



## COVID-19 Pandemisinde Büyüme Modeli Destekli Salgın Süreci Yönetimi

### Growth Curve Assisted Pandemic Progress Management in COVID-19 Pandemics

  Seyit Ali Kayış

Karabük Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıp Bilişimi ve Biyoistatistik AD, Karabük

ORCID ID: Seyit Ali Kayış 0000-0003-4791-8946

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Prof. Dr. Seyit Ali KAYIŞ, e-posta / e-mail: seyitalikayis@karabuk.edu.tr

Geliş Tarihi / Received : 29-04-2020

Kabul Tarihi / Accepted: 30-04-2020

Yayın Tarihi / Online Published: 30-04-2020

Atıf Gösterimi/How to Cite: Kayış S.A. COVID-19 Pandemisinde Büyüme Modeli Destekli Salgın Süreci Yönetimi, J Biotechnol and Strategic Health Res. 2020;1(Özel Sayı):152-157

#### Öz

- Amaç** Çin Halk Cumhuriyeti'nin Hubei eyaletine bağlı Wuhan şehrinde başlayıp tüm Dünya'ya yayılan COVID-19 salgını, Dünya gündemini oluşturmaktadır. Bu çalışmada ülkemizde COVID-19 süreci değerlendirildi ve büyüme modeli destekli salgın süreci yönetimi uygulanabilirliği incelendi.
- Materyal ve Method** 11 Mart 2020 - 27 Nisan 2020 tarihleri arasında Sağlık Bakanlığı'nın resmi olarak yayınladığı COVID-19 verileri kullanılarak salgının ülkemizdeki seyri analiz edildi. Ülkemizin hastane yatağı, yoğun bakım yatağı ve doktor kapasiteleri dikkate alınarak geleceğe dönük tahminler yapılabilmek için Gompertz büyüme modeli önerildi.
- Bulgular** İlk 12 günde vaka sayısının katlanarak devam ettiği (üstel faz) görüldü, 13. günde üstel fazdan çıkıldı. Toplam aktif hasta (TAH) sayısı = Toplam vaka (TV) sayısı - toplam iyileşen sayısı - toplam ölüm sayısı olarak tanımlandı. Toplam yoğun bakım hasta (TYBH) sayısı/(TAH) sayısı oranının en düşük ve en yüksek değerleri sırasıyla, %2,22 ve %6,80 olarak gözlemlendi. Toplam entübe hasta (TEH) sayısı/TAH sayısı oranının en düşük ve en yüksek değerleri sırasıyla, %1,13 ve %4,98 olarak saptandı. Her iki oranın da salgının başlangıç günlerinde yüksek olduğu, ilerleyen günlerde azaldığı görüldü.
- Tartışma** Gompertz büyüme modeli ile TAH sayısı için parametre tahmini yapıldı. Elde edilen parametreler ile TAH sayısı tahmini gerçekleştirildi. İleriye dönük projeksiyon süreç yönetimine Gompertz modeli ile tahmin edilen TAH sayısı örnek olarak verildi. TEH ve TYBH sayıları için nasıl uygulanabileceği açıklandı.
- Anahtar Kelimeler** COVID-19, Gompertz büyüme modeli, parametre tahmini, Türkiye'de COVID-19 süreci, salgın süreç yönetimi

#### Abstract

- Aim** Nowadays, world has been shaken by the COVID-19 pandemic outbreak started in Wuhan, Hubei Province of China, and spread all over the World. In this study, COVID-19 pandemic progress of Turkey was evaluated and growth curve assisted pandemic progress management was explored.
- Material and Methods** Data released by Minister of Health of Turkey between 11 March 2020 and 27 April 2020 regarding COVID-19 was used to analyse the situation. Gompertz growth curve was suggested to be able to make future prediction taking into account numbers of hospital bed, critical care unit bed, and doctors of Turkey.
- Results** In the first 12 days, number of COVID-19 cases increased in an exponential phase, but starting from day 13 this dramatic increase ended. The number of total active cases (TAH) was defined as the difference of number of total cases (TV) and number of recovered plus death. Minimum and maximum values of total number of patients in intensive care (TYBH) to number of TAH ratio were found to be 2.22% and 6.80%, respectively. Minimum and maximum values of total number of entubed patients (TEH) to number of TAH ratio were found to be 1.13% and 4.98%, respectively. Both ratios were high in the early days of the pandemic, although both were decreased later on.
- Conclusion** Parameter estimation of Gompertz growth curve for the number of TAH was performed. Estimation was made for number of TAH by utilising the estimated parameters. The estimated number of TAH via Gompertz model was given as an example for future progress management. Then, application of the progress for number of TEH and TYBH was explained.
- Keywords** COVID-19, Gompertz growth curve, parameter estimation, the COVID-19 progress in Turkey, pandemic progress management

## GİRİŞ

Çin Halk Cumhuriyeti'nin Hubei eyaletine bağlı Wuhan şehrinde başlayıp tüm Dünya'ya yayılan ateşli solunum yolları hastalıkları salgını, bugünlerde Dünya gündemini oluşturmaktadır. 2019 Yılı sonunda Çin Halk Cumhuriyeti'nin Hubei eyaletine bağlı Wuhan şehriden etkeni bilinmeyen pnömöni bildirimleri gelmeye başladı.<sup>1,2</sup> Ocak 2020'de bir hastanın bronkoalveolar lavajından alınan örneklerde yeni tip korona virüs (COVID-19) tespit edildi ve hastalığın nedeni olduğu teyit edildi.<sup>3</sup> Hastaların, canlı hayvan da satılan Huanan deniz ürünleri pazarı ile irtibatları olduğu bildirildi. Başlangıçta hayvandan insana bulaştığı, insandan insana bulaşmayacağı öngörülse de kısa süre sonra insandan insana bulaştığı ortaya çıktı.<sup>4</sup>

Salgın hızla yayılmaya başladı ve 26 Ocak 2020 tarihinde Antarktika hariç tüm kıtalarda virüsün varlığı teyit edildi. 11 Mart 2020 tarihinde Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) durumu pandemi (salgın) olarak tanımladı ve hastalığı Coronavirus-19 (COVID-19) olarak isimlendirdi.<sup>5</sup> 27 Nisan 2020 tarihi itibari ile Dünya genelinde toplam vaka sayısı 3.017.989, ölü sayısı 207.724, iyileşenlerin sayısı ise 894.670 olarak bildirilmiştir. Toplam vaka ve ölü sayısı bakımından ilk üç sırada Amerika Birleşik Devletleri (987.322 vaka, 55.415 ölü), İspanya (236.199 vaka, 23.521 ölü) ve İtalya (197.675 vaka, 26.644 ölü) yer almıştır.<sup>6</sup> Ülkeler COVID-19 ile mücadele kapsamında farklı yöntemler uygulamaya başladılar. Salgının ilk ortaya çıktığı Çin Halk Cumhuriyeti başlangıçtan itibaren sert karantina ve sosyal izolasyon önlemleri aldı ve ölüm oranı %5,59 olarak gerçekleşti. İtalya'nın kısıtlayıcı ve koruyucu önlem almadığı gecikmesi nedeniyle salgın çok hızlı yayıldı, ilave olarak, salgına yetersiz ekipman ile yakalandığı anlaşıldı ve ölüm oranı %13,48 oldu. İspanya ve Fransa'da da benzer durumlar gözlemlendi ve ölüm oranları sırasıyla, %10,23 ve %14,10 oldu. Avrupa ülkelerinden İsveç, Hollanda ve İngiltere COVID-19 ile mücadele kapsamında sürü bağışıklığı da denilen toplumsal bağışıklık (Herd Immunity) yöntemini benimsediler. İsveç (ölüm oranı %11,77) toplumsal bağışıklık stratejisine devam ederken Hollanda (ölüm

oranı %11,82) ve İngiltere (ölüm oranı %13,56), İtalya ve İspanya'da kontrolün kaybedilmesi ve kapasite yetersizliği nedeniyle ortaya çıkan vahim tablolardan sonra bu yöntemden vazgeçtiler ve salgını bastırmaya yönelik tedbirler almaya başladılar.

Bu çalışmada, büyüme modellerinden COVID-19 salgın sürecinin yönetiminde faydalanma imkanlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, büyüme modeli için COVID-19'un Türkiye'de ilk görüldüğü tarihten itibaren 27 Nisan 2020 tarihine kadar Sağlık Bakanlığı'nın resmi olarak yayınladığı COVID-19 verileri, kapasiteler ile ilgili olarak da Türkiye'nin hastane yatağı, yoğun bakım yatağı ve doktor kapasiteleri kullanılmıştır.<sup>7</sup>

## YÖNTEM

### Materyal

Çalışmanın büyüme modeli materyalini COVID-19'un Türkiye'de ilk görüldüğü tarih olan 11 Mart 2020'den itibaren 27 Nisan 2020 tarihine kadar Sağlık Bakanlığı'nın resmi olarak yayınladığı COVID-19 verileri oluşturmaktadır. 11 Mart 2020 tarihinden sonra T.C. Sağlık Bakanlığı'nca günlük olarak toplam vaka (TV) sayısı, 17 Mart tarihinden itibaren toplam ölüm (TÖ) sayısı, 19 Mart tarihinden itibaren test sayısı, 25 Mart tarihinden itibaren toplam iyileşen (Tİ) sayısı, 27 Mart tarihinden itibaren toplam yoğun bakım hasta (TYBH) sayısı ve toplam entübe hasta (TEH) sayısı bilgileri paylaşılmaya başlandı. Ancak, toplam yatan hasta sayısı ile ilgili bilgiler periyodik olarak Bakanlıkça paylaşılmamaktadır.

COVID-19 büyüme modelinin uygulanacağı kapasite verileri ile ilgili olarak Türkiye'nin nüfusu, yüz bin kişiye düşen hastane yatağı, yoğun bakım yatağı ve doktor kullanılacaktır.

### Türkiye COVID-19 Pandemi Verilerinden Sağlık Sistemi Kapasitelerinin Belirlenmesi

Salgın esnasında aktif hastalardan durumu iyi olanların tedavileri evlerinde devam ederken, ihtiyaçları doğrultusunda

da bir kısmı hastanede yatarak, bir kısmı yoğun bakımda, bir kısmı ise entübe edilerek tedavi edilmektedir. Salgın esnasında sağlık hizmeti alması gereken (entübe, yoğun bakım, yataklı) hasta sayısının, sağlık hizmeti kapasitesinden fazla olması istenmez. Hasta sayısı, kapasitenin üzerinde ise hastaların bir kısmı sağlık hizmeti alamayacak, tedavi alamadığından dolayı kaybedilen hastalar olacaktır.

Salgın esnasında bir ülkenin sağlık sistemi kapasitelerini sahip olduğu; yüz bin kişiye düşen hastane yatağı, yoğun bakım yatağı ve doktor sayıları belirlemektedir. Bu bölümde, Türkiye'nin salgın esnasında sağlık sistemi kapasite sınırlarını oluşturabilecek TYBH sayısı/TAH sayısı oranı, TEH sayısı/TAH sayısı oranı, TEH sayısı/test sayısı oranı, TYBH sayısı/test sayısı oranı Sağlık Bakanlığı'nın resmi olarak yayınladığı COVID-19 verilerinden 11 Mart - 26 Nisan tarihleri arasında incelenmiştir.

### Büyüme Modeli

Salgın zamanlarında sürecin iyi yönetilebilmesi için sağlık hizmetleri kapasitesi – hasta sayısı ilişkisi ile ilgili ileriye dönük projeksiyonlar ve kestirimler yapabilecek istatistiksel, matematiksel modellerden faydalanılabilir. Bu bölümde Sağlık Bakanlığı'nın resmi olarak yayınladığı COVID-19 verilerinden 11 Mart - 26 Nisan tarihleri arasındaki verilerin zamana bağlı olarak modellenebilirliği araştırılmıştır.

Salgın boyunca zaman  $t$  değişkeni ile gösterilebilir. Türkiye'de  $t_i$  zamanında tedavi hizmeti alması gereken hasta sayısı  $T.C.$  Sağlık Bakanlığı'nca paylaşılan bilgilerden yararlanılarak  $T_V$  sayısı –  $T_I$  sayısı –  $T_O$  sayısı olarak hesaplanabilir. Bu çalışmada, bu değeri “toplam aktif hasta sayısı” olarak tanımlıyoruz ve buradan itibaren “toplam aktif hasta (TAH) sayısı” olarak anılacaktır.

Türkiye'de salgının ilk zamanlarında (ilk 12 gün) vaka sayısının katlanarak devam ettiği görüldü, bu kısım bir üstel fonksiyon ile ifade edilmeye çalışıldı. Çalışılan zaman aralığındaki verilerin tamamı ele alındığında artış davra-

nısının büyüme eğrisine dönüştüğü görüldü. TAH sayısı seyrine, yaygın olarak kullanılan büyüme eğrilerinden Gompertz, lojistik ve genelleştirilmiş lojistik büyüme eğrileri modellerinin uygunlukları en küçük kareler yöntemi ile karşılaştırıldı. Gompertz büyüme eğrisinin (eşitlik 1) en az hata kareler toplamı (HKT) ile TAH sayısı için en uygun büyüme modeli olduğu görüldü.

$$Ce^{-B(t-M)} \quad (1)$$

Bu eşitlikte:  $e$  : doğal logaritma tabanı;  $C$  : asimptot (TAH sayısının en fazla alabileceği değer),  $M$ : mutlak artışın en fazla olduğu zaman (büküm noktası);  $B$ :  $M$  zamanında nispi (%) artışı ifade eder.

Türkiye'de ilk COVID-19 vakasının görüldüğü 11 Mart (1. gün)'dan TAH sayısı artışının sona erdiği 23 Nisan (44. gün)'a kadarki TAH sayısı verileri kullanılarak eşitlik 1'de verilen büyüme eğrisi için parametreler tahmin edildi. Elde edilen parametreler ile, eşitlik 1 kullanılarak 11 Mart (1. gün) - 26 Nisan (47. gün) arası TAH sayısı tahmini gerçekleştirildi. Parametre tahminlerinde ve hesaplamalarda R yazılımı kullanıldı.<sup>8</sup>

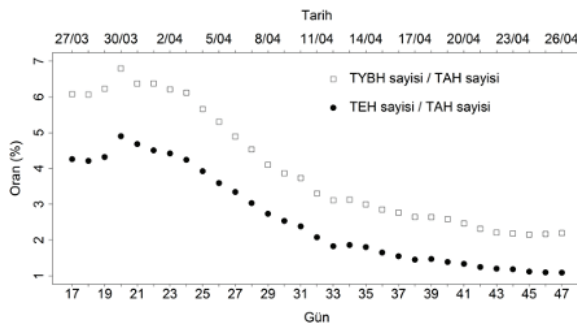
### BULGULAR

Yaklaşık 83 milyon nüfusa sahip olan Türkiye de güncel bilgilere göre yüz bin kişiye: 281 hastane yatağı, 40 yoğun bakım yatağı ve 187 doktor düşmektedir.<sup>7</sup> Bu bilgiler çerçevesinde aynı anda en fazla 33.200 yoğun bakım hastasına ve 233.230 hastanede yatacak hastaya sağlık hizmeti verilebileceği varsayılabilir.

### Türkiye COVID-19 Pandemi Verilerinden Elde Edilen Sağlık Sistemi Kapasiteleri İlişkileri

Şekil 1'de 27 Mart 2020 tarihinden itibaren TYBH sayısı/TAH sayısı ve TEH sayısı/TAH sayısı oranlarının seyirlerine ait grafik verilmiştir. TYBH sayısı/TAH sayısı oranı en düşük 24 Nisan'da (45. gün) %2,22 olarak, en yüksek 30 Mart'ta (20. gün) %6,80 olarak gözlemlendi. TEH sayısı/TAH sayısı oranı en düşük 26 Nisan'da (47. gün) %1,13 olarak, en yüksek 30 Mart'ta (20. gün) %4,98 olarak gözlemlendi. Her

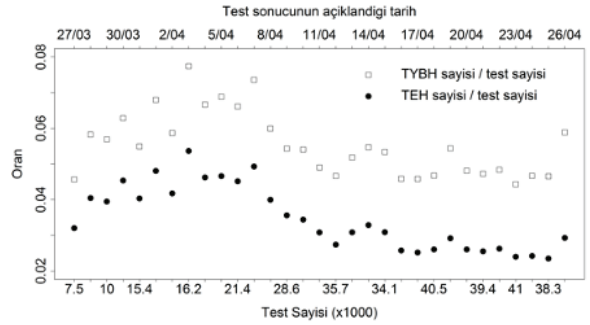
iki oranın, başlangıç zamanlarındaki değerleri ile 11 Nisan tarihinden sonraki değerleri karşılaştırıldığında %50'ye varan azalma olduğu görülmektedir. İleriye dönük TYBH sayısı ve TEH sayısı tahmini gerektiğinde buradaki bilgiler doğrultusunda, TAH sayısının sırasıyla, %4'ü ve %2'si kadarı olarak hesaplanabilirler. İlave olarak, buradaki bilgilerden TEH sayısı/TYBH sayısı oranı hesaplandı. Şekil 1'den de takip edilebileceği gibi, TEH sayısı/TYBH sayısı oranı ilk günlerde yüksek seyrederken (en yüksek %73,44 olarak hesaplandı) bu oranın zamanla azaldığı ve son zamanlarda düştüğü (en düşük %49,72 olarak hesaplandı) gözlenmiştir. İleriye dönük entübe desteğe ihtiyacı olacak hasta sayısı tahmini gerektiğinde buradaki bilgiler doğrultusunda, TYBH sayısının %55-%60'ı kadarı olarak hesaplanabilir.



Şekil 1: 27 Mart 2020 tarihinden itibaren TYBH sayısı/TAH sayısı ve TEH sayısı/TAH sayısı oranları seyir grafikleri. TYBH sayısı/TAH sayısı oranı: En düşük (%2,22) 24 Nisan'da en yüksek (%6,80) 30 Mart'ta gerçekleşti. TEH sayısı/TAH sayısı oranı: En en düşük (%1,13) 26 Nisan'da en yüksek (%4,98) 30 Mart'ta gerçekleşti.

27 Mart 2020 tarihinden itibaren TYBH sayısı/test sayısı ve TEH sayısı/test sayısı oranları seyir grafikleri Şekil 2'de verilmiştir. Günlük sonucu açıklanan test sayısı 10 Nisan tarihinden itibaren 30.000'in üzerine çıkmıştır (test için alınan örneklerin sonuçlarının 2-4 gün sonra açıklanıyor olması dikkate alınmalıdır). Bu tarihten sonra TYBH sayısı/test sayısı ve TEH sayısı/test sayısı oranlarında bir düşüş gözlenmiştir. Bunun nedeni COVID-19 vakalarının daha erken tespit edilip, daha erken tedavi edilmeye başlanması

olabilir.

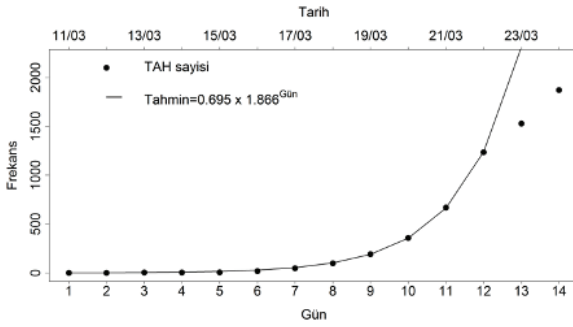


Şekil 2: 27 Mart 2020 tarihinden itibaren TYBH sayısı/test sayısı ve TEH sayısı/test sayısı oranları seyir grafikleri.

### Büyüme Modeli Analiz Sonuçları

Türkiye'de salgının ilk zamanlarında (ilk 12 gün) vaka sayısının katlanarak devam ettiği kısım bir üstel fonksiyon ile modellendi ve bu döneme ait TAH sayısı ve tahminler Şekil 3'de gösterildi. Vaka sayısının 13. gün itibari ile üstel fazdan çıktığı görüldü.

11 Mart (1. gün) - 26 Nisan (47. gün) arası TAH sayısı ve elde edilen parametreler ile tahmin edilen TAH sayısı grafikleri Şekil 4'de verildi. Gompertz modeli parametreleri  $C=110.868$ ,  $B=0,08763$ ,  $M=30,09$  olarak tahmin edildi. Buradan: En fazla TAH sayısının 110.868 olabileceği; en fazla artışın 30,09. gün olacağı, bu zamandan sonra vaka sayısının azalışa geçeceği; 30,09. günde vaka sayısı artışının %0,08763 olacağı anlaşılmaktadır. Model parametrelerine göre, en fazla olabilecek vaka sayısı olan 110.868 sayısına (vaka sayısında artışı etkileyecek bir çevre değişikliği olmamak şartıyla) 162. günde ulaşılacağı hesaplanmıştır.

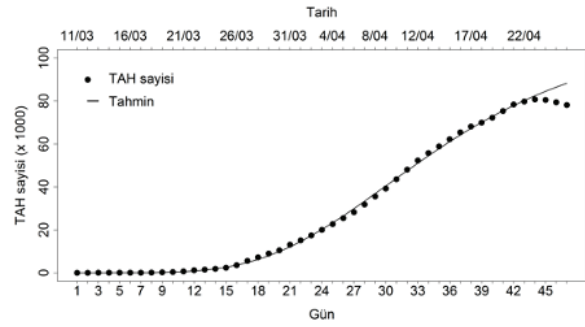


Şekil 3: Toplam aktif hasta (TAH) sayısı artışı grafiği (içi dolu noktalar) ve üstel fonksiyon ile ilk 12 gün verileri kullanılarak TAH sayısı tahmini grafiği (çizgi).

### TARTIŞMA

Çalışmanın amacının, büyüme modellerinden COVID-19 salgın süreci yönetiminde faydalanmak olduğu belirtilmişti. Şekil 1 incelendiğinde üstel model ile tahminlerin, salgın sürecinde sadece TAH sayısının katlanarak arttığı dönemi iyi ifade edebildiği anlaşılmaktadır. Ancak, TAH sayısı salgın süreci boyunca; artan, doğrusal, azalan ve plato dönemlerinden oluşmaktadır. Şekil 4' incelendiğinde, Gompertz büyüme modeli ile elde edilen tahminlerin, salgın süreci boyunca TAH sayısı verileri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, buraya kadar elde edilen bilgiler kullanılarak TAH sayısı projeksiyon süreç yönetimi Gompertz büyüme modeli ile gerçekleştirilebilir. Bu süreçte en kritik parametre, kabul edilebilir TAH sayısı (kapasitesi) olacaktır (bu modelde  $C$  (asimptot) olarak ifade edildi). TAH sayısı sabitlendiğinde (yani ülkenin TAH sayısı kapasitesi belirlendiğinde),  $B$  ve  $M$  parametreleri değiştirilerek belirlenen TAH sayısına ulaşma zaman süreci yönetilebilir. Model parametreleri doğrultusunda, gerekiyorsa TV sayısı artışını azaltacak kısıtlamalara başvurulabilir.

Burada süreç yönetimi örneği TAH sayısı üzerinden verildi. Ülke kapasite hassasiyetleri doğrultusunda yukarıdaki bilgilerden TEH ve TYBH sayıları TAH sayısından tahmin edilebilir ve TEH yada TYBH sayısı projeksiyon süreç yönetimi gerçekleştirilebilir.



Şekil 4: 11 Mart - 26 Nisan arası TAH sayısı ve Gompertz modelinden elde edilen parametreler ile tahmin edilen TAH sayısı grafikleri. Parametre tahmini için 11 Mart - 23 Nisan tarihleri arasında gerçekleşen TAH sayısı kullanıldı. Model parametreleri:  $C=110.868$ ,  $B=0,08763$ ,  $M=30,09$  olarak tahmin edildi.

### SONUÇ

COVID-19 salgını hala Dünya gündemini oluşturmaktadır. Salgın kısa sürede tüm Dünya'ya yayılmış durumdadır. Toplam vaka sayısı ve ölü sayısı artışı devam etmektedir. Salgının yayılmasını önlemek için tedbir almada geciken ülkelerde COVID-19 vakası sayısı sağlık hizmetleri kapasitesini aşmış durumdadır. Türkiye'de ilk günlerde katlanarak artan COVID-19 TAH sayısı seyrinin ilerleyen günlerde üstel fazdan çıkıp, Gompertz büyüme eğrisi ile modellenebilir hale döndüğü görüldü. Salgın süreci TAH sayısı seyrinin Gompertz büyüme modeli ile tahmin edilebileceği anlaşıldı. Salgın sürecinde öngörülen TAH sayısı kapasitesi doğrultusunda sürecin problemsiz yönetilebilmesi için model parametreleri kullanımı ile ilgili önerilerde bulunuldu. Benzer şekilde süreç yönetiminin TEH ve TYBH sayıları için de nasıl uygulanabileceği bilgileri verildi.

Bu çalışmada TAH sayısı seyri için uygun model seçiminde Gompertz, lojistik ve genelleştirilmiş lojistik büyüme eğrileri kullanıldı. TAH sayısı seyri için uygun model seçimi aşamasında daha fazla sayıda büyüme modeli kullanılması faydalı olacaktır. Kapasite sınırlaması ile ilgili olarak, ülke ihtiyaçları doğrultusunda başka değişkenlerin de modele eklendiği araştırmalar planlanmalıdır.

#### Kaynaklar

1. Lu H, Stratton CW, Tang YW. Outbreak of pneumonia of unknown etiology in Wuhan China: The mystery and the miracle. *J Med Virol.* 2020; 92(4): 401-402. doi:10.1002/jmv.25678
2. Hui DS, I Azhar E, Madani TA, et al. The continuing COVID-19 epidemic threat of novel coronaviruses to global health: the latest 2019 novel coronavirus outbreak in Wuhan, China. *Int J Infect Dis.* 2020; (91): 264-266. doi:10.1016/j.ijid.2020.01.009
3. Zhu N, Zhang D, Wang W, et al; China Novel Coronavirus Investigating and Research Team. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, *N Engl J Med.* 2020; (382):727-33. doi:10.1056/NEJMoa2001017
4. T.C. Sağlık Bakanlığı, Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü. COVID-19 Rehberi. <https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/bulasici-hastaliklar/2019-n-cov.html> (27-04-2020)
5. <https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020> (27-04-2020)
6. <https://www.worldometers.info/coronavirus/> (27-04-2020)
7. <https://tr.euronews.com/03/14/ulkelerde-kisi-basina-kac-doktor-ve-hastane-yatagi-dusu-yor-turkiye-de-durum-ne> (27-04-2020)
8. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2019 URL <https://www.R-project.org/>.