

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SAĞLIK HARCAMALARININ TAHMİNİNE YÖNELİK
AYRIŞTIRMA TEMELLİ YENİ BİR MODEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

REZZAN YARDIMCI

DENİZLİ, OCAK - 2024

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



SAĞLIK HARCAMALARININ TAHMİNİNE YÖNELİK
AYRIŞTIRMA TEMELLİ YENİ BİR MODEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

REZZAN YARDIMCI

DENİZLİ, OCAK - 2024

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

Rezzan YARDIMCI



ÖZET

SAĞLIK HARCAMALARININ TAHMİNİNE YÖNELİK AYRIŞTIRMA TEMELLİ YENİ BİR MODEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

REZZAN YARDIMCI

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ EŞREF BOĞAR)

DENİZLİ, OCAK - 2024

Her geçen gün sağlık hizmetlerine olan erişimin ve talebin artması sağlık harcamalarının da artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, sağlık harcamalarının planlanması, takibi ve tahmini; sağlık hizmetleri politikalarının en kaliteli şekilde sürdürülebilmesi için oldukça önemlidir. Bu tez çalışmasında, Türkiye'nin toplam sağlık harcamasını modellemek ve tahmin etmek amacıyla Trend-Artık (T-A) modeli adı verilen zaman serisi ayrıştırması temelli yeni bir tahmin modeli önerilmiştir. Önerilen T-A modeli kaskat bir yapıya sahip olup sağlık harcaması zaman serisinin iki alt bileşenini (trend ve artık) ayrı ayrı modellemeye ve tahmin etmeye çalışmaktadır. T-A modeli ilk olarak, birçok avantajı yapısında barındıran polinom regresyon modeli ile toplam sağlık harcaması zaman serisinin trend bileşeni belirlemektedir. Daha sonra ise doğrusal parametreleri En Küçük Kareler Tahmin yöntemiyle, doğrusal olmayan parametreleri ise Sinir Ağı Algoritmasıyla optimize edilmiş yeni bir artık model geliştirilerek trendden arındırılmış zaman serisi yani artık bileşeni modellenmektedir. Veri kümesi olarak Türkiye'nin 1999-2021 yılları arasındaki toplam sağlık harcamaları kullanılmıştır. Önerilen T-A modelinin modelleme ve tahmin performansı; gri modeller, regresyon modelleri, üstel yumuşatma modelleri ve ARIMA modelleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları önerilen T-A modelinin modelleme ve tahminleme performansının diğer modellerden daha iyi olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak T-A modeli ile elde edilen tahmin sonuçlarına göre 2030 yılında toplam sağlık harcaması miktarının 2,2 trilyon TL'ye ulaşacağı ve 2022'den 2030 yılına kadar yaklaşık beş kat artacağı öngörülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: Toplam sağlık harcaması tahmini, Trend-artık temelli zaman serisi ayrıştırması, Modelleme, Regresyon analizi, Sinir ağı algoritması

ABSTRACT

A NEW DECOMPOSITION-BASED MODEL FOR FORECASTING HEALTH EXPENDITURES

MSC THESIS

REZZAN YARDIMCI

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

BIOMEDICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. EŞREF BOĞAR)

DENİZLİ, JANUARY 2024

Increasing access to and demand for healthcare services day by day also causes healthcare expenditures to increase. Therefore, planning, tracking, and forecasting health expenditures; is very important to maintain health care policies at the highest quality. In this thesis, a new forecasting model based on time series decomposition called Trend-Residual (T-A) model is proposed to model and forecast Türkiye's total health expenditure. The proposed T-A model has a cascade structure and tries to model and estimate the two subcomponents of the health expenditure time series (trend and residual) separately. The T-A model first determines the trend component of the total health expenditure time series with the polynomial regression model, which has many advantages. Then, a new residual model is developed with the linear parameters optimized by the Least Squares Estimation method and the non-linear parameters by the Neural Network Algorithm, and the trend removal time series, that is, its residual component, is modeled. Türkiye's total health expenditures between 1999 and 2021 were used as the data set. Modeling and prediction performance of the proposed T-A model; compared to gray models, regression models, exponential smoothing models, and ARIMA models. Comparison results show that the modeling and forecasting performance of the proposed T-A model is better than other models. As a result, according to the forecast results obtained with the T-A model, it is predicted that the total amount of health expenditure will reach 2.2 trillion TL in 2030 and increase approximately five times from 2022 to 2030.

KEYWORDS: Total health expenditure forecasting, Trend-residual based time series decomposition, Modeling, Regression analysis, Neural network algorithm

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı ve Motivasyonu	3
1.2 Tezin Önemi	4
1.3 Tezin Organizasyonu.....	5
2. LİTERATÜR TARAMASI	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM	12
3.1 Önerilen Trend-Artık Modeli	12
3.1.1 Trend Modelleme.....	13
3.1.2 Artık Modelleme.....	14
3.2 Sinir Ağı Algoritması (SAA)	17
3.2.1 Başlangıç popülasyonu ve ağırlık matrisini oluşturma.....	17
3.2.2 Popülasyon ve ağırlık matrisini güncelleme	18
3.2.3 Bias operatörü	19
3.2.4 Transfer operatörü.....	20
4. UYGULAMA SONUÇLARI	23
4.1 Modelleme Sonuçları	23
4.2 Karşılaştırmalı Sonuçlar	27
4.2.1 Gri modeller	27
4.2.2 Regresyon modelleri	28
4.2.3 Üstel yumuşatma modelleri	29
4.2.4 ARIMA modelleri.....	29
4.3 Tahmin Sonuçları	31
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	33
6. KAYNAKLAR.....	35
7. ÖZGEÇMİŞ	42

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3. 1: 1999-2021 yıllarına ait Türkiye'nin toplam sağlık harcamaları.	13
Şekil 3. 2: Sinir Ağı Algoritmasının (SAA) sözde kodu.....	21
Şekil 3. 3: T-A modelinin genel tahmin diyagramı.	22
Şekil 4. 1: Trend modellerinin doğrulama kümesi üzerinde elde ettikleri HKOK değerleri.....	24
Şekil 4. 2: Trend modelleme sonuçları.	24
Şekil 4. 3: Artık seri	25
Şekil 4. 4: Artık modellerinin doğrulama kümesi üzerinde elde ettikleri HKOK değerleri.....	26
Şekil 4. 5: Artık modelleme sonuçları.	26
Şekil 4. 6: T-A modelinin toplam sağlık harcamasını modelleme sonuçları.	27
Şekil 4. 7: Trend ve artık modellerinin doğrulama kümesine göre elde ettikleri HKOK değerleri.	30

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2. 1: Sağlık harcamasının modellenmesi ve/veya tahminine ilişkin literatür özetleri.	7
Tablo 4. 1: T-A modeli ve karşılaştırılan diğer modellerin eğitim ve test kümesi üzerinde elde ettikleri HKOK ve MYHO değerleri.	31
Tablo 4. 2: T-A Modeli ile Türkiye'nin 2022-2030 yıllarına ait toplam sağlık harcaması tahmin sonuçları.	32



SEMBOL LİSTESİ

DSÖ	: Dünya Sağlık Örgütü
OECD	: Organization for Economic Co-operation and Development (Ekonomik Kalkınma ve İş Birliği Örgütü)
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
GSYİH	: Gayri Safı Yurt İçi Hâsıla
T-A	: Trend-Artık
ARIMA	: Autoregressive Integrated Moving Average (Otoregresif Entegre Hareketi Ortalama)
EKK	: En Küçük Kareler Tahmin Yöntemi
SAA	: Sinir Ağı Algoritması
HKOK	: Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü
MYHO	: Mutlak Yüzde Hatası Ortalaması
YSA	: Yapay Sinir Ağları
GM(1,1)	: Klasik Gri Model

ÖNSÖZ

Akademik hayatım boyunca bana birçok şey öğreten ve aynı zamanda bu tez çalışmasının yürütülmesi esnasında tüm birikimi ile bana destek olan çok değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Eşref BOĞAR'a emekleri için sonsuz teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi birikimini benden esirgemeyerek bana yol gösteren çok değerli hocam Prof. Dr. Ahmet KOLUMAN'a çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca desteklerini esirgemeyen ve birlikte çalışmaktan çok mutlu olduğum değerli hocalarım, Dr. Öğr. Üyesi Şakir ALTINSOY, Öğr. Gör. Gökçe KOÇ ve Arş. Gör. Fatma Zehra KÖSE'ye çok teşekkür ederim.

Takıldığım her engelde yanımda olan ve her zaman örnek aldığım sevgili arkadaşım Öğr. Gör. Yunus Emre TOĞAR'a çok teşekkür ederim.

Son olarak ablaları olduğum için kendimi çok şanslı hissettiğim canım kardeşlerim ve ellerinden gelenin fazlasını yaparak beni bu günlere getiren annem Altun YARDIMCI ve babam Mustafa YARDIMCI 'ya sonsuz teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Sağlık kavramı, günümüzde yaygın olarak Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından yapılan tanım ile açıklanmaktadır. DSÖ sağlık kavramını, “Sağlık, sadece hastalık ve engellilik durumunun olmaması değil aynı zamanda fiziksel anlamda, ruhen ve sosyal olarak tam anlamıyla iyilik hali olması durumudur” şeklinde açıklamıştır (Öztürk ve Kırac 2019). Sağlık kavramı yalnızca bireyleri etkileyen önemli bir parametre olmayıp aynı zamanda toplum ve devlet düzeni içinde önemli bir parametredir. Devletler, teknolojinin gelişmesiyle orantılı olacak şekilde ekonomik, sosyal ve kültürel alanlardaki politikalarda düzenlemeler yaparak vatandaşlarına kaliteli bir hayat standardı sunmayı amaçlamaktadır. Sağlık kavramı ve sistemleri bu düzenlemelerin önemli bir kısmını oluşturmaktadır (Akdur 2006; Xiong 2021). Devletlerin en önemli vazifelerinden birisi, altyapısı sağlıklı bireylerden oluşan sağlıklı bir toplum düzeni oluşturmaktır. Bu nedenle devletler, sürdürülebilir bir sağlık hizmeti ve sosyal güvenlik sistemi oluşturabilmek için sağlık hizmetleri belirleyicilerinin kontrolünü ve planını yapmalıdır. Devletler kaliteli bir sağlık hizmeti sunarak hem bireylerin hem de toplumların refah seviyesini yükselmeyi ve aynı oranda gelişmişlik düzeylerini de arttırmayı amaçlamaktadır. Ülkelerin gelişmişlik düzeyi, sahip olduğu sağlıklı birey oranına ve bireylerin sürdürülebilir ekonomik yaşamlarına bağlıdır. Bu bağlamda sağlık hizmetlerinin sürdürülebilirliği, özelde bireyler için genel de ise devletler için hayati bir öneme sahiptir (Celikay ve Gümüş 2010).

Sağlık hizmetleri, ölçülebilen bir kavram olmakla birlikte teknik uygulamalar, planlamalar ve organizasyonlara dayalı sistemler olarak görülmekte ve toplumun ihtiyaçlarını karşılamayı amaçlamaktadır. Dünya genelinde, devletler sağlık hizmetleri sistemlerini kendi ihtiyaç analizlerine ve kaynaklarına bağlı olarak düzenlemektedir. İyi bir sağlık sistemi, dünyanın her yerindeki ihtiyaç sahibi insanlara gerektiği anda en etkili şekilde hizmet eden sistemler olarak tanımlanmaktadır. Her devletin kendine özgü sağlık hizmetleri sistemi bulunmaktadır. Fakat etkin ve sürdürülebilir bir sağlık hizmetinin temelinde, güçlü bir finansman merkezi, kalite ve ekonomi açısından tatmin olmuş bir iş gücü, güvenilir kaynaklarla oluşturulmuş politikalar, gelişmiş teknolojiler ve ilaçlar, yeterli tesis ve lojistik kaynakların bulunması gerekmektedir

(Ferre ve diğ. 2014; Daniels ve diğ. 2018). Sağlık hizmetlerinin ihtiyaç analizi, toplumun yalnızca sağlıklı olup olmama durumuna bağlı olarak yapılmamakta aynı zamanda ekonomik alt yapı ve sağlık sigortası gibi sosyoekonomik etmenlere dayanan ihtiyaçlar doğrultusunda analiz edilerek oluşturulmaktadır (Kim ve Lee 2016). Teknolojinin ilerlemesi ve nüfus oranının her geçen gün artması, sağlık hizmetlerine olan talebin artmasına ve böylece sağlık harcamalarının da artmasına neden olmaktadır (Sayım 2017). Beşerî sermayenin önemli bir parçasını, sağlık hizmetlerinin oluşturması sebebiyle artan yaşam standartları ve iş gücü verimliliği, sağlık hizmetleri talebini ve maliyetlerini arttırmaktadır. Devletler, toplumun ömür süresini uzatmak, yeni doğan ölüm hızını düşürmek ve sürdürülebilir bir sağlık hizmeti sunmak amacıyla sağlık harcamaları plan ve politikalarını düzenlemek ve takip etmek zorundadır (Murthy ve Okunade 2009).

Uluslararası kabul edilmiş olan Ekonomik Kalkınma ve İş Birliği Örgütü'nün (Organization for Economic Co-operation and Development, OECD) tanımına göre, sağlık harcaması kavramı; bireylere (tedavi hizmetleri, rehabilitasyon hizmetleri vb.) ve toplumlara yönelik (sağlığın geliştirilmesi, koruyucu sağlık hizmetleri vb.) hizmetler kapsamında yürütülen ve tüketilen tüm sağlık hizmetlerinin ölçümü olarak tanımlanmıştır (OECD 2021). Türkiye İstatistik Kurumu'na (TÜİK) göre toplam sağlık harcaması kavramı; tedavi edici hizmetler kapsamında kullanılan malzemelerin (lens, implant, işitme cihazları, diyaliz vb.), tıbbi cihazların ve sağlık hizmeti veren kurumların tüketim harcamaları olarak tanımlanmaktadır (TÜİK 2020). Başka bir deyişle toplam sağlık harcamaları; kamu ve özel sektör tarafından gerçekleştirilen sağlık hizmetleri kapsamındaki tüm ürün ve hizmetlerin tüketim maliyeti olarak ifade edilmektedir (Novignon ve diğ. 2012).

Ülkelerin sağlık hizmetleri düzeyini ve ekonomik altyapısını belirleyen ana faktörlerden birisi toplam sağlık harcaması ve Gayri Safi Yurt İçi Hasıla'dır (GSYİH). GSYİH'nin toplam sağlık harcamalarına göre oranı ise ülkelerin gelişmişlik düzeyi ile doğrusal bir ilişkiye sahip olduğu literatürde açıkça belirtilmiştir. GSYİH, ülkelerin bir yıl içerisinde gerçekleştirdiği toplam tüketim, ithalat ve ihracat oranları ile yatırımlarının toplamıdır. Toplam sağlık harcamalarının, GSYİH içindeki payı ekonominin kalkınmasıyla doğru orantılıdır. Türkiye'de 1999 yılında toplam sağlık harcamasının GSYİH'nin içindeki payı %4,6 olarak hesaplanmıştır. 2008 ve 2009

yıllarında ise %5,8'e çıkarak en yüksek oranına ulaşmıştır. Fakat Türkiye'de 2009 yılını takiben yaşanan ekonomik kriz sebebiyle devamındaki yıllarda toplam sağlık harcamasının GSYİH içindeki oranı düşüşe geçmiştir. 2018 ve 2019 yıllarındaki ekonomik kalkınma planları ile bu oran 2021 yılında %4,9'a yükselmiştir. Türkiye'nin 1999 yılındaki toplam sağlık harcaması 4,985 milyar TL iken TÜİK'in 2022 yılında yayınladığı rapora bakıldığında toplam sağlık harcaması 2020 yılına göre %41,6 artarak, 2021 yılında 353 milyar 941 milyon TL'ye yükselmiştir (TÜİK 2022).

TÜİK'in son yayınladığı raporlara bakıldığında Türkiye'nin toplam sağlık harcamasının yıllar içerisinde çarpıcı bir şekilde arttığı görülmektedir. Bu sebeple Türkiye'nin sağlık hizmetlerinin sürdürülebilirliğini ve gelişimini sağlamak amacıyla toplam sağlık harcamalarını tahmin etmek ve planlamak gerekmektedir. Bu bağlamda bu tez çalışmasında Türkiye'nin toplam sağlık harcamasını modellemek ve tahmin etmek için genelleme yeteneğine sahip ayrıştırma temelli yeni bir model önerilmiştir. Önerilen model Trend-Artık (T-A) modeli olarak adlandırılmıştır.

1.1 Tezin Amacı ve Motivasyonu

Türkiye'nin sağlık hizmetleri ihtiyacının tahmin belirsizliğini azaltmak ve sağlık politikalarında başarılı bir yol izlemek için sağlık harcamalarını doğru bir şekilde modellemek ve tahmin etmek gerekmektedir. Bu bağlamda, bu tez çalışmasında ilk olarak sağlık harcamalarının modellenmesi ve tahmini alanındaki çalışmalar detaylı olarak incelenmiştir. İlgili literatür taraması tamamlandığında Türkiye'nin toplam sağlık harcamasının modellenmesinin ve tahmininin yapılmadığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda gerçekleştirilen çalışmalarda birçok farklı klasik yaklaşımın kullanılmış olduğu fakat sağlık harcaması zaman serisinin ayrıştırılması temelli bir yöntemin kullanılmadığı gözlemlenmiştir. Literatürdeki bu iki araştırma boşluğu bu tez çalışmasının motivasyonunu oluşturmaktadır.

Bu motivasyonlar çerçevesinde bu tez çalışması, mevcut tahmin yöntemleri arasına girebilecek ve rekabet edebilecek yeni bir tahmin yöntemi geliştirilerek bilimsel yazına katkıda bulunmak ve geliştirilen yeni tahmin yöntemiyle, Türkiye'nin toplam sağlık harcamasını en doğru şekilde tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Bu tez çalışmasının çıktısı olan "Türkiye'nin toplam sağlık harcaması tahmini için trend-artık

ayrıştırması temelli bir modelleme yaklaşımı” başlıklı çalışma literatüre sunularak tez tamamlanmıştır.

1.2 Tezin Önemi

Sağlık harcamalarının modellenip tahmin edilmesi, genel bütçe planlaması politikalarında ve aynı zamanda sigortacılık sektöründe de hizmet veren kurumların müşterilerine doğru fiyatlandırmayı yapabilmesi için büyük öneme sahiptir. Sağlık harcamalarının gelecekteki eğilimini tahmin etmek, sağlık hizmetleri sistemlerinin sürdürülebilir finansmanına yönelik önemli bir adımdır. Bu tez çalışmasının sonuçları, karar vericilerin gerekli önlemleri almaları ve gelecek planlamalarında sürdürülebilir politikaları belirlemeleri için önemli bir referans kaynağı olacağı düşünülmektedir. Aynı zamanda birçok farklı bilim alanı için ise önemli bir kaynak niteliğindedir. Sağlık harcaması ve sağlık hizmetleri verilerinin modellenmesi, çeşitli bilim alanları tarafından incelense de Biyomedikal Mühendisliği açısından önemi oldukça fazladır. Biyomedikal Mühendisliği genel anlamda mühendisliğin analitik yönünden faydalanarak teşhis, izleme ve tedavi süreçlerinde sağlık hizmetlerinin sürdürülebilirliğini ve gelişimini hedeflemektedir. Bu disiplin, etkin bir kaynak yönetimi ile sağlık teknolojilerinin ve cihazlarının tasarımında maliyetleri düşürmeyi ve verimliliği arttırmayı amaçlamaktadır. Böylece sağlık hizmetlerinin daha erişilebilir olmasına ve toplum sağlığının iyileştirilmesine imkân sağlamaktadır. Bu çalışma, biyomedikal alanındaki tüm paydaşlara, geleceğe yönelik tıbbi cihazların finansal değerlendirmelerini yapmalarına ve sağlık teknolojilerinin kullanımının optimizasyonu konularında yardımcı olması bakımından büyük öneme sahiptir.

Ayrıca bu tez çalışması içerisinde detaylı bir literatür taramasına yer verilmiştir. Sağlık harcamaları modellenmesi ve tahmini alanındaki çalışmalar belirli kategoriler altında analiz edilerek listelenmiştir. Literatür taraması ile elde edilen bulguların, gelecekteki çalışmalar için yararlı bir kaynak olacağı düşünülmektedir.

1.3 Tezin Organizasyonu

Tezin ilk bölümünde tezin kapsamı ve genel çerçevesi tanıtılmıştır. Tezin ilerleyen kısımlarının organizasyonu ise aşağıdaki gibi özetlenebilir.

İkinci bölümde; sağlık harcamasının modellenmesi ve/veya tahminine ilişkin literatür taramasına yer verilmiştir. İlgili çalışmalar, kronolojik bir sırayla ele alınarak altı farklı başlık altında incelenmiştir. Bu başlıklar, çalışmanın kapsamında yer alan ülkeyi, kullanılan yöntemi, model çıktısını, model girdi faktörlerini, kullanılan veri yılını ve tahmin periyodunu içermektedir.

Üçüncü bölümde; tez kapsamında önerilmiş olan T-A modelinin teorik alt yapısı detaylıca açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde; T-A modeli kullanılarak Türkiye'nin toplam sağlık harcamalarının modellenmesi ve tahmini ile ilgili sonuçlar sunulmuştur. Ayrıca, literatürde sıklıkla kullanılan diğer tahmin yaklaşımları tanıtılmış ve karşılaştırmalı sonuçların analizlerine yer verilmiştir.

Son olarak beşinci bölümde ise tez çalışmasından elde edilen sonuçlara, tez çalışmasının katkılarına ve gelecekteki çalışmalara yer verilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde sağlık harcamalarını tahmin etmek ve/veya modellemek amacıyla birçok farklı çalışma bulunmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında literatürdeki çalışmalar, altı farklı başlık (ülke, kullanılan yöntem, model çıktısı, girdi faktörleri, veri yılı ve tahmin periyodu) altında sınıflandırılarak analiz edilmiştir. Literatürdeki bu çalışmaların kronolojik özeti, Tablo 2.1'de sunulmuştur. Tablo 2.1 incelendiğinde, sağlık harcamalarının modellenmesi ve tahmini alanında gerçekleştirilen ilk çalışmaların, 2000'li yılların başlarında başladığı ve son yıllarda ise sayılarının çarpıcı bir şekilde arttığı görülmektedir. İlgili çalışmalar dünyanın birçok yerinde gerçekleştirilmiş olsa da özellikle, İran, Çin, Amerika Birleşik Devletleri ve Türkiye gibi ülkeleri kapsayan çalışmaların sayısının belirgin bir şekilde daha fazla olduğu görülmektedir.

Literatür özeti, kullanılan yöntem açısından incelendiğinde ilgili çalışmalarda genellikle regresyon modelleri, gri modeller, ARIMA modelleri ve makine öğrenmesi gibi klasik yöntemlerin kullanıldığı görülmektedir. Analizler sonucunda çoğunlukla çalışmalarda, kişi başı sağlık harcaması veya toplam sağlık harcamasının modellenmesine odaklanıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, çok değişkenli yapıya sahip modellerde girdi faktörlerinin kullanıldığı, ancak bu faktörlerin neredeyse tüm çalışmalarda farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu durum, sağlık harcamalarını etkileyen birçok faktörün ve belirsizliğin olduğunu vurgulamaktadır.

Tahmin periyodu sütunu incelendiğinde ilgili literatür özetinin, yarısının sadece modelleme, diğer yarısının ise hem modelleme hem de tahmin çalışmalarını içerdiği görülmektedir. Buradan literatürdeki çalışmaların, sadece sağlık harcamalarının mevcut durumunu değil aynı zamanda gelecekteki davranışını da incelediği sonucu çıkarılmaktadır.

Tablo 2. 1: Sağlık harcamasının modellenmesi ve/veya tahminine ilişkin literatür özeti.

<i>Çalışma</i>	<i>Ülke</i>	<i>Kullanılan Yöntem</i>	<i>Model Çıktısı</i>	<i>Girdi faktörleri</i>	<i>Veri Yılı</i>	<i>Tahmin Periyodu</i>
Getzen (2000)	Amerika Birleşik Devletleri	Çok değişkenli doğrusal regresyon	Kişi başı sağlık harcaması	* Enflasyon oranları * Sağlık sektörü istihdam oranları	1966-1977	2000, 2005, 2050
Chaabouni ve Abednnadher (2013)	Tunus	* Yapay sinir ağları * Otoregresif dağıtılmış gecikme	Toplam sağlık harcaması	* GSYİH * Nüfus yaşlanması * Tıbbi yoğunluk * Çevre kalitesi	1961-2006	2007-2020
Guemmegne ve diğ. (2014)	Amerika Birleşik Devletleri	Büyüme modelleri; * Kübik * Lojistik * Log-lojistik * Weibull * Gompertz * Üstel	Toplam sağlık harcaması		1960-2011	
Klazoglou ve Dritsakis (2018)	Amerika Birleşik Devletleri	ARIMA	Toplam sağlık harcamasının GSYİH'ye göre oranı		1970-2015	

Tablo 2. 1 (Devam): Sağlık harcamasının modellenmesi ve/veya tahminine ilişkin literatür özeti.

<i>Çalışma</i>	<i>Ülke</i>	<i>Kullanılan Yöntem</i>	<i>Model Çıktısı</i>	<i>Girdi faktörleri</i>	<i>Veri Yılı</i>	<i>Tahmin Periyodu</i>
Ozcan ve Tuysuz (2018)	Türkiye	* ARIMA * Genetik algoritma ile optimize edilmiş yuvarlanmalı gri model	Kişi başı sağlık harcaması		1995-2013	
Wu ve diğ. (2019)	Çin	Kesirli gri model	* Toplam sağlık harcaması * Kamu sağlık harcaması * Cepten yapılan sağlık harcaması		2008-2016	2017-2020
Ramezani ve diğ. (2019)	İran	ARIMA	* Toplam sağlık harcaması * Kamu sağlık harcaması * Cepten yapılan sağlık harcaması		1971-2015	2016-2020
Atalan ve diğ. (2020)	OECD Ülkeleri	Doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon modelleri	Kişi başı sağlık harcaması		2000-2017	2018-2025

Tablo 2. 1 (Devam): Sağlık harcamasının modellenmesi ve/veya tahminine ilişkin literatür özeti.

<i>Çalışma</i>	<i>Ülke</i>	<i>Kullanılan Yöntem</i>	<i>Model Çıktısı</i>	<i>Girdi faktörleri</i>	<i>Veri Yılı</i>	<i>Tahmin Periyodu</i>
Atalan (2020)	Türkiye	Regresyon modelleri	Toplam sağlık harcamasının GSYİH'ye göre oranı		1975-2017	2018-2050
Zheng ve diğ. (2020)	Çin	ARIMA	* Toplam sağlık harcaması * Kamu sağlık harcaması * Sosyal sağlık harcaması * Cepten yapılan sağlık harcaması		1978-2017	2018-2022
Ceylan ve Atalan (2021)	Türkiye	Genetik algoritma tabanlı özellik seçim stratejisine sahip, * Rastgele orman * Yapay sinir ağı * Çoklu doğrusal regresyon * Destek vektör regresyonu * İlişkili vektör makinesi	Kişi başı sağlık harcaması	* Kişi başına düşen GSYİH * Doğumda beklenen yaşam süresi * İşsizlik oranı * Doğum oranı * Doktor sayısı- Hastane sayısı	1990-2018	

Tablo 2. 1 (Devam): Sağlık harcamasının modellenmesi ve/veya tahminine ilişkin literatür özeti.

<i>Çalışma</i>	<i>Ülke</i>	<i>Kullanılan Yöntem</i>	<i>Model Çıktısı</i>	<i>Girdi faktörleri</i>	<i>Veri Yılı</i>	<i>Tahmin Periyodu</i>
Guleryuz (2021)	Türkiye	* Destek vektör regresyonu * Regresyon ağacı * Gauss süreç regresyonu	Kişi başı sağlık harcaması	* Kişi başına düşen GSYİH * Kentsel nüfus oranı * İşsizlik oranı * 65 yaş ve üstü nüfus oranı * Ortalama yaşam süresi * Hekim oranı * Toplam hastane yatak sayısı	1990-2019	
Jia ve diğ. (2021)	Çin	* Çok değişkenli yeni bir gri tahmin modeli * Klasik gri model * BP sınır ağı	Toplam sağlık harcaması	Nüfus, ekonomi, sağlık hizmeti kullanımı ve politikaya dayalı farklı göstergeler	2000-2018	
Kazemian ve diğ. (2022)	İran	* Sıradan en küçük kareler yöntemi * Vektör otoregresif regresyon modeli	Kişi başı sağlık harcaması	24 farklı faktör	1971-2016	2017-2025

Tablo 2. 1 (Devam): Sağlık harcamasının modellenmesi ve/veya tahminine ilişkin literatür özeti.

<i>Çalışma</i>	<i>Ülke</i>	<i>Kullanılan Yöntem</i>	<i>Model Çıktısı</i>	<i>Girdi faktörleri</i>	<i>Veri Yılı</i>	<i>Tahmin Periyodu</i>
Lou (2022)	Çin	Klasik gri model	* Kamu sağlık harcaması * Sosyal sağlık harcaması * Kişisel sağlık harcaması		2015-2020	2021-2025
Hedayati ve diğ. (2023)	İran	ARIMA	* Toplam sağlık harcaması * Kamu sağlık harcaması * Sosyal sağlık harcaması * Cepten yapılan sağlık harcaması * Ön ödemeli yapılan özel sağlık harcaması		2001-2019	2020-2030
Yardımcı ve Bogar (2023)	Türkiye	Trend Artık (T-A) modeli	Toplam sağlık harcaması		1999-2021	2022-2030

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümünde, Türkiye'nin toplam sağlık harcamasının modellenmesi ve tahmini için geliştirilmiş olan ayrıştırma temelli zaman serisi tahmin modelinin detaylı anlatımı verilmiştir.

3.1 Önerilen Trend-Artık Modeli

Zaman serileri, belirli bir zaman dilimine bağlı olarak analiz edilen verilerin kaydedilmesi ile oluşturulan veri kümeleri olarak tanımlanabilir. Zaman serileri günümüzde neredeyse tüm alanlarda kullanılmaktadır. Örneğin, hava durumu verileri, sensör verileri, finans verileri, sağlık hizmetleri verileri gibi veri türleri zaman serileri olarak adlandırılmaktadır.

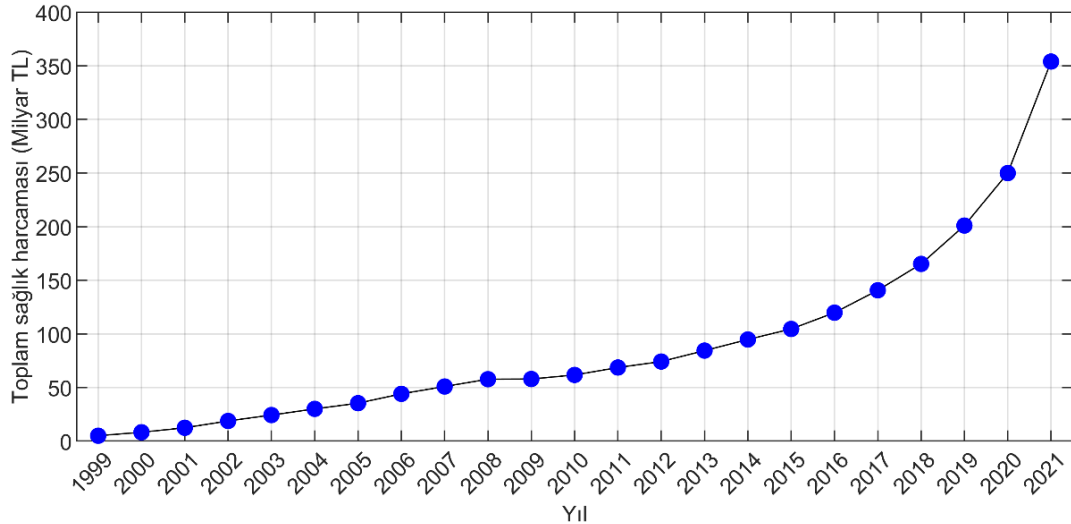
Genel olarak zaman serileri, trend/eğilim, mevsimsellik ve artık/kalıntı olmak üzere üç ana bileşenin birleşiminden oluşmaktadır (Song ve diğ. 2022; Kaytez 2020; Cekim ve diğ. 2021). Trend bileşeni, zamana bağlı olarak verilerin yükseliş, azalış veya sabit olarak hareket ettiği temel yön bilgisini ifade eder. Mevsimsellik bileşeni, belirli bir dönem içerisinde (haftalık, aylık ve yıllık gibi) düzenli aralıklarla tekrarlanan mevsimsel örüntüleri temsil etmektedir. Son olarak artık bileşeni ise trend ve mevsimsellik bileşenlerinin, zaman serisinden çıkartılmasıyla elde edilen seri olarak ifade edilebilir. Artık bileşeni; rastgele dalgalanmaları, gürültünün yanı sıra trend ve mevsimsel bileşenler tarafından yakalanamayan örüntüleri de içermektedir. Bu bileşenlerin ayrı ayrı ele alınması zaman serisinin sahip olduğu karmaşıklığı azaltarak, serilerin davranışının daha iyi anlaşılmasını sağlamakta ve böylece tahmin modellerinin doğruluğunu arttırmaktadır.

Bu tez çalışmasında kullanılan, 1999-2021 yıllarına ait Türkiye'nin toplam sağlık harcaması verileri TÜİK'in veri tabanından alınmış olup, Şekil 3.1'de görsel olarak sunulmuştur. Şekil 3.1'de ele alınan zaman serisinin yükselen bir trende sahip olduğu ve mevsimsel bir davranış sergilemediği açıkça görülmektedir. Bu nedenle

sağlık harcaması zaman serisi, trend ve artık olmak üzere iki alt bileşenin doğrusal birleşimi olacak şekilde ele alınmış ve

$$y = y_t + y_a \quad (3.1)$$

biçiminde ifade edilmiştir. Burada y , toplam sağlık harcaması zaman serisini; y_t ve y_a ise sırasıyla trend ve artık serileri ifade etmektedir.



Şekil 3. 1: 1999-2021 yıllarına ait Türkiye'nin toplam sağlık harcamaları.

Bu çalışmada, toplam sağlık harcaması tahmini için, trend ve artık bileşenlerini ayrı ayrı modellemeye ve tahminlemeye çalışan kaskat yapıları bir modelleme yaklaşımı önerilmiştir. Bu yaklaşım ilk olarak ele alınan zaman serisinin trend bileşenini daha sonra ise artık bileşenini modellemeye çalışmaktadır. Bu iki bileşenin modellenmesi ile ilgili teorik bilgiler takip eden alt bölümlerde detaylı olarak sunulmuş ve ilgili bölüm önerilen modelin genel tahmin şeması/diyagramı verilerek tamamlanmıştır.

3.1.1 Trend Modelleme

Sağlık harcamasıyla ilişkili zaman serisinin trend bileşenini (y_t) belirlemek için bir polinom regresyon modeli kullanılmıştır. Bu model, doğrusal ve doğrusal olmayan farklı trend örüntülerini yakalamaya olanak tanıması ve yapısını oluşturan parametrelerin kolayca optimize edilmesi gibi önemli avantajlara sahiptir. Bu avantajlarından dolayı trend bileşeni, Denklem (3.2)'de ki gibi k . dereceden bir polinom denklemi ile modellenmiştir.

$$\hat{y}_t(t) = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \dots + \beta_k t^k = \sum_{i=0}^k \beta_i t^i, \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (3.2)$$

Bu denklemde $\hat{y}_t(t)$, t anındaki kestirilen trend verisini; $\boldsymbol{\beta} = [\beta_0 \beta_1 \dots \beta_k]^T$ ise k . dereceden polinom modelinin katsayılar vektörünü temsil etmekte olup En Küçük Kareler Tahmin (EKK) yöntemiyle Denklem (3.3)'te gösterildiği gibi bulunur.

$$\boldsymbol{\beta} = (\Phi^T \Phi)^{-1} \Phi^T \mathbf{y} \quad (3.3)$$

Burada Φ bir regresyon matrisi olup Denklem (3.4)'te verildiği gibi yazılır.

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1^0 & \dots & 1^k \\ 2^0 & \dots & 2^k \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ n^0 & \dots & n^k \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Bilindiği üzere polinom modelinin, modelleme ve tahmin performansı kullanılan polinom derecesiyle doğrudan ilişkilidir. Başka bir deyişle, polinom derecesi arttıkça yüksek modellemeye (aşırı öğrenme) bağlı olarak düşük tahmin performansı elde etmek muhtemeldir. Bu nedenle, en uygun polinom derecesini belirlemek için bir doğrulama prosesine ihtiyaç duyulduğunu belirtmekte fayda vardır.

3.1.2 Artık Modelleme

Zaman serisinin trend bileşenin belirlenmesinden sonra artık serisi ise Denklem (3.5)'te gösterildiği gibi elde edilir.

$$\mathbf{y}_a = \mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}}_t \quad (3.5)$$

Bu tez kapsamında önerilen modelleme yaklaşımın ikinci aşaması, artık serinin ($\mathbf{y}_a$) modellenmesine odaklanmaktadır. Genel olarak artık serileri dalgalanmalı bir davranış sergilemesinden dolayı literatürde, Fourier serilerine dayalı artık modeli sıklıkla kullanılmaktadır (Dejamkhooy ve diğ. 2014; Hu 2021; Wang 2013). Fourier artık modeli, artık bileşenini neredeyse tam olarak modellemesinden dolayı aşırı öğrenme problemiyle karşı karşıyadır. Bu durum, Fourier artık modelinin tahmin

doğruluğunu sınırlamaktadır. Buradan hareketle, Fourier artık modelinin dezavantajlı yapısını ortadan kaldırmak amacıyla, model parametreleri EKK ve Sinir Ağı Algoritması (SAA) ile optimize edilmiş ve genelleme yeteneğine sahip yeni bir artık model önerilmiştir. Önerilen artık model Denklem (3.6)'da verilmiştir.

$$\hat{y}_a(t) = \zeta_0 + \sum_{j=1}^m [\zeta_{2j-1} \cos(\Omega_j t) + \zeta_{2j} \sin(\Omega_j t)], \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (3.6)$$

Burada m , trigonometrik fonksiyon çifti sayısını; $\boldsymbol{\zeta} = [\zeta_0 \zeta_1 \dots \zeta_{2m}]^T$ ve $\boldsymbol{\Omega} = [\Omega_1 \Omega_2 \dots \Omega_m]^T$ ise sırasıyla modelin doğrusal ve doğrusal olmayan değişkenlerine karşılık gelen vektörlerdir.

Önerilen artık modeli ile Fourier artık modeli aynı denklem yapısına sahip olmasına rağmen sahip oldukları parametrelerden dolayı matematiksel olarak farklıdır. Bu farklılıklar aşağıdaki gibi listelenebilir.

- Bilindiği üzere Fourier serileri periyodik işaretler için kullanılmakta olup T periyot olmak üzere $\Omega_j = 2\pi/T \times j$ olarak ayarlanmaktadır. Bu serilere dayalı Fourier artık modelinde n modellenen artık serisinin uzunluğu olmak üzere $T = n$ olarak belirlenmektedir. Fourier artık modelinde Ω_j parametrelerinin bu şekilde seçilmesinden dolayı gelecekte de artık serisi aynı periyodik davranışı sergilemektedir. Oysa önerilen artık modelde, $\forall j$ için Ω_j değişkeni SAA ile bulunarak artık serinin periyodik olmayan düzensiz davranışı modellenmektedir.
- Fourier artık modelinde m değeri, n 'in tek sayı olduğu durumda $m = (n - 1)/2$ olarak çift sayı olduğu durumda $m = n/2 - 1$ olarak ayarlanmaktadır. m parametresinin bu şekilde seçilmesinden dolayı model aşırı öğrenmeye hatta zaman serisinin yapısında bulunan gürültüleri bile modellemeye neden olmaktadır. Önerilen modelde ise m trigonometrik fonksiyon çifti sayısı, doğrulama sürecinden geçirilerek bulunmakta böylece genelleme yeteneğine sahip bir model yapısı oluşturulmaktadır.

Artık serisini modellemek için önerilen artık modelde $\boldsymbol{\zeta}$ ve $\boldsymbol{\Omega}$ parametrelerinin optimize edilmesi gerekmektedir. Literatürde Bogar (2023) ile Bettayeb ve Uvaies

(2003) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda olduğu gibi artık modelin parametreleri, doğrusal ve doğrusal olmayan şeklinde ayrıştırılabilir bir yapıdadır. Bu nedenle iki farklı yöntemle hibritleştirilmiş bir optimizasyon tekniği kullanılmıştır. Bu hibrit teknik, artık modelin doğrusal parametrelerini (ζ) EKK yöntemi ile doğrusal olmayan parametrelerini (Ω) ise SAA algoritmasıyla bulmaktadır. Bu tekniğin, EKK yönteminin doğrusal parametreleri kestirme gücüyle, SAA algoritmasının doğrusal olmayan parametreleri kestirme gücünü birleştirdiğini belirtmek gerekir. Denklem (3.6)'da verilen artık model, Denklem (3.7)'de verildiği gibi parametrelere dayalı ayrıştırılabilir bir forma sahiptir.

$$\hat{y}_a = \Lambda(\Omega) \cdot \zeta \quad (3.7)$$

Denklem (3.8)'de verilmiş olan $\Lambda(\Omega)$ matrisi doğrusal olmayan parametrelerin bir fonksiyonu olup

$$\Lambda(\Omega) = \begin{bmatrix} 1 & \cos(\Omega_1) & \sin(\Omega_1) & \dots & \cos(\Omega_m) & \sin(\Omega_m) \\ 1 & \cos(2\Omega_1) & \sin(2\Omega_1) & \dots & \cos(2\Omega_m) & \sin(2\Omega_m) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 1 & \cos(n\Omega_1) & \sin(n\Omega_1) & \dots & \cos(n\Omega_m) & \sin(n\Omega_m) \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

biçiminde ifade edilir.

$\Lambda(\Omega)$ matrisine bağlı olarak önerilen artık modelin doğrusal parametreleri (ζ) ise EKK yöntemiyle Denklem (3.9) kullanılarak bulunur.

$$\zeta = (\Lambda(\Omega)^T \Lambda(\Omega))^{-1} \Lambda(\Omega)^T y_a \quad (3.9)$$

Denklem (3.9)'da bulunan doğrusal olmayan parametreler ise Denklem (3.10)'da verilmiş olan Hata Karelerinin Ortalamasının Kareköküne (HKOK) dayalı amaç fonksiyonunu minimize edecek şekilde SAA algoritmasıyla bulunmaktadır.

$$\min HKOK = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_a(t) - \hat{y}_a(t))^2} \quad (3.10)$$

Bu denklemde $y_a(t)$ ve $\hat{y}_a(t)$ sırasıyla t anındaki gerçek ve modellenen artık değerleri ifade etmektedirler.

3.2 Sinir Ağı Algoritması (SAA)

Yakın zamanda Sadollah ve diğ. (2018) tarafından önerilmiş olan Sinir Ağı Algoritması (SAA) bir meta-sezgisel algoritmadır. Adından da anlaşılacağı üzere bu algoritma, biyolojik sinir sistemlerinden ve Yapay Sinir Ağlarından (YSA) esinlenerek geliştirilmiştir. YSA, insan beyninin işlevini ve yapısını taklit etmek için tasarlanmış bir makine öğrenmesi yöntemidir. Sinir ağları, görüntü tanıma, kontrol, tahmine dayalı modelleme ve sınıflandırma dahil olmak üzere çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Boğar ve Özsüt Boğar 2017). Sinir ağları, karmaşık sorunların üstesinden gelmek için işbirliği yapan, birbirine bağlı düğümlerden veya nöronlardan oluşan karmaşık ağlardır. Genel olarak YSA'lar, girdi-çıkı arasındaki doğrusal olmayan ilişkiyi matematiksel olarak yakalamaya çalışırlar. Bu amacı gerçekleştirmek için, ağırlık faktörlerini iteratif bir şekilde güncelleyerek kestirilen çıktı ile gözlemlenen (hedef) çıktı arasındaki farkı en aza indirmeye çalışırlar. Buradan ilham alınarak geliştirilmiş olan SAA algoritması ise mevcut popülasyondaki en iyi çözümü hedef çözüm olarak belirler ve hedef çözüm ile popülasyondaki diğer çözümler arasındaki farkı en aza indirmeyi amaçlar.

SAA, kendine özgü parametre veya parametrelere ihtiyaç duymaması yani kullanıcı dostu olması bakımından birçok meta-sezgisel algoritmadan ayrılmaktadır. Buna ek olarak; SAA karmaşık optimizasyon problemlerinin çözümünde etkinliği, kolay uygulanabilirliği ve zaman verimliliği gibi önemli avantajlara sahiptir. Bahsedilen avantajlarından dolayı bu tez çalışmasında SAA algoritması kullanılmıştır. SAA algoritması aşağıda verildiği gibi dört mekanizmaya sahiptir.

3.2.1 Başlangıç popülasyonu ve ağırlık matrisini oluşturma

SAA, popülasyon tabanlı bir algoritma olduğu için rastgele başlangıç çözümleri/bireyleri üreterek optimizasyon işlemine başlar. Popülasyonu oluşturan bireyler Denklem (3.11) kullanılarak elde edilir.

$$x_{i,j}^1 = x_j^{alt} + rand. (x_j^{üst} - x_j^{alt}), i = 1, 2, \dots, N_{pop}, j = 1, 2, \dots, d \quad (3.11)$$

Denklem (3.11)'de N_{pop} , birey sayısını (popülasyon büyüklüğü); d , problemin boyutu (karar değişkeni sayısını); $x_{i,j}^1$, i . bireyin j . değişkeninin başlangıç konumunu, $rand$, 0 ile 1 arasında rastgele bir sayıyı; x_j^{alt} , j . değişkenin alt sınır değerini; $x_j^{üst}$ ise j . değişkenin üst sınır değerini ifade etmektedir. Bireylerin konumunu içeren başlangıç popülasyon matrisi Denklem (3.12)'de olduğu gibi ifade edilir.

$$\mathbf{X}^1 = \begin{bmatrix} x_1^1 \\ x_2^1 \\ \vdots \\ x_{N_{pop}}^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{1,1}^1 & x_{1,2}^1 & \cdots & x_{1,d}^1 \\ x_{2,1}^1 & x_{2,2}^1 & \cdots & x_{2,d}^1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{N_{pop},1}^1 & x_{N_{pop},2}^1 & \cdots & x_{N_{pop},d}^1 \end{bmatrix}_{N_{pop} \times d} \quad (3.12)$$

YSA'da olduğu gibi SAA'nın başlangıç ağırlıkları da rastgele oluşturulur ve başlangıç ağırlıklarını içeren ağırlık matrisi ($\mathbf{W}^1$), Denklem (3.13) ile Denklem (3.14) kullanılarak elde edilir.

$$\omega_{i,j}^1 = rand, \quad \sum_{j=1}^{N_{pop}} \omega_{i,j}^1 = 1, \quad i, j = 1, 2, \dots, N_{pop} \quad (3.13)$$

$$\mathbf{W}^1 = [\omega_1^1 \quad \omega_2^1 \quad \cdots \quad \omega_{N_{pop}}^1] = \begin{bmatrix} \omega_{1,1}^1 & \omega_{2,1}^1 & \cdots & \omega_{N_{pop},1}^1 \\ \omega_{1,2}^1 & \omega_{2,2}^1 & \cdots & \omega_{N_{pop},2}^1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \omega_{1,N_{pop}}^1 & \omega_{2,N_{pop}}^1 & \cdots & \omega_{N_{pop},N_{pop}}^1 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

Denklem (3.13)'te verilen $\omega_{i,j}^1$, i . bireyin j . ağırlığının değeridir.

3.2.2 Popülasyon ve ağırlık matrisini güncelleme

SAA'nın bu mekanizması ve takip eden alt bölümlerde verilen diğer mekanizmalar iteratif bir süreç boyunca gerçekleştirilir. Burada ki iteratif süreç ($\tau = 1, 2, \dots, \tau_{max}$) kullanıcının belirlemiş olduğu maksimum iterasyon sayısına (τ_{max}) ulaşıncaya kadar devam etmektedir. Mevcut popülasyon, sırasıyla Denklem (3.15) ve Denklem (3.16) ile güncellenir.

$$x_{\omega,j}^\tau = \sum_{i=1}^{N_{pop}} \omega_{i,j}^\tau \cdot x_i^\tau, \quad i, j = 1, 2, \dots, N_{pop} \quad (3.15)$$

$$\mathbf{x}_i^{\tau+1} = \mathbf{x}_i^{\tau} + \mathbf{x}_{\omega,i}^{\tau}, \quad i = 1, 2, \dots, N_{pop} \quad (3.16)$$

Bu denklemlerde $\mathbf{x}_{\omega,i}^{\tau}$ ağırlıklandırılmış i . bireyi ve $\mathbf{x}_i^{\tau+1}$ güncellenmiş i . bireyi temsil etmektedir.

Popülasyon matrisinin güncellenmesinden sonra ağırlık matrisi aşağıdaki Denklem (3.17) kullanılarak güncellenir.

$$\omega_i^{\tau+1} = |\omega_i^{\tau} + 2 \cdot \mathbf{rand} \cdot (\omega_h^{\tau} - \omega_i^{\tau})|, \quad i = 1, 2, \dots, N_{pop} \quad (3.17)$$

Bu denklemde $\omega_i^{\tau+1}$, i . bireyin güncellenmiş ağırlık vektörünü, ω_h^{τ} , en iyi (hedef) bireyin ağırlık vektörünü, **rand** ise eleman değerleri 0-1 aralığında olan rastgele bir vektörü ifade etmektedir. Ayrıca ağırlık matrisinin güncellenmesinde Denklem (3.18)'de verilen kısıt şartının sağlanması gereklidir.

$$\sum_{j=1}^{N_{pop}} \omega_{i,j}^{\tau+1} = 1, \quad i, j = 1, 2, \dots, N_{pop} \quad (3.18)$$

3.2.3 Bias operatörü

Meta-sezgisel algoritmalarda keşif (global arama) ve sömürü (yerel arama) olmak üzere iki önemli arama bileşeni vardır (Bogar ve Beyhan 2020; Boğar 2021). Sinir Ağı Algoritmasında da bu iki bileşen sırasıyla bias operatörü ve transfer operatörü ile sağlanmaktadır. Bu operatörler her τ . iterasyonunda modifikasyon faktörü (μ^{τ}) ile kontrol edilir. Modifikasyon faktörü Denklem (3.19)'da verildiği gibi iteratif olarak güncellenir.

$$\mu^{\tau+1} = \mu^{\tau} \times 0,99 \quad (3.19)$$

Bias operatörü, SAA'nın global arama yapması için popülasyon ve ağırlık matrisleri mutasyona uğratar. Popülasyondaki i . bireye, bias operatörü aşağıda verilen Denklem (3.20) yardımıyla uygulanır.

$$x_{i,Q(s)}^{\tau+1} = x_{Q(s)}^{alt} + rand. (x_{Q(s)}^{üst} - x_{Q(s)}^{alt}), \quad s = 1, 2, \dots, N_p \quad (3.20)$$

Burada $N_p = round(\mu^\tau \times d)$ rastgele belirlenen değişken sayısıdır. Q ise rastgele olarak belirlenen değişkenler kümesini göstermektedir. Bias operatörü i . bireyin ağırlık vektörüne Denklem (3.21)'de verildiği uygulanmaktadır.

$$\omega_{i,R(r)}^{\tau+1} = rand, \quad r = 1, 2, \dots, N_\omega \quad (3.21)$$

Burada $N_\omega = round(\mu^\tau \times N_{pop})$ ağırlık vektöründen rastgele seçilen sayısını; R ise rastgele olarak belirlenen ağırlık elemanları kümesini temsil etmektedir.

3.2.4 Transfer operatörü

Bir diğer operatör olan transfer operatör algoritmanın yerel arama görevini üstlenmektedir. Bu operatör ile yeni birey Denklem (3.22)'de verildiği gibi elde edilir.

$$x_i^{\tau+1} = x_i^{\tau+1} + 2 \cdot rand. (x_h^\tau - x_i^{\tau+1}), \quad i = 1, 2, \dots, N_{pop} \quad (3.22)$$

Denklem (3.22)'de x_h^τ ; τ . iterasyondaki en iyi (hedef) bireyi ifade etmektedir. Sınır Ağı Algoritmasının sözde kodu Şekil 3.2'de verilmiştir.

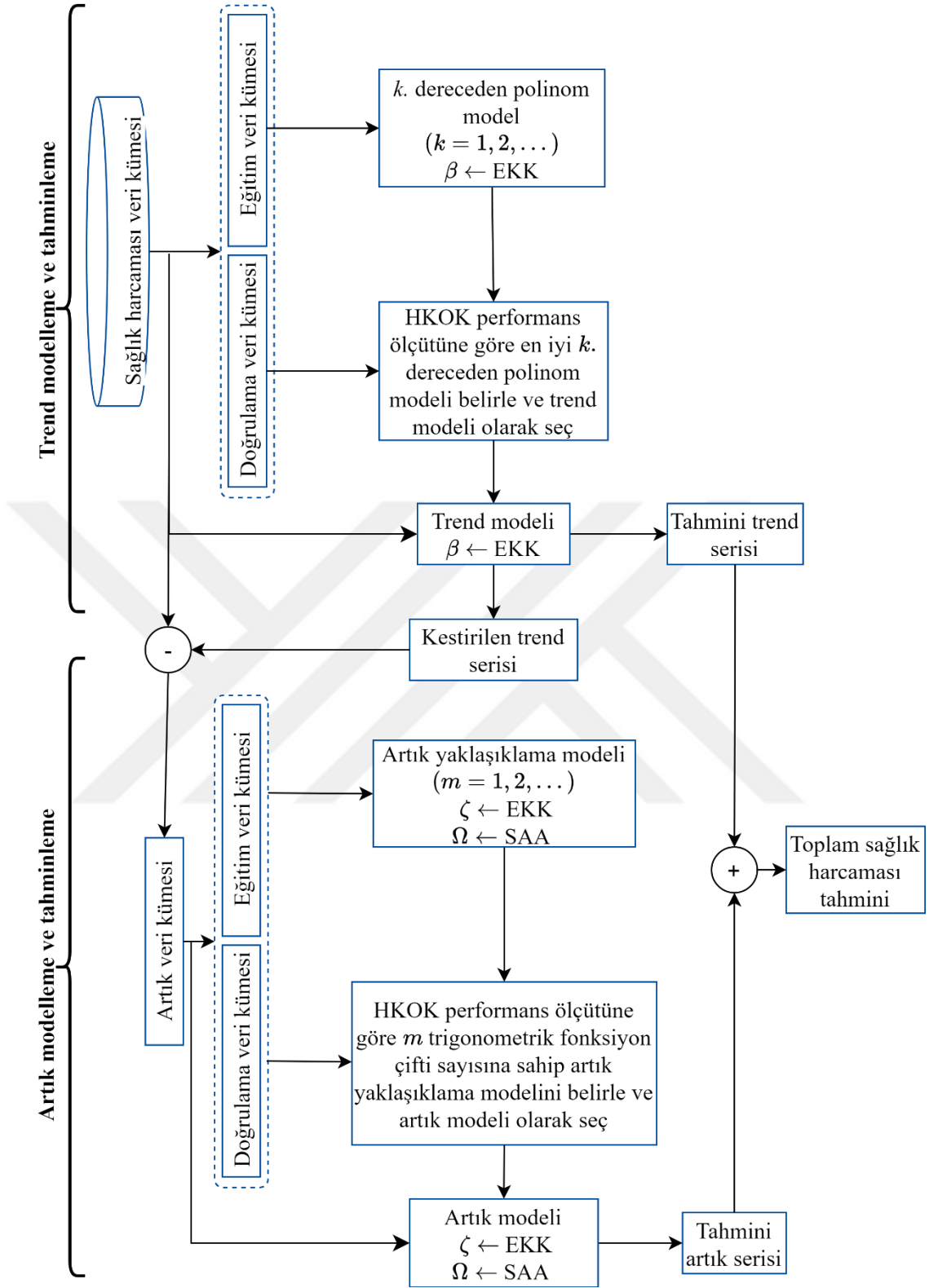
```

1: Giriş:  $N_{pop}, \tau_{max}, d, \mathbf{x}^{alt}, \mathbf{x}^{ast}, \mu^1 = 1$ 
2: Denklemler (3.11)'i kullanarak başlangıç popülasyonunu oluştur
3: Denklemler (3.13)'ü kullanarak ağırlık matrisini oluştur
4: Bireylerin uygunluk değerlerini hesapla
5: Popülasyondaki en iyi bireyi ( $\mathbf{x}_h^1$ ) ve onun ağırlığını ( $\mathbf{w}_h^1$ ) belirle
6: for  $\tau = 1$  to  $\tau_{max}$  do
7:     Denklemler (3.15) ve (3.16) ile popülasyonu güncelle
8:     Denklemler (3.17) ile ağırlık matrisini güncelle
9:     for  $i = 1$  to  $N_{pop}$  do
10:        if  $rand \leq \mu^i$  then
11:            Denklemler (3.20)'yi kullanarak  $i$ . bireye bias operatörü uygula
12:            Denklemler (3.21)'i kullanarak  $i$ . bireyin ağırlığına bias operatörü uygula
13:        else
14:            Denklemler (3.22)'yi kullanarak  $i$ . bireye transfer operatörü uygula
15:        end if
16:    end for
17:    Denklemler (3.19) ile modifikasyon faktörünü güncelle
18:    Güncellenen tüm bireylerin uygunluk değerlerini hesapla
19:    En iyi bireyi ( $\mathbf{x}_h^{\tau+1}$ ) ve hedef ağırlığı ( $\mathbf{w}_h^{\tau+1}$ ) güncelle
20: end for
21: Çıkış: En iyi çözüm ( $\mathbf{x}_h^{\tau+1}$ )

```

Şekil 3. 2: Sinir Ağı Algoritmasının (SAA) sözde kodu.

Önerilen ayrıştırma temelli yaklaşımın sağlık harcamasını modelleme ve tahmin diyagramı Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3. 3: T-A modelinin genel tahmin diyagramı.

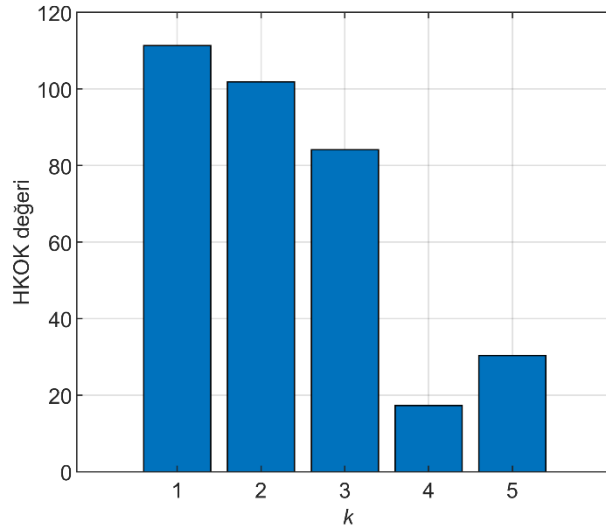
4. UYGULAMA SONUÇLARI

Bu bölümde ilk olarak, tez kapsamında önerilen model kullanılarak Türkiye'nin toplam sağlık harcamalarının modellenmesi ile ilgili sonuçlara yer verilmiştir. Devamında literatürde sıklıkla kullanılan zaman serisi tahmin yöntemleri tanıtılmış ve T-A modeli ile karşılaştırmalı sonuçları sunulmuştur. Son olarak ise T-A modeli ile 2022-2030 yılları arasındaki Türkiye'nin toplam sağlık harcamalarının tahmin sonuçlarına yer verilmiştir.

4.1 Modelleme Sonuçları

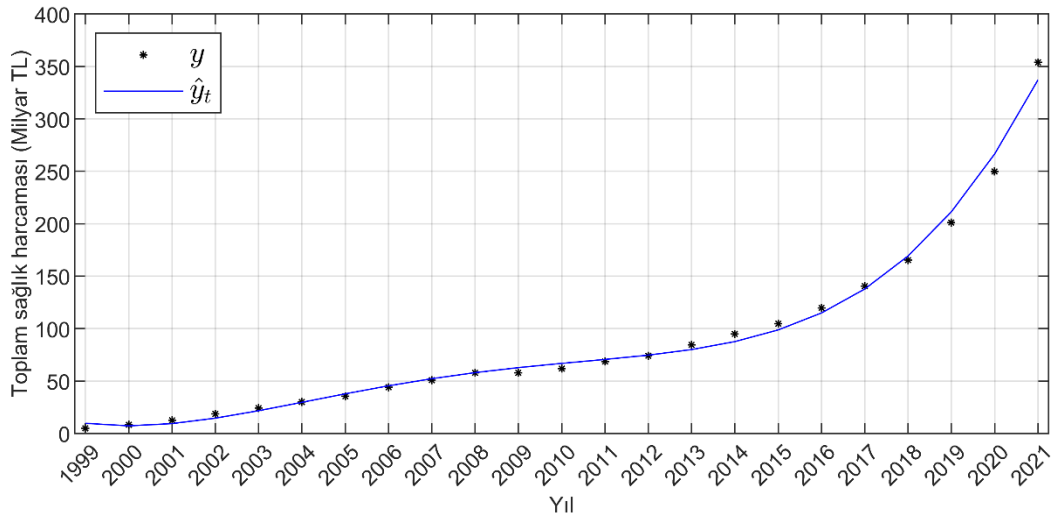
Materyal ve yöntem bölümünde bahsedildiği gibi, önerilen ayrıştırma temelli model, ilk olarak zaman serisinin trend örüntüsünü yakalamaya çalışmaktadır. Bunun için k . dereceden polinom model kullanılarak trend bileşeni modellenmektedir. En uygun trend modelini, yani polinom derecesini belirlemek amacıyla bir doğrulama süreci gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte, sağlık harcaması zaman serinin ilk %75'lik bölümü model eğitimi için kullanılırken, geri kalan bölümü ise model doğrulama amacıyla ayrılmıştır.

Farklı polinom derecelerine ($k = 1, 2, \dots, 5$) sahip trend modelleri eğitilmiş ve doğrulama veri kümesinde performansları test edilmiştir. Performans ölçütü olarak HKOK kullanılmıştır. Şekil 4.1'de k . dereceden trend modellerinin doğrulama kümesi üzerinde elde ettikleri HKOK değerleri verilmiştir. Bu şekilden 4. dereceden polinom modelinin diğer modellere göre daha iyi performans gösterdiği görülmektedir. Bu nedenle, 4. dereceden polinom modeli, trend tahmin modeli olarak seçilmiştir.



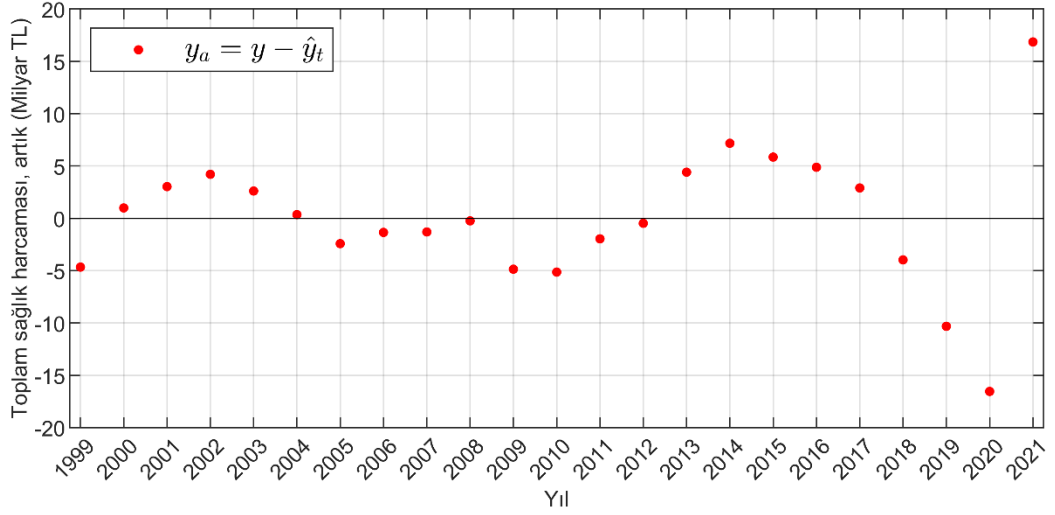
Şekil 4. 1: Trend modellerinin doğrulama kümesi üzerinde elde ettikleri HKOK değerleri.

Trend tahmin modelinin belirlenmesinden sonra tüm mevcut veriler hesaba katılarak trend modelinin katsayıları EKK yöntemiyle bulunmuş ve ele alınan zaman serisinin trend bileşeni yaklaşık olarak modellenmiştir. Trend modelleme sonuçları Şekil 4.2’de verilmiştir. Bu şekilde, siyah noktalar gerçek toplam sağlık harcamalarını, mavi renkli eğri ise $k = 4$ trend model ile kestirilen toplam sağlık harcamalarını temsil etmektedir. Şekil 4.2’den gerçek seri ve kestirilen trend serisi arasında çok iyi bir uyum olduğu açıkça görülmektedir.



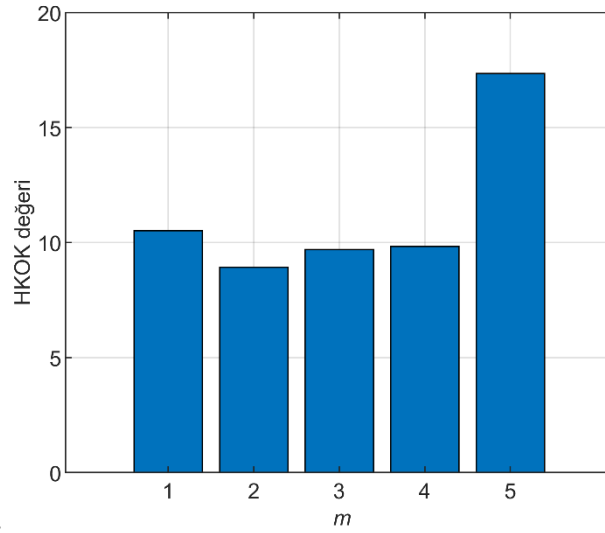
Şekil 4. 2: Trend modelleme sonuçları.

Zaman serisinin trend bileşenin belirlenmesinden sonra geriye kalan artık serisi Şekil 4.3’te gösterilmiştir.



Şekil 4. 3: Artık seri

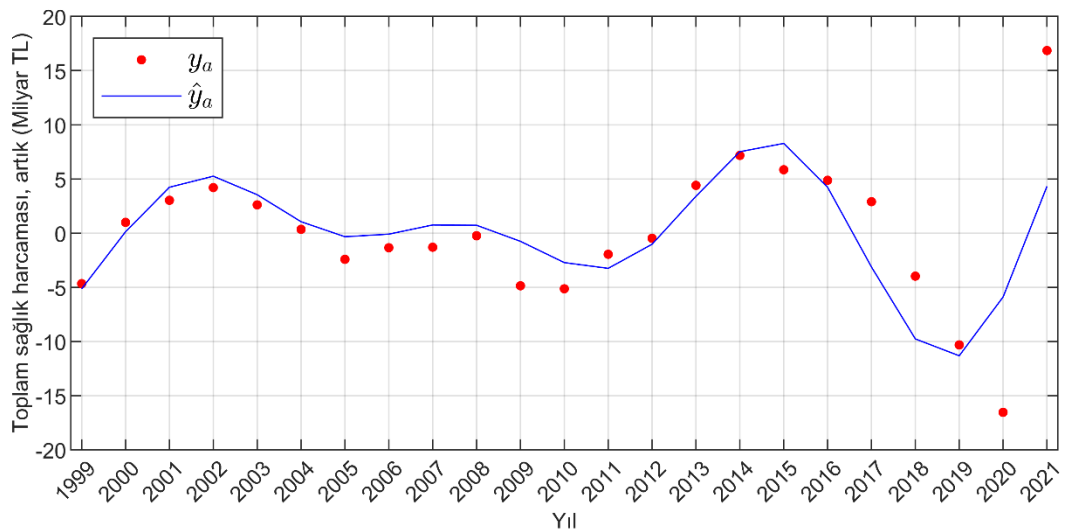
Şekil 4.3'te görüldüğü gibi artık serisi dalgalanmalı bir davranış özelliği göstermektedir. Bu nedenle, trigonometrik fonksiyonların birleşimi olacak şekilde Denklem (3.6) ile modellenmektedir. Buradaki en önemli nokta, en uygun trigonometrik fonksiyon çifti sayısının (m) belirlenmesidir. Bu amaçla, trend modelleme aşamasında gerçekleştirilen doğrulama sürecinin aynısı artık modelleme aşamasında da uygulanmıştır. Diğer bir ifadeyle, farklı trigonometrik fonksiyon çifti sayısına ($m = 1, 2, \dots, 5$) sahip artık modelleri eğitilmiş ve doğrulama veri kümesinde performansları test edilmiştir. Ayrıca, her bir m değeri için sırasıyla modelin doğrusal ve doğrusal olmayan parametreleri EKK ve SAA yöntemleri ile bulunmuştur. SAA algoritmasında maksimum iterasyon sayısı 10.000 ve popülasyon büyüklüğü ise 50 olarak belirlenmiştir. Parametreleri optimize edilmiş artık modellerin, doğrulama veri kümesi üzerinde elde ettikleri HKOK değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler, Şekil 4.3'te verilmiştir. Bu şekilden, iki trigonometrik fonksiyon çiftine sahip artık modelin diğer modellere göre daha iyi performans elde ettiği görülmektedir. Bu nedenle, iki trigonometrik fonksiyon çiftine sahip ($m = 2$) artık modeli, artık tahmin modeli olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. 4: Artık modellerinin doğrulama kümesi üzerinde elde ettikleri HKOK değerleri.

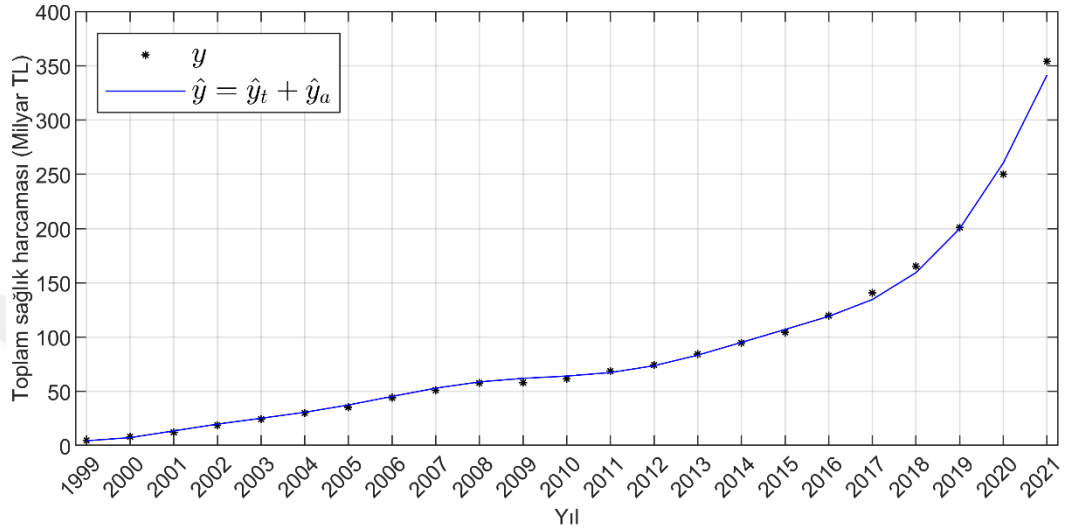
Ek olarak, bu tez çalışmasında önerilen artık modelin, doğrulama kümesi üzerinde elde ettiği HKOK değeri 8,93 iken; aynı değer Fourier artık modelinde ise 12,87 olarak hesaplanmıştır. Böylece önerilen artık modelinin tahmin doğruluğunun ve güvenilirliğinin Fourier artık modeline göre daha iyi olduğu belirlenmiştir.

Toplam sağlık harcaması ile ilişkili tüm veriler kullanılarak artık bileşen, parametreleri EKK ve SAA yöntemleriyle optimize edilmiş $m = 2$ artık model ile modellenmiştir. Şekil 4.5'te toplam sağlık harcamasının artık modelleme sonuçları gösterilmiştir. Şekilden önerilen artık modelin, yüksek modelleme kabiliyetine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 5: Artık modelleme sonuçları.

$k = 4$ trend modelinin ve $m = 2$ artık modelinin lineer birleşimi biçiminde modellenen toplam sağlık harcamasına ilişkin nihai modelleme sonuçları Şekil 4.6’da verilmiştir. Bu şekilden, önerilen T-A modelinin toplam sağlık harcaması zaman serisini taklit etmede oldukça başarılı olduğu ve modelleme performansının yüksek olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 4. 6: T-A modelinin toplam sağlık harcamasını modelleme sonuçları.

4.2 Karşılaştırmalı Sonuçlar

Tezin bu bölümünde literatürde sıklıkla kullanılan zaman serisi tahmin modelleri kısaca tanıtılmıştır. Daha sonra ise önerilen T-A modeli ile diğer modellerin karşılaştırmalı sonuçları sunulmuştur.

Bu tez kapsamında önerilen modelin tahmin performansını araştırmak için gri modeller, regresyon modelleri, üstel yumuşatma modelleri ve ARIMA modelleri ile karşılaştırılmıştır. Bu modellerin kısa tanıtımı aşağıdaki alt bölümlerde verilmiştir.

4.2.1 Gri modeller

Gri sistem teorisi sıklıkla; veri işleme, karar verme, tahminleme işlemi ve sistem kontrolü alanlarında kullanılmaktadır (Es ve diğ. 2018). Gri sistem teorisinde genel amaç; kısıtlı sayıda veriden ve bilgilerden oluşan bir sistemin davranışlarını en

doğru şekilde analiz etmektir (Liu ve Lin 2006). Gri sistem teorisinin bir bileşeni olan gri modeller; sebep sonuç ve zaman serisi veri türlerine dayanan tahmin modellerinden oluşmaktadır. Gri tahmin modelleri ($GM(n, h)$), gri diferansiyel denklemlerden oluşan dinamik modellerdir. “ n ” gri modelin mertebesini “ h ” ise model değişken sayısını ifade etmektedir. Literatürde birçok farklı gri model türü bulunmakta, fakat standart ve en basit formu klasik Gri Model ($GM(1,1)$) ile ifade edilmektedir (Es ve diğ. 2018). Klasik Gri Model birinci mertebeden bir değişken içeren problemleri tanımlamaktadır. Diğer tüm gri modeller $GM(1,1)$ modeli üzerinden türetilmiştir. Gri modellerin sıklıkla kullanılan diğer türleri aşağıda ki gibi sıralanmıştır. Aynı zamanda bu modeller tezin ilerleyen bölümlerinde T-A modelinin performansını karşılaştırmak için de kullanılmıştır.

- Klasik Gri Model ($GM(1, 1)$) (Ju-Jong 1982)
- Gri Verhulst Modeli (GVM ($1, 1$)) (Zhang ve diğ. 2003)
- Homojen Olmayan Gri Model ($NGM(1, 1, k)$ - $NGM(1, 1, k, c)$) (Cui ve diğ. 2013; Chen ve Yu 2014)
- Ayrık Gri Model ($DGM(1, 1)$) (Xie ve Liu 2009)
- Homojen Olmayan Ayrık Gri Model ($NDGM(1, 1)$) (Xie ve diğ. 2013)
- Zamanla Değişen Ayrık Gri Model ($TDGM(1, 1)$) (Zhang ve Liu 2010)
- Karesel Ayrık Gri Model ($QDGM(1, 1)$) (Wu ve diğ. 2013)
- Kübik Ayrık Gri Model ($CDGM(1, 1)$) (Jiang ve diğ. 2016)

4.2.2 Regresyon modelleri

Regresyon modelleri, bir veya birden fazla bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi modellemek için kullanılan istatistiksel analiz yöntemidir. Birçok tahmin çalışmasında olduğu gibi sağlık harcamaları tahminleme işlemlerinde de regresyon analizi sıklıkla kullanılmaktadır. Regresyon analizinde sıklıkla kullanılan modellere, üstel, ters kuvvet, logaritmik, birleşik, S, lojistik ve Gompertz modelleri örnek verilebilir (Guemmegne 2014; Saeid ve diğ. 2022; Aydın 2015; Mutlu ve Altuntas 2021).

4.2.3 Üstel yumuşatma modelleri

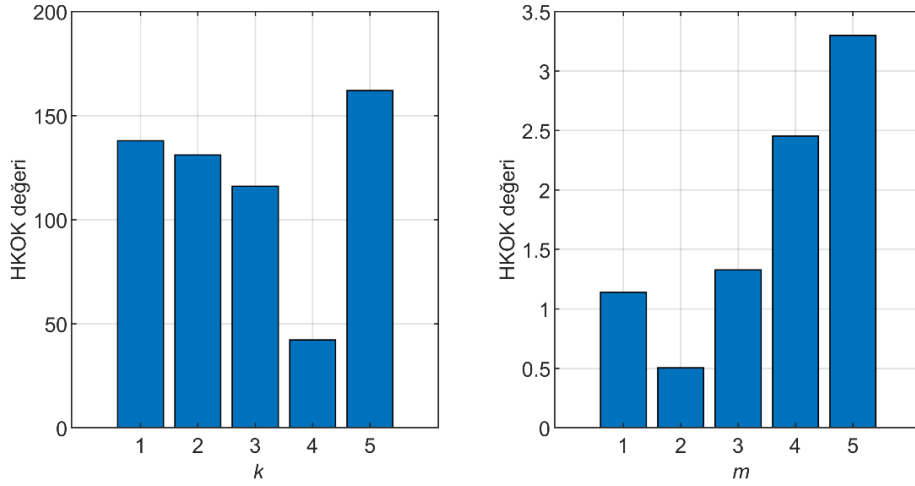
Üstel yumuşatma modelleri ilk olarak Pegels (1969) tarafından ortaya atılmış daha sonra Gardner ve Everette (1985) tarafından güncellenmiştir. İlerleyen yılları takiben Hyndman ve diğ. (2002), Taylor ve Hyndman (Hyndman ve Khandakar 2008; Taylor 2003) tarafından ise geliştirilmiştir (Özsüt Boğar 2023). Basit Üstel Yumuşatma (Simple Exponential Smoothing, SES), Holt's Doğrusal Yöntemi ve Hata-Trend-Mevsim (Error-Trend-Seasonal, ETS) modelleri (ETS(A,A,N) ve ETS(A,M,N) üstel yumuşatma model türleri olarak literatürde yer almaktadır (Hyndman ve diğ. 2008). SES durağan zaman serileri için yüksek tahminleme özelliğine sahip olduğundan tahmin yöntemleri arasında iyi bilinen bir modeldir. Holt's Doğrusal Yönteminde ise bir trend bileşeni söz konusu olmasından dolayı SES modelinin bir üst versiyonu olarak düşünülebilir. Üstel yumuşatma modelleri tahmin algoritmaları içerisinde sıklıkla tercih edildiğinden sağlık harcamalarının tahminlenmesi ve modellenmesi alanında da sıklıkla kullanılmaktadır.

4.2.4 ARIMA modelleri

Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (Autoregressive Integrated Moving Average, ARIMA) modelleri, doğada zamana bağlı olarak değişen süreçleri modelleyebildikleri için sağlık harcaması gibi zaman serilerini tahmin etmek ve modellemek amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Aynı zamanda Box ve Jenkins modelleri olarak da bilinen ARIMA modelleri, hareketli ortalama ve otoregresif modellerinin bir kombinasyonu olarak tanımlanmaktadır (Chatfield 2000). ARIMA modelleri $ARIMA(p, d, q)$ ile gösterilmekte olup p modelin derecesini, d fark alma derecesini q ise hareketli ortalama modelinin derecesini ifade etmektedir (Ozsut Bogar ve Gungor 2023).

Tüm modellerin performanslarını karşılaştırmak için 1999-2021 yıllarına ait toplam sağlık harcamaları veri kümesi kullanılmış olup 1999-2017 yılları eğitim ve 2018-2021 yılları doğrulama olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Ayrıca, modellerin performanslarını karşılaştırmadan önce T-A modelindeki trend ve artık derecelerini belirlemek üzere ek bir doğrulama süreci gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 1999-2014

yılları eğitim, 2015-2017 yılları ise doğrulama kümesi olarak ikiye ayrılmıştır. Doğrulama kümesi üzerinde trend modellerinin ve artık modellerinin elde ettikleri HKOK değerleri Şekil 4.7’de sunulmuştur. Bu elde edilen değerlere göre $k = 4$ trend modeli ve $m = 2$ artık modelinin doğrusal kombinasyonundan oluşan model tahmin modeli olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. 7: Trend ve artık modellerinin doğrulama kümesine göre elde ettikleri HKOK değerleri.

T-A modelini oluşturan trend tahmin modeli ve artık tahmin modeli belirlendikten sonra, 1999-2017 yıllarına ait veriler kullanılarak tüm modeller eğitilmiş ve 2018-2021 yılları arasındaki toplam sağlık harcamaları test edilmiştir. Modellerin eğitim ve test kümeleri üzerindeki performansları HKOK ve Mutlak Yüzde Hatası Ortalaması (MYHO) ölçütleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. MYHO ölçütünün matematiksel ifadesi Denklem (4.1)’de verilmiştir.

$$MYHO = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{y(t) - \hat{y}(t)}{y(t)} \right| \quad (4.1)$$

Bu denklemde $y(t)$ ve $\hat{y}(t)$ sırasıyla t anındaki gerçek ve modellenen değerleri ifade etmektedirler.

Tablo 4.1’de T-A modelinin ve karşılaştırılan diğer modellerin eğitim ve test kümesi üzerinde elde ettikleri HKOK ve MYHO değerleri listelenmiştir. Bu tabloda önerilen T-A modelinin diğer modellere göre daha iyi modelleme ve tahmin performansı sergilediği açıkça görülmektedir.

Tablo 4. 1: T-A modeli ve karşılaştırılan diğer modellerin eğitim ve test kümesi üzerinde elde ettikleri HKOK ve MYHO değerleri.

Model	Eğitim (1999-2017)		Test (2018-2021)	
	HKOK	MYHO	HKOK	MYHO
GM(1,1)	5,99	19,04	67,91	16,71
GVM(1,1)	56,53	82,06	204,73	79,77
NGM(1,1, <i>k</i>)	6,39	11,18	106,51	33,44
NGM(1,1, <i>k,c</i>)	5,04	8,56	97,83	29,85
DGM(1,1)	6,14	19,32	67,36	16,41
NDGM(1,1)	4,23	9,09	93,55	27,61
TDGM(1,1)	2,81	6,87	68,76	18,78
QDGM(1,1)	1,35	2,70	35,85	7,55
CDGM(1,1)	1,08	2,24	47,18	11,76
Üstel	5,72	28,12	72,79	19,48
Ters	28,78	100,46	183,86	67,53
Kuvvet	5,70	12,46	112,45	35,13
Logaritmik	18,13	65,97	158,98	55,96
Birleşik	5,72	28,12	72,79	19,48
S	5,72	28,12	72,79	19,48
Lojistik	5,42	23,51	95,19	27,67
Gompertz	5,01	19,13	96,17	28,36
SES	5,75	10,48	134,57	42,78
Holt	3,02	3,90	69,86	16,81
ETS (A,A,N)	3,02	3,53	70,31	16,98
ETS (A,M,N)	3,08	4,50	45,30	9,43
ARIMA(2,2,2)	2,50	3,01	67,94	16,49
Önerilen T-A modeli	0,68	1,62	32,86	6,16

4.3 Tahmin Sonuçları

Son olarak, tahmin yeteneği doğrulanmış ve test edilmiş T-A modeli ile Türkiye'nin 2022-2030 yıllarına ait toplam sağlık harcamaları tahmin edilmiştir. Bununla ilişkili sonuçlar Tablo 4.2'de verilmiştir. Bu tablodan, Türkiye'nin toplam

sağlık harcamasının önümüzdeki yıllarda ivmeli bir şekilde artacağı görülmektedir. Sonuç olarak bu tez kapsamında geliştirilen T-A modeli ile elde edilen tahmin sonuçlarına göre 2030 yılında toplam sağlık harcaması miktarı yaklaşık 2 trilyon 202 milyar TL değerine ulaşacağı ön görülmüştür.

Tablo 4. 2: T-A Modeli ile Türkiye'nin 2022-2030 yıllarına ait toplam sağlık harcaması tahmin sonuçları.

Yıl	Toplam Sağlık Harcaması Miktarı (Milyar)
2022	439,7
2023	552,5
2024	680,3
2025	829,2
2026	1.009,4
2027	1.232,3
2028	1.505,5
2029	1.830,2
2030	2.202,8

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Teknolojinin gelişimine bağlı olarak sağlık hizmetlerine olan talebin artması sağlık harcamalarının da artmasına neden olmaktadır. Devletler sağlık hizmetlerinin sürdürülebilirliğini ve aynı zamanda gelişimini sağlamak amacıyla sağlık harcamalarının planlamasını, takibini ve tahminini yapmak zorundadır. Bu nedenle son yıllarda sağlık harcamalarına yönelik tahmin ve modelleme çalışmaları önem kazanmıştır. Günümüzde bu alanda gerçekleştirilen çalışmalar artmış olsa da Türkiye'nin toplam sağlık harcamasının modellenip tahmin edilmediği ve tahmin yöntemleri içerisinde zaman serisi ayrıştırması temelli bir tahmin yöntemin geliştirilmediği tespit edilmiştir. Bu nedenle, bu tez çalışmasında literatüre trend-artık ayrıştırması temelli bir model kazandırarak Türkiye'nin toplam sağlık harcaması modellenmiş ve tahmin edilmiştir.

Modelleme sonuçlarına göre oluşturulan T-A modelinin modelleme ve tahmin performansı, gri modeller, regresyon modelleri, üstel yumuşatma modelleri ve ARIMA modelleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma işlemi HKOK ve MYHO performans ölçütleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma sonuçlarına göre T-A modelinin diğer modellere nazaran çok daha iyi modelleme ve tahminleme performansı gösterdiği tespit edilmiştir. Test sonuçlarına göre doğruluğu ve güvenilirliği kanıtlanan T-A modeli ile 2022-2030 yıllarına ait toplam sağlık harcaması miktarları tahmin edilmiştir. Sonuç olarak 2030 yılında toplam sağlık harcaması miktarının 2,2 trilyon TL'ye ulaşacağı ve 2022'den 2030 yılına kadar yaklaşık beş kat artacağı beklenmektedir.

Bu tez çalışması bilimsel yazına yeni bir metot kazandırdığı için önemli bir kaynak niteliğindedir. Aynı zamanda bu tez çalışmasının çıktıları, halk sağlığı yöneticileri, sigortacılar, sağlık politikacıları, ulusal ve uluslararası kuruluşlar için referans kaynağı, akademisyenler ve araştırmacılar için ise yeni bir çalışma alanı olabilir. Türkiye'nin toplam sağlık harcamasının modellenmesi ve tahminlenmesi için önerilen T-A modeli, farklı ülkelerin sağlık harcamalarını modellemek ve tahmin etmek amacıyla da kullanılabilir.

Önerilen T-A modelinin tek değişkenli yapısı, durağan olmayan farklı zaman serilerine uygulanabilmesine imkân sağlayabilir. Aynı zamanda T-A modelinin sahip olduğu artık model sayesinde mevsimsellik özellik gösteren zaman serileri de modellenenebilir ve incelenebilir. Ayrıca artık model aynı zamanda birçok farklı modelin tahmin doğruluğunu geliştirmek için kullanılabilir. Bu tez çalışmasında, EKK ve SAA'nın kombinasyonu ile melez bir optimizasyon metodu geliştirilmiş olup bu metot farklı optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılabilir.

Son olarak, önerilen T-A modelinin doğruluğu ve güvenilirliği ilerleyen yıllarda yeni verilen oluşması ile kontrol edilebilir ve daha uzun zaman aralığına sahip tahminleme çalışmaları gerçekleştirilebilir.



6. KAYNAKLAR

Akdur, R., *Sağlık sektörü, “Temel kavramlar, Türkiye ve Avrupa Birliği’nde durum ve Türkiye’nin birliğe uyumu”*, 2, Ankara, Ankara Üniversitesi Basım Evi, (2006).

Atalan, A., Cınar, Z. and Cınar, M., “A trend line analysis for healthcare expenditure per capita of OECD members”, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 11(1), 23-35, (2020).

Atalan, A., “Forecasting for healthcare expenditure of Türkiye’s covering the years of 2018-2050”, *Gümüşhane University Journal of Health Sciences*, 9(1), 8-16, (2020).

Aydin, G., “Forecasting natural gas production using various regression models”, *Petroleum Science and Technology*, 33 (15-16), 1486-1492, (2015).

Bettayeb, M. and Uvais, Q., “A hybrid least squares-GA-based algorithm for harmonic estimation”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 18(2), 377-382, (2003).

Bogar, E., and Beyhan S., “Adolescent Identity Search Algorithm (AISA): A novel metaheuristic approach for solving optimization problems”, *Applied Soft Computing* 95, (2020).

Bogar, E., “Chaos game optimization-least squares algorithm for photovoltaic parameter estimation”, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48(5), 6321-6340, (2023).

Boğar, E. and Özsüt Boğar, Z., “Türkiye’nin sektörel CO2 gazı salınımlarının yapay sinir ağı ile tahmini”, *Akademia Disiplinlerarası Bilimsel Araştırmalar Dergisi*, 3(2), 15-27, (2017).

Boğar, E., “Optimizasyon kuramında yeni bir metasezgisel yaklaşım: Ergen kimlik arama algoritması (AISA) ve mühendislik uygulamaları”, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2021).

Cekim, H. O., Tekin, S. and Ozel, G., “Prediction of the earthquake magnitude by time series methods along the East Anatolian Fault, Turkey”, *Earth Science Informatics*, 14(3), 1339-1348, (2021).

Celikay, F. and Gümüş, E., “Health services and their financing in Turkey”, *Social Sciences Institute Journal, Eskişehir Osmangazi University*, 11(1), 177-216, (2010).

Ceylan, Z. and Atalan, A., “Estimation of expenditure per capita of Türkiye’s using artificial intelligence techniques with genetic algorithm-based feature selection”, *Journal of Forecasting*, 40(2), 279-290, (2021).

Chaabouni, S. and Abednnadher, C., “Modelling and forecasting of Tunisia’s health expenditures using artificial neural network and ARDL models”, *International Journal of Medical Science and Public Health*, 2(3), 495-504, (2013).

Chatfield, C., “*Time-series Forecasting*”, Chapman and Hall/CRC, (2000).

Chen, P.Y. and Yu, H.M., “Foundation settlement prediction based on a novel NGM model”, *Mathematical Problems in Engineering*, (2014).

Cui, J., Liu, S.F., Zeng, B. and Xie, N., “A novel grey forecasting model and its optimization”, *Applied Mathematical Modelling*, 37(6), 4399-4406, (2013).

Daniels, K., Connolly, S., Ogbonnaya, C., Tregaskis, O., Bryan, M.L., Robinson-Pant, A. And Street, J., “Democratisation of wellbeing : stakeholder perspectives on policy priorities for improving national wellbeing through paid employment and adult learning”, *British Journal of Guidance & Counselling*, 46(4), 492-511, (2018).

Dejamkhooy, A., Dastfan, A. and Ahmadyfard., “Modeling and forecasting nonstationary voltage fluctuation based on grey system theory”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 32(3), 1212-1219, (2014).

Es, H. A., Hamzacebi, C. and Firat, S. U. O., "GRA-TRI: A multicriteria decision aid classification method based on grey relational analysis." *Journal of Grey System*, 30 (3), (2018).

Ferre, F., De Belvis, A. G., Valerio, L., Longhi, S., Lazzari, A., Fattore, G., Ricciardi, W. and Maresso, A., “Italy: Health system review”, *Health Systems in Transition*, 16(4), 1-168, (2014).

Gardner, J. and Everette, S., “Exponential smoothing: The state of the art”, *Journal of forecasting*, 4 (1), 1-28, (1985).

Getzen, T. E., “Forecasting health expenditures : Short, Medium and Long (Long) Term.” *Journal of Health Care Finance*, 26(3), 56-72, (2000).

Guemmegne, J.T., Kengwoung-Keumo, J-J., Tabotabai, M.A. and Singh, K.P., “Modeling the dynamics of the U.S. healthcare expenditure using a hyperbolic function”, *Advances and Applications in Statistics*, 42(2), 95-117, (2014).

Guleryuz, D., “Predicting health spending in Türkiye’s using the GPR, SCR, DT models”, *Acta Infologica*, 5(1), 155-166, (2021).

Hedayati, M. and Asl, I. M., “Forecasting the health expenditures in Iran by using time series analysis as machine learning model in Python.” *Research Square*, (2023).

Hu, Y.C., “Forecasting tourism demand using fractional grey prediction models with Fourier series”, *Annals of Operations Research*, 300(2), 467-491, (2021).

Hyndman, R. J. and Khandakar, Y., “Automatic time series forecasting: the forecast package for R”, *Journal of statistical software*, 27, 1-22, (2008).

Hyndman, R. J., Koehler, A. B., Snyder, R. D. and Grose, S., “A state space framework for automatic forecasting using exponential smoothing methods”, *International Journal of forecasting*, 18 (3), 439-454, (2002).

Hyndman, R. J., Koehler, A. B., Ord, J. K. and Snyder, R. D., “*Forecasting with exponential smoothing: the state space approach*”, Berlin, Germany, Springer, (2008).

Jia, H., Jiang, H., Yu, J., Zhang, J., Cao, P. and Yu, X., “Total health expenditure and its driving factors in China: A grey Theory analysis”, *Healthcare*, 9(2), (2021).

Jiang, S.Q., Liu, S., Li, Z.X. and Fang, Z.G., “Cubic time-varying parameters discrete grey forecasting model and its properties”, *Control and Decision*, 31(2), 279-286, (2016).

Ju-Long, D., “Control problems of grey systems”, *Systems & Control Letters*, 1(5), 288-294, (1982).

Kaytez, F., “A hybrid approach based on autoregressive integrated moving average and least-square support vector machine for long-term forecasting of net electricity consumption”, *Energy*, 197, 117200, (2020).

Kazemian, M., Abdi, Z. and Meskarpour-Amiri, M., “Forecasting Iran national health expenditures: General model and conceptual framework”, *Journal of Education and Health Promotion*, 11(87), 1-7, (2022).

Kim, H.K. and Lee, M., “Factors Associated with Health Services Utilization between the Years 2010 and 2012 in Korea: Using Andersen’s Behavioral Model”, *Osong Public Health and Research Perspectives*, 7(1), 18-25, (2016).

Klazaroglou, P. and Dritsakis, N., “Modeling and forecasting of us health expenditures using ARIMA models, Advances in Panel Data Analysis in Applied Economic Research”, (eds: Nicholas Tsounis, Aspasia Vlachvei), *Advances in Panel Data Analysis in Applied Economic Research*, Springer International Publishing, 457-472, (2018).

Liu, S. and Lin, Y., “Test of grey prediction models”, *Grey Prediction*, London, Springer, 275-314, (2006).

Lou, M., “Prediction of hospital health expenditure based on GM (1.1) grey clustering model”, 2nd International Conference on Business Administration and Data Science (BADs 2022), Atlantis Press, 1164-1169, (2022).

Murthy, V. N.R. and Okunade, A.A., “The Core Determinants of Health Expenditure in the African Context: Some Econometric Evidence for Policy”, *Health Policy*, 91(1), 57-62, (2009).

Mutlu, G. N. and Altuntas, S., “Monitoring technological changes with statistical control charts based on patent data”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36 (4), 1875-1892, (2021).

Novignon, J., Olakojo, A.S. and Nonvignon, J., “The Effects of Public and Private Health Care Expenditure on Health Status in Sub-Saharan Africa: New Evidence from Panel Data Analysis”, *Health Economics Review*, 2(22), 1-8, (2012).

Organisation for Economic Co-operation and Development, “OECD Database [online]”, (05.01.2024), <https://data.oecd.org/>.

Ozcan, T. and Tuysuz, F., “Healthcare expenditure prediction in Türkiye by using genetic algorithm based grey forecasting models”, (eds: Cengiz Kahraman, Y. İlker Topçu), *Operations Research Applications in Health Care Management*, Springer International Publishing, 159-190, (2018).

Ozsut Bogar, Z., and Gungor, A., “Forecasting Waste Mobile Phone (WMP) Quantity and Evaluating the Potential Contribution to the Circular Economy: A Case Study of Turkey”, *Sustainability*, 15(4): 3104, (2023).

Öztürk, Y.E. and Kırac, R., “Sağlık ve Hastalık”, (ed: M. Dalkılıç), *Scientific Developments*, Ankara: Gece Akademi, 382-389, (2019).

Özsüt Boğar, Z., “Kısıtlı veri ve belirsizlik altında elektronik atık (e-atık) miktarlarının tahmin edilmesine yönelik model önerileri”, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, (2023).

Pegels, C. C., “Exponential forecasting: Some new variations”, *Management Science*, 15 (5), 311-315, (1969).

Ramezani, M., Haghdoost, A., Mehroolhassani, M.H., Abolhallaje, M., Dehnavieh, R., Najafi, B. and Fazaeli, A.A., “Forecasting health expenditures in Iran using the ARIMA model (2016-2020)”, *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran (MJIRI)*, 33(25), 1-4, 2019.

Sayım, F., “Türkiye’de sağlık ekonomisi istatistikleri ve sağlık harcamalarının gelişimi”, *Yalova Sosyal Bilgiler Dergisi*, 7(15), 13-30, (2017).

Sadollah, A., Sayyaadi H. and Yadav, A., “A dynamic metaheuristic optimization model inspired by biological nervous systems: Neural Network Algorithm”, *Applied Soft Computing*, 71, 747-782, (2018).

Saeid, M., Zeinoddini-Meymand, H., Kamel, S. and Khan, B., “Interaction of transformer oil parameters on each other and on transformer health index using curve estimation regression method”, *International Transactions on Electrical Energy Systems*, (2022).

Song, J., Zhang, L., Jiang, Q., Ma, Y., Zhang, X., Xue, G., Shen, X. and Wu, X., “Estimate the daily consumption of natural gas in district heating system based on a hybrid seasonal decomposition and temporal convolutional network model”, *Applied Energy*, 309, 118444, (2020).

Taylor, J. W., “Exponential smoothing with a damped multiplicative trend”, *International journal of Forecasting*, 19 (4), 715-725, (2003).

Türkiye İstatistik Kurumu, “Sağlık Harcamaları İstatistikleri, 2019 [online]”, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Saglik-Harcamalari-Istatistikleri-2019-33659>, (2020).

Türkiye İstatistik Kurumu, “Sağlık Harcamaları İstatistikleri, 2021 [online]”, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Saglik-Harcamalari-Istatistikleri-2021-45728>, (2022).

Wang, Z. X., “A genetic Algorithm-based grey method for forecasting food demand after snow disasters: an empirical study”, *Natural Hazards*, 68, 675-686, (2013).

Wu, L.Y., Wu, Z. P. and Li, M., “Quadratic time-varying parameters discrete grey model”, *Sytems Engineering-Theory & Practice*, 33(11), 2887-2893, (2013).

Wu, W., Ma, X., Zhang, Y., Wang, Y. and Wu, X., “Analysis of novel FAGM (1,1, t^a) model to forecast health expenditure of China”, *Grey Systems: Theory and Application*, 9(2), 232-250, (2019).

Xie, N. M. and Liu, S. F., “Discrete grey forecasting model and its optimization”, *Applied Mathematical Modelling*, 33(2), 1173-1186, (2009).

Xie, N. M., Liu, S.F., Yang, Y. J. and Yuan, C. Q., “On novel grey forecasting model based on non-homogeneous index sequence”, *Applied Mathematical Modelling*, 37(7), 5059-5068, (2013).

Xiong, X., “Bring Technology Home and Stay Healthy: The Role of Fourth Industrial Revolution and Technology in Improving the Efficacy of Health Care Spending”, *Technological Forecasting and Social Change*, 165, 120556, (2021).

Yardımcı, R. ve Boğar, E., “Türkiye’nin toplam sağlık harcaması tahmini için trend-artık ayrıştırması temelli bir modelleme yaklaşımı”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi*, doi: 10.17341/gazimmfd.1317413, (2023).

Zhang, F.S., Liu, F., Zhao, W.B., Sun, Z. A. and Jiang, G. Y., “Application of grey Verhulst model in middle and long term load Forecasting”, *Power Sytem Technology*, 27(5), 37-29, (2003).

Zang, K. and Liu, S.F., “Linear time-varying parameters discrete grey forecasting model”, *Sytems Engineering-Theory & Practice*, 30(9), 1650-1657, (2010).

Zheng, A., Fang, Q., Zhu, Y., Jiang, C., Jin, F. and Wang, X., “An application of ARIMA model for predicting total health expenditure in China for 1978-2022”, *Journal of Global Health*, 10(1), 1-8, (2020).