



**YAPAY SİNİR AĞLARI İLE PANDEMİ
SÜRECİNDE KISITLAMA STRATEJİLERİNİN
ETKİNLİĞİNİN BELİRLENMESİ İÇİN BİR
MODEL ÖNERİSİ**

Ömer Faruk ÇAPAROĞLU

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yeşim OK

Yüksek Lisans Tezi

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

2021

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**YAPAY SİNİR AĞLARI İLE PANDEMİ SÜRECİNDE KISITLAMA
STRATEJİLERİNİN ETKİNLİĞİNİN BELİRLENMESİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ**

(A Model Proposal to Determine the Efficiency of Mitigation Strategies During the Pandemic
with Artificial Neural Networks)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömer Faruk ÇAPAROĞLU

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yeşim OK
İkinci Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mahmut TUTAM

Erzurum
Ağustos, 2021

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü

TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Ömer Faruk ÇAPAROĞLU tarafından hazırlanan “Yapay Sinir Ağları ile Pandemi Sürecinde Kısıtlama Stratejilerinin Etkinliğinin Belirlenmesi için Bir Model Önerisi” başlıklı çalışması 30/07/2021 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Selçuk. Kürşat İŞLEYEN <i>Gazi Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Danışman:	Dr. Öğr. Üyesi Yeşim OK <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. Elif KILIÇ DELİCE <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. Mustafa YILMAZ <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
İkinci Tez Danışmanı	Dr. Öğr. Üyesi Mahmut TUTAM <i>Erzurum Teknik Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır

Enstitü Yönetim Kurulunun
.../.../.... tarih ve sayılı
kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN

Enstitü Müdürü

Aslı Islak İmzalıdır

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak Dr. Öğr. Üyesi Yeşim OK ve Dr. Öğr. Üyesi Mahmut TUTAM danışmanlığında sunulan “Yapay Sinir Ağları ile Pandemi Sürecinde Kısıtlama Stratejilerinin Etkinliğinin Belirlenmesi için Bir Model Önerisi” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	0	30
Kuramsal Temeller	0	30
Materyal ve Yöntem	5	35
Bulgular	2	20
Sonuç ve Öneriler	0	20
Tezin Geneli	2	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Sunulan bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ettiğimizi beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Ömer Faruk ÇAPAROĞLU	Dr. Öğr. Üyesi Yeşim OK
10.8.2021	10.8.2021
İmza: Aslı Islak İmzalıdır	İmza: Aslı Islak İmzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/.../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/.../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardımları, rehberlikleri ve anlayışları için danışmanlarım Dr. Öğr. Üyesi Yeşim OK ve Dr. Öğr. Üyesi Mahmut TUTAM'a en içten ve yürekten teşekkürlerimi sunuyorum.

Başta tez yazım sürecinde kaybettiğim, sahip olduğum bütün başarıların mimarları olan rahmetli babam Osman ÇAPAROĞLU ve rahmetli dedem Hayrettin ÇAPAROĞLU olmak üzere, annem Gülsüm ÇAPAROĞLU, kardeşlerim Yusuf Fazıl, Muhammet Emin, Burak'a ve geniş aileme çalışmalarına destekleri, beni lisansüstü çalışmalarımnda cesaretlendirdikleri ve öğrenmeye ilham veren bir ortam oluşturdıkları için teşekkürü bir borç bilirim.

Ömer Faruk ÇAPAROĞLU



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAPAY SİNİR AĞLARI İLE PANDEMİ SÜRECİNDE KISITLAMA STRATEJİLERİNİN ETKİNLİĞİNİN BELİRLENMESİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ

Ömer Faruk ÇAPAROĞLU

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yeşim OK

İkinci Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mahmut TUTAM

Amaç: Yakın dönemde artış gösteren salgın hastalıklar birçok insanın ölümüne sebep olmaktadır. Covid-19 gibi ortaya çıkan ve çok kısa bir sürede tüm dünyayı etkisi altına alan bulaşıcı hastalıklarla mücadelede ülkeler tarafında çeşitli kısıtlama stratejileri uygulanmaktadır. Bu çalışmanın amacı; uygulanan kısıtlamaların, salgının yayılımı üzerindeki etkisini açıklayabilen genel bir model oluşturmaktır. Oluşturulan model kullanılarak Covid-19 salgını ve gelecekte görülebilecek pandemiler için kısıtlama stratejileri, aşı ve mutasyon üzerinden olası senaryo tahminleri yapmak amaçlanmaktadır.

Materyal ve Metot: Bu çalışmada, temel yöntem olarak yapay sinir ağları kullanılmış ve kısıtlamaların farklı kombinasyonlarının hastalığın seyri üzerindeki etkisini tahmin etmek amacıyla iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlardan birincisinde benzeri çalışmalarda sıklıkla kullanılan bulaşıcılık katsayısı esas alınırken; ikinci yöntemde ise kısıtın/kısıtların etkilediği nüfus oranının göz önüne alındığı kısıtlanan nüfus oranı katsayısını esas alan tahmin modeli kullanılmıştır.

Bulgular: Önerilen her iki tahmin modeli de başarılı sonuçlar vermiştir. Bulaşıcılık katsayısını esas alan model, diğer nüfus esaslı modelden, nispeten daha iyi sonuçlar vermiş olsa da kurulmak istenen pandemi sürecinde kısıtlama stratejilerinin etkinliğinin belirlenmesi modeli için ikinci modelin daha uygun olduğu görülmektedir.

Sonuç: Bu çalışma ile başarılı bir aşılama programına ek olarak pandemilerin yayılmasını kontrol etmek için etkisi önceden öngörülebilen kısıtlama stratejilerinin planlı uygulamasının etkin sonuçlar doğuracağı gösterilmiştir. Çalışmada uygulanan Türkiye örneğinde kısıtlama stratejilerinin yanında aşılama ve mutasyon oranlarının hastalığın seyri üzerinde önemli bir rol oynadığı görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Covid-19, Salgın Hastalık, Yapay Sinir Ağları, Kısıtlama Stratejileri, Bulaşıcılık Katsayısı, Tahmin

Temmuz, 2021 52 sayfa

ABSTRACT

MASTER THESIS

A MODEL PROPOSAL TO DETERMINE THE EFFICIENCY OF MITIGATION STRATEGIES DURING THE PANDEMIC WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Ömer Faruk ÇAPAROĞLU

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Yeşim OK

Co-supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Mahmut TUTAM

Aim: Epidemic diseases that have increased in the recent period cause the death of many people. Various mitigation policies are implemented by countries in the fight against infectious diseases such as Covid-19, which have emerged in a very short time and affected the whole world. The aim of this study is to create a general model that can explain the effect of the applied mitigation policies on the spread of the epidemic. By using the created model, it is aimed to predict possible scenarios based on mitigation policies, vaccines and mutations for Covid-19 and future pandemics.

Material and method: In this study, artificial neural networks were used as the basic method and two different methods were used to predict the effect of different combinations of mitigation policies on the course of the disease. In the first of these, the reproduction number, which is frequently used in similar studies, is taken as a basis; In the second method, the estimation model based on the restricted population ratio coefficient, which takes into account the proportion of the population affected by the constraint(s), was used.

Results: Both proposed prediction models have yielded successful results. Although the model based on the reproduction number gave relatively better results than the other population based model, it seems that the second model is more suitable for the model of determining the effectiveness of mitigation policies in the pandemic process to be established.

Conclusion: In this study, it has been shown that a successful vaccination program and the implementation of predictable mitigation policies together will yield effective results in order to control the spread of pandemics. It is seen that vaccination and mutation rates play an important role on the course of the disease, as well as mitigation policies in the case of Turkey applied in the study.

Key Words: Covid-19, Epidemic Disease, Artificial Neural Networks, Mitigation Policies, Basic Reproduction Number, Prediction

July, 2021 52 pages

İÇİNDEKİLER

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TABLolar DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ.....	ix
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	4
Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Yapılan Covid-19 Tahmin Çalışmaları.....	4
Covid-19 Salgını İçin Yapılmış Tahmin Çalışmaları	5
Pandemik Hastalıklarla Mücadelede Kısıtlama Stratejileri	7
MATERYAL ve METOT	10
Yapay Sinir Ağları	10
Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri	14
Yapay Sinir Ağının Yapısı.....	15
Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması	16
Katman Sayısına Göre Yapay Sinir Ağları	16
Bağlantı Şekline Göre Yapay Sinir Ağları	17
Öğrenme Yöntemine Göre Yapay Sinir Ağları.....	17
ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	19
Değişkenlerin Seçilmesi ve Verilerin Hazırlanması	19
Veri Kümelerinin Normalizasyonu	25
Yapay Sinir Ağının Oluşturulması.....	26
Uygun YSA Modelinin Seçimi	28
Senaryo Analizleri.....	32
SONUÇ ve ÖNERİLER	39
KAYNAKLAR.....	41
EKLER	45
Ek-1. Yapay Sinir Ağlarında Kullanılan Veri Kümesi	45
ÖZGEÇMİŞ.....	53

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Toplama Fonksiyonları (Öztemel 2003)	13
Tablo 2. Aktivasyon Fonksiyonları (Öztemel, 2003)	14
Tablo 3. Tahmin modellerinde kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri	19
Tablo 4. Çalışmada incelenen kısıtlama stratejileri	22
Tablo 5. Çalışmada araştırılan kısıtlama stratejileri	24
Tablo 6. 1 adet gizli katmana sahip ağ modelinin performans sonuçları	28
Tablo 7. 2 adet gizli katmana sahip ağ modelinin performans sonuçları	29
Tablo 8. 3 adet gizli katmana sahip ağ modelinin performans sonuçları	30
Tablo 9. 4 adet gizli katmana sahip ağ modelinin performans sonuçları	31
Tablo 10. Hava durumu verilerinin normal dağılım parametreleri	33
Tablo 11. Kısıtlama stratejilerine göre BK'nın normal dağılım parametreleri	33
Tablo 12. Kısıtlama stratejilerine ait KNO değerleri	34
Tablo 13. BK'ya dayalı modelin tahmin sonuçları.....	35
Tablo 14. KNO'na dayalı modelin tahmin sonuçları	37

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Geçmiş salgın hastalıkların bulaşıcılık ve ölüm oranlarının karşılaştırması (David et al. 2021).....	1
Şekil 2. Biyolojik sinir hücresi (Çelik 2011).....	11
Şekil 3. Yapay sinir hücresi yapısı (Keskenler ve Keskenler 2017)	12
Şekil 4. YSA'nın Yapısı	16
Şekil 5. Araştırma yönteminin akış şeması	20
Şekil 6. KNO ile hareketlilik değişimi raporunun karşılaştırması.....	23
Şekil 7. Türkiye'de uygulanan kısıtlama çizelgesi	24
Şekil 8 Anlık BK değeri	25

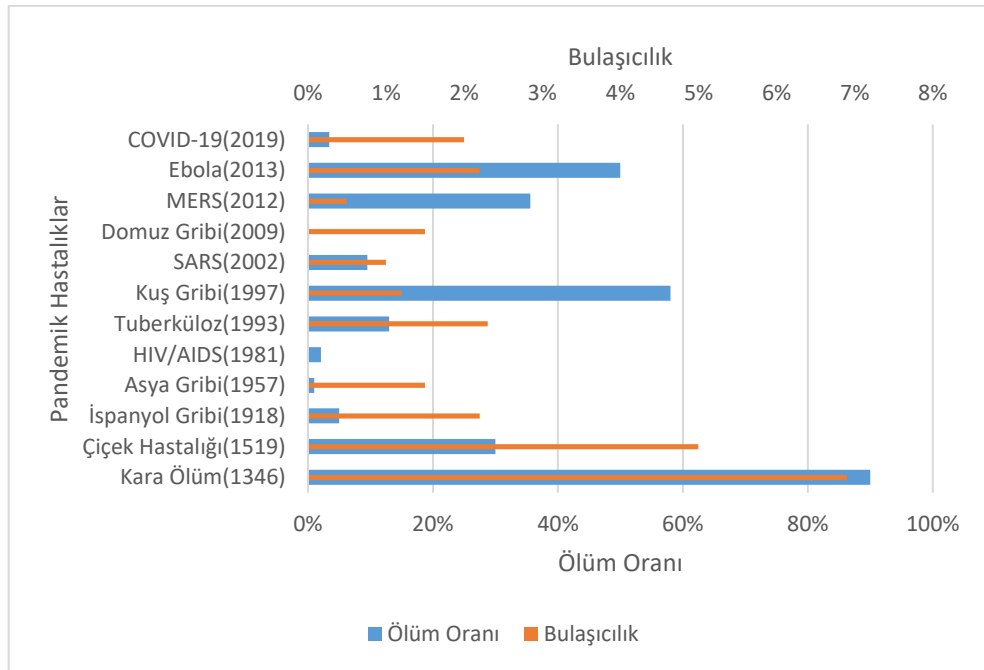


KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

YSA	: Yapay Sinir Ağları
AI	: Artificial Intelligence (Yapay Zekâ)
BK	: Bulaşıcılık Katsayısı
KNO	: Kısıtlanan Nüfus Oranı
ARIMA	: Autoregressive Integrated Moving Average (Oto regresif Entegre Hareketli Ortalama)
LSTM	: Long-Short Term Memory (Uzun-Kısa Süreli Bellek)
SEIR	: Susceptible, Exposed, Infectious, Recovered (Duyarlı, Maruz, Bulaşıcı, Kurtarılan)
OMYH	: Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE-Mean Absolute Percentage Error)
T	: Zaman
TS	: Test Sayısı
VS	: Vaka Sayısı
HD	: Hava Durumu
DM	: Doğrusal Maksimum Normalizasyon Yöntemi
DMM	: Doğrusal Maksimum-Minimum Normalizasyon Yöntemi
DDMM	: Düzeltilmiş Doğrusal Maksimum-Minimum Normalizasyon Yöntemi
V	: Vektör Normalizasyon Yöntemi
ZS	: Z-Skor Normalizasyon Yöntemi
GD	: Göreceli Değişiklik
Ks	: Kısıtlama Strateji

GİRİŞ

Geçmişten günümüze kadar salgın hastalıklar toplumlara ciddi hasarlar oluşturacak düzeyde finansal, politik, psikolojik ve sosyal zararlar vermiştir (Huremović 2019). İnsanlar göçebe yaşam tarzından yerleşik hayata geçişle birlikte birbirlerine daha yakın yaşamaya başlamışlar ve yerleşim yerlerinde enfeksiyonları daha kolay bulaştırmışlardır. Günümüzde salgın hastalıkların etkisi insanlar arasında artan ulaşım ve iletişim imkanlarının sonucunda daha önemli hale gelmiştir. İnsanlık tarihi boyunca zararları en fazla olan salgınlar Şekil 1’de gösterilmiştir. Bu salgın hastalıklardan 20. yüzyıldan günümüze kadar olanları incelediğimizde insanları en çok etkileyen salgınlar: İspanyol gribi, Ebola, Asya gribi, Hong Kong gribi, HIV-AIDS ve Aralık 2019 itibariyle ortaya çıkan yeni koronavirüs pandemisi (Covid-19) olduğu görülmektedir. Günümüzde tüm ülkeler insandan insana hızla yayılan Covid-19 ile mücadele etmektedir. Dünya genelinde vaka sayıları hızlı bir şekilde artmış ve Covid-19 virüsünün küresel bir pandemi olduğu 11 Mart 2020’de WHO (World Health Organization) tarafından ilan edilmiştir. 13 Mart 2020’de WHO, koronavirüs pandemisinin yeni merkez üssünün Avrupa olduğunu bildirmiştir (WHO 2020). Tıpkı Covid-19 salgınından önceki salgın hastalıklar gibi, Covid-19 salgınından sonra da salgın hastalıklar ortaya çıkacaktır (Anonymous 2020). Ayrıca gelecekte salgın hastalıklar daha sık ortaya çıkacak ve daha hızlı yayılarak ekonomiye ve sosyal hayata daha fazla zarar verecektir (Anonymous 2020).



Şekil 1. Geçmiş salgın hastalıkların bulaşıcılık ve ölüm oranlarının karşılaştırması (David et al. 2021)

Salgın hastalıkların en önemlileri ekonomik, sosyal ve ölümle sonuçlanma olmak üzere çeşitli etkileri vardır ve bu etkilerin hepsi aynı anda en aza indirilemez (Anderson *et al.* 2020). Salgın hastalıklar için tedavi veya yeni bir aşı bulmak virüs sistemlerinin karmaşıklığından dolayı uzun süre alabilmektedir. Bu durum, sağlık sistemleri ve teknolojilerindeki ilerlemelere rağmen, karar vericileri farklı kısıtlama stratejileri uygulamaya zorlamaktadır. Aşı veya tedavi yöntemi bulunmadan hastalığın bulaşmasını azaltan ve normal yaşama en hızlı dönüşü sağlayan ülkeler, hareketliliği azaltıcı sokağa çıkma yasağı ve/veya sosyal toplanmayı sınırlandırma ve/veya eğitim kurumlarını kapatma ve/veya zorunlu olmayan işyerlerini kapatma gibi farklı kısıtlama stratejileri uygulamaktadırlar. Uygulanan farklı kısıtlama stratejilerinin etkinliği ile alakalı literatürde yeterli çalışma bulunmamaktadır ve kısıtlama stratejilerinin etkinliği büyük ölçüde bilinmemektedir. Bu tür kısıtlamaların etkilerini araştıran çalışmalar karar vericilerin daha bilinçli kararlar almasına yardımcı olmak için son derece önemlidir.

Bu çalışma, herhangi bir pandemik hastalık sürecinde uygulanan kısıtlama stratejilerinin etkisini araştırarak karar vericilerin uygulanan ve/veya uygulanacak olan kısıtlama stratejilerinin etkisini göstermeyi amaçlamaktadır. Bunu yapmak için Bulaşıcılık Katsayısı (BK) ve Kısıtlanan Nüfus Oranı (KNO) temelinde iki model geliştirilmiştir. BK'ya dayalı model tahmin performansı açısından daha güzel sonuçlar ortaya koysa da farklı kısıtlama stratejilerine ait geçmiş verilerin kullanılmasıyla BK'nın hesaplanmasını gerektirir. Bu sorunun üstesinden gelmek için, her bir kısıtlama stratejisi tarafından kısıtlanan insan sayısını göz önünde bulundurarak yeni bir model (KNO'ya dayalı model) önerilmiştir. Bu nedenle, KNO'ya dayalı model, bu çalışmada önerilen hesaplama yöntemlerini kullanarak etkinliği incelenecek olan kısıtlama stratejisine ait geçmiş verilere ihtiyaç duymadan herhangi bir pandemik hastalık için kolaylıkla kullanılabilir. Bunun yanında eski model, BK'nın tahmini için yeterli miktarda veri toplandığında daha doğru sonuçlar elde etmek için kullanılabilir. Pandemik hastalıklar nedeniyle vaka, ölüm, ağır hasta ve/veya iyileşen hasta sayısı için farklı tahmin yöntemleri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Bununla birlikte, kısıtlama stratejilerinin çeşitli aşılama oranı ve virüsün mutasyon oranı senaryolarında ne kadar etkili olduğu araştırılmaktadır.

Yapay Zekâ uygulamaları, sağlık alanında hastalıkları tespit etmek, teşhis etmek, tanımlamak ve tedavi etmek için oldukça fazla kullanılmaktadır. Yapay zekâ tabanlı yöntemler geleneksel yöntemlere göre daha iyi tahmin yeteneklerine sahiptir (Jun *et al.* 2018; Ballı 2021). Yapay Sinir Ağları (YSA), yapay zekâ uygulamalarından biri olan Makine Öğrenmesi yöntemlerinden biridir. YSA modelleri, insan beynine benzer bir şekilde girdi verileri ve çıktı verileri arasındaki ilişkiyi tespit etmeye çalışır. Ayrıca, gerçek verilerle öğrenerek tahminlerdeki hataları en aza indirirler. Bu nedenle, YSA modelleri, pandemik hastalıkların

ölüm, iyileşme, enfeksiyon ve bulaşma oranlarını tahmin etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Ardabili *et al.* 2020; Niazkar and Niazkar 2020; Al-Najjar and Al-Rousan 2020; Çolak 2020; Wiecezorek *et al.* 2020). Bu çalışma, 12 farklı aşılama ve mutasyon senaryosu ile Türkiye'de uygulanan 6 kısıtlama stratejisi dikkate alınarak Covid-19 ile mücadelede kısıtlama stratejilerinin ne kadar etkili olduğu ve hangi durumda hangi kısıtlama stratejisinin uygulanması gerektiği sorularına cevap aramaktadır.

Bu tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde, salgın hastalıklar ve tez çalışmasının amacı hakkında bilgi verilmektedir. Kuramsal temeller bölümünde YSA, Covid-19 salgınının tahmini ve kısıtlama stratejilerinin etkileri ile ilgili literatür incelenmiştir. Materyal ve metot bölümünde çalışmada kullanılan yöntem olan YSA'nın genel özellikleri, yapısı ve çeşitleri hakkında bilgiler verilmiştir. Çalışmanın uygulamasını içeren araştırma bulguları ve tartışma bölümünde ise YSA modelinin farklı ağ tasarımlarını test ettikten sonra, en iyi ağ yapısı ile aşılama ve mutasyon senaryolarına göre kısıtlama stratejilerinin etkisi açıklanmıştır. Sonuç ve öneriler bölümünde ise çalışmadan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar açıklanmıştır.

KURAMSAL TEMELLER

Literatür araştırması YSA kullanılarak yapılan Covid-19 tahmin çalışmaları, Covid-19 salgını için yapılmış tahmin çalışmaları ve pandemik hastalıklarda kısıtlama stratejilerinin etkisi başlıkları altında yapılmıştır. Günümüzde Covid-19 salgını için yapılmış tahmin ve kısıtlamaların etkinliğini araştıran birçok çalışma vardır. Bu nedenle literatür araştırması Covid-19 salgını için yapılan çalışmalarla sınırlandırılmıştır.

Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Yapılan Covid-19 Tahmin Çalışmaları

YSA ile ilgili birçok alanda farklı yöntemlerle yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Abiodun *et al.* (2018) yapmış olduğu çalışmada YSA'nın çevre, bilgi işlem, bilim, mühendislik, tıp, işletme, tarım, madencilik, teknoloji, iklim, sanat ve nanoteknoloji gibi farklı disiplinlerdeki birçok uygulamasının olduğunu belirtmiştir.

Saba and Elsheikh (2020) yaptıkları çalışmada, COVID-19 kümülatif vaka sayısını tahmin etmek için Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (Autoregressive Integrated Moving Average-ARIMA) ve YSA yöntemleri kullanılmıştır. Mısır'da uyguladıkları çalışmada 1 Mart ile 10 Mayıs 2020 arasındaki verileri kullanmışlar. Çalışmada kullanılan YSA modelinde Levenberg-Marquardt eğitim algoritması, bir gizli katmanlı ve gizli katmanında 10 nöron kullanılmıştır. Bu çalışmada önerilen YSA modelinin ARIMA modelinden daha yüksek performansa sahip olduğunu sonucu elde edilmiştir.

Ahmad and Asad (2020) Pakistan'da uyguladıkları çalışmada, önerilen YSA modeli kullanılarak gelecekteki vakaların, ölümlerin ve iyileşen hastaların sayısını tahmin etmek için 137 günlük veri kullanılmış ve takip eden 7 gün için tahminde bulunulmuştur. Çalışmada YSA yapısı olarak tek gizli katman ve bu gizli katmanda 200 nöron bulunan yapı kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda YSA'nın tahminlerinin karar vericiler için oldukça yardımcı olacağı belirtilmiştir.

Borghi *et al.* (2021) yaptıkları çalışmada kümülatif vaka sayıları, günlük vaka sayıları, kümülatif ölüm sayıları ve günlük ölüm sayılarını kullanarak 30 farklı ülke için günlük vaka ve ölüm sayılarını YSA modeliyle tahmin etmişlerdir. YSA yapısı olarak 1 ve 2 gizli katmana sahip ve gizli katmanlarında 1'den 10'a kadar değişen nöron sayısına sahip modelleri denemişler ve 2 gizli katmanda sırasıyla 9 ve 4 nöron bulunan modelin en iyi sonuç verdiğini belirtmişler.

Toğa vd (2021) yaptıkları çalışmada Türkiye için günlük vaka, iyileşen ve ölüm sayılarını YSA ve ARIMA yöntemlerini kullanarak tahmin etmişler. Girdi verisi olarak

salgından etkilenebilecek kişi sayısı, zaman indeksi, test sayısı ve kısıtlama olan günler için “1” ile kısıtlama olmayan günler için “0” verilerini kullanmışlar. YSA yapısını belirlemek için yaptıkları denemeler sonucunda 3 gizli katmanlı ve sırasıyla 5, 10 ve 3 nöron bulunan modeli kullanmışlar ve R^2 değerini 0,98 olarak elde etmişler. Araştırmada YSA aynı anda 3 çıktı verebilirken ARIMA yönteminin bu konuda yetersiz olduğu belirtilmiştir.

Covid-19 Salgını İçin Yapılmış Tahmin Çalışmaları

2019 yılı sonlarına doğru ortaya çıkıp tüm dünyaya hızlıca yayılan ve günümüzde hala önemini koruyan Covid-19 virüsünün gelecekteki seyrinin tahmini; ekonomi, eğitim gibi birçok açıdan büyük önem kazanmıştır. Covid-19 salgının gelecekteki seyrinin nasıl tahmin edileceğini ve salgını kontrol edebilmek için uygulanması gereken tedbirleri ele alan geniş bir literatür mevcuttur. Literatürde farklı matematiksel, istatistiksel ve yapay zekâ modelleri kullanılarak yapılan birçok tahmin çalışması mevcuttur. Bu modeller genellikle vaka sayıları, ölüm sayıları veya iyileşen hasta sayılarının tahmini için yapılan çalışmalardır.

Guleryuz (2021) Brown'ın Üstel Düzeltme (BES), Box-Jenkins (ARIMA) ve Uzun Kısa Süreli Bellek (Long-Short Term Memory-LSTM) modellerini karşılaştırarak Türkiye'de Covid-19 salgınının yayılımı için bir tahmin modeli geliştirilmiştir. Çalışmada toplam vaka sayısı, toplam vaka artış hızı, yeni vaka sayısı, toplam ölüm sayısı, toplam ölümlerin büyüme hızı ve yeni ölümlerin sayısı tahmin edilmektedir. Çalışmada 12 Mart 2020 ile 15 Mayıs 2020 arasındaki veri kullanılarak takip eden 15 gün için vaka sayılarının durağan olacağı tahmininde bulunulmuştur.

Niazkar vd (2020) İran ve Türkiye'de uyguladıkları çalışmada vaka ve ölüm sayılarını analiz etmek için Recursive-based method, Beesham's prediction model ve Boltzmann function-based model olmak üzere 3 farklı matematiksel model kullanmışlardır. Çalışmada Türkiye için 106 günlük İran için 87 günlük geçmiş veri kullanılmıştır.

Castillo and Melin (2020) Fraktal teorisi ve bulanık mantığı birleştirerek, COVID-19 zaman serilerini tahmin etmek için hibrit bir yaklaşım önermişler. Önerilen yöntemde girdi veri kümesi olarak vaka sayısı ve ölüm sayısı kullanılarak yine vaka ve ölüm sayılarının 10 ve 30 günlük tahminleri yapılmıştır.

Anastassopoulou *et al.* (2020) yaptıkları çalışmada Şüpheli-Enfekte-İyileşmiş-Ölmüş sayılarına bağlı matematiksel model kullanarak Covid-19 için virüsün BK'sını, ölüm oranını ve iyileşme oranını tahmin etmişler. Çalışmada Çin'in Hubei eyaletinde 30 günlük girdi verisini kullanılarak takip eden 30 gün tahmin edilmiştir.

Chimmula *et al.* (2020) yaptıkları çalışmada yapay zekâ uygulamalarından biri olan LSTM yöntemiyle günlük vaka sayıları, ölüm sayıları ve iyileşen hasta sayılarını kullanarak Kanada için salgının gelecekteki seyri tahmin edilmiştir.

Ribeiro *et al.* (2020) yaptıkları çalışmada 6 farklı regresyon modeli kullanarak Brezilya için 1, 3 ve 6 günlük kısa vadeli tahminlerde bulunmuşlar. Önerilen modeller Ortalama Mutlak Yüzde Hata (OMYH) performans değerlendirme yöntemine göre değerlendirilmiş ve %4 ile %6 arasında sonuçlar elde edilmiştir.

Fanelli and Piazza (2020) yaptıkları çalışmada kümülatif vaka sayısı, kümülatif iyileşen hasta sayısı ve kümülatif ölüm sayısı verilerini kullanarak matematiksel bir tahmin modeli önermişler. Önerilen model Çin, İtalya ve Fransa için uygulanmıştır.

Tátrai and Várallyay (2020) COVID-19 salgınının trendini tanımlamak ve lojistik uydurma modeline dayalı olarak kümülatif vaka sayısı tahmini yapmak için basit bir doyumluk modeli önermişler.

Gupta *et al.* (2020) yaptıkları çalışmada 30 Ocak ile 30 Mart 2020 tarihleri arasındaki verileri kullanarak 2 hafta için vaka sayıları tahminleri yapılmışlar. Çalışmada Duyarlı, Maruz, Bulaşıcı, Kurtarılan (SEIR) model ve Regresyon modeli kullanılmıştır.

Yousefpour *et al.* (2020) Wuhan'ın verilerini kullanarak yaptıkları çalışmada Covid-19'un farklı koşullarda yayılmasını tahmin ederek aynı zamanda uygulanan kısıtlama stratejilerinin ekonomik sonuçlarını ele alan optimal bir kontrol stratejisi tasarlamak için çok amaçlı bir genetik algoritma önerilmiştir.

Mishra *et al.* (2020) nüfusu altı bölüme ayırarak Covid-19 salgınının üç farklı aşamasına ilişkin üç salgın modeli geliştirilmiştir: duyarlı nüfus, göçmen nüfus, evden izole, bulaşıcı, hastanede karantinaya alınmış ve iyileşmiş. Çalışmanın sonucunda en kuvvetli kısıtlama stratejisinin evde izolasyon ve hastanede karantina olduğu ortaya konulmuştur.

Tosepu *et al.* (2020) yaptıkları çalışmada Endonezya için hava durumu ve Covid-19 vaka sayıları arasında bulunan ilişkiyi analiz etmişler. Hava durumu verisi olarak ortalama sıcaklık, yağış miktarı ve nem miktarının vaka sayılarıyla arasındaki korelasyon katsayısını incelemişler. Çalışmanın sonucunda ortalama sıcaklık ve vaka sayıları arasında yüksek ilişki bulunurken nem miktarı ve yağış miktarının vaka sayılarıyla ilişkisi düşük bulunmuştur.

Gupta *et al.* (2020) ABD'de yapılan çalışmada sıcaklık ve nem parametrelerinin Covid-19 salgınının yayılması arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışmada sıcaklık ve Covid-19 vakaları arasında doğrudan ilişki olduğu belirtilmiştir.

Sarmadi *et al.* (2021) yaptıkları çalışmada Covid-19 vaka sayısı ve ölüm sayısının meteorolojik parametrelerle ilişkisini korelasyon ve regresyon analizi yapmışlar. Meteorolojik veriler olarak sıcaklık, nem, yağış miktarı, rüzgâr hızı ve hava kirliliği verileri kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda sıcaklık, rüzgâr hızı ve nem miktarının Covid-19 vaka ve ölüm sayıları üzerinde oldukça etkili olduğu belirtilmiştir.

Şahin (2021) yaptığı çalışmada Türkiye’de bulunan şehirler için ayrı ayrı Covid-19 vaka sayıları ile nüfus miktarı, sıcaklık, nem ve rüzgâr hızı arasındaki korelasyon katsayılarını incelemiştir. Çalışmanın sonucunda en yüksek korelasyon katsayılarının sırasıyla nüfus, rüzgâr hızı ve sıcaklık verileri ile olduğu görülmektedir.

Wang *et al.* (2020) sıcaklığın kümülatif COVID-19 vaka sayıları üzerindeki etkisini analiz etmişler ve sıcaklığın COVID-19'un bulaşmasını önemli ölçüde etkilediğini belirtmişler.

Pandemik Hastalıklarla Mücadelede Kısıtlama Stratejileri

Önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, vaka veya ölüm sayısını tahmin etmek, Covid-19'un ilerleme seyrini ortaya çıkarmak için önem arz etmektedir. Yapılan tahmin çalışmalarına göre karar vericiler önleyici tedbirler alarak salgının ilerlemesini engelleyebilir. Literatürde salgın hastalıklara ait son çalışmalar, kısıtlama stratejilerinin etkisini göz ardı ederek vaka sayılarının veya ölüm sayılarının tahminine daha fazla odaklanmaktadır.

Anderson *et al.* (2020) yaptıkları çalışmada, modele dayanan tahmin çalışmalarının Covid-19 salgınının belirsiz seyrine rağmen karar vericilere uygun kısıtlama stratejilerini uygulamaları konusunda yol gösterebileceğini ifade etmektedir.

Zhang *et al.* (2020) yaptıkları çalışmada, uluslararası uçak hareketlerine dayanan modeli kullanarak uluslararası insan hareketliliğiyle ülkelerin vaka sayıları arasındaki korelasyonu karşılaştırmıştır. Çalışmada insan hareketliliğinin virüsün yayılmasına olan etkisi ve uluslararası seyahat kısıtlamalarının önemi vurgulanmaktadır.

Koopmans (2020) yapmış olduğu çalışmada uluslararası yolcuların fazla geldiği ülkelerde Covid-19 salgınına bağlı ölüm oranının arttığını ve seyahat kısıtlamaları ile turistler için zorunlu karantina kurallarının gerekliliğini vurgulamıştır.

Abideen *et al.* (2020) yapmış oldukları çalışmada önceden yaşanan salgın hastalıklarda uygulanan kısıtlama stratejilerini incelemişler. Sonuç olarak önceden uygulanan kısıtlama stratejilerinin Covid-19 üzerinde etkili olamayacağı belirtilmiştir.

Kassa *et al.* (2020) yaptıkları çalışmada Covid-19 salgını vaka sayılarını tahmin etmek ve kısıtlama stratejilerinin etkisini araştırmak için matematiksel model önermiştir.

Walker *et al.* (2020) stokastik SEIR modeli kullanılarak, Covid-19 salgınının düşük ve orta gelirli ülkelerde kısıtlama stratejilerinin etkisi, demografi, temas yolları, hastalık şiddeti ve sağlık bakım kapasitesi ile kalitesi dikkate alınarak araştırılmıştır.

Eilersen and Sneppen (2020) yaptıkları çalışmada uygulanan kısıtlama stratejilerinin maliyet-fayda ilişkilerini analiz etmiştir. Sokağa çıkma yasağı, enfekte olan kişilerin temaslarını izleme ve karantinaya alma gibi stratejiler kısa süreli olsa bile salgının etkisini hafifletmeye önemli ölçüde katkıda bulunduğu belirtilmiştir.

Sun and Wang (2020) Çin'in Heilongjiang eyaletinde yapılan çalışmada Covid-19 salgınının seyrini tahmin etmek için matematiksel bir modele dayanarak, Covid-19'un yayılmasını sınırlamak için katı veya hafif önlemler alınmasını belirtmiştir. Temasları azaltmanın Heilongjiang eyaletindeki koronavirüs enfeksiyonlarından kurtulmayı hızlandıracağı vurgulanmıştır.

Okuonghae and Omame (2020) tarafından yapılan çalışmada Nijerya'da kümülatif vaka sayısı ve virüsün BK'sını tahmin etmek ve kısıtlama stratejilerinin etkisini araştırmak için matematiksel model önerilmiştir. Nüfusun yarısından fazlası sosyal mesafe kuralına uyarsa vakaların sayısının önemli ölçüde azalacağı belirtilmektedir.

Nyabadza *et al.* (2020) sosyal mesafe kuralının etkisini araştırmıştır. Sosyal mesafe kurallarını %2 oranında gevşetmek, kümülatif vaka sayısını %23 oranında artıracak ve sosyal mesafe kuralının %2 sıkılaştırmanın ise kümülatif vaka sayısını %18 oranında azaltacağını belirtmiştir.

Osman *et al.* (2021) Mısır ve Suudi Arabistan'daki hükümetler tarafından alınan kısıtlama stratejilerinin etkisini tahmin etmek için yapay zekâ tabanlı bir model önermiştir. Önerilen model kullanılarak kısıtlama stratejilerinin gelecekteki topluluk hareketliliği üzerindeki etkisinin tahmin edilebileceğini belirtilmektedir.

Davies *et al.* (2020) tarafından yapılan çalışmada yaşa dayalı stokastik bir salgın modeli, dört farklı kısıtlama senaryosunun (70 yaşından büyüklerin sokağa çıkma kısıtlaması, okulların kapanması, sosyal mesafe ve enfekte kişilerin karantinaya alınması) yeni vakalar ve ölümlerin yanı sıra yoğun bakım yatakları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda uygulanan kısıtlama stratejilerinin virüsün BK'sını düşürdüğü belirtilmiştir.

Brauner *et al.* (2021) tarafından uygulanan veri odaklı bir yaklaşım, pandeminin 2020'deki ilk dalgası sırasında 41 ülkede uygulanan toplantıları en fazla 10 kişi olacak şekilde sınırlama ve yüksek risk taşıyan işyerlerini kapatma sınırlamalarının evde kalma kısıtlamasına göre COVID-19 bulaşması üzerindeki etkilerinin daha büyük olduğunu belirtmektedir.

Literatür taramasından, doğrusal olmayan problemler için yapılan tahmin çalışmalarında YSA'nın, regresyon ve zaman serileri analizi yöntemlerine göre daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Covid-19 vaka sayısı tahmin çalışmalarında girdi verisi olarak vaka sayısı, kümülatif vaka sayısı, test sayısı, kümülatif test sayısı, ölü sayısı, iyileşen sayısı, nüfus miktarı ve günlük meteorolojik veriler kullanıldığı görülmektedir. Kısıtlama stratejilerinin etkilerini araştıran çalışmalar Covid-19 salgınıyla mücadelede kısıtların önemli rol oynadığını belirtmiştir. Fakat uygulanan veya uygulanması düşünülen kısıtlamaların farklı aşılama oranı ve virüsün mutasyona uğrama oranı senaryoları altında karşılaştırmalı analizini yapan ve karar vericilere destek olabilecek çalışma literatürde eksiklik olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmanın farklı aşılama ve mutasyon senaryoları göz önünde bulundurarak ortalama vaka sayısı üzerindeki kısıtlama stratejilerinin etkisini göstermeye yönelik ilk çalışma olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, salgın hastalıkların yayılma hızını ifade eden bir göstergeye (BK) ve kısıtlama stratejilerinin kısıtladığı toplumun oranını ifade etmek için yeni tanımlanan bir katsayıya (KNO) dayalı olarak iki farklı tahmin modeli önerilmiştir. KNO'ya dayalı model, herhangi bir pandemik hastalığın erken evresinde ve YSA'yı eğitmek için yeteri kadar veri toplandığında, etkinliği incelenecek olan kısıtlama stratejilerine ait tarihsel verilere ihtiyaç duymadan kullanılabilir. BK'ya dayalı model ise hem YSA'yı eğitmek için yeteri kadar veri toplandığında hem de etkinliği incelenecek olan kısıtlama stratejilerine ait veriler olduğunda daha doğru sonuçlar elde etmek için kullanılabilir.

MATERYAL ve METOT

Yapay Sinir Ağları

Gelişen dünya ile birlikte bilgisayarlar günlük hayatımızın bir parçası haline gelmiştir. Günümüzde ev aletleri, cep telefonları ve hava araçları gibi birçok alet bilgisayarlar tarafından kontrol edilmektedir. Bu durum bilgisayarlar ile insan zekâsı arasında etkileşime sebep olmuştur. İnsanlar sahip oldukları zekâları sayesinde yazı yazma, bir matematik problemini çözme, olaylar arasında bağlantı kurma, yabancı dil öğrenerek o dili kullanma ve bir mesleğin gereklerini yerine getirme gibi çeşitli kabiliyetlere sahiptirler. İnsan zekâsı belirli konularda çalışarak, eğitilerek geliştirilebilir. İnsan beyninin nasıl eğitildiği ve öğrendiği çeşitli algoritmalarla modellenerek, bu algoritmaların makinalara öğretilmesine yapay zekâ bilimi denilmektedir. Yapay zekanın en yaygın kullanılan alt dalları şunlardır;

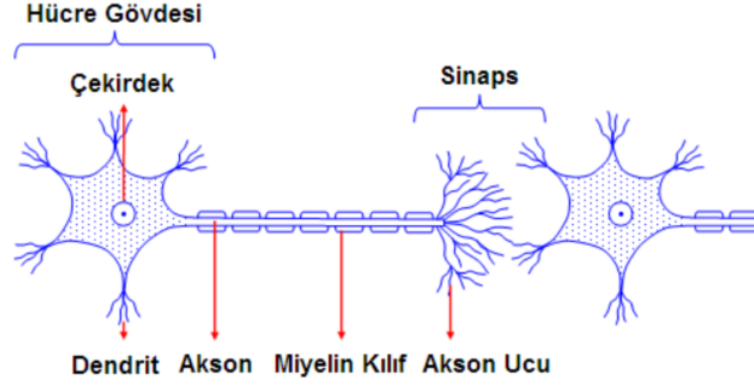
- Bulanık mantık
- Makine öğrenmesi
- Genetik algoritmalar
- Yapay sinir ağları
- Uzman sistemler

YSA, insan beyninin, bilgileri işleme, analiz etme ve çıkarımda bulunma gibi özelliklerini taklit etmek için tasarlanmış yapay zekâ uygulamasıdır. YSA, öğrenme sonucunda yeni bilgiler oluşturabilme, türetebilme ve keşfedebilme gibi özellikleri otomatik olarak ve yardım almadan gerçekleştirmek amacı ile kullanılan bir yapay zekâ uygulamasıdır. YSA sistemdeki girdileri kullanarak karşılaştığı durumlar arasındaki farklılıklar veya benzerliklere göre kararlar verir. Bundan ötürü YSA, çok zor modellenen ya da modellenmesi olanaksız problemler için geliştirilmiş bir yöntemdir. Aynı zamanda YSA; insan beyninin fonksiyonlardan yola çıkarak geliştirilmiş, birbirleriyle paralel bağlantılı çalışan, aralarında bilgi alışverişi bulunan organizasyonlardır (Elmas 2003). Sinir ağı, bilgiyi depolamak, işlemek ve kullanıma sunmak için temel işlem bölümlerinden oluşan ve paralel olarak çalışabilen devasa bir işlemcidir (Haykin 1999).

YSA günümüzde elektrik tüketimi tahmini, barajların doluluk oranı tahminleri, rüzgâr hızı tahminleri, tıbbi tanı, bir hastanın tedavi süresinin tahmini, borsa tahminleri, döviz kuru tahminleri, bankaların kredi derecelendirmeleri, risk analizleri, fiyat tahminleri, satış tahminleri ve sıcaklık tahminleri gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır.

YSA'nın çalışma mantığı, biyolojik sinir ağlarının çalışma şekline hareketle ortaya çıkmıştır. Biyolojik sinir ağları insan beyninin düşünmesini ve düşünme sonucunda cevap

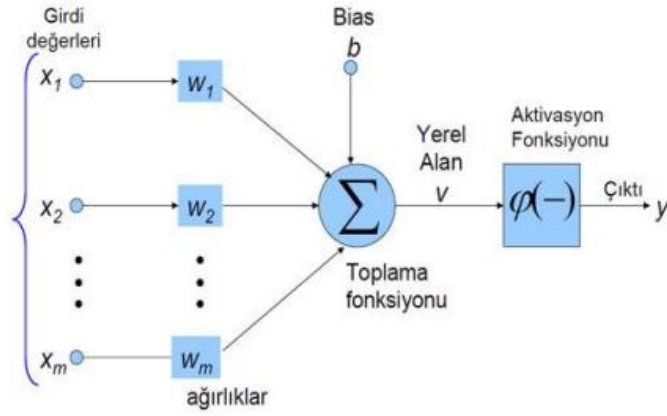
oluşturmasını sağlar. Biyolojik sinir ağları insan beyinde bulunan milyarlarca sinir hücresi ve bu sinir hücrelerinin birbirleriyle yapmış olduğu bağlantılardan oluşur. Sinir sisteminde bulunan reseptörler sayesinde alınan bilgiler sinir hücreleri arasındaki bağlantılarla aktarılır ve işlenerek tepki verilir. Bir sinir hücresi sinaps, akson, hücre gövdesi(soma) ve dendrit bölümlerinden oluşmaktadır. Şekil 2’de biyolojik sinir hücresinin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2. Biyolojik sinir hücresi (Çelik 2011)

- Dendrit; nöronun ağaç köküne benzeyen ve uyarıları diğer nöronlardan alarak çekirdeğe aktaran uzantılardır.
- Hücre gövdesi(soma); hücre çekirdeğini içermektedir. Dendritlerden aktarılan bilgiler bu bölümde toplanır ve işlenir. İşlenen bilginin aksonlara iletiildiği kısımdır.
- Akson; çekirdekten aktarılan bilginin diğer bir sinir hücresinin dendritine aktarır.
- Sinaps; bilginin üretildiği nöronun akson ucu ile bilginin aktarılacağı nöronun dendrit bölümü arasındaki bağlantı bölgelerine verilen isimdir.

Biyolojik sinir hücresinin yapısından hareketle, yapay sinir hücreleri birbirlerinden aldıkları girdileri ağırlıklar ile çarparak toplama fonksiyonuna iletirler. Toplama fonksiyonunda elde edilen sonucun eşik değerini geçmesiyle birlikte bu bölümde bir sinyal üretilir. Bu sinyal bir başka yapay sinir hücresinin girdisi olacağı gibi doğrudan çıktıda olabilir (Öztemel 2003).



Şekil 3. Yapay sinir hücresi yapısı (Keskenler ve Keskenler 2017)

Şekil 3’de gösterilen yapay sinir hücresinde nöron çıkışında değişim olması için girdilerde değişimin olması gerekmektedir. Burada kazanç ağırlıklarını W_i sembolü, giriş verilerini x_i sembolü, eşik değerini b sembolü, toplama fonksiyonunu Σ sembolü, aktivasyon fonksiyonu ise ϕ sembolü ile gösterilmektedir.

- Girdiler: Dışarıdan yapay sinir hücresine gelen verilerdir. Bunlar hücreye direkt gelebileceği gibi başka hücreden de gelebilir.
- Ağırlıklar: Girdilerden gelen verileri çekirdeğe göndermeden önce geldikleri bağlantıların ağırlıklarıyla çarpıldıktan sonra çekirdeğe iletilir. Bu değerler girdinin sinir ağı üzerindeki etkisini ifade eder ve değişken veya sabit değer olabilir.
- Toplama Fonksiyonu: Biyolojik nörondaki dendritlerin yaptığı işi yapan fonksiyondur. Bir hücreye gelen net girdiyi hesaplayan katmandır. En yaygın olarak kullanılan toplama fonksiyonları Tablo 1’de belirtilmiştir. Tablodaki formüllerde W_{ij} değeri, i ve j nöronları arasındaki bağlantının ağırlığını ifade ederken, X_i , i nöronunun çıktısını ifade etmektedir.

Tablo 1. Toplama Fonksiyonları (Öztemel 2003)

Fonksiyon Adı ve Tanımı	Fonksiyon Formülü
Toplam Fonksiyonu: Ağırlıkların girdi değerler ile çarpılmasıyla bulunan değerler daha sonra birbiriyle toplanarak net girdi hesaplanır.	$NET = \sum G_i * A_i$
Çarpma Fonksiyonu: Ağırlıkların girdi değerler ile çarpılmasıyla bulunan değerler daha sonra birbiriyle çarpılarak net girdi hesaplanır.	$NET = \prod G_i * A_i$
Maksimum Fonksiyonu: Ağırlıkların girdi değerler ile çarpılmasıyla bulunan değerlerin maksimumu net girdi olarak hesaplanır.	$NET = Max(G_i * A_i)$
Minimum Fonksiyonu: Ağırlıkların girdi değerler ile çarpılmasıyla bulunan değerlerin minimumu net girdi olarak hesaplanır.	$NET = Min(G_i * A_i)$
Çoğunluk Fonksiyonu: Ağırlıkların girdi değerler ile çarpılmasıyla bulunan değerler pozitif ve negatif olarak sınıflandırılır. Hangisi daha fazlaysa o sayı net girdi olarak alınır.	$NET = \sum sng(G_i * A_i)$

- Aktivasyon Fonksiyonu: Yapay sinir hücresine gelen net girdiyi kullanarak hücrenin üreteceği çıktıyı belirler. YSA hücresinin bu bölümünde kullanılan çeşitli fonksiyonlar bulunmaktadır. En yaygın kullanılan fonksiyonlar Tablo 2’de belirtilmiştir.

Tablo 2. Aktivasyon Fonksiyonları (Öztemel, 2003)

Fonksiyon Adı	Fonksiyon Formülü
Sigmoid Fonksiyonu	$F(Net) = \frac{1}{1 + e^{-Net}}$
Hiperbolik Tanjant Fonksiyonu	$F(Net) = \frac{1}{1 + e^{-Net}}$
Doğrusal Fonksiyon	$F(Net) = (e^{Net} - e^{-Net}) / (e^{Net} + e^{-Net})$
Adım Fonksiyonu	$f(Net) = \begin{cases} 0, & Net < 0 \\ 1, & Net \geq T \end{cases}$
Rampa Fonksiyonu	$f(Net) = \begin{cases} 0, & Net < T1 \\ \frac{Net - T1}{T2 - T1}, & T1 \leq Net \leq T2 \\ 1, & Net \geq T2 \end{cases}$

- Hücre çıktısı: Aktivasyon fonksiyonunun belirlediği hücrenin çıktısıdır. Hücre çıktısı dış dünyaya iletebileceği gibi farklı bir hücreye de iletebilir veya hücre kendi ürettiği çıktıyı kendine girdi verebilir (Öztemel 2003).

Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri

YSA'nın özellikleri uygulanan ağ modeli, ağ yapısı ve öğrenme modeline göre değişiklik göstermektedir. YSA'nın özellikleri avantajları ve dezavantajları olarak iki başlık altında aşağıdaki gibi sıralanır.

Avantajları;

- YSA doğrusal ve doğrusal olmayan problemlerin çözümlenmesinde kullanılabilir.
- YSA'da bulunan her bir yapay sinir hücresi eş zamanlı yani paralel olarak çalıştığı için hızlı sonuç verme özelliğine sahiptir.
- YSA istenilen sonuçları verebilmesi için ilgili probleme ait örnekleri kullanarak öğrenme işlemini gerçekleştirir. Öğrenme işlemi yapay sinir hücreleri arasındaki doğru bağlantılar ve bağlantılar arasındaki doğru ağırlıklarla sağlanır. (Sagiroğlu vd 2003)
- Geçmiş verilerle kendini eğiten YSA daha önceden karşılaşmadığı örnekler hakkında bilgi üretebilir.
- Eksik ve gürültülü veri setlerinde kullanılabilir. Eğitilen bir YSA karşılaştığı eksik veriye sahip bir örnek için bilgiler türetebilir (Öztemel 2003).
- Şekil tanıma, ilişkilendirme ve sınıflandırma yapabilirler.

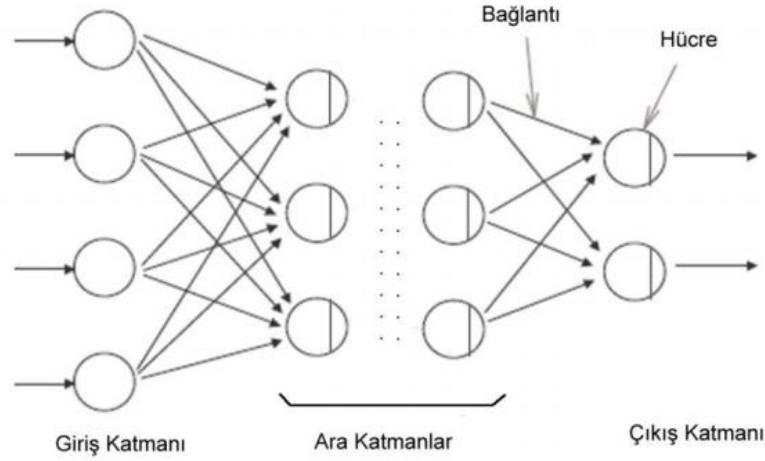
- Ağın herhangi bir hücresinde meydana gelen bozulma o hücrenin ağırlık derecesine bağlı olmak üzere ağın başarısını fazla derecede düşürmez (Öztemel 2003; Hamzaçebi 2011).
- YSA'da bilgiler veri tabanında değil ağ üzerinde bulunan bağlantıların ağırlıklarında saklanır (Adıyaman 2007).

Dezavantajları;

- Kullanılan YSA modelinde birçok değişken bulunmaktadır. Bunlar katman sayısı, katmanlarda bulunan düğüm sayısı, kullanılacak aktivasyon ve toplama fonksiyonları şeklinde sıralanmaktadır. Mevcut problem için kullanılacak en iyi YSA modelini belirlemek için bir yöntem bulunmamaktadır. En iyi sonucu veren ağ yapısı deneme yanılma yoluyla bulunur.
- Sinir ağlarının kara kutu özelliği nedeniyle ağın tam olarak neden ve nasıl çalıştığı bilinemez.
- Veri kümesinin az sayıda olması YSA'nın yeteri kadar eğitilememesine sebep olacaktır. Bu durumda ağın istenilen performansının düşük olacaktır.
- Sadece numerik veriler ile çalışabilmektedir. Veride bulunan numerik olmayan ifadeler numerik olarak ifade edilmelidir.
- YSA en iyi çözümü garanti etmez. Üretilen sonucun iyi sonuçlardan birisi olduğu söylenebilir.

Yapay Sinir Ağının Yapısı

YSA birbirlerine bağlanan yapay sinir hücrelerinden oluşmaktadırlar. YSA Şekil 4'te gösterildiği gibi üç katmandan oluşur; girdi katmanı, ara (gizli) katman ve çıktı katmanı. Veriler girdi katmanından ağa aktarılır, ara katmanlarda bilgiler işlenerek çıktı katmanına gönderilirler. Ara katman tek katmandan oluşacağı gibi birden fazla katmanın bir araya gelmesiyle de oluşabilir. Katman sayısı elimizde bulunan veri grubuna göre değişkenlik gösterir. Katman sayısının az olduğu ağ modelleri karmaşık problemleri çözerken yetersiz kalırken, çok fazla katmana sahip ağ modelleri problemleri çözerken kötü performans gösterebilir.



Şekil 4. YSA'nın Yapısı

Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması

YSA katman sayısına, bağlantı şekline ve öğrenme yöntemine göre 3 ana başlık altında sınıflandırılmaktadır.

Katman Sayısına Göre Yapay Sinir Ağları

YSA'da bulunan sinir hücreleri gruplarına katman adı verilmektedir. Katman sayısına göre YSA tek katmanlı algılayıcılar ve çok katmanlı algılayıcılar olmak üzere ikiye ayrılır (Hamzaçebi 2011).

Tek Katmanlı Algılayıcılar

Tek katmanlı algılayıcılar yalnızca girdi ve çıktı katmanlarından oluşmaktadır. Tek katmanlı ağ yapısına sahip ağ modellerinde bir veya birden fazla girdi girebilir fakat tek bir çıktı oluşturulur. Bu ağ türleri, veri kümesinin doğrusallığın olmadığı durumlarda eğriselliği sağlayan gizli katmanların bulunmayışından dolayı doğrusal olmayan problemlerin çözümünde yetersizdir (Cebeci 2013). Tek katmanlı algılayıcı modellerinin en önemlileri Perceptron, Çoklu Adaptif Doğrusal Eleman (MADALINE) ve Adaptif Doğrusal Eleman (ADALINE)'dir. Perceptron girdi kümesinde bulunan nesneleri iki farklı sınıfa ayırmak için kullanılır. Girdi değerlerinin ağırlıklar ile çarpılmasıyla bulunan sonuçlar belirlenen eşik değerinin altında veya üzerinde olmasına göre sınıflandırma işlemi yapılır (Alp ve Öz 2019).

Çok Katmanlı Algılayıcılar

Çok Katmanlı Algılayıcılar, girdi katmanı, ara (gizli) katmanlar, çıktı katmanından oluşmaktadır. Çok katmanlı algılayıcıların gizli katmanlarında kullanılan doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonları sayesinde girdiler ve çıktılar arasında doğrusal ilişkinin olmadığı

durumlarda kullanılmaktadır. Kullanılan veri kümesinin karmaşıklık düzeyine göre gizli katman sayısı değişiklik gösterebilir.

Bağlantı Şekline Göre Yapay Sinir Ağları

YSA birçok sinirin birbirlerine bağlanmasından meydana gelmektedir. Bu sinirler arasındaki bağlantıların yönlerine göre yani bir sinirden üretilen çıktının başka bir sinirin girdisi olacağından ve bu verilerin akış yönlerine göre YSA sınıflandırılmaktadır. Buna göre bağlantı şekline göre YSA ileri beslemeli (feedforward) ve geri beslemeli (feedback/recurrent) ağlar olmak üzere iki farklı başlıkta incelenmektedir.

İleri Beslemeli Ağlar

İleri beslemeli YSA'da bilgiler girdiden çıktıya doğru geri dönüş olmadan tek bir yönde akmaktadır. Bu ağlar katmanlara ayrılmışlardır ve her bir katmanda bulunan hücrelerin çıktıları kendisinden sonraki katmanda bulunan hücrelere girdi olacak şekilde verilirler. Bu tür ağlar bilginin tek yönlü akışından kaynaklı bazı problemlerin çözümünde yetersiz kalmaktadır.

Geri Beslemeli Ağlar

Geri beslemeli YSA'da bilgilerin ileri yönlü akışı olmasına karşın geri yönlü akışının da olduğu ağlardır. Bir ağın geri beslemeli ağ olarak nitelendirilebilmesi için üretilen en az bir çıktının ya aynı katmanda bulunan ya da kendinden önceki bir katmanda bulunan sinir hücresine girdi olarak iletilmesi gerekmektedir. Böylece bilgiler ileri yönde aktarılacağı gibi geri yönde de aktarılmış olur. Geri beslemeli ağlar ileri döngü oluşturdukları için ileri beslemeli ağlara göre daha yavaş olmaktadır. Bu ağ çeşidine örnek olarak Hopfield, Elman ve Jordan ağları verilebilir (Doğan 2019).

Öğrenme Yöntemine Göre Yapay Sinir Ağları

YSA'da bulunan sinir hücrelerinin arasındaki bağlantıların ağırlıklarının değiştirilmesiyle öğrenme sağlanır. YSA öğrenme yöntemine göre danışmanlı, danışmansız ve destekleyici öğrenme olmak üzere üçe ayrılmaktadır.

Danışmanlı Öğrenme

Bu öğrenme yönteminde YSA bir danışman yardımıyla eğitilir. Eğitim verisi verilerek YSA eğitilir ve eğitilen ağdan alınan çıktı değerleri ile gerçek çıktı değerleri arasındaki hata oranı hesaplanarak danışman tarafından karşılaştırılır. Hesaplanan hata oranı danışmanın istediği düzeye gelene kadar bağlantılar arasındaki ağırlıklar değiştirilerek öğrenme devam ettirilir. Hata oranı istenilen seviyeye geldiği zaman öğrenme işlemi tamamlanmış olur (Alp ve

Öz 2019). Bu öğrenme yönteminde hata oranlarının hesaplanmasında genellikle Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE: Mean Absolute Percentage Error) ve Hata Kareleri Ortalamasının Karekökü (RMSE: Root Mean Squared Error) performans değerlendirme ölçütleri kullanılır.

Danışmansız Öğrenme

Danışmansız öğrenme yönteminde danışmanlı öğrenme yönteminin aksine çıktı verileri ağa tanıtılmamaktadır. Ağın girdiler arasındaki ilişkiyi algılanması beklenmektedir. Bu öğrenme yöntemi genellikle girdilerin olup cevapların olmadığı veri setlerinde sınıflandırma problemleri için kullanılmaktadır (Rençber 2018).

Destekleyici Öğrenme

Danışmanlı öğrenme yönteminde olduğu gibi öğrenme danışman kontrolünde gerçekleştirilir ancak danışmansız öğrenme yönteminde olduğu gibi çıktı verileri ağa verilmemektedir. Bu yöntemde gerçekleşen her öğrenme sonucunda danışman doğru-yanlış, yeterli-yetersiz gibi bir skor oluşturularak öğrenme sürecinin tamamlanması veya devam etmesine karar verilir (Rençber 2018).

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde aşılana nüfus oranına ve virüsün mutasyona uğrama oranına göre oluşturulan senaryolar altında uygulanan kısıtlama stratejilerinin etkisi YSA kullanılarak Türkiye örneği üzerinde uygulanıp, araştırılacaktır. Bu bölümde ilk olarak önerilen iki farklı tahmin modelinin ve bu modellere ait veri kümelerinin açıklaması yapılacaktır. Daha sonra veri kümelerinin normalleştirilmesi, YSA'nın oluşturulması ve çeşitli senaryolara göre tahmin çalışmaları yapılacaktır.

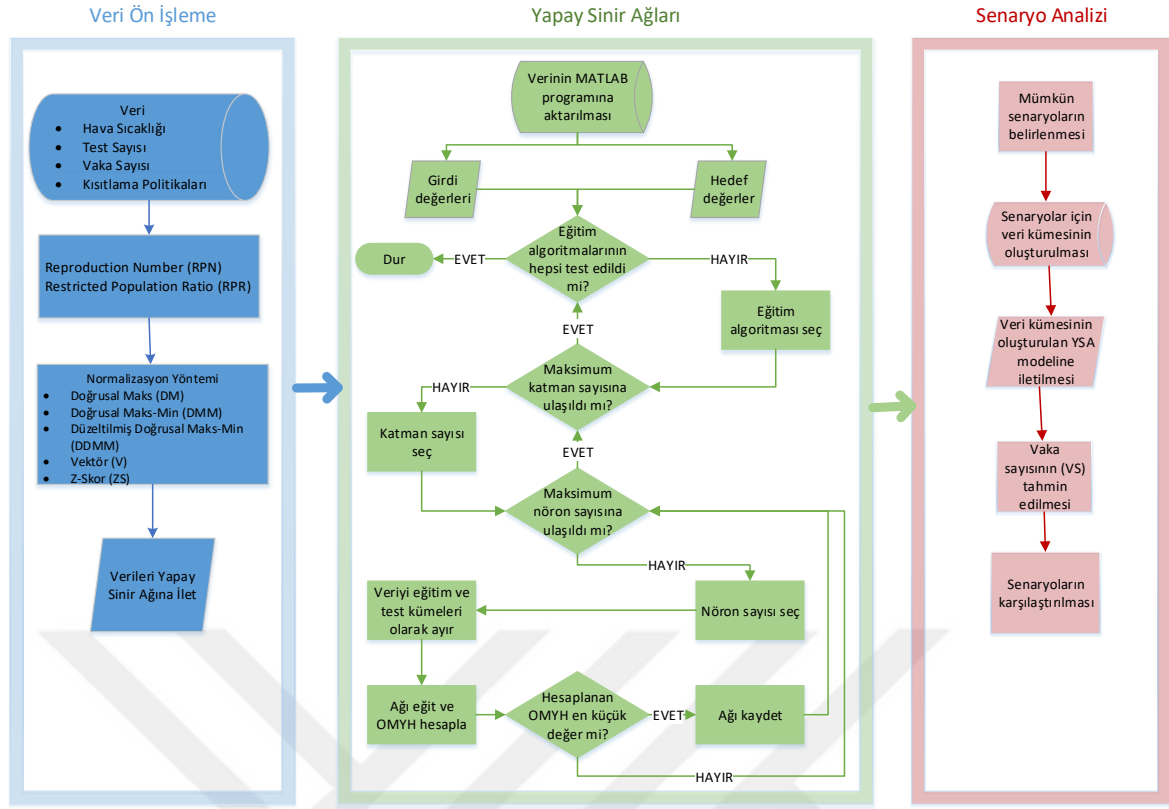
Çalışma kapsamında yapılacak olan Türkiye'de aşılana nüfus oranı ve virüsün mutasyona uğrama oranına göre Covid-19 ile mücadelede uygulanan kısıtlama stratejilerinin etkilerinin tahmini için iki farklı tahmin modeli önerilmiştir. Bu modellerden birisi virüsün BK'sına diğer model ise KNO'ya dayanmaktadır. BK'ya dayalı olarak oluşturulan modelin kullanılabilmesi için uygulanmasının etkinliği araştırılacak olan kısıtlama stratejilerine ait geçmiş verilerin olması gerekmektedir. Önerilen KNO'ya dayalı modelde uygulanmasının etkinliği araştırılacak olan her bir kısıtlama stratejisi için KNO hesaplanır ve hesaplanan KNO kullanılarak o kısıtlama stratejilerinin uygulanmış olduğu geçmiş verilere olan gereklilik ortadan kalmaktadır.

Değişkenlerin Seçilmesi ve Verilerin Hazırlanması

Çalışmanın ilk kısmında yapılan literatür araştırması bölümünde YSA kullanılarak COVID-19 için yapılan birçok tahmin çalışması incelenmiştir. Bu incelemeler ışığında çalışmada YSA'dan alınacak olan çıktı yani tahmin edilecek değişken günlük vaka sayıları olarak belirlenmiştir. BK'ya ve KNO'ya dayalı tahmin modellerine ait girdi verileri Tablo 3'de gösterildiği gibidir.

Tablo 3. Tahmin modellerinde kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri

BK		KNO	
Girdiler Değişkenleri	Çıktı Değişkeni	Girdiler Değişkenleri	Çıktı Değişkeni
Zaman İndeksi (T)	Vaka Sayısı (VS)	Zaman İndeksi (T)	Vaka Sayısı (VS)
Hava Durumu (HD)		Hava Durumu (HD)	
Test Sayısı (TS)		Test Sayısı (TS)	
Bulaşıcılık Katsayısı (BK)		Kısıtlanmış Nüfus Oranı (KNO)	



Şekil 5. Araştırma yönteminin akış şeması

Şekil 5’de çalışmada kullanılan veriler ve bu verilerin YSA’ya hazır hale getirilmesi, uygun YSA modelinin belirlenmesi ve senaryo analizleri bölümleri için uygulanan işlemlerin akış şeması gösterilmiştir.

Uygulama kapsamında 1 Nisan 2020 ile 15 Şubat 2021 arasındaki 321 günlük veri kümesi YSA’nın eğitimi için kullanılmıştır. Kullanılan veri kümelerinin açıklamaları aşağıda sıralanmaktadır;

Zaman İndeksi (T): Veri kümesinde bulunan her elemanın değerlerini zaman içinde karşılık gelen noktalarla ilişkilendirmek için kullanılır.

Hava Durumu (HD): Veri kümesi, sıcaklığın Covid-19 bulaşması üzerindeki etkisini modele dahil etmek için kullanılmıştır. Kuramsal temeller bölümünde meteorolojik veriler özelinde hava sıcaklığı verisinin Covid-19 salgını üzerinde oldukça etkili olduğunu ortaya koyan birçok çalışma incelenmiştir (Tosepu 2020; Wang 2020; Gupta 2020; Şahin 2021; Sarmadi 2021). Her şehir için günlük olarak i şehrinde ve t zamanında gün içerisinde görülen en düşük ve en yüksek sıcaklık değerlerinden oluşmaktadır. Bu veriler bir web sayfasından alınmıştır (Anonymous 2020). BK’ya dayalı yöntemde en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Hesaplama işlemleri Eşitlik (4.1)’e göre yapılmıştır.

$$HD_t = \sum_{i=1}^n \left[\left(hd_{\min,i}^t + hd_{\max,i}^t \right) / 2 \right] / n \quad (4.1)$$

Burada n şehir sayısını temsil etmektedir.

KNO'ya dayalı yöntemde her şehir için o şehrin nüfusuna göre ağırlıklandırılmış en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Nüfusa ilişkin veriler, Türkiye İstatistik Kurumu tarafından sağlanan Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sisteminden alınmıştır (Anonim 2020). Hesaplama işlemleri Eşitlik (4.2)'ye göre yapılmıştır.

$$HD_t = \sum_{i=1}^n \left[P_i \left(hd_{\min,i}^t + hd_{\max,i}^t \right) / 2 \right] / \sum_{i=1}^n P_i \quad (4.2)$$

Formülde n şehir sayısını ve P_i değeri i şehrinin nüfusunu temsil etmektedir. Çalışmada şehirlerin nüfusunun zamanla değişmediği, sabit kaldığı varsayılmıştır.

Test Sayısı (TS): Literatür incelendiğinde salgın hastalıklara ait vaka sayılarının test edilen kişi sayısı ile oldukça bağlı olduğu görülmektedir (Hannah *et al.* 2020). Bundan dolayı tahmin modelinin en önemli girdisidir. Araştırmanın uygulamasının yapıldığı Türkiye'deki günlük test sayıları Sağlık Bakanlığı'nın resmi Covid-19 web sitesinden (Anonim 2020) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün veri tabanından (Anonymous 2020) elde edilmektedir.

Vaka Sayısı (VS): Covid-19 alanında yapılan tahmin çalışmalarının birçoğunda vaka sayıları tahmin edilmektedir. Dünya genelinde ilk Covid-19 vakası 2019 yılı aralık ayı içerisinde bildirilirken, Sağlık Bakanlığı tarafından 10 Mart 2020 tarihinde Türkiye'de ilk vaka bildirildi (Şahin 2020). Çalışmada Türkiye'de Covid-19'un ilk evresinde yapılan düşük test sayısını göz ardı ederek 1 Nisan 2020 itibarıyla bildirilen vaka sayıları kullanılmıştır.

Kısıtlanmış Nüfus Oranı (KNO): Ülkelerin yöneticileri Covid-19 salgınıyla mücadelede insanların etkileşimini azaltmak amacıyla çeşitli kısıtlamalar uygulamaktadır. Buna göre farklı ülkelerde uygulanan insanların toplandığı etkinliklerin, toplantıların yasaklanması, halka açık yerlerin veya eğitim kurumlarının kapatılması, yaş gruplarına yönelik evde kalma, sokağa çıkma yasağı, tam kapanma adı da verilen herkes için uygulanan sokağa çıkma yasağı vb. gibi çok sayıda strateji uygulanmaktadır (Thompson *et al.* 2019). Hatta ülkelerin farklı bölgeleri için farklı kısıtlama stratejileri uygulanabilmektedir. Uygulama kapsamında incelediğimiz Türkiye'de de bir dönem şehirler vaka sayısına göre farklı gruplara ayrılmış ve her gruba farklı kısıtlama stratejileri uygulanmıştır. Tablo 4'te Türkiye'de şimdiye kadar uygulanan ve bu çalışma kapsamında incelenen kısıtlama stratejileri listelenmiştir.

Tablo 4. Çalışmada incelenen kısıtlama stratejileri

Kısıtlama Stratejileri			
M1	65 yaş üstü için sokağa çıkma yasağı	M6	81 şehirde sokağa çıkma kısıtlaması
M2	20 yaş altı için sokağa çıkma yasağı	M7	Şehirler arası seyahat kısıtlaması
M3	Eğitim kurumlarının kapatılması	M8	Alış-veriş merkezlerinin kapatılması
M4	15 şehirde sokağa çıkma kısıtlaması	M9	Cafe-Restoran kısıtlaması
M5	31 şehirde sokağa çıkma kısıtlaması		

KNO, bir kısıtlama stratejisinin uygulanmasıyla kısıtlanan nüfusun yüzdesini hesaplar (birden fazla kısıtlamanın aynı anda uygulandığı durumlar için de kullanılabilir). Bu çalışmada KNO'yu t zamanında (yani, KNO_t) hesaplamak için genel bir formül önerilmiştir. Araştırmada incelenen kısıtlamalar KNO katsayısını hesaplayabilmek için iki gruba ayrılır; aktif ve pasif kısıtlamalar. Aktif kısıtlamalar, tam kapanma, bazı bölgelerde ve bazı yaş gruplarında sokağa çıkma yasağı ve eğitim kurumlarının kapatılması gibi bireyler arasındaki etkileşimi durdurmaya yönelik kuralları içerir. Farklı olarak, pasif kısıtlamalar şehirler arası seyahat kısıtlaması, restoranların ve alışveriş merkezlerinin kapatılması vb. gibi hareketliliği azaltmayı amaçlar. Eşitlik (4.3) kullanılarak t zamanına ait kısıtlama katsayısı (C_t) hesaplanır.

$$C_t = 1 - \left(1 - \sum_{i=1}^r a_i \right) \left(1 - \sum_{j=1}^m p_j \right) \quad (4.3)$$

Burada a_i , i aktif kısıtlamasından etkilenen popülasyonun yüzdesini, p_j , j pasif kısıtlamasından etkilenen popülasyonun oranını, r ve m sırasıyla aktif ve pasif kısıtlamaların sayısını ifade etmektedir.

Nüfusun bir kısmı kısıtlama kurallarına uymamaktadır. Bundan dolayı, a_i ve p_j oranları kısıtlanan nüfusu tam olarak ifade etmemektedir. Bu belirsizliği modelimize dahil etmek için C_t 'yi, ortalaması 15 ve standart sapması 2 olan normal dağılımlı ($r_t \sim N(15, 2)$) bir r sayısı ile çarpıyoruz. Düzeltilmiş kısıtlama katsayısı (A_t) Eşitlik (4.4) kullanılarak elde edilir.

$$A_t = r_t C_t \quad (4.4)$$

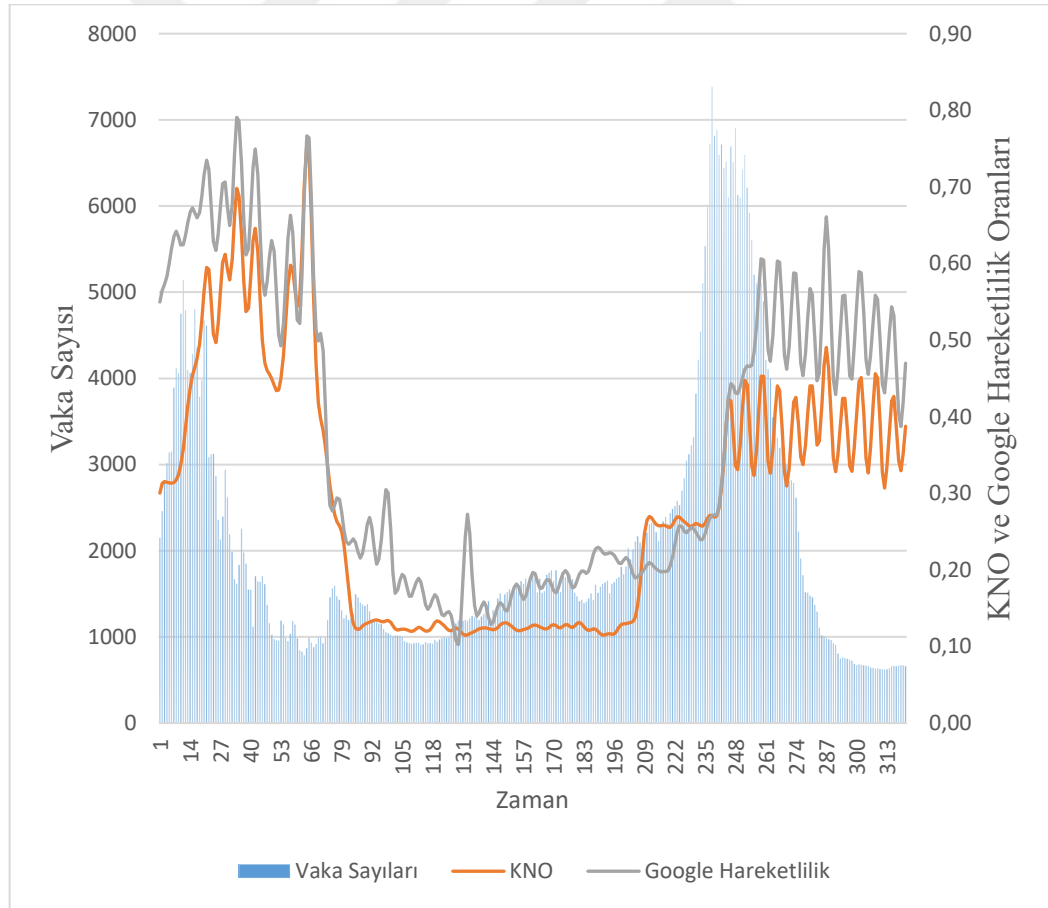
Covid-19'un kuluçka süresinin (semptomların ilk ortaya çıkmasına kadar geçen süre) 2 ile 15 gün arasında olduğu tahmin edilmektedir (Qin *et al.* 2020). Kuluçka süresini modele dahil etmek için Weibull dağılımı (Gama veya Lognormal dağılımlar, Weibull dağılımı ile

karşılaştırıldığında benzer sonuçlar sağlar) kullanılmıştır. Sonuç olarak, t zamanındaki KNO_t Eşitlik (4.5) kullanılarak hesaplanır.

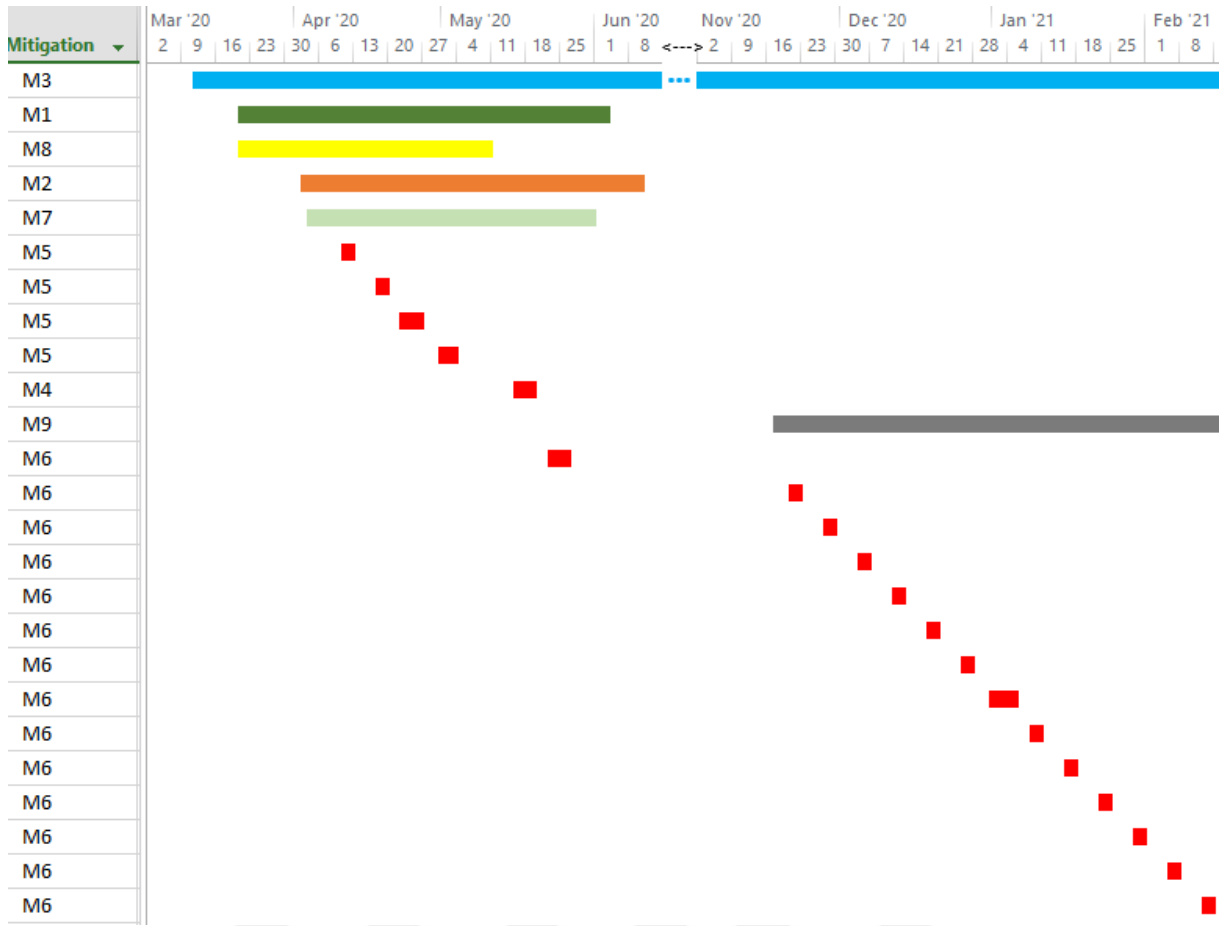
$$KNO_t = \sum_{i=1}^{15} \left[\frac{k}{\lambda} \left(\frac{i}{\lambda} \right)^{k-1} e^{-(i/\lambda)^k} A_{t-i} \right] \quad (4.5)$$

Burada k ve λ değişkenleri Weibull dağılımında kullanılan şekil ve ölçek parametreleridir.

Bu çalışmada geliştirilen KNO'nun önemini göstermek için Google tarafından paylaşılan Türkiye'ye ait günlük hareketlilik raporu (Anonymous 2020) ile karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırma sonucunda bulunan korelasyon katsayısı ($r = 0.93$) değişkenler arasındaki güçlü doğrusal ilişkiyi gösterir. Şekil 6'da görüldüğü gibi, kısıtlamaların artması vaka sayısının kontrol altına alınmasını sağlamaktadır. Türkiye'de vaka sayılarında ikinci zirve Haziran 2020'den sonra kısıtlamaların kaldırılmasıyla yaşanıyor. Grafikte son 3 aylık dönemde KNO için oluşan zikzak yapı sokağa çıkma yasağının sadece hafta sonları uygulanmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 6. KNO ile hareketlilik değişimi raporunun karşılaştırması



Şekil 7. Türkiye’de uygulanan kısıtlama çizelgesi

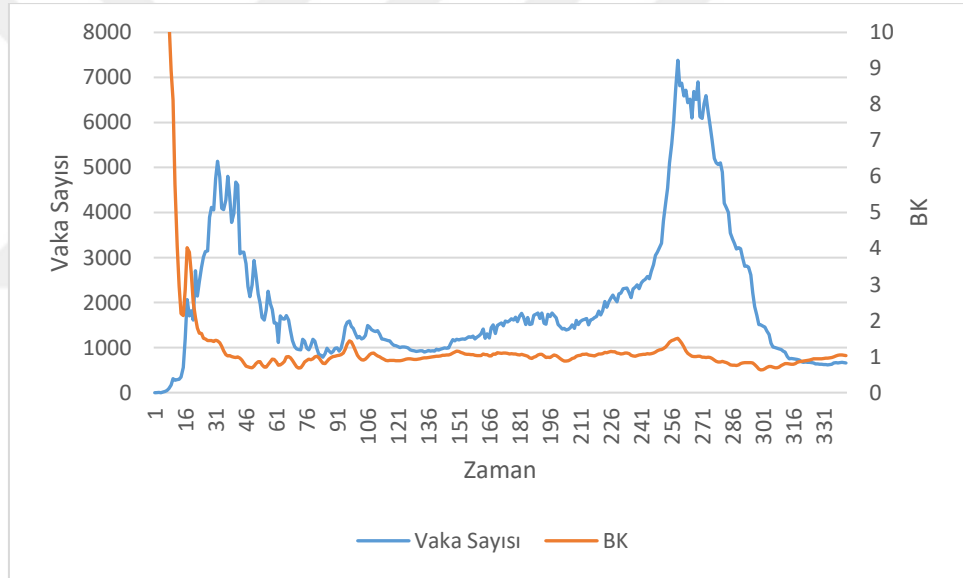
Şekil 7’de Tablo 4’te sembolleri gösterilen ve Türkiye’de uygulamaya konulan her bir kısıtlama stratejisinin zaman çizelgesini gösterilmektedir. Görüldüğü gibi, farklı kısıtlama stratejileri aynı zaman diliminde uygulanabilmektedir. Örneğin M1, M2 ve M3 stratejileri 3 Nisan ile 3 Haziran 2020 tarihleri arasında eş zamanlı olarak uygulanmaktadır. Bu çalışma kapsamında Türkiye’de uygulanan kısıtlama stratejilerinin 6 farklı kombinasyonu incelenmiştir. Bu kısıtlama stratejileri (Ks) Tablo 5’te gösterilmiştir.

Tablo 5. Çalışmada araştırılan kısıtlama stratejileri

Ks1	Ks2	Ks3	Ks4	Ks5	Ks6
M6	M1-M3, M5, M7-M9	M1-M3, M7, M8	M1-M4, M7	M1-M3, M7	M1-M3

Tabloda “-” ile gösterilen ifadeler aralıkta bulunan kısıtları belirtmektedir. Örneğin M7-M9 ifadesi M7, M8 ve M9 stratejilerinin bir arada uygulanmasını temsil etmektedir.

Bulaşıcılık Katsayısı (BK): Bulaşıcı bir hastalığın yayılma hızını ölçmek için kullanılır ve t zamanında bir popülasyonda enfekte olmuş bir birey tarafından enfekte edilen yeni kişilerin ortalama sayısı olarak tanımlanır (Thompson *et al.* 2019). BK, Günlük vaka sayıları verilerini giriş parametreleri olarak kullanarak, bir Bayes çıkarımı ile günlük olarak hesaplanır. BK'nın t zamanındaki değeri, t zamanındaki beklenen yeni enfeksiyon sayısının, t zamanında enfekte olmuş kişilerin toplam bulaşıcılığına bölünmesiyle tahmin edilebilir (Thompson *et al.* 2019). Bu çalışmada, her gün için anlık BK, ortalaması 4.98 ve standart sapması 3.22 olan seri aralığı (birincil enfekte olan kişinin semptom göstermesi ile ikincil enfekte olan kişinin semptom göstermesi arasında geçen süre) (Şenel vd. 2020) kullanılarak tahmin edilmektedir. Anlık BK için hesaplanan değerler Şekil 7'de grafiksel olarak gösterilmiştir. BK, bir virüsün yayılmasının bir göstergesidir ve her bir bulaşıcı kişi tarafından üretilen potansiyel ikincil vakaların sayısını temsil eder. BK değeri birin altında kalırsa, salgının sona ermesi muhtemeldir. Bununla birlikte, BK birden büyük olursa bunun sonucunda da enfekte kişilerin sayısının artması muhtemeldir.



Şekil 8 Anlık BK değeri

Veri Kümelerinin Normalizasyonu

Girdi ve çıktı değerleri ağı verilmeden önce kullanılan normalizasyon yöntemine göre $[0, 1]$ veya $[-1, 1]$ aralığına getirilmesi işlemine normalizasyon denir. Verilerin normalize edilmesi veri kümesinde bulunan veriler arasındaki büyüklük farkından kaynaklanan olumsuzlukları gidermek için uygulanır. Ayrıca YSA'da normalize edilmeden kullanılan veri kümesi eğitim süresinin oldukça uzun olmasına sebep olabilir. Literatürde birçok farklı normalizasyon yöntemi bulunmaktadır. Kullanılan normalizasyon yöntemine göre YSA'dan alınan çıktı değerlerinin performans oranı değişmektedir. Veri grubuna göre en iyi sonucu veren normalizasyon yöntemini belirlemenin bir yöntemi bulunmamaktadır. Uygun normalizasyon

yöntemi deneme yanılma yoluyla belirlenmektedir. Bu çalışmada en yaygın olarak kullanılan beş normalizasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemler aşağıda formülleriyle birlikte verilmiştir (Aksu *et al.* 2019).

Doğrusal Maksimum Yöntemi:

$$z_i = x_i / \max[x] \quad (4.6)$$

Doğrusal Maksimum-Minimum Yöntemi:

$$z_i = (x_i - \min[x]) / (\max[x] - \min[x]) \quad (4.7)$$

Düzeltilmiş Doğrusal Maksimum-Minimum Yöntemi:

$$z_i = 0.8(x_i - \min[x]) / (\max[x] - \min[x]) + 0.1 \quad (4.8)$$

Vektörel Normalizasyon Yöntemi:

$$z_i = x_i / \sqrt{\sum_i x_i^2} \quad (4.9)$$

Z-skor Normalizasyonu Yöntemi:

$$z_i = (x_i - \mu) / \sigma \quad (4.10)$$

Bu formüllerde x_i girdi değerini, z_i normalize edilmiş değeri, μ girdi değerlerinin aritmetik ortalamasını ve σ girdi değerinin standart sapma değerini ifade etmektedir. Bu bölümde yapılan hesaplamalar MATLAB (Matrix Laboratory) paket programının R2020b sürümü kullanılarak yapılmıştır.

Yapay Sinir Ağının Oluşturulması

YSA, girdi verileri ile çıktı verileri arasındaki matematiksel ilişkiyi belirlemek için kullanılmaktadır. Belirlenecek ilişkinin başarı oranı nöronlar arasındaki ağırlıklara göre değişkenlik göstermektedir. Doğru ağırlıkların belirlenebilmesi için en uygun ağ yapısını belirlemek önemlidir. Covid-19 salgınıyla alakalı yapılan bu tahmin çalışmasında veri kümesinde doğrusallıktan bahsetmek mümkün değildir. Bundan dolayı ağ modeli olarak çok katmanlı YSA kullanmak daha başarılı sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Temel ağ mimarisinin kararı verildikten sonra YSA'nın sonucu etkileyecek diğer değişkenleri olan; gizli katman sayısı, gizli katmanlarda bulunan nöron sayıları, veri ön işleme bölümünde kullanılan normalizasyon metodu ve kullanılacak eğitim algoritmasının kararları deneme yanılma yoluyla verilmektedir. Yapılan tüm denemeler MATLAB-R2020b programında yazılan kodla yapılacak ve denemeler sonucunda oluşan ağ modelleri kaydedilecektir. Bu bölümde uygulanacak yöntemin akış şeması Şekil 5'in orta bölümünde bulunan YSA bölümünde gösterilmiştir.

Normalize edilen 321 güne ait girdi verileri (T, HD, TS, BK veya KNO) ve çıktı verisi (VS) MATLAB-R2020b programına aktarıldıktan sonra veri kümesi rastgele eğitim (225 gün) ve test (96 gün) olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Eğitim veri kümesi YSA'yı eğitmek için, eğitimde kullanılmayan test veri kümesi de eğitilen ağların performanslarını değerlendirmek için kullanılmıştır.

Çok katmanlı YSA modellerinde eğitim süreci girdi katmanı, gizli katman/katmanlar ve çıktı katmanı olmak üzere en az üç katman kullanılarak gerçekleştirilir. Bu çalışma kapsamında 1'den 4'e kadar gizli katman sayısı denenmiştir. Katmanlarda bulunan nöron sayısını belirlemek için yapılan denemelerde 20 nörondan fazla nöron bulunan modellerin performans oranının düştüğü görülmüştür. Bu nedenle her gizli katmanda 1'den 20'ye kadar nöron bulunan modeller denenmiştir. Bununla beraber 4 farklı girdi verisine karşılık gelen girdi katmanında 4 nöron, sadece vaka sayısı verisine karşılık gelen çıktı katmanında 1 nöron bulunmaktadır. Eğitim algoritması olarak en yaygın olarak kullanılan Bayesian Regularization (trainbr), Scaled Conjugate Gradient (trainscg) and Levenberg-Marquardt (trainlm) olmak üzere 3 farklı algoritma denenmiştir. Yapılan bu denemeler hem BK'ya dayalı model için hem de KNO'ya dayalı model için ayrı ayrı test edilmiştir. Uygun YSA modelinin belirlenmesi için bütün değişkenlerin kombinasyonlarına göre oluşturulan ağ modelleri 20 farklı deneme yapılarak toplamda 1566000 model test edilmiştir. Ayrıca çalışmada aktivasyon fonksiyonu olarak hiperbolik tanjant fonksiyonu (tansig) kullanılmıştır. Ağların performansını belirlemek için ortalama mutlak yüzde hata (OMYH) (MAPE-Mean Absolute Percentage Error) ve Belirleme Katsayısı (R-squared) yöntemleri sırasıyla aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$OMYH = \sum_{t=1}^n |100(\hat{y}_t - y_t)/y_t|/n \quad (4.11)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2}{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2} \quad (4.12)$$

Burada n gözlem sayısıdır, y_t , $\hat{y}_t$ ve $\bar{y}$ sırasıyla t zamanında gerçekleşen, tahmin edilen ve gerçek değerlerin ortama değerlerini temsil etmektedir. OMYH, önerilen YSA modelinin doğruluğunu belirlemek için kullanılır; OMYH değeri daha küçük olan model veriyi en doğru açıklayan, en uygun model olarak değerlendirilir. R^2 , tahmin edilen değerlerin sapma oranını ölçmek için kullanılır. R^2 değeri 0 ve 1 aralığında değer alır ve 1'e yakın değer alması tahmin edilen değerlerin gerçek değerlere oldukça yakın olduğu anlamına gelmektedir.

Uygun YSA Modelinin Seçimi

Bu bölümde farklı gizli katman sayısına göre test edilmiş olan ağ modelleri için alınan sonuçlar incelenmiştir. Tablolarda bulunan sonuçlar gösterilen değişkenler için alınan en iyi performans değerine sahip sonuçlardır.

1 Adet Gizli Katmana Sahip Ağ Modeli

Bu ağ modeli 2 tahmin modeli için 5 farklı normalizasyon yöntemi, gizli katmanda bulunan 20 farklı nöron sayısı, 3 farklı eğitim algoritması ve her model için 20 tekrar yapılarak toplam 12000 model denenmiştir. Modellerden alınan performans değerleri Tablo 6’da gösterilmiştir.

Tablo 6. 1 adet gizli katmana sahip ağ modelinin performans sonuçları

Önerilen Model		BK		KNO	
Girdiler		T, HD, TS, BK		T, HD, TS, KNO	
Norm. Metodu	Eğitim Algoritması	OMYH	Nöron Sayısı	OMYH	Nöron Sayısı
DM	trainbr	5,551%	15	6,795%	11
DMM		6,229%	14	6,352%	10
DDMM		6,264%	6	6,035%	11
V		5,909%	15	6,947%	12
ZS		5,873%	10	6,816%	12
DM	traincg	14,997%	13	13,591%	10
DMM		14,525%	14	13,741%	9
DDMM		12,238%	9	12,125%	9
V		12,181%	15	15,699%	6
ZS		14,287%	11	15,764%	9
DM	trainlm	6,533%	13	6,872%	13
DMM		6,185%	13	7,033%	10
DDMM		6,612%	8	7,687%	7
V		6,850%	12	6,956%	7
ZS		6,130%	7	6,783%	11

Tablo 6’daki sonuçlara göre gizli katmanda bulunan ideal nöron sayıları 6 ile 15 arasında değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle bundan sonraki denemelerde uygun modele karar sürecini kısaltmak amacıyla bu aralıkta bulunan nöron sayıları kullanılmıştır.

2 Adet Gizli Katmana Sahip Ağ Modeli

Bu ağ modeli 2 tahmin modeli için 5 farklı normalizasyon yöntemi, her iki gizli katmanda bulunan 10 farklı nöron sayısı, 3 farklı eğitim algoritması ve her model için 20 tekrar yapılarak toplam 60000 model denenmiştir. Modellerden alınan performans değerleri Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. 2 adet gizli katmana sahip ağ modelinin performans sonuçları

Önerilen Model		BK		KNO	
Girdiler		T, HD, TS, BK		T, HD, TS, KNO	
Norm. Metodu	Eğitim Algoritması	OMYH	Nöron Sayısı	OMYH	Nöron Sayısı
DM	trainbr	5,675%	13x4	5,451%	6x8
DMM		5,678%	14x13	6,462%	6x8
DDMM		5,377%	15x13	6,592%	6x10
V		5,704%	14x5	6,285%	6x11
ZS		5,758%	14x12	5,796%	6x7
DM	trainscg	9,371%	13x10	9,165%	15x10
DMM		10,809%	14x11	11,400%	13x9
DDMM		10,410%	8x15	10,545%	12x11
V		11,446%	15x9	9,640%	9x11
ZS		10,511%	12x12	10,486%	13x7
DM	trainlm	6,121%	7x9	6,564%	15x11
DMM		4,991%	15x12	6,222%	8x14
DDMM		4,990%	6x13	6,435%	10x12
V		5,422%	14x14	6,345%	11x12
ZS		5,033%	10x15	5,462%	13x10

3 Adet Gizli Katmana Sahip Ağ Modeli

Bu ağ modeli 2 tahmin modeli için 5 farklı normalizasyon yöntemi, her üç gizli katmanda bulunan 10 farklı nöron sayısı, 3 farklı eğitim algoritması ve her model için 20 tekrar yapılarak toplam 600000 model denenmiştir. Modellerden alınan performans değerleri Tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 8. 3 adet gizli katmana sahip ağ modelinin performans sonuçları

Önerilen Model		BK		KNO	
Girdiler		T, HD, TS, BK		T, HD, TS, KNO	
Norm. Metodu	Eğitim Algoritması	OMYH	Nöron Sayısı	OMYH	Nöron Sayısı
DM	trainbr	6,572%	6x7x15	5,799%	8x7x10
DMM		6,258%	6x11x8	5,089%	8x9x8
DDMM		4,952%	7x12x7	6,555%	11x6x8
V		6,758%	8x6x8	6,818%	6x13x6
ZS		5,924%	10x14x14	6,023%	6x6x7
DM	traincsg	7,449%	12x11x15	9,559%	13x14x9
DMM		8,828%	13x14x10	9,426%	10x15x15
DDMM		7,164%	15x11x11	9,852%	6x8x10
V		7,460%	11x14x11	9,129%	8x12x14
ZS		8,242%	9x12x8	7,919%	12x15x14
DM	trainlm	5,199%	10x7x13	5,667%	15x13x11
DMM		5,026%	15x7x6	5,101%	12x8x13
DDMM		5,254%	7x11x8	5,516%	6x9x11
V		5,104%	10x15x14	5,337%	8x8x10
ZS		4,877%	6x15x8	5,085%	8x12x9

4 Adet Gizli Katmana Sahip Ağ Modeli

Bu ağ modeli 2 tahmin modeli için 5 farklı normalizasyon yöntemi, dört gizli katmanda bulunan 10 farklı nöron sayısı, 3 farklı eğitim algoritması ve karar sürecini kısaltmak amacıyla her model için 3 tekrar yapılarak toplam 900000 model denenmiştir. Modellerden alınan performans değerleri Tablo 9’da gösterilmiştir.

Tablo 9. 4 adet gizli katmana sahip ağ modelinin performans sonuçları

Önerilen Model		BK		KNO	
Girdiler		T, HD, TS, BK		T, HD, TS, KNO	
Norm. Metodu	Eğitim Algoritması	OMYH	Nöron Sayısı	OMYH	Nöron Sayısı
DM	trainbr	34,727%	13x9x10x10	40,425%	11x12x11x8
DMM		45,626%	11x8x12x12	52,343%	9x12x10x11
DDMM		49,764%	13x10x12x10	50,447%	9x11x11x12
V		43,212%	11x12x9x13	42,956%	8x11x9x10
ZS		7,481%	10x8x10x11	8,441%	9x8x8x12
DM	traincg	7,438%	13x12x8x12	8,919%	12x12x9x9
DMM		7,436%	13x12x13x8	8,898%	10x13x11x11
DDMM		7,830%	12x12x12x13	8,376%	11x9x8x8
V		7,701%	13x11x8x8	9,085%	13x12x10x8
ZS		7,368%	9x11x11x10	9,370%	11x12x13x11
DM	trainlm	5,406%	9x9x11x11	5,961%	9x13x8x11
DMM		5,976%	8x11x10x8	5,953%	8x12x11x13
DDMM		5,862%	10x9x13x13	5,957%	10x13x8x10
V		4,959%	13x10x11x8	5,143%	11x13x12x9
ZS		5,419%	8x8x11x10	5,588%	8x12x8x13

Farklı gizli katman sayısına sahip BK’ya ve KNO’ya dayalı ağ modellerinin performansları Tablo 6,7,8 ve 9’da verilmiştir. Alınan sonuçlara göre ilk 3 gizli katman için sonuçlar sürekli iyileşme gösterirken 4 gizli katmanlı modellere ait sonuçlar 3 gizli katmanlı modellerin sonuçlarına göre kötüleşme görülmektedir. Çalışmanın bir sonraki adımı olan senaryo analizlerinde kullanabilmek için en küçük OMYH ve en yüksek R^2 değerine sahip ağ tasarımı, en iyi ağ tasarımı seçilmiştir. Bu ağ tasarımları farklı aşılama ve virüsün mutasyon oranlarına göre kısıtlama stratejilerinin benzetimini yapmak için kullanılmıştır. Bu nedenle, YSA modellerinin sonuçlarına göre Levenberg-Marquardt (trainlm) en iyi eğitim algoritması

ve Z-Skor (ZS) normalizasyon yöntemi en iyi sonuçların alındığı normalizasyon yöntemi olarak seçilmiştir. BK'ya dayalı model için üç gizli katman (birinci gizli katmanda 6 nöron, ikinci gizli katmanda 15 nöron ve üçüncü gizli katmanda 8 nöron) ile %4,88 OMYH ve 0.997 R^2 değeri alınan ağ modeli seçilmiştir. Benzer şekilde, KNO'ya dayalı model, her gizli katmandaki nöron sayıları sırasıyla 8, 12 ve 9 olduğunda OMYH (%5.08) ve R^2 değeri 0.993 ile en iyi performansı gösteren model seçilmiştir.

Senaryo Analizleri

En iyi ağ tasarımları belirlendikten sonra hem BK'ya dayalı hem de KNO'ya dayalı modellerde 321 günlük geçmiş veri kullanılarak YSA modeli eğitilmiş ve sonrasında çeşitli senaryolara göre oluşturulan veri kümeleri eğitilen ağlara verilerek senaryolara ait tahminler elde edilmiştir. Bu bölümde yapılacak olan işlemlerin akış şeması Şekil 5'in sağ bölümünde yer alan senaryo analizleri kısmında verilmiştir. Araştırma kapsamında incelenen senaryolar aşılama oranına göre (%20, %30, %40, %50, %60 ve %70) ve virüsün mutasyona uğrama oranına göre (%20 ve %70) olmak üzere toplam 12 farklı senaryo 6 farklı kısıtlama stratejisine göre incelenmiştir. Önerilen iki tahmin modelinin girdi verileri zaman indeksi, hava durumu, test sayısı, BK veya KNO olarak belirlenmiştir.

Tahmin senaryoları için girdi verilerinin üretilmesi gerekmektedir. Üretilen girdi verileri kullanılarak ortalama vaka sayısı 89 gün için tahmin edilecektir. Bu nedenle, eğitim verisi için yapılacak olan Z-Skor normalizasyon işlemi 410 günlük veri kullanılarak yapılmaktadır. Bu 410 günlük veriden ilk 321 güne ait veri gerçek ve çıktı değerlerine sahipken geri kalan 89 günlük veri senaryolara göre üretilmiş ve çıktı değerleri bulunmamaktadır. Her iki modelde de kullanılan zaman indeksi (T) girdisi gerçek girdi verisinin sona erdiği yerden yani 322'den başlayarak 409'a kadar devam etmektedir. Hava durumu (HD) için BK'ya dayalı yöntemde şehirlerin ortama sıcaklık verileri kullanılmaktadır. Senaryolarda eğitim için kullanılan gerçek verilerin bittiği şubat ayından itibaren mart, nisan ve mayıs ayları tahmin edilecektir. Bu nedenle bir önceki yıla ait veriler kullanılarak elde edilen standart normal dağılım parametrelerine göre veriler türetilmiştir. Benzer şekilde KNO'ya dayalı yöntemde nüfusa göre ağırlıklandırılmış sıcaklık verileri kullanılmaktadır. Bu yöntemde de geçen yılın mart, nisan ve mayıs aylarına ait veriler kullanılarak elde edilen standart normal dağılım parametrelerine göre veriler türetilmiştir. Tablo 10'da standart normal dağılımlara ait ortalama ve standart sapma değerleri verilmiştir.

Tablo 10. Hava durumu verilerinin normal dağılım parametreleri

		Ortalama	Standart Sapma
BK'ya dayalı yöntem	Mart	11,403	1,9219
	Nisan	16,6914	3,2366
	Mayıs	21,1143	2,1146
KNO'ya dayalı yöntem	Mart	12,3782	1,9625
	Nisan	17,6988	3,3837
	Mayıs	22,0712	2,235

Test sayısı (TS) verileri oluşturulurken her iki yöntem için ortak oluşturulmuştur. Eğitim için kullanılan gerçek veri incelendiğinde test sayısı son günlerde 140 bin civarlarında seyrediyor ve 321 günlük verinin ortalaması ilk günlerdeki düşük test sayılarından kaynaklı olarak 98 bin olarak karşımıza çıkıyor. Test sayısının bu kadar fazla düşmeyeceği düşünüldüğünden test sayısı girdisini türetmek için son 125 gün verisi kullanılarak ortalaması 158029 ve standart sapması 23528 olan standart normal dağılım kullanılmıştır.

Senaryolar için gerekli olan BK verisi hesaplanırken her bir kısıtlama stratejilerine ait geçmiş veriler kullanılmıştır. Araştırma kapsamında incelenen 6 farklı kısıtlama stratejisi Tablo 5'te belirtilmiştir. Tablo 11'de her kısıtlama stratejisi için standart normal dağılımlara ait ortalama ve standart sapma değerleri verilmiştir.

Tablo 11. Kısıtlama stratejilerine göre BK'nın normal dağılım parametreleri

	Ks1	Ks2	Ks3	Ks4	Ks5	Ks6
Ortalama BK	0,773995	0,840761	0,947218	0,92204	0,955594	1,131306
Standart Sapma	0,113415	0,147813	0,086894	0,09502	0,115762	0,048308

Kısıtlanmış nüfus oranı yönteminde kullanılan kısıtlanmış nüfus oranı kısıtlama stratejilerine ait her bir senaryo için geçmiş verilere ihtiyaç duymadan Eşitlik (4.5) kullanılarak hesaplanmaktadır. Eşitliğe göre hesaplanan girdi verileri Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Kısıtlama stratejilerine ait KNO değerleri

	Ks1	Ks2	Ks3	Ks4	Ks5	Ks6
KNO	0,852794	0,774821	0,436588	0,634947	0,39577	0,343272

Aşılama ve virüsün mutasyon oranına göre senaryolara ait girdi verileri oluşturulurken BK'ya dayalı yöntemde BK girdi verisi aşılama oranı kadar azaltılıp, virüsün mutasyon oranı kadar artırılarak hesaplanmaktadır. Bunun yanında KNO'ya dayalı yöntemde KNO girdi verisi aşılama oranı kadar artırılıp, virüsün mutasyon oranı kadar azaltılarak hesaplanmaktadır.

Analiz edilecek senaryolara ait veriler oluşturulduktan sonra modellerimizin girdi elemanlarından (T, HD, TS, BK veya KNO) 410 günlük veri varken çıktı elemanından (VS) 321 günlük veri vardır. Tüm bu veriler önceki bölümlerde belirlenen Z-Skor yöntemine göre normalize edilmektedir. Daha sonra normalize edilen 321 günlük veri daha önce belirlenen gizli katman sayısı, gizli katmanda bulunan nöron sayısı ve eğitim algoritması kullanılarak 1000 döngü şeklinde eğitilir. Eğitimler sonucunda alınan en düşük OMYH ve en yüksek R^2 değerine sahip aę kullanılarak oluşturulan senaryolara ait ortalama vaka sayısı 89 gün için tahmin edilmektedir.

Her bir senaryonun etkisini değerlendirmek için 321 günlük veri kümesinde bulunan ortalama vaka sayısı kullanılarak Göreceli Değişiklik (GD) oranı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$GD = \frac{\overline{x_i} - \overline{VS}}{\overline{VS}} \quad (4.10)$$

Burada $\overline{x_i}$ tahmin edilen senaryonun ortalama vaka sayısı değerini, $\overline{VS}$ ise 321 günlük vaka sayısının ortalama değerini ifade etmektedir. Eşitliğe göre GD değerinin negatif olması ortalama vaka sayısındaki yüzdesel azalmayı ifade ederken, pozitif GD değerleri yüzdesel artışı ifade eder. Tablo 13'te BK'ya dayalı model tarafından elde edilen GD değerleri gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, kısıtlama stratejileri vaka sayısı, aşılama ve mutasyon senaryoları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Tablo 13. BK'ya dayalı modelin tahmin sonuçları

		Ks1	Ks2	Ks3	Ks4	Ks5	Ks6	Aşılama (%)	Mutasyon (%)
		M6	M1-M3, M5, M7-M9	M1-M3, M7, M8	M1-M4, M7	M1-M3, M7	M1-M3		
Sn1	GD	-100,00%	-100,0%	-96,39%	-83,81%	-69,95%	-67,33%	70	20
	OMYH	5,68%	5,94%	5,78%	5,50%	5,62%	5,20%		
	R ²	0,995	0,991	0,995	0,997	0,997	0,997		
Sn2	GD	-100,00%	-100,00%	-88,50%	-84,20%	-72,38%	-64,30%	60	20
	OMYH	5,25%	5,28%	5,36%	5,41%	5,61%	5,71%		
	R ²	0,997	0,993	0,995	0,994	0,995	0,991		
Sn3	GD	-100,00%	-85,64%	-77,89%	-72,26%	-68,36%	-63,24%	50	20
	OMYH	5,57%	5,91%	5,73%	5,22%	5,99%	5,43%		
	R ²	0,993	0,993	0,994	0,995	0,993	0,996		
Sn4	GD	-83,32%	-80,95%	-77,34%	-72,78%	-59,28%	-58,65%	40	20
	OMYH	5,64%	5,91%	4,52%	6,04%	4,76%	5,26%		
	R ²	0,995	0,995	0,996	0,996	0,997	0,997		
Sn5	GD	-76,88%	-69,65%	-71,75%	-66,24%	-52,11%	-52,37%	30	20
	OMYH	5,34%	5,69%	5,74%	5,08%	5,21%	5,62%		
	R ²	0,993	0,994	0,993	0,996	0,993	0,993		
Sn6	GD	-73,04%	-70,39%	-65,23%	-62,39%	-50,18%	-49,52%	20	20
	OMYH	5,69%	5,25%	5,56%	5,51%	5,46%	5,61%		
	R ²	0,995	0,993	0,994	0,996	0,991	0,990		
Sn7	GD	-72,63%	-68,59%	-66,67%	-66,16%	-53,48%	-41,22%	70	70
	OMYH	5,97%	5,24%	4,87%	5,50%	5,37%	5,61%		
	R ²	0,993	0,995	0,994	0,992	0,995	0,991		
Sn8	GD	-67,11%	-66,18%	-65,78%	-66,42%	-50,62%	-41,45%	60	70
	OMYH	5,70%	5,44%	4,23%	5,33%	5,05%	5,68%		
	R ²	0,996	0,997	0,996	0,994	0,995	0,992		
Sn9	GD	-64,31%	-59,89%	-64,64%	-56,71%	-54,31%	-2,58%	50	70
	OMYH	4,94%	5,52%	5,33%	5,49%	5,75%	5,68%		
	R ²	0,994	0,992	0,997	0,995	0,993	0,996		
Sn10	GD	-62,99%	-58,86%	-46,04%	-52,59%	-18,40%	-1,10%	40	70
	OMYH	5,59%	4,93%	5,08%	4,93%	5,12%	5,18%		
	R ²	0,995	0,996	0,994	0,994	0,995	0,994		
Sn11	GD	-61,26%	-51,62%	-54,68%	-50,99%	47,71%	110,53%	30	70
	OMYH	5,24%	5,23%	4,84%	5,22%	5,64%	5,72%		
	R ²	0,994	0,994	0,995	0,996	0,995	0,994		
Sn12	GD	-58,73%	-54,23%	-42,53%	-33,82%	132,24%	157,49%	20	70
	OMYH	5,52%	5,38%	5,49%	5,34%	5,71%	5,85%		
	R ²	0,996	0,990	0,994	0,995	0,991	0,995		

GD değeri %-100'e eşit olduğunda Covid-19 salgınının tamamen kontrol altında olduğu ve gelecekte artık yeni vakaların görülmeyeceği anlamına gelmektedir. Tahmin sonuçlarına göre, yüksek oranda aşılama ile birlikte yoğun bir kısıtlama stratejisi uygulandığında hastalığın bulaşması kontrol altına alınacaktır. Ayrıca, tüm şehirlerde sokağa çıkma kısıtlamasının uygulanması (Ks1 yani M6), aşılama ve mutasyon senaryosuna bakılmaksızın en büyük etkiye sahiptir. En büyük mutasyon oranına (70%) ve en düşük aşılama oranına (20%) göre oluşturulan senaryoda ortalama vaka sayısında %58,73 azalma tahmin edilmektedir. Aynı şekilde, %20 mutasyon düzeyi ve en az %50 aşılama oranı ile farklı kısıtlama stratejilerinin (Ks2 yani M1-M3, M5, M7-M9) bir kombinasyonu uygulanarak Covid-19'un yayılması durdurulabilir. YSA modelinin çıktılarına göre, kısıtlamaların hafifletilmesi (her senaryo için Ks1'den Ks6'ya) virüsün yayılmasının ve vaka sayılarının artmasına neden oluyor. Örneğin, Ks3 ile Ks5'i karşılaştırdığımızda (M8 stratejisinin Ks5'ten kaldırılması), alışveriş merkezlerinin kapatılmasının ortalama vaka sayısında (en az %10) önemli bir iyileşmeye yol açtığı sonucuna varıyoruz. Senaryolar arasında en büyük GD değeri Sn12 için gözlemlenmektedir. Tüm şehirlerde sokağa çıkma yasağı (Sn12 için Ks1) olsa bile, insanların kısıtlama kurallarına uyma konusundaki isteksizliği, aşılama oranının düşüklüğü ve yüksek mutasyon oranı nedeniyle virüs yayılmaya yani vaka sayıları artmaya devam ediyor. Bununla birlikte, mutasyon oranının artmasıyla kısıtlama stratejilerinin etkisi azalmaktadır. YSA'na ait eğitim verileri için OMYH değeri %4 ile %6 arasında değişmektedir ve en küçük R^2 değeri 0,990'a eşittir. Sonuç olarak, mutasyon oranı büyük olmadığı sürece, uygulanan tüm kısıtlama stratejilerinin vaka sayısını kontrol altına almak için etkili olduğu görülmektedir.

Tablo 14. KNO'na dayalı modelin tahmin sonuçları

		Ks1	Ks2	Ks3	Ks4	Ks5	Ks6	Aşılama (%)	Mutasyon (%)
		M6	M1-M3, M5, M7-M9	M1-M3, M7, M8	M1-M4, M7	M1-M3, M7	M1-M3		
Sn1	GD	-100,00%	-86,72%	-74,53%	-72,56%	-69,63%	-67,01%	70	20
	OMYH	5,76%	6,29%	5,59%	5,72%	6,13%	5,55%		
	R ²	0,993	0,995	0,995	0,996	0,994	0,997		
Sn2	GD	-100,00%	-75,04%	-73,57%	-64,38%	-65,90%	-61,99%	60	20
	OMYH	6,22%	6,20%	5,96%	6,20%	5,55%	6,08%		
	R ²	0,990	0,996	0,996	0,994	0,995	0,994		
Sn3	GD	-72,13%	-75,67%	-72,19%	-63,26%	-62,98%	-60,84%	50	20
	OMYH	6,65%	6,23%	5,21%	5,91%	6,22%	6,06%		
	R ²	0,991	0,990	0,996	0,992	0,992	0,990		
Sn4	GD	-71,44%	-71,31%	-70,22%	-59,77%	-58,27%	-59,72%	40	20
	OMYH	5,64%	6,41%	4,57%	5,93%	5,77%	5,47%		
	R ²	0,995	0,994	0,995	0,995	0,993	0,995		
Sn5	GD	-73,63%	-63,56%	-69,28%	-59,72%	-53,80%	-53,32%	30	20
	OMYH	6,08%	5,71%	5,10%	5,94%	4,87%	5,69%		
	R ²	0,993	0,990	0,994	0,995	0,996	0,995		
Sn6	GD	-72,95%	-71,54%	-69,05%	-57,41%	-51,07%	-52,79%	20	20
	OMYH	5,96%	5,94%	5,87%	5,75%	6,04%	6,61%		
	R ²	0,990	0,993	0,992	0,994	0,992	0,993		
Sn7	GD	-84,16%	-72,73%	-70,76%	-70,13%	-60,87%	-45,29%	70	70
	OMYH	6,15%	6,10%	5,96%	6,18%	5,96%	6,29%		
	R ²	0,995	0,993	0,996	0,994	0,994	0,991		
Sn8	GD	-71,44%	-68,86%	-61,54%	-51,63%	-48,13%	-32,72%	60	70
	OMYH	5,35%	5,46%	6,09%	5,37%	5,87%	5,73%		
	R ²	0,995	0,991	0,992	0,995	0,993	0,995		
Sn9	GD	-67,92%	-64,24%	-55,11%	-51,57%	-40,68%	-29,94%	50	70
	OMYH	6,16%	5,90%	6,02%	5,32%	6,20%	5,83%		
	R ²	0,993	0,993	0,996	0,995	0,995	0,993		
Sn10	GD	-67,05%	-67,48%	-66,24%	-53,94%	-36,83%	-28,58%	40	70
	OMYH	6,18%	5,34%	5,50%	6,21%	6,42%	5,35%		
	R ²	0,988	0,992	0,994	0,994	0,993	0,993		
Sn11	GD	-66,33%	-61,03%	-49,79%	-54,81%	-44,25%	41,77%	30	70
	OMYH	6,00%	5,92%	5,33%	5,99%	6,28%	6,35%		
	R ²	0,995	0,994	0,996	0,996	0,989	0,991		
Sn12	GD	-66,07%	-56,87%	-36,40%	-27,95%	-9,38%	24,64%	20	70
	OMYH	6,18%	5,54%	6,14%	6,03%	5,84%	6,36%		
	R ²	0,995	0,997	0,996	0,996	0,994	0,990		

Tablo 14'te gösterilen KNO'ya dayalı modelin OMYH değerleri tüm kısıtlama stratejileri ve senaryolar için biraz daha büyük olsa da KNO'ya dayalı model yeterince iyi performans gösteriyor. Bununla birlikte, KNO'ya dayalı model, %70 mutasyon oranlarına sahip senaryolar için kısıtlama stratejilerinin etkisini orta derecede yakalayabiliyor. BK'ya dayalı modelde olduğu gibi tüm illerde sokağa çıkma yasağı (Ks1 yani M6) uygulandığında %20 mutasyon ve %70 aşılama oranı ile salgının tamamen kontrol altına alınacağı tahmin edilmektedir. Alınan tahmin sonuçlarına göre mutasyon oranının düşük düzeyde kalması ve aşılama oranının artmasıyla beraber uygulanacak kısıtlama politikaları vaka sayısının düşmesine ve bunun sonucunda salgının kontrol altına alınmasına olanak sağlayacaktır. Tablo 13 ve Tablo 14'teki sonuçlar karşılaştırılınca, KNO'ya dayalı modelin herhangi bir pandeminin başlangıcında geçmiş verilere ihtiyaç duymadan kullanılabileceği sonucuna varıyoruz. Bununla birlikte, yeterli veri mevcut olduğunda kısıtlama stratejilerinin etkisini tam olarak anlamak ve daha doğru sonuçlar elde etmek için BK'ya dayalı model kullanılabilir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada YSA kullanılarak Covid-19 salgını için aşı ve mutasyon üzerinden olası senaryo analizleri yapılmış ve gelecekte görülebilecek pandemilerde uygulanabilecek kısıtlama stratejilerine yön gösterici bir model önerilmiştir.

Covid-19 salgını gibi bulaşıcı hastalıklarla mücadelede kısıtlama stratejileri uygulamak salgını kontrol altına almak veya salgının yayılım hızını azaltmak için çok önemli bir rol oynamaktadır. Ancak, kısıtlama stratejilerinden hangilerinin uygulanması ve uygulanacak kısıtlama stratejilerinin ne kadar süreyle uygulanması gerektiği belirsizdir. Uygulama çalışmasının Türkiye’de yapıldığı bu tez çalışmasında, farklı aşılama ve mutasyon senaryolarını göz önünde bulundurarak, kısıtlama stratejilerinin etkisi değerlendirilmiştir.

Salgın hastalığın seyrinin gelecekte hangi boyutta olabileceğini öngörebilmek için önceden elde edilmesi mümkün olmayan verilere ihtiyaç vardır. Bu nedenle, girdi verilerinin oluşturulması, gelecekteki vaka sayılarının tahmininin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için kritik bir faktördür. Çalışmada YSA ile BK ve KNO temelinde vaka sayısının tahmin edilebilmesi için iki model önerilmiştir. Her iki model de Ortalama Mutlak Yüzde Hata (OMYH) ve Belirleme Katsayısı (R^2) açısından yüksek performansa sahiptir. BK’ya dayalı model, önerilen yeni model olan KNO’ya dayalı modele göre daha doğru sonuçlar ortaya koymaktadır. Bunun nedeni, BK’nın vaka sayılarına göre tahmin edilmesinden kaynaklanmaktadır. Ancak veri bağımlılığı açısından değerlendirildiğinde KNO’ya dayalı modeli kullanarak gelecekte ilgili tahminlerde bulunmak için herhangi bir bölgenin nüfus bilgisine sahip olmak yeterli olacaktır.

Çalışmada bulunan sonuçlar her bir aşılama ve mutasyon senaryosuna göre kısıtlama stratejileri artırıldığında vaka sayılarında azalma ve virüsün kontrol altına alınmasında oldukça etkili olduğunu göstermektedir. Tam tersi durumda ise vaka sayılarının arttığını göstermektedir. Türkiye’de Covid-19 salgını azaltmak için uygulanan kısıtlama stratejileri çalışmada bulunan sonuçlarla desteklenmektedir ve kısıtlama stratejilerinin etkinliğini ortaya koymaktadır. Başka bölgelerde veya başka salgın hastalıklarla mücadelede uygulanan kısıtlama stratejilerinin etkinliğini değerlendirmek için bu çalışmada önerilen tahmin modelleri kullanılabilir. Bu sebeple karar vericiler daha doğru stratejiler uygulayarak pandemileri kontrol altına alabilir.

Bu çalışma farklı aşılama ve mutasyon senaryoları göz önünde bulundurarak ortalama vaka sayısı üzerindeki kısıtlama stratejilerinin etkisini göstermeye yönelik boşluğu doldurarak literatüre katkı sağlamıştır. Bu çalışmaya en yakın çalışma Toğa vd (2021) tarafından yapılan çalışmadır. Bu çalışmada kullanılan ağ yapısı ve çalışma sonunda alınan sonuçlar

karşılaştırıldığında önerilen model ve metotların desteklendiği görülmektedir. Yapılan çalışmanın bu çalışmadan temel farkı girdi verisi olarak kullanılan kısıtlamaların kısıtlama olan günler için “1” ve kısıtlama olmayan günler için “0” verilerini kullanmalarıdır.

Çalışmada elde edilen sonuçlar resmi kaynaklar tarafından açıklanan Covid-19 verisine oldukça bağlıdır ve verilerin doğruluğu çalışmanın performansını etkilemektedir. Çalışma kapsamında incelenen her bir kısıtlama stratejisinin insanlar tarafından ihlal edilme oranı zamana bağlı olarak farklılık gösterebilir, fakat yapılan çalışma kapsamında kısıtlama stratejilerinin ihlal edilme oranları eşit olduğu varsayımına dayandırılmıştır.

Bu çalışma, kısıtlama stratejilerinin etkinliğini değerlendirmeye önemli ölçüde katkıda bulunurken, bulunan sonuçlar gelecekte yapılabilecek araştırma fırsatlarını da ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, bir şehrin nüfusunun zamanla değişmediği varsayılmıştır. Nüfusun zaman içerisindeki değişiminin modellere dahil edilmesi daha doğru ve gerçekçi sonuçlar alınmasını sağlayacaktır. Çalışma, ölüm sayıları gibi farklı girdi parametreleri dikkate alınarak ek çıktılar elde etmek için genişletilebilir. Günümüzde Covid-19 salgınıyla mücadelede birçok aşı çalışması devam etmektedir ve bu aşılar virüse karşı farklı koruma sağlamaktadırlar. Farklı aşı türlerinin virüse karşı koruma oranları çalışmaya dahil edilerek, karar vericilerin izleyeceği aşı politikası ve sonuçları gözlemlenebilir. Ülke çapında yapılan bu çalışmanın şehirler, eyaletler vb. gibi küçük bölgelere uygulanmasıyla belirsizliği azaltarak daha doğru ve daha güvenli sonuçlar elde edilebilir. Kısıtlama stratejilerinin ekonomik veya psikolojik sonuçlarının değerlendirilmesi bireyler için büyük yarar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Abideen, A.Z. Mohamad, F.B. and Hassan M.R., 2020. Mitigation strategies to fight the COVID-19 pandemic—present, future and beyond. *J Heal Res*, 34, 547-562.
- Abiodun, O.I. Jantan, A. Omolara, A.E. Dada, K.V. Mohamed, N.A. and Arshad, H., 2018. State-of-the-art in artificial neural network applications: A survey. *Heliyon*, 4(11), e00938.
- Adiyaman, F. 2007. Talep Tahmininde Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ahmad, I. and Muhammad Asad, S., 2020. Predictions of coronavirus COVID-19 distinct cases in Pakistan through an artificial neural network. *Epidemiology and Infection*, 148, E222.
- Aksu, G. Güzeller, C.O. and Eser, M.T., 2019. The Effect of the Normalization Method Used in Different Sample Sizes on the Success of Artificial Neural Network Model. *Int J Assess Tools Educ*, 6, 170–92.
- Al-Najjar, H. and Al-Rousan, N., 2020. A classifier prediction model to predict the status of Coronavirus CoVID-19 patients in South Korea. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*, 24, 3400-3403.
- Alp, S. ve Öz, E., 2019. Makine Öğrenmesinde Sınıflandırma Yöntemleri ve R Uygulamaları. Nobel Yayın.
- Anastassopoulou, C. Russo, L. Tsakris, A. and Siettos, C., 2020. Data-based analysis, modelling and forecasting of the COVID-19 outbreak. *PLoS One*, 15.
- Anderson, R.M. Heesterbeek, H. Klinkenberg, D. and Hollingsworth, T.D., 2020. How will country-based mitigation measures influence the course of the COVID-19 epidemic?. *Lancet*, 395:931–4.
- Anonim, 2021. [https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2020-37210#:~:text=TÜİK Kurumsal&text=Türkiye’de ikamet eden nüfus,698 bin 377 kişi oldu \(30.03.2021\).](https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2020-37210#:~:text=TÜİK Kurumsal&text=Türkiye’de ikamet eden nüfus,698 bin 377 kişi oldu (30.03.2021).)
- Anonim, 2021. <https://covid19.saglik.gov.tr/TR-66935/genel-koronavirus-tablosu.html> (30.03.2021).
- Anonymous, 2021. <https://www.accuweather.com/tr/browse-locations/eur/tr> (30.03.2021).
- Anonymous, 2021. Google Mobility Report <https://www.google.com/covid19/mobility/> (30.03.2021).
- Anonymous, 2021. Coronavirus: This is not the last pandemic <https://www.bbc.com/news/science-environment-52775386> (30.03.2021).
- Anonymous, 2021. WHO, 2020a. World Health Organization. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/events-as-they-happen> (30.03.2021).
- Anonymous, 2021. IPBES Workshop Report on Biodiversity and Pandemics <https://www.unep.org/resources/report/ipbes-workshop-report-biodiversity-and-pandemics> (30.03.2021).
- Anonymous, 2021. WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard <https://covid19.who.int/> (30.03.2021).
- Anonymous, 2021. <https://informationisbeautiful.net/visualizations/the-microbescope-infectious-diseases-in-context/> (30.03.2021).

- Ardabili, S.F. Mosavi, A. Ghamisi, P. Ferdinand, F. Varkonyi-Koczy, A.R. and Reuter, U., 2020. COVID-19 outbreak prediction with machine learning. *Algorithms*, 13.
- Ballı, S. 2021. Data analysis of Covid-19 pandemic and short-term cumulative case forecasting using machine learning time series methods. *Chaos, Solitons and Fractals*, 142:110512.
- Brauner, J.M. Mindermann, S. Sharma, M. Johnston, D. Salvatier, J. and Gavenčiak, T., 2021. Inferring the effectiveness of government interventions against COVID-19. *Science*, 80,371.
- Castillo, O. and Melin, P., 2020. Forecasting of COVID-19 time series for countries in the world based on a hybrid approach combining the fractal dimension and fuzzy logic. *Chaos, Solitons & Fractals*, Volume 140, 110242, ISSN 0960-0779.
- Cebeci, D., 2013. Kurumsal kredi değerlendirmede bulanık ahp-yapay sinir ağları temelli bir yaklaşım ve bir uygulama çalışması. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çelik, E., 2011. “Görüntü İşlemeye Dayalı Avuç İçi İzinin Yapay Sinir Ağı İle Tanınması”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Chimmula, V.K.R., and Zhang, L., 2020. Time series forecasting of COVID-19 transmission in Canada using LSTM networks. *Chaos Solitons & Fractals*, 135.
- Çolak, A.B., 2020. Prediction of infection and death ratio of CoVID-19 virus in Turkey by using artificial neural network (ANN). *Coronaviruses*, 01.
- Davies, N.G. Kucharski, A.J. Eggo, R.M. Gimma, A. Edmunds, W.J. and Jombart, T., 2020. Effects of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 cases, deaths, and demand for hospital services in the UK: a modelling study. *Lancet Public Heal*, 5:e375–85.
- David, M. Omid, K. Miriam, Q. and Karl, W., 2020. <https://informationisbeautiful.net/visualizations/the-microscope-infectious-diseases-in-context/> (30.03.2021).
- Doğan, H.B., 2019. Beklenmedik Uçak Yönlendirmelerini Azaltma: Zaman Serisi Analizi Ve Yapay Sinir Ağları İle Modelleme. Tobb Ekonomi Ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Elmas, Ç., 2003. Yapay sinir ağları. İstanbul: Seçkin Yayıncılık San ve Tic. A.Ş.
- Eilersen, A. and Sneppen, K., 2020. Cost-benefit of limited isolation and testing in COVID-19 mitigation. *Sci Rep*, 10.
- Fanelli, D. and Piazza, F., 2020. Analysis and forecast of COVID-19 spreading in China, Italy and France. *Chaos Solitons & Fractals*, 134.
- Guleryuz, D., 2021. Forecasting Outbreak of COVID-19 in Turkey; Comparison of Box-Jenkins, Brown’s Exponential Smoothing and Long Short-Term Memory Models. *Process Safety and Environmental Protection*, Volume 149, Pages 927-935, ISSN 0957-5820.
- Gupta, R. Pandey, G. Chaudhary, P. and Pal, S., 2020. SEIR and Regression Model based COVID-19 outbreak predictions in India. *MedRxiv*.
- Gupta, S. Raghuwanshi, G.S. and Chanda, A., 2020. Effect of weather on COVID-19 spread in the US: a prediction model for India in 2020. *Sci Total Environ*, 728:138860.
- Toğa, G. Atalay, B. and Toksari, M.D., 2021. COVID-19 prevalence forecasting using Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) and Artificial Neural Networks (ANN): Case of Turkey. *Journal of Infection and Public Health*, 14-7, 811-816.

- Hamzaçebi, C., 2011. Yapay Sinir Ağları–Tahmin Amaçlı Kullanım. Bursa: Ekin Yayınevi
- Hannah, R. Esteban, O. Diana, B. Edouard, M. Joe, H. Bobbie, M. and Charlie, G., 2020. Coronavirus (COVID-19) Testing <https://ourworldindata.org/coronavirus-testing> (30.03.2021).
- Haykin, S., 1999. Neural Networks: A Comprehensive Foundation, Second Edition, Prentice Hall, New Jersey.
- Huremović, D., 2019. Brief History of Pandemics (Pandemics Throughout History). Psychiatry of Pandemics.
- Jun, W. Yuyan, L. Lingyu, T. and Peng, G., 2018. Modeling a combined forecast algorithm based on sequence patterns and near characteristics: An application for tourism demand forecasting. Chaos, Solitons and Fractals, 108:136–47.
- Kassa, S.M. Njagarah, J.B.H. and Terefe, Y.A., 2020. Analysis of the mitigation strategies for COVID-19: From mathematical modelling perspective. Chaos Solitons & Fractals, 138, 109968, ISSN 0960-0779.
- Keskenler, M. ve Keskenler, E., 2017. Geçmişten Günümüze Yapay Sinir Ağları ve Tarihçesi. Takvim-i Vekayi, 5(2), 8-18.
- Koopmans, R., 2020. A virus that knows no borders? Exposure to and restrictions of international travel and the global diffusion of COVID-19. Discuss Pap Res Unit Migr Integr Transnationalization.
- Mishra, B.K. Keshri, A.K. Rao, Y.S. Mishra, B.K. Mahato, B. and Ayesha, S., 2020. COVID-19 created chaos across the globe: Three novel quarantine epidemic models. Chaos, Solitons and Fractals, 138:109928.
- Niazkar, H.R. and Niazkar, M., 2020. Application of artificial neural networks to predict the COVID-19 outbreak. Glob Heal Res Policy, 5.
- Niazkar, M. Türkkkan, G.E. Niazkar, H.R. and Türkkkan, Y.A., 2020. Assessment of Three Mathematical Prediction Models for Forecasting the COVID-19 Outbreak in Iran and Turkey. Comput Math Methods Med.
- Nyabadza, F. Chirove, F. Chukwu, C.W. and Visaya, M.V., 2020. Modelling the potential impact of social distancing on the Covid-19 epidemic in South Africa. Comput Math Methods Med.
- Okuonghae, D. and Oname, A., 2020. Analysis of a mathematical model for COVID-19 population dynamics in Lagos, Nigeria. Chaos, Solitons and Fractals, 139:110032.
- Osman, N. Torki, M. ElNainay, M. AlHaidari, A. and Nabil, E., 2021. Artificial Intelligence-Based Model for Predicting the Effect of Governments' Measures on Community Mobility. Alexandria Eng J, 60:3679–92.
- Öztemel, E., 2003. "Yapay Sinir Ağları", Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Borghi, P.H. Zakordonets, O. and Teixeira, J.P., 2021. A COVID-19 time series forecasting model based on MLP ANN. Procedia Computer Science, 181,940-947.
- Qin, J. You, C. Lin, Q. Hu, T. Yu, S. and Zhou, X.H., 2020. Estimation of incubation period distribution of COVID-19 using disease onset forward time: A novel cross-sectional and forward follow-up study. MedRxiv.
- Rençber, Ö.F., 2018. Sınıflandırma Problemlerinde Çoklu Lojistik Regresyon, Yapay Sinir Ağı ve ANFIS Yöntemlerinin Karşılaştırılması : İnsani Gelişmişlik Endeksi Üzerine Uygulama, Ankara: Gazi Kitabevi.

- Ribeiro, M.H.D. DaSilva, R.G. Mariani, V.C. and Coelho, L.D., 2020. Short-term forecasting COVID-19 cumulative confirmed cases: Perspectives for Brazil. *Chaos Solitons & Fractals*, 135.
- Saba, A.I. and Elsheikh, A.H., 2020. Forecasting the prevalence of COVID-19 outbreak in Egypt using nonlinear autoregressive artificial neural networks. *Process Saf Environ Prot*, 141,1–8.
- Sağiroğlu, Ş. Beşdok, E. ve Erler, M., 2003. Mühendislikte yapay zeka uygulamaları-I: yapay sinir ağları. *Kayseri: Ufuk Kitap Kirtasiye-Yayıncılık*, 40; 79.
- Sarmadi, M. Rahimi, S. Evensen, D. and Moghaddam, V.K., 2021. Interaction between meteorological parameters and COVID-19: an ecological study on 406 authorities of the UK. *Environ Sci Pollut Res Int*, Jul 9:1–16.
- Sun, T. and Wang, Y., 2020. Modeling COVID-19 epidemic in Heilongjiang province, China. *Chaos, Solitons and Fractals*, 138.
- Şahin, M., 2020. Impact of weather on COVID-19 pandemic in Turkey. *Sci Total Environ*, 728.
- Şenel, K. Özdiñç, M. Öztürkcan, S. and Akgül, A., 2020. Instantaneous r for COVID-19 in turkey: Estimation by bayesian statistical inference. *Turkiye Klin J Med Sci*, 40:127–31.
- Tátrai, D. and Várallyay, Z., 2020. COVID-19 epidemic outcome predictions based on logistic fitting and estimation of its reliability. *ArXiv*.
- Thompson, R.N. Stockwin, J.E. Van Gaalen, R.D. Polonsky, J.A. Kamvar, Z.N. and Demarsh, P.A., 2019. Improved inference of time-varying reproduction numbers during infectious disease outbreaks. *Epidemics*, 29:100356.
- Tosepu, R. Gunawan, J. Effendy, D.S. Lestari, H. Bahar, H. and Asfian, P., 2020. Correlation between weather and Covid-19 pandemic in Jakarta, Indonesia. *Sci. Total. Environ*, 725, 138436.
- Walker, P.G.T. Whittaker, C. Watson, O.J. Baguelin, M. Winskill, P. and Hamlet, A., 2020. The impact of COVID-19 and strategies for mitigation and suppression in low- And middle-income countries. *Science* (80-), 369.
- Wang, M. Jiang, A. Gong, L. Luo, L. Guo, W. Li, C. Zheng, J. Li, C. Yang, B. Zeng, J. Chen, Y. Zheng, K. and Li, H., 2020. Temperature significant change COVID-19 transmission in 429 cities. *medRxiv*.
- Wieczorek, M. Siłka, J. and Woźniak, M., 2020. Neural network powered COVID-19 spread forecasting model. *Chaos, Solitons and Fractals*, 140:110203.
- Yousefpour, A. Jahanshahi, H. and Bekiros, S., 2020. Optimal policies for control of the novel coronavirus disease (COVID-19) outbreak. *Chaos, Solitons and Fractals*, 136:109883.
- Zhang, C. Qian, L.X. and Hu, J.Q., 2020. COVID-19 Pandemic with Human Mobility Across Countries. *J Oper Res Soc China*.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Ömer Faruk ÇAPAROĞLU
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	
Lisans:	
Yüksek lisans:	
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	