelik çalışma bulunmamaktadır. Özellikle model (2.31) yapısını kullanarak markow intercept tederministik değişimlerine yönelik bir çalışma yapmıştır. Neuronetwork ve TAR modelleri için bu anlamda literatürde kullanılan nonlinear deteministik trend bulma yöntemleri bulunmamaktadır. Aşağıda verdiğimiz modeller yumuşak geçişli modellerinde yumuşak geçişli trend modelleri olarak ele alınmaktadır. Bu modeller Leyborne ve arkadaşları (1998) lojistik yumuşak geçişli (smooth transition) trend modeli olarak geçmektedir. Denklem 2.34'de görüldüğü üzere lojistik fonksiyonu da state(durum) değişkeni zaman olarak verilmiştir. Olası durağan olmayan trend lojistik yapıda olduğu varsayımı altında önerilmiş bir nonlinear trend bulma yöntemidir. Aynı şekilde Sollis (2005) makalesinde lojistik yerine denklemde 2.34. üssel (exponential) fonksiyon kullanmıştır. Bu iki fonksiyon yapısı da literatürde nonlinear trendleri bulmak için sıklıkla kullanılmaktadır. Burada konu kukla değişkenler ile nonlinear trendlerin modelleri ayrıntılı olarak incelenmemiştir. Bunun da temel sebebi pandemi modellerinin yumuşak geçiş nonlinear yapılara daha uygun olmasından kaynaklanmaktadır. Bu yöntem detaylı şekilde incelenmemiştir.

$$y_t = \alpha + \alpha_2 S_t(\gamma, \tau) + \varepsilon_t \quad (2.31)$$

$$y_t = \alpha + \beta_1 t + \alpha_2 S_t(\gamma, \tau) + \varepsilon_t \quad (2.32)$$

$$y_t = \alpha + \beta_1 t + \alpha_2 S_t(\gamma, \tau) + \beta_2 t S_t(\gamma, \tau) + \varepsilon_t \quad (2.33)$$

Burada α sıfır ortalamalı, $I(0)$ sürecinde, $S_t(\gamma, \tau)$ lojistik yumuşak geçiş fonksiyonunu ifade etmek üzere;

$$S_t(\gamma, \tau) = [1 + \exp\{-\gamma(t - \tau T)\}]^{-1}, \quad \gamma > 0 \quad (2.34)$$

denklemleri kullanılmıştır.

Aşağıda verilen doğrusal olmayan trend bulma süreci ile yumuşak geçiş yapısındaki yapısal kırılmalar incelenebilmektedir. Bu öneri Leybourne ve arkadaşları (1998) tarafından ortaya atılmıştır. 2.34 denkleminde kullanılan fonksiyon yapısı kullanılarak hem lojistik hemde exponential yapıdaki yumuşak geçişli doğrusal olmayan trend yapıları incelebilmektedir. Bu modellerin tahmininde yukarıda anlatılan yumuşak geçişli modeller, Markov zincir yapısı gibi model yapılarında kullanılan doğrusal olmayan EKKY veya Maksimum olabilirlik yöntemleri kullanılmaktadır. Bu anlatılan yapıya benzer nitelikte EKKY ile tahmin edebileceğimiz en kolay formdaki ve daha esnek yapı Fourier transformasyonlarıdır. Bu tez çalışmasında da bu esnek yapıdan ve Fourier reprsantasyon teoreminin sağladığı kolaylıklardan dolayı Kümülatif Fourier fonksiyon yapısı kullanılmaktadır. Bu yüzden daha detaylı uzun dönemli doğrusal olmayan trend yapısı analizi için Fourier fonksiyonları ve kümülatif Fourier fonksiyonlarını ele alan modeller ayrıntılı olarak incelenecektir.

2.3.3. Fourier Dönüşüm

Daha önce yapılan çalışmalarda esnek fonksiyonel formların kullanımında genellikle Taylor açılımı yöntemi kullanıldığı doğrusal olmayan modellerin anlatımında açıklanmıştır. Ancak Taylor serisi yerel değişim noktalarını yakalarken, Fourier fonksiyonu düşük n (frekans) değerlerinde global değişim noktalarını yakalamaktadır. Bu nedenle Taylor teoremi istatistiksel davranışın anlaşılması için yetersizdir ve parametre tahminleri ve test istatistikleri için doğru sonuçlar vermemektedir (Enders ve Lee, 2012a). Ayrıca Taylor teoremi ile istatistiksel davranışı anlamaya çalışmak, cebirsel karmaşıklığa neden olabilir. Bu nedenle daha az karmaşık yapıda olan Fourier yaklaşımı, modelin deterministik bileşeninde mevcut olan bilinmeyen yapısal kırılmaları veya ihmal edilen doğrusal olmayan örüntüleri tespit etmek için kullanılabilir.

Ayrıca, Fourier yaklaşımının kullanılması, doğru fonksiyonel formu seçme zorluğunu, modele dahil edilecek en uygun frekans sayısını (serbestlik derecesi) seçme problemine dönüştürebilir. (Jones ve Enders, 2014). Trigonometrik fonksiyon modelleme yöntemi, ortalama değerdeki değişikliklerin geçici olduğunu ve bu nedenle başlangıç ve bitiş değerlerinin aynı olacağı şekilde sınırlanmış şekilde oluşturulur. Bu yöntemle modellenen

kırılmalar, ani kırılma hareketlerinden ziyade daha düzgün bir değişiklik gösterir (Kızılkaya ve Gökçe; 2021). Tek frekans için fourier dönüşümü 2.35 denklemi ile gösterilmektedir.

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \alpha_2 \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \varepsilon_t \quad (2.35)$$

Fourier dönüşümü, belirli bir frekansa karşılık gelen her sinüzoidin genliğini ve fazını tanımlayan bir fonksiyondur. (Genlik, sinüzoidin yüksekliğini tanımlar; faz, sinüzoidin döngüsündeki başlangıç noktasını belirtir.) Hızlı Fourier dönüşümü, bir eğriyi analiz etmek için gereken serbestlik derecesini azaltarak zamandan tasarruf sağlar. Hızlı Fourier dönüşümü, bir eğriyi çok sayıda eşit aralıklı örneğe böler. Bir eğriyi analiz etmek için gereken serbestlik derecesi, örnek sayısı yarıya düştüğünde yarı yarıya azalır (Bracewell,1989).

Trigonometrik fonksiyon modelleri, ortalamadaki değişikliklerin geçici olacağı ve dolayısıyla başlangıç ve bitiş değerlerini aynı olacak şekilde sınırlandırılmıştır. Bu fonksiyon kullanılarak modellenen kırılmalar, kırılma hareketinden ziyade düzgün (yumuşak) değişikliklerdir. Bu özellikle bu çalışma için de uygundur. Buradaki amaç optimal k değeri seçilerek seriden deterministik bileşeni ayırmaktır. Ayrıca Fourier yaklaşımı, istenen herhangi bir k derecesinde, periyodik fonksiyon modelleri dışında bilinmeyen biçimdeki deterministik bir trend fonksiyonunun davranışını yakalamak için de kullanılır. Bu yaklaşımın esnekliği, testin birden çok farklı yapısal kırılmalardan, mevsimsellikten veya stokastik değişimden kaynaklanan katsayılardaki zaman değişimini tespit edebilmesini sağlar (Rodrigues ve Robert Taylor, 2004). Ayrıca bu tarz farklı değişimleri yakalayan Trig test Becker, Enders, Hurn (2004) tarafından önerilmiştir. Model katsayılarının zamanla değişmesine müsaade eden trigonometrik genişlemeye dayalı bu test, yapısal kırılmalar veya stokastik parametrelerden kaynaklanan varyansın etkilerini yakalamaktadır. Bu nedenle Beckers ve arkadaşları (2004), Davies (1987), Gallant (1984), Gallant ve Souza (1991) ve diğer birçok yazarın çalışmalarına dayanarak, deterministik bileşenlere yaklaşmak için Fourier fonksiyonu kullanarak yeni bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntem, fonksiyonun kendisi periyodik olmasa bile genellikle

bilinmeyen bir fonksiyonun davranışını yakalayabilen Fourier yaklaşımının etkili olduğunu göstermektedir. Fourier fonksiyonu kullanımı keskin kırılmaları tespit edebilse de molalar kademeli olduğunda en iyi şekilde çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Bu nedenle, spesifik kırılma tarihlerini, kırılma sayısını ve kırılma şeklini seçmek yerine, belirleme problemi, tahmin denklemine dahil edilecek uygun frekans bileşeninin seçilmesine dönüştürülür (Beckers, Enders and Lee, 2006). Fourier fonksiyonu kullanan bu ilk çalışmalarda tek bir frekans bileşeni kullanılırken; $k=1$ (veya muhtemelen $k=2$) değerinin seçilmesi, çok sayıda kırılmayı temel anlamda yakalamak için yeterli olmuştur. İlk olarak, bilinmeyen bir türden birkaç düzgün kırılmaya sahip veriler için çalışma tahminin en iyi şekilde yakalanabileceğini göstermiştir. Gallant (1984); ilerleyen çalışmalarda bilinmeyen fonksiyonel formu tahmin etmek için kümülatif frekanslar kullanmıştır. Bilinmeyen bir fonksiyonel form $k=1$ ile makul olarak temsil edebiliyorsa, $k=1$ ve $k=2$ kullanımı daha iyi bir yaklaşım sağlayabileceği gösterilmiştir. Kalıcı makroekonomik verilerin olduğu çoğu durumda da $k=1$ veya $k=2$ değerinin kullanılması, verilerdeki önemli kırılmaları yakalamak için yeterli olmaktadır. Ancak, araştırmacının $k=1$ veya $k=2$ dışında bir frekans seçmek isteyebileceği durumlar vardır. Bu nedenle, literatürde üçüncü yöntem olarak; serinin hareketine uygun k sayısını seçmektir (Beckers, Enders ve Lee, 2006).

Fourier serisi, herhangi bir serbestlik derecesinde Fourier Gösterge Teoremi kapsamında tamamen fonksiyonlara yaklaşabilme yeteneğine sahiptir. Özellikle, α_t olarak temsil edilen bir fonksiyonun bilinmeyen sayıda kırılmaya sahip olmasına izin verilir. Kırılmaların doğası ne olursa olsun, α_t uzun bir süre boyunca yeterli bir doğrulukla Fourier serisi ile yaklaşabilir. Bu, Fourier serisinin çok genel bir uygulama alanına sahip olduğunu gösterir (Yajada;2022). Bu bölümde ifade edilen fikir, istatistiksel regresyon fonksiyonunun Fourier fonksiyonu ile genişlemesidir. Klasik çok değişkenli sinüs/kosinüs genişlemesi, genişlemeye dahil olan terim sayısını artırarak ortalama tahmin yanlılığını küçültebilen bir yakınsama sistemiyle doğrudan ilişkilidir. Bu genişleme yöntemi, klasik Fourier sinüs/kosinüs serisi genişlemesinin aynı zamanda ilk türevlerini de yaklaştırması sayesinde mümkündür. Fourier fonksiyonu; frekans bileşenlerini ayırmak, periyodik desenleri analiz etmek, frekans spektrumu ve güç spektrumu yapabilme, veri düzleştirme ve trend analizi yapmak için kullanılabilir. Fourier dönüşümü, zaman serisinin frekans

bileşenlerini ayrıştırarak, serinin frekans değişimini belirlemeye yardımcı olur. Bu yaklaşım, zaman serisinin hangi periyodik desenlere veya hangi frekanslarda tekrar eden örüntülere sahip olduğunu gösterir. Frekans bileşenlerinin gücünü gösterirken, frekans spektrumu zaman serisinin frekans bileşenlerinin yoğunluğunu gösterir. Bu, zaman serisinin hangi frekanslarda daha fazla değişiklik gösterdiğini bulmamıza yardımcı olur. Ayrıca Verilerdeki gürültüyü azaltmak ve trendi daha iyi anlamak için Fourier dönüşümü kullanılabilir. Düzleştirilmiş bir zaman serisi, yüksek frekans bileşenlerini ortadan kaldırarak elde edilebilir. Bu, dalgalanmalara veya trend analizine odaklanmak istediğimiz durumlarda yararlı olabilir.

2.3.4. Kümülatif Fourier Dönüşümü

Kümülatif Fourier dönüşümü, Fourier dönüşümünün uygulanmasından sonra frekans bileşenlerini kümülatif olarak toplar. Böylece, zaman serisinin genel trendine daha iyi yakınsayan bileşen elde edilir. Kümülatif Fourier dönüşümü, periyodik desenleri ve trendleri analiz etmek için güçlü bir yöntemdir. Kümülatif frekans kullanımı zaman serisindeki genel eğilimi ve frekans bileşenlerinin birikimini vurgulayarak, serinin dinamiklerini daha iyi anlaşılmasını sağlayabilir (Enders and Lee, 2012a ve Omay, 2015). Bu nedenle, kümülatif Fourier dönüşümü, veri düzeltme ve trend analizi için etkili bir araç olabilir.

$$y_t = \alpha_0 + \sum_{k=1}^n \alpha_{1,k} \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \sum_{k=1}^n \alpha_{2,k} \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \varepsilon_t \quad (2.36)$$

Kümülatif fourier dönüşümü zaman serisinin trendini bulmak için ve zaman serisinde periyodik desenlerin yanı sıra serinin genel eğilimini ve döngüsünü yakalamak için de kullanılabilir. Kümülatif Fourier dönüşümü, trendin frekans bileşenleriyle ilişkili olduğunu ve trendin bu bileşenlerin birikimine dayalı olarak yakalandığını gösterir. Kümülatif Fourier dönüşümü, zaman serisindeki belirli frekanslardaki dalgalanmaların trend üzerindeki etkisini vurgular ve bu frekans bileşenlerinin birikimine dayanarak trendin nasıl yakalandığını gösterir. Bu yöntem, zaman serisinin hangi frekanslarda (n) daha belirgin değişimlere sahip olduğunun anlaşılmasına yardımcı olur. Kümülatif

Fourier dönüşümü, verilerdeki gürültüyü azaltmak ve düzleştirilmiş bir zaman serisi elde etmek için kullanılabilir. Bu yöntem, yüksek frekans bileşenlerinin birikimine dayanarak düşük frekans bileşenlerine odaklanarak trendi daha belirgin hale getirmemizi sağlar. Bu, trend analizi veya dalgalanmalara odaklanmak istediğimiz durumlarda faydalı olabilir.

3. BÖLÜM

SALGIN DÖNEMİ MODEL ÖNERİSİ

Bu çalışmada serilerdeki yumuşak kırılmaları test etmek için Fourier dönüşüm kullanılmaktadır. Önceki çalışmalardan farklı olarak dalga ve faz bağımlı birim kök testini araştırmak için kümülatif frekans kullanılmaktadır. Önceki çalışmalar, düzgün kırılmayı belirlemek için tek frekansa odaklanırken, bu çalışma kümülatif frekansa odaklanarak veri üretim sürecini dalga ve faz bazında ayrıştırarak incelemektedir. Bu amaçla, kümülatif frekansa yeni bir kısıtlama getirilmiştir. Bu yeni kısıt, Enders ve Lee (2012a) ve Omay (2015) dışında kümülatif frekansın kesin sayısını belirlemeye izin verir.

Son çalışmalar, Becker, Enders ve Hurn (2006), Enders ve Lee (2012b), Rodriques ve Robert Taylor (2012) ve diğerleri tarafından esnek Fourier dönüşümlerinin yumuşak kırılmaları temsil etmek için kullanıldığını göstermektedir. Fourier yaklaşımı, fonksiyonun kendisi periyodik olmasa bile belirsiz formdaki deterministik fonksiyonun davranışını yakalayarak, kırılmaların anlık veya yumuşak olması, hangi zamanda gerçekleştiği, kaç kırılma olduğu ve kırılma türlerinin seçimi durumlarını belirlememize gerek kalmamasının yanı sıra, varsayılan değişken yöntemlerinden daha iyi performans gösterme avantajlarına sahiptir (Enders ve Lee, 2012a,b Becker, Enders ve Lee, 2006; Rodriques ve Robert Taylor, 2012). Tüm bu makaleler, modelin aşırı filtreleme sorununu önlemek için yapısal kırılma değerlendirmesinin Fourier dönüşümlerinin tek frekans bileşeni kullanılarak yapılması gerektiğini belirtmiştir. Becker, Enders ve Hurn (2006) çalışmasında, yapısal kırılma testi olan Trig-test için Kesirli Frekans Esnek Fourier Formu (FFFFF) kullanılmış ve yaklaşımlarının yaygın olarak kullanılan kırılma testlerine göre neden daha üstün olduğu üzerinde durmuştur.

Ayrıca, Omay (2015) testi FFFFF ADF testini elde etmek için Becker, Enders ve Hurn (2006) ve Enders ve Lee (2012a)'nin metodolojilerini birleştirmektedir. Bu tez çalışmasında ise; bu çalışmaları daha ileri götürerek, önceki çalışmalardan farklı olarak dalga ve faz bağımlı birim kök testini araştırmak için kümülatif frekans kullanılmaktadır.

Önceki çalışmalar, düzgün kırılmayı belirlemek için tek frekansa odaklanırken, bu çalışma veri üretim sürecini dalga ve faz bazında ayrıştırarak incelemektedir.

Bu amaçla, kümülatif frekansa yeni bir kısıtlama getirilmiştir. Bu yeni kısıt, Enders ve Lee (2012a) ve Omay (2015)'in çalışmalarını genişleterek kümülatif frekansın kesin sayısını belirlemeye izin vermektedir. Omay ve Enders'in çalışmaları kümülatif frekansın en fazla 5 olduğunu varsaymaktadır. Bu çalışmada ise doğru dalga ve faz zamanlamasını elde etmek için yeni bir koşul tanıtılmaktadır. Bu yeni metodoloji, doğru sayıda kümülatif frekansı bulmamızı ve dolayısıyla dalga ve faza bağlı veri oluşturma süreçlerini kapsayan verilerin uygun şekilde test edilmesini sağlamaktadır. Önceki literatürden bildiğimiz gibi, artık kareler toplamının uyum iyiliği ölçüsünün artan kümülatif frekans sayısı ile gittikçe daha iyi hale gelmesi nedeniyle kümülatif frekansın üst sınırının belirlenmesi mümkün değildir. Bu nedenle, kümülatif frekansı makul sayıda frekansta artırmayı durdurmak imkansızdır. Ancak bu çalışmada yaptığımız yardımcı önerme 1 ile bu soruna çözüm önerilmektedir. Aşağıdaki Dickey-Fuller testi ele alınmaktadır;

$$y_t = d(t) + \phi y_{t-1} + \lambda t + \varepsilon_t \quad (3.1)$$

Bu denklemde, ε_t , sabit varyanslı durağan hata terimidir, $d(t)$ ise t 'nin deterministik bir fonksiyonudur. Omay (2015) çalışmasında, Enders ve Lee 2006 (a, b))'nin çalışmaları ile benzer şekilde, başlangıç değerinin sabit olduğunu ve ε_t 'nin zayıf bağımlılığı olduğunu varsaymaktadır. Enders ve Lee'ye (2012, a, b) göre $d(t)$ 'nin fonksiyonel formu biliniyorsa denk. (3.1)'i tahmin edebilir ve bir birim kökün sıfır hipotezini test edebilir. $d(t)$ 'nin formu bilinmediğinde $d(t)$ yanlış tanımlanırsa, $\phi=1$ için herhangi bir test zordur. Bu zorluğu aşmak için geliştirilen Omay (2015) testi ve Enders ve Lee'nin (2012, a, b) testleri, Fourier açılımı kullanılarak (3.2) $d(t)$ 'nin yaklaşık olarak hesaplanabileceği fikrine dayanmaktadır:

$$d(t) = \alpha_0 + \alpha \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \beta_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) \quad (3.2)$$

Burada, T gözlem sayısını ve k belirli bir frekansı temsil etmektedir. Doğrusal olmayan bir trend olmadığında, tüm $\alpha_k = \beta_k = 0$ değerleri DF testinin bir özel durumuna neden olmaktadır. Birçok birikimli frekansın kullanımı çeşitli nedenlerden dolayı uygun değildir. Belirli frekans $k=1$, literatürde önerildiği gibi yapısal değişime sahip bir modele iyi biçimde yaklaştığı gözlenmektedir. Bununla birlikte, bu çalışmada birikimli frekansa odaklanıp, en iyi uyumlu dalga ve faz bağımlı doğrusallığı tahmin edilmektedir. Bu nedenle, yardımcı önerme 1'i kullanarak verilerdeki keskin değişiklikler doğru bir şekilde elde edilebilir. Fourier tipi birim kök testinin tüm ayrıntılarını literatür kısmında açıklanmıştır. Ancak, bundan sonra, sadece empirik kısma devam etmek için yardımcı önerme 1 ele alınmıştır.

$$\Delta y_t = \rho y_{t-1} + c_1 + c_2 t + \sum_{i=1}^n c_{3,i} \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \sum_{i=1}^n c_{4,i} \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + e_t \quad (3.3)$$

3.3 denkleminde ifade edilen test denkleminin açıklamasına geçilir ise; ülkelerin sağlık yatırımlarına bakılmaksızın, günlük vaka sayısı, pandemi sürecini dolaylı olarak belirlemektedir. Benzer bir çalışmada, Mulligan (2021) ve Barasa (2020) çalışmasında bulaşıcı hastalık varlığında enfeksiyon maliyetlerinin enfekte olan insanların sayısına orantılı olduğunu ve bunların aktarım katsayısına yani etkileşim sayısına orantılı olduğu varsayılmıştır. Hem iletim aşaması hem de tanı ve tedavi aşaması için geçerli olan test sayısına bağlı olarak ölçülen günlük yeni vaka sayısı salgının dramatik sonuçları kontrol edilmiştir. Çalışmalar, olası pandemi krizi dönemlerinde ülkelerin sağlık sisteminin organizasyonu ve yönetimi konularında farklı şekillerde hazırladıklarını ortaya çıkarmıştır (Al Saidi, 2020). Bu farklılıklar, ülkelerin pandemi sürecinde de farklılıklara neden olmuştur. Bu çalışmalar ve yardımcı önerme 1 temel alınarak, pandemi sürecinin davranışı iki aşamada incelenmiştir. Sağlık harcamalarına ilişkin aylık ve günlük verilerin bulunmaması nedeniyle, üçüncü bölümde önerilen dolaylı yöntem kullanılmıştır. İlk aşamada, günlük vaka sayısı vaka sayısının değişim hızı katsayısına göre dalgalar ve fazlar halinde Kümülatif Fourier fonksiyonu ile bölünmüştür. İkinci aşamada ise Covid-19 vakalarının durağanlığı incelenerek ülkelerin dalga ve fazlara göre etkin sağlık harcaması yapıp yapmadığı araştırılmıştır. Çalışma, ülkelerin etkili kısa ve uzun vadeli kararlar almasına yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Araştırma, Covid 19

Pandemi sürecinde 5 OECD ülkesinde günlük vaka sayısı üzerinden dolaylı olarak sağlık harcamalarının etkinliği konusunda görüş ortaya koymayı amaçlamaktadır.

3.1. HİPOTEZ VE TEORİK MODEL

Literatürde kullanılan yöntemlerden farklı olarak, bu çalışma, Covid-19 döneminde sağlık harcamasının veya yatırımının verimliliğini ölçmek için dolaylı bir test yöntemi sunulmaktadır. Çalışma, Covid-19 vakaları serilerinin istatistiksel yapısından yola çıkarak sağlık harcama verimliliğini dolaylı olarak test etme denklemini çıkarmış ve bu hipotezi genel fonksiyonlar ve Covid-19 salgınının faz ve dalga bağımlı yapısını da kullanarak kanıtlamaya çalışmıştır. Bu yöntemsel yaklaşım ile, sağlık harcama verimliliğinin test edilmesi konusunda literatürdeki çalışmalardan farklı bir yaklaşım sunulmaktadır. Bu amaçla; kümülatif Fourier fonksiyonunun kullanımı ile Covid-19 vakaları serilerinin dalga ve faz yapısını da dikkate alan bir birim kök testi önerilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, Covid-19 salgınının dalga ve fazlarına göre sağlık harcamasının verimliliğini göstermektedir. Yöntemsel alanda yapılacak ileri çalışmalar, bu çalışmanın sonuçlarını doğrulayabilir veya genişletebilir.

Literatürde sağlık harcamalarının etkinliğini değerlendirmek amacıyla, farklı yöntemlerle gerçekleştirilen çalışmaların karşılaştığı sınırlılıklardan biri de, sağlık verilerinin günlük veya aylık olarak bulunamamasıdır. Bu nedenle yıllık bazda seçilen değişkenlerde uzun dönemli etkinliklerin ölçülmesi kısa dönemli strateji geliştirilmesine olanak tanımamaktadır. Ayrıca Covid-19 dönemini ve etkilerini incelemek için yapılan çalışmalarda karşılaşılan önemli sorunlardan biri de sağlık harcaması verilerinin parasal olarak ölçülmesidir. Pandemiden kaynaklanan ekonomik kayıpların ve dolaylı sağlık harcamalarının (test, aşı geliştirme çalışmaları, vb.) ölçülmesi de sorunlu görünmektedir. Zaten pek çok sağlık harcamasının üstü kapalı olmasının yanı sıra Covid-19 dönemi için ve kısa dönemli ve sağlıklı veri sağlama mümkün olamamıştır. Bu ölçüm kısıtlılıklarını aşmak için çalışmada günlük Covid-19 vaka sayılarındaki örtük bilgilerden yararlanılmıştır.

Bu örtük bilgiler temel alınarak, vaka sayılarının kontrol altına alınması veya azaltılması ile sağlık harcamalarının etkinliği arasındaki ilişki kurulmaktadır. Verilerin kararlılığı veya kontrol edilebilirliği, o verilerin stokastik özelliklerinden kontrol edilebilir. Bu çalışma; verilerin durağan olması halinde serinin kontrol altında olduğu savına dayanmaktadır. Kontrol altındaki veriler uzun vadeli olarak tahmin edilebilir. Uzun vadeli öngörülebilirse, sağlık harcamaları bu bilgiler ışığında düzenlenebilir ve verimlilik arttırılabilir. Bu eylemler zinciri, her dalgada ve her dalganın fazında farklı dinamikler gösterebilir. Her dalganın fazında kovaryans durağanlığı sağlanabiliyorsa, bu durumda vaka sayıları kontrol altındadır. Bu sav teroik model önerisinde açıklanmaktadır.

3.2. TEORİK MODEL ÖNERİSİ:

Lemma (Yardımcı Teorem) 1: y_t günlük vaka sayısı olsun. Günlük vaka sayısı sağlık harcamalarının (HE) bir göstergesidir.

İspat: Sınırlamalar (sosyal mesafe sınırlamaları, maske kullanımı, vb.) S ve aşı V olmak üzere; $HE = f(S, V, \dots)$ biçiminde birçok değişkene bağlı bir fonksiyon olarak tanımlanabilir. Aynı değişkenler günlük vaka sayılarının da $C = f(S, V, \dots)$ bir fonksiyonudur. SIR modellerinden bildiğimiz üzere R vaka sayısının değişim hızı katsayısı da özellikle $R = f(S, V)$ bu iki değişkenin fonksiyonudur. Kapanma S ve aşı V arttıkça vaka sayısının değişim hızı katsayısı R düşer. Bu bağlantı ile günlük vaka sayıları; vaka sayısının değişim hızı katsayıları üzerinden gösterilebilir. Bunun yanı sıra sağlık harcamasının fonksiyonel yapısında vaka sayılarının aksine, pozitif ilişki ile aynı verileri içermektedir. Sağlık harcaması ve vaka sayısı arasındaki ilişki $HE = f(R) \nearrow \rightarrow C = f(R) \searrow$ biçiminde ifade edilebilir. Bu durumda sağlık harcaması etkinliği vaka sayısı ile ters ilişkili olarak tespit edilebilir. Dolayısıyla azalan günlük vaka sayısı sağlık harcaması etkinliğini göstermektedir.

Proposition 1 (Önerme 1) y_t günlük vaka sayısı olsun. Şayet $y_t \rightarrow E(y_t) = \mu$, $E(y_t^2) = \sigma^2$ ve $E(y_{t-s}, y_{t-j}) = \sigma$, $s \neq j$ koşullarını sağlıyorsa \rightarrow bu durum diğer koşullardan bağımsız olarak sağlık harcaması etkinliğini sağlamaktadır.

İspat: $C = f(R)$ olduğunu Varsayım 1 de gösterilmektedir. R vaka sayısının değişim hızı katsayısındaki değişim birbirini takip eden günlük vaka sayısından $R \cong f\left(\frac{y_t - y_{t-1}}{y_{t-1}}\right)$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. Şayet bu oran $\frac{y_t - y_{t-1}}{y_{t-1}} = 1$ eşitliğini sağlıyorsa; bir kişi

hastalığı sadece diğer bir kişiye bulaştırır. Eğer ifade $\frac{y_t - y_{t-1}}{y_{t-1}} < 1$ olur ise bir kişi

hastalığı bir kişiden az kişiye bulaştırmakta, yani vaka sayısının değişim hızı katsayısı düşmekte ve dolayısıyla vaka sayısı düşmektedir. Ters durumda vaka sayısı artmaktadır.

$\frac{y_t - y_{t-1}}{y_{t-1}} < \alpha$ eşitsizliğinde α vaka sayısının değişim hızı katsayısını duruma eşit veya

küçük olduğu durum için eşitsizliğin her iki tarafını da y_{t-1} çarpılır ise;

~~$\frac{y_t - y_{t-1}}{y_{t-1}} < \alpha y_{t-1}$~~ ve deterministik ilişkiden stokastik ilişkiye çevirmek için hata

terimi eklendiğinde denklem $y_t - y_{t-1} < \alpha y_{t-1} + u_t$ formuna dönüşür. Denklemin son

hali; $\Delta y_t = \alpha_0 + \alpha y_{t-1} + u_t$ biçimini alır. Elde edilen denklemin eşitlik hali yukarıda da

anlatılmış olan bilindik Dickey Fuller (1979) birim kök testine dönüşmüştür. ADF testi

eğer durağanlığa işaret ediyorsa yani alternatif hipotez kabul edilirse, o zaman $y_t \rightarrow$

$E(y_t) = \mu$, $E(y_t^2) = \sigma^2$ ve $E(y_{t-s}, y_{t-j}) = \sigma$, $s \neq j$ koşulları sağlanmaktadır ve y_t serisi

durağandır. Varsayım 1'de kabul edilen koşullara göre günlük vakaların durağan çıkması

sağlık harcamalarının da etkin olduğunu gösterir.

Corollary (Yardımcı Önerme 1) Önerme 1'deki dalgalı harekete sahip günlük vaka sayılarının koşulları, yalnızca her bir faz serisi için kümülatif Fourier fonksiyonu tarafından karşılanabilir.

İspat: Vakalar $y_t = \beta_1 + \alpha y_{t-1} + WP_t + u_t \rightarrow WP_t = \phi(t)$ fonksiyonu ile tahmin edilsin.

Fourier Gösterim Teoreminin standart fonksiyonu

$$\phi(t) = \alpha_0 + \sum_{k=1}^N \alpha_k \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \sum_{k=1}^N \beta_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right)$$

dalga ve fazlara birebir yakınsayan modeli yansıtır. Burada literatürde de tartışma konusu olan fourier fonksiyonunun aşırı uyumun (overfitting) problemini engellemek için uygulamasında N sayısının sınırlandırılması önemlidir. Bu problemi aşmak için Stokastik fark denklemi veya basitçe bir regresyon analizi kullanarak, kümülatif Fourier dönüşümü için en iyi yaklaşan N değerini bulabiliriz; burada N, kümülatif sayısını gösterir.

$\beta = (\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_N, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_N)$ 'ya en uygun N'yi bulmak için artık toplamının kare değerini ifade eden $u_t^2 = f(\beta)$ eşitliği kullanılır. $\min_{\beta}(u_t^2)$ için

$$y_t^* = y_t - \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \sum_{k=1}^n \beta_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) \rightarrow y_t^* = u_t$$

bulmak için optimiasyon algoritması sıradan en küçük kareler yöntemini (Ordinary least square (OLS))

$\beta = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}'\mathbf{Y}$ kullanılır. Bu durumu kısaca $y_t^* = \alpha^* y_{t-1}^* + u_t^*$ denklemi ile ifade edilebilir.

Öyleyse, corollary koşulu sağlanmaktadır. Bu durumda indirgenmiş veri için de koşul sağlanmaktadır. Bu durumda kümülatif Fourier fonksiyonunu kullanarak seriyi faz ve dalga olarak bölünebilir. Bu durumda koşullar her bir dalga fazı için de sağlanır. Fourier

fonksiyonunun zamana göre birinci türevi alıp sıfıra eşitlediğimizde $\frac{d\phi(t)}{dt} = 0$, kümülatif

Fourier eğiliminin optimum noktalarını elde edilir. Diferansiyel denklemden bildiğimiz koşulu, fark denklemi ile aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$\Delta\phi(t) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \sum_{k=1}^n \beta_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) - \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \sin\left(\frac{2\pi k(t-1)}{T}\right) + \sum_{k=1}^n \beta_k \cos\left(\frac{2\pi k(t-1)}{T}\right) = 0$$

Denklemin genelleştirilmiş kapalı formu ise:

$$\Delta\phi(t) = \left(\sum_{i=1}^n \alpha_i (\sin_t - \sin_{t-1}) \right) + \left(\sum_{i=1}^n \beta_i (\cos_t - \cos_{t-1}) \right) = 0$$

Bu denklem her bir dalganın tepe noktasını verirken, ikinci dereceden türevini alıp sıfıra eşitlendiğinde $\frac{d^2\phi(t)}{dt^2} = 0$ fonksiyonun hızının değişim noktasını (inflection point) dolayısıyla her bir fazı vermektedir. Bu şekilde elde edilen fazlar da Yardımcı Önerme 1'de elde edilen koşulu sağlamaktadır.

Teknik Not: Benzer verimlilik çalışmalarının finans literatüründe de etkin piyasa hipotezi olarak geçtiği metodoloji kısımda açıklanmıştır. Etkin piyasa hipotezi, piyasaların öngörülemez olduğunu ve yatırımcıların endeks getirisinin üzerinde getiri sağlayamayacağını iddia eder. Bu hipotezi test etmek için ADF testi kullanılır ve null hipotezi etkin piyasa hipotezini gösterir, yani serinin ayrıştığı ve öngörülemez olduğunu test eder. Alternatif hipotezde ise piyasa öngörülebilir olacak ve endeks getirilerinin üzerinde getiriler sağlanabileceği kabul edilir. Etkin piyasa hipotezinde etkinlik anlayışı serinin öngörülemezliğinden (ırsaklığından) gelirken, bu çalışmada vaka sayıları için kurduğumuz modelde öngörülebilirlik, sağlık harcamalarının etkinliğini gösterir. $\Delta P_t = \alpha P_{t-1} + u_t$ Denklemi üzerinde uygulanan; $H_0: \alpha = 0$ $H_a: \alpha \neq 0$ sıfır hipotezi, piyasa verimliliği sonucunu verirken, alternatif hipotez piyasanın verimsiz olduğu anlamına gelir.

4. BÖLÜM

UYGULAMA

4.1. VERİ SETİ VE ÖRNEKLEM

Uygulanan metodolojiler önceki çalışmalarda homojen veri setlerine duyarlı olduğundan benzer özelliklere sahip ülkeler karşılaştırılmıştır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ekonomiler, sağlık sistemi performansı, sosyoekonomik koşullar ve yönetim kalitesi açısından gelişmekte olan ekonomilerden önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Daha yüksek kamu sağlık harcamaları, genellikle daha iyi sağlık sonuçları ve ekonominin toplam çıktısı ile ilişkilendirilir. Ancak, yükselen ve gelişmekte olan ekonomiler içinde bile ekonomiler arasında önemli farklılıklar vardır (Grigoli ve Kapsoli, 2018). Bu nedenle çalışmada özellikle gelişmiş ülkelerden oluşan homojen bir örneklem oluşturmak amaçlanmıştır.

Bu çerçeve kapsamında OECD ülkelerindeki sağlık sistemlerinin etkinliği incelenirken, gelişmiş ekonomilere sahip ve İnsani Gelişme Endeksi'nde (2020-2021) ilk 10 arasında yer alan ülkeler arasında yer alan, nispeten yüksek nüfusa sahip olan, benzer politikalar uygulayan ve en yüksek Covid-19 vaka sayısına sahip ülkeler Avustralya (AUS), Kanada (CAN), Almanya (DEU), Fransa (FRA) ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) bulunmaktadır (Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı, 2022). Çalışmaya gelişmekte olan ülke örneği olarak Türkiye eklenmiştir. Veriler, Oxford Üniversitesi tarafından yayınlanan Covid-19 politika raporunun sistematik veri seti kullanılarak ve The Oxford Covid-19 Government Response Tracker (OxCGRT, 2022) halka açık web sitesinden alınarak derlenmiştir. Örneklem başlangıç tarihi, her ülkenin ilk vaka bildirim günü olarak seçilmiştir. Vaka bildirimleri gelişmiş ülkeler için Ocak ayının son haftası başlarken, gelişmekte olan ülke örneği Türkiye vaka bildirimini mart ayının ikinci haftasında yapmıştır. Kasım 2021'de ülkelere göre farklı tarihlerde kesilmiştir. Verilerin kesilme günü, Omikron varyantının başlangıcı, sıklık endeksi önlemlerinin ülkelere göre

gevşetilmesi veya test politikalarındaki değişiklikler nedeni ile farklılık göstermektedir. Veri aralıkları Tablo1’de yer almaktadır.

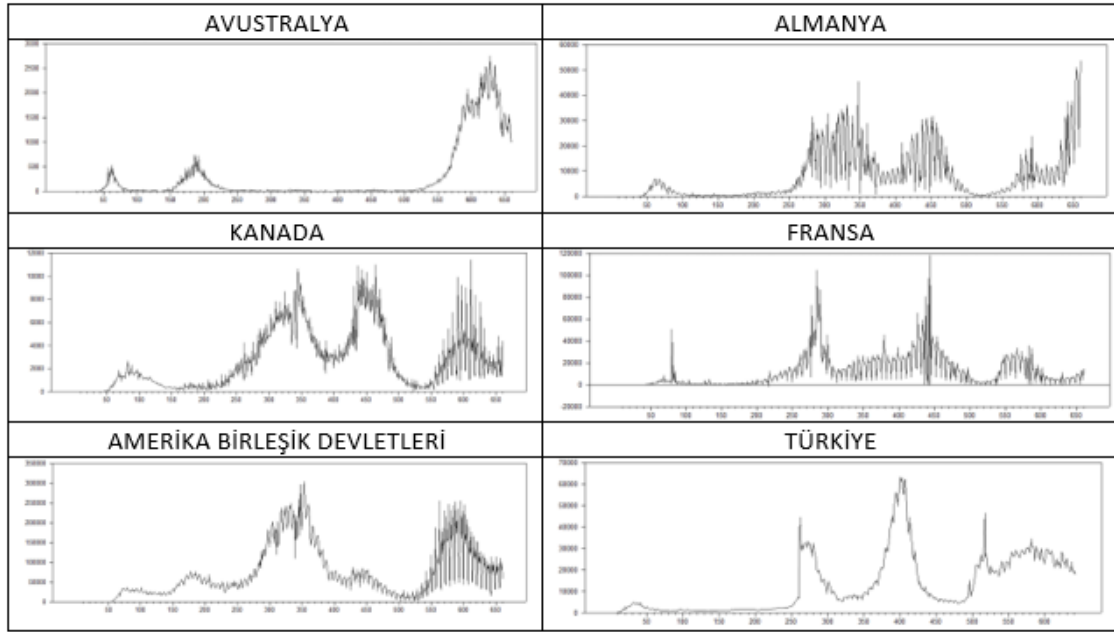
Table 1. Veri İstatistikleri

Ülke	Tarih Aralığı	Gözlem Sayısı
AUS	26.01.2020 - 2.11.2021	646
CAN	26.01.2020 - 3.11.2021	647
DEU	27.01.2020 - 4.11.2021	647
FRA	24.01.2020 - 30.09.2021	615
USA	22.01.2020 - 10.11.2021	658
TUR	11.03.2020 – 21.10.2021	589

Bu çalışmada, serilerin analizi için RATS (8. Versiyon) programı ve EViews (12. Versiyon) istatistiksel paket programı kullanılmıştır. Durağan olmayan serilerin özgünlüğü nedeni ile standart istatistiksel paket programlarında hazır olarak yer almaz. Bu nedenle, RATS programında kümülatif Fourier dönüşümü için kod yazılarak seriler ülkelere göre dalga ve fazlara ayrılmak üzere analiz edilmiştir. Fazların durağanlığını araştırmak için E-Views istatistiksel paket programı üzerinden ADF Birim kök testi kullanılmıştır, bu da diğer kullanıcılar tarafından uygulanabilirliği sağlamıştır.

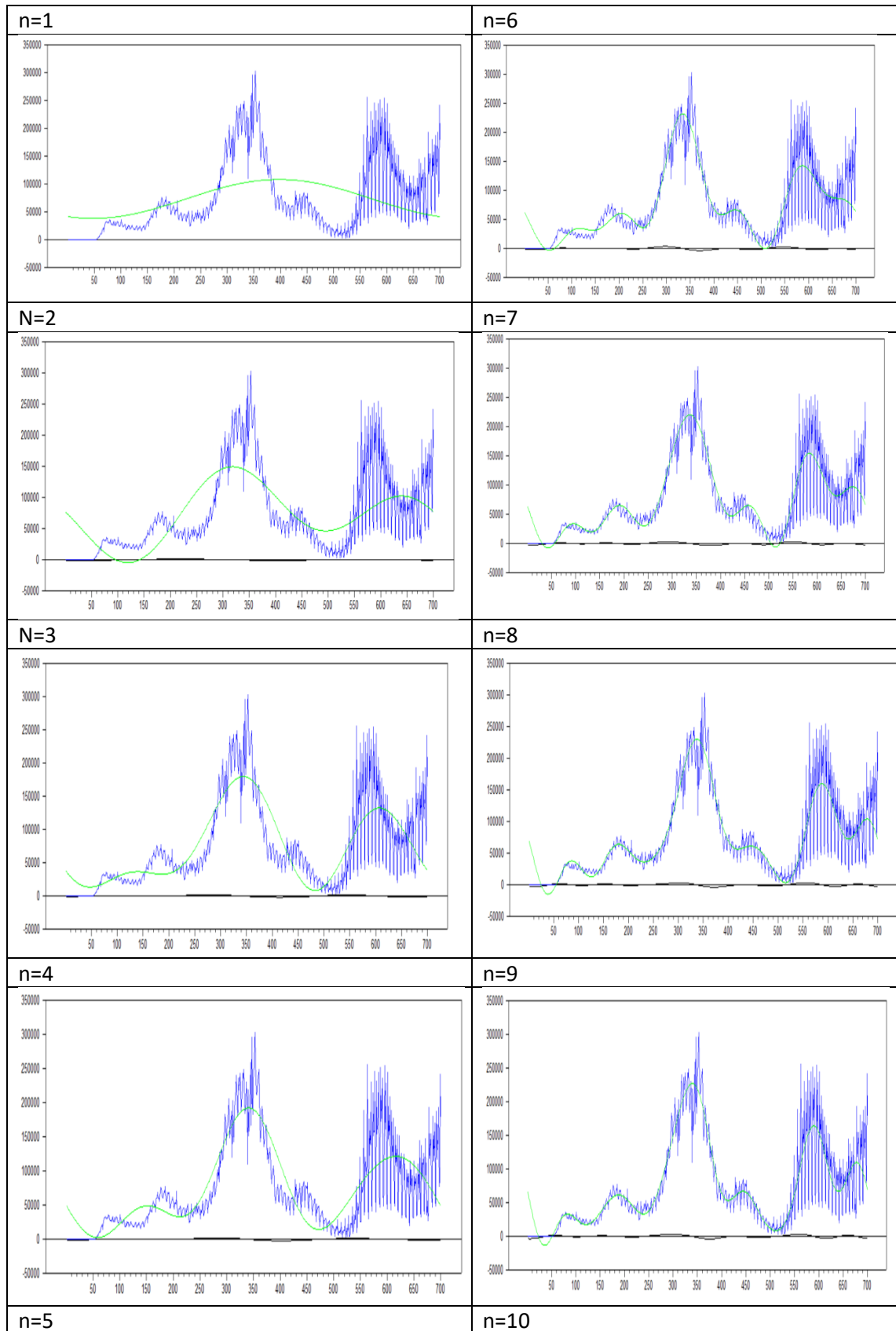
4.2. METODOLOJİK UYGULAMA

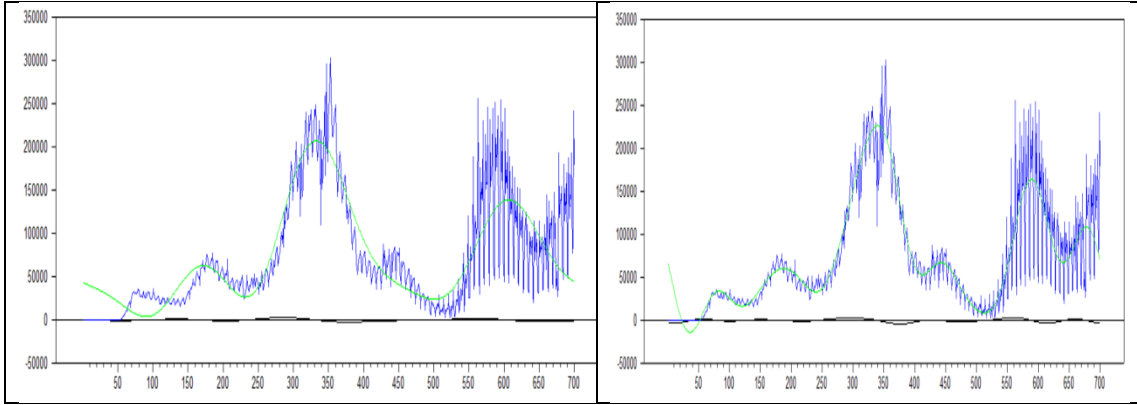
Çalışmanın ilk aşamasında, Şubat 2020'deki ilk vakaların tespitiyle başlayan pandemi sürecinde Kasım'a kadar olan yeni günlük vaka sayıları, kümülatif Fourier fonksiyonu ile tahmin edilmiştir. Günlük vaka sayıları Şekil 4’de görüldüğü üzere dalgalı yani doğrusal olmayan bir salınım yapmaktadır.



Şekil 4. Ülkelerin Günlük Vaka Sayılarının Grafiks gösterimi

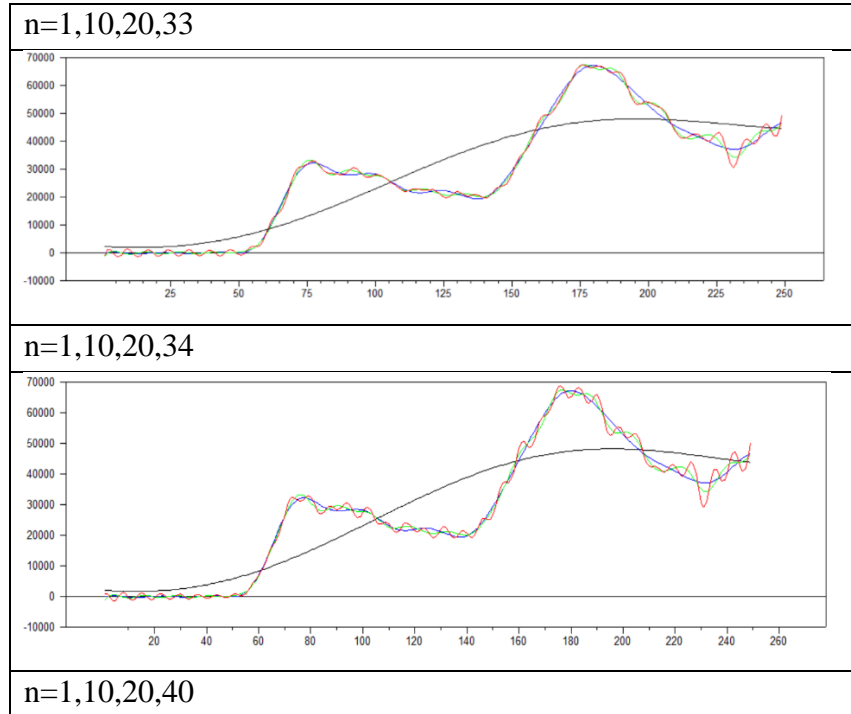
Serinin deterministik kısmının tahmini için kümülatif Fourier fonksiyonu ile kullanılmaktadır. Vakalar $y_t = \beta_1 + \alpha y_{t-1} + WP_t + u_t \rightarrow WP_t = \phi(t)$ fonksiyonu ile tahmin edilmektedir. Fourier Gösterim Teoreminin standart fonksiyonu $\phi(t) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^N \alpha_i \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \sum_{k=1}^N \beta_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right)$ dalga ve fazlara birebir yakınsayan modeli (Şekil 7.a) ile RATS programında kod yazılarak uygulanmıştır. Fonksiyonun sseriye yaklaşması için n sıklık sayısının belirlenmesi gerekmektedir. Fonksiyonun nasıl yakınsadığını görmek için Şekil 5’de serbestlik derecesi n=1-12 değerleri sırayla verilerek fonksiyonun hareketi incelenmektedir.

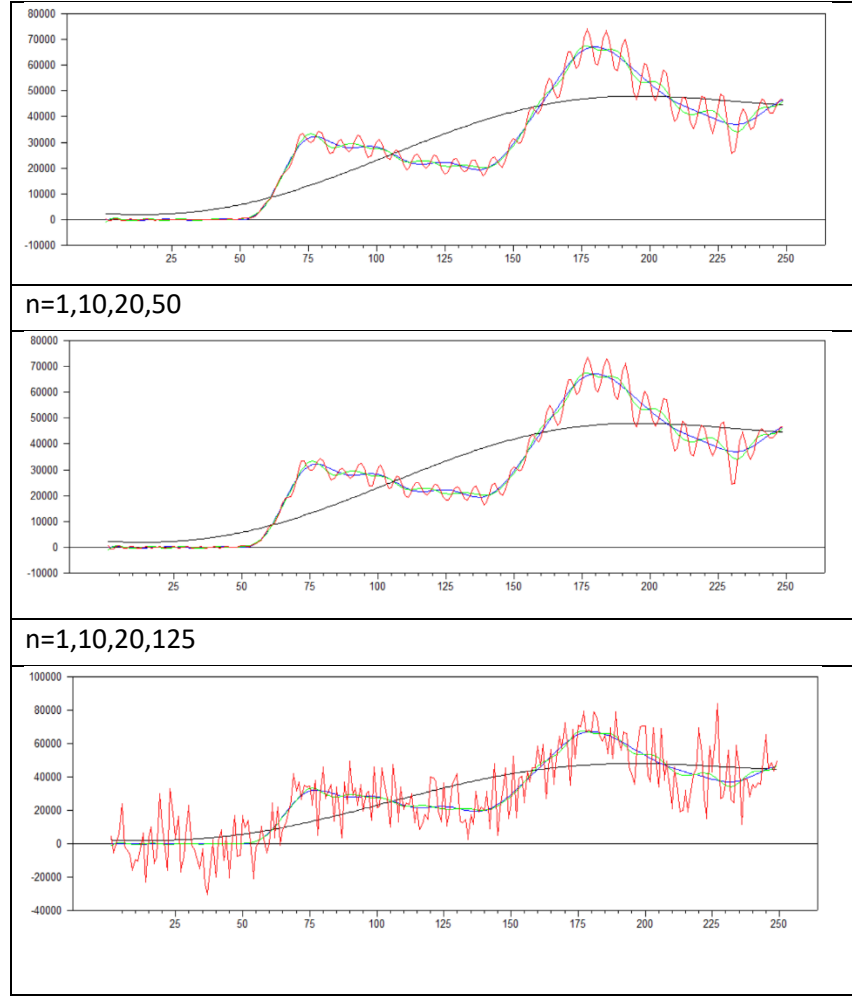




Şekil 5. n derecelerine göre Kümülatif Fourier tahminleri

Şekil 5’de de görüldüğü üzere fourier fonksiyonunu n sıklık sayısını artırdıkça seriye daha iyi yakınsamaktadır. Literatür kısmında da bahsedildiği üzere fourier fonksiyonunda n sıklık sayısı gözlem sayısının yarısı olur ise seriye birebir yakınsamaktadır. Ancak bu durum serbestlik derecesini düşürüleceği için uygulanacak istatistik testinin gücünü düşürmektedir ve istenen bir durum değildir. Lüiteratürde bahsedilen bu problem serinin overfitting olarak ifade edilen aşırı tahmin edilmesidir. Bu sorunu göstermek için n sıklık sayısına farklı değerler veren örnekler Şekil 6’da verilmektedir.





Şekil 6. n frekans sayısı üzerine farklı değerler ile denemeler

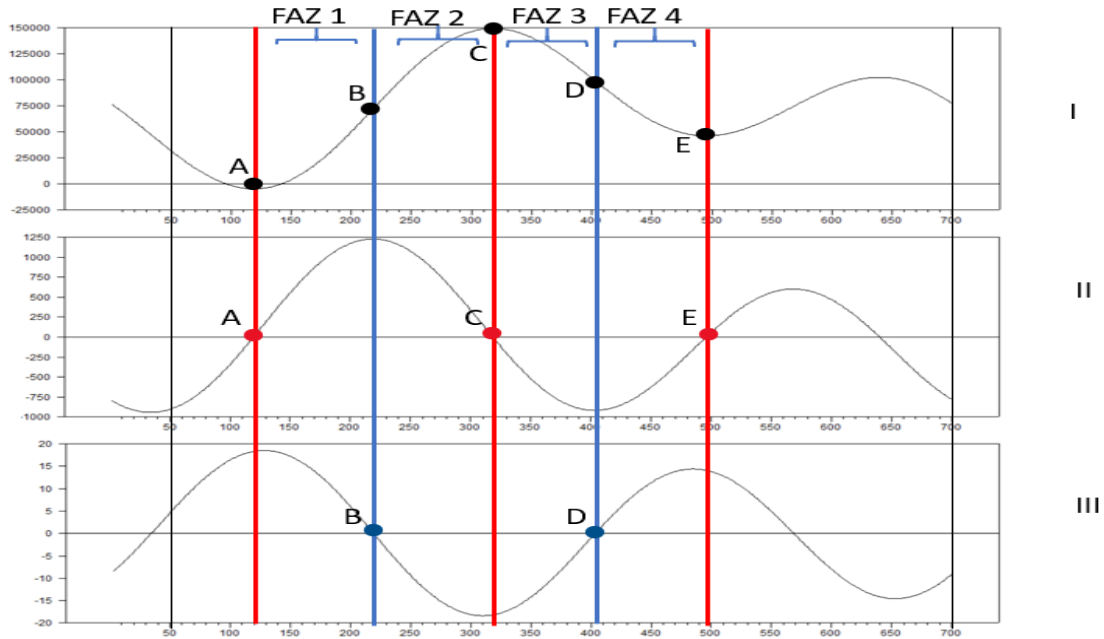
Şekil 6'da n değerleri için farklı denemeler yapılmıştır. Şekil 6.b' de n=34 değeri verildiğinde tahmin sersinin hareketinin stokastik forma geçtiği görülmektedir. n sayısı daha ileri götürülerek şekil6.a-b'de n=40,50 değerleri verildiğinde serinin stokastik hareketi daha keskin formda ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada birebir yakınsama aranan bir durum değildir. Burada fourier fonksiyonun kullanım amacı serinin detrend edilerek optimum noktalarını tespit etmektir. Şekil 5 ve 6 incelendiğinde n değeri arttıkça dalganın hareketine yakınsadığı, bir yerden sonra da aşırı tahmin edildiği görülmektedir. n sayısının minimum tutulması literatürde istenen bir durum olması sebebi ile $\min_{\beta} (u_t^2)$

için $y_t^* = y_t - \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \sum_{k=1}^n \beta_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) \rightarrow y_t^* = u_t$ kısıtı uygulanmıştır. Bu

kısım günlük vaka sayısı üzerinden kümülatif fourier fonksiyon uygulanarak üretilen yeni serinin hata terimlerinin optimal noktalara en yakın uzaklığı alınmıştır. Beş gelişmiş ülke

için de n sayısı 10, türkiye için ise 18 olarak tespit edilmiştir. n=10 ve 18 dereceden kümülatif Fourier fonksiyon ile üretilen seri vaka sayısının yayılım hızını yani trendini temsil etmektedir.

Optimal n sayısı belirlenerek uygun trend belirlenen serinin dalgaları fazlara bölünmelidir. A-B noktaları arasında kalan dalganın başlangıcını temsil eden pozitif ivmeli alan Faz 1'i, B-C noktaları arasında kalan alan Faz 2'yi, C-D noktaları arasında kalan alan Faz 3'ü ve D-E noktaları arasında kalan alan Faz 4'ü temsil etmektedir. Şekil 7 dalgaların fazlara bölünme aşamasını göstermektedir. Şekil 7.I fourier fonksiyonu ile elde edilen trendi göstermektedir. Fourier fonksiyonunun zamana göre birinci türevi alınıp sıfıra eşitlendiğinde $\frac{d\phi(t)}{dt} = 0$ (Şekil 7.II); dalgaların başlangıç (A) ve tepe noktası (C) ve bitiş noktası (E) elde edilir. Böylece A, C ve E noktaları ile kümülatif Fourier eğiliminin optimum noktaları elde edilmekte ve dalgayı ikiye ayırmaktadır. Trendin ikinci dereceden türevi alınıp sıfıra eşitlendiğinde ise $\frac{d^2\phi(t)}{dt^2} = 0$ (Şekil 7.III) fonksiyonun hızının değişim noktasını (inflection point) dolayısıyla her bir fazı vermektedir. (Not: Dalgaların ayrışmasının gösterilmesi için şekil 7'de sıklık frekansı n = 2 alınmıştır.)



Şekil 7. Dalga ve Faz ayrımının değişim noktaları

Kümülatif Fourier fonksiyonu ile tahmin edilen vaka sayılarının hızının değişim noktalarını saptayabilmek için birinci ve ikinci derece türevi alınarak sıfıra eşitlenmiştir. Uygulanan bu işlemlerin sonucunda vaka sayısının değişim hızına göre elde edilen dalga ve faz tarihleri Tablo 2'de verilmiştir. Ülkelerin vaka sayılarına $n=10$ ve 18 için uygulanan analiz sonuçları Tablo2,3,4 ve 5' de yer almaktadır.

Tablo 2. Kumulatif Fourier Dönüşümü kullanarak Dalga ve Faz Değişim Tarihleri

	AUS	CAN	DEU	FRA	USA	TUR
	Tarih Aralığı	Tarih Aralığı	Tarih Aralığı	Tarih Aralığı	Tarih Aralığı	Tarih Aralığı
Dalga 1	21.01.20-1.5.20	26.1.20-30.06.20	27.1.20-3.5.20	24.1.20-21.5.20	22.1.20-21.5.20	11.03.20-12.05.20
Faz 1	26.01.20- 6.03.20	26.01.20-18.03.20	27.01.20-7.03.20	24.01.20-20.03.20	22.01.20-17.03.20	11.03.20-31.03.20
Faz 2	7.03.20-26.03.20	19.03.20-20.04.20	8.03.20-28.03.20	21.03.20-10.04.20	18.03.20-13.04.20	1.04.20-16.04.20
Faz 3	27.03.20-10.04.20	21.04.20-27.05.20	29.03.20-12.04.20	11.04.20-29.04.20	14.04.20-30.04.20	17.04.20-28.04.20
Faz 4	11.04.20-1.05.20	28.05.20-30.06.20	13.04.20-3.05.20	30.04.20-21.05.20	1.05.20-21.05.20	29.04.20-12.05.20
Dalga 2	18.6.20-14.9.20	21.8.20-28.2.21	10.9.20-22.2.21	18.7.20-15.12.20	22.5.20-17.9.20	13.05.20-6.11.20
Faz 1	18.06.20-10.07.20	21.08.20-21.11.20	10.09.20-12.10.20	18.07.20-11.10.20	22.05.20-19.06.20	7.11.20-23.11.20
Faz 2	11.07.20-31.07.20	22.11.20-25.12.20	13.10.20-13.12.20	12.10.20-5.11.20	20.06.20-27.07.20	24.11.20-9.12.20
Faz 3	1.08.20-19.08.20	26.12.20-1.02.21	14.12.20-16.01.21	6.11.20-22.11.20	28.07.20-25.08.20	10.12.20-21.12.20
Faz 4	20.08.20-14.09.20	2.02.21-28.02.21	17.01.21-22.02.21	23.11.20-15.12.20	26.08.20-17.09.20	22.12.20-8.02.21
Dalga 3	5.7.21-	1.3.21-9.7.21	23.2.21-16.6.21	16.12.20-22.6.21	18.9.20-9.3.21	9.02.21-4.07.21
Faz 1	5.07.21-10.09.21	1.03.21-27.03.21	23.02.21-24.03.21	16.12.20-10.03.21	18.09.20-10.11.20	9.02.21-30.03.21
Faz 2	11.09.21-6.10.21	28.03.21-21.04.21	25.03.21-16.04.21	11.03.21-1.04.21	11.11.20-26.12.20	31.03.21-14.04.21
Faz 3	7.10.21-2.11.21	22.04.21-16.05.21	17.04.21-12.05.21	2.04.21-24.04.21	27.12.20-30.01.21	15.04.21-29.04.21
Faz 4		17.05.21-9.07.21	13.05.21-06.21	25.04.21-22.06.21	31.01.21-9.03.21	30.04.21-4.07.21
Dalga 4		10.7.21-3.11.21	23.7.21-	23.6.21- 30.0.21	18.6.21-22.10.21	5.07.21-
Faz 1		10.07.21-21.08.21	23.07.21-4.11.21	23.06.21-17.07.21	18.06.21-2.08.21	5.07.21-25.07.21
Faz 2		22.08.21-16.09.21		18.07.21-10.08.21	3.08.21-1.09.21	26.07.21-9.09.21
Faz 3		17.09.21-5.10.21		11.08.21-31.08.21	2.09.21-25.09.21	10.09.21-21.10.21
Faz 4		6.10.21-3.11.21		1.09.21-30.09.21	26.09.21-22.10.21	

Ülkelerin günlük vaka seyri incelendiğinde; Tablo 2 ve Şekil-5'den görülebileceği gibi, Avustralya ve Almanya üç dalgaya sahipken Kanada, Fransa ve Amerika ve Türkiye’de dört dalga yaşanmıştır. Kanada, Almanya ve Fransa neredeyse aynı dönemde benzer hareketlerle pandemi sürecini yaşarken, Avustralya ikinci dalgadan sonra bu ülkelerden farklı hareket sergilemiştir.

Table 3. Dalga ve Faz Uzunlukları

	AUS	CAN	DEU	FRA	USA	TUR
	Gün	Gün	Gün	Gün	Gün	Gün
Dalga 1	93	153	94	115	117	59
Faz 1	40	52	40	56	55	20
Faz 2	19	32	20	20	26	15
Faz 3	14	36	14	18	16	11
Faz 4	20	33	20	21	20	13
Pilot Bölge	48	52	130	58	-	177
Dalga 2	85	188	162	147	115	90
Faz 1	22	92	32	85	28	16
Faz 2	20	33	61	24	37	15
Faz 3	18	37	33	16	28	11
Faz 4	25	26	36	22	22	48
Pilot Bölge	294	-	-	-	-	-
Dalga 3	118	127	110	185	169	142
Faz 1	67	26	29	84	53	49
Faz 2	25	24	22	21	45	14
Faz 3	26	24	25	22	34	14
Faz 4		53	34	58	37	65
Pilot Bölge	-	-	37	-	101	-
Dalga 4	-	113	104	96	123	106
Faz 1		42	104	24	45	20
Faz 2		25		23	29	45
Faz 3		18		20	23	41
Faz 4		28		29	26	

Tablo 3’de verilen dalgaların uzunlukları incelendiğinde; birinci dalgayı gelişmiş ülkeler arasında Avustralya ve Almanya’nın gelişmiş ülkelere göre oldukça kısa sürede atlatırken, Fransa ve Amerika’da daha uzun ve benzer yayılım süreci geçirmiştir. Türkiye ise pandemi sürecine gelişmiş ülkelerden neredeyse bir ay daha geç girmiştir. Bu durum pandeminin başında Covid-19 virüsünün tespit edilmesine yönelik uygulanan testlere ulaşmakta zorluklardan kaynaklanabilir. Birinci dalga faz bazında incelendiğinde birbiri

ile neredeyse aynı dalga uzunluğuna sahip ülkelerin fazlarının da neredeyse aynı uzunluklarda olduğu görülmektedir. Kanada ise hem birinci hem ikinci dalgada fazları en uzun sürede tamamlayan ülke olmuştur. Tablo 2 ve Tablo3’de görüldüğü üzere birinci dalga sonunda Amerika hariç diğer ülkelerin ikinci dalgaya yakalanmadan önce vakaları stabil tuttukları bir aralık dönemleri bulunmaktadır. Gelişmiş ülkeler içinde Almanya birinci dalga ile ikinci dalga arası en uzun aralığa sahip ülkedir. Türkiye ise gelişmiş ülkelerden daha uzun bir pilot bölgeye sahiptir. Bu durum alınan önlemler ile vaka sayısı yayılma hızını kontrol altında tutabildiği anlamına gelebilir. Amerika ise vaka yayılma hızını kontrol altına alamadan ikinci dalgaya başlamıştır.

İkinci dalgada Avustralya ve Amerika pandemi seyrinde istikrarlı tavrını sürdürmüş ve neredeyse birinci dalga ile aynı uzunlukta dalga uzunluğu ile ikinci dalgayı da atlattır. Ancak Şekil 4’de görüldüğü üzere Avustralya’da birinci dalga ile ikinci dalga boyu çok farklı değildir. Bu durum diğer ülkelerden farklı olarak iki dalga süresince toplumun aynı oranda pandemiden etkilendiğini gösterebilir. Diğer ülkelerde ise ikinci dalga boyu birinci dalgaya göre çok daha büyüktür. Yani aynı zaman diliminde çok daha fazla kişi hastalık geçirmiştir. Almanya ise birinci dalgadan farklı olarak neredeyse iki katı dalga boyu ve uzunluğunda ikinci dalgayı atlattır. İkinci dalga faz bazında incelendiğinde ise Amerika’nın birinci fazını birinci dalgaya göre çok daha kısa sürede tamamladığı görülmektedir. Fransa ve Kanada birinci fazını diğer ülkelerin neredeyse dört katı zamanda tamamlamıştır. Almanya diğer ülkelerden ikinci fazda ayrılarak daha uzun sürede atlattır. Türkiye ise 35 günde dalganın zirvesine ulaşırken, dalganın sönümlenme aşaması olan dördüncü fazı diğer fazlarından oldukça farklı olarak uzun zamanda tamamlamıştır. Tablo 3 ve Şekil 5 birlikte incelendiğinde Avustralya ikinci dalgayı söndürdükten sonra oldukça uzun bir süre üçüncü dalgaya yakalanmamıştır ve diğer ülkelerden ayrılmıştır.

Üçüncü dalga incelendiğinde; Avustralya neredeyse 300 gün boyunca yeni bir dalgaya yakalanmayarak vaka kontrolü yapabirmiştir. Avustralya üçüncü dalgasını sönümlendirirken Omikron varyantı ile karşılaşmıştır. Avustralya hariç diğer ülkeler ikinci dalgayı söndüremeden üçüncü dalga ile karşılaşmışlardır. Avustralyanın üçüncü dalgası zaman olarak diğer ülkelerin dördüncü dalgası ile aynı zamana gelmektedir. Bu

durum ülkelerin aynı tarih aralığında farklı aşamalarda olmaları sebebi ile kıyaslama için sabit tarih aralığı almanın uygun olmadığını göstermektedir. Üçüncü dalga faz bazında incelendiğinde ise birinci fazda Avustralya diğer dalgalardaki fazlarından farklı olarak birinci fazı ve hatta ikinci dalgayı da diğer dalgalara göre uzun sürede geçirmiştir. Üçüncü dalganın sonunda Almanya yaklaşık bir ay, Amerika ise yaklaşık 3 ay kadar vaka sayısını pilot bölgede tutabilmiştir. Avustralyanın üçüncü dalgasını yaşadığı tarihlerde diğer ülkeler dördüncü dalgalarını yaşamışlardır. Almanya birinci fazın sonunda Omicron varyantı ile karşılaşırken Türkiye üçüncü fazda; Fransa, Kanada ve Amerika dördüncü dalganın bitiminde omicron varyantı ile karşılaşmışlardır. Fransa bu dalganın birinci fazını diğer dalgalara göre oldukça kısa sürede sonlandırmıştır.

İlk dalganın ardından, Amerika hariç diğer tüm ülkeler, 2. dalga'nın başlangıcına kadar vaka sayısının dalgalanmadığı, nispeten sabit kaldığı pilot bölgeye sahiptir. Bu pilot bölge boyunca yaklaşık iki aylık bir ara dönemde gelişmiş ülkeler vaka sayısını sabit tutabilmişlerdir. Türkiye ise neredeyse altı ay boyunca vaka sayısını kontrol altında tutabilmiştir. Avustralya ve Amerika 2020'nin 3. çeyreğinde 2. dalga'yı tamamlarken, diğer ülkeler 2021'in 1. Çeyreğinde tamamlamıştır. Avustralya, 2. dalga'dan sonra vaka sayısını yaklaşık on ay boyunca makul bir seviyede tutmayı başarmıştır. Bu analizle, ülkelerin farklı zamanlarda farklı pandemi koşulları yaşadıkları gösterilmiştir. Bu sonuçlar Al-Saidi ve arkadaşlarının (2020) yaptığı çalışmaya benzer olarak, farklı hazırlıklardan dolayı ülkelerin pandemi sürecine farklı şekillerde yanıt verdikleri görülmektedir. Çalışmada fazların ve dalgaların uzunlukları ile vaka sayılarının yayılım hızına etkisi arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır.

Bu sonuçlara göre vaka sayılarının dalga ve fazlara ayrılması ile ülkelerin pandemi sürecini farklı zamanlarda farklı yoğunlukta yaşadığı ve ülkeye özgü olduğunu göstermektedir. Bu nedenle ülkelerin etkin sağlık harcaması yapıp yapmadığını ölçmek amacı ile ülkeler vaka sayısının değişim hızına göre dalgalar ve fazlara ayrılarak incelenmiştir. Vaka sayılarının öngörülebilir olması, vakaların kontrol altında olduğu ve sürecin etkili bir şekilde yönetildiği anlamına gelir. Bu nedenle, fazların durağanlık durumuna bakarak sağlık harcamalarının etkin bir şekilde yapıldığı sonucuna varılabilir. Sağlık harcamalarının etkinliğini ölçmek için çalışmanın ikinci aşamasında durağanlık

durumunu incelemek için birim kök testi uygulanmıştır. Her bir ülkenin herbir fazı için ayrı ayrı yapılan ADF birim kök testi sonuçları Tablo 4'de verilmiştir. Sonuçlar, vaka sayılarının durağan olduğu dalgalar ve fazlarını göstermektedir (Tablo 4-5). Tablo 4'de verilen Intercept ve trend modeli (WIP1) kullanılarak elde edilen sonuçlara göre, özellikle pandeminin ilk fazında (Avustralya, Kanada, Almanya ve ABD, Türkiye) vakaların öngörülemeyeceği belirlenmiştir. Buna karşılık, Fransa'nın vaka sayısı pandeminin ilk günlerinde durağan görünmesine rağmen, Faz 2'de durumu kontrol edememiştir. Faz 3 ve Faz 4 dalgaları genel olarak durağan durumundadır. Bu durum, Fransa'nın olası bir pandemi şoku karşısında diğer ülkelerden farklı bir politika izlemesi olarak yorumlanabilir. Rahatlama fazı ve ikinci dalga'da, salgının başlangıcında ağır etkilenen ülkelerin uygun önlemler alarak vaka sayılarını kontrol altına aldıkları ve böylece sağlık sistemlerinin etkinliğini artırdıkları gözlemlenmiştir. Lupu ve Tiganasu (2022) tarafından benzer sonuçlar elde edilmiştir. İncelediğimiz tüm ülkelerin ortak özelliği, dalgaların başlangıcını temsil eden Faz 1'in durağan (stationarity) olmamasıdır.

Table 4. Sağlık Harcamalarının Etkinliğini Gösteren Birim Kök Testi Sonuçları

	AUS		CAN		DEU		FRA		ABD		TUR		
	Intercept	Intercept & Trend	Intercept	Intercept & Trend	Intercept	Intercept & Trend	Intercept	Intercept & Trend	Intercept	Intercept & Trend	Intercept	Intercept & Trend	
W1P1	-0,514	0,917	4,181	3,983	4,386	6,067	-8,472***	-8,056***	1,649	2,503	5,94	3,766	
W1P2	-0,206	-4,028**	-2,109	-3,481*	-0,324	-3,108	-3,484**	-3,21	-1,858	-0,811	-1,577	-2,343	
W1P3	-1,875	-5,170***	-1,98	-5,040***	-2,752*	-4,271**	-5,266***	-4,691**	-3,909**	-3,572*	-1,038	-4,025**	
W1P4	-4,725***	-6,074***	-2,177	-3,212*	-2,16	-6,267***	-3,691**	-3,887**	-4,154***	-3,133	-2,622	-3,315	
W2P1	0,881	-3,459*	0,111	-2,936	6,085	3,635	2,178	-1,211	2,425	1,633	6,310646	0,840515	
W2P2	-0,281	-3,964**	-5,810***	-6,042***	-2,374	-1,971	-3,060**	-5,187***	-1,933	1,348	-20,267***	-5,427***	
W2P3	-0,364	-5,522***	-0,811	-4,392***	-4,969***	-5,183***	-2,531	-5,676***	0,069	-4,414***	0,035	-1,656	
W2P4	-1,934	-4,322**	-5,404***	-5,906***	-2,005	1,29	-4,503***	-5,187***	-3,337**	-3,156	-2,395	-1,684	
W3P1	1,923	-0,653	2,494	0,595	2,318	-4,135**	-1,41	-2,089	4,172	0,876	2,180	1,424	
W3P2	-1,269	-4,137**	-4,206***	-5,183***	-1,315	-4,487**	-3,490**	-5,854***	-4,017***	-4,702***	-0,502	-3,185	
W3P3	3,071	-2,754	-3,813***	-5,480***	-3,606**	-5,746***	-6,505***	-6,311***	-0,715	-2,07	-0,586	-2,189	
W3P4			-3,196**	-1,754	-1,679	-5,283***	-1,847	-4,330***	-1,844	-1,596	-4,071***	-4,886***	
W4P1			2,873	-1,096	2,033	0,839	0,339	-3,681**	8,384	1,306	-0,985	-3,764**	
W4P2			-5,835***	-4,642***				-3,882***	-4,967***	-1,535	-3,029	-3,099**	-3,245*
W4P3			-4,946***	-4,787***				-1,878	-6,469***	-4,644***	-4,446**	-1,521	-2,683
W4P4			-5,796***	-5,245***				-2,017	-0,634	-0,555	-1,831		

Not: *, **, *** %10, %5, %1 anlamlılık düzeyini temsil etmektedir.

Not: W ve P, Dalga ve Faz'ı temsil etmektedir.

Bu sonuç, dalgaların birinci fazının öngörülemediği dolayısıyla birinci fazlarda sağlık harcamalarının etkin olmadığını gösterir. Almanya ve ABD ve Türkiye'nin süreci tutarlı bir şekilde yönetemedikleri gözlenmiştir. Ancak, Omicron varyantına kadar Almanya ve Avustralya üç pandemi dalgası yaşarken Kanada, Fransa, ABD ve Türkiye dört pandemi dalgası yaşamıştır. Bu durum nedeni ile süreci tutarlı yönetemeyen ülkelerin süreci tutarlı yöneten ancak daha çok pandemi dalgası geçiren ülkelere göre başarılı veya başarısız olduğunu söylemek doğru olmayacaktır. Bu durum ülkelerin farklı vaka yönetimi ve dolayısıyla sağlık politikası uygulamalarından kaynaklanabilir. Tablo 4-5'teki birim kök testi sonuçlarından görüldüğü gibi, her dalga ve faz için vaka sayısının öngörülebilirliği iddia edilemez, bu nedenle ülkeler pandemi seyri boyunca etkin sağlık harcamaları yapamazlar. Tüm bu sonuçlar Lemma 1, Önerme 1 ve Corollary 1'i doğrulamaktadır. Bu nedenle, günlük Covid-19 vakalarının durağan olduğu fazlarda, ülkelerin sağlık harcamalarının etkin olduğu sonucuna varılmaktadır. Tablo 4-5 incelendiğinde; durağanlığın genelde vaka sayısı değişim hızının azalmaya başladığı aralıkta olduğu görülmektedir.

Gelişmekte olan ülkeler kategorisinde olan Türkiye'nin ise pandemi seyri boyunca dalgalar ve fazlar arasında vaka sayılarının durağan olmadığı görülmektedir. Yani etkin bir sağlık harcaması yapamadığı gözlenmiştir. Etkin sağlık harcaması yapması için gerekli mali kaynak, teknolojik yeniliği sağlama, aşı, eğitim düzeyi, demografik yapı, kronik hasta sayısı, ülkenin ekonomik koşulları gibi bir çok sebep nedeni ile sınırlılıklar geliştirmekte olan ülkelere nazaran daha düşük düzeyde uygulanabilmektedir.

Table 5. Sağlık Harcamalarının Etkinliğinin Sonuç Tablosu

	AUS	CAN	DEU	FRA	ABD	TUR
W1P1	Birim Kök	Birim Kök	Birim Kök	Durağan	Birim Kök	Birim Kök
W1P2	Durağan	Durağan	Birim Kök	Durağan	Birim Kök	Birim Kök
W1P3	Durağan	Durağan	Durağan	Durağan	Durağan	Durağan
W1P4	Durağan	Durağan	Durağan	Durağan	Durağan	Birim Kök
W2P1	Durağan	Birim Kök	Birim Kök	Birim Kök	Birim Kök	Birim Kök
W2P2	Durağan	Durağan	Birim Kök	Durağan	Birim Kök	Durağan
W2P3	Durağan	Durağan	Durağan	Durağan	Durağan	Birim Kök
W2P4	Durağan	Durağan	Birim Kök	Durağan	Durağan	Birim Kök
W3P1	Birim Kök	Birim Kök	Durağan	Birim Kök	Birim Kök	Birim Kök
W3P2	Durağan	Durağan	Durağan	Durağan	Durağan	Birim Kök
W3P3	Birim Kök	Durağan	Durağan	Durağan	Birim Kök	Birim Kök
W3P4		Durağan	Durağan	Durağan	Birim Kök	Durağan
W4P1		Birim Kök	Birim Kök	Durağan	Birim Kök	Durağan
W4P2				Durağan	Birim Kök	Durağan
W4P3				Durağan	Durağan	Birim Kök
W4P4				Birim Kök	Birim Kök	

Ülkelerin sağlık harcamalarının hazır bulunuşluk, aşı, gelişmiş sağlık sistemi gibi faktörlerden etkilenir. Bu faktörlerden gelişmiş sağlık sistemi gelişmiş ülkeleri olarak kontrol altına alınmıştır. Pandemi dönemi sağlık harcaması incelendiği için pandemi önemi boyunca vaka başına yapılan sağlık harcaması dikkate alınmaktadır. Bu nedenle sağlık harcamalarının önemli bir kısmını oluşturan aşı harcamalarının vaka yayılım hızına etkisi incelenebilir. Amerika aşuya 12 Aralık 2020 tarihinde üçüncü dalga ikinci faz sırasında başlamıştır. Aşının başlamasının ardından Amerika Birleşik Devletleri ilk defa iki dalga arasında vaka sayı artış hızını 117 gün kadar kontrol altında tutabilmiş ve yeni dalga başlamasını önleyebilmiştir. Ancak faz bazında vaka sayılarının durağanlığı incelendiğinde; ilk iki dalgaya nazaran vaka yönetimini kaybettiği, istikrarlı bir politika yürütemediği sonucuna varılabilir. Avustralya ise aşuya üçüncü dalgadan önceki pilot dönemde başlamıştır. Üçüncü dalga aşı başlama tarihinden yaklaşık 5 ay sonra başlamıştır. Üçüncü dalga tamamlanmadan omikron varyantının yayılması nedeni ile fazlar hakkında çıkarım yapılamamıştır. Almanya ise ikinci dalga ikinci fazda aşımaya başlamıştır. Üçüncü dalga boyunca vaka sayısının durağan olduğu görülmektedir. Aşı ile birlikte Almanya'nın etkin sağlık harcaması yaptığı görülmektedir. Fransa 27 Aralık 2020 tarihine üçüncü dalganın başında aşımaya başlamıştır. Aşı öncesi ve sonrası fazlarda

belirgin bir değişiklik gözlenmemektedir. Kanada ise 14 Aralık 2020 tarihinde ikinci dalğanın ikinci fazında aşılamaaya başlamıştır. Aşı ile anlamlı bir değişiklik gözlenmemektedir. Türkiye ise gelişmiş ülkelerden yaklaşık bir ay sonra 14 Ocakta üçüncü dalğanın son fazında başlamıştır. Türkiye aşidan bağımsız olarak pandemi süresince durağanlığı sağlayamadığı gözlenmiştir. Etkin sağlık harcaması yapamadığı, etkili sağlık politikaları geliştiremediği söylenebilir. Bu örneklemdaki ülkeler için aşının vaka sayısının yayılım hızına etkisi gözlenmemiştir.

5. BÖLÜM

TARTIŞMA

Bu çalışmada sağlık harcamalarının dolaylı şekilde etkinliğini ölçmek için günlük Covid 19 günlük vaka verisi kullanılmıştır. Literatürde bir çok farklı yöntemle sağlık harcaması verisinde kullanıldığı çalışma bulunmaktadır. Fakat bu çalışmaların en çok zorlandıkları ve veriye ulaşamadıkları nokta günlük sağlık harcaması verisinin olmayışı veya günlük yapılan sağlık harcamalarının daha sonra veriye etki etmesi ve bu verilerinde uzun vadede etkinliği göstermesidir. Covid-19 dönemi ve etkilerini incelemek için yapılan çalışmalarda karşılaşılabilecek en büyük sorun parasal ölçümü çok zor bir veri seti ile karşı karşıya olunması olarak ortaya çıkmaktadır. Örneğin aşı çalışmaları geçmiş zamandan beri yapılmakta ve aşuya yapılan harcamaları hesaplamak mümkün görünmemektedir. Günlük kapanmalardan dolayı iktisadi kayıpların dolayısıyla dolaylı sağlık harcamalarının ölçümüne dair veriye ulaşamamaktadır. Birçok sağlık harcamasının örtülü yapısından kaynaklı sağlık harcamaları verisine ulaşmak Covid-19 dönemi çerçevesinde de mümkün görünmemektedir. Bu durumda sağlık harcamalarını en iyi gözlemleneceği veri sağlık harcamalarının birebir etkilemesi gereken veridir. Bu veri Covid-19 dönemi boyunca vaka sayısı olarak belirlenmiştir. Şayet vaka sayıları kontrol altına alınabiliyorsa veya azaltılabiliyorsa sağlık harcamalarının etkin olup olmadığının incelenebileceği bir yapı ortaya çıkmaktadır. Bir verinin durağanlığı veya kontrol edilebilirliği o verinin stokastik özelliklerinden kontrol edilebilir. Eğer ilgilendiğimiz veri durağan ise o veri kontrol altındadır. Kontrol altında olan bir veri ise uzun dönem öngörülebilir. Eğer uzun dönem öngörülebilir ise o zaman sağlık harcamaları bu doğrultuda değiştirilir ve etkinliği artırılabilir. Bu zincir eylemler silsilesi her bir dalga ve fazda farklı dinamikler gösterebilmektedir. Şayet her bir dalganın herbir fazında kovaryans durağanlığı sağlanabiliyorsa o zaman o dalganın o fazında vaka sayıları kontrol altına alınmıştır demektir.

Ayrıca ülkeler arası karşılaştırma yapılan çalışmalarda kıyaslama yaparken karşılaşılan problemlerden biri de homojenlik olarak ortaya çıkmıştır. İncelenen çalışmalar aynı

koşullara sahip olmayan ülkelerin birbirleri ile karşılaştırmaları uygun olmadığı gibi aynı tarih aralığında pandeminin farklı fazlarından olan ülkeleri de birbirleri ile karşılaştırılması da uygun olmadığı sonucuna varmışlardır (Vasconcelos ve ark., 2023; Shi ve ark., 2022; Lupu ve Tiganasu, 2022). Benzer olarak Chartterjee ve arkadaşları (2020) da yaptıkları çalışmada Daha sonra çeşitli ülkelerdeki salgının evrimini çizdirmiş ve farklı popülasyonlardaki COVID-19 evrimini karşılaştırma yapmak için başlangıç noktalarını seçmişlerdir. Bu çalışmanın sonuçları da ülkelerin dalga ve fazları boyunca farklı özellikler sergilediklerini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmanın sonuçları, ülkelerin sağlık harcama verimliliğinin artırılması için yapılacak çalışmaların yönünü belirlemeye yardımcı olabilir. Bu çalışmanın, sağlık harcama verimliliği konusunda önceki çalışmalara katkı sağlamaya devam etmesi ve bu alandaki ileri çalışmalar için fikir veren bir örnek teşkil etmesi beklenmektedir. Ayrıca, bu yöntem sadece Covid-19 salgınının sağlık harcama verimliliğinin test edilmesi için kullanılmak zorunda değildir. İleride ortaya çıkacak salgınlar veya hastalıklar için de uygun bir yaklaşım olabilir. Aynı zamanda, bu yöntemlerin enerji, tarım veya turizm sektörleri gibi diğer sektörlerde verimli yatırımların değerlendirilmesi için uygulanabilirliği de araştırılabilir. Son yıllarda gündeme gelen salgınlar ve ağır etkileri, salgınlara yönelik sağlık harcamalarının önemini artırmıştır. Salgınlara yönelik sağlık harcamalarının veya genelde toplumun yaşam standardını ve gelişmişlik düzeyini geliştirmesi için yapılan sağlık harcamaları veya yatırımları nihayetinde ülke ekonomilerinde dolaylı yoldan kalkınmasına ve büyümesine yardımcı olmaktadır. Bu perspektiften ele alınan çalışmada tek taraflı da olsa bu yapının testine yoğunlaşmıştır.

Pandemiyle birlikte sağlık harcamalarının önemi daha da belirgin hale gelmişken, bu etkinin sonuçlarını açıkça görebileceğimiz ortamların salgın dönemleri olduğu da açıktır. Diğer etikilerden bağımsız olarak; salgın dönemlerinde yapılan sağlık harcamalarının etkileri, salgının hızlıca durdurulmasında veya hastalanan kişi sayısının azalmasında gözlenebilir. Hem Covid-19 un kendi özelinde yapılan yanlışların giderilmesi hemde bu tarzda deneysel bir ortamın yaratılarak sağlık harcamalarının direkt etkilerinin gözlenebilmesi açısından Covid salgını dönemi sağlık harcamalarını direk test edebileceğimiz bir ortam yaratmıştır. Bu avantajdan faydalanarak yapılan sağlık

harcamalarının etkinliğini göstergesi olan vaka sayıları üzerinden test etme imkanını kullanarak sağlık harcamalarının dalga ve faza bağı olarak etkinliğinin ölçümleri OECD ülkeleri özelinde sağlıklı veriler elde edilen ülkeler için ve gelişmekte olan ülkeler ile farklılık olup olmadığını incelemek için olarak Türkiye verisi için yapılmıştır. Bu tarzda veri setleri toplumsal olarak nadir yakalanabilecek fırsatlardır. Bu anlamda oluşan deneysel sayılabilecek ortam, salgın dönemi dinamiklerinin anlaşılabilmesi ve harcama veya tedbir yanlışlıklarının giderilebilmesi için önemli bilgiler edinilmesini sağlayabilir.

Bu çalışmanın dikkate alınması gereken belirli sınırlamaları vardır. İlk olarak, çalışma kullanılan veriler sebebiyle sınırlıdır. Analiz günlük vaka sayısına dayanmaktadır; bazı vakalar eksik veya yanlış rapor edilmiş olabilir. Bu nedenle, veri doğruluğunun sınırlılığı sonuçlar ve çıkarımlar konusunda yanıltıcı olabilir. İkinci olarak, çalışma homojen bir örnekleme çalışmak amacı ile sadece beş gelişmiş ülkeye (Avustralya, Kanada, Fransa, Almanya ve Amerika) odaklanmıştır. Bu sınırlı örneklem nedeniyle sonuçlar diğer ülkeler için genelleştirilemeyebilir. Bu özelliği kontrol etmek için çalışmaya gelişmekte olan ülke olarak Türkiye eklenmiştir. Ancak yine de bu ülkelerin deneyimleri diğer ülkelerin deneyimlerini temsil etmeyebilir. Farklı ülkeler üzerinde pandeminin etkisini incelemek için daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir.

Karar vericiler, politikalarını güçlendirmeleri gerekip gerekmediğine bakılmaksızın gözlemlenen döngü uzunluğunu kullanarak pandemi dalgalarının gücünü ve eğilimini inceleyerek salgını kontrol edebilirler. Frekans analizi sayesinde, karar vericilerin verdikleri kararların etkilerini ve pandeminin döngü uzunluğunu anlamalarına olanak tanır. Daha kısa döngü uzunluğu, pandemiyi hafifletmek için politikanın güçlendirilmesi gerektiğini gösterirken, daha uzun döngü uzunluğu, politikayı gevşetilmesine olanak tanır. Böylece karar vericiler, uyguladıkları sağlık politikalarını pandemi dalgalarındaki döngü uzunluğuna göre kontrol edebilirler. Önerilen Fourier yöntemi, diğer tıbbi uygulamalardaki dalga davranışlarını analiz etmek için kullanışlıdır (Takefuji, 2021).

Sağlık ve sağlık hizmetlerine yapılan yatırımlar, özellikle acil durumlarda sosyal istikrarı sağlayabilen sağlık sistemlerinin kalitesini ve dayanıklılığını da artırabilir. Ekipman, yatak ve personel açısından fazla kapasiteye sahip modern bir sağlık sistemi, toplu

ölümlerin olduğu kazalar, doğal veya insan kaynaklı afetler ve bulaşıcı hastalıkların salgın salgınları gibi büyük çaplı tıbbi olaylara karşı bir sigorta biçimi olarak görülebilir (Chen ve diğerleri, 2020a; Takefuji, 2021) Ayrıca günümüzün birbirine bağlı dünyasında, pandemik potansiyele sahip yeni ortaya çıkan bulaşıcı hastalıklar milyonlarca hayata mal olabilir, ekonomik karışıklığa neden olabilir ve seyahat ve ticareti sekteye uğratabilir (Acemoğlu ve diğerleri, 2020; Chen et al., 2020a; Dong ve ark.,2022). Sağlık ve sağlık hizmetlerine yapılan yatırımlar, nüfus sağlığını iyileştirerek ekonomik büyümeyi hızlandırabilir. Daha sağlıklı nüfus, daha yüksek işgücü katılım oranlarına, daha yüksek üretkenliğe ve daha uzun çalışma ömrüne sahip olma eğilimindedir (Chen ve ark, 2020a , b; Chaabouni ve Saidi, 2017 ; Greene, 2005; Herrera ve Pang, 2005; Wang ve Tao, 2009). İstihdam edilen nüfusun daha fazla olması ve her işçi için daha yüksek üretim potansiyeli ile, daha sağlıklı bir nüfusa sahip bir ülke, kişi başına daha yüksek çıktı elde edebilir. Daha uzun yaşam beklentisi aynı zamanda tasarrufları, eğitimi ve araştırma ve geliştirmeye (Ar-Ge) yatırımı teşvik eder ve bu da ekonomik büyümeye katkıda bulunur (Chen ve ark., 2021; Prasetyo ve Zuhdi, 2013; Acemoğlu ve diğerleri, 2020 ; Cervellati ve Sunde, 2005; Prettner ve Trimborn, 2017).

Çoğu çalışma yalnızca zamana ve doğrusal modellere dayanmaktadır. Alternatif olarak İftimie ve arkadaşları (2021), İspanya'nın Reus kentinde günlük birinci ve ikinci dalga COVID-19 enfeksiyonları arasındaki ilişkiyi araştırmış ve halk sağlığı önlemlerinin uygulanmasıyla COVID-19 yayılımının periyodik olduğunu tespit etmiştir. Yine Dong ve arkadaşları, günlük COVID-19 enfeksiyonları gibi karmaşık doğrusal olmayan verilerle uğraşırken frekans alanında bir analiz yöntemi tercih edilmesini önermiştir. Yayılmayı kontrol etmeye yönelik tipik müdahaleler arasında karantina, izolasyon, seyahat kısıtlamaları, halka açık yerlerin kapatılması, korkuya dayalı kendi kendine karantina ve etkinliklerin iptali yer alır. Bu müdahalelerin, iş kaybı, artan okul devamsızlığı ve azalan iş gelirleri ile ilgili olarak bireylere ve topluma ekonomik maliyetleri vardır (Chen ve ark., 2021). Ayrıca, üretkenlik kayıpları, engellilik ve erken ölümler, sokağa çıkma yasakları ve diğer salgınla ilgili kısıtlamalar nedeniyle işe kısa ve uzun süreli devamsızlıktan kaynaklanabilir. Bu kayıplar orantısız bir şekilde bazı grupları diğerlerinden daha fazla etkilerken sadece bireylere ve ailelerine değil aynı zamanda topluma da önemli maliyetler getirmektedir (Yang ve ark., 2022). SARS ve 2009 grip

salgını bize tıbbi olmayan önlemlerin ve Covid-19 deneyiminin yalnızca pandemik eğrinin zirvesini düzleştirebileceğini gösterdiğinden, karar vericilerin etkili bir stratejiyi zamanında uygulamanın önemini göstermektedir (Watkins,2020). Bulaşmayı önlemek, insani, fiziksel ve finansal kaynakları seferber etmek ve afet yönetiminde yönetim çabukluğu ve vatandaşlar arasında risk farkındalığının yayılması, bir salgını kontrol etmede etkili olduğu kanıtlanmış tıbbi olmayan önlemlerden bazılarıdır (Acemoğlu ve diğerleri, 2020; Renda ve Castro, 2020). Bu nedenle, etkin sağlık harcaması yapılması için sınırlılıkların etkilerinin fazlara göre incelenmesi fazlara göre etkili olan kapanmaların tespit edilmesini mümkün kılmaktadır. Sınırlamaların etkilerinin incelenmesi sağlık harcamalarının da maliyetinin azaltılmasına yardımcı olacak politikalar geliştirilmesine olanak tanıyabilir.

Sağlık harcamalarının etkilerinin incelenmesi OECD ülkeleri ve hatta Dünya’da tüm ülkeler için gereklidir. Etkinin izlenebiliyor olması verilen politika kararlarının pandemi sürecini yönetmedeki başarısının kontrol edilmesini ve gerekli hallerde değiştirilmesine olanak sağlayabilir. Böylece gerçek zamanlı veri ile politika kararları verilmesine olanak tanıyabilir. Diğer taraftan, sağlık harcamalarının etkilerinin inceleniliyor olması sağlık harcamaya kalemlerinden biri olan teknolojik yeniliklerin ve sağlık hizmetine erişimin de etkilerinin inceleniliyor olmasına olanak tanımaktadır. Bu durum sürdürülebilir toplum sağlığının korunması ve sağlık hizmetlerine ulaşım açısından önemlidir. Etkin sağlık harcaması yapılması etkin teknolojik yeniliklerin kullanılması, daha çok ve doğru hastaya müdahale anlamına da gelmektedir. Böylece yatırımların öncelikle hangi teknolojilere yapılması gerektiğine ve sağlık hizmetine erişime dair politika önerisi geliştirilmesine yardımcı olabilir.

Sağlık hizmetinin koordinasyonu etkinliği etkileyen bir başka önemli özelliktir. Etkinliğin sağlanması için birimlerin birbiri ile koordinasyonlu çalışmaları farklı servis sağlayıcılarının birbiri ile entegre çalışmaları sağlık harcamalarının etkinliğin sağlanması için gerekli politika kararlarının alınmasına yardımcı olabilir. Dalga ve fazlara göre koordinasyon faaliyetlerinin incelenmesi faaliyetlerin iyileştirilmesi için kısa dönemli kararlar alınmasına olanak sağlayabilir.

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için sağlık harcamalarının sürdürülebilirliğine yönelik politikalar ülkelerin refahını sürdürebilmesi açısından oldukça önemlidir. Sağlık hizmetlerinin finansmanı, gelir eşitsizliklerinin giderilmesine yönelik tasarlanan reformlar etkin sağlık harcaması yapılmasına olanak sağlayabilir.

Gelişmiş veya gelişmekte olan ülkeler için sağlık hizmetlerinde erişim eşitsizliklerini azaltmaya yönelik politikalar geliştirmelidir. Ancak bu politika önerileri her ülkenin kendi dinamiklerine göre farklılık gösterebilir. Sağlık hizmetlerine erişimde demografik özellikler, sosyoekonomik durum, etnik köken gibi faktörlere göre eşitsizlik olması toplum sağlığının korunması ve sürdürülmesinde önemli rol oynar. Sağlık hizmetlerine erişimde farklılıklardan kaynaklanan eşitsizliklerin giderilmesi için politikalar geliştirilmesi sağlık harcamalarının etkinliğine de olumlu katkı vermesi açısından önemlidir. Bu nedenle ülkeleri için uygulanacak politika önerileri bölgesel ihtiyaçlara, ülke özellik ve önceliklerine, ekonomik durumuna, diğer ülkeler ile sosyal ilişkilerine, uyguladıkları reformlarına, toplumsal özelliklerine ve mevcut sağlık sistemine göre değişim gösterebilir.

Üstelik, alınacak politika kararları her ülkenin pandemi seyrine göre değişim gösterebilir. Bu nedenle politika yapıcılar alınacak politika önlemlerini vaka yayılım hızına göre almayı benimseyebilir. Böylece sistematik olarak bulunduğu sürecin dönemlerine göre sağlık harcamalarının etkinliğini inceleyebilir ve duruma göre farklı politika önlemleri alabilir. Böylece birinci fazda vaka yayılım hızını yavaşlatmaya yönelik aldığı sokağa çıkma yasağı gibi önlem ile dalganın sönümlenme aşamasında aldığı mali önlemler ile farklı dönemlerde farklı öncelikler belirlenmesi ile sağlık harcamalarının etkinliğinin yönetilmesine yönelik politika önerileri geliştirilebilir. Yani farklı aşamalarda ülkelerin farklı ihtiyaçlarına özgü politikalar geliştirilmesini sağlayabilir. Kıyaslama açısından baktığımızda aynı takvim zamanında ülkelerin birbirleri ile kıyaslanması yerine aynı süreci yaşayan ülkelerin birbirleri ile kıyaslanması kaynak etkinliği, süreç yönetimi, politika kararlarının etkinliğinin kıyaslanması bakımından homojenliği sağlayabilir. Böylece homojen örnekleme duyarlı yöntemlerin kullanımında da daha homojen bir örnekleme oluşturulması ve homojenlik problemi nedeni ile kullanılmayan yöntemlerin

tercih edilmesi sağlanabilir. Böylece daha çok yöntem ile konu farklı özelliklerine göre incelenerek farklı politika önerileri geliştirilebilir.

Özellikle birbirleri ile işbirliği içinde olan OECD ülkeleri faz ve dalgalara göre farklı politikalar benimseseler de işbirliği içine girerek bilgi paylaşımında bulunabilir. Pandemi kontrol altına almada daha başarılı olan ülkelerin analiz edilmesi ile uyguladıkları etkili politika kararları diğer ülkeler için de yol gösterici olabilir. Yenilikçi bir yaklaşım benimsenmesini sağlayabilir. Üstelik maske, hijyen, ilaç, test, teknoloji gibi tüm dünya için sınırlı olan kaynakların ülkelerin yoğunluğuna göre birbirleri ile paylaşmaları sağlanabilir. Böylece hem stok yönetimi hem sınırlı kaynak kullanımının etkin biçimde yönetilmesine yönelik politika kararları geliştirilmesi mümkün olabilir.

Sağlık harcamalarının hem uzun dönemli planlanmasında hem de kısa dönemli kararlar alınması gereken durumlar için faz ve dalga bazlı yapmak öngörü yapılmasına ve öngörüye göre politika geliştirilmesine de olanak tanıyabilir. Nihayetinde, bu politika önerileri sağlık harcamalarının verimliliğini dalga ve faz bağlamında inceleyerek, alınacak stratejik kararlarda belirli dönem ve trendlere göre politika geliştirmelerine yardımcı olması için kullanılabilir. Uygulanacak politkalar her ülkenin sağlık sistemine, mali durumuna, eşitlik düzeyine ve ihtiyaçlarına göre farklılık gösterebilir.

SONUÇ

Pandemi sürecini Şubat 2020 ile Kasım 2021 tarihleri arasında inceleyen bu çalışma, günlük yeni vakaları Kümülatif Fourier fonksiyonu kullanarak analiz etmektedir. Çalışma, ülkelerin vaka sayılarını vaka sayısı değişim hızı katsayısına (R) göre dalgalara ve fazlara ayırır. Daha sonra, fazların durağanlığını araştırmak için birim kök testi uygular. Sonuçlar, vaka sayıları durağan olduğu dalgalarda ve fazlarda sağlık harcamalarının etkililiğini göstermektedir. Sonuçlar, pandeminin ilk aşamasında ülkelerin vaka sayısını öngörememesine rağmen, sonraki fazlarda öngörülebilir olduğunu göstermektedir. Sonuçlar, dalgaların (1. faz) başlamasının istikrarsız olup öngörülemediğini göstermektedir. Birim kök testi sonuçları, ülkelerin pandeminin dalga ve fazları boyunca istikrarlı ve etkili sağlık harcamaları yapamadığını göstermektedir. Bu yöntemin avantajı, klasik yöntemlere göre daha doğrusal bir yaklaşım sunması ve faz ve dalga yapısının da dikkate alınmasıdır. Ayrıca, bu çalışma, kümülatif Fourier fonksiyonunun bir birim kök testi için nasıl kullanılabileceğini göstermektedir.

Bu çalışma, Covid 19 pandemisi sırasında 6 OECD ülkesinin kamu sağlık harcamalarının etkinliğini incelemiştir. Sonuçlar, ülkelerin pandemi sürecini farklı uzunluklarda ve yoğunluklarda deneyimlediğini ve günlük vaka sayısının değişim hızına göre dalgalarda ve aşamalara ayırmanın daha doğru bir yöntem olduğunu göstermektedir. İkinci aşamada yapılan birim kök testi, vaka sayısının durağan olduğu dalgalarda ve aşamaların sağlık harcamalarının etkin olduğunu göstermektedir. Sonuçlar doğal olarak dalgaların başlangıcının tahmin edilemez olduğunu ve ülkelerin her dalgada ve aşamada etkin sağlık harcamaları yapamadığını göstermiştir. Çalışmada, ülkelerin pandemi döneminde etkili sağlık harcamaları yaptığı dönemlerin, salgından ciddi şekilde etkilenip uygun önlemler alarak vaka sayısını kontrol etmeye başladıkları dönemler olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak bu durum gelişmekte olan ülke statüsünde bulunan Türkiye için geçerli değildir. Türkiye dalga ve fazlar boyunca sistematik bir durağanlık sergileyememiş yani vakaları yayılım hızına göre yönetememiştir. Vakaların öngörülememesi sağlık harcaması planlarının da öngörülememesine yani etkin sağlık harcaması yapılamamasına neden olmuştur. Türkiye sağlık yatırımı, pandemiye hazır bulunuşluk, pandemiye finanse edecek

kaynak bakımından gelişmiş ülkeler ile kıyaslanamasa da vaka yönetimine başarılı ülkelerin politika kararları yol gösterici olabilir.

Bu çalışmanın bulguları, pandemilerin yönetiminde kamu politikaları için önemli sonuçları vurgulamaktadır. İlk olarak, sonuçlar hazırlıklı ve etkili sağlık sistemlerinin önemini gelişmiş ve gelişmekte olan ülke düzeyinde vurgulamaktadır. Tüm ülkelerin ilk aşamalarında günlük Covid vakalarının birim kök sürecinde bulunması, ilk aşamalarda hazırlıksız olduklarını gösterir ve sağlık harcamalarında etkinliksizliğe neden olur. Çoğu ülkede pandeminin ilk aşamasının öngörülememezliği, ülkelerin pandemiye etkili bir şekilde yönetmek için güçlü bir plana sahip olmalarının önemini vurgulamaktadır. İkinci olarak, çalışma sonuçları ülkelerin pandemi sürecini farklı zamanlarda ve farklı yoğunluklarda yaşadıklarını göstermektedir, bu da kamu sağlığı politikasına özelleştirilmiş ve esnek bir yaklaşımın önemini vurgulamaktadır. Her ülke, özel durum ve ihtiyaçlarına dayalı politikalar tasarlamalıdır. Üçüncü olarak, günlük veriler aracılığıyla sağlık harcamalarının dolaylı olarak incelenmesi, ulusal ekonomilerin enfeksiyon hastalıklarının ortaya çıkmasını, tespit edilmesini ve hızlı bir şekilde yanıt vermesini ve yayılmasını önleme kapasitesini ve yeteneğini incelemeye olanak tanır. Son olarak, sonuçlar pandemi yönetiminde veri analizinin önemini göstermektedir. Çalışmada kullandığımız Kumulatif Fourier fonksiyonu ve birim kök testini uygulayarak salgının yayılma trendleri ve desenleri hakkında fikir edinmek mümkündür. Bu bilgi, kamu politikalarını bilgi temelli kararlar almak için kullanılabilir hale getirebilir.

Elbette, sağlık harcamalarının tek başına pandemiye durdurması veya yavaşlatması mümkün değildir. Sağlık harcamaları, kültürel davranışların ve ülkelerin demokrasi düzeyinin yanı sıra, ilaç dışı önlemler olarak adlandırılan sıkı tedbirlerle birlikte ele alındığında etkili olacaktır. Gelecekteki çalışmalarda, pandemi sürecinde alınan önlemlerin etkililiği, pandemi sürecine ilişkin kısa vadeli veriler ve bu değişkenler birlikte incelenerek ölçülebilir. Böylece, karar vericiler tarafından alınacak kararlar iyileştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı. İnsani Gelişme Raporu 2021/2022. [Basın Bülteni] https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/202210/HDR22%20insani%20gelisme%20ozet_11%20Ekim.pdf
- Acemoglu, D., Chernozhukov, V., Werning, I., & Whinston, M. D. (2020). A multi-risk SIR model with optimally targeted lockdown (Vol. 2020). Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research.
- Afonso, A., & Aubyn, M. S. (2005). Non-parametric approaches to education and health efficiency in OECD countries. *Journal of applied economics*, 8(2), 227-246.
- Al Saidi, A. M. O., Nur, F. A., Al-Mandhari, A. S., El Rabbat, M., Hafeez, A., & Abubakar, A. (2020). Decisive leadership is a necessity in the COVID-19 response. *The Lancet*, 396(10247), 295-298.
- Albouy, V., Davezies, L., & Debrand, T. (2010). Health expenditure models: A comparison using panel data. *Economic Modelling*, 27(4), 791-803.
- Andrews, D. W. (1993). Tests for parameter instability and structural change with unknown change point. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 821-856.
- Andrews, D. W., & Ploberger, W. (1994). Optimal tests when a nuisance parameter is present only under the alternative. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1383-1414.
- Bai, J., & Perron, P. (1998). Estimating and testing linear models with multiple structural changes. *Econometrica*, 47-78.
- Barasa, E., Kairu, A., Maritim, M., Were, V., Akech, S., & Mwangangi, M. (2021). Examining unit costs for COVID-19 case management in Kenya. *BMJ global health*, 6(4), e004159.
- Becker R, Enders W, Hurn S. (2006). Modeling Inflation and Money Demand Using a Fourier-Series Approximation. *Contributions to Economic Analysis*. 276, 221-246. [https://doi.org/10.1016/S0573-8555\(05\)76009-0](https://doi.org/10.1016/S0573-8555(05)76009-0).
- Becker, R., Enders, W., & Hurn, S. (2004). A general test for time dependence in parameters. *Journal of Applied Econometrics*, 19(7), 899-906.
- Becker, R., Enders, W., & Lee, J. (2006). A stationarity test in the presence of an unknown number of smooth breaks. *Journal of Time Series Analysis*, 27(3), 381-409.

- Blondel, S., & Vranceanu, R. (2020). COVID-19 mortality and health expenditures across European countries: the positive correlation puzzle. Available at SSRN 3679972.
- Bracewell, R. N. (1989). The fourier transform. *Scientific American*, 260(6), 86-95.
- Brown, R. L., Durbin, J., & Evans, J. M. (1975). Techniques for testing the constancy of regression relationships over time. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 37(2), 149-163.
- Caner, M., & Hansen, B. E. (2001). Threshold autoregression with a unit root. *Econometrica*, 69(6), 1555-1596.
- Cervellati, M., & Sunde, U. (2005). Human capital formation, life expectancy, and the process of development. *American Economic Review*, 95(5), 1653-1672.
- Chaabouni, S., & Saidi, K. (2017). The dynamic links between carbon dioxide (CO₂) emissions, health spending and GDP growth: A case study for 51 countries. *Environmental research*, 158, 137-144.
- Chang, T. (2011). Hysteresis in unemployment for 17 OECD countries: Stationary test with a Fourier function. *Economic Modelling*, 28(5), 2208-2214.
- Chatterjee, K., Chatterjee, K., Kumar, A., & Shankar, S. (2020). Healthcare impact of COVID-19 epidemic in India: A stochastic mathematical model. *Medical Journal Armed Forces India*, 76(2), 147-155.
- Chen, S., Kuhn, M., Prettner, K., Bloom, D. E., & Wang, C. (2021). Macro-level efficiency of health expenditure: Estimates for 15 major economies. *Social Science & Medicine*, 287, 114270.
- Chu, K., Zhang, N., & Chen, Z. (2015). The efficiency and its determinants for China's medical care system: some policy implications for Northeast Asia. *Sustainability*, 7(10), 14092-14111.
- Cylus, J., Papanicolas, I., & Smith, P. C. (2017). Using data envelopment analysis to address the challenges of comparing health system efficiency. *Global Policy*, 8, 60-68.
- Cylus, J., Papanicolas, I., & Smith, P. C. (2017). How to make sense of health system efficiency comparisons?. Copenhagen, Denmark: World Health Organization, Regional Office for Europe.
- Çelik, E. U., Omay, T. & Tuzlukaya, Ş. (2022). Testing Health Expenditure Convergence in 21 OECD Countries by Using Nonlinear Unit Root Tests. *Konuralp Medical Journal*, 14(S1), 192-205.

- Davies, C. T. H. (1987). Fourier Acceleration and Lattice Gauge Theories. *Lattice Gauge Theory'86*, 63-74.
- del Granado, F. J. A., Martinez-Vazquez, J., & McNab, R. M. (2018). Decentralized governance, expenditure composition, and preferences for public goods. *Public Finance Review*, 46(3), 359-388.
- Delis, M. D., Iosifidi, M., & Tasiou, M. (2023). Efficiency of government policy during the COVID-19 pandemic. *Annals of Operations Research*, 1-26.
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American statistical association*, 74(366a), 427-431.
- Dong, R., Ni, S., & Ikuno, S. (2022). Nonlinear frequency analysis of COVID-19 spread in Tokyo using empirical mode decomposition. *Scientific Reports*, 12(1), 2175.
- Elola-Somoza, F. J., Bas-Villalobos, M. C., Pérez-Villacastín, J., & Macaya-Miguel, C. (2021). Public healthcare expenditure and COVID-19 mortality in Spain and in Europe. *Revista Clínica Española (English Edition)*, 221(7), 400-403.
- Elola-Somoza, F. J., Bas-Villalobos, M. C., Pérez-Villacastín, J., & Macaya-Miguel, C. (2022). Public healthcare expenditure and COVID-19 mortality in Spain and in Europe. Response to the Letter from the Editor by Velasco Montes et al. *Revista clinica espanola*, 222(1), 56.
- Enders, W. (2015). *Applied econometric time series*. (4th ed). New York (US): University of Alabama.
- Enders, W., & Lee, J. (2012a). The flexible Fourier form and Dickey–Fuller type unit root tests. *Economics Letters*, 117(1), 196-199.
- Enders, W., & Lee, J. (2012b). A unit root test using a Fourier series to approximate smooth breaks. *Oxford bulletin of Economics and Statistics*, 74(4), 574-599.
- Enders, W., & Siklos, P. L. (2001). Cointegration and threshold adjustment. *Journal of Business & Economic Statistics*, 19(2), 166-176.
- Enders, W., Hoover, G. A., & Sandler, T. (2016). The changing nonlinear relationship between income and terrorism. *Journal of Conflict Resolution*, 60(2), 195-225.
- Evans, D. B., Tandon, A., Murray, C. J., & Lauer, J. A. (2001). Comparative efficiency of national health systems: cross national econometric analysis. *BMj*, 323(7308), 307-310.

- Furuoka, F. (2017). A new approach to testing unemployment hysteresis. *Empirical economics*, 53(3), 1253-1280.
- Gallant, A. R. (1984). The Fourier flexible form. *American Journal of Agricultural Economics*, 66(2), 204-208.
- Gallant, A. R., & Souza, G. (1991). On the asymptotic normality of Fourier flexible form estimates. *Journal of Econometrics*, 50(3), 329-353.
- González, A., & Teräsvirta, T. (2008). Modelling autoregressive processes with a shifting mean. *Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics*, 12(1).
- Granger, C. W., Inoue, T., & Morin, N. (1997). Nonlinear stochastic trends. *Journal of Econometrics*, 81(1), 65-92.
- Greene, W. (2005). Efficiency of public spending in developing countries: A stochastic frontier approach. World bank.
- Grigoli, F., & Kapsoli, J. (2018). Waste not, want not: the efficiency of health expenditure in emerging and developing economies. *Review of Development Economics*, 22(1), 384-403.
- Gujarati DN, Porter DC (2012). *Temel Ekonometri (Basic Econometrics)(5^a Ed.)*. Ü. Şenesen, & GG Şenesen, Çev.), Literatür Yayıncılık, İstanbul. (2011)
- Gujarati, D. N. (2014). *Essentials of econometrics*. Sage Publications.
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2001). *Temel Ekonometri (Çev. Ümit Şenesen, Gülay Günlük Şenesen)*. Birinci Basım, İstanbul: Literatür Yayınları. (1999)
- Gupta, S., & Verhoeven, M. (2001). The efficiency of government expenditure: experiences from Africa. *Journal of policy modeling*, 23(4), 433-467.
- Hansen, B. E., & Seo, B. (2002). Testing for two-regime threshold cointegration in vector error-correction models. *Journal of econometrics*, 110(2), 293-318.
- Hassaan, M. A., Abdelwahab, R. G., Elbarky, T. A., & Ghazy, R. M. (2021). GIS-based analysis framework to identify the determinants of COVID-19 incidence and fatality in Africa. *Journal of Primary Care & Community Health*, 12, 21501327211041208.
- Herrera, S., & Pang, G. (2005). Efficiency of public spending in developing countries: An efficiency frontier approach (Policy Research Working Paper No. 3645). Washington, DC: The World Bank.
- Hodrick, R. J., & Prescott, E. C. (1997). Postwar US business cycles: an empirical investigation. *Journal of Money, credit, and Banking*, 1-16.

- Iftimie, S., López-Azcona, A. F., Vallverdú, I., Hernández-Flix, S., De Febrer, G., Parra, S., ... & Castro, A. (2021). First and second waves of coronavirus disease-19: A comparative study in hospitalized patients in Reus, Spain. *PloS one*, 16(3), e0248029.
- Jakovljevic, M. B., Vukovic, M., & Fontanesi, J. (2016). Life expectancy and health expenditure evolution in Eastern Europe—DiD and DEA analysis. *Expert Review of Pharmacoeconomics & Outcomes Research*, 16(4), 537-546.
- Jin, H., & Qian, X. (2020). How the Chinese government has done with public health from the perspective of the evaluation and comparison about public-health expenditure. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(24), 9272.
- Johns Hopkins Üniversitesi Coronavirüs Kaynak Merkezi. <https://coronavirus.jhu.edu/data/new-cases> adresinden 20 Kasım 2020 tarihinde alınmıştır.
- Jones, P. M., & Enders, W. (2014). On the use of the flexible Fourier form in unit root tests, endogenous breaks, and parameter instability. *Recent Advances in Estimating Nonlinear Models: With Applications in Economics and Finance*, 59-83.
- Kapetanios, G., Shin, Y., & Snell, A. (2003). Testing for a unit root in the nonlinear STAR framework. *Journal of econometrics*, 112(2), 359-379.
- Kaya Samut, P., & Cafri, R. (2016). Analysis of the efficiency determinants of health systems in OECD countries by DEA and panel tobit. *Social Indicators Research*, 129, 113-132.
- Kerr, G., González-Parra, G., & Sherman, M. (2022). A new method based on the Laplace transform and Fourier series for solving linear neutral delay differential equations. *Applied Mathematics and Computation*, 420, 126914.
- Khan, J. R., Awan, N., Islam, M. M., & Muurlink, O. (2020). Healthcare capacity, health expenditure, and civil society as predictors of COVID-19 case fatalities: a global analysis. *Frontiers in public health*, 8, 347.
- KIZILKAYA, F., & Gökçe, E. C. (2021). Türkiye’de Finansal Gelişme ve Enerji Tüketimi İlişkisi: Fourier Yaklaşımı. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(5), 1279-1290.
- Kuan, C. M., & White, H. (1994). Artificial neural networks: An econometric perspective. *Econometric reviews*, 13(1), 1-91.

- Lavado, R. F., & Cabanda, E. C. (2009). The efficiency of health and education expenditures in the Philippines. *Central European Journal of Operations Research*, 17, 275-291.
- Leybourne, S., Newbold, P., & Vougas, D. (1998). Unit roots and smooth transitions. *Journal of time series analysis*, 19(1), 83-97.
- Lupu, D., & Tiganasu, R. (2022). COVID-19 and the efficiency of health systems in Europe. *Health Economics Review*, 12(1), 1-15.
- Mirzosaid, S. (2011). Health expenditure efficiency in the Commonwealth of Independent States: A data envelopment analysis approach. *Transition Studies Review*, 18, 384-404.
- Mulligan, C. B. (2021). The backward art of slowing the spread? Congregation efficiencies during COVID-19 (No. w28737). National Bureau of Economic Research.
- Nelson, C. R., & Plosser, C. R. (1982). Trends and random walks in macroeconomic time series: some evidence and implications. *Journal of monetary economics*, 10(2), 139-162.
- Omay, T. (2015). Fractional frequency flexible Fourier form to approximate smooth breaks in unit root testing. *Economics letters*, 134, 123-126.
- Perron, P. (1989). The great crash, the oil price shock, and the unit root hypothesis. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 1361-1401.
- Prasetyo, A. D., & Zuhdi, U. (2013). The government expenditure efficiency towards the human development. *Procedia Economics and Finance*, 5, 615-622.
- Prettner, K., & Trimborn, T. (2017). Demographic change and R&D-based economic growth. *Economica*, 84(336), 667-681.
- Qin, X., Godil, D. I., Khan, M. K., Sarwat, S., Alam, S., & Janjua, L. (2021). Investigating the effects of COVID-19 and public health expenditure on global supply chain operations: an empirical study. *Operations Management Research*, 1-13.
- Rađenović, T., Radivojević, V., Krstić, B., Stanišić, T., & Živković, S. (2022). The efficiency of health systems in response to the COVID-19 pandemic: evidence from the EU countries. *Problemy Ekorozwoju*, 17(1).
- Reinhardt, U. E., Hussey, P. S., & Anderson, G. F. (2002). Cross-national comparisons of health systems using OECD data, 1999. *Health affairs*, 21(3), 169-181.
- Renda, A., & Castro, R. J. (2020). Chronicle of a pandemic foretold. *CEPS Policy Insights*, 5.

- Rodrigues, P. M., & Robert Taylor, A. M. (2012). The flexible fourier form and local generalised least squares de-trended unit root tests. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 74(5), 736-759.
- San, X. F., & Wang, Z. C. (2019). Traveling waves for a two-group epidemic model with latent period in a patchy environment. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 475(2), 1502-1531.
- Schmidt, P., & Phillips, P. C. (1992). LM tests for a unit root in the presence of deterministic trends. *Oxford bulletin of economics and statistics*, 54(3), 257-287.
- Shi, Y., Xie, Y., Chen, H., & Zou, W. (2022). Spatial and temporal differences in the health expenditure efficiency of China: reflections based on the background of the COVID-19 pandemic. *Frontiers in Public Health*, 871.
- Singh, S., Charles, V., & Pandey, U. (2023). Examining operational efficiency with prudent risks of Covid-19: a contextual DEA analysis with an undesirable intermediate measure. *Annals of Operations Research*, 1-31.
- Sollis, R. (2005). Evidence on purchasing power parity from univariate models: the case of smooth transition trend-stationarity. *Journal of Applied Econometrics*, 20(1), 79-98.
- Soofi, M., Matin, B. K., Karyani, A. K., Rezaei, S., & Soltani, S. (2021). Health-care determinants of mortality and recovered cases from COVID-19: Do health systems respond COVID-19 similarly?. *Journal of Education and Health Promotion*, 10.
- Street, A., & Häkkinen, U. (2009). 2.7 Health system productivity and efficiency. *Performance measurement for health system improvement*, 222.
- Takefuji, Y. (2021). Fourier analysis using the number of COVID-19 daily deaths in the US. *Epidemiology & Infection*, 149.
- The Oxford Covid-19 Government Response Tracker (OxCGRT) <https://ourworldindata.org/covid-cases> adresinden 20 Ekim 2022 tarihinde alınmıştır.
- Tsay, R. S. (1998). Testing and modeling multivariate threshold models. *journal of the american statistical association*, 93(443), 1188-1202.
- Upadhyay, R. K., & Roy, P. (2016). Deciphering dynamics of recent epidemic spread and outbreak in West Africa: the case of Ebola virus. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 26(09), 1630024.

- Vasconcelos, G. L., Pessoa, N. L., Silva, N. B., Macêdo, A. M., Brum, A. A., Ospina, R., & Tirnakli, U. (2023). Multiple waves of COVID-19: a pathway model approach. *Nonlinear Dynamics*, 111(7), 6855-6872.
- Vysochyna, A. V., & Jakubowska, A. (2022). Influence of health expenditure on COVID-19 contraction: Theoretical and empirical analysis. *Heal Econ Manag Rev* (2022) 1:51–61. <http://doi.org/10.21272/hem.2022>.
- Wang, M., & Tao, C. (2019). Research on the efficiency of local government health expenditure in China and its spatial spillover effect. *Sustainability*, 11(9), 246.
- Watkins, J. (2020). Preventing a covid-19 pandemic. *Bmj*, 368. doi: <https://doi.org/10.1136/bmj.m810>
- Web of Sicence, 2023 <https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search>
- World Health Organization (WHO) Global Health Expenditure database (apps.who.int/nha/database). adresinden April 10, 2023 tarihinde alınmıştır.
- Worldometer, 2022. <https://www.worldometers.info/coronavirus/#countries>
- Yajada, M., Moridani, M. K., & Rasouli, S. (2022). Mathematical model to predict COVID-19 mortality rate. *Infectious Disease Modelling*, 7(4), 761-776.
- Yang, J., Vaghela, S., Yarnoff, B., De Boisvilliers, S., Di Fusco, M., Wiemken, T. L., ... & Nguyen, J. L. (2023). Estimated global public health and economic impact of COVID-19 vaccines in the pre-omicron era using real-world empirical data. *Expert Review of Vaccines*, (just-accepted).

EK 1. ETİK KURUL MUAFİYET FORMU

	HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ TEZ ÇALIŞMASI ETİK KOMİSYON MUAFİYETİ FORMU
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA	
Tarih: 14/07/2023	
Tez Başlığı: Sağlık Dönemi Sağlık Harcamaları Etkinliğinin Dalga ve Faz Bağlı Analizi: Seçilmiş OECD Ülkeleri Üzerine Uygulama	
Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmam:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. İnsan ve hayvan üzerinde deney niteliği taşımamaktadır, 2. Biyolojik materyal (kan, idrar vb. biyolojik sıvılar ve numuneler) kullanılmasına gerektirmemektedir. 3. Beden bütünlüğüne müdahale içermemektedir. 4. Gözlemsel ve betimsel araştırma (anket, mülakat, ölçek/skala çalışmaları, dosya taramaları, veri kaynakları taraması, sistem-model geliştirme çalışmaları) niteliğinde değildir. 	
Hacettepe Üniversitesi Etik Kurullar ve Komisyonlarının Yönergelerini inceledim ve bunlara göre tez çalışmamın yürütülebilmesi için herhangi bir Etik Kurul/Komisyon'dan izin alınmasına gerek olmadığını; aksi durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.	
Gereğini saygılarımla arz ederim.	
14.07.2023	
Adı Soyadı: <input type="text" value="ELİF BODUROĞLU"/>	<input type="text"/>
Öğrenci No: <input type="text" value="N17143214"/>	<input type="text"/>
Anabilim Dalı: <input type="text" value="İŞLETME"/>	<input type="text"/>
Programı: <input type="text" value="İŞLETME DOKTORA PROGRAMI"/>	<input type="text"/>
Statüsü: <input type="checkbox"/> Yüksek Lisans <input checked="" type="checkbox"/> Doktora <input type="checkbox"/> Bütünleşik Doktora	<input type="text"/>
<u>DANIŞMAN GÖRÜŞÜ VE ONAYI</u>	
<hr/> Prof. Dr. Kazım Barış Atıcı	
Detaylı Bilgi: http://www.sosyalbilimler.hacettepe.edu.tr	
Telefon: 0-312-2976860	Faks: 0-3122992147
E-posta: sosyalbilimler@hacettepe.edu.tr	



**HACETTEPE UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES
ETHICS COMMISSION FORM FOR THESIS**

**HACETTEPE UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES
BUSINESS ADMINISTRATION DEPARTMENT**

Date: 14/07/2023

Thesis Title: Phase and Wave Dependent Analysis of Health Expenditure Efficiency During Pandemic: A Sample of OECD Evidence

My thesis work related to the title above:

1. Does not perform experimentation on animals or people.
2. Does not necessitate the use of biological material (blood, urine, biological fluids and samples, etc.).
3. Does not involve any interference of the body's integrity.
4. Is not based on observational and descriptive research (survey, interview, measures/scales, data scanning, system-model development).

I declare, I have carefully read Hacettepe University's Ethics Regulations and the Commission's Guidelines, and in order to proceed with my thesis according to these regulations I do not have to get permission from the Ethics Board/Commission for anything; in any infringement of the regulations. I accept all legal responsibility and I declare that all the information I have provided is true.

I respectfully submit this for approval.

Name Surname:
 Student No:
 Department:
 Program:
 Status: MA Ph.D. Combined MA/ Ph.D.

ADVISER COMMENTS AND APPROVAL

 Prof. Dr. Kazım Barış Atıcı

EK 2 ORJİNALLİK RAPORU

 <p>HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU</p>
<p>HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA</p> <p style="text-align: right;">Tarih: 14/07/2023</p> <p>Tez Başlığı: Salgın Dönemi Sağlık Harcamaları Etkinliğinin Dalga ve Faz Bağımlı Analizi: Seçilmiş OECD Ülkeleri Üzerine Uygulama</p> <p>Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 77 sayfalık kısmına ilişkin, 14/07/2023 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda işaretlenmiş filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimden benzerlik oranı %4 'tür.</p> <p>Uygulanan filtrelemeler:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1- <input checked="" type="checkbox"/> Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç 2- <input checked="" type="checkbox"/> Kaynakça hariç 3- <input checked="" type="checkbox"/> Alıntılar hariç 4- <input type="checkbox"/> Alıntılar dâhil 5- <input checked="" type="checkbox"/> 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç <p>Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.</p> <p>Gereğini saygılarımla arz ederim.</p> <p style="text-align: right;">14.07.2023</p> <p>Adı Soyadı: <input type="text" value="ELİF BODUROĞLU"/></p> <p>Öğrenci No: <input type="text" value="N17143214"/></p> <p>Anabilim Dalı: <input type="text" value="İŞLETME"/></p> <p>Programı: <input type="text" value="İŞLETME"/></p> <p>Statüsü: <input checked="" type="checkbox"/> Doktora <input type="checkbox"/> Bütünleşik Dr.</p>
<p><u>DANIŞMAN ONAYI</u></p> <p style="text-align: center;">UYGUNDUR.</p> <p style="text-align: center;">_____ Prof. Dr. Kazım Barış Atıcı</p>



**HACETTEPE UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES
Ph.D. DISSERTATION ORIGINALITY REPORT**

**HACETTEPE UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES
BUSINESS ADMINISTRATION DEPARTMENT**

Date: 14/07/2023

Thesis Title: Phase and Wave Dependent Analysis of Health Expenditure Efficiency During Pandemic: A Sample of OECD Evidence

According to the originality report obtained by myself/my thesis advisor by using the Turnitin plagiarism detection software and by applying the filtering options checked below on 11/07/2023 for the total of 77 pages including the a) Title Page, b) Introduction, c) Main Chapters, and d) Conclusion sections of my thesis entitled as above, the similarity index of my thesis is 4 %.

Filtering options applied:

1. Approval and declaration sections excluded
2. Bibliography/Works Cited excluded
3. Quotes excluded
4. Quotes included
5. Match size up to 5 words excluded

I declare that I have carefully read Hacettepe University Graduate School of Social Sciences Guidelines for Obtaining and Using Thesis Originality Reports; that according to the maximum similarity index values specified in the Guidelines, my thesis does not include any form of plagiarism; that in any future detection of possible infringement of the regulations I accept all legal responsibility; and that all the information I have provided is correct to the best of my knowledge.

I respectfully submit this for approval.

14.07.2023

Name Surname:
 Student No:
 Department:
 Program:
 Status: Ph.D. Combined MA/ Ph.D.

ADVISOR APPROVAL

APPROVED.

Prof. Dr. Kazım Barış Atıcı