



## **Bir pandemi hastanesinde COVID-19 birimlerinin virüs taşıma riskini minimize eden vardiya çizelgeleme uygulaması**

### **Shift scheduling study to minimize the risk of contracting virus at COVID-19 units in a pandemic hospital**

**Derya Eren Akyol <sup>1\*</sup>, Ayşen Hayırlıoğlu <sup>2</sup>, Begümsu Taştan <sup>3</sup>, Berna Demirsoy <sup>4</sup>, Muharrem Sarı <sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE  
Sorumlu Yazar / Corresponding Author \*: [derya.eren@deu.edu.tr](mailto:derya.eren@deu.edu.tr)

Geliş Tarihi / Received: 29.09.2021

Kabul Tarihi / Accepted: 14.02.2022

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2022247206

*Atıf şekli/How to cite: EREN AKYOL, D, HAYIRLIOĞLU, A., TAŞTAN, B., DEMIRSOY, B., SARI, M.(2022). Bir pandemi hastanesinde COVID-19 birimlerinin virüs taşıma riskini minimize eden vardiya çizelgeleme uygulaması.DEU FMD 24(72), 747-762.*

#### **Öz**

Çin'in Wuhan kentinde ortaya çıkan COVID-19 virüsü, dünya genelinde yayılarak artmaya devam etmektedir. Virüsün hızla yayılmasından en çok etkilenen sektör, sağlık sektörü olmuştur. Çalışma alanları itibarıyla en riskli ortamda olan sağlık çalışanları, gerekli koruyucu ekipmanları kullansalar dahi uzun süreli ve dengeli düzenlenmemiş çalışma saatlerine bağlı olarak, virüse yakalanma riskini minimize edememektedirler. Aynı zamanda sağlık çalışanlarının koronavirüse yakalanma riski, hastanelerde açılan korona servisi birimleriyle de doğrudan etkileşim içerisindedir. Yapılan çalışmada, belirli varsayımlar üzerine kurulmuş simülasyon modelinden alınan veriler doğrultusunda korona servisi birimleri ile doktor ve hemşirelerin virüse yakalanma riskini minimize edecek bir tam sayılı doğrusal programlama (TDP) modeli önerilmiştir. Planlama ufku 14 gün olarak belirlenmiş ve model sonucunda korona servisi birimleri için virüs taşıma riskinin minimum olduğu vardiya çizelgeleri oluşturulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Covid-19, Vardiya Çizelgeleme, Simülasyon, Tam Sayılı Doğrusal Programlama

#### **Abstract**

The COVID-19 virus, which originated in Wuhan, China, continues to spread around the world. The health sector has been the most affected by the rapid spread of the virus. Healthcare workers who are in the riskiest environment due to their working areas, long-term and unbalanced working hours, cannot minimize the risk of contracting the virus even if they use the necessary protective equipment. At the same time, the risk of COVID-19 infections among healthcare workers interacts directly with corona service units opened in hospitals. In this study, an integer linear programming (ILP) model was proposed to minimize the risk of doctors and nurses contracting the virus with corona service units, in line with the data obtained from the simulation model based on certain assumptions. The planning horizon was set to 14 days, and as a result of the proposed model, shift schedules which minimize the risk of contracting the virus were created for each corona service unit.

**Keywords:** Covid-19, Shift Scheduling, Simulation, Integer Linear Programming

## 1. Giriş

COVID-19 pandemisi, 1 Aralık 2019 tarihinde tedavilere ve aşılarla cevap vermeyen bir virüs salgını olarak Çin'in Wuhan şehrinde ortaya çıkmıştır. Kısa bir süre içerisinde tüm dünyayı etkisi altına alan SARS-CoV-2 virüsü, bir koronavirüs (CoV) çeşididir [1]. Nefes darlığı, ateş, kas ağrıları, tat ve koku kaybı gibi belirtileri olan koronavirüs, bulaştığı kişinin bağışıklık sistemi ve kronik hastalıklarına göre farklı şekillerde tedavi edilmektedir [2]. Kimi hastalar evde tedavi ile süreci tamamlarken kimi hastalar ise hastaneye yatışı gerçekleştirilerek tedavi altına alınmaktadır. Bu durumdan dolayı hastanelerde oluşacak talep artışı, sağlık çalışanlarının iş gücü planlamasını daha da önemli kılmaktadır. Dengeli bir iş gücü planlaması için oluşturulan vardiya çizelgesi koronavirüs pandemisinin olağanüstü bir olay olmasından kaynaklı kuruluşların hazırlıksız yakalanması veya talebi karşılayacak personelin bulunamaması gibi nedenlerden dolayı karmaşık bir problem haline gelmiştir.

Vardiya çizelgeleme; çalışanların uygun vardiyalara atanması, izin günlerinin belirlenmesi veya farklı iş gücü becerilerine sahip çalışanları farklı işlere atamak için yapılan çalışmadır. [3]. Bu çalışmada incelenen ve hizmet sektörü içerisinde yer alan sağlık kuruluşlarında da vardiya çizelgelemesine dikkat edilmelidir. Değişkenlik gösteren vardiya saatleri, çalışanların ardışık vardiyalarda çalışma durumu veya izin kullanımları hastaneden hastaneye değişebilmektedir. Aynı zamanda pandemi dönemi gibi olağandışı etkenlerin var olması, yoğun iş temposu, hastaları iyileştirme sorumluluğu vb. gibi nedenler sağlık çalışanlarını fiziksel ve ruhsal olarak yorabilmektedir. Bu sebeple insanlığı hayatta tutan sağlık sektörü çalışanları için minimum olumsuzluk ile oluşturulacak vardiya çizelgeleme, üzerinde durulması gereken bir problemidir. Oluşturulacak çizelge ile çalışanların oluşturduğu maliyet ile karşılanan talep ve verimlilik arasında bir denge kurulur. Literatürde, hayatın hemen hemen her alanında karşımıza çıkan vardiya çizelgeleme problemi için oldukça fazla çalışmaya rastlanmaktadır.

Vardiya çizelgeleme problemi öncülerinden olan Edie [4], gişelerde gerçekleşen trafik gecikmelerini ele aldığı makalesinde ücret gişesi operatörlerini programlarken vardiya çizelgeleme problemine değinmiştir. Edie' nin

yapmış olduğu çalışma sonrasında Dantzig [5], küme örtüleme yaklaşımı ile vardiya çizelgeleme problemlerine ilk tam sayı programlama modelini önermiştir. Çok sayıda araştırmacının önünü açan küme örtüleme fonksiyonun türevleri fazlaca tam sayılı değişken içerir. Bu nedenle problemin optimal sonuca ulaşması zorlaşmaktadır. Sağlık çalışanı olan hemşireler için ise Warner [6]; vardiya çizelgeleme problemini, çoktan seçmeli programlama problemi olarak ele almıştır. 8 saatlik vardiyalar için küme örtüleme yaklaşımını çözerek yöntem geliştiren ilk kişidir. Çalışmasında hemşire taleplerini dikkate alarak her beceri seviyesindeki hemşirelerin 4 veya 6 haftalık süreç için atamalarını gerçekleştirmiştir. Bard ve Purnomo [7] da hastanelerin hemşire ataması yaparken hemşirelerin tercihlerini ve oluşacak talepleri göz önünde bulunduran çok amaçlı bir problemi ele almıştır. Bu probleme farklı dönemlere göre uyarlanan en cazip programları içeren bir sezgisel yöntem ile kolon oluşturma prosedürü sunmuşlardır. Topaloğlu ve Selim [8], hemşire atama problemlerinin NP-zor bir problem olduğunu vurgulamış ve hemşire tercihlerinde iyileştirmeler yapabilmek için bulanık küme teorisi yaklaşımı ile çok amaçlı tam sayı programlama modelleri kullanmışlardır. Kullanılan modeli desteklemek amacı ile üç farklı bulanık hedef programlama modeli oluşturmuşlardır. COVID-19 pandemisi döneminde vardiya çizelgeleme ile ilgili pek fazla çalışmaya rastlanmasa da Güler ve Geçici [9], bu dönemde doktorların virüse maruz kalma süresini minimize eden karma tam sayılı programlama modeli önermiş ve bu modeli kullanan bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Modelin ana amacı virüse maruz kalma süresini minimize eden vardiya çizelgelemesi oluştururken mevcut iş yükünü koruyarak yeni açılan korona servislerindeki hizmeti sağlamaktır. Guerriero ve Guido [10] ise COVID-19 pandemisinde esnek personel çizelgelemesi problemi için bir çok amaçlı optimizasyon modeli önermişlerdir. Tasarlanan model çalışan memnuniyetini ve iş/yaşam dengesini COVID-19 pandemisinin getirdiği kısıtlamalarda en iyi şekilde korumayı amaçlamaktadır. [11]'de İtalyan ilaç dağıtım deposunda ortaya çıkan Covid-19 salgını bağlamında gerçek hayattaki bir personel planlama sorunu ele alınmaktadır. Çalışmanın amacı çalışanların sözleşmeye bağlı çalışma sürelerini karşılamaya çalışan bir çizelge belirlemektir.

Yapılan bu çalışmada, sağlık çalışanlarının çalışma koşullarını ve koronavirüse yakalanma olasılıklarını iyileştirmek amaçlanmıştır. Bu amaçla, korona servisi birimlerinin taşıma riskini minimize eden bir vardiya çizelgesi önerilmiştir. Problem için oluşturulan matematiksel model, tam sayılı doğrusal programlama modelidir. Matematiksel modelde kullanılacak olan korona servisi birimlerindeki ortalama hasta sayısı gibi verilerin bazıları gerçek zamanlı olarak elde edilememektedir ve bu sebeple belirsizlik altındadır. Belirsiz verilerin elde edilebilmesi için Arena Simülasyon programı ve taşıma riskini minimize eden matematiksel model için LINGO optimizasyon programı kullanılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Yapılan çalışmada ilk olarak Türkiye’de pandemi hastanelerinde çalışan ve Türkiye’nin farklı şehirlerinde ikamet eden 4 adet doktorla görüşme sağlanmıştır. Danışılan doktorların verdiği bilgiler yorumlanıp analiz edilerek çalışma için korona servisi birimlerine hizmet verebilen 10 düzenli kliniği ve 5 korona servisi birimi bulunan bir hastane senaryosu oluşturulmuştur. Oluşturulan bu hastanede 100 adet hemşire ve 70 adet doktor çalışmaktadır. Hastanedeki düzenli klinikler, pandemi süreci boyunca günlük rutin hizmetlerine devam etmektedir ancak bu kliniklerde çalışan doktor ve hemşireler düzenli olarak korona servisi birimlerine atanmaktadır. Ayrıca oluşturulan hastane senaryosunda düzenli klinikler bir vardiya olarak haftanın beş günü, korona servisi birimleri ise vardiyalı olarak çalışmaktadır.

Çalışmada çözüm getirilmeye çalışılan problem yukarıdaki koşullarda hizmet veren bir hastanede, her bir korona servisi biriminin virüs taşıma riskini, o birimlerde çalışan sağlık personeline bağlı olarak en aza indirmektir.

### 2.1. Simülasyon

#### 2.1.1. Modelin amacı ve modelde kullanılan veriler

Oluşturulan simülasyon modelinin çözüme kavuşturulması için “Arena Simülasyon” programının 16.1 versiyonu kullanılmıştır. Simülasyon modelinin girdi parametreleri hasta giriş sıklığı ve her birime ait işlem süreleridir.

Problem çözüm aşamalarından ilki olan simülasyon ile elde edilmesi beklenen çıktılar; her bir birim ve her bir vardiya için ortalama hasta sayısı ve ortalama kuyrukta bekleme süresidir. Bu veriler, modelin çıktısında gündüz ve gece vardiyaları için ayrı ayrı ortalama değerler olarak hesaplanmıştır. Modelde bulunan gündüz ve gece vardiyalarına ait hasta gelme sıklığı ve her bir birime ait işlem süreleri verileri ise Arena Simülasyon yazılımının “Girdi Analizi” eklentisi ile analiz edilmiş ve normal dağılım ile belirlenmiştir. Simülasyon 14 gün için uzun tek bir replikasyon çalıştırılmıştır. Oluşturulan simülasyon modeline ait akış Şekil 1’de gösterilmektedir.

#### 2.1.2. Modelin varsayımları

- Modelde varlıkların sisteme geliş sıklıkları ve birimlerdeki işlem süreleri pandemi nedeniyle gerçek zamanlı olarak elde edilememiştir. Bu sebeple COVID-19 biriminde görevli 4 farklı doktordan elde edilen tahmini veriler kullanılarak girdi analizi sağlanmıştır.

- Modelde sisteme giriş sağlayan varlıkların her birinin farklı bir birim tarafından COVID-19 birimine yönlendirildiği varsayılmıştır.

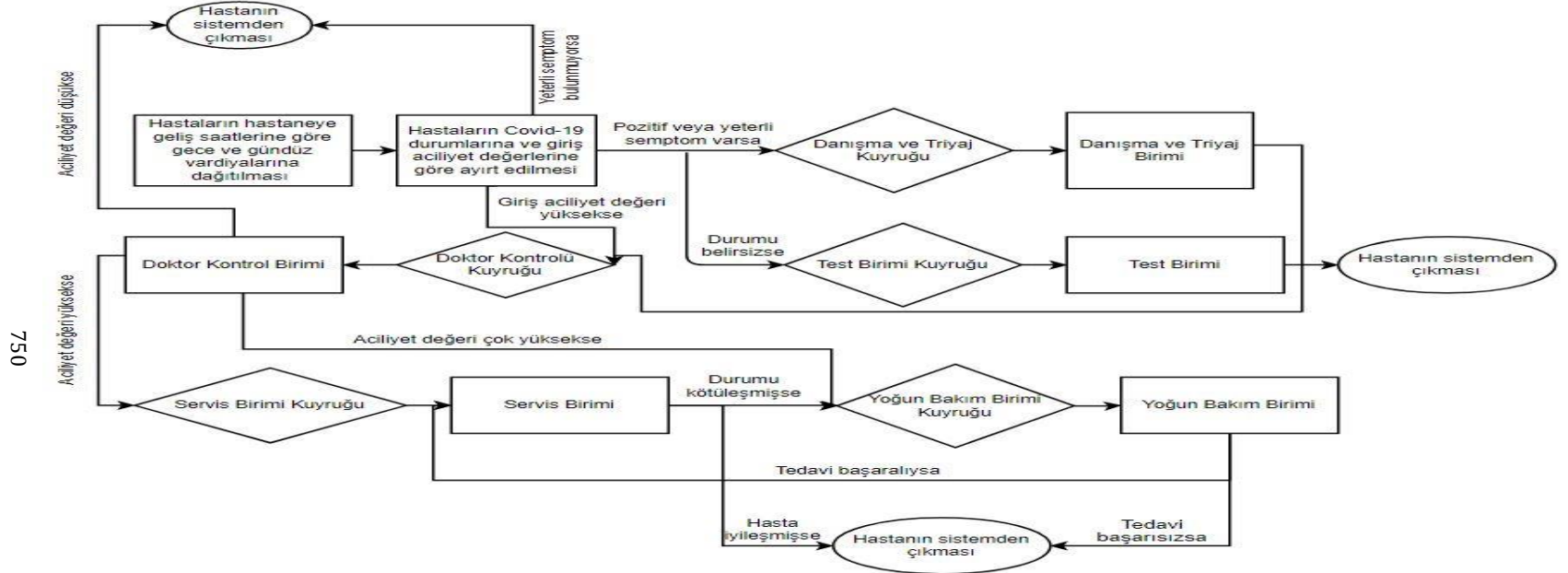
- Hastaların birimlerde geçirdikleri süreler COVID-19 biriminde görevli 4 farklı doktordan elde edilen veriler üzerinde girdi analizi yapılarak elde edilmiştir.

- Her bir gün 12’şer saatlik iki vardiyadan oluşmaktadır.

- Her bir birimin belirli bir kuyrukta bekleyen ve aktif hasta kapasitesi bulunmaktadır. Birimlere kapasiteleri üzerinde hasta gelmesi durumunda kapasiteyi aşan hastaların farklı hastanelere yönlendirildikleri varsayılmıştır.

#### 2.1.3. Simülasyonda modellenecek akış

Üzerinde çalışılan problemde iki farklı vardiya bulunmaktadır. Simülasyon modeli aracılığıyla yaratılan varlıklar sisteme geliş zamanlarına göre gündüz ve gece vardiyalarına ayrıştırılmıştır. Buradaki temel amaç gündüz ve gece vardiyalarında hasta geliş sıklıkları değişeceği için birimlerin toplam hasta sayısı ve kuyrukta ortalama bekleme süresi gibi verilerin doğru şekilde elde edilmesidir.



Şekil 1. Simülasyon modeline ait akış (Flow for the simulation model)

Sisteme girişi gerçekleşen her hastanın bir pozitiflik durumu, sahip olduğu semptom sayısı, hasta giriş aciliyeti ve giriş aciliyet değeri nitelikleri bulunmaktadır. Bu nitelikler aracılığı ile sistemde bulunan varlıklar yani hastalar doğru şekilde yönlendirilmektedir.

Modelin başlangıcında, sisteme giriş sağlayan hastaların COVID-19 pozitiflik durumu kontrol edilmektedir. Hasta eğer ki pozitif ise danışma ve triyaj birimine yönlendirilerek süreç yürütülür. Eğer hastanın COVID-19 pozitiflik durumu belirsiz ise bu durumda öncelikle hastanın sahip olduğu giriş aciliyetine bakılır. Hastanın giriş aciliyeti yüksek ise hasta direkt olarak doktor kontrol birimine yönlendirilir. Eğer ki hastanın giriş aciliyeti normal ise bu durumda hastanın semptomlarına bakılır. Hasta en az bir adet semptomu sahipse ilgili hasta test birimine yönlendirilir ve COVID-19 testi yapılır. Test biriminden sonra hastalar sistemden çıkış yapar. Bunun nedeni hastanelerde COVID-19 testinin sonuçlanması için geçen sürede tüm hastaların evlerine yönlendirilmesidir, ayrıca bu şekilde hastanın pozitif olma durumunda test yaptırdığı hastanede tedavi olmama ihtimali de simülasyona yansıtılmış olur. Hastanın yeterli semptomu sahip olmadığı durumda ise hastanın sistemden çıkışı sağlanır.

Doktor kontrol birimindeki süreç sayesinde her hastanın bir aciliyet değeri oluşur. Doktor kontrolü sağlandıktan sonra hastanın aciliyet değeri düşük ise sistemden çıkışı sağlanır. Eğer hastanın aciliyet değeri yüksek ise hasta servis birimine yönlendirilir ve son olarak eğer hastanın aciliyet değeri çok yüksek ise hasta, direkt olarak yoğun bakım birimine yönlendirilir. Servis birimine tedavi için yönlendirilen her hastanın bir durum değeri oluşur ve bu durum değeri doğrultusunda hastanın izleyeceği süreç şekillenir. Servis birimine yönlendirilen her hastanın durum değeri başlangıçta kötüdür. Servis sürecinde durumu iyiye giden hastaların iyileşmeleri sonrasında sistemden çıkışları sağlanır. Ancak servis biriminde durumu kötüye giden hastalar da bulunacaktır ve bu hastalar durumları kötüye gittiğinde yoğun bakım birimine yönlendirileceklerdir. Yoğun bakım biriminde tedavi gören hastaların tedavilerinin başarısız olması durumunda sistemden çıkışları sağlanacaktır. Tedavisi başarılı olan hastalar ise son adım olarak tekrardan servis birimine

döneceklerdir. Servis biriminde son kontrolleri sağlanan hastalar taburcu edilecektir.

#### 2.1.4. Simülasyon modeline ait çıktılar ve yorumlanması

Arena Simülasyonunda modelin çalıştırılması ile elde edilmesi beklenen 2 farklı sayaç vardır. Bunlardan ilki olan 'c' sayaçları, simülasyon modeline ait ilgili noktalardaki varlık sayısını ifade etmektedir. 't' sayaçları ise simülasyon modeline ait ilgili süreleri ifade etmektedir. Bu çalışmada oluşturulan 'c' ve 't' sayaçları ile açıklamaları Tablo 1' de gösterilmektedir.

**Tablo 1. 'c' sayaçları, 't' sayaçları ve açıklamaları**

c1	14 günlük gündüz vardiyasındaki toplam hasta sayısı
c2	14 günlük gece vardiyasındaki toplam hasta sayısı
c3	14 günlük gündüz vardiyasındaki testi reddedilen toplam hasta sayısı
c4	14 günlük gece vardiyasındaki testi reddedilen toplam hasta sayısı
c5	14 günlük gündüz vardiyasındaki test uygulanan toplam hasta sayısı
c6	14 günlük gece vardiyasındaki test uygulanan toplam hasta sayısı
c7	14 günlük gündüz vardiyasındaki danışma ve triyaj biriminde bulunan toplam hasta sayısı
c8	14 günlük gece vardiyasındaki danışma ve Triaaj biriminde bulunan toplam hasta sayısı
c9	14 günlük gündüz vardiyasındaki doktor kontrol biriminde bulunan toplam hasta sayısı
c10	14 günlük gece vardiyasındaki doktor kontrol biriminde bulunan toplam hasta sayısı
c11	14 günlük gündüz vardiyasında, durumu acil olmayıp doktor kontrol birimine gelen toplam
c12	14 günlük gece vardiyasında, durumu acil olmayıp doktor kontrol birimine gelen toplam
c13	14 günlük gündüz vardiyasındaki servis biriminde bulunan toplam hasta sayısı
c14	14 günlük gece vardiyasındaki servis biriminde bulunan toplam hasta sayısı
c15	14 günlük süreçte iyileşen toplam hasta sayısı
c16	14 günlük süreçte hayatını kaybeden toplam hasta sayısı
t1	14 günlük gündüz vardiyasında danışma ve triyaj biriminde ortalama kuyrukta bekleme
t2	14 günlük gece vardiyasında danışma ve triyaj biriminde ortalama kuyrukta bekleme süresi

t3	14 günlük gündüz vardiyasında test biriminde ortalama kuyrukta bekleme süresi	c11	123
		c12	44
t4	14 günlük gece vardiyasında test biriminde ortalama kuyrukta bekleme süresi	c13	97
		c14	216
t5	14 günlük gündüz vardiyasında doktor kontrol biriminde ortalama kuyrukta bekleme süresi	c15	101
		c16	109
t6	14 günlük gece vardiyasında doktor kontrol biriminde ortalama kuyrukta bekleme süresi		
t7	14 günlük süreçte servis biriminde ortalama kuyrukta bekleme süresi		
t8	14 günlük süreçte yoğun bakım biriminde ortalama kuyrukta bekleme süresi		

## 2.2. Matematiksel model

Bu çalışmada COVID-19 salgını döneminde, sağlık çalışanlarının korona servislerine gün bazında atamalarını yapan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Kurulan matematiksel modelin amacı bu atamayı yaparken her bir korona servisi biriminin virüs taşıma riskini azaltmaktır. Bu çalışmadaki matematiksel model, çeşitli kliniklerden korona servisine atamaların olduğu genel bir hastane senaryosu üzerine kurulmuştur. Modelin dinamik koşullara uyum sağlaması açısından her atama periyodunda verilerin de güncellenmesi gerekmektedir.

### 2.2.1. Matematiksel modelin varsayımları

- COVID-19 salgının başlangıcından beri hem Dünya Sağlık Örgütü (WHO), hem de T.C. Sağlık Bakanlığı'nın da açıkladığı üzere, virüsün bir insandan başka bir insana bulaşmasındaki en önemli faktörler hijyen ve mesafedir. Bir hastanede pandemi öncesinde bile sterilizasyon dikkat edilen çok önemli bir koşul olduğundan, modelin minimize etmeye çalıştığı risk mesafe üzerine yoğunlaşmaktadır. Danışman doktorlarla gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, bir korona servisi biriminin risk değerini etkileyen faktörler:

- Korona servisi biriminin alanı
- Korona servisi birimindeki hasta sayısı
- Korona servisi biriminin kuyruğunda geçen ortalama süre
- Korona servisi biriminde çalışan sağlık görevlisinin düzenli çalıştığı kliniğinin risk değeri
- Korona servisi biriminin risk faktörü
- Korona servisi biriminde çalışan sağlık görevlisinin, o birimde çalıştığı gün sayısı
- Virüsün bulaşma katsayısı olarak belirlenmiştir.
  - Çalışma süresince danışılan doktorlardan alınan bilgilere dayanarak, bir korona servisi biriminde her 10 hasta başına 1 doktor; her 8 hasta başına 1 hemşire bulunmaktadır.
  - Hastalara daha yoğun tedavi verilen muayene, yoğun bakım ve normal yataklı oda birimlerinde daha nitelikli görevlilerin çalışması adına doktor

Elde edilen ortalama kuyrukta bekleme süresi değerleri; danışma ve triyaj birimi, test birimi ve doktor kontrol birimi için olması gerekenin yarı değeri olarak bulunmuştur. Bunun sebebi ise ilgili birimlerin ortalama kuyrukta bekleme süreleri hesaplanırken replikasyon süresinin tamamına göre hesaplanmış olmasıdır. Gerçek duruma bakıldığında ise danışma ve triyaj, test ve doktor kontrol birimleri vardiyalara göre ayrılarak oluşturulmuştur. Bu değerler matematiksel modele aktarımı 2 ile çarpılarak gerçekleştirilecektir. Hesaplanan sayaç değerleri, oluşturulan modelin çıktıları niteliğindedir. Bu çıktılar oluşturulacak olan matematiksel modelde veri olarak kullanılacaktır.

**Tablo 2.** 't' ve 'c' sayaçları ve değerleri

Sayaç	Değer
t1	0,0673
t2	0,0672
t3	0,0674
t4	0,0669
t5	0,0527
t6	0,04
t7	20,355
t8	7,8203
c1	1336
c2	772
c3	284
c4	170
c5	805
c6	394
c7	1000
c8	516
c9	247
c10	208

atamaları sadece bu birimlerde olmaktadır. Bu nedenle danışma-triyaj ve test birimlerinde doktorlar görev almamaktadır. Bu iki birimde sadece hemşireler çalışmaktadır.

- Normal kliniklerdeki hastaların da hizmet alması gereklidir. Bu nedenle bir normal klinikteki sağlık çalışanlarının hepsi korona servisine atanamaz. Normal klinikte bulunması gereken doktor sayısı, korona servisinin yoğunluğuna veya hastanenin kendi kapasitesine göre değişmektedir.
- Korona birimleri haftanın her günü 2 vardiya olarak çalışmaktadır ancak normal klinikler bilindiği üzere haftanın 5 günü tek vardiya çalışırlar.
- Bir normal klinik görevlisi, kendi düzenli kliniğinden başka bir normal klinikte çalışmaz ancak bu kısıt hemşireler için nadiren de olsa esnetilebilir. Pandemi şartları hastaneleri çok zorladığından, bir hemşire olağandışı bir durumda nadiren de olsa başka bir klinikte çalışabilir. Doktorlar için bu durum söz konusu değildir ve doktorlar sadece kendi düzenli kliniğinde çalışırlar.
- Bir sağlık çalışanı gün içerisinde yalnızca bir vardiyaya atanabilir.
- COVID-19 virüsü için kritik süre 14 gün olduğundan, modelin atama ufku da 14 gündür.
- Veriler 14 günlük periyotlarla değiştirilerek model sürdürülebilir kılınabilir.

### 2.2.2. Matematiksel modelin verileri

Bu bölümde modelde kullanılan veriler açıklamaları ile verilmiştir.

#### 2.2.2.1. Simülasyon modelinden elde edilen veriler

Korona servisi biriminin kuyruğunda geçen ortalama süre ve korona servisi birimindeki hasta sayısı verileri gün içerisinde saatlik olarak bile değişebildiğinden, bu veriler için her zaman kesin ve net sayılar verilememektedir. Bu nedenle bu iki veri için bir belirsizlik söz konusudur denilebilir. Bilindiği üzere belirsizlik altında çalışılırken simülasyon teknikleri çok iyi sonuçlar vermektedir. Belirsizlik altında daha iyi sonuçlar elde etmek için bahsedilen bu iki veri oluşturulan simülasyon modeli ile belirlenmiştir. Danışman doktorlardan edinilen bilgilerle Arena programında bir korona servis birimi simüle edilmiştir ve bu simülasyon modelinde ihtiyaç duyulan veriler girdi analizi yapılarak

belirlenmiştir. Matematiksel modelde sadece kuyrukta geçen süre değil, birimde geçen toplam süre hesaplamaya dahil edilmektedir. Korona biriminde geçen ortalama sürenin etkisi, o korona servisi biriminin risk faktörü değeri belirlenirken göz önüne alınmıştır. O nedenle risk faktörünü denkleme eklediğimizde o birimde geçen ortalama sürenin etkisi denkleme dahil edilmiş olur. O birimin kuyruğunda geçen ortalama süre ise modele parametre olarak eklenince, aslında o birimde geçen ortalama sürenin etkisi modele yansıtılmış olacaktır.

**Tablo 3.** Korona servisi birimlerindeki ortalama hasta sayısı

Korona Servisi Birimi	Vardiya	Ortalama Hasta Sayısı
Danışma-Triyaj Birimi	Sabah	70
Danışma-Triyaj Birimi	Akşam	38
Test Birimi	Sabah	56
Test Birimi	Akşam	29
Doktor Kontrol Birimi	Sabah	22
Doktor Kontrol Birimi	Akşam	15
Servis Birimi	Sabah	80
Servis Birimi	Akşam	80
Yoğun Bakım Birimi	Sabah	50
Yoğun Bakım Birimi	Akşam	50

Tablo 3'te görüldüğü üzere hasta sayısı verileri oluşturulan simülasyon modelinden elde edilen "c" değerleri 14 günlük süreç için ortalama alınarak bulunmuştur ancak servis ve yoğun bakım birimlerinin hasta sayıları bu birimlerin kapasitelerine eşit olacak şekilde belirlenmiştir. Bunun sebebi ise ilgili birimlerin pandemi döneminde çok yoğun şekilde hasta barındırması ve dolayısıyla yüksek kapasitelerde çalışmasıdır. Modelin gerçeğe en yakın şekilde oluşturulabilmesi için bu iki birimin tam kapasite ile çalıştığı düşünülmüştür.

#### 2.2.2.2. Korona servisi birimlerinin alanları

Türkiye'de korona servisi birimlerinin alan bilgileri hastanelere göre değişir. Bu çalışmadaki modelde danışman doktorlardan alınan yaklaşık alan verilerinin ortalaması alınarak genel bir hastane modeli oluşturulmuştur.

**Tablo 4.** Korona servisi birimlerinin alanları

Korona Servisi Birimi	Alan (m <sup>2</sup> )
Danışma-Triyaj	80
Test	100
Muayene	120
Normal Oda	450
Yoğun Bakım Ünitesi	300

### 2.2.2.3. Koronavirüsün bulaştırma katsayısı

Virüsün bulaştırma katsayısı, Türkiye için T.C. Sağlık Bakanı Dr. Fahrettin KOCA tarafından 13/05/2020 tarihli basın açıklamasında 1,56 olarak belirtilmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ise bu değer tüm dünya genelinde 2 ila 2,5 arasında değiştiğini açıklamıştır [12]. Bu değer ne kadar yüksekse, virüsün yayılması da o kadar artacaktır. Bu çalışma Türkiye özelinde yapıldığı için virüsün bulaştırma katsayısı olarak T.C. Sağlık Bakanlığı tarafından Türkiye için belirlenen değer olan 1,56 kullanılmıştır.

### 2.2.2.4. Korona servisi birimlerinin ve normal kliniklerin risk faktörü değerleri

Virüsün bulaştırma katsayısı, virüsün bulaşma potansiyelini gösterirken çalışmada bahsi geçen risk faktörü ise o birim veya klinikte çalışan sağlık görevlisinin virüse yakalanma olasılığıdır. Bu risk faktörü değerleri belirlenirken 4 danışman doktorun kendi hastanelerindeki kliniklerde kaç doktorun virüse yakalandığı bilgisi alınmış ve her klinik ve korona servisi için ortalama bir risk faktörü oluşturulmuştur. İlgili değerler Tablo 5 ve Tablo 6'da gösterilmektedir.

**Tablo 5.** Korona servisi birimlerinin risk faktörleri

Korona Servisi Birimi	Vardiya	Risk Faktörü (10 üzerinden)	Virüse Yakalanma Olasılığı
Danışma ve Triyaj Test Birimi	Sabah	5	50%
Doktor Kontrol Servis	Sabah	8,5	85%
Yoğun Bakım	Sabah	7	70%
Danışma ve Triyaj	Sabah	7,5	75%
Test Birimi	Sabah	6,6	66%
Doktor Kontrol Servis	Akşam	5,5	55%
Yoğun Bakım	Akşam	6	60%
Danışma ve Triyaj	Akşam	7,6	76%
Test Birimi	Akşam	7	70%
Doktor Kontrol Servis	Akşam	8,2	82%

**Tablo 6.** Kliniklerin risk faktörleri

Klinikler	Risk Faktörü (10 üzerinden)	Virüse Yakalanma Olasılığı
Anesteziyoloji ve Reanimasyon	5,45	55%
Beyin ve Sinir Cerrahisi	2	20%
Çocuk Hastalıkları Enfeksiyon Hastalıkları ve Klinik Mikrobiyolojisi	2,5	25%
Genel Cerrahi	6	60%
Göğüs Hastalıkları	3	30%
Dahiliye	4,5	45%
Kardiyoloji	5	50%
	3	30%

Kulak Burun Boğaz Hastalıkları	5,5	55%
Nöroloji	2,5	25%

Bir korona servisinde danışma-triyaj birimi, test birimi, doktor kontrol birimi, servis birimi ve yoğun bakım ünitesi olmak üzere toplamda 5 birim vardır. Çalışmada göz önünde bulundurulmuş normal klinikler ise COVID-19 virüsü açısından daha önemli olan; Anesteziyoloji ve Reanimasyon, Beyin ve Sinir Cerrahisi, Çocuk Hastalıkları, Enfeksiyon Hastalıkları ve Klinik Mikrobiyoloji, Genel Cerrahi, Göğüs Hastalıkları, Dahiliye, Kardiyoloji, Kulak Burun Boğaz Hastalıkları ve Nöroloji klinikleridir.

### 2.2.2.5. Sağlık çalışanlarının 14 günlük vardiya verileri

Oluşturulan matematiksel modelde, sağlık çalışanlarının riskini ilgili korona servisi biriminin risk değerine yansıtılabilmek için sağlık çalışanlarının son 14 gün içerisinde çalıştığı klinik, çalıştığı korona servisi birimi ve bu birimlerde ne kadar süre çalıştıklarını özetleyen bir geçmiş vardiya çizelgesine ihtiyaç vardır. Danışman doktorların verdiği bilgilere göre, hastanelerin pandemi döneminde vardiya verilerini paylaşmasının hukuki ve etik sonuçları olmaktadır. Bu nedenle hastaneler vardiya verilerini paylaşmayı tercih etmemektedir.

Hastanelerden gerçek verilere ulaşamadığından bu çalışma için 100 hemşire ve 70 doktordan oluşan genel bir vardiya servisi oluşturulmuştur. Bir sonraki atama periyodu için, sağlık çalışanının korona servisi vardiya bilgileri, bir önceki periyotta çalıştırılan modelin optimum sonucu olmaktadır. Yani model her çalıştırıldığında bu vardiya verileri modelin bir önceki sonucuna göre değişmektedir. Modelin karar verdiği korona servisi birimlerinde çalışılan günlerin haricinde, sağlık çalışanı izinlidir veya kendi kliniğinde çalışmaktadır. Eğer sağlık çalışanı 14 gün içerisinde izin kullandıysa, klinikte çalıştığı gün sayısı izinli olduğu gün sayısı kadar eksiltilmeli ve tabloya eklenmelidir ancak pandemi döneminde sağlık çalışanlarının izin alması çok sık rastlanılan bir durum değildir. Model bu şekilde kullanıldığında doktor ve hemşirelerin taşıdığı risk değerleri de her atama periyodunda değişecektir ve böylece problemin dinamikliği de modele yansıtılmış olacaktır.



### 2.2.3. Matematiksel modelin gösterimi

#### 2.2.3.1 Matematiksel modelin indisleri

$i$  = korona servisi birimlerini belirten indis

$l$  = klinikleri belirten indis

$k$  = hemşireleri belirten indis

$j$  = doktorları belirten indis

$g$  = günleri belirten indis

$v$  = vardiyaları belirten indis

#### 2.2.3.2 Matematiksel modelin parametreleri

$QT_{iv}$  =  $v$  vardiyasında  $i$  korona servisi biriminin kuyruğunda gün cinsinden geçen ortalama süre

$A_i$  =  $i$  korona servisi biriminin metrekare cinsinden alanı

$RO$  = COVID-19 virüsünün bulaşma katsayısı

$CD_{ijv}$  = Son 14 gün içerisinde  $j$  doktorunun  $i$  korona servisi biriminin  $v$  vardiyasında çalıştığı gün sayısı

$CH_{ikv}$  = Son 14 gün içerisinde  $k$  hemşiresinin  $i$  korona servisi biriminin  $v$  vardiyasında çalıştığı gün sayısı

$RD_j$  = Güncel atama periyodundan bir önceki periyoda göre  $j$  doktorunun risk değeri

$RH_k$  = Güncel atama periyodundan bir önceki periyoda göre  $k$  hemşiresinin risk değeri

$S_{iv}$  = Birim risk faktörüne bağlı olarak  $i$  korona servisi biriminin  $v$  vardiyasının kuyruğunda geçen ortalama bekleme süresinin, birimin risk değerine etkisi.

$DD_{jl}$  =  $j$  doktorunun  $l$  kliniğinde çalıştığı gün sayısı

$DH_{kl}$  =  $k$  hemşiresinin  $l$  kliniğinde çalıştığı gün sayısı

$VL_l$  =  $l$  kliniğinin risk faktörü

$VK_{iv}$  =  $i$  korona servisi biriminin  $v$  vardiyasındaki risk faktörü

$H_{i,v}$  =  $i$  korona servisi biriminin  $v$  vardiyasındaki hasta sayısı

$E_{j,l}$  = Eğer  $j$  doktoru  $l$  kliniğinde çalışıyorsa 1 değerini; aksi takdirde 0 değerini alır.

$F_{k,l}$  = Eğer  $k$  hemşiresi  $l$  kliniğinde çalışıyorsa 1 değerini; aksi takdirde 0 değerini alır.

### 2.2.3.3 Matematiksel modelin karar değişkenleri

$GRD_{i,j}$  =  $i$  korona servisine atanacak  $j$  doktorunun atamadan sonra alacağı risk değeri

$GRH_{i,k}$  =  $i$  korona servisine atanacak  $k$  hemşiresinin atamadan sonra alacağı risk değeri

$W_{i,j,v,g}$  = Eğer  $j$  doktoru  $g$  gününde  $i$  korona servisi biriminin  $v$  vardiyasına atanmışsa 1 değerini; aksi takdirde 0 değerini alır.

$B_{i,k,v,g}$  = Eğer  $k$  hemşiresi  $g$  gününde  $i$  korona servisi biriminin  $v$  vardiyasına atanmışsa 1 değerini; aksi takdirde 0 değerini alır.

$M_{i,j,v}$  =  $j$  doktorunun  $i$  korona servisinin  $v$  vardiyasında gün cinsinden çalıştığı süre

$N_{i,k,v}$  =  $k$  hemşiresinin  $i$  korona servisinin  $v$  vardiyasında gün cinsinden çalıştığı süre

$BRD_i$  =  $i$  korona servisi biriminin atamadan sonra alacağı risk değeri

### 2.2.3.4. Matematiksel modelin amaç fonksiyonu ve kısıtları

$$\text{Min } z = \sum_i BRD_i \quad (1)$$

Bu kısıtlar altında:

$$BRD_i = \sum_g \sum_j \sum_k \sum_v \frac{S_{iv} \cdot (GRD_{ij} + GRH_{ik} + RD_j \cdot W_{ijvg} + RH_k \cdot B_{ikvg}) + RO}{A_i \cdot 100} \cdot V_i \quad (2)$$

$$RD_j = \sum_l \sum_i \sum_v VL_l \cdot DD_{jl} + VK_{iv} \cdot CD_{ijv} \quad V_j \quad (3)$$

$$RH_k = \sum_l \sum_i \sum_v VL_l \cdot DH_{kl} + VK_{iv} \cdot CH_{ikv} \quad V_k \quad (4)$$

$$GRD_{ij} = \sum_v VK_{iv} \cdot M_{ijv} \quad V_{j,i} \quad (5)$$

$$GRH_{ik} = \sum_v VK_{iv} \cdot N_{ikv} \quad V_{k,i} \quad (6)$$

$$\sum_j W_{ijvg} \geq \frac{H_{iv}}{10} \quad V_{i,v,g} \quad (7)$$

$$\sum_k B_{ikvg} \geq \frac{H_{iv}}{8} \quad V_{i,v,g} \quad (8)$$

$$W_{1jvg} = 0 \quad V_{j,v,g} \quad (9)$$

$$W_{2jvg} = 0 \quad V_{j,v,g} \quad (10)$$

$$\sum_i \sum_j W_{ijvg} \cdot E_{jl} \leq 3 \quad V_{l,g,v} \quad (11)$$

$$\sum_i \sum_k B_{ikvg} \cdot F_{kl} \leq 6 \quad V_{l,g,v} \quad (12)$$

$$\sum_v W_{ijvg} \leq 1 \quad V_{j,g,i} \quad (13)$$

$$\sum_i W_{ijvg} \leq 1 \quad V_{j,g,v} \quad (14)$$

$$\sum_v B_{ikvg} \leq 1 \quad V_{k,g,i} \quad (15)$$

$$\sum_i B_{ikvg} \leq 1 \quad V_{k,g,v} \quad (16)$$

$$\sum_g W_{ijvg} = M_{ijv} \quad V_{i,j,v} \quad (17)$$

$$\sum_g B_{ikvg} = N_{ikv} \quad V_{i,k,v} \quad (18)$$

$$\sum_g \sum_i \sum_v W_{ijvg} \leq 10 \quad V_j \quad (19)$$

$$\sum_g \sum_i \sum_v B_{ikvg} \leq 10 \quad V_k \quad (20)$$

$$S_{iv} = QT_{iv} \cdot VK_{iv} \quad V_{i,v} \quad (21)$$

$$W_{ijvg} \in \{0,1\} \quad (22)$$

$$B_{ikvg} \in \{0,1\} \quad (23)$$

Denklem (1) amaç fonksiyonunu göstermektedir. Amaç fonksiyonu her bir korona servisi biriminin risk değerini minimize etmektedir. Bir korona servisi biriminin risk değeri, o korona servisi biriminde çalışan sağlık çalışanının koronavirüse yakalanma durumuyla ilişkilidir. Denklem (2) her bir korona servisi biriminin atamalar gerçekleştiikten sonra alacağı risk değerini hesaplamaktadır ve bu değer, amaç fonksiyonunda minimize edilmek istenmektedir. Bir korona servisi biriminin kuyruğunda geçen ortalama süre amaç fonksiyonunu o birimin risk faktörüne göre etkilemektedir çünkü korona servisi birimlerin risk faktörleri birbirinden farklıdır. Başka bir deyişle risk faktörü düşük olan bir korona servisi biriminde geçen on dakika ile risk faktörü yüksek olan bir korona servisi biriminde geçen 10 dakika eşdeğer olmamalıdır. Bu nedenle bir korona servisi biriminin risk değeri hesaplanırken, o korona servisi biriminin kuyruğunda geçen ortalama süre birimin risk faktörüne bağlı olarak göz önüne alınmalıdır.

Bir sağlık çalışanının güncel periyottan bir önceki 14 günde almış olduğu geçmiş risk değeri, sadece ilgili birime atandığı durumlarda bir korona servisi biriminin risk değerini etkilemelidir. Bu nedenle bir korona servisi biriminin risk değeri hesaplanırken, geçmiş risk değeri ve atama değişkeni çarpılmalıdır. Bir korona servisi biriminin risk değerini etkileyen faktörler arasında, o birimde bulunan hasta sayısı da vardır ancak bu parametre formülasyona doğrudan eklenmemiştir çünkü sağlık görevlileri korona servisi birimlerine atanırken hasta sayıları göz önüne alınmaktadır. Sağlık görevlileri hasta sayısına bağlı olarak çizelgelendiğinden, modelin yaptığı atamalardan sonra alacakları risk değerleri de buna bağlı olarak değişmektedir. Böylece korona servisi birimindeki hasta sayısı amaç fonksiyonunu etkilemektedir. Bu faktörler göz önüne alındığında bir korona servisi biriminin risk değerinin birimi saat.gün/m<sup>2</sup> olmaktadır. Başka bir deyişle bu değer, belirli alana ve risk faktörüne sahip bir korona servisi biriminde ne kadar süre bulunulduğudur.

Denklem (3) ve Denklem (4) her sağlık çalışanı için, atamalardan önceki risk değerini hesaplamaktadır. Bu değer bir sağlık çalışanının

atamadan önceki son 14 günde çalıştığı klinik, korona servisi birimi ve bu hastane birimlerinde çalıştığı gün sayısı ile ilgilidir. Denklem (5) ve Denklem (6) her bir sağlık çalışanının atamalardan sonra alacağı risk değerlerini hesaplamaktadır. Bu değer, amaç fonksiyonunu doğrudan etkileyen bir değerdir ve model için oldukça önemlidir çünkü optimum sonuç bu değerle ilişkilidir. Bir sağlık çalışanının atamalardan sonra alacağı risk değeri o sağlık çalışanının atanacağı korona servisi biriminin risk faktörü ve burada çalışacağı gün sayısının çarpımıyla hesaplanır. Sağlık çalışanının çalışacağı korona servisi birimi ve burada çalışacağı gün sayısına ise model karar vermektedir. Denklem (7) her 10 hasta başına en az 1 doktor atanması gerektiğini gösteren kısıttır. Denklem (8) ise her 8 hasta başına en az 1 hemşire atanması gerektiğini gösteren kısıttır. Denklem (9) ve Denklem (10) danışma ve triyaj ile test birimlerine doktor atanmayacağını gösterir. Denklem (11) her bir normal klinikten en fazla 3 adet doktorun atanabileceğini gösterirken Denklem (12) her bir normal klinikten en fazla 6 adet hemşirenin atanabileceğini gösterir. Bu iki kısıtın amacı normal kliniklere muayene olmaya gelen hastaların da gerekli servisi almasıdır ve her hastanenin stratejisine göre kısıtın sağ taraf değeri değiştirilebilir. Denklem (13) ve Denklem (15) bir sağlık çalışanının aynı gün içerisinde birden fazla vardiyaya atanamayacağını göstermektedir. Denklem (14) ve Denklem (16) ise bir sağlık çalışanının aynı gün ve aynı vardiyada birden fazla korona servisi birimine atanamayacağını gösterir. Denklem (17) ve Denklem (18) her bir sağlık çalışanının, hangi günde hangi korona servisi birimine atandığına bağlı olarak, sağlık çalışanının atandığı korona servisi biriminde çalıştığı toplam gün sayısını hesaplamaktadır. Denklem (19) ve Denklem (20) her bir sağlık çalışanının atandığı korona servisi biriminde en fazla 10 gün çalışabileceğini göstermektedir. Denklem (21) risk faktörüne bağlı olarak bir korona servisi biriminin kuyruğunda geçen ortalama sürenin, o birimin risk değerine olan etkisini hesaplamaktadır. Denklem (22) ve Denklem (23) binary (ikili) değişkenleri tanımlamaktadır.

### 3. Bulgular

Çalışma kapsamında oluşturulan matematiksel model 12.0 GB RAM'e ve 2.70-2.90 GHz hıza sahip bir bilgisayarda, LINGO optimizasyon programının 9.0 versiyonu kullanılarak

çözümüştür. Modelin sonucunda bulunan optimum sonuç 2469,19'dur. Bu değer korona servisi birimlerinin toplam risk değeridir. Modelin çözümü ise 19 dakika 36 saniyede tamamlanmıştır. Korona servisi birimleri arasında risk değerlerinin farklılık gösterme sebebi matematiksel modelde oluşturulan amaç fonksiyonu ile ilgilidir. Amaç fonksiyonunda bir korona servisi biriminin kuyruğunda geçen ortalama süre, hasta sayısına bağlı olarak o korona servisi birimine atanan sağlık personeli sayısı ve o birime atanan sağlık personellerinin risk değeri, ilgili korona servisi birimine ait alan ölçüsü, korona servis biriminin risk faktörü ve virüsün bulaşma katsayısının vardiya atamasına olumlu veya olumsuz etkisini yansıtmak için çarpım veya bölüm şeklinde eklenerek her bir birim için risk değeri oluşturulmasına karar verilmiştir. Bu parametre değerleri her bir korona servisi birimi için değişiklik göstermektedir ve parametrelerin belirli bir kısmı Arena simülasyonundan elde edilmiştir. Model, hedeflendiği üzere her korona servisi birimine yeterli sayıda doktor ve hemşire ataması gerçekleştirmiştir. Korona servisi birimlerine atama gerçekleşirken hangi doktor ve hemşirelerin atanacağı ise bir önceki 14 günlük vardiya bilgileri doğrultusunda belirlenmiştir. Model atama kararını verirken bir önceki 14 günlük vardiya bilgileri doğrultusunda risk değeri daha düşük olan sağlık personellerini atamaya öncelik vermiştir. Tablo 7 çalışma sonucunda her bir koronavirus biriminin aldığı risk değerlerini göstermektedir. Bir koronavirus biriminin risk değeri ne kadar yüksekse, o birimde virüse yakalanma olasılığı da o kadar yüksektir. Doktorlar ve hemşireler için elde edilen 14 günlük vardiya çizelgeleri Tablo 8 ve Tablo 9'da gösterilmektedir.

**Tablo 7.** Birim risk değerleri

Koronavirüs Birimi	Modelin Sonucu
Danışma ve Triyaj Birimi- BRD(1)	19,01442
Test Birimi- BRD(2)	19,84375
Doktor Kontrol Birimi- BRD(3)	12,07665
Servis Birimi- BRD(4)	1615,5
Yoğun Bakım Birimi- BRD(5)	802,7515

Tablo 8'de doktorlar için model sonuçları, Tablo9'da ise hemşireler için model sonuçları özetlenmiştir. Bu tablolarda her bir birim ve

vardiya için kaç sağlık çalışanının atandığı görülmektedir.

Örneğin Tablo 8'de görüldüğü üzere 1. Gün servis biriminin 2.vardiyasına 15., 40., 41., 50., 53., 66., 67., ve 68. doktorlar atanmıştır. Tabloda bütün gün, birim ve vardiyalar için bu şekilde okunarak her bir doktorun hangi gün hangi vardiyada ve nerede çalışması gerektiği görülebilir. Tablo 9 ise hemşireler için oluşturulmuştur. Tablodan da görüldüğü üzere hemşireler bütün korona servisi birimlerine atanmıştır ve her bir hemşire için çalışması gereken gün, vardiya ve birim açıkça görülmektedir. Örneğin, 6. günde test biriminin 2. vardiyasında 7., 55., 74. ve 75. hemşirelerin çalışması gerektiği okunabilir. Bu tablolar bir sonraki atama periyodunda, matematiksel modele veri olarak girilirse model sürdürülebilir kılınabilir.

### 3.1. Senaryo Analizi

Bu başlık altında 3 farklı senaryo oluşturulacak ve modelin farklı senaryolar karşısında elde ettiği sonuçlar değerlendirilecektir. Sağlık personellerinin korona servis birimlerinde çalışabilecekleri maksimum gün sayısı üzerinde değişiklikler yapılacaktır. Son olarak, analiz sonuçları baz alınarak korona servisi birimlerinin farklı senaryolar altında alacağı değerler kendi içerisinde karşılaştırılacaktır.

#### 3.1.1. Senaryo-1

İlk senaryoda matematiksel modele ait (19) numaralı denklem üzerinde değişiklik yapılmıştır. Bu kısıt daha önce de bahsedildiği üzere her bir doktorun korona servis birimlerinde toplamda çalışabileceği gün sayısını kısıtlamaktadır. Mevcut senaryoda kısıta ait sağ taraf değeri 12 olarak değiştirilmiştir. İlgili kısıt Senaryo-1 için aşağıdaki şekildedir.

$$\sum_g \sum_i \sum_v W_{ijvg} \leq 12 \quad \forall_j$$

Yenilenen kısıt ile doktorlar artık korona servis birimlerinde toplamda 12 gün çalışabileceklerdir.

**Tablo 8.** Doktorlar için vardiya çizelgesi (Shift schedule for the doctors)

Doktor Vardiya Çizelgesi	Gün 1		Gün 2		Gün 3		Gün 4		Gün 5		Gün 6		Gün 7	
	Vardiya-1	Vardiya-2	Vardiya-1	Vardiya-2	Vardiya-1	Vardiya-2	Vardiya-1	Vardiya-2	Vardiya-1	Vardiya-2	Vardiya-1	Vardiya-2	Vardiya-1	Vardiya-2
Danışma ve Triyaj Birimi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Test Birimi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Doktor Kontrol Birimi	D1-D2-D44	D51-D62	D2-D18-D62	D44-D51	D2-D18-D62	D51-D65	D2-D18-D44	D62-D65	D2-D44-D62	D51-D65	D2-D44-D62	D24-D51	D1-D44-D62	D51-D65
Servis Birimi	D15-D40-D41- D50-D53-D66- D67-D68	D10-D13-D16- D30-D34-D46- D60-D61	D15-D39-D40- D41-D46-D53- D66-D67	D13-D16-D32- D47-D48-D58- D61-D64	D39-D40-D41- D47-D50-D53- D67-D68	D10-D13-D32- D34-D43-D58- D60-D64	D39-D40-D41- D43-D48-D53- D66-D68	D10-D13-D32- D34-D46-D47- D58-D60	D15-D39-D40- D43-D50-D66- D67-D68	D13-D16-D30- D34-D46-D58- D61-D64	D15-D40-D41- D46-D53-D66- D67-D68	D10-D13-D16- D47-D48-D58- D60-D61	D15-D40-D41- D43-D46-D53- D66-D68	D10-D16-D30- D34-D48-D60- D61-D64
Yoğun Bakım Birimi	D11-D14-D17- D30-D52-D55	D3-D8-D31- D36-D54	D11-D17-D52- D55-D69	D1-D3-D8- D36-D70	D11-D14-D17- D55-D69	D3-D8-D12- D36-D54	D11-D14-D52- D55-D69	D3-D31-D36- D54-D70	D11-D14-D17- D52-D55	D3-D8-D12- D31-D70	D14-D17-D30- D52-D55	D3-D12-D31- D36-D70	D11-D17-D52- D55-D69	D8-D12-D31- D54-D70
	Gün 8		Gün 9		Gün 10		Gün 11		Gün 12		Gün 13		Gün 14	
	Vardiya-1	Vardiya-2	Vardiya-1	Vardiya-2	Vardiya-1	Vardiya-2	Vardiya-1	Vardiya-2	Vardiya-1	Vardiya-2	Vardiya-1	Vardiya-2	Vardiya-1	Vardiya-2
Danışma ve Triyaj Birimi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Test Birimi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Doktor Kontrol Birimi	D18-D51-D62	D24-D65	D1-D2-D18	D44-D51	D1-D2-D18	D44-D65	D18-D51-D62	D24-D65	D2-D18-D44	D51-D65	D1-D2-D18	D24-D65	D1-D18-D62	D44-D65
Servis Birimi	D39-D40-D43- D47-D48-D50- D66-D68	D10-D13-D30- D32-D34-D47- D58-D61-D64	D15-D39-D47- D48-D50-D53- D66-D67	D10-D16-D32- D34-D43-D58- D61-D64	D15-D39-D41- D46-D50-D53- D67-D68	D16-D32-D34- D43-D48-D60- D61-D64	D15-D39-D40- D41-D43-D48- D50-D67	D13-D16-D32- D34-D46-D58- D60-D64	D39-D40-D41- D47-D48-D50- D66-D68	D10-D13-D32- D43-D46-D58- D61-D64	D15-D39-D43- D47-D50-D53- D67-D68	D10-D16-D32- D34-D46-D60- D61-D64-D67	D15-D41-D47- D48-D50-D53- D66-D67	D10-D13-D16- D32-D46-D58- D60-D64
Yoğun Bakım Birimi	D11-D14-D17- D52-D69	D3-D12-D36- D54-D70	D11-D14-D30- D55-D69	D3-D8-D12- D31-D54	D12-D17-D30- D55-D69	D1-D8-D31- D36-D54	D12-D14-D55- D69-D70	D3-D8-D31- D36-D54	D14-D17-D52- D55-D69	D1-D12-D31- D54-D70	D11-D14-D30- D52-D70	D1-D3-D8- D31-D36	D11-D17-D30- D52-D69	D8-D12-D36- D54-D70

758

DEU FMD 24(72), 747-762, 2022

**Tablo 9.** Hemşireler için vardiya çizelgesi (Shift schedule for the nurses)

Hemşire Vardiya Çizelgesi	Gün 1		Gün 2		Gün 3		Gün 4		Gün 5		Gün 6		Gün 7	
	Vardiya-1	Vardiya-2	Vardiya-1	Vardiya-2	Vardiya-1	Vardiya-2	Vardiya-1	Vardiya-2	Vardiya-1	Vardiya-2	Vardiya-1	Vardiya-2	Vardiya-1	Vardiya-2
Danışma ve Triyaj Birimi	H9-H19-H38-H49-H53-H58-H68-H76-H88-H91	H10-H64-H66-H76-H87-H93	H1-H5-H19-H43-H49-H68-H91	H18-H64-H66-H70-H93	H1-H5-H9-H19-H43-H49-H53-H68-H88	H10-H18-H66-H70-H87	H1-H9-H38-H43-H58-H68-H76-H88-H91	H10-H64-H66-H87-H93	H1-H9-H19-H38-H43-H49-H53-H88-H91	H10-H18-H64-H66-H70-H87	H1-H5-H9-H43-H49-H53-H68-H76-H88	H10-H18-H70-H87-H93	H9-H19-H38-H49-H53-H68-H76-H88-H91	H18-H64-H70-H87-H93
Test Birimi	H2-H20-H37-H50-H62-H89-H92	H6-H7-H46-H55	H4-H20-H30-H37-H62-H75-H89	H6-H7-H15-H74	H4-H20-H30-H37-H50-H75-H92	H6-H46-H55-H74	H2-H20-H30-H37-H46-H50-H92	H6-H7-H55-H74	H2-H4-H20-H30-H37-H50-H92	H6-H15-H74-H75	H2-H30-H37-H46-H50-H89-H92	H7-H55-H74-H75	H4-H30-H37-H46-H50-H62-H92	H6-H7-H55-H75
Doktor Kontrolü Birimi	H34-H56-H71	H28-H39	H8-H56-H71	H28-H35	H34-H56-H71	H8-H35	H8-H56-H71	H28-H35	H34-H56-H71	H28-H36	H8-H34-H58	H28-H35	H56-H58-H71	H35-H39
Servis Birimi	H14-H32-H51-H54-H57-H77-H78-H80-H98-H99	H12-H21-H22-H29-H47-H61-H65-H79-H82-H96	H14-H17-H51-H57-H77-H78-H80-H95-H98-H99	H21-H22-H27-H29-H31-H47-H65-H82-H84-H94	H14-H17-H42-H54-H57-H78-H80-H95-H97-H99	H12-H21-H31-H47-H61-H65-H80-H97-H94-H96	H14-H17-H32-H42-H54-H57-H80-H97-H98-H99	H12-H22-H27-H29-H31-H47-H61-H65-H84-H94	H17-H42-H51-H57-H77-H78-H95-H97-H98-H99	H21-H22-H27-H31-H61-H79-H82-H94-H96	H17-H42-H51-H54-H57-H80-H95-H97-H98-H99	H12-H21-H22-H27-H29-H65-H79-H82-H94-H96	H14-H32-H42-H51-H54-H57-H77-H78-H80-H95	H12-H22-H27-H29-H47-H61-H82-H84-H94-H96
Yoğun Bakım Birimi	H23-H24-H25-H40-H67-H73-H83	H11-H15-H33-H48-H52-H69-H72	H23-H24-H25-H67-H85-H90-H100	H16-H33-H40-H28-H52-H72-H81	H24-H40-H67-H73-H83-H85-H100	H16-H33-H48-H52-H63-H69-H81	H23-H24-H25-H67-H83-H85-H100	H11-H16-H48-H52-H63-H69-H81	H24-H25-H67-H73-H83-H85-H90	H11-H16-H40-H48-H52-H72-H81	H23-H24-H25-H40-H73-H85-H90	H16-H33-H48-H63-H69-H72-H81	H23-H25-H67-H73-H85-H90-H100	H11-H16-H48-H52-H69-H72-H81
	Gün 8		Gün 9		Gün 10		Gün 11		Gün 12		Gün 13		Gün 14	
	Vardiya-1	Vardiya-2	Vardiya-1	Vardiya-2	Vardiya-1	Vardiya-2	Vardiya-1	Vardiya-2	Vardiya-1	Vardiya-2	Vardiya-1	Vardiya-2	Vardiya-1	Vardiya-2
Danışma ve Triyaj Birimi	H1-H5-H19-H38-H43-H53-H58-H68-H76	H10-H64-H66-H70-H93	H1-H5-H9-H38-H43-H53-H76-H88-H91	H18-H64-H66-H70-H87-H93	H5-H9-H38-H43-H49-H68-H76-H88-H91	H18-H64-H66-H70-H93	H1-H5-H19-H34-H38-H43-H49-H68-H76	H10-H18-H66-H70-H87	H5-H9-H19-H38-H49-H53-H58-H88-H91	H10-H18-H64-H66-H70	H1-H5-H19-H38-H49-H53-H68-H76-H91	H10-H64-H66-H87-H93	H1-H5-H9-H19-H43-H53-H58-H88-H91	H10-H18-H70-H87-H93
Test Birimi	H2-H4-H20-H50-H62-H89-H92	H15-H46-H55-H75	H2-H4-H20-H62-H75-H89-H92	H6-H7-H46-H55	H2-H4-H20-H30-H37-H62-H89	H7-H15-H55-H74	H2-H30-H37-H46-H50-H62-H89	H6-H7-H74-H75	H2-H4-H20-H30-H62-H89-H92	H6-H55-H74-H75	H4-H20-H50-H62-H75-H89-H92	H6-H7-H46-H74	H2-H4-H30-H37-H50-H62-H89	H7-H46-H55
Doktor Kontrolü Birimi	H34-H56-H71	H8-H28	H8-H34-H56	H35-H36	H8-H56-H58	H28-H35	H8-H58-H71	H35-H39	H8-H34-H56	H28-H39	H34-H58-H71	H28-H35	H8-H34-H71	H28-H35
Servis Birimi	H14-H32-H42-H51-H54-H77-H78-H95-H97-H99	H12-H21-H22-H27-H29-H65-H79-H82-H84-H96	H14-H17-H32-H42-H54-H77-H78-H95-H97-H98	H12-H21-H27-H31-H47-H61-H65-H79-H82-H84-H94	H14-H17-H32-H42-H54-H77-H95-H97-H98-H99	H21-H22-H31-H47-H61-H65-H79-H82-H84-H94	H14-H32-H51-H42-H54-H77-H80-H95-H97-H98	H12-H21-H27-H29-H31-H47-H61-H65-H82-H96	H14-H17-H32-H42-H51-H57-H80-H97-H98-H99	H12-H22-H29-H31-H47-H61-H77-H78-H80-H98	H17-H32-H42-H51-H54-H57-H77-H78-H80-H98	H12-H21-H27-H29-H31-H65-H79-H82-H84-H96	H17-H32-H51-H80-H95-H79-H82-H97-H98	H22-H27-H29-H31-H47-H61-H82-H84-H94-H96
Yoğun Bakım Birimi	H23-H24-H40-H67-H73-H85-H90	H11-H16-H33-H48-H63-H69-H81	H24-H40-H73-H83-H85-H90-H100	H15-H16-H33-H48-H52-H63-H72	H23-H25-H40-H83-H85-H90-H100	H11-H16-H52-H63-H69-H72-H81	H23-H24-H25-H67-H73-H83-H90	H11-H15-H16-H33-H48-H63-H69	H23-H24-H25-H40-H67-H83-H100	H11-H15-H33-H52-H63-H83-H85-H90-H100	H25-H40-H73-H83-H85-H72-H81	H11-H15-H33-H63-H69-H72-H81	H23-H40-H67-H73-H83-H90-H100	H11-H15-H33-H52-H63-H72-H81

759

DEU FMD 24(72), 747-762, 2022

Bu değişiklik sonucunda modelin optimum sonucu Tablo 10' daki gibi şekillenmiştir.

**Tablo 10.** Model ve Senaryo-1'in karşılaştırılması

Korona Birimi	Servisi	Modelin Sonucu	Senaryo-1'in Sonucu	Değişim
Danışma ve Triyaj Birimi- BRD(1)		19,0145	19,0145	0
Test Birimi- BRD(2)		19,8438	19,8438	0
Doktor Kontrol Birimi- BRD(3)		12,0766	11,7065	0,37018
Servis Birimi- BRD(4)		1615,5	1574,869	40,631
Yoğun Bakım Birimi- BRD(5)		802,7515	787,9641	14,7874
Toplam Risk Değeri		2469,1863	2413,3977	55,7886

Sonuçlar incelendiğinde, modelde yapılan değişiklikten sonra doktor atamalarının gerçekte olduğu doktor kontrol birimi, servis birimi ve yoğun bakım birimlerinin risk değerlerinde düşüş yaşandığı görülmüştür.

Bu senaryoda, bir doktor bir korona servisi biriminde artık 2 gün daha fazla çalışabilmektedir. Bu nedenle model atama kararını verirken, yüksek riskli bir doktoru korona servisi birimine atamak yerine, düşük risk değerine sahip bir doktoru 2 gün daha fazla çalıştırmayı tercih etmektedir. Dolayısıyla vardiya çizelgelerinde, modeldeki yüksek riskli doktorların sayısı azalmış; düşük risk değerine sahip doktor sayısı ise artmıştır ve birimlerin risk değeri de bu sebeple düşmüştür.

### 3.1.2. Senaryo-2

Oluşturulan ikinci senaryoda ise modelin (20) numaralı denklemi üzerinde değişiklik yapılmıştır. Bu kısıt her bir hemşirenin korona servis birimlerinde toplamda çalışabileceği gün sayısını kısıtlamaktadır. Senaryo-2 dahilinde bu kısıtın sağ taraf değeri 12 olarak değiştirilmiştir. İlgili kısıt Senaryo-2 için aşağıdaki şekilde yenilenmiştir.

$$\sum_g \sum_i \sum_v B_{ikvg} \leq 12 \quad \forall_k$$

Yenilenen kısıt ile hemşireler artık korona servis birimlerinde toplamda 12 gün çalışabileceklerdir. Bu değişiklik sonucunda modelin optimum sonucu Tablo 11' deki gibi şekillenmiştir.

**Tablo 11.** Model ve Senaryo-2' nin karşılaştırılması

Korona Servisi Birimi	Modelin Sonucu	Senaryo-2'nin Sonucu	Değişim
Danışma ve Triyaj Birimi- BRD(1)	19,01442	18,27962	0,7348
Test Birimi- BRD(2)	19,84375	19,31481	0,52894
Doktor Kontrol Birimi- BRD(3)	12,07665	11,84178	0,23487
Servis Birimi- BRD(4)	1615,5	1596,53	18,97
Yoğun Bakım Birimi- BRD(5)	802,7515	788,5338	14,2177
Toplam Risk Değeri	2469,186	2434,5	34,6863

Modeldeki değişiklikten sonra Senaryo-1'in aksine doktor atamalarının gerçekte olduğu doktor kontrol birimi, servis birimi ve yoğun bakım birimleri dışındaki diğer birimlerinde risk değerlerinde düşüş yaşandığı görülmüştür. Bunun sebebi ise bu senaryo kapsamında hemşirelerin değişiklik sürecine dahil edilmesidir. Bu senaryoda, her bir hemşire bir korona servisi biriminde artık 2 gün daha fazla çalışabilmektedir. Bu nedenle model atama kararını verirken, yüksek riskli bir hemşireyi korona servisi birimine atamak yerine, düşük risk değerine sahip bir hemşireyi 2 gün daha fazla çalıştırmayı tercih etmektedir. Dolayısıyla sonuç incelendiğinde vardiya çizelgelerinde, modeldeki yüksek riskli hemşirelerin sayısı azalmış; düşük risk değerine sahip hemşirelerin sayısı ise artmıştır.

### 3.1.3. Senaryo-3

Oluşturulan senaryoda (19) numaralı ve (20) numaralı denklemler üzerinde değişiklik yapılmıştır. Bu senaryo dahilinde artık hem doktorlar hem de hemşireler için çalışma günü kısıtı yenilenmiştir. İlgili kısıtlar Senaryo-3 için aşağıdaki gibi yenilenmiştir.

$$\sum_g \sum_i \sum_v W_{ijvg} \leq 12 \quad \forall_j$$

$$\sum_g \sum_i \sum_v B_{ikvg} \leq 12 \quad \forall_k$$

Modelde yapılan bu değişiklikten sonra Senaryo-1'in aksine doktor atamalarının gerçekte olduğu doktor kontrol birimi, servis birimi ve yoğunbakım birimleri dışındaki diğer birimlerin de risk değerlerinde düşüş yaşandığı görülmüştür.

**Tablo 12.** Model ve Senaryo-3'ün karşılaştırılması

Korona Birimi	Servisi	Modelin Sonucu	Senaryo-3'ün Sonucu	Değişim
Danışma ve Triyaj Birimi- BRD(1)		19,01442	18,27962	0,7348
Test Birimi- BRD(2)		19,84375	19,31481	0,52894
Doktor Birimi- BRD(3)	Kontrol	12,07665	11,4716	0,60505
Servis Birimi- BRD(4)		1615,5	1555,9	59,6
Yoğun Bakım Birimi- BRD(5)		802,7515	773,7463	29,0052
Toplam Risk Değeri		2469,1863	2378,7123	90,474

Her bir hemşire ile her bir doktor korona servisi biriminde toplamda 2 gün daha fazla çalışabildiği için birim risk değerlerinde düşüşler Senaryo-1 ve Senaryo-2'ye kıyasla daha yüksek olmuştur. Bunun sebebi ise model atama kararını verirken, yüksek riskli bir hemşireyi veya doktoru korona servisi birimine atamak yerine, düşük risk değerine sahip bir hemşireyi veya doktoru 2 gün daha fazla çalıştırmayı tercih etmesidir. Dolayısıyla sonuç incelendiğinde vardiya çizelgelerinde, göreceli olarak modeldeki yüksek riskli sağlık çalışanlarının sayısı azalmış; düşük risk değerine sahip sağlık çalışanlarının sayısı ise artmıştır ve birimlerin risk değeri de düşüş göstermiştir.

### 3.1.4. Senaryo analizi değerlendirmeleri

Oluşturulan 3 farklı senaryo ile modele ait sonuçlar karşılaştırılmıştır ve aradaki değişim gözlemlenmiştir. Oluşturulan senaryolar analiz edildiğinde sağlık çalışanlarının korona servisi birimlerinde çalışabileceği toplam gün sayısı arttırılarak modelden elde edilen risk değerlerini iyileştirilebileceği sonucuna varılmıştır.

### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, COVID-19 pandemisi şartları altında çalışan hastanelerde sağlık çalışanlarının ve korona servis birimlerinin risk değerlerini en küçükmeyi amaçlayan bir vardiya çizelgeleme problemi ele alınmıştır.

Oluşturulan simülasyon modeli ile matematiksel modelde kullanılmak üzere veriler elde edilmiştir. Bu verilerin matematiksel modele

girişi sağlanarak, hedeflenen vardiya atamasının yapılması mümkün olmuştur. Matematiksel modelin sonucunda her bir sağlık çalışanının hangi gün, hangi korona servisi biriminde ve hangi vardiyada çalışması gerektiği bilgilerine ulaşılmıştır. Gerçekleşen vardiya atamaları, her bir sağlık çalışanının geçmiş 14 güne ait vardiya bilgilerini baz alacak şekilde yapılmıştır. Bu sayede modelin sürdürülebilir kılınması mümkün hale gelmiştir. İlerleyen periyotlarda, modelin veriler kısmında geçmiş 14 güne ait vardiya bilgileri değiştirilerek ve o günün şartlarına göre parametreler güncellenerek doğru bir vardiya ataması sağlanabilir.

Çalışmanın son aşamasında gerçekleştirilen senaryo analizi ile matematiksel modelin sonucu iyileştirilmeye çalışılmıştır. Model, 3 farklı senaryo altında çalıştırılmış ve modelin iyileştirilmesine yönelik öneriler belirtilmiştir. Literatürde çok fazla benzeri bulunmayan bu konu için belirli kısıtlar altında bir çözüm üretilmiştir ve konuya farklı bir bakış açısı getirilmiştir.

### Kaynakça

- [1] Wikipedia. Covid-19 pandemisi. [https://tr.wikipedia.org/wiki/COVID-19\\_pandemisi](https://tr.wikipedia.org/wiki/COVID-19_pandemisi) (Erişim tarihi: 20.12.2020).
- [2] T.C. Sağlık Bakanlığı, Bilimsel Danışma Kurulu Çalışması. Covid-19 genel bilgiler, epidemiyoloji ve tanı. 2020. <https://covid19.saglik.gov.tr/Eklenti/39551/0/covid-19rehberigenelbilgilerepidemiyolojivetanipdf.pdf> (Erişim tarihi:15.12.2020).
- [3] Varlı, E. ve Eren, T. 2017. Vardiya çizelgeleme problemi ve bir örnek uygulama, Bilişim Teknolojileri Dergisi, 10(2), s.185-197. DOI: 10.17671/gazibtd.309302
- [4] Edie, L.C. 1954. Traffic delays at toll booths, Journal of the Operations Research Society of America, 2(2), s.107-138.
- [5] Dantzig, G.B. 1954. A comment on Edie' s "Traffic delays at toll booths", Journal of the Operations Research Society of America, 2(3), s.339-341.
- [6] Warner, D.M. 1976. Scheduling Nursing Personnel According to Nursing Preference: A Mathematical Programming Approach, Operations Research, 24(5), s. 842-856. DOI: 10.1287/opre.24.5.842
- [7] Bard, J.F. ve Purnomo, H.W. 2005. Preference scheduling for nurses using column generation,

- European Journal of Operational Research, 164(2), s.510-534. DOI: 10.1016/j.ejor.2003.06.046
- [8] Topaloğlu, Ő. ve Selim, H. 2010. Nurse scheduling using fuzzy modeling approach, Fuzzy Sets and Systems, 161(11), s.1543-1563. DOI: 10.1016/j.fss.2009.10.003
- [9] Güler, M.G. ve Geici, E. 2020. A decision support system for scheduling the shifts of physicians during COVID-19 pandemic, Computers & Industrial Engineering, 150:106874. DOI: 10.1016/j.cie.2020.106874
- [10] Guerriero, F. ve Guido, R. 2022. Modeling a flexible staff scheduling problem in the Era of Covid-19, Optimization Letters, 16(4), s.1259-1279. DOI: 10.1007/s11590-021-01776-3.
- [11] Zucchi, G., Iori, M., Subramanian, A. 2021. Personnel scheduling during Covid- 19 pandemic. Optimization Letters, 15, s.1385-1396.
- [12] BBC NEWS. Virs bulaştırma katsayısı R0 nedir, nasıl hesaplanır?  
<https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-52197229> (Erişim tarihi:13.12.2020).