

**Yayın Geliş Tarihi:** 21.02.2023  
**Yayına Kabul Tarihi:** 27.03.2023  
**Online Yayın Tarihi:** 15.06.2023  
<http://dx.doi.org/10.16953/deusosbil.1254173>

Dokuz Eylül Üniversitesi  
Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi  
Cilt: 25, Sayı: 2, Yıl: 2023 Sayfa: 599-620  
E-ISSN: 1308-0911

*Araştırma Makalesi*

## **YOĞUN BAKIM ÜNİTELERİNDE KAPASİTE DEĞERLENDİRMESİ VE PLANLAMASI: 3. BASAMAK HASTANELER İÇİN SİMÜLASYON MODELLEMESİ**

*Alkan DURMUŞ\**

*Ali ÖZDEMİR\*\**

*Necati GÖKMEN\*\*\**

### **Öz<sup>1</sup>**

*Sağlık sistemleri, birbiriyle karmaşık yollarla etkileşime giren çok sayıda paydaşı içeren insan temelli sistemlerdir. Sağlık sistemlerinin stokastik doğası ve girdilerinin, etkinliklerinin ve çıktılarının karmaşık dinamikleri ve etkileşimleri nedeniyle sağlık hizmeti sağlayıcıları, bu karmaşıklığı anlamalarını ve bu şekilde sistem performanslarını geliştirmelerini sağlayan araçlara ihtiyaç duyar. Yoğun bakım üniteleri (YBÜ), kapasite yetersizliği nedeniyle hastaları tedavi edememekte ve bazı durumlarda hastalar, başka hastanelere sevk edilmekte ve hasta bekleme süreleri uzamaktadır. YBÜ gibi kıt bir kaynağın verimli kullanımı ve yönetimi, bir hastanenin sorunsuz çalışması için kritik öneme sahiptir. Kapasite planlaması, yani gelecekteki talep ve kapasite ile ilgili mevcut bilgilere dayanarak optimal yatak konfigürasyonunun belirlenmesi hem kapasite hem de talepteki yüksek belirsizlikler nedeniyle çok zordur. Bu problemin çözümü için çalışmada, yoğun bakım yatak kapasitesi planlamasının karar verme sürecini kolaylaştırmak için simülasyon modeli önerilmektedir. Bu çalışma, Türkiye’de faaliyette bulunan 3. basamak bir üniversite eğitim araştırma hastanesindeki YBÜ’nün kapasite planlamasını geliştirmeye*

*Bu makale için önerilen kaynak gösterimi (APA 6. Sürüm):*

Durmuş, A., Özdemir, A. & Gökmen, N. (2023). Yoğun bakım ünitelerinde kapasite değerlendirilmesi ve planlaması: 3. basamak hastaneler için simülasyon modellemesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 25 (2), 599-620.

\* Doktora Öğrencisi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0002-5806-9962, [alkan.durmus@deu.edu.tr](mailto:alkan.durmus@deu.edu.tr).

\*\* Prof. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0003-3555-2123, [ali.ozdemir@deu.edu.tr](mailto:ali.ozdemir@deu.edu.tr).

\*\*\* Prof. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Cerrahi Tıp Bilimleri Bölümü, Anesteziyoloji Ve Reanimasyon Anabilim Dalı ORCID:0000-0002-3225-7666, [necati.gokmen@deu.edu.tr](mailto:necati.gokmen@deu.edu.tr).

<sup>1</sup> Bu makale “Yoğun Bakım Kapasite Planlamasında Kuyruk Sorunlarının Ayrık Olay Simülasyonu ile Modellenmesi ve Bir Uygulama” adlı Doktora tezinden türetilmiştir. Araştırma için Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Girişimsel Olmayan Araştırmalar Etik Kurulu’ndan 11/01/2023 tarih ve 2023/02-23 sayılı izin alınmıştır.

*odaklanmaktadır. Çalışmanın amacı, YBÜ'nün kaynaklarını taleple eşleştirerek optimum yatak ihtiyacını belirlemek olarak tanımlanabilir. Çalışmanın sonucunda oluşturulan simülasyon modelleri, hastaların bekleme süreleri ve yatak sayılarına göre değerlendirilerek yoğun bakım kapasitesi hakkında öngörülerde bulunulmuştur. YBÜ'lerin hayati önemi, yönetiminde belirsizlik durumları gözönüne alındığında, farklı bölge ve hastane koşullarında kapasite kararlarının alınmasında bir araç olarak simülasyon yönteminin kullanılması, karar alıcılara kaynak tahsis stratejilerini değerlendirmelerinde yardımcı olabileceği öngörülmektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** *Simülasyon, Yoğun Bakım Ünitesi, Kapasite Planlaması, Hasta Akışı.*

## **CAPACITY EVALUATION AND PLANNING IN INTENSIVE CARE UNITS: SIMULATION MODELING FOR LEVEL III HOSPITALS**

### **Abstract**

*Health systems are human based systems comprising a high number of stakeholders who interact with each other in complex ways. Due to the stochastic nature of health systems and the complex dynamics and interactions of their inputs, processes and outputs; providers of health services require tools that allow them to comprehend the said complexity and improve system performance. Intensive care units (ICUs) may fall short in treating patients due to insufficient capacity and patients may be transferred to other hospitals under certain circumstances, and waiting times can get longer. Efficient use and management of a scarce resource such as the ICU is of critical importance for trouble-free operation of a hospital. Capacity planning, in other words, determination of optimal bed configuration based on current knowledge of future demand and capacity, is very difficult due to high uncertainty in both bed capacity and demand. The paper at hand proposes a simulation model to allow an easier decision-making process in the planning of bed capacity in ICU. The study focuses on improving the capacity planning of a level III university hospital in Turkey that specializes in education and research. The objective of the study is to determine optimal bed requirement by matching the resources of the ICU with demand. We provide forecasts of ICU capacity by evaluating the simulation models based on patient waiting times and bed quantity. Considered in the context of the vital importance of intensive care units and the uncertainties in their management, it is thought that the use of simulation modeling in the making of capacity decisions can prove useful for decision makers in assessing their resource allocation strategies under different regional and hospital conditions.*

**Keywords:** *Simulation, Intensive Care Unit, Capacity Planning, Patient Flow.*

### **GİRİŞ**

Yoğun bakım üniteleri (YBÜ), hastanelerdeki en önemli kaynaklardır. Hastalar açısından bazı durumlarda kullanımı, hayati öneme sahiptir. Hem hastalar hem de hastaneler için önemli olan bu kaynağın ulaşılabilirlik ve sürdürülebilirlik açısından bir dengede olması gerekmektedir. Bu iki durum YBÜ yönetimini acil ve zor bir problem haline getirir. Yoğun bakım, iki veya daha fazla organ sistemi,

faaliyetini yerine getiremediğinde hastalar için gereken en üst düzey bakım olarak tanımlanır (Lyons vd., 2000; Rewa vd., 2018). YBÜ'ler en kritik durumdaki hastalara bakım sağlayan uzmanlaşmış yatan hasta üniteleri olup (Kim vd., 2015; Lamooki vd., 2014) bir hastanede diğer departmanlarla iş birliği içinde çalışan klinik aktivite ve bakım için ayrı bir organizasyonel ve fiziki varlıktır (Sarode & Hawker, 2019). YBÜ teorik olarak, sağlık durumunun kritik olarak derecelendirilen hastaların teşhis, tedavi ve bakımlarının yapıldığı, uzman hekim ve hemşirelik hizmetlerinin sunulduğu, yüksek düzeyde teknolojik cihazların kullanıldığı, belirli kapasiteye sahip, kaynakların yoğun kullanıldığı bir sağlık bakım ünitesi olarak tanımlanır. YBÜ'nün özelliklerini incelediğimizde;

- Yüksek eğitilmiş doktorlar, hemşireler ve özel ekipman gerektirir. (Singer vd., 1994)
- Sınırlı kapasiteli, yoğun kaynak kullanan bir birimdir (Bountourelis vd., 2013).
- Çok pahalı bir kaynaktır (Ouyang vd., 1990; Halpern vd., 2004).
- Hastane yataklarının yaklaşık %10'unu oluşturan YBÜ yatakları, tüm sağlık bakım maliyetlerinin %20'sini oluşturmaktadır (Milbrandt vd., 2008).

Hastalar, genellikle yoğun bakım ünitesine acil servis, ameliyathaneler, cerrahi veya dahili birimlerden ve doğrudan başka hastanelerden nakledilir (Bai vd., 2021; Goldhill & Sumner, 1998). Yoğun bakım yataklarının olmaması, kavramsal olarak talep ve arz arasındaki uyumsuzluk olarak tanımlanan bir kapasite gerilimi yaratır (Phua vd., 2020). Mevcut yoğun bakım yatağı sayısı çoğu hastanede mevcut talebin altında kalabilmektedir, bu nedenle hasta kabul ve taburcu kararları ile bu yataklardan en iyi şekilde yararlanmak önemlidir (Ouyang vd., 2020). Hastanelerdeki kritik hasta koşulları nedeniyle yoğun bakım yatak taleplerinin bekleme süresi olmadan işlenmesi gerekmektedir. Herhangi bir gecikme, hastaların sağlığı için önemli bir tehdit oluşturabilir. Yoğun bakım yataklarının olmaması, ambulans yönlendirmesi, ameliyatın iptali ve kabulün reddi gibi hizmet düzeyinde bozulmalara neden olabilir. Fakat fazla planlanmış yoğun bakım yatakları hastane bütçesinin, alanının ve diğer değerli kaynaklarının israf edilmesine neden olabilir. Bu nedenle, sağlık hizmeti sunucularının, yoğun bakım hizmet düzeyi ile maliyet etkinliği arasındaki dengeyi sağlamak için uygun YBÜ yatak kapasitesini belirlemesi önemlidir (Zhu vd., 2012).

Yoğun bakım hizmetlerine olan talep; nüfus artışı, insanların daha uzun yaşam beklentisi (de Lange vd., 2020) ve tıp bilimindeki ilerlemeler ve kritik hastaları destekleme kapasitesinin artması, (Garland vd., 2013; Parker vd., 1998; Rhodes vd., 2011) gibi nedenlerle artmaktadır. Artan talep ve acil vakaların stokastik doğası (West, 2001), yoğun bakım yataklarının talebine önemli ölçüde dalgalanma ve değişkenlik katmaktadır. Birçok araştırmacı, yoğun bakım ünitelerinde yatak kapasiteleri ile ilgili çalışmalarını geliştirmiş ve hepsi optimum

yatak sayılarını bulmayı amaçlamıştır (Griffiths vd., 2006; Zhu, Hen vd., 2012). Yoğun bakım ünitelerinde yatak kapasitelerinin yönetilmesine yardımcı olmak için birçok simülasyon ve kuyruk modeli mevcuttur (Harper & Shanani, 2002; Costa vd., 2003; Kim vd., 1999; Griffiths vd., 2010). Sağlık hizmetlerinde kapasite yönetimi zorluklarıyla başa çıkmak için, sağlık hizmetleri kapasite planlama süreçlerinin kaynakları ve hasta talebini daha iyi dengelemesi gerekmektedir (Silvester vd., 2004).

Yukarıda bahsedilen faktörlerin tümü, yoğun bakım yataklarını planlamayı daha zorlu bir görev haline getirir. Yoğun bakım hizmetlerinin yatak kapasitesi sorunları hasta talepleri ile doğru orantılıdır. Ayrıca yoğun bakım taleplerindeki artışlar, yatak planlamasını zorlaştırmaktadır. Buna göre yoğun bakım üniteleri, yatakların yeniden tahsisi, yeni departmanların kurulması ve kapasitelerin artırılması gibi önlemler almaktadır. Bu kapsamda çalışmamızda, öncelikle 3. basamak bir üniversite hastanesine ait YBÜ'nün süreçleri hakkında bilgi alınmış, hasta süreçleri gözlemlenmiştir. Alınan bilgiler ve yapılan gözlemler doğrultusunda YBÜ'nün hasta akış süreçleri çıkartılarak, araştırma problemi oluşturulmuştur. Araştırma problemi, hastaların ulaşılabilirlik açısından yoğun bakım hasta kabulündeki beklemelerin minimize edilmesi ve yoğun bakım yatak sayılarının belirlenmesi olarak belirlenmiştir. Problemin çözümü için simülasyon modeli oluşturularak farklı durum senaryoları test edilmiştir. Bu bağlamda, öncelikle YBÜ'lerde kapasite planlaması, simülasyon modelleme konuları hakkında bilgiler verilmiş, 3. basamak YBÜ'nün gerçek verileri ile model kurularak simülasyon senaryoları gerçekleştirilmiştir.

## **YOĞUN BAKIM ÜNİTELERİNDE KAPASİTE PLANLAMASI**

Optimum kapasite; mevcut tesis ve ekipman stoğu kullanılarak mevcut teknikler ve faktör fiyatları veri alındığında, minimum ortalama toplam maliyetle üretilen çıktı olarak tanımlanır (Hickman, 1964). Bir sağlık hizmeti sisteminin kapasitesi, hastalara hizmet vermek için mevcut kaynakları (örneğin mali, beşerî ve fiziksel) ifade eder (Bamford & Chatziaslan, 2010). Kapasite, genellikle eldeki kaynakların niceliği ve kalitesine veya mevcut çalışma süresine göre değerlendirilir. Kapasite, insan kaynakları (örneğin doktorlar ve hemşireler) fiziksel kaynaklar, (örneğin yataklar ve ekipman) yönetim stratejileri, (örneğin kaynak kullanımı ve tahsisi) kaynak planlama ve çizelgeleme faktörlerinden etkilenir (Tao & Liu, 2019). Belirli bir birime erişimi olmayan veya belirli bir birime zamanından önce nakledilen hastalar, başka birimlere yerleştirilebileceğinden belirli bir birime ilişkin kapasite kararları, hastanedeki diğer birimlerin kullanım ve hizmet kapasitesini de etkileyebilir (Cohen vd., 1980). Yüksek düzeyde dalgalanan talebi mevcut kapasiteyle eşleştirme ihtiyacı, herhangi bir hizmet sektöründe en önemli zorluklardan biridir. Bu tür zorluklar, çeşitli faktörlerin bir araya gelmesinin etkili talep yönetimi ve kapasite yönetimi stratejilerine olan ihtiyacı arttırdığı sağlık hizmeti sunumunda, daha da önemli hale

gelmektedir (Jack & Powers, 2009). Yüksek hizmet seviyelerine ulaşma ihtiyacı, pahalı ve uzmanlaşmış kaynakların varlığı ve talepteki belirsizlik nedeniyle kapasite planlaması, sağlık hizmetlerinde önemli ve zorlu bir problemdir (Batun & Begen, 2013). Kapasite planlaması, piyasa taleplerini uygun maliyetli bir şekilde karşılamak için gerekli kapasite düzeyini belirleme süreci olarak tanımlanmaktadır. (Davis vd., 2005) Kapasite planlaması, son derece karmaşık bir konudur (Vlachos vd., 2007). Örneğin bir kurum, hizmet üretim kapasitesini genişletmeyi her düşündüğünde, sayısız olasılığı göz önünde bulundurması gerekir. Hiyerarşik olarak kapasite planlama süreçlerini, stratejik, taktik ve operasyonel seviyede yapılandırabiliriz (De vries vd., 1999). Stratejik planlama uzun vadeli, taktik planlama orta vadeli ve kısa vadeli ufuk operasyonel planlamanın sınırlarını belirler (Jonsson & Mattsson, 2009; Guerriero & Guido, 2011). YBÜ'lerde kapasite planlama problemlerinin çözümünde deterministik (matematiksel programlama, istatistiksel analiz) ve stokastik yöntemler (kuyruk teoremi, stokastik süreç analizi yöntemleri) kullanılmaktadır (Bai vd., 2018). Kuyruk teoremi kapasite planlama ve hasta bekleme hattı problemleri çözümünde kullanılmaktadır (Özdemir & Maruf, 2018; Topoyan, 2021). Kapasite planlama sorunları için simülasyon modelleme, ilgili matematiksel modellerin geniş bilgi tabanını sağlık uzmanları ve yöneticileri için erişilebilir ve şeffaf bir forma dönüştürmenin bir yolunu sunar (Monks vd, 2016).

## **SİMÜLASYON MODELLEME**

Simülasyon, belirsizlik durumlarını modellemek için son derece yararlı bir araçtır ve bu nedenle sağlık sistemlerini modellemek için simülasyonun kullanımı uygun olabilir. Ayrıca sağlık sistemlerinin çok sayıda etkileşimli parça içeren karmaşık sistemler olmasından dolayı simülasyon modellemesi faydalı sonuçlar vermektedir. Sağlık sisteminin karmaşıklığı nedeniyle simülasyon modelleri, sağlık sorunlarının modellenmesi için giderek daha önemli bir metodoloji haline gelmiştir. Simülasyon modelleri; sağlık sistemi, tesisler, sağlayıcılar, hastalar, sağlıkçılar ve diğer paydaşlar arasındaki ilişkileri modelleme yeteneğine sahiptir. (Alvarado vd., 2016) Simülasyon modelleme yöntemleri, bir sistemin veya sürecin işleyişini temsil etmek için (isteğe bağlı olarak açık denklemler biçiminde) matematiksel karakterizasyonu kullanır. Bu tür modeller, gerçek sistemin davranışını incelemek, bir sistemin performansını değerlendirmek ve optimize etmek ve çeşitli senaryolarda müdahaleleri ve bunlara karşılık gelen etkileri daha uzun sürelerle denemek için uygulanabilir (Maria, 1997). Simülasyon yöntemleri, çeşitli şekillerde sınıflandırılır. Ancak en yaygın; Monte Carlo (MC), ayrık olay simülasyonu (DES), sistem dinamiği (SD) ve etmen tabanlı simülasyon (ABS) olarak dört kategoriye ayrılırlar (Brailsford vd., 2009; Katsaliak & Mustafee, 2011; Sobolev vd., 2011).

Ayrık olay simülasyonu ister kararlar ister zaman içindeki olaylar olsun insanların olaylara maruz kalabilecekleri bireysel düzeyde süreçleri temsil etmek

için kullanılır. Ayrık olay simülasyonu, bireysel düzeyde heterojenliği yakalayan ve kaynakların kullanımına vurgu yapılan kuyruk süreçlerini ve kuyruk ağlarını karakterize etmek ve analiz etmek için kullanılan bir simülasyon yöntemidir (Siebers vd., 2010). Ayrık olay simülasyonu, sağlık ekonomisi modellemesi, (Karnon vd., 2012), kaynak kullanımı ve kuyruklar, yani bekleme süreleri ile ilgili alanlarda, (Marshall vd., 2015) hizmetlere yönelik talebi tahmin etmelerine ve sistem parametre ayarlarını analiz edip optimize etmelerine olanak tanıyan güvenilir ve esnek bir araçtır (Thorwarth vd., 2016).

Ayrık olay simülasyon modelleri, zaman içinde ayrı noktalarda meydana gelen ve sistemin durumundaki bir değişikliği işaret eden olaylar tarafından yönlendirilir. Ayrık olay simülasyon modelleri, sağlık problemlerini taktiksel veya operasyonel karar verme düzeyinde modellemek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Marshall vd. 2015). Bir sağlık hizmeti ortamında süreç veya hasta akışını iyileştirmeyi, hastane veya klinik kapasitesini yönetmeyi, personeli planlamayı, programlama prosedürlerini analiz etmeyi, yardımcı hizmetleri kullanmayı veya kaynakları tahsis etmeyi amaçlayan performans iyileştirme ve tasarım kararları için en pratiktirler (Hamrock vd., 2013). Ayrık olay simülasyon modellerinin temel yapı taşları; varlıkları, olayları ve kuyrukları içerir (Marshall vd., 2015). Varlıklar; kaynakları, konumları, varış oranlarını, hizmet sürelerini ve akış modellerini içerir. Hastalar, bir sağlık hizmeti ayrık olay simülasyon modelinde modellenen en yaygın varlıklardır, ancak diğerleri programları, ilaçları ve diğer malzemeleri içerir (Hamrock vd., 2013).

Ayrık olay simülasyonu, karar vericilere, sağlık hizmeti sunum sistemlerinin verimliliğini etkili bir şekilde değerlendirmesine, sistem performansını veya tasarımını iyileştirmesine ve farklı model değişkenleri arasındaki karmaşık ilişkileri araştırarak risksiz ve maliyetsiz bir ortamda yenilerini planlamasına olanak tanır. Bu kapsamda yoğun bakım yönetim sorunlarından yatak kapasitesi planlaması ile ilgili literatür taraması çalışması yapılmıştır.

## **LİTERATÜR**

YBÜ yönetimi alanındaki birçok araştırmacı, son yıllarda konuya katkıda bulunmuştur. Personel çizelgeleme, kapasite planlama, hasta kalış süresi gibi çeşitli araştırma konuları vardır. Uygulanan metodolojiler simülasyon, tamsayı programlama ve dinamik programlama gibi teknikleri kapsamaktadır. Çalışmada, YBÜ yönetim sorunlarına ilişkin mevcut literatür araştırılarak, kapasite planlamasına yönelik çalışmalar incelenmiş, modelleme yöntemleri ve çözüm yaklaşımları gözden geçirilmiştir.

Nguyen vd. (Nguyen vd., 2003) YBÜ yatak ihtiyaçlarını tahmin etmek için simülasyon yöntemi kullanılarak evrensel olarak uygulanabilir bir parametrik olmayan yöntem geliştirmeyi öngörmüş, ihtiyaç duyulan yatak sayısı, üç parametrenin (erişilebilirlik, güvenlik ve verimlilik) hem ortalamasının hem de

varyansının minimizasyonuna göre seçilmiştir. Parametrelerin hiçbirinin belirli YBÜ özelliklerine bağlı olmadığı ve bu yöntemin her tür hastane koşuşuna uygulanabilir olduğunu ortaya koymuştur.

Ridge vd. (Ridge vd., 1998) 6 yataklı YBÜ'yü analiz etmek için bir M/M/c modeli (elektif hastalara göre acil hastalara öncelik vererek) kullanarak hem acil hastalar hem de elektif hastalar için kuyrukta bekleme süresini hesaplamıştır. Kuyruk modeli, bir simülasyon modelini doğrulamak amacıyla kullanılmıştır.

Kim vd. (Kim vd., 1999), 14 yataklı YBÜ'nün kabul ve taburcu verilerini, M/M/c kuyruk modeli oluşturarak simülasyon modeli aracılığıyla analiz etmiştir. Kuyruk modeli için genel ortalama hizmet süresini hesaplamanın üç farklı yolunu değerlendirdikleri modellerinde dört tip hasta vardır. Çok uzun süre kalan hastaları ve hasta transferlerini modellerine dahil etmemişlerdir. Hem birimin kapasite kullanımını hem de hastalarına sağlanan bakımın kalitesini iyileştirmeye yardımcı olmak için bir YBÜ tesisinin operasyon yönetimine ilişkin öngörülerde bulunmuşlardır.

Costa vd. (Costa vd., 2003), bireysel hasta düzeyinde bir model kurup, gerekli YBÜ yatak sayısını tahmin etmek için matematiksel modelleme uygulamaları ve simülasyonu kullanırlar. Performans, farklı klinik durumlarda üç örnek kullanılarak değerlendirilir ve verimlilik iyileştirmeleri sağladığı tespit edilir. Ham verilerin uygun şekilde analiz edilmesi ve ayrıntılı matematiksel modellemenin birleşiminin, gereken yatak sayısını tahmin etmek için çok daha iyi bir yöntem sağladığı belirtilmiştir.

Masterson vd. (Masterson vd., 2004), tüm askeri sağlık tesisleri için askeri sağlık sisteminin optimizasyonunu tartışmaktadır. Uygun YBÜ boyutunu, yatak karması ve personel miktarını belirlemek için ABD Hava Kuvvetleri Wilford Hall Tıp Merkezi'ndeki YBÜ'nün simülasyon analizine dayanan bir vaka çalışması sunar.

McManus vd. (McManus vd., 2004) çalışmalarında yoğun bakım ünitesinde iki yıllık kabul, taburculuk ve geri dönüş verileri toplayarak, kuyruk teorisini kullanarak hasta akışının matematiksel bir modelini oluşturarak simüle etmişlerdir. Modelden tahminleri birimin gözlemlenen performansı ile karşılaştırarak ve modelin birim boyutundaki değişikliklere duyarlılığını araştırmışlardır.

Shahani vd. (Shahani vd., 2008) ayrıntılı veri analizi ile birkaç farklı senaryoda yoğun bakım hasta akışı değişikliklerini simüle ederek, yoğun bakım ünitesi kapasitesini artırmanın erteleme ve transfer oranlarını önemli ölçüde azaltabileceğini bulmuşlardır.

Litvak vd. (Litvak vd., 2008), bir bölgedeki birkaç hastanenin bölgesel acil hastalar için az sayıda yatak rezerve ettiği, YBÜ kapasitesi için orta vadeli bir ortak

çözüm önermiştir. Herhangi bir kabul oranı için ayrılmış bölgesel yatak sayısını hesaplamak için matematiksel bir model sunarlar ve bölgesel işbirliğinin daha az sayıda yatakla yüksek bir kabul düzeyine ulaşılmasına yardımcı olabileceğini simülasyon çalışmaları ile kanıtlarlar. Çalışmada telekomünikasyon sistemlerindeki taşma modellerine benzer özel bir analitik yaklaşım kullanırlar. Bölge dışındaki hastanelere sevk edilen hasta sayısı en aza indirilirken, planlanan ameliyatlara için yeterli yoğun bakım yatağı sayısı korunur.

Kokangül, (Kokangül, 2008) bir eğitim hastanesinin pediatrik YBÜ yatak kapasitesini optimize etmek için deterministik ve stokastik yaklaşımın bir kombinasyonunu geliştirmiş, gerekli olasılık dağılım fonksiyonlarını elde etmek için 2000 ve 2004 yılları arasındaki verileri kullanmıştır. Çalışmada, maksimum hasta talebinin pediatrik yoğun bakımda gerekli maksimum yatak kapasitesine neden olduğu varsayılmıştır. Kontrol parametreleri ile yatak kapasitesinin boyutu arasındaki matematiksel ilişkiler, oluşturulmuş bir simülasyon modelinden elde edilen veriler kullanılarak elde edilmiştir. Kontrol parametrelerinin hedef seviyelerine dayalı olarak gerekli yatak kapasitesinin optimum büyüklüğünü belirlenerek kar-zarar analizi yapılmıştır.

Troy ve Rosenberg (Troy & Rosenberg, 2009), cerrahi YBÜ yataklarına, hasta gelişleri ve yatak kalışlarının olaylarını, zamanlamasını ve mantığını yakalayan ayrık bir olay modeli kullanılarak YBÜ performansına ilişkin bir Monte Carlo simülasyon çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışma, fonksiyonel YBÜ kapasitesinin, yani YBÜ'de kalış gerektirdiği biliniyorsa ameliyat prosedürlerinin iptal edildiği dolu YBÜ yataklarının sayısının, beklemenin, gerçekleştirilen sayının ve iptallerin sayısının ana belirleyicisi olduğunu bulmuştur. Cerrahi YBÜ yatak gereksinimleri analiz edilirken gerçek ve işlevsel YBÜ kapasitesinin dikkate alınmasının gerekliliğini vurgulamış ve arz ile talebin senkronize edilmesi konusunda ek araştırmalara ihtiyaç olduğunu vurgulanmıştır.

Barado vd. (Barado vd., 2012), istatistiksel analize ve YBÜ'nün kuyruk sorunu olarak temsiline dayanarak, bir simülasyon modeli oluşturmuş, aynı zamanda hasta taburculuğu ile ilgili yatak yönetimi kararlarını da içeren bir model geliştirmiştir. Simülasyon modelinde, farklı nedenlerle yoğun bakım ünitesine gelen hasta sayısındaki artışı karşılamak için gereken yatak sayısını tahmin etme problemi çözülmüştür. Gelecekteki YBÜ kaynak ihtiyaçlarını tahmin etmede kullanılabilecek simülasyon modelleri geliştirilebileceği varsayılmıştır.

Zhu vd. (Zhu vd., 2012), sağlık hizmeti sunucularının, hizmet seviyesi ile maliyet etkinliği arasındaki dengeyi kuran uygun YBÜ yatak kapasitesini belirlemesine yardımcı olacak bir ayrık olay simülasyonu (DES) modeli geliştirmiştir. Singapur Devlet Hastanesi'nin YBÜ sistemi analiz edilerek, farklı sayıda yatak denemesi yapılarak optimum yatak sayısı hesaplanmıştır.



Bowers (Bowers, 2013) çalışmasında, YBÜ ve ameliyathane gibi iki simbiyotik kaynağa olan talepte belirsizliğin olduğu bir kapasite planlama problemine bir örnek sunmaktadır. Bu iki ünitenin kaynak mevcudiyeti ve günlük talebin karşılıklı bağımlılıklarını keşfetmek için klinik ve yönetim personeli ile bir simülasyon geliştirilmiştir. Modelde, tüm tesisin kapasitesini genişletme seçenekleri incelenmiştir. Yatak ve ameliyathane kapasitesinin dengeli olması gerektiği, ancak her iki kaynakta da eşsiz artışlarında faydalı olabileceği varsayılmıştır.

Marmor vd. (Marmor vd., 2013) Mayo Clinic'te talep edilen yüksek hasta hizmet düzeyine ulaşmak için minimum yatak ihtiyaçlarını tahmin etmek için kullanılan bir ayrık olay simülasyon modelinin geliştirilmesini ve kullanılmasını öngörmüştür. İhtiyaç duyulan yatak tahminlerine ek olarak model, ameliyat programlarını yumuşatmanın ve YBÜ'de uzun süre kalan hastaları transfer etmenin etkilerini araştırmak için kullanılmıştır. Model, geleneksel yatak planlama yaklaşımından %30 daha düşük olan yatak ihtiyaçlarını öngörmüştür.

Antmen ve Oğulata (Antmen & Oğulata, 2013), Türkiye'de bulunan üç hastanenin YBÜ'sünün taleplerini karşılayan yatak kapasitelerini belirlemek için bir simülasyon modeli oluşturmuşlardır. YBÜ'lerin ayrı ayrı optimum kapasite seviyeleri ve birleştirilmiş durumdaki kapasite durumlarının analizi yapılmıştır.

Steins ve Walther (Steins & Walther, 2013) çalışmalarında, dört farklı hastane YBÜ'ye yapılan tüm başvuruların anonimleştirilmiş hasta kayıtlarından elde edilen verileri kullanarak jenerik bir yoğun bakım simülasyon modeli geliştirmiştir. Modelin en önemli özelliği, kabul oranının fiili doluluğa bağlı olmasıdır. Nihai modelin doluluk, kapsam ve transferlerinin, simüle edilmiş dört yoğun bakım ünitesinin tümü için gerçek verilerin %2'si dahilinde olduğu bulunmuştur.

Mallor ve Azcárate, (Mallor & Azcárate, 2014) YBÜ boyutlandırma, kapasite analizi ve farklı YBÜ yönetim politikalarının test edilmesi için bir simülasyon modelini önermişlerdir. YBÜ iş akışlarını erken taburcu etme ve erken yatışla ilgili olarak yeniden tasarlamak için birleşik bir simülasyon optimizasyon tekniği geliştiren yazarlar, ana hasta gruplarını elde etmek için istatistiksel testler kullanmışlar ve kalış sürelerini belirlemek için bir denklem önermişlerdir. Önerilen metodoloji, İspanya Navarre Hastanesi'ndeki YBÜ'nün bir simülasyonu ile test edilmiştir.

Rodrigues vd. (Rodrigues vd., 2018), 3. basamak yoğun bakım yataklarındaki yetersizliklere alternatif olarak 2. basamak yoğun bakım yataklarının kullanılabilmesi varsayımında, büyük bir üniversite hastanesi için seviye 2 yatak ihtiyacını tahmin eden ayrık bir olay simülasyon modeli geliştirilmiştir. Model, hastanenin yatan hasta akışının tamamını ve en önemlisi YBÜ'nün günlük stokastik akışlarını "Hemşirelik İnsan Gücü Kullanım Puanının

Dokuz Eşdeğeri" (NEMS) adı verilen bir hemşirelik iş yükü puanlama ölçütüne dayalı olarak simüle ederek uygulanmıştır. Büyük bir üniversite hastanesinden alınan verileri kullanan model, seviye 2 yatakların hem hasta akışını hem de maliyetleri iyileştirmedeki faydalarını göstermektedir.

YBÜ yönetim problemlerinde bir teknik olarak simülasyon, kapasite planlaması, doluluk oranı kontrolü ve kabul ve taburcu politikaları gibi konularda literatürde kapsamlı bir şekilde tartışılmıştır. Yapılan literatür taraması, incelenen çalışmaların problem ve çözüm yaklaşımlarına göre çalışmadaki metodolojimiz oluşturulmuştur.

## **METODOLOJİ**

Ayrık olay simülasyon yöntemi, zaman içinde süreksiz olarak meydana gelen olayları taklit eden bir modelleme yaklaşımıdır (Banks vd., 2005). Ayrıca Günal (Güenal, 2012), ayrık olay simülasyonun kuyruklar içeren ve kullanıcılara esneklik sağlayan sistemleri başarılı bir şekilde modellediğini, yani kullanıcıların daha detaylı modeller oluşturabildiğini belirtmektedir. Ayrıca kullanıcılar, hastane modellerinde DES yöntemleri ile hastaları gözlemleyebilmektedir. Ayrık olay simülasyon yöntemlerinde kalış süresi, hasta gelişleri gibi tedavi süreçlerinin önemli bileşenleri dikkate alınır. Modeller, YBÜ'nün çalışmasını, kalış süresi, taburculuk kriterleri veya kabul taleplerinin dağılımına ilişkin hipotezler gibi parametreler açısından simüle ederek yatak ihtiyaçlarını tahmin eder. Bu nedenle bu modeller, YBÜ'ye özgü parametrelere veya istatistiksel hipotezlerin seçimine bağlıdır (Nguyen vd., 2003).

Yetersiz yoğun bakım kapasitesi, yalnızca YBÜ'ye değil, hasta bakım yolu boyunca bağlantılı diğer bölümlerde de birçok olumsuz etkiye neden olur. Yoğun bakım kapasitelerini verimli bir şekilde yönetmenin yollarını belirlemede ve istenen hizmet kalitesi düzeylerini sağlamada önemli bir rol oynar. Bu çalışmanın amacı, ayrık olay simülasyon modeli kullanarak YBÜ yatak ihtiyacını belirli doluluk oranlarında tahmin eden genel bir yaklaşım geliştirmektir. Bu amaç doğrultusunda, YBÜ'nün hasta akışının modeli oluşturulacaktır. İkinci olarak, ihtiyaç duyulan yatak kapasitesi, YBÜ yatan hastalarının ve yatışı yapılamayan hastaların verileri toplanarak ihtiyaç duyulacak optimum yatak sayısı tahmin edilecektir. Son olarak, farklı senaryolar, ayrık olay simülasyon modeli kullanılarak test edilecek ve sonuçlar karar vermede referans olarak kullanılacaktır.

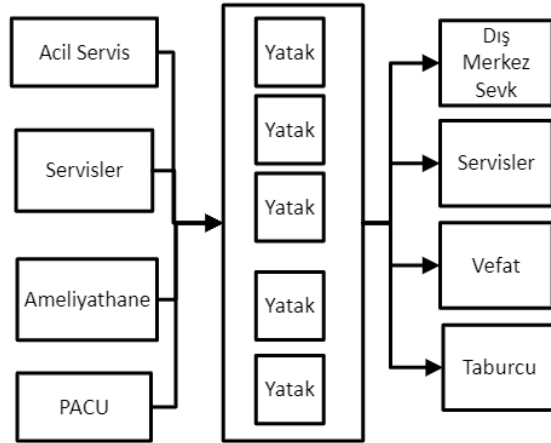
## **UYGULAMA**

Çalışmada kullanılacak olan veriler, 3.basamak sağlık hizmeti sunan bir üniversite hastanesinin 2018-2019 yılları arasında YBÜ'de yatan hastaların ve yatmak için bekleyen hastaların verileri kullanılmıştır. İlk olarak, YBÜ'deki hasta akışını tanımlamak için çalışmanın yapılacağı YBÜ'nün sorumlu yoğun bakım uzman hekimiyile belirli aralıklarla görüşmeler yapılmıştır. Bu süreçte YBÜ'de

gözlemler yapılmış ve süreçler hakkında bilgiler alınarak hasta akış diyagramı oluşturulmuştur. İkinci olarak, mevcut durumdaki hasta geliş modelleri, hasta bekleme ve kalış süreleri, yatak sayısı hakkında istatistiksel bilgilere ihtiyaç vardır. Yapılan görüşmeler neticesinde modele kullanılacak veriler hakkında bilgiler alınmış ve gerekli idari izinler alınarak hastane otomasyon sisteminden çalışmada kullanılacak veriler alınmıştır. Çalışmada kullanılması öngörülen veriler, konsültasyon veri seti, yoğun bakıma yatış yapılan hasta veri seti ve yoğun bakıma yatışı uygun görülen fakat yatışı yapılamayan hasta veri setidir. Çalışmada gerçek operasyonel verilerin doğrudan uygulanması, YBÜ'de mevcut olan tüm varyasyonları ve mevsimsel faktörleri görmemizi sağlamıştır.

Üçüncüsü, uzun süreler boyunca gelen ve ayrılan hastalarla ünitenin çalışmasını simüle etmek için model, hastaların akışını dikte eden mevcut kurullarla tekrar tekrar çalıştırılır. Dördüncüsü, modellerin ürettiği istatistiksel bilgiler, modelin belirli YBÜ'yü ve vaka karışımını yansıtıp yansıtmadığını kontrol etmek için birimin gerçek verileriyle karşılaştırılabilir.

**Şekil 1: Yoğun Bakım Ünitesi Hasta Akış Diyagramı**



Şekil 1, çalışmamızda örnek olarak incelenen hastanenin erişkin YBÜ'deki genel hasta akışını göstermektedir. Hastalar, YBÜ'ye hastanenin farklı hizmet birimlerinden gelmektedir. Dış merkezlerden sevki gelen hastalar acil servis girişi yapılarak YBÜ yatışı yapılmaktadır, bu yüzden hastaların geliş kaynakları hastane içindeki birimlerden başlatılmıştır. Hastaların yoğun bakım kabul sürecinde hastaların önceliklendirmesi söz konusudur. Hasta kaynaklarından PACU (post-anestezi yoğun bakım ünitesi) ve acil servis gelişlerinde yoğun bakım ünitesine bekleme olmadan kabul edilebilmektedir. Tüm yoğun bakım yataklarının tamamen dolu olması durumunda yeni gelişler, diğer hastanelere yönlendirilebilir veya mevcut servislerinde hizmet alımını devam edebilmektedir. Hastaların tedavi süreci sonrası dört farklı çıkış kaynağı vardır: taburculuk durumu, dış merkeze sevk durumu, normal servise çıkış durumu ve ölüm durumu olabilir. Bu çalışmada,

problemin çözümü için simülasyon tabanlı analiz kullanılmıştır. Şekil 1'de görselleştirilen akış şeması, prosedürler ve değişkenleri, Arena Simülasyon programında simülasyon modelimizi oluşturmak için temel olacaktır.

**Tablo 1: 2018-2019 Yıllarında Yoğun Bakım Ünitesinin Yatak Sayıları**

|              |        |        |        |        |        |        |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| AYLAR        | Oca.18 | Şub.18 | Mar.18 | Nis.18 | May.18 | Haz.18 |
| Toplam Yatak | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     |
| AYLAR        | Tem.18 | Ağu.18 | Eyl.18 | Eki.18 | Kas.18 | Ara.18 |
| Toplam Yatak | 30     | 32     | 33     | 33     | 33     | 33     |
| AYLAR        | Oca.19 | Şub.19 | Mar.19 | Nis.19 | May.19 | Haz.19 |
| Toplam Yatak | 33     | 33     | 33     | 35     | 35     | 35     |
| AYLAR        | Tem.19 | Ağu.19 | Eyl.19 | Eki.19 | Kas.19 | Ara.19 |
| Toplam Yatak | 35     | 35     | 35     | 35     | 35     | 35     |

Tablo 1'de araştırmaya konu dönemdeki YBÜ'nün yatak sayısı verilmiştir. Yoğun bakım yataklarında belirli dönemde artmalar olmuştur. Çalışmanın temel parametreleri, sırasıyla hastaların varışlar arası ve servis yatış süreleri, yoğun bakım yatışı uygun görülüp yatış yapılamayan hasta sayılarıdır.

Model, hasta düzeyinde ayarlanmış ve YBÜ'deki hastaların akışını taklit edecek şekilde ayarlanmıştır. Model, hastaların kategorileri, geliş biçimleri ve kalış süreleri kullanılarak oluşturulmuştur. Modelin simülasyonu, 2 yıllık bir zaman aralığında (870 gün) ve senaryolar 10 replikasyonu yapılarak gerçekleştirilmiştir. Modelimizde mevcut durumdaki hasta bekleme süreleri de göz önünde bulundurularak %70-%80 doluluk oranındaki ihtiyaç duyulacak toplam yatak sayılarının hesaplanması için iki durum senaryosu çalıştırılacaktır. Hastaların önceliklendirme durumunda, hasta yatışı için bekleme süresinin minimum durumdaki yatak sayısı ve hastaların ilk gelenin hizmet alabileceği ve bekleme durumunun minimum olduğu yatak ihtiyacının belirlenebileceği durumlar modellenerek simüle edilecektir.

Çalışma, kamu yararının maksimizasyonun ön planda tutulduğu bir kamu üniversite hastanesinde yapılmasından dolayı herhangi bir maliyet fonksiyonu ve gelir fonksiyonu kullanılmamış, tedavi amacıyla gelen hastalar için ihtiyaç duyulacak yatak ve bekleme sürelerinin azaltılması öngörülmüştür.

Çalışmada gerçek operasyonel veriler, doğrudan simülasyon modeline uygulandığı için hastaların gelişleri ile ilgili herhangi bir dağılım varsayılmamıştır. Hastaların yoğun bakıma yatış durumunun değerlendirilmesi için istenen konsültasyonun istem, kabul ve sonuç zamanları, yoğun bakım yatış zamanları ve konsültasyonsuz yatış yapılan hastaların yatış zamanları girdi olarak alınmıştır. Yoğun bakım hekimi değerlendirilmesi sonrası hastaların yatışlarının uygun görülmesi veya uygun görülmemesi durumu olabilmektedir. Yatışı uygun

görülmeleyen hastalar bekleme hattından çıkartılır. Yatışı uygun görülenler ise yoğun bakım yatağının uygunluk durumuna göre, uygun yatak olması durumunda yatağa yatışı yapılabilir veya yoğun bakım yatağı için bekleme hattında beklemeye başlar. Bekleme durumunda hasta mevcut servis yatağında hizmet alması devam eder. Hastaların yoğun bakım yatağı bekleme süreleri ve kalış süreleri ile yoğun bakım yatışı uygun olan fakat yatışı yapılamayan hastaların bekleme süreleri gerçek verilerden çıkarılmıştır. Yatak ihtiyacının belirlenebilmesi için yatışı yapılan ve yatışı yapılamayan hastaların gerçek verileri kullanılmış, hayali hasta geliş ve hasta kalış süreleri eklenmemiş, mevcut süreçte hizmet alamadan ayrılan hastaların varlığı nedeniyle, hastaların yoğun bakım bekleme hattından ayrılışlarına kurulan modelde izin verilmiştir. Çalışmada performans parametreleri olarak hastaların yatak bekleme süreleri ile yatakların faydalı kullanım oranları kullanılmıştır.

Model doğrulama, inceleme yoluyla gerçekleştirilir ve model kodunun model spesifikasyonu ile karşılaştırılmasını içerir (Altıok & Melamed, 2007). Modelin amaçlanan şekilde davranmasını sağlamak için her bölüm tamamlandıkça ayrı ayrı doğrulanmış, modelin kurulum, çalıştırılma, sonuçlarının analizi aşamasında, yoğun bakım sorumlu hekiminden bilgiler alınmış, modelin gerçek sistemi yansıttığı hakkında doğrulanmıştır. Ayrıca modelin kurulum ve çalıştırılma aşamasında simülasyon programındaki model doğrulaması yapılarak çalıştırılmış, her senaryoda, çalıştırıldığı süre ve replikasyonlarda izlenmiş herhangi bir hata gözlenmemiştir. Bir simülasyon modelinin geçerliliğinin en kesin testi, çıktı verilerinin gerçek sistemin çıktı verilerine çok benzer olup olmadığıdır (Law, 2019). Bu doğrulama yaklaşımı, simülasyon modelimize uygulanabilir çünkü mevcut bir YBÜ'den gerçek çıktı verileri kullanılmıştır. Modelin ampirik verilerle (modellenecek gerçek yoğun bakım sisteminin ölçümleri) uygunluğu, simüle edilmiş durumundaki hastaların yoğun bakım yatak bekleme süresi ve yatakların faydalı doluluk oranı değişkenleri kullanılmıştır. Yapılan mevcut durum analizinde ve çalıştırılan senaryolarda benzer sonuçlar elde edilmiştir. Model uyumu, model tarafından tahmin edilen performans ölçütleri, gerçek hayattaki sistemdeki gözlemlenen karşılıklarıyla eşleştiği ve uyduğu gözlemlenmiştir. Senaryolar 870 günlük süre ve 10 replikasyon olarak çalıştırılmıştır.

Tablo 2'de mevcut durum senaryosu çalıştırılmış ve yoğun bakım ünitesinin %99 oranında kullanıldığı ve hastaların ortalama 28,7 saat yatak bekleme süreleri olduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 2: Mevcut Durum Senaryosu**

| Yatak Sayısı | Replikasyon Sayısı | Hastaların Yatak Bekleme Süreleri | Yatakların Faydalı Kullanım Oranı |
|--------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 35           | 10                 | 28.716                            | 0.990                             |

Modelde yoğun bakım hizmetlerinin, ne olursa senaryosu ile, hasta bekleme sürelerini azaltarak, uygun YBÜ yatak sayısına karar verilmesi amacıyla, belirli yatak sayılarında sürecin simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

Mevcut durumda PACU ve acil servis hastalarının bekleme olmadan YBÜ'ye alınma durumları olmaktadır. Tablo 3'te bu durum gözönünde bulundurularak çalıştırılan modelin sonuçları yer almaktadır. Yatakların faydalı kullanım oranları ve hasta bekleme sürelerine göre, minimum bekleme ve %79,5 faydalı kullanım durumunda mevcut duruma ilave 39 yatak gereksinimi daha bulunmaktadır.

**Tablo 3: Hasta Önceliklendirme Durum-Senaryosu**

| Yoğun Bakım Yatak Sayısı | Hastaların Yatak Bekleme Süresi (Saat) | Yatakların Faydalı Kullanım Oranı(%) |
|--------------------------|--|--------------------------------------|
| 5                        | 41,882                                 | 0,999                                |
| 10                       | 39,747                                 | 0,998                                |
| 15                       | 37,632                                 | 0,998                                |
| 20                       | 36,004                                 | 0,996                                |
| 25                       | 32,394                                 | 0,994                                |
| 30                       | 30,865                                 | 0,993                                |
| 35                       | 27,646                                 | 0,990                                |
| 40                       | 25,12                                  | 0,985                                |
| 45                       | 21,934                                 | 0,98                                 |
| 50                       | 16,504                                 | 0,964                                |
| 55                       | 11,891                                 | 0,943                                |
| 60                       | 7,4                                    | 0,919                                |
| 74                       | 0,998                                  | 0,795                                |

Hastaların yoğun bakım bekleme hattında önceliklendirme olmadan ilk gelen ilk hizmet alır (FCFS) durumuna göre kabul edildiğindeki farklı yatak sayılarındaki hasta bekleme ve faydalı yatak kullanım oranları Tablo 4'de verilmiştir. Bu durumda hastaların minimum kuyrukta bekleme ve faydalı kullanım oranının %81 olduğu durumda 26 yatak daha gerekmektedir.

**Tablo 4: Hasta Önceliklendirme Olmadığı Durum Senaryosu**

| Yoğun Bakım Yatak Sayısı | Hastaların Yatak Bekleme Süresi (Saat) | Yatakların Faydalı Kullanım Oranı(%) |
|--------------------------|--|--------------------------------------|
| 5                        | 36,768                                 | 0,999                                |
| 10                       | 33,924                                 | 0,998                                |
| 15                       | 32,733                                 | 0,996                                |
| 20                       | 30,441                                 | 0,995                                |
| 25                       | 26,546                                 | 0,987                                |

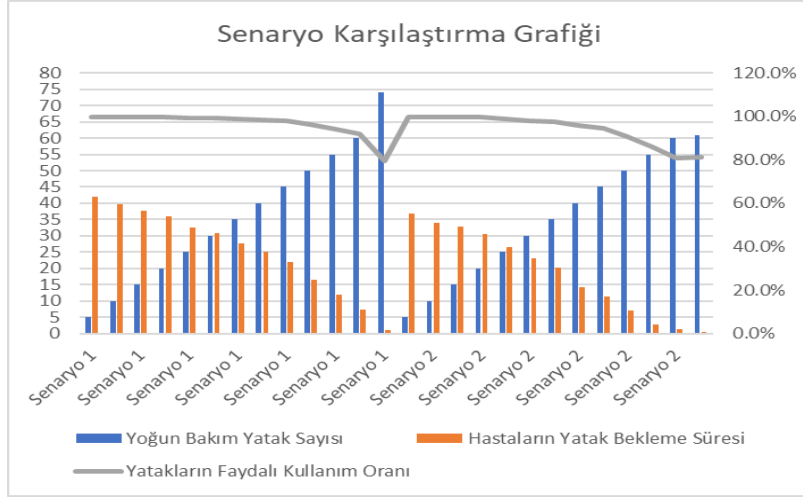
|    |        |       |
|----|--------|-------|
| 30 | 23,08  | 0,981 |
| 35 | 20,352 | 0,974 |
| 40 | 14,277 | 0,958 |
| 45 | 11,397 | 0,945 |
| 50 | 6,967  | 0,908 |
| 55 | 2,873  | 0,858 |
| 60 | 1,248  | 0,806 |
| 61 | 0,427  | 0,812 |

Hasta önceliklendirme olmadığı durum senaryosu durumda, 26 yatak ve hasta önceliklendirme olduğu durumda 39 yatak gerekmektedir. Bu durumda artış oranı %74'tür. Diğer bir deyişle, hastalar arasında öncelik belirlenmediğinde, daha fazla yatak kapasitesi sağlanması gerekmektedir.

## SONUÇ

Bu makale, bir kamu üniversite hastanesi YBÜ'deki yatak ihtiyaçlarını belirlemek amacıyla simülasyonunu gerçekleştirmek için ayrıık olay simülasyon modeli Arena simülasyon programı aracılığıyla geliştirilmiştir. Mevcut durumda yoğun bakım yataklarının kullanımında önceliklendirme söz konusudur, simüle edilen modellerde önceliklendirme durumu ve ilk gelen ilk hizmet alır durumundaki model çalıştırılmıştır.

Çalışmamız, yoğun bakım yöneticilerinin kapasite durumu ile ilgili daha iyi karar vermelerine yardımcı olacak öncelik ilkesini kullanarak YBÜ için farklı yatak kullanım sayısına ilişkin kapasite değerlendirmelerine girdi sağlamaktadır. Birinci durumda hastaların 0,99 saat bekleme süresinde 79,5% faydalı kullanım oranında 74 yatak gerekmektedir. İkinci senaryoda ise 0,427 saat bekleme süresinde %81,20 faydalı kullanım oranında 61 yatak gerekmektedir. Şekil 2' de görüldüğü gibi her iki senaryoda yoğun bakım yatak sayısı ilave edildikçe hastaların bekleme süreleri azalmaktadır. Belirli durumlarda hastaların bekleme olasılığının tıbbi olarak değerlendirilmesi gerekliliği ve kaynakların etkin yönetilmesi gerekliliğine göre oluşturulan senaryolardaki yatak sayıları belirlenebilir.

**Şekil 2: Senaryo Karşılaştırma Grafiği**

Sonuçlar, önerilen DES modelinin gerçek durumu doğru bir şekilde tanımladığını ve farklı ne olursa senaryolarını test edecek kadar esnek olduğunu göstermektedir. Modelin gerçek veri setiyle oluşturulması ve elde edilen sonuçların, YBÜ'lerdeki davranışı yeterince tanımlayabileceğini göstermektedir. Önerilen simülasyon modelleri, kapasite genişletme ile ilgili alternatifleri belirlemek ve ortalama yatak kullanım oranı tercihi ile YBÜ kapasitesini değerlendirmek için uygulanabileceğini göstermektedir.

**Yazar Katkı Oranı ve Çıkar Çatışması Beyanı:** Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı vermiştir ve herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### KAYNAKÇA

Altıok, T. & Melamed, B. (2007). *Simulation Modeling and Analysis with Arena*. London: Elsevier.

Alvarado, M., Lawley, M. & Li, Y. (2016 ). Healthcare Simulation Tutorial: Methods, Challenges, And Opportunities. *2016 Winter Simulation Conference (WSC)* (ss. 236-247). Washington: IEEE.

Antmen, Z. F. & Oğulata, S. N. (2013). The Capacity Planning of Intensive Care Units via Simulation: A Case Study in University Hospital. *Int.J.Appl. Math. Stat.*, 51 (21), 214-235.

Bai, J., Fügner, A., Gönsch, J., Brunner, J. O. & Blobner, M. (2021). Managing Admission And Discharge Processes In Intensive Care Units. *Health Care Manag Sci.*, 24 (4), 666-685.



Bai, J., Fügener, A., Schoenfelder, J. & Brunner, J. O. (2018). Operations Research In Intensive Care Unit Management: A Literature Review. *Health Care Management Science*, 21, 1–24.

Bamford, D. C. & Chatziaslan E. (2010). Healthcare Capacity Measurement. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 58 (8), 748–766.

Banks, J., Carson II, J. S., Nelson, B. L. & Nicol, D. M. (2005). *Discrete-Event System Simulation*. New Jersey: Pearson.

Barado, J., Guergué, J. M., Esparza, L., Azcárate, C., Mallor, F. & Ochoa, S. (2012). A Mathematical Model For Simulating Daily Bed Occupancy In An Intensive Care Unit. *Crit Care Med.*, 40 (4), 1098-1104.

Batun, S. & Begen, M. A. (2013). Optimization in Healthcare Delivery Modeling: Methods and Applications. B. T. Denton içinde, *Handbook of Healthcare Operations Management* (ss. 75-120). New York: Springer Science+Business Media.

Bountourelis, T., Ulukus, M. Y., Kharoufeh, J. P. & Nabors, S. G. (2013). The Modeling, Analysis, and Management of Intensive Care Units. B. T. Denton içinde, *Handbook of Healthcare Operations Management* (ss. 153-183). New York: Springer Science+Business Media.

Bowers, J. (2013). Balancing Operating Theatre And Bed Capacity In A Cardiothoracic Centre. *Health Care Management Science*, 16, 236–244.

Brailsford, S. C., Harper, P. R., Patel, B. & Pitt, M. (2009). An Analysis Of The Academic Literature On Simulation And Modelling In Health Care. *Journal of Simulation*, 3, 130–140.

Cohen, M. A., Hershey, J. C. & Weiss, E. N. (1980). Analysis Of Capacity Decisions For Progressive Patient Care Hospital Facilities. *Health Serv Res.*, 15 (2), 145–160.

Costa, A., Ridley, S., Shahani, A., Harper, P., De Senna, V. & Nielsen, M. (2003). Mathematical Modelling And Simulation For Planning Critical Care Capacity. *Anaesthesia*, 58, 320–327.

Davis, M. M., Aquilano, N. D., Chase, R. B. & Balakrishnan, J. (2005). *Fundamentals of Operations Management (1st Canadian Edition)*. Toronto: McGraw-Hill Ryerson.

De Lange, D. W., Soares, M. & Pilcher, D. (2020). ICU Beds: Less Is More? No. *Intensive Care Medicine*, 46, 1597–1599.

De vries, G., Bertrand, J. W. & Vissers, J. M. (1999). Design Requirements For Health Care Production Control Systems. *Production Planning & Control*, 10 (6), 559-569.

Garland, A., Olafson, K., Ramsey, C. D., Yogendran, M. & Fransoo, R. (2013). Epidemiology Of Critically İll Patients İn İntensive Care Units: A Population-Based Observational Study. *Critical Care*, 17 (5), 1-7.

Goldhill, D. R. & Sumner, A. (1998). Outcome Of İntensive Care Patients İn A Group Of British İntensive Care Units. *Critical Care Medicine*, 26 (8), 1337-1345.

Griffiths, J. D., Jones, M., Read, M. S. & Williams, J. E. (2010). A Simulation Model Of Bed-Occupancy İn A Critical Care Unit. *Journal of Simulation*, 4 (1), 52-59.

Griffiths, J. D., Price-Lloyd, N., Smithies, M. & Williams, J. (2006). A Queueing Model Of Activities İn An İntensive Care Unit. *IMA Journal of Management Mathematics*, 17 (3), 277-288.

Guerriero, F. & Guido , R. (2011). Operational Research İn The Management Of The Operating Theatre: A Survey. *Health Care Management Science*, 14, 89-114.

Günel, M. M. (2012). A Guide For Building Hospital Simulation Models. *Heath Systems*, 1 (1), 17-25.

Halpern, N. A., Pastores, S. M. & Greenstein, R. J. (2004). Critical Care Medicine İn The United States 1985-2000: An Analysis Of Bed Numbers, Use, And Costs. *Critical care medicine*, 32 (6), 1254-1259.

Hamrock, E., Kerrie, P., Parks, J., Scheulen, J. & Levin, S. (2013). Discrete Event Simulation for Healthcare Organizations: A Tool For Decision Making. *Journal of Healthcare Management*, 58 (2 ), 110-124.

Harper, P. R. & Shanani, A. K. (2002). Modelling For The Planning And Management Of Bed Capacities İn Hospitals. *J. Oper. Res. Soc.*, 53, 11-18.

Hickman, B. G. (1964). On a New Method of Capacity Estimation. *Journal of the American Statistical Association*, 59 (306), 529-549.

Jack, E. P. & Powers, T. L. (2009). A Review And Synthesis Of Demand Management, Capacity Management And Performance İn Health-Care Services. *International Journal of Management Reviews*, 11 (2), 149-174.

Jacobs, P. & Noseworthy, T. W. (1990). National Estimates Of İntensive Care Utilization And Costs: Canada And The United States. *Crit Care Med.*, 18, 1282-1286.

Jonsson, P. & Mattsson, S. A. (2009). *Manufacturing Planning and Control*. Berkshire: McGraw-Hill Education.

Karnon, J., Stahl, J., Brennan, A., Caro, J. J., Mar, J. & Möller, J. (2012). Modeling Using Discrete Event Simulation: A Report Of The ISPOR-SMDM Modeling Good Research Practices Task Force-4. *Medical decision making*, 32 (5), 701-711.

Katsaliak, K. & Mustafee, N. (2011). Applications Of Simulation Within The Healthcare Context. *J Oper Res Soc.*, 62 (8), 1431-1451.

Kim, S. H., Chan, C. W., Olivares, M. & Escobar, G. (2015). ICU Admission Control: An Empirical Study of Capacity Allocation and Its Implication for Patient Outcomes. *Management Science*, 61 (1), 19-38.

Kim, S.-C., Horowitz, I., Young, K. K. & Buckley, T. A. (1999). Analysis Of Capacity Management Of The Intensive Care Unit In A Hospital. *European Journal of Operational Research*, 115, 36-46.

Kokangül, A. (2008). A Combination Of Deterministic And Stochastic Approaches To Optimize Bed Capacity In A Hospital Unit. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 90 (1), 56-65.

Lamooki, G. R., Maleki, F. & Hajhosseini, A. (2014). A Mathematical Model For The Admission Process In Intensive Care Units. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 19 (1), 8-18.

Law, A. M. (2019). How To Build Valid And Credible Simulation Models. *2019 Winter Simulation Conference (WSC)* (ss. 1402-1414). National Harbor: IEEE.

Litvak, N., van Rijsbergen, M., Boucherie, R. J. & van Houdenhoven, M. (2008). Managing The Overflow Of Intensive Care Patients. *Eur J Oper Res.*, 185 (3), 998-1010.

Lyons, R. A., Wareham, K., Hutchings, H. A., Major, E. & Ferguson, B. (2000). Population Requirement For Adult Critical-Care Beds: A Prospective Quantitative And Qualitative Study. *The Lancet*, (355), 595-598.

Mallor, F. & Azcárate, C. (2014). Combining Optimization With Simulation To Obtain Credible Models For Intensive Care Units. *Annals of Operations Research*, 221, 255-271.

Maria, A. (1997). Introduction To Modeling And Simulation. *Proceedings of the 29th conference on Winter simulation* (ss. 7-13). Washington: IEEE.

Marmor, Y. N., Rohleder, T. R., Cook, D. J. & Huschka, T. R. (2013). Recovery Bed Planning In Cardiovascular Surgery: A Simulation Case Study. *Health Care Management Science*, 16, 314-327.

Marshall, D. A., Burgos-Liz, L., IJerman, M. J., Crown, W., Padula, W. V., Wong, P. K., . . . ISPOR Emerging Good Practices Task Force. (2015). Selecting a Dynamic Simulation Modeling Method for Health Care Delivery Research—Part 2: Report of the ISPOR Dynamic Simulation Modeling Emerging Good Practices Task Force. *Value in Health, 18* (2), 147-160.

Masterson, B. J., Mihara, T. G., Miller, G., Randolph, S. C., Forkner, E. M. & Crouter, A. L. (2004). Using Models And Data To Support Optimization Of The Military Health System: A Case Study In An Intensive Care Unit. *Health Care Manag Sci* 2004; *Health Care Manag Sci.*, 7, 217–224.

McManus, M. L., Long, L. C., Cooper, A. & Litvak, E. (2004). Queuing Theory Accurately Models the Need for Critical Care Resources. *Anesthesiology, 100*, 1271–1276.

Milbrandt, E. B., Kersten, A., Rahim, M. T., Dremsizov, T. T., Clermont, G., Cooper, L. M., . . . Linde-Zwirble, W. T. (2008). Growth Of Intensive Care Unit Resource Use And Its Estimated Cost In Medicare. *Crit Care Med.*, 36 (9), 2504-2510.

Monks, T., Worthington, D., Allen, M., Pitt, M., Stein, K. & James , M. A. (2016). A Modelling Tool For Capacity Planning In Acute And Community Stroke Services. *BMC Health Services Research, 16* (530), 1-8.

Nguyen, J. M., Six, P., Parisot, R., Antonioli, D., Nicolas, F. & Lombrail , P. (2003). A Universal Method For Determining Intensive Care Unit Bed Requirements. *Intensive Care Medicine*, (29), 849–852.

Ouyang, H., Argon, N. T. & Ziya, S. (2020). Allocation of Intensive Care Unit Beds in Periods of High Demand. *Operations research, 68* (2), 591–608.

Parker, A., Wyatt, R. & Ridley, S. (1998). Intensive Care Services; A Crisis Of Increasing Expressed Demand. *Anaesthesia, 53*, 113–120.

Phua, J., Hashmi, M. & Haniffa, R. (2020). ICU Beds: Less Is More? Not Sure. *Intensive Care Med.*, 46 (8), 1600–1602.

Rewa, O. G., Stelfox, H. T., Ingolfsson, A., Zygun, D. A., Featherstone, R., Opgenorth, D. & Bagshaw, S. M. (2018). Indicators Of Intensive Care Unit Capacity Strain: A Systematic Review. *Crit Care.*, 22 (86), 1-13.

Rhodes, A., Chiche, J.-D. & Moreno, R. (2011). Improving The Quality Of Training Programs In Intensive Care: A View From The ESICM. *Intensive Care Med.*, 37, 377–379.

Ridge, J. C., Jones, S. K., Nielsen, M. S. & Shahani, A. K. (1998). Capacity Planning For Intensive Care Units. *European Journal of Operational Research, 105* (2), 346-355.

Rodrigues, F. F., Zaric, G. S. & Stanford, D. A. (2018). Discrete Event Simulation Model For Planning Level 2 “Step-Down” Bed Needs Using NEMS. *Operations Research for Health Care*, 17, 42-54.

Sarode, V. V. & Hawker, F. H. (2019). Design And Organisation Of Intensive Care Units. A. D. Bersten, & N. Soni, *Oh's Intensive Care Manual* içinde (ss. 3-11). China: Elsevier.

Shahani, A. K., Ridley, S. A. & Nielsen, M. S. (2008). Modelling Patient Flows As An Aid To Decision Making For Critical Care Capacities And Organisation. *Anaesthesia*, 63, 1074–1080.

Siebers, P. O., Macal, C. M., Garnett, J., Buxton, D. & Pidd, M. (2010). Discrete-Event Simulation Is Dead, Long Live Agent-Based Simulation. *Journal of Simulation*, 4 (3), 204-210.

Silvester, K., Lendon, R., Bevan, H., Steyn, R. & Walley, P. (2004). Reducing Waiting Times At The NHS: Is Lack Of Capacity The Problem? *Clinician in Management*, 12 (3), 105-111.

Singer, M., Myers, S., Hall, G. & Cohen, S. L. (1994). The Cost Of Intensive Care: A Comparison On One Unit Between 1988 And 1991. *Intensive Care Medicine*, 20, 542–549.

Sobolev, B. G., Sanchez, V. & Vasilakis, C. (2011). Systematic Review Of The Use Of Computer Simulation Modeling Of Patient Flow In Surgical Care. *J Med Syst.*, 35 (1), 1-16.

Steins, K. & Walther, S. M. (2013). A Generic Simulation Model For Planning Critical Care Resource Requirements. *Anaesthesia*, 68 (11), 1148-1155.

Tao, L. & Liu, J. (2019). *Healthcare Service Management*. Switzerland: Springer Nature Switzerland AG .

Thorwarth, M., Rashwan, W. & Arisha, A. (2016). An Analytical Representation Of Flexible Resource Allocation In Hospitals. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 28, 148–165.

Topoyan, M. (2021). *Kuyruk (Bekleme Hattı) Teorisi*, Ankara: Seçkin Yayıncılık.

Troy, P. M. & Rosenberg, L. (2009). Using Simulation To Determine The Need For ICU Beds For Surgery Patients. *Surgery*, 146 (4), 608-620.

Özdemir, A. & Maruf, M. (2018). Differentiation of Service Speed With Multi Criteria Decision Making Techniques in Waiting Line Problems. *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 20 (3), 470-482.

Vlachos, D., Georgiadis, P. & Iakovou, E. (2007). A System Dynamics Model For Dynamic Capacity Planning Of Remanufacturing İn Closed-Loop Supply Chains. *Computers & Operations Research*, 34 (2), 367-394.

West, R. (2001). Objective Standards For The Emergency Services: Emergency Admission To Hospital. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 39, 4-8.

Zhu, Z., Hen, B. H. & Teow, K. L. (2012). Estimating ICU Bed Capacity Using Discrete Event Simulation. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 25 (2), 134-144.