

Dünya’da ve Türkiye’de Nisan Ayı İtibariyle COVID-19 Salgın Verilerinin İstatistiksel Değerlendirilmesi

Statistical Evaluation of the COVID-19 Outbreak Data as of April Around the World and in Turkey

Öz

2019 yılı sonunda Çin de başlayan COVID-19 enfeksiyonu resmi kayıtlara göre 10 Nisan itibariyle 185 ülkede görülen bir pandemi durumundadır. Hastalığın resmi bir tedavisi bulunmadığından, daha önce vakaların görüldüğü ülkelerin bilgilerinden yararlanılmaktadır. 10 Mart 2020 tarihinde Türkiye’de ilk vaka kayıt altına alınmıştır. Önceki ülkelerdeki vaka durumunun seyrinden hareketle alınacak tedbirler ve uygulamalara karar verilmektedir. Şu ana kadar birçok resmi kaynak veri kaydını düzenli olarak yapmaktadır. Elde edilen bu verilerden hareketle ülkemizdeki durumun ortaya konması yapılacak çalışmalara ışık tutacaktır. Bu çalışmada Türkiye ve 22 farklı ülke çeşitli istatistikler bakımından karşılaştırılmıştır. Çalışmanın devamında ülkemizdeki seyrin durumunu tahmin etmek için büyüme eğrileri ve zaman serisi analizinden faydalanılmıştır. İlk bir aylık verilerden hareketle elde edilen tahminler sonucunda toplam vaka sayısının ve toplam ölüm sayısının öngörülmesinde Üstel düzleştirme (Box-Cox) yönteminin kullanılmasının uygun olacağı belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: COVID-19; istatistiksel analiz; hastalık seyrinin modellenmesi; zaman serisi analizi; büyüme eğrileri

Abstract

The COVID-19 infection, which started in China at the end of 2019, is a pandemic seen in 185 countries as of April 10, according to official records. Since there is no official treatment for the disease, the information of the countries where the cases have been seen is used. In Turkey on March 10, 2020, the first case was taken under record. Measures and practices to be taken from the course of the case in previous countries are decided. So far, many official sources record data regularly. Based on these data obtained, revealing the situation in our country will shed light on the studies to be carried out. This study compared 22 different countries to Turkey and various statistics. In the continuation of the study, growth curves and time series analysis were used to estimate the course of our country. As a result of the estimations obtained from the data of the first month, it was determined that the exponential smoothing (Box-Cox) method would be appropriate to predict the total number of cases and the total number of deaths.

Keywords: COVID-19; statistical analysis; modelling of the disease course; time series analysis; growth curves

**Barış Ergül¹, Arzu Altın Yavuz¹,
Ebru Gündoğan Aşık²,
Bahadır Kalay¹**

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen-Edebiyat Fakültesi İstatistik
Bölümü

² Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen
Fakültesi İstatistik ve Bilgisayar
Bilimleri Bölümü

Geliş/Received : 13.04.2020
Kabul/Accepted : 19.04.2020

DOI: 10.21673/anadoluklin.719629

Yazışma yazarı/Corresponding author

Barış Ergül

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen-
Edebiyat Fakültesi İstatistik Bölümü
E-posta: bergul@ogu.edu.tr

ORCID

Barış Ergül: 0000-0002-1811-5143
Arzu Altın Yavuz: 0000-0002-3277-740X
Ebru Gündoğan Aşık: 0000-0002-9910-6555
Bahadır Kalay: 0000-0003-4473-1529

GİRİŞ

2019 yılı Aralık ayında Çin'in Wuhan kentinde ortaya çıkan yeni koronavirüs (2019-nCoV) enfeksiyonu şu ana kadar tüm dünya geneline yayılmış bir salgın boyutundadır. 2019-nCoV a bağlı olarak salgının görüldüğü ülke sayısı resmi olarak 191'dir. 10 Nisan 2020 tarihine kadar 185 ülkede görülen toplam vaka sayısı 1.754.457'dir. Bu nedenle tüm dünyada gündemin ilk sırasında yer alan sorundur (1).

Erken dönemde yapılan çalışmalarda virüsün yerel bir balık veya vahşi hayvan pazarındaki temas kaynaklandığı rapor edilmiştir. Ancak ilerleyen çalışmalar hayvandan insana değil, insandan insana doğrudan veya damlacıklar aracılığı ile bulaşan bir virüs olduğunu ortaya koymuştur (2, 3, 4, 5, 6). Yapılan yeni bir çalışmayla COVID-19 vakalarının artmasında en büyük enfekte yolunun hastaneye bağlı olarak ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Bu çalışmaya göre hastaların %40 ına yakınının hastaneye bağlı virüsle enfekte olduğu belirlenmiştir (3).

Küresel salgının olumsuz etkileri sağlık alanından başlayarak, ekonomi, sosyoloji, psikoloji, eğitim gibi birçok alanda görülmektedir. Her geçen gün bu olumsuz etkinin boyutları artmakta ve endişe vermektedir. 2019-nCoV virüsünün neden olduğu enfeksiyonun bulaşma ve yayılma hızı dünya tarihinde görülmüş diğer viral enfeksiyonlara göre oldukça hızlıdır. Bu nedenle 2019-nCoV virüsünün neden olduğu enfeksiyon hakkında yapılan araştırma ve çalışmalar oldukça hızlı ve yoğundur. İnternet ortamında yer alan bilgi amaçlı birçok sitenin ve veri tabanının oluşturulması hastalık hakkında bilgi edinmeye yardımcı olmaktadır. Veri paylaşımı yapılan bu sitelerde özet istatistiklere ve grafiklere yer verilmektedir. Sadece var olan durumun ortaya konulduğu bu veri kaynaklarından yararlanarak daha ileri istatistiksel analizlerin yapılması gereklidir. Diğer birçok bulaşıcı hastalığa bağlı salgınlara benzer olarak yeni COVID-19 enfeksiyonunu kontrol etme başarısı, özellikle erken dönemde, oldukça sınırlı verilerle anlamlı bilgileri ortaya koymaya dayalıdır. Bunun için vakaların doğru bir şekilde izlenmesi, her gelen yeni veriyle gelecek tahminin güvenilirliğinin artırılması gerekmektedir. Çin anakarasındaki ilk 68 günlük veriden hareketle koronavirüs

vakalarının artışı için üstel büyüme eğrisine dayalı bir tahmin modeli önerilmiştir (7). Benzer olarak, COVID-19 virüsünün yayılım hızına ilişkin bir çalışma yapılmıştır. İstatistiksel yöntem olarak üstel büyüme eğrisi kullanılan çalışmada DSÖ'nün 1.95 olarak açıkladığı yeniden üreme ortalamasının 2.67 ile 3.58 arasında değer olduğu tahmin edilmiştir (8). Çin'de bitme aşamasına gelen COVID-19 virüsüne bağlı salgın verilerini lojistik büyüme, genelleştirilmiş lojistik büyüme, genelleştirilmiş büyüme ve genelleştirilmiş Richards modeline göre incelendiği başka bir çalışmanın devamında Çin'deki salgın verilerinden hareketle elde edilen modelin parametrelerini güncelleyerek Japonya, Güney Kore, İran, İtalya ve tüm Avrupa için çeşitli senaryolar üzerinden toplam vaka sayısı tahminlerinde bulunmuşlardır (9). COVID-19 virüsüne yakalanmış hasta sayısının toplamını tahmin etmek amacıyla Boltzmann fonksiyona dayalı bir tahmin yaklaşımı geliştirilmiştir (10). Bir diğer çalışmada, 11 Ocak-27 Şubat arasında Çin'de görülen vakalardan hareketle, vaka artış sayısını modellemek için zaman serisi analizine dayalı yapay zeka uygulaması gerçekleştirilmiştir (11). Çin'in Wuhan eyaletinde kayıt altına alınmış toplam COVID-19 vaka sayılarını kullanarak genelleştirilmiş lojistik büyüme modeli, Richards büyüme modeli ve bir alt-salgın dalga modeline dayanan 5, 10 ve 15 günlük tahminlerde bulunulmuştur (12). Onaylanmış COVID-19 vakalarını tahmin etmek için Üstel düzeltme ailesindeki modellerin kullanışlı olduğu gösterilmiş ve bu modeller yardımıyla ileriye dönük öngörülerde bulunulmuştur (13). Türkiye'deki COVID-19 vakalarının seyrine ilişkin olarak kübik regresyon modelini kullanılmıştır (14).

Bu çalışmada literatürdeki çalışmalardan hareketle ülkemizdeki durum, an itibarıyla elde edilen veriler doğrultusunda ortaya konmaya çalışılmıştır. Ayrıca tüm dünyada vaka sayısı bakımından üst sıralarda yer alan 22 ülke ile karşılaştırmalı olarak enfeksiyon etkileri ve süreci hakkında genel yapıyı özetleyen istatistiki bilgiler sunulmuştur. Çalışmada Türkiye verileri ile farklı zaman serisi modelleri kullanılarak gelecekteki sürece ilişkin toplam pozitif enfekte sayısı ve toplam ölü sayısı öngörülme çalışılmıştır.

GEREÇ VE YÖNTEMLER

Bu çalışmada Türkiye ve COVID-19 vaka sayısı bakımından üst sıralarda yer alan 22 ülke göz önünde bulundurulmuştur. Bu ülkelerdeki salgının seyri Türkiye ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Daha sonra uygun model ile tahminlerde bulunulmuştur.

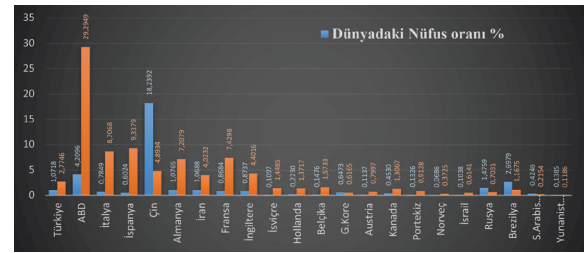
COVID-19 enfeksiyonuna ait çeşitli ölçütlerin değerlendirilmesi amacıyla 10 Nisan 2020 tarihine kadar olan veriler kullanılmıştır. Çalışmada Türkiye ile birlikte ABD, İtalya, İspanya, Çin, Almanya, İran, Fransa, İngiltere, İsviçre, Hollanda, Belçika, Güney Kore, Avusturya, Kanada, Portekiz, Norveç, İsrail, Rusya, Brezilya, Suudi Arabistan, Yunanistan'daki durum ele alınmıştır. Bu ülkelerdeki vaka sayıları 10 Mart 2020 itibariye, Türkiye (47.029), ABD (496.535), İtalya (147.577), İspanya (158.273), Çin (82.941), Almanya (122.171), İran (68.192), Fransa (125.931), İngiltere (74.605), İsviçre (24.551), Hollanda (23.249), Belçika (26.667), Güney Kore (10.450), Avusturya (13.555), Kanada (22.148), Portekiz (15.472), Norveç (6.314), İsrail (10.408), Rusya (11.917), Brezilya (19.789), Suudi Arabistan (3.651), Yunanistan (2.011) şeklindedir. Çin için ilk vaka kayıt tarihi 1 Aralık 2019 olmasına rağmen, 20 Ocak 2020 tarihine kadar kayıtlar düzenli olarak tutulmamıştır (14). 22 Ocak 2020 tarihinden sonra düzenli olarak bildirilen kayıtlar analize dahil edilmiştir. Diğer ülkeler için ilk kayıt gününden itibaren elde edilen veriler kullanılmıştır. İlerleyen kısımda tanımlanan bazı göstergelere göre ülkeler karşılaştırılmış ve Türkiye'nin varolan süreçteki durumu ortaya konmaya çalışılmıştır. COVID-19 vaka durumuna ilişkin göstergeler ve ülkelere ait bazı tanımlayıcı istatistiksel bilgiler web siteleri verilen veri tabanlarından elde edilmiştir.

İstatistiksel analiz

Çalışmanın istatistiksel olarak değerlendirilebilmesi için yeterli veri sayısının ortaya çıkması beklenmiş ve ilk 30 günü tamamlayan ülkeler için web ortamından günlük veriler elde edilmiştir (29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36). Bu verilerden hareketle pandemiyi ülkeler bazında seyrini tespit etmek amacıyla

la aşağıdaki ölçütler hesaplanmış ve karşılaştırmalı olarak grafikleri verilmiştir.

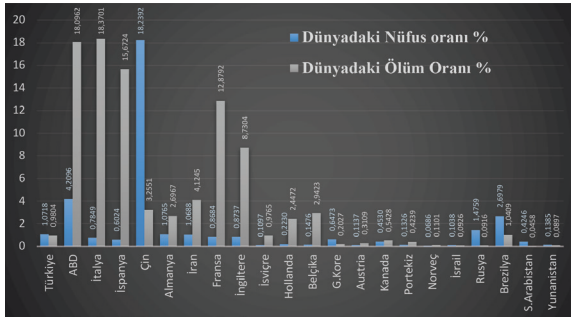
Çalışmada temel olarak ele alınan değerlendirme ölçütleri toplam pozitif vaka sayısı, toplam ölen hasta sayısı, günlük enfekte olan hasta sayısıdır. Tek başına bu göstergelerden hareketle ülkelerin karşılaştırılması geçerli ve güvenilir sonuçlar vermeyecektir. Her ülkenin yapısı diğerinden farklı olduğu için ülkeleri homojen olarak ele almak elde edilecek sonuçların yanıltıcı olmasına neden olacaktır. Bu nedenle bu ölçütlerden hareketle, ülkelerin değerlendirilmesini kolaylaştırılacak aşağıdaki tablolar oluşturulmuştur.



Şekil 1. Ülkelerin dünya nüfusu içerisindeki ve dünyadaki toplam enfekte hasta sayısı içerisindeki oranlarına ait grafik.

ABD dünya nüfusunun % 4,21 ine sahipken dünyadaki toplam vaka sayısının %29,30 ü ABD de görülmüştür. Dünya üzerindeki sosyolojik farklılıklar göz önünde bulundurulmadığında sıradan bir insanın ABD yaklaşık 7 kat daha fazla COVID-19 vakası olma ihtimali bulunduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, İspanya incelendiğinde dünya nüfusunun yaklaşık % 0,6 sına sahiptir. Ancak sosyolojik yapı göz ardı edilerek, COVID-19 vaka sayısına bakıldığında dünyadaki toplam vaka sayısının %9,33 ü İspanya'da gözlemlenmiştir. İspanya'da COVID-19 vakası olma ihtimalinin 16 kat, İtalya'da ise 11,15 kat olduğu görülmektedir. Türkiye için bu durum 2,58 olarak hesaplanmıştır. Çin dünya nüfusunun %18,24 üne sahipken dünyadaki toplam vaka sayısının %4,89 u Çin de görülmüştür. Kayıtlı verilerden hareketle dünya üzerindeki sıradan bir insandan yaklaşık 3,8 kat daha az etkilendiği düşünülebilir. Ancak Çin anakarasındaki ilk vakaların kayıt altına alınmadığı, kaydedilen verilerin çeşitli sorunlar içermesi nedeniyle bu oranı yorumlamanın doğru olmadığı düşünülmektedir.

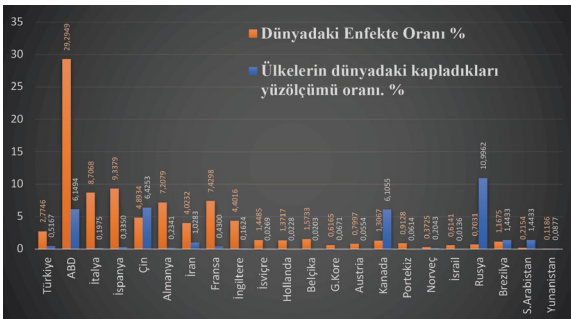
Dünyadaki nüfus dağılımına göre vaka oranı incelendiğinde İspanya'nın en üstte yer aldığı tespit



Şekil 2. Ülkelerin dünya nüfusu içerisindeki ve toplam ölen vaka sayısı içerisindeki oranlarına ait grafik.

edilmiştir. İkinci sırada İtalya yer almaktadır. Türkiye ise şu anda oldukça iyi bir sırada bulunmaktadır.

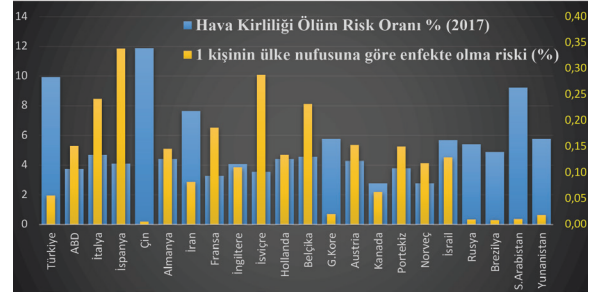
Şekil 2 incelendiğinde, İtalya dünya nüfusunun %0,79 unu barındırırken, dünyadaki COVID-19 hastalığı nedeniyle ölen kişi sayısının %18,37 sine sahiptir. Dünya üzerindeki sıradan bir insandan yaklaşık 23,55 kat daha fazla etkilenmektedir. Bu durum İtalya'nın nüfusunun yaşlı olmasından ve gerekli tedbirleri almada geç kalmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum İspanya yaklaşık 26 kat, Fransa 15 kat İngiltere 10 kat ABD 4,3kat etkilenirken Türkiye Dünya ortalamasındadır. Çin dünya nüfusunun %18,24 üne sahipken dünyadaki toplam ölüm sayısının %6,27 si Çin de görülmüştür. Ancak bu durum Çin verilerindeki belirsizlik ve kayıp gözlemlerden kaynaklı olabilir. Şekil 2 genel olarak değerlendirildiğinde, İspanya'nın ölüm vakası bakımından en çok etkilenen ülke olduğu, Türkiye'nin ise dünya ortalamasında kaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3. Ülkelerin yüzölçümlerine göre dünyada kapladıkları alan oranı ile dünyadaki toplam enfekte hasta sayısı içerisindeki oranlarına ait grafik (kara sınırları baz alınmıştır.)

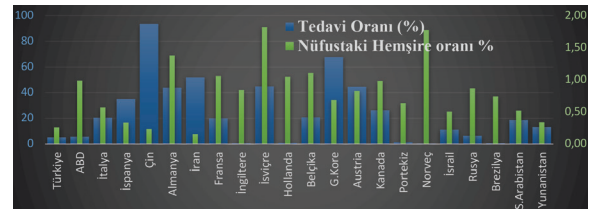
İsviçre dünyadaki toplam enfekte hasta sayısı sayısının %1,44 üne sahipken, yüzölçümü bakımından dünyadaki karasal alanın %0,067 sine sahiptir. Bu nedenle daha geniş coğrafi bir alana sahip ül-

kelere oranla daha fazla enfekte insan sayısına sahiptir. Benzer şekilde Belçika'da çok küçük bir ülke olduğundan enfekte insan sayısı daha geniş coğrafi yapıya sahip ülkelere göre fazladır.



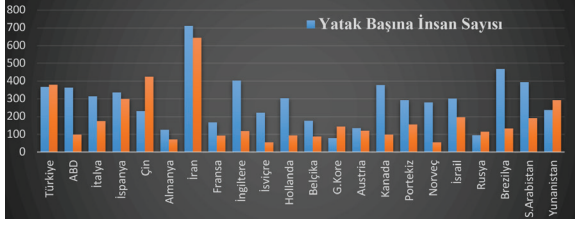
Şekil 4. Ülkelerin hava kirliliğinden ölme riski ile bir kişinin o ülkedeki enfekte olma riski arasındaki ilişki.

Bilindiği gibi COVID-19 vakalarında akciğer yetmezliğine bağlı olarak gelişen semptomlar kişilerin ölümüne neden olmaktadır. Akciğer hastalıklarına en önemli etkenlerden biri hava kalitesidir. Hava kirliliği yüksek olan yerlerde akciğer hastalıkları görülme olasılığı yüksektir. Buradan hareketle ülkelerin hava kirliliğine bağlı ölüm riskleri ile COVID-19 vakası olma riski arasındaki ilişki Şekil 4'te verilmiştir. ABD, İtalya, İspanya, Almanya, Fransa, İsviçre, Hollanda, Belçika, Avusturya, Portekiz ve Norveç'te hava kirliliğinden ölme riskine göre COVID-19 vakası olma riski daha yüksektir. Ancak ülkemizdeki hava kirliliği riski Çin'den sonra ikinci sırada yer almaktadır. Bu durum önümüzdeki günlerde vaka sayısının artmasına neden olabilecektir.



Şekil 5. Ülkelerin enfekte tedavi oranları ile nüfustaki hemşire ve hastane personeli oranı arasındaki ilişkiye ait grafik

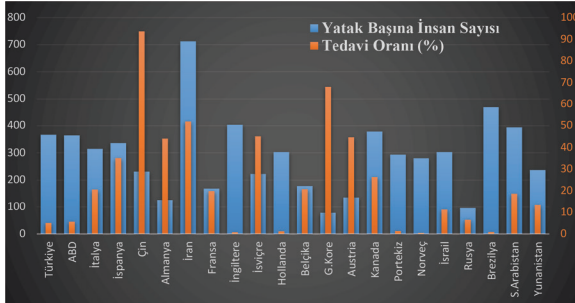
Nüfustaki hemşire sayısının toplam nüfusa oranı, nüfustaki hemşire oranı olarak tanımlanmıştır. Bu oran sağlık çalışanlarının toplum içerisindeki oranının bir göstergesidir. Bu oranın yüksek olması hastayla ilgilenecek yeterli sayıda personelin varlığına işaret etmektedir. Almanya, Fransa, İsviçre ve Norveç'te toplum içerisindeki hemşire oranı



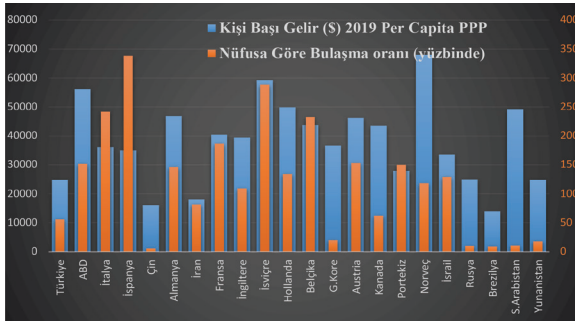
Şekil 6. Ülkelerin yatak başına ve sağlık çalışanı başına düşen insan sayıları için grafik

oldukça yüksektir. İspanya, Çin, İnan, Güney Kore ve Avusturya toplum içerisindeki hemşire sayısına oranla çok daha fazla hastanın tedavi edildiği ülkeler olmuştur. Bu durumun nedeni hastane dışı tedbirlerin daha sert alınmasıyla hasta dönüşümünün sağlıklı bir şekilde sağlanması olabilir.

Yatak başına insan sayısı ve hemşire başına insan sayısı tablosu incelendiğinde, Almanya Fransa, Güney Kore, Avusturya ve Rusya'da durumun oldukça iyi olduğu görülmektedir. Yatak ve hemşire başına düşen insan sayısı bakımından İnan'da yaklaşık olarak 700 kişiye bir yatak ve hemşire düşmektedir. Türkiye, ABD, İtalya ve İspanya ile yatak başına düşen insan sayısı bakımından benzerlik göstermesine rağmen, hemşire başına düşen insan sayısı bu ülkelerden fazladır.

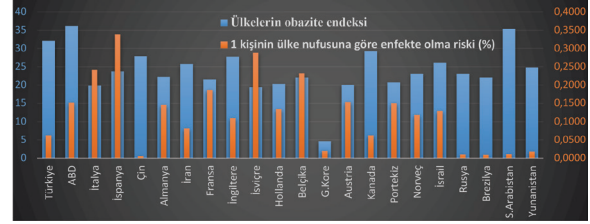


Şekil 7. Ülkelerin yatak başına düşen insan sayısı ile tedavi oranı



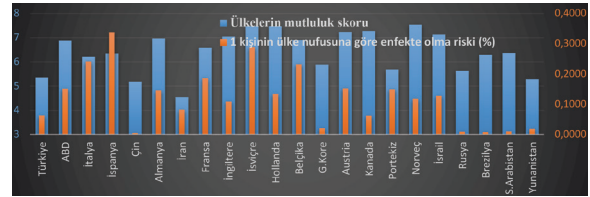
Şekil 8. Nüfusa göre bulaşma oranının ülkelerin kişi başına gelirleri ile ilişkisine ait grafik

Şekil 8'de ülkelerin kişi başına gelirleri ile ülkedeki virüs bulaşma oranlarına ait bilgiler yer almaktadır. Bu grafikten kişi başına geliri yüksek olan ülkelerde virüsün nüfusa göre bulaşma oranının yüksek olduğu görülmektedir.



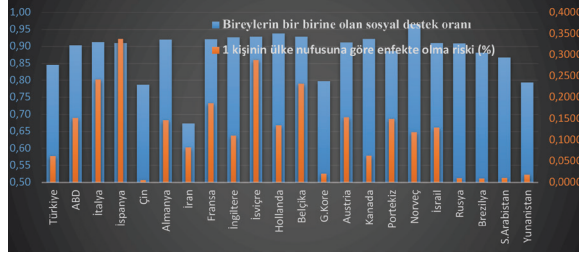
Şekil 9. Obezite endeksi ile bir kişinin enfekte olma riskine ait ilişki grafiği

COVID-19 vakalarında önemli olan bir unsurda kronik hastalık öyküsüdür. COVID-19 vakası eğer başka kronik hastalıklara sahipse iyileşme sürecini daha zor atlattır. Benzer şekilde ülke boyutunda da ne kadar fazla kronik hasta varsa ortaya çıkacak COVID-19 vaka sayısı artacaktır. Şekil 9'da ABD'nin obezite oranının çok yüksek olduğu görülmektedir. ABD de 100 kişiden 37 si obez olarak nitelendirilmektedir. Obezite indeksine göre ülkemiz 3'üncü sırada yer almaktadır. Güney Kore'nin COVID-19 vakalarındaki başarısı ülkedeki beslenme alışkanlıkları ile yakından ilgili olarak değerlendirilmiştir. Çünkü ülkedeki obezite oranı %4 iken bir kişinin COVID-19 olma ihtimali 0,02'dir. Obezite endeksi yüksek olan ülkelerde COVID-19'un seyrinin oldukça yüksek olacağı görülmektedir.



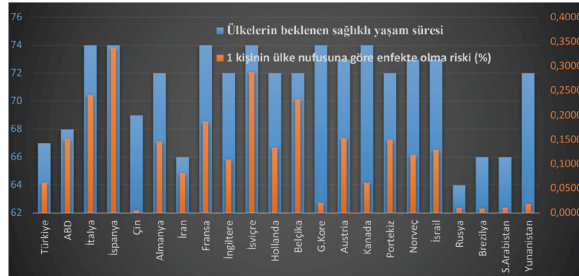
Şekil 10. Ülkelerin mutluluk skoru ile bir kişinin enfekte olma riskine ait ilişki grafiği

Mutluluk endeksi kişilerin sosyal ilişkileri ile ilişkilendirilecek olursa, mutluluk düzeyi yüksek olan ülkelerde enfekte olma riskinin yüksek olduğu görülmektedir. COVID-19 süreci bakımında önde olan İtalya ve İspanya incelendiğinde, sosyal hayatın virüsün bulaşma riskini arttıracakı düşünülmektedir.



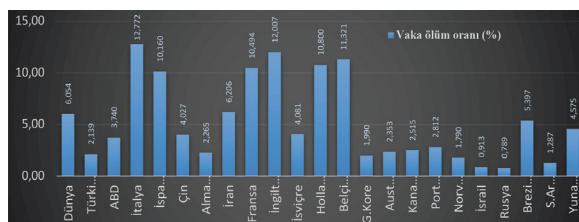
Şekil 11. Bireylerin birbirine sosyal destek oranı ile bir kişinin enfekte olma riskine ait ilişki grafiği

Benzer olarak, Şekil 11 incelendiğinde, ülkelerdeki bir bireyin COVID-19 olma riskinin en yüksek olduğu ülke İspanya'dır. Bunu İsviçre ve İtalya izlemektedir. Bu ülkeler gözönünde bulundurulduğunda, bireylerin birbirine sosyal olarak destek olması konusunda oldukça üst sıralarda yer aldığı görülmektedir. Sosyal hayattan izole olamamanın COVID-19'un yayılma riskini arttıran bir durum olduğunun bir göstergesidir.



Şekil 12. Ülkelere göre beklenen sağlıklı yaşam süresi ile bir kişinin enfekte olma riskine ait ilişki grafiği

Bireylerin sağlık yaşam süresinin yüksek olduğu ülkeler incelendiğinde, İtalya, İspanya, Fransa, İsviçre, Güney Kore ve Kanada'nın benzer olduğu görülmektedir. Bu ülkeler arasında Güney Kore, obezite indeksinin de düşüklüğü nedeniyle COVID-19 vakası olma riski en düşük ülkedir. Türkiye ise beklenen sağlıklı yaşam süresi bakımından ABD ve İran arasında yer almaktadır. Bu ülkelerdeki hastalık seyri yüzünden daha dikkatli kararlar alınması gerekebilir.

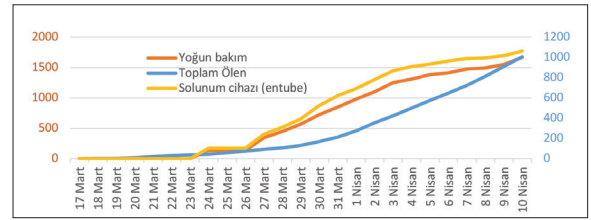


Şekil 13. Ülkelerin vaka ölüm oranları

Çalışmanın devamında Şekil 13'te ülkelerin vaka ölüm oranı verilmiştir.

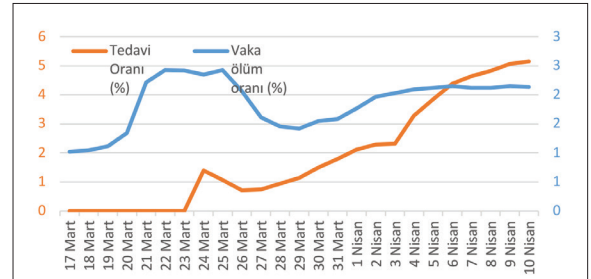
Şekil 13 incelendiğinde vaka ölüm oranı en yüksek olan ülke İtalya, İngiltere, Belçika, Hollanda, Fransa ve İspanya şeklinde sıralanmaktadır. Türkiye ise vaka ölüm oranı bakımından Güney Kore'den biraz üst düzeydedir.

Çalışmanın bu kısmında Türkiye'ye ait COVID-19 vakalarına ilişkin bazı istatistiklere yer verilmiştir.



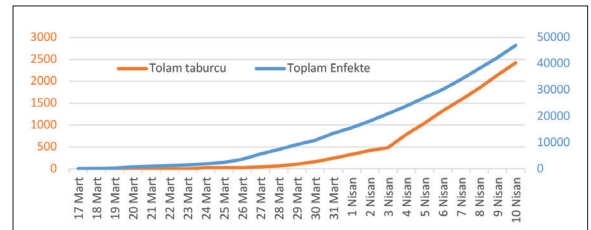
Şekil 14. Türkiye'deki vakaların durumu

17 Mart-10 Nisan 2020 tarihleri arasında hastanede tedavi altına alınan COVID-19 vakalarının hastalık seyrine göre değişimi Şekil 14'te verilmiştir.



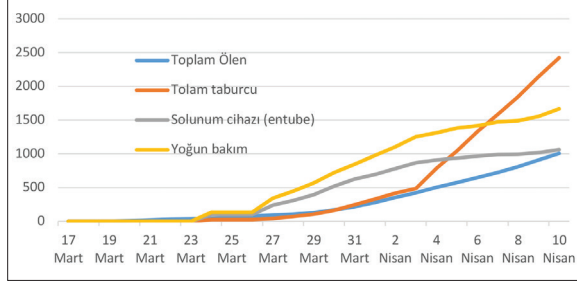
Şekil 15. Türkiye'deki vakaların tedavi ve ölüm durumu

Benzer şekilde 17 Mart-10 Nisan 2020 tarihleri arasında COVID-19 vakalarının ölüm ve tedavi yüzdelere ilişkin süreç Şekil 15'te verilmiştir. Buna göre, 6 Nisan'a kadar her iki durumun artan bir seyir izlediği, ancak bu tarihten sonra tedavi oranının artmakta olduğu, ölüm oranının ise sabit bir seyirde devam ettiği görülmektedir. Türkiye açısından bu sonuç oldukça umut vericidir.



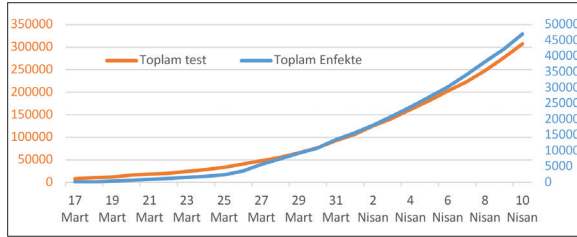
Şekil 16. Türkiye'deki vakaların taburcu ve enfekte durumu

Şekil 16'da 17 Mart-10 Nisan tarihleri arasında tedavi görüp taburcu olan ve enfekte olan kişilerin seyri verilmiştir. Her ikisi de benzer paralellikte seyretmektedir. Bu nedenle yeni gelen ve taburcu olan vakalar bu şekilde devam ederse sağlık sistemine yeni yük oluşturmayacaktır.



Şekil 17. Türkiye'deki vakaların durumu

Şekil 17 incelendiğinde, 3 Nisan tarihinden sonra taburcu edilen vaka sayısının hız kazandığı, toplam ölen, solunum cihazına bağlı veya yoğun bakım hastası olanların ise benzer bir seyir izlediği görülmektedir. 10 Mart 2020 itibariyle ülkemizde görülen COVID-19 vakalarının taburcu seyrinin tedavi sürecinin uzunluğu nedeniyle daha önceki dönemde toplam ölen kişi sayısı ile paralel gittiği görülmektedir.



Şekil 18. Türkiye'deki toplam test sayısı ve toplam enfekte durumu

Son olarak Şekil 18'de 17 Mart-10 Nisan tarihleri arasında yapılan test sayısı ve toplam enfekte hasta sayısına ait grafik verilmiştir. Yapılan test sayısı arttıkça, COVID-19 vakalarının tespiti artacaktır. Şu an yapılan testlerin %15,1'inde vakaların pozitif olduğu tespit edilmektedir.

Türkiye'de Gelecek Dönemde Karşılaşılabilecek Yeni ve Toplam Vaka Sayılarının Öngörüsü

Çalışmanın bu kısmında literatürde COVID-19 vakalarının seyrini modellemek için kullanılan büyüme eğrileri ve zaman serisi modelleri ile toplam

vaka sayısı öngörülme çalışılmıştır. Öncelikle literatür incelendiğinde erken dönem verilerinin az olması nedeniyle büyüme eğrilerinin kullanıldığı, artan veri ile beraber elde edilen bilginin gücünden hareketle zaman serisi analizi yapıldığı görülmektedir. İlk 30 günlük süreç beklenerek yapılan bu çalışmada her iki yöntemin ele alınmasındaki temel dayanak budur. Kurulan modellerin farklı parametre sayısı içermesi nedeniyle modellerin uyum iyiliğinin kıyaslanmasında AIC (Akaike Bilgi Kriteri) kullanılmıştır. Öncelikle büyüme eğrileri ve basit zaman serisi analizi olan Üstel düzeltme yöntemi hakkında kısa bir açıklamaya yer verilmiştir.

Büyüme Eğrileri

COVID-19 ile yapılan modelleme çalışmalarında öncelikle göze çarpan yöntemlerin başında büyüme eğrileri gelmektedir. Mikrobiyologların çalışma alanı olması nedeniyle, virüsün seyrinin modellenmesinde büyüme eğrilerinin yaygın kullanıldığı görülmektedir. Büyüme eğrileri bir bitkinin, bir ortamdaki bakterinin veya virüsün artışını modellemede kullanılmaktadır. Canlılığın büyümesinin ya da virüsün artmasının zamana bağlı olarak ifade edilmesi büyüme olarak adlandırılmaktadır. Büyüme eğrileri ile karmaşık bir yapıya sahip olan büyüme sürecinin tanımlanmasına çalışılmaktadır (15, 28). Büyüme eğrileri için farklı modeller söz konusudur. Üstel, lojistik ve Gompertz büyüme eğrileri yaygın olarak kullanılmaktadır. Şu ana kadar yapılan COVID-19 vakalarının modellenme çalışmalarında üstel ve lojistik büyüme eğrileri ele alınmıştır. Bu çalışmada 3 modelde kullanılmıştır. Kullanılan model tanımları Tablo 1'de verilmiştir. Büyüme eğrilerinin saptanmasında R programından yararlanılmıştır.

Tablo 1. Doğrusal olmayan büyüme eğrileri modelleri

Büyüme Eğrisi Modelleri	Eşitsizlikler
Lojistik	$Y_t = \alpha / (1 + \beta \exp(-kt))$
Gompertz	$Y_t = \alpha \exp(-\beta \exp(-kt))$
Üstel	$Y_t = \alpha \beta^t$

Burada Y_t t zamanındaki büyüklüğü ve α , β ve k modeldeki büyüme eğrisi parametrelerini göstermektedir.

Zaman Serileri Yaklaşımı

Zaman serileri gözlem değerleri, belirli bir zaman içinde sürekli olarak elde ediliyorsa, bu tip serilere sürekli zaman serileri denilmektedir. Eğer gözlem değerleri, sadece belirli zaman aralıklarıyla elde ediliyorsa, bu tipteki serilere kesikli zaman serileri adı verilmektedir (16). Zaman serilerinde periyodik dalgalanmalar bulunmuyorsa bu tür zaman serileri, durağan zaman serileri şeklinde adlandırılır. Zaman serinin bir bölümü diğer bölümüne göre büyük dalgalanmalar gösteren zaman serilerine ise, durağan olmayan zaman serileri adı verilmektedir (17). Zaman serileri; kesikli, doğrusal ve stokastik süreç içeriyorsa, Box-Jenkins modeli olarak adlandırılır. Box-Jenkins modelinde, bağımlı değişken, geçmiş dönem / gecikmeli değerler ve rassal hata terimleri ile açıklanabilir.

Otoregresif (AR-AutoRegressive) modeller, bir zaman serisinin herhangi bir döneminde elde edilen gözlem değerini, aynı serinin ondan önceki belirli sayıda dönemin gözlem değerine ve hata terimine bağlı olarak açıklayan modellerdir. AR(p) modeli aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \varepsilon_t$$

$$\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2) \quad (1)$$

y_t ; gelecekteki değerleri öngörülme çalışılan bağımlı değişkeni ifade etmektedir. ϕ_1, \dots, ϕ_p ; denkleminin sağ tarafında bağımlı değişken y_t 'nin p. dereceye kadar olan gecikmeli değerleri için parametre kestirim değerlerini ifade eder. ε_t ; normal dağılıma sahip hata terimini ifade eder.

Diğer bir model, hareketli ortalama (MA-Moving Average) modeli, bir zaman serisinin herhangi bir döneminde elde edilen gözlem değeri, aynı dönemin belirli sayıda geçmiş dönemin hata terimlerinin doğrusal bileşimi olarak ifade edildiği modeller olarak ifade edilir. MA(q) modeli aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$y_t = \varepsilon_t + \theta \varepsilon_{t-1} + \dots + \theta \varepsilon_{t-q} \quad \varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2) \quad (2)$$

y_t ; gelecekteki değerleri öngörülme çalışılan bağımlı değişkeni ifade etmektedir. θ ; denkleminin sağ tarafında bağımlı değişken y_t 'nin q. dereceye kadar olan gecikmeli değerleri için parametre kes-

tim değerlerini ifade eder. ε_t ; Normal dağılıma sahip hata terimini ifade eder.

AR ve MA modellerinin karışımı olan Otoregresif Hareketli Ortalama (ARMA AutoRegressive Moving Average) modelleri ilk defa Wold tarafından geliştirilmiştir. ARMA(p,q) modeli ise,

$$y_t = \alpha + \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (3)$$

olarak ifade edilmektedir. AR, MA, ARMA modelleri en genel doğrusal, durağan Box-Jenkins modelleridir (18).

Gelecekte alacağı değerlerin tahmin edilmeye çalışıldığı seri, durağan değilse seriyi durağan hale getirmek için serinin önce logaritması sonra da uygun dereceden farkı alınır. ARMA (p,q) modelinde kullanılan serinin durağan hale getirilmesi için d kez farkı alınarak model, (p,d,q) dereceden Otoregresif Bütünleşik Hareketli Ortalama (ARIMA) biçiminde ifade edilir. Bu model Box-Jenkins modeli olarak da adlandırılır. Box-Jenkins modellerinde amaç; zaman serisine en iyi uyan, en az parametre içeren doğrusal modeli belirlemektir (19). ARIMA modelleri için en önemli aşama p, d ve q değerlerinin bulunması aşamasıdır (20, 21, 22).

Üstel Düzleştirme Teknikleri

Üstel düleştirme teknikleri, temel özellik açısından hareketli ortalama tahmin tekniklerine benzerler. Ancak üstel düleştirme teknikleri, zaman serisinin tüm gözlem değerlerini göz önünde bulundururlar. Düzleştirme katsayısının uzak dönemlere gidildikçe azalarak değer verilmesi yönünden klasik hareketli ortalamalar tekniğinden ayrılırlar (23).

Basit üstel düleştirme tekniği, düleştirme sabiti ($0 < \alpha < 1$) olmak üzere, geçmiş t sayıdaki zaman serisi gözlem değeri Y_1, Y_2, \dots, Y_t olsun. (t + 1) dönemi için tahmin değeri, T_{t+1} aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$T_{t+1} = \alpha Y_t + \alpha(1 - \alpha) Y_{t-1} + \alpha(1 - \alpha)^2 Y_{t-2} + \dots \quad (4)$$

Y_t, Y_{t-1}, Y_{t-2} gözlemlerinin katsayıları giderek azaldığı için yeni zaman serisi gözlemlerine daha çok ağırlık değeri verilmektedir.

Holt Üstel Düzleştirme Tekniği

Holt üstel düzleştirme tekniği, hareketli ortalama ve basit üstel düzeltme tekniklerine göre daha karmaşık bir yapıdadır. Bu teknik, diğer iki teknikten farklı olarak trend unsurunu ele almaktadır. Model kendi içinde iki tane katsayıya sahiptir. Holt üstel düzleştirme tekniği, trende sahip ama mevsimsel dalgalanması olmayan zaman serilerinin tahmininde kullanılmaktadır (22).

Genelleştirilmiş Zaman Serileri

Genelleştirilmiş zaman serileri modelleri, kompleks üstel düzleştirme (Complex Exponential Smoothing-CES) tekniğine dayanır. CES, karmaşık fonksiyonlar teorisini kullanan doğrusal olmayan bir tahmin yöntemidir. Çoğu üstel düzleştirme modelinden farklı olarak, zaman serisi ayrışması gerçekleştirmez, böylece temel ve trend bileşenleri arasındaki keyfi ayrımı önler ve model seçim prosedürünü ortadan kaldırır (24). Basit üstel düzleştirme yönteminden hareketle, gerçek değişkenleri (1), karmaşık değişkenlerle değiştirmek ile CES tekniğine ulaşılır:

$$\hat{y}_{t+1} + i\hat{p}_{t+1} = (\alpha_0 + i\alpha_1)(y_t + ip_t) + (1 - \alpha_0 + i - i\alpha_1)(\hat{y}_t + i\hat{p}_t) \quad (5)$$

Burada, \hat{y}_t ; zaman serisinin kestirim değerini, \hat{p}_t ; bilgi değişkeni kestirim değerini, α_0, α_1 ; üstel düzleştirme parametrelerini belirtmektedir. Bu yöntemin arkasındaki fikir, zaman serilerinde geleneksel temel-trend-mevsimsel ayrışma kullanılarak yakalanamayan bazı tanımlanamayan bileşenler olabileceğidir. Bu nedenle, p_t 'nin bu yararlı bilgileri içerdiği ve öngöründe kullanılabileceğidir. Bununla birlikte, p_t gözlemlenemez, bu yüzden kullanmak için sahte bir değişken tanımlanması gerekir. Düzleştirme yapabilmek için $p_t = \epsilon_t$ varsayılır.

Basit üstel düzleştirme tekniğinde olduğu gibi, zaman serisindeki bağımlılıkların doğrusal olmayan bir yapıya sahip olduğunu ve zaman serisinde açık bir trend bileşeninin bulunmadığını varsayar (25).

Box-Cox Dönüşümlü Üstel Düzleştirme

Box-Cox dönüşümlü üstel düzleştirme, Fourier serisine benzeyen zaman serisi gözlemlerine, Box-

Cox dönüşümü uygulayarak üstel düzleştirme yapmak temeline dayanmaktadır. Box-Cox dönüşümü ile zaman serilerinin durağan olmama sorunu veya otokorelasyon sorununun çözülmesi amaçlanmaktadır (26, 27). Varyansı sabit hale getiren Box-Cox dönüşümü aşağıda verildiği gibidir; (26)

$$w_t = \begin{cases} \log(y_t) & , \quad \lambda = 0 \\ y_t^\lambda - 1/\lambda & , \quad \lambda \neq 0 \end{cases} \quad (6)$$

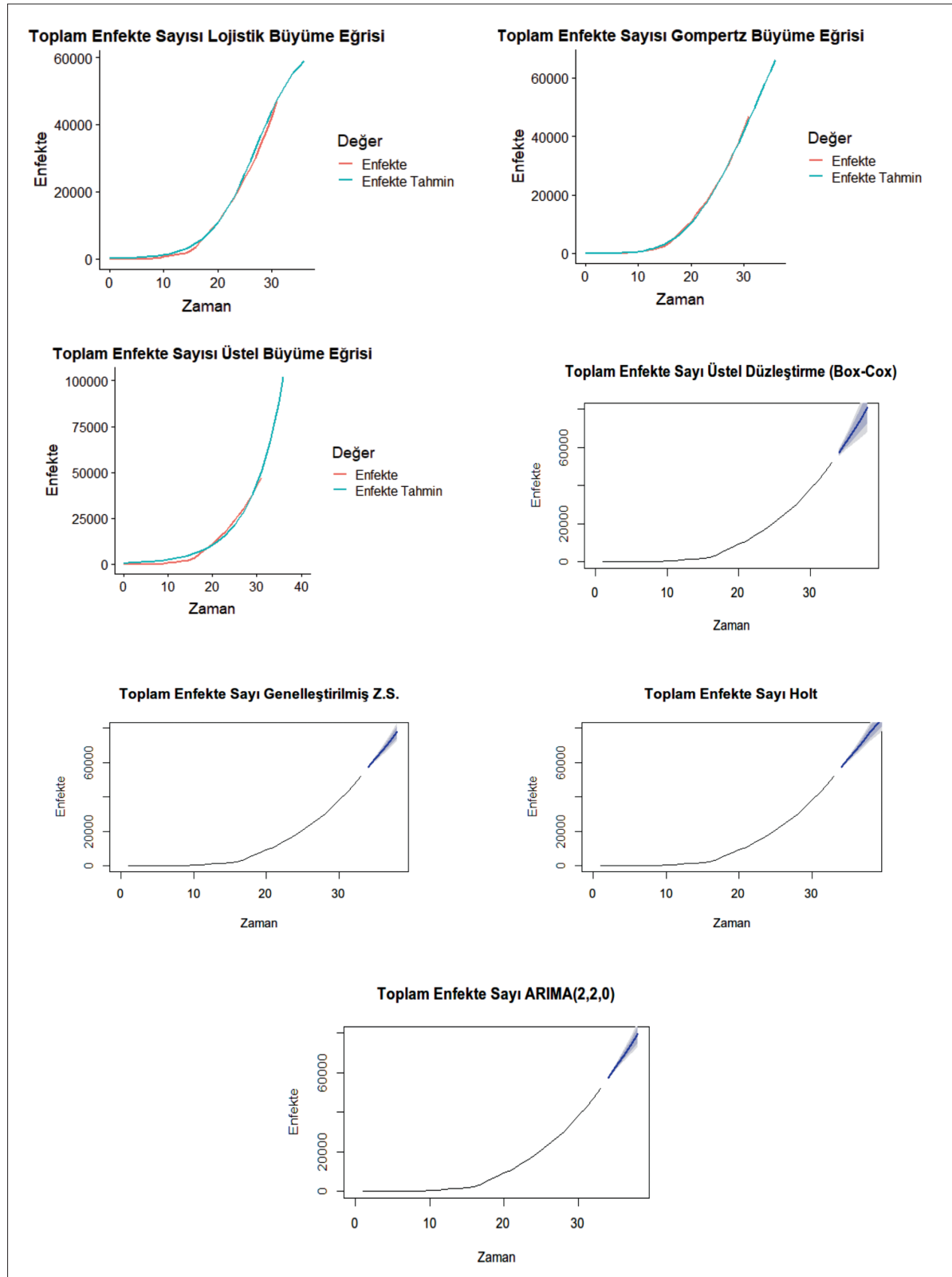
BULGULAR

Bu çalışma ile Türkiye COVID-19 toplam enfekte vaka sayısını günlük vaka sayıları yardımıyla doğrusal olmayan büyüme eğrileri modelleri ve zaman serisi modelleri ile tahmini ele alınmıştır. Toplam enfekte vaka sayılarının büyüme eğrileri modellerine uyumlarının tahmininde R programı kullanılmıştır. Modellerin karşılaştırılmasında kullanılan AIC değerleri ve her bir büyüme modelinin 4 günlük tahmin değerleri ile grafikleri aşağıda verilmiştir.

Tablo 2. Toplam enfekte sayıları için modellerin AIC değerleri

Model	AIC
Lojistik	517,141
Gompertz	475,340
Üstel	574,784
Üstel Düzleştirme (Box-Cox)	455,510
Genelleştirilmiş Zaman Serileri (GUM)	515,395
Holt	520,397
ARIMA(2,2,0)	460,070

Tablo 2 incelendiğinde büyüme eğrileri modelleri arasında AIC değerleri en küçük olan model Gompertz büyüme eğrisi modelidir. Zaman serisi modelleri arasında ise üstel düzleştirme (Box-Cox) yöntemi en küçük AIC değerine sahiptir. COVID-19 vakalarının toplam sayısının modellenmesinde üstel düzleştirme (Box-Cox) yönteminin daha etkili sonuçlar vereceği açıktır. Bu modellere ilişkin tahmin grafikleri ve 4 günlük tahmin değerleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 19. Tahmin yöntemlerinin ileriye yönelik seyirleri

Tablo 3. Tahmin yöntemleri kullanılarak elde edilen 4 günlük toplam COVID-19 vaka sayısı öngörülleri

Yöntemler	11 Nisan	12 Nisan	13 Nisan	14 Nisan
Lojistik	52989	55331	57345	59053
Gompertz	53981	58103	62221	66315
Üstel	57941	66748	76893	88581
Üstel Düzleştirme (Box-Cox)	52090	57153	62066	68732
Genelleştirilmiş Zaman Serileri (GUM)	52382	57282	64432	67582
Holt	52421	57289	64453	67590
ARIMA(2,2,0)	53142	57505	62956	68466

Tablo 3 incelendiğinde, önerilen modeller kullanılarak 4 günlük toplam enfekte vaka sayıları öngörülmüştür. Büyüme eğrisi modelleri incelendiğinde üstel büyüme eğrisi modelinin toplam enfekte sayısı tahmini diğer iki modele kıyasla daha yüksek bir artışa sahip olduğu görülmektedir. Ancak model uyumu açısından en etkili yöntemin üstel düzeltirme (Box-Cox) olması nedeniyle kısa zaman için bu modelin tahminlerinin kullanılması uygun olacaktır.

Çalışmanın devamında aynı modeller kullanılarak COVID-19 nedeniyle ölen hasta sayıları modellenmiştir. Benzer olarak AIC değerleri hesaplanmış ve en küçük AIC değerini veren yöntemin üstel düzeltirme (Box-Cox) (AIC=178.65) olduğu tespit edilmiştir. Bu yöntem ile elde edilen toplam ölen vaka sayısı öngörülleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Günlük Toplam COVID-19 Ölüm Sayısı Öngörülleri yerine Günlük toplam COVID-19 ölüm sayısı öngörülleri

Yöntem	11 Nisan	12 Nisan	13 Nisan	14 Nisan
Üstel Düzleştirme (Box-Cox)	1106	1189	1383	1476

TARTIŞMA VE SONUÇ

COVID-19 salgınına ilişkin olarak yapılan çalışmaların başında hastalık seyrinin modellenmesi dikkat çekmektedir. Hastalık seyrinin modellenmesi ülkelerin alacakları önlemler, yapılacak müdahaleler ve uygulanacak tedaviler açısından önemlidir. Bu çalışmada, ülkemizden daha önce COVID-19 vakalarının görüldüğü ülkelerin istatistikleri ile şu anki

mevcut durumumuz çeşitli istatistikler bakımından değerlendirilmiştir. İlk bir aylık veriler yardımıyla toplam enfekte hasta sayısı ve toplam ölüm sayısı modellenmiştir. Modelleme başarısı açısından yaygın olarak kullanılan büyüme eğrilerine göre üstel düzeltirme yöntemlerinin daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. İlerleyen sürecin öngörülmesinde bu model yardımıyla tahminlerin yapılması uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

1. WHO, www.who.int (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2020)
2. Li Q, Guan X, Wu P, Wang X, Zhou L, Tong Y. Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus-infected pneumonia. *N Engl J Med* 2020; 382(13), 1199-1207..
3. Wang D, Hu B, Hu C, Zhu F, Liu X, Zhang J. Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus-infected pneumonia in Wuhan, China. *JAMA* 2020; Feb.
4. Chang D, Lin M, Wei L, Xie L, Zhu G, Dela Cruz CS. Epidemiologic and clinical characteristics of novel coronavirus infections involving 13 patients outside Wuhan, China. *JAMA* 2020; Feb.
5. Carlos WG, Dela Cruz CS, Cao B, Pasnick S, Jamil S. Novel Wuhan (2019- nCoV) coronavirus. *Am J Respir Crit Care Med* 2020; 201: P7-8.
6. Lai CC, Shih TP, Ko WC, Tang HJ, Hsueh, PR. Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) and coronavirus disease-2019 (COVID-19): The epidemic and the challenges. *Int J Antimicrob Agents* 2020; 55(3), 1-9.
7. Chen X, Yu B. First two months of the 2019 Coronavirus Disease (COVID-19) epidemic in China: realtime surveillance and evaluation with a second derivative model. *Glob Health Res Policy* 2020; 5(7), 1-9.
8. Liu Y, Gayle AA, Wilder-Smith A, Rocklöv J. The reproductive number of COVID-19 is higher compared to SARS coronavirus. *J Travel Med* 2020; 27(2).
9. Wu K, Darcet D, Wang Q, Sornette D. Generalized logistic growth modeling of the COVID-19 outbreak in 29 provinces in China and in the rest of the World. *MedRxiv* 2020; March. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.03.11.20034363>.
10. Fu X, Ying Q, Zeng T, Long T, Wang Y. Simulating and forecasting the cumulative confirmed cases of SARS-

- CoV-2 in china by Boltzmann function-based regression analyses. *J Infect* 2020; Feb.
11. Hu, Z, Ge Q, Li S, Jin L, Xiong M. Artificial Intelligence Forecasting of COVID-19 in China. *arXiv* 2020; Feb. arXiv:2002.07112v2.
 12. Roosa K, Lee Y, Luo R, Kirpich A, Rothenberg A, Hyman JM, Yan P, Chowell G. Real-time forecasts of the COVID-19 epidemic in China from February 5th to February 24th. *Infectious Disease Modelling* 2020; 5, 256-263.
 13. Petropoulos F, Makridakis S. Forecasting the novel coronavirus COVID-19. *Plos One* 2020; March.
 14. Ankaralı H, Ankaralı S, Erarslan, N. COVID-19, SARS-CoV2, Enfeksiyonu: Güncel Epidemiyolojik Analiz ve Hastalık Seyrinin Modellemesi. *Anatol Clin* 2020; Vol 25, Suppl 1, 1-22.
 15. Akbaş Y. Büyüme eğrisi modellerinin karşılaştırılması. *Hayvansal Üretim Derg* 1995; 36, 73-81.
 16. Box, J, Jenkins, E. (1976), Time Series Analysis Forecasting and Control. California.
 17. Kayım, H. (1985), İstatistiksel Ön Tahmin Yöntemleri. Ankara.
 18. Priestley, M.B. (1991), Non-Linear and Non-Stationary Time series Analysis. Academic Press, London.
 19. Hamzaçebi C, Kutay F. Yapay sinir ağları ile Türkiye elektrik enerjisi tüketiminin 2010 yılına kadar tahmini. *Gazi Üniv Müh Mim Fak Der* 2004; 19(3).
 20. Chatfield, C. (1980), The Analysis of the Time Series an Introduction. London.
 21. Akgül, İ. (2003), Zaman Serilerinin Analizi ve ARIMA Modelleri. Der Yayınları, İstanbul.
 22. Kadılar, C. (2005), SPSS Uygulamalı Zaman Serileri Analizine Giriş. Bizim Büro Basımevi, Ankara.
 23. Makridakis, S, Wheelwright, S. (1978), Interactive Forecasting Univariate and Multivariate Methods. Holden Day Inc, San Francisco.
 24. Svetunkov I. (2017), Statistical Models underlying functions of 'smooth' package for R. Working Paper, Lancaster University.
 25. Svetunkov I, Kourentzes N. (2015), Complex Exponential Smoothing. MPRA Paper no:69394, Lancaster University.
 26. Bergmeir C, Hyndman RJ, Benitez JM. (2014), Bagging Exponential Smoothing Methods using STL Decomposition and Box-Cox Transformation. Working Paper, Monash University.
 27. Kourentzes N, Petropoulos F. Forecasting with R. International Symposium on Forecasting. *ISF2016; 2016*.
 28. Ankaralı H. Türkiye'de COVID-19 Salgın Sürecinde İhtiyaç Duyulacak Yoğun Bakım Yatak ve Solunum Cihazı Sayılarının Direkt Tahmini. *Anatol Clin* 2020; Vol 25, Suppl 1, 59-62.
 29. Wikipedia, <https://tr.wikipedia.org/> (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2020).
 30. Koronavirüs Dünya Haritası, <https://www.worldometers.info/coronavirus/> (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2020).
 31. T.C. Sağlık Bakanlığı, <https://covid19.saglik.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2020).
 32. Dünya Verileri, <https://ourworldindata.org/air-pollution> (Erişim Tarihi: 5 Nisan 2020).
 33. Dünya Verileri, <https://ourworldindata.org/grapher/hospital-beds-per-1000-people> (Erişim Tarihi: 4 Nisan 2020).
 34. Dünya Verileri, <https://ourworldindata.org/grapher/nurses-and-midwives-per-1000-people> (Erişim Tarihi: 4 Nisan 2020).
 35. Birleşmiş Milletler İnsani Gelişmişlik Raporu, <http://hdr.undp.org/en/content/2019-human-development-index-ranking> (Erişim Tarihi: 4 Nisan 2020).
 36. Son Korona Teşhisleri, <https://bnonews.com/index.php/2020/04/the-latest-coronavirus-cases/> (Erişim Tarihi: 11 Nisan 2020).