

## YOĞUN BAKIM ÜNİTELERİNDE HASTA AKIŞININ DEĞERLENDİRMESİ: 3. BASAMAK HASTANELER İÇİN SİMÜLASYON MODELLEMESİ \*

Alkan DURMUŞ \*\*  
Ali ÖZDEMİR \*\*\*

### ÖZ

Yoğun bakım ünitelerinde hasta akışının modellenmesi, süreçlerin daha iyi anlaşılmasına ve bu modellerin kullanımı yoğun bakım sistemlerinin işlevselliğinin artırılmasına katkıda bulunabilir. Yoğun bakım ünitelerinde (YBÜ) hasta akışının kötü yönetimi, hasta beklemelerine ve hastaların reddedilmesine neden olabilir. Ayrıca YBÜ yönetimi kapasite yönetimi ve planlaması açısından önemli zorluklarla karşı karşıya kalır. Bu araştırma, 3. basamak kamu üniversite hastanesinde yoğun bakım hastaların akışının ayırık olay simülasyonu yöntemiyle modellenmesine ve kapasite ihtiyacına odaklanmaktadır. Yoğun bakım ihtiyacı olan ve biten hastaların servisler arasındaki geçişlerinde gecikmeler yaşanabilmektedir. Bu çalışmanın amacı, Yoğun Bakım Ünitesi (YBÜ) hastalarının kabul, yoğun bakım yatağı bekleme ve taburculuk süreçlerindeki kısıtlamaları simüle ederek, hastane yönetim politikalarının performansını değerlendirmek ve mevcut yatak sayısında hasta bekleme sürelerinin minimize edildiği bir senaryoda gereken yatak sayısını hesaplamaktır. Ayrıca, diğer servis yataklarının dolu olması nedeniyle geciken taburculuk sürecinin alternatif bir politika önerisiyle ele alınması hedeflenmektedir. Oluşturulan simülasyon modeliyle, YBÜ hizmetlerinin mevcut durumunu hasta bekleme süreleri açısından azaltılabileceği bulunmuştur. Tam zamanında hasta taburculukları YBÜ yataklarına nakledilecek hastaların ortalama bekleme sürelerinin azaltılabileceği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yoğun bakım ünitesi, hasta akışı, kapasite planlaması, simülasyon.


### MAKALE HAKKINDA

\* Bu çalışma, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı Doktora Programı kapsamında Prof. Dr. Ali ÖZDEMİR danışmanlığında ve Alkan DURMUŞ tarafından hazırlanan "Yoğun Bakım Kapasite Planlamasında Kuyruk Sorunlarının Ayırık Olay Simülasyonu İle Modellenmesi ve Bir Uygulama" (2023) başlıklı doktora tezinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

\*\*Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, alkan.durmus@deu.edu.tr

 <https://orcid.org/0000-0002-5806-9962>

\*\*\*Prof. Dr. Dokuz Eylül Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Anabilim Dalı, ali.ozdemir@deu.edu.tr

 <https://orcid.org/0000-0003-3555-2123>

Gönderim Tarihi: 13.06.2023

Kabul Tarihi: 09.11.2023

### Atıfta Bulunmak İçin:

Durmuş, A., & Özdemir, A. (2023). yoğun bakım ünitelerinde hasta akışının değerlendirilmesi: 3. basamak hastaneler için simülasyon modellemesi. Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi, 26(4), 1009-1032.  
<https://doi.org/10.61859/hacettepesid.1314024>

## ASSESSMENT OF PATIENT FLOW IN INTENSIVE CARE UNITS: SIMULATION MODELING FOR TERTIARY HOSPITALS\*

Alkan DURMUŞ\*\*  
Ali ÖZDEMİR\*\*\*

### ABSTRACT

Modeling patient flow in intensive care systems can contribute to a better understanding of processes and the utilization of these models can enhance the functionality of intensive care systems. Poor management of patient flow in intensive care units (ICUs) can lead to patient waiting times and patient rejections. Additionally, ICU management faces significant challenges in terms of capacity management and planning. This article focuses on modeling the flow of intensive care patients in a tertiary public university hospital using discrete event simulation method and addressing capacity needs. Delays can occur in the transitions between services for patients in need of intensive care and those who have completed their care. The aim is to evaluate the performance of patient flow management policies and calculate the required number of beds when the waiting times for patients are minimized in the current bed capacity, via simulations of the constraints in the admission, intensive care bed waiting, and discharge processes of Intensive Care Unit (ICU) patients. Furthermore, the study aims to address the delayed discharge process due to the unavailability of other service beds, by proposing an alternative policy. The simulation model created has been found to reduce waiting times for patients in the current state of the ICU services. It has been observed that the discharge of patients in a just-in-time manner has reduced the average waiting times for patients to be transferred to ICU beds.

**Keywords:** Intensive care unit, patient flow, capacity planning, simulation.

### ARTICLE INFO

\* This study has been derived from the dissertation titled "Modeling Queueing Problems in Intensive Care Capacity Planning with Discrete Event Simulation and an Application" which has been written by Alkan DURMUŞ at the Doctoral Program of department of Business Administration, Dokuz Eylül University, under the consultancy of Ali ÖZDEMİR, Prof. Dr.

\*\* Dr., Dokuz Eylül University, Institute of Social Sciences, Izmir, Turkey. alkan.durmus@deu.edu.tr

 <https://orcid.org/0000-0002-5806-9962>

\*\*\* Prof. Dr., Dokuz Eylül University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Business Administration, İzmir, Türkiye. ali.ozdemir@deu.edu.tr

 <https://orcid.org/0000-0003-3555-2123>

Received: 13.06.2023

Accepted: 09.11.2023

### Cite This Paper:

Durmuş, A., & Özdemir, A. (2023). yoğun bakım ünitelerinde hasta akışının değerlendirilmesi: 3. basamak hastaneler için simülasyon modellemesi. Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi, 26(4), 1009-1032. <https://doi.org/10.61859/hacettesid.1314024>

## I. GİRİŞ

Bir hastanede YBÜ'leri, durumları yaşamı tehdit eden ve kapsamlı bakım gerektiren akut hastalara sürekli gözetim ve son derece uzmanlaşmış bakım sağlayan (Azcarate vd., 2020) sınırlı kapasiteli, yoğun kaynak kullanan birimlerdir (Bountourelis vd., 2013). Bu birimler genel veya uzmanlaşmış olabilir ve belirli sistemlere, patolojilere veya sorunlara (ör. nörolojik, yanık veya travma YBÜ'leri ve tıbbi veya cerrahi YBÜ'ler) veya yaş gruplarına (ör. yetişkin veya ÇYBÜ) göre organize edilebilir (Nates vd., 2016). YBÜ hem iç hem de dış kaynaklardan gelen kritik hastalara bakım sağlar. Hastalar yoğun bakıma acil servisten, ameliyathaneden, cerrahi ünitelerden ve daha birçok iç üniteden gelmektedir (Bahalkeh vd., 2022). YBÜ kritik hastaları yönetmek için büyük miktarda kaynak tüketir (Botros vd., 2021) ve hasta bakım maliyetinin normal bir servise göre birkaç kat daha yüksek olması nedeniyle pahalı bir kaynaktır (Henning vd., 1987). Yoğun bakım hastaları, toplam hastane yatışlarının %5'ini oluştururken, hastane bütçelerinin % 15-20'sini oluşturmaktadır (Marlene, 1995 ; Bruyneel vd., 2023). Kıt ve maliyetli yoğun bakım tesislerinin kullanımını optimize etmek amacıyla yoğun bakımlara kabul ve taburculuk kriterleri oluşturulmuştur (Bakker vd., 2003). Yoğun bakım ünitesi, iyi düşünülmüş yatış, taburculuk ve triyaj politikaları ve prosedürlerini uygulayarak kritik hastalara verimli ve etkili bakım sağlayabilir (Egol vd., 1999). YBÜ kabul kriterleri, YBÜ bakımından yarar görme olasılığı yüksek olan hastaları seçmelidir (Bone vd., 1993). YBÜ'ye kabul edilen hastalar, artık YBÜ bakımına ihtiyaç duymayanları belirlemek için sürekli olarak yeniden değerlendirilmelidir. İdeal olarak, yoğun bakım ünitesinden transfer, hasta artık yoğun bakım ünitesine kabul kriterlerini karşılamadığında ve daha düşük bir bakım düzeyi için kabul kriterlerini karşıladığında gerçekleşir (Nates vd., 2016).

Yoğun bakım süreçleri, yoğun bakım yönetiminin zorluğunu artıran çeşitli belirsizlikler içerir. Yoğun bakım yataklarına olan talebin, nüfusun büyümesi ve yaşlanması (Marik , 2016) akut hastalık epizotları ile ilişkili kronik hastalıkları olan hastaların uzun süreli hayatta kalma sürelerinin artması ve yoğun bakım yatışından fayda görme olasılığı yüksek hastaların profili hakkındaki algıların değişmesi nedeniyle artması beklenmektedir (Rhodes vd., 2012). Yoğun bakıma olan talebin artması, yoğun bakım ünitelerinde kapasite sınırlamalarını olağan hale getirmektedir (Green, 2005) YBÜ kritik hastalara bakan hastaneler içinde kilit bir alan olması ve yüksek kaliteli bakım sunumu, bir dizi önemli YBÜ boyutlandırma ve kapasite sorunlarının ve kaynak yönetimi politika kararlarının analizini içerir (Mallor ve Azcarate, 2014). Bahsedildiği gibi, yoğun bakım kapasite planlaması, farklı bölümlerle etkileşim nedeniyle çok önemlidir. Yoğun bakım ünitesi kapasitesi aynı zamanda kabul ve taburcu süreçlerini ve bağlı bölümlerin programlanmasını da etkiler. Ek olarak, kapasite sınırlaması sadece yoğun bakım ünitesini değil, aynı zamanda diğer servislerinde hasta kabul ve taburcu süreçlerini engeller (Bai vd., 2018). Yoğun bakım hizmetlerinde hasta akışının modellenmesi, sistem faaliyetinin anlaşılmasında hayati önem taşır ve bu nedenle işlevselliklerinin geliştirilmesinde faydalı olabilir (Marshall vd., 2005).

Bu çalışma 3. basamak kamu üniversite hastanesi yoğun bakım ünitesinin gerçek hasta kabul ve hasta taburcu verilerini kullanarak, YBÜ hasta bekleme hattını bir bilgisayar simülasyon modeli aracılığıyla analiz etmektedir. Mevcut durumun bilgisine bağlı olarak YBÜ'nün gelecekteki bir durum üzerindeki etkisini incelemek için farklı yatak sayılarında ve taburculuk zamanlarında simüle edilmektedir. Bu çalışmanın üç temel amacı vardır. İlk olarak, hastane yönetiminin yoğun bakım ünitesinin performansını iyileştirmeye yönelik alternatif politikalar oluşturabilmesi için hasta kabul ve taburculuk modeli geliştirmek, ikinci hedef, YBÜ'nün yatak sayısının artırılarak hasta bekleme sürelerinin minimize edilmesi ve üçüncü hedef ise, genel olarak YBÜ'lerin hasta akışlarının nasıl iyileştirilebileceğine dair bazı çıkarımlar yapmaktır. Bu kapsamda öncelikle hasta akışı ve kapasite planlama kavramları hakkında teorik bilgiler verilerek, YBÜ'de hasta akışı ve kapasite planlama için kullanılan modeller ve yaklaşımlar incelenmiştir.

## II. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

### 2.1. Hasta Akışı ve Kapasite Planlama Kavramları

Hasta Akışı, sağlık hizmetlerinde hastaların bir sağlık tesisinde tüm bakım süreci boyunca hareketini ifade etmek için kullanılan bir terimdir (El-Bouri vd., 2021; Hall vd., 2006). Hasta akışı, bir hastanın sağlık hizmeti sunma sürecinde deneyimlediği gözlemlenebilir süreç olarak tanımlanır (Sobolev vd., 2013). Hasta için standart bir bakım kalitesi ve memnuniyet sağlarken, hastaların kabulden taburcu olmasına kadar gerekli tıbbi bakımı, kaynakları ve dahili sistemleri içerir (Hall vd., 2013). Hasta akışı, işlem hacmine benzer kabul edilir ve hastane operasyonlarında verimliliğin önemli bir ölçüsüdür. Klinik ve idari görevlerdeki süreç darboğazları, hasta taburculuklarını geciktirebilir ve daha düşük kaliteye ve daha yüksek maliyetlere yol açabilir (Devaraj vd., 2013). Yoğun bakım üniteleri, hastanelerdeki hasta akışında darboğaz rolü oynar (Litvak vd., 2008). Darboğazlar, süreçte bekleme ve gecikmelere neden olan aşamalarıdır ve aşamadan önce sıraya giren çok sayıda hasta veya uzun bekleme süreleri ile tanımlanırlar (Peck, 2017). Sağlık bakım sistemlerinde hasta akışının modellenmesi, sistem faaliyetinin anlaşılmasında hayati önem taşır ve bu nedenle işlevselliğinin geliştirilmesinde faydalı olabilir (Marshall vd., 2005).

Bir üretim sisteminde kapasite, birim zamanda üretilebilecek maksimum mal birimi sayısı ile ifade edilirken, bir hizmet sisteminde, kapasite terimi, birim zamanda yapılabilecek maksimum hizmet sunumu sayısını ifade eder. (Mahadevan, 2015) Kapasite planlaması, sağlık hizmetlerinde yüksek hizmet seviyelerine ulaşma ihtiyacı, pahalı ve uzmanlaşmış kaynakların varlığı ve talepteki belirsizlik nedeniyle önemli ve zorlu bir problem olarak kabul edilir. (Batun ve Begem, 2013) Sağlık hizmetlerinde mevcut kapasite talepten fazlaysa, kaynaklar yetersiz kullanılır ve maliyetler yükselir. Bu durum atıl personel, ekipman veya tesislere neden olur ve kuruluşun maliyetlerini artırır. Eğer mevcut kapasite hasta talebinin altındaysa, hastalar uzun bekleme sürelerine katlanmak zorunda kalır veya başka bir sağlık hizmeti sunucusu aramaya başlar. Hastane kapasitesi genel anlamda verimlilik, çıktı veya tedavi edilen hasta sayısı açısından hastanenin mümkün olan en iyi performansını tanımlayan bir üst sınır olarak tanımlanır. (Burdett ve Kozan, 2016) Yoğun bakım kapasite planlaması, bir YBÜ hasta bakımını yönetmek için gereken gerekli kaynakları ve altyapıyı belirleme sürecini ifade eder. Bu, hasta talebini karşılamak için gereken yoğun bakım yatak sayısının yanı sıra etkili bakım sağlamak için gereken personel, tıbbi ekipman ve malzemeleri de içermektedir.

### 2.2. Yoğun Bakım Ünitelerinde Hasta Akışı ve Kapasite Planlama İçin Kullanılan Modeller ve Yaklaşımlar

Hasta akışlarının modellenmesi, süreç iyileştirmeleri, kapasite planlaması, kaynak tahsisi ve planlaması ve randevu planlaması için içgörüler sağlayarak sağlık hizmeti sunumunun iyileştirilmesinde önemli bir rol oynar (Bhattacharjee ve Ray, 2014). Hasta akışını modellemek için: (1) kuyruk teorisi ve (2) simülasyon olmak üzere iki ana yaklaşım kullanılmaktadır (Marshall vd., 2005) Basit bir ifadeyle, kuyruk bir bekleme hattıdır (Bountourelis vd., 2013) kuyruk teorisi, bekleme hatlarının matematiksel teorisidir (Song ve Zhuang, 2017 ; Abhicharttiburta vd., 2018 ; Kumar vd., 2015). Bir sistemin kuyruk modeli, amacı, oluşumları ve süreleri rastgele olan hizmet taleplerini sistemin karşılama yeteneği ile ilgili faktörleri izole etmek olan soyut bir temsildir (Cooper, 1981). Kuyruk teorisinin amacı, rasgele değişkenlerin olasılık özellikleri (dağılım fonksiyonu, yoğunluk fonksiyonu, ortalama, varyans) olan sistemin ana performans ölçümlerini (sistemdeki müşteri sayısı, bekleyenlerin sayısı müşteriler, sunucuların kullanımı, müşterinin yanıt süresi, müşterinin bekleme süresi, sunucunun boşta kalma süresi, sunucunun meşgul süresi) elde etmektir (Sztrik, 2012 ; Memon vd., 2019 ; Lehoczky, 1996). Kuyruk teorisi: hava, yol ve internet kullanımının trafik analizi, çağrı merkezlerinde hizmet tasarımı, süpermarket, bankacılık, restoran ve sağlık hizmeti üretim süreçleri gibi birçok alanda uygulanmaktadır (Palvannan ve Teow , 2012). Kuyruk teorisi sağlık hizmetlerinde, yoğun bakım kaynaklarının planlanması (McManus vd., 2004) yatak planlaması çalışmalarında (Green, 2002) hasta bekleme listeleri oluşturulmasında (Worthington, 1987) acil ambulansların konumlandırılması (Restrepo vd.,

2009) gibi çalışmalarda kullanılmıştır. Araştırma ve uygulamadaki kuyruk problemlerin çözümü için analitik ve simülasyon yaklaşımlarının birleşik güçlerinden yararlanabilir (Lakshmi ve Iyer, 2013).

Hasta akışının simülasyonu, oldukça yararlı bir yönetim aracıdır (Mahachek, 1992). Simülasyon, gerçek dünyadaki bir sürecin veya sistemin işleyişinin zaman içinde taklit edilerek (Banks vd., 2005), gerçek olayla karşılaşmadan önce bir deneyim üretmek için kullanılan bir yöntem veya tekniktir (Gaba, 2004). Simülasyon, yeni sistem tasarımlarının, mevcut sistemlerde yapılan değişikliklerin ve kontrol sistemleri ve çalışma kuralları için önerilen değişikliklerin değerlendirilmesi ve analizi için güçlü bir araçtır (Carson, 2005). Simülasyon, tıp ve sağlık hizmetlerinde yaygın olarak kullanılan bir araştırma tekniğidir (Kovalchuk vd., 2018). Sağlık hizmetlerinde simülasyon yöntemleri, hasta akışı, kaynakların tahsisi, epidemiyoloji, sağlığın teşviki ve geliştirilmesi, sağlık politikası (hastalık önleme), sağlık ve bakım sistemlerinin işleyişi, sağlık ve bakım sistemleri tasarımı, tıbbi karar verme gibi alanlarda kullanılmaktadır (Mielczarek vd., 2012; Hulshof vd., 2012).

Model, tanımlanmış bir amaç için başka bir varlığı temsil etmek için kullanılan bir varlıktır (White ve Ingalls, 2015). Modelleme, amacı yeterince iyi bir model oluşturmak olan (Bukowski, 2019) yapıcı bir faaliyettir (Birta ve Arbez, 2013). Simülasyon modelleme, incelenen sistemin, gerçek sistemi yeterli doğrulukla tanımlayan bir modelle değiştirildiği (inşa edilen model, süreçleri gerçekte gerçekleşecekleri gibi tanımlar), deneylerin yürütüldüğü bir araştırma yöntemidir (Gromova ve Pupentsova, 2020). Simülasyon modelleme, karmaşık karar verme süreçlerinde (Paul, 1991), iletişim, savunma, sağlık, üretim ve ulaşım gibi çok geniş bir alanda gerçek dünyadaki sistemlerin davranışını araştırmak için kullanılır (Taylor vd., 2009). Simülasyon modellemenin amacı, bir simülasyon çalışmasının tüm önemli yönlerine ilişkin güncel bir yaklaşım sağlayarak (Law ve Kelton, 1991), son kullanıcılar için bir karar destek tekniği olarak hizmet etmektir (Smith vd., 2020). Simülasyon, sağlık hizmeti sunum analizi alanının hemen hemen tüm segmentlerinde kullanılmıştır. Sağlık hizmetlerinde simülasyon uygulamaları, personel kararları, tesis tasarımı ve konumu, hasta akışı, randevu planlaması, kapasite tahsisi ve lojistik için modellemeyi içerir (Shoab ve Ramamohan, 2022).

Simülasyon modelleme tekniklerini Monte Carlo Simülasyonu (MCS), Ayrık Olay Simülasyonu (DES), Sistem Dinamiği (SD) ve Etmen Tabanlı Simülasyonu (ABS) olarak ayrılabilir (Katsaliaki ve Mustafee, 2011; Brailsford vd., 2009). Ayrık olay simülasyonu, karmaşık sistemleri temsil etmek için sezgisel ve esnek bir yaklaşım sağlayan bilgisayar tabanlı bir modelleme biçimidir (Karnon vd., 2012; Zhang, 2018). DES, stokastik zamanlamalar ve karar ağaçlarını içeren süreç akışlarını modelleyebildiği için, montaj hatlarının, ürün işleme ve kuyruk sürelerinin açıkça tanımlandığı bir üretim ortamı için idealdir (Forbus ve Berleant, 2022; Damiani vd., 2016). Ayrık olay simülasyonu ile diğer model türleri arasındaki temel fark, simülasyonun bireylerin ayrıntılı aktivitelerini tanımlaması, analitik stokastik ve deterministik modellerin ise homojen grupların akışını tanımlamasıdır (Davies ve Davies, 1994). Ayrık olay simülasyon modelleri karmaşık ancak esnek özelliklere sahiptir ve bu da onları sağlık uygulamaları için son derece popüler kılmaktadır (Marshall vd., 2005). Bu simülasyon türü, bir sistemin zaman içinde modellenmesini içerir. Ayrık olaylar, sistemin durumunu ve dolayısıyla performans ölçütlerini etkileyen belirli zamanlarda meydana gelir (Law, 2007). Ayrık olay simülasyonları, dinamik ve stokastik olarak durum değiştiren, olayların durum değişikliğini tetiklediği sistemleri modellemek için kullanılır ve güçlü bir kuyruk yapısı sergileyen sistemlerde kullanılır (Günel, 2012). Ayrık terimi, simülasyonların bir olayın zamanından bir sonrakinin zamanına kadar ayırık aralıklarla zamanda ilerlemesi ve olayların ayırık olması veya yalnızca karşılıklı olarak meydana gelmesi gerçeğini ifade eder (Karnon, vd., 2012). Bir ayırık olay simülasyonunda, bireysel varlıklar, akış hızının stokastik hizmet ve bekleme süreleri, kaynak kullanılabilirliği ve kuyruk rejimleri tarafından belirlendiği bir hizmet kuyruğu ağı etrafında akar (Brailsford, 2007). Bu tür modellemenin gücü, sistem ayrıntılarını, zamana bağlı davranışı ve karmaşık sistem kısıtlamalarını dahil etme yeteneğidir. Simülasyon, karar vericilerin sistem performansı hakkındaki bilgilere ve değişen koşulların zaman içindeki etkilerine ilişkin içgörüyü erişmesine olanak tanır (Griffin vd., 2012). Ayrık Olay Simülasyonunun kritik bir avantajı da her varlığın geçmişinin ve belirli varlıklar arasındaki etkileşimin tam temsiline izin verir (Barton vd., 2008).

### 2.3. Literatür

YBÜ'lerde hasta akışının verimli yönetimi, yüksek kaliteli bakım sağlamak ve hastane kaynaklarının kullanımını optimize etmek için kritik öneme sahiptir. Yoğun bakım hizmetlerine olan talebin artmasıyla birlikte YBÜ'ler, hasta kabulü, yatak mevcudiyeti ve taburculuk süreçleriyle ilgili çok sayıda zorlukla karşı karşıyadır. Bu zorluklara yanıt olarak sağlık kuruluşları, yoğun bakım hasta akışının performansını değerlendirmek ve alternatif yönetim politikalarını test etmek için literatürde kullanılan çeşitli stokastik (sıralama modelleri, MDP), deterministik (matematiksel programlama) ve ampirik (istatistiksel) yöntemler vardır (Bai vd., 2018 ; Lin vd., 2009). Hastane sistemlerindeki hasta akışlarının modellenmesine ilişkin mevcut yaklaşımlar, gelecekteki araştırma yollarını belirlemek için son gelişmelere odaklanılarak sınıflandırılmış ve eleştirel bir şekilde değerlendirilmiştir. Hastane süreçlerini iyileştirmek, kapasite planlama, kaynak tahsisi, operasyonları programlama ve süreçleri iyileştirme hakkında en uygun kararları almak için hasta akışını dikkate almanın önemi vurgulanmıştır. Hasta akışının kaynak tahsisini ve bakım performansını nasıl etkilediğini ele alınarak, karmaşık hasta akışlarını modellemek için simülasyonun en uygun yöntem olduğu sonucuna varılmış ve bölüm etkileşimlerini ve bakım yollarını göstermek için entegre bir çok aşamalı hasta akış modelinin geliştirilmesini önermişlerdir (Bhattacharjee ve Ray, 2014). Bu literatür taramasında, kuyruk teoremi ve simülasyon modelleme yaklaşımlarına odaklanarak yoğun bakım ünitelerindeki ve diğer hastane birimlerindeki hasta akışına ilişkin araştırmaların mevcut durumu incelenmiştir. Spesifik olarak, simülasyon modellemenin, yoğun bakım ünitesi hasta akışının performansını değerlendirmek, darboğazları ve verimsizlikleri belirlemek ve hastanelerde alternatif yönetim politikalarını test etmek için nasıl kullanılabileceği araştırılmıştır. Ayrıca yoğun bakım ünitesi hasta akış yönetimi için simülasyon modellemenin potansiyel faydalarını ve sınırlamalarını vurgulanmıştır.

El- Darzi ve diğerlerinin (1998) çalışmasında, yatak yönetimini optimize etmek için hastaların kalış süresi, doluluk ve yatak blokajının hasta akışı üzerindeki etkisini incelemek için bir hastanedeki geriatri bölümü analiz edilmiştir. Bir kuyruk sistemi yardımıyla model, farklı birimler arasındaki yatak tıkanıklık miktarları tahmin edilmiş, her durumdaki akışı ve akışı etkileyen temel faktörleri belirlemek için ayrık olay simülasyonu kullanılmıştır. yatak gereksinimlerinin daha iyi anlaşılması ve kaynakların etkin kullanımına yönelik modelin kullanılabilmesi varsayılmıştır.

Elbeyli ve Krishnan (2000)'nin yaptıkları çalışmada, hastanedeki acil servis ve diğer birimleri etkileyen yatan hasta akışı darboğazlarını belirlemek ve yatak mevcudiyetinin, hastanenin diğer birimlerine nakledilmeden önce acil servise kabul edilen hastaların bekleme süresi üzerindeki etkisini değerlendirmek için yatan hasta akışını incelenmiştir. Hastaların uzun bekleme sürelerinin kaynağını darboğazlar olduğu vurgulanmış ve analiz aracı olarak simülasyon kullanılmıştır. Oluşturulan senaryoların, hastane yöneticilerine yönetim kararı vermeleri için faydalı bilgiler sağlayacağı varsayılmıştır.

Costa ve diğerlerinin (2003) çalışmasında, yoğun bakım ünitesindeki yatak sayısını hesaplamak için bir model önermiş, modelde, bir yıl içinde beklenen hasta sayısını, kalış süresini ve hedef doluluk seviyesini belirlemek için farklı kategorilerdeki verilerin dağılımı kullanılmıştır. Modelin adımları ; 1) hasta akışını açıklamak için kurallar gereklidir; 2) mevcut hasta vaka karması, geliş şekilleri, kalış süresi ve yatak sayısı hakkında istatistiksel bilgilere ihtiyaç vardır; ve 3) hastaların uzun süreler boyunca geliş ve gidişleri, şekilde tanımlanmıştır. Model, kuyruk teorisine dayanmaktadır ve karmaşık matematiksel denklemleri çözmek için bilgisayar simülasyonu kullanılmıştır.

Cochran ve Bharti (2006) 'nin yaptıkları çalışmada, yatak bloke olmasını azaltarak yatak kullanımını dengelemek için bir model önermiş, çalışma bir kadın doğum hastanesinde yatak ünitesi kullanımını dengelemeyi ve yatak yeniden yatak tahsisi konusunda verilen kısıtlamalar dahilinde üst ünitelerdeki yatak blokajını en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Kuyruk ağları ilk önce akış modellerini analiz etmek için kullanılmış, ardından akışı en üst düzeye çıkarmak için ayrık olay simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Model, akışı maksimize etmek ve bekleme sürelerini belirlemek için simülasyon kullanılmış; araştırmada ARENA simülasyon paketi kullanılmıştır.

Dobson ve diğerlerinin (2008) çalışmasında, hasta yoğunluğu olan tek bir yoğun bakım ünitesinin stokastik bir modeli geliştirilmiş, planlayıcıların farklı kapasite ve varış modelleri altında hasta yoğunluğu açısından performansı tahmin etmeleri amaçlanmıştır. Bu amaçla, hastaları en kısa kalan hizmet süresiyle (belirleyici nicelikler olarak modellenen) taburcu etmeyi seçen bir politika analiz edilmiş, gerçek bir hasta akışı veri seti kullanılarak ampirik bir performans değerlendirmesi sunulmuştur.

Shahani ve diğerlerinin (2008) çalışmasında, yoğun bakım ünitelerindeki hasta akışına yönelik, gerçek verileri kullanarak, bir kapasite veya organizasyonel değişikliğin ardından hasta akışlarını tahmin etmek amacıyla bir simülasyon modeli kullanılmıştır. Modelde, yatak sayısındaki artışları, hastaların kalış sürelerindeki değişiklikleri, daha az gecikmiş taburculukları, uzun süreli yatış bakımını içeren bir dizi senaryoda hizmet sunumundaki değişiklikleri tahmin etmek için kullanılmıştır. Kritik bakım kapasitesi ve organizasyonunda Değişkenliği ve belirsizliği gözönünde bulundurarak daha iyi kararlar alınabileceği vurgulanmıştır.

Oddoye ve diğerlerinin (2009) çalışmasında, genel bir hastanede akut hasta akışındaki darboğazları azaltmak ve optimum klinik iş akışına ulaşmak için darboğazları ortadan kaldırmak amacıyla farklı senaryoların hedef programlama yardımıyla simülasyonu yapılmıştır. Uygulamadaki hastanede hasta akışı için Micro Saint'de geliştirilen görsel etkileşimli modelleme sistemi tasarlanmıştır. Simülasyon modeli, hastaların tıbbi değerlendirme biriminden minimum gecikme ile geçmesi için gerekli olan kaynak seviyelerine çözüm bulmada etkili olduğunu açıkça göstermiştir.

Kolker (2009) çalışmasında, YBÜ hasta akışı ve değişkenliğinin analizi için, günde maksimum kaç elektif ameliyat planlanmalıdır sorusuna cevap bulabilmek amacıyla, bir metodoloji geliştirilmiştir. Elektif ameliyatlara günlük yük dengelemesi ile YBÜ arasında niceliksel bir bağlantı kurmak için bir YBÜ hasta akışı simülasyon modeli geliştirilmiştir. Amaç, sabit yatak kapasiteli bir YBÜ'de diversiyonu kabul edilebilir düşük bir düzeye indirmektir.

Zhao ve Lie (2010)'nin yaptıkları çalışmada, acil servisteki hasta akışını, kaynak kullanımı modellemek ve kalabalığı azaltmak için ayrık olay simülasyonu yöntemini önermişlerdir. Hasta akışlarının dikkatli ve yapılandırılmış bir analizi, tıkanıklıkları azaltabilir ve bir hastane sisteminin performansını önemli ölçüde iyileştirebileceği varsayılmıştır.

Rohleder ve diğerlerinin (2011) çalışmasında, bir ortopedi ayakta tedavi kliniğinde zayıf hasta akışının (yüksek bekleme süreleri ve hasta tıkanıklığı) nedenlerini teşhis etmek ve klinikte iyileştirme önlemlerini belirlemek için ayrık olay simülasyonunu kullanılmıştır. Uygulamadan önce ve sonra alınan verilerin istatistiksel analizi, bekleme süresi önlemlerinin önemli ölçüde iyileştirdiğini ve klinikte genel hasta süresinin azaldığını göstermektedir.

Hagen ve diğerlerinin (2013) çalışmasında, beş yoğun bakım ünitesinin süreç akışının geliştirilmesinde simülasyon yöntemi kullanarak, her bir yoğun bakım ünitesi için alt modellerle birlikte altı farklı kuyruklama yöntemini farklı öncelik yöntemleriyle analiz etmiştir. Oluşturulan senaryolar, (1) hastalara öncelik verilmeyen, ancak elektif ameliyatlara için ameliyat programını yumuşatmanın avantajlarının incelenmesi, (2) İkinci grup, beklenen yatış süresi veya hasta ciddiyetine göre kabullerin önceliklendirilmesi arasındaki farkları analiz edilmesi, (3) yoğun bakım ünitesinin erken taburcu edilmesine izin verilen ve muhafazakar ve agresif politikaların karşılaştırılması şeklinde oluşturulmuştur. Bir sağlık kuruluşu yalnızca en yüksek verimlilikle çalışmaya odaklanırsa, hasta bakım kalitesinin düşebileceğini, bazı öncelikli yöntemlerin ise genel bekleme sürelerini artırdığını ve görülen hasta sayısını azalttığını, ancak hasta ölüm oranını iyileştirdiğini ve hizmet kalitesini koruduğu sonuca varılmıştır.

Santos ve diğerlerinin (2013) çalışmasında, omurilik yaralanması olan bir hastanın sağlık hizmetleri sistemindeki yolculuğunu değerlendirmek için ayrık olay simülasyonu kullanmış, oluşturulan

modellerle, tetraplejili hastalara erken ameliyat sağlamanın nörolojik iyileşme üzerinde doğrudan etkisi olduğunu ve ayrıca dolaylı olarak maliyet düşürme üzerinde etkisi olduğunu öne sürmüşlerdir.

Mathews ve Long (2015) çalışmasında, gerçek verilerle, YBÜ ve SDU hasta akışını anlamak ve iyileştirmek için kuyruk teorisini ve simülasyon modellemesi kullanılmış, varsayımsal birim yeniden boyutlandırma senaryolarını incelenerek, kabul bekleme süreleri ile yatak doluluk oranları üzerindeki etkisi ölçülmüştür. YBÜ yatağı için ortalama bekleme süresini azaltabileceği, ancak en üst düzeyde bakıma ihtiyaç duymayan hastalar için bekleme süresini artırtabileceği sonucuna varılmıştır.

Williams ve diğerlerinin (2015) çalışmasında, iki bölge hastanesinden hasta akışının transferinin yeni inşa edilen bir hastanede yeni kurulan birleşik yoğun bakım kapasitesi gerekliliklerini nasıl etkileyeceğini araştırmak için matematiksel model oluşturulmuştur. Birleşik yoğun bakım ünitesi, kuyruğa izin verilmeyen (kayıp kuyruğu) aynı paralel sunuculara sahip çok kanallı, tek aşamalı bir sistem olarak modellenmiştir. Model, yeni hastanede sağlanması gereken optimal yatak sayısını tahmin etmek için birden farklı senaryo çalıştırılmıştır. Hasta akışlarının matematiksel modellemesi, yeni bir hastanede gerekli yoğun bakım kapasitesini nesnel olarak belirlemek ve yeni tek birimin talep değişikliklerini ne kadar iyi karşılayabileceğini tahmin etmek için yararlı bir araç olabileceği varsayılmıştır.

Pendharkar ve diğerlerinin (2015) çalışmasında, multidisipliner bir uyku merkezinde teşhis ve tedaviye zamanında erişimin olmaması probleminde yönelik olarak uzun bekleme sürelerine yol açan sistem kısıtlamalarını belirlemek ve erişimi iyileştirebilecek çözümleri test etmek için hasta akış simülasyonu modellemesi kullanılmıştır. Uyku merkezindeki farklı alanlara kapasite eklenmesi ve aciliyete göre önceliklendirmenin ortadan kaldırılması da dahil olmak üzere dört olası çözüm modellenmiştir. Model içinde doktor kapasitesinin eklenmesi, hasta sevkinden ilk doktor randevusuna kadar geçen süreyi iyileştirdi, ancak polisomnografi talebinden testin tamamlanmasına kadar geçen süreyi kötüleştirdi ve hasta sevkinden tedavinin başlamasına kadar geçen süre üzerinde hiçbir etkisi olmamıştır. Modeli, yöneticiler tarafından önerilen kapasite genişletmeye yapılan yatırımların, klinik olarak anlamlı bir hasta sonucuna ulaşma süresini kısaltmayacağını öngörmüştür.

Lovett ve diğerlerinin (2016) çalışmasında, bir üniversite hastanesinde, sistem genelinde yatan hasta hizmetlerine yönelik arz ve talebi yönetmek için birden fazla hizmeti tek bir hasta akış yönetim merkezine entegre eden yenilikçi bir yaklaşım önermişlerdir. Hasta akışının yönetiminin merkezileştirilmesi ve bu sistemin bilgi teknolojisi ve verilerle desteklenmesi, kurumsal iletişimi, koordinasyonu ve hesap verebilirliği geliştirmek ve en yüksek performansı elde etmek için kritik öneme sahip olduğu belirtilmiştir.

Bard ve diğerlerinin (2016) çalışmasında, bir Aile Sağlığı Merkezinde bir ağ olarak bir dizi faaliyet aracılığıyla hasta akışını taklit etmek için ayrık olay simülasyonu uygulanmıştır. Klinikteki hasta akışının daha iyi anlaşılmasını sağlamak, mevcut planlama kuralları ve işletim prosedürlerindeki değişikliklerin neler olabileceği araştırılmıştır. Hastanede uzun kalma süreleri ve yüksek hizmet sağlayıcı kullanımı gibi hasta memnuniyetini tehlikeye atan etkili faktörler hakkında öngörüler elde edilmiştir.

Willoughby ve diğerlerinin (2016) çalışmasında, konuşma ve dil hizmetlerinde hasta akışını iyileştirmeye yönelik ayrık olay simülasyonu ile sistem çapında bir hasta akışının haritası çıkarılmış ve artan grup tedavileri, yardımcı profesyonel kullanımı vb. içeren entegre politika değişikliklerinin etkinliği test edilmiştir. Farklı değişim fikirlerini aynı anda benimsemenin etkisini belirlemek için yukarıdaki stratejilerin kombinasyonlarını da test edilerek hasta akışını iyileştirmeye yönelik stratejileri gerçek uygulamada kullanmışlardır.

Hasan ve diğerlerinin (2020) çalışmasında, ayrık olay simülasyonu kullanılarak, farklı operasyonel politikaların yoğun bakım ünitesinin davranışı ve performansı üzerindeki etkisini araştırılması amaçlanmış ve yoğun bakım ünitesinde acil servis hasta akışının kavramsal modeline dayalı bir dizi işletim politikası geliştirilerek ve uygulanmıştır. Artan taburculukların toplam yatış sayısı ve ortalama



hasta bekleme süreleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. Ek olarak, karma hasta popülasyonunda elektif cerrahi hastalarının daha büyük oranları YBÜ performansının önemli ölçüde düşmesine yol açabileceği vurgulanmıştır.

Hadjipavlou ve diğerlerinin (2020) çalışmasında, YBÜ hasta akış davranışını, sınırlamalarını ve potansiyel optimizasyon alanlarını anlamak için, stres altında en uygun YBÜ kaynak kullanımının, yatak doluluğu ile acil yatışları ve güvenli olmayan çalışma düzeylerinden ödün vermeden uygunsuz seçmeli yatışları en aza indirme arasında bir denge olduğunu Monte Carlo modelleme yaklaşımını kullanarak gösterilmiştir. 12 aylık yoğun bakım verilerini kullanarak, doluluk ile uygunsuz yatışlar ve güvensiz günler arasındaki eşliği bulmak için farklı sevk oranlarını simüle edilmiştir. Modelin, YBÜ verimliliğini artırmaya yönelik en uygun stratejileri tahmin etmek için herhangi bir yoğun bakım ünitesine uyarlanabileceği varsayılmıştır.

Leviner (2020) çalışmasında, hastanelerde hasta akışının önemine ilişkin literatürü gözden geçirmiş ve bu alandaki araştırmalara rehberlik edecek kavramsal bir hasta akışı modeli sunmuştur. Uygulama ve araştırmayı yönlendirmek için kavramsal bir model kullanmak, akışı ve sonuçları iyileştirmeyi amaçlayan müdahaleleri ve sorunları anlamaya ve geliştirmeye yardımcı olacağı varsayılmıştır.

Bu literatür taramasında, kuyruk teoremi ve simülasyon modelleme yaklaşımlarına odaklanılarak, yoğun bakım ünitelerindeki ve diğer hastane birimlerindeki hasta akışına ilişkin araştırmaların mevcut durumunu incelenmiştir. Simülasyon modellemesi, yoğun bakım ünitesi hasta akışının performansını değerlendirmek, darboğazları ve verimsizlikleri belirlemek ve hastanelerde alternatif yönetim politikalarını test etmek için kullanılabilen en uygun yöntemlerden biridir. Hasta akışı, hastane süreçlerini iyileştirmek, kapasite planlama, kaynak tahsisi, operasyonların programlanması ve süreçlerin iyileştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

### III. GEREÇ VE YÖNTEM

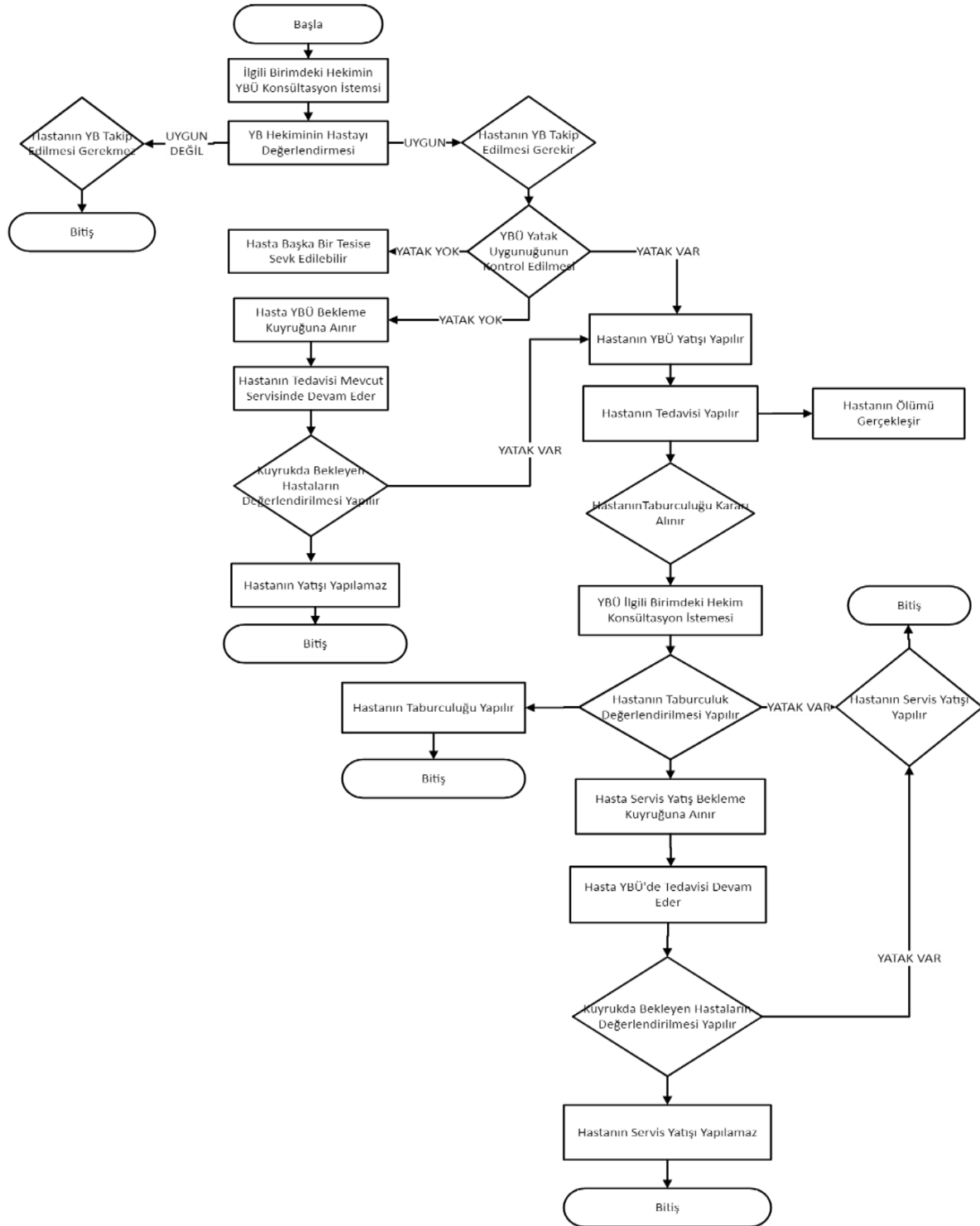
#### 3.1. Yoğun Bakım Hasta Kabul Ve Taburculuk Süreçleri

Bu çalışma, bir üniversite eğitim araştırma hastanesinde Anestezi ve Reanimasyon Yoğun Bakım Ünitesi ve Dahili Yoğun Bakım Ünitesi hasta akışlarını ele almaktadır. YBÜ'lerinin toplam 35 yatak kapasitesi bulunmaktadır ve boyutu çok büyük (> 30 yatak) kategorisinde yer almaktadır. (Wallace vd., 2017). Şekil 1'de gösterildiği gibi, yoğun bakıma hastaların kabul süreci, ilgili birimlerde yatan hastaların doktorları tarafından yoğun bakım uzman hekimine konsültasyon istenmesi ile başlamaktadır. YBÜ hastaları için üniteye kabul edilmeden önce ilgili servis sorumlu hekimi tarafından yoğun bakım sorumlu hekimine konsültasyon istenmektedir. Konsültasyon istemi yapılan hastaların istemleri Hastane Bilgi Yönetim Sistemi üzerinden yapılır ve konsültasyon istem zamanı olarak sisteme kayıt edilir. Yoğun bakım uzman hekimi diğer servislerden istenen konsültasyonların istem zamanlarına göre kabul eder ve konsültasyon kabul zamanı olarak sisteme kayıt edilir. Hastaların yoğun bakım uzmanı tarafından muayene edilmesinden sonra sonuç raporu yazılır ve sonuç zamanı olarak sisteme kayıt edilir. Hastaların yoğun bakım ünitesinin kabul kararı: hastanın "nitelikleri" ve yoğun bakım ünitesinin "durumu" göz önünde bulundurularak alınır. Hastanın özellikleri, hastalığın şiddeti, yaşı, beklenen kalış süresi ve olası sonuç gibi faktörleri içeren bir öncelik modeli uygulanmaktadır. Hastanın özellikleri, hastalığın şiddeti, yaşı, beklenen kalış süresi ve olası sonuç gibi faktörleri içeren bir öncelik modeli uygulanmaktadır. Yoğun bakım ünitesinde boş duruma düşen yataklara yatış kararı verilen bu durumlar göz önünde bulundurularak yatış işlemi gerçekleştirilir ve hastaların hastalıklarına göre 3. basamak yoğun bakım hizmeti verilir. Hastaların yoğun bakım kabul kriterlerine uygun olması durumunda ve yoğun bakım yatağının uygun olması durumunda hasta boş yatağa yatırılır. Hastaların hastalıkları ve tedavilerine yoğun bakım yatış süreleri hastadan hastaya değişkenlik göstermektedir.

Eğer hastanın durumu yoğun bakım kabul kriterlerine uygun değilse hasta kabulü yapılmaz ve hastanın tedavisi mevcut servis yatağında devam eder. Hastanın yoğun bakım tedavisi için kabul edildiğinde ve yoğun bakım boş yatağının olmadığı durumda hastalar başka bir sağlık tesisine sevk

edilebilir veya mevcut servis yatağında tedavisi devam eder ve yoğun bakım yatışı beklemeye alınır. Yoğun bakım yatışı yapılan hastaların tedavi süreci sonlandığında yoğun bakım sorumlu hekimi hastayı devir aldığı servis sorumlu hekimine hastanın devir alınması için konsültasyon girişi yapar ve hasta kabul aşamasındaki konsültasyon süreci işler. Hastanın durumunu değerlendiren servis sorumlu hekimi eğer hastanın durumu serviste takip edilmeye uygun ve serviste boş yatak var ise hastanın yoğun bakım taburculuğu gerçekleştirilir. Hastanın taburcu edileceği serviste boş yatak olmaması durumunda ve hasta taburculuğunun uygun olmadığı durumda hastanın tedavisi yoğun bakım ünitesinde devam etmektedir. Hasta taburculuk servisi için hasta bekleme kuyruğuna alınır ve diğer serviste yatakların boş durumuna gelmesi durumunda taburculuğu gerçekleşir. Hastanın ölümü, başka sağlık tesisine sevk isteme durumu, tedavi sonrası eve taburculuk gibi durumlarda hastaların taburculuk durumu gerçekleşebilir. Bu gibi durumlarda servis konsültasyon istem süreci işletilmez ve hastanın taburculuğu yapıldığında yoğun bakım yatağı boş duruma gelerek yeni hasta kabulü yapılır.

Şekil 1. Yoğun Bakım Hasta Akış Süreci



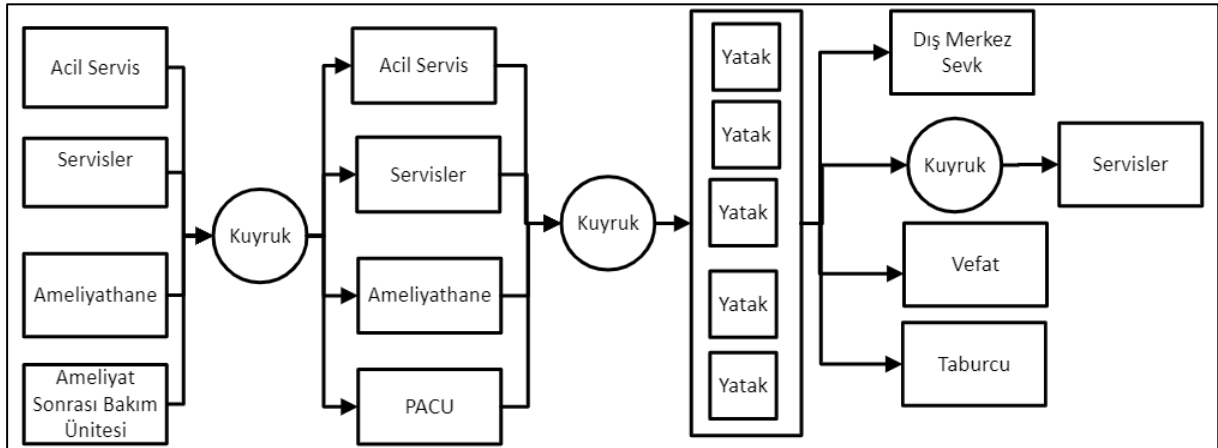
### 3.2. Problemin Tanımı ve Modellenmesi

YBÜ yataklarına yönelik artan talep, etkin kabul, taburcu ve bakım süreçlerini gerektirmektedir (Bahalkeh vd., 2022). Hasta akışının, hastanelerin kalite ve güvenlik, hasta deneyimi, maliyet yönetimi ve büyüme hedeflerine ulaşması için kritik olduğu yaygın olarak kabul edilmektedir (Brideau, 2004).

Bir hasta akış modeli, gelen, bekleyen, hizmet verilen ve ayrılan 'öğelerden' oluşur. Bu öğeler tipik olarak ortalamalar ve varyanslarla birlikte olasılık dağılımları ile tanımlanır. Bekleme süresi, kuyruğun varış hızından ne kadar hızlı oluştuğuna, bir "ögeyi" sunmak için geçen süreye ve kaç sunucu olduğuna bağlıdır. Hizmet süresi, yapılan işin niteliğine ve bir "parçanın" ayrılmasının ne kadar hızlı sürdüğüne bağlıdır; ancak genellikle tek bir süreç olarak temsil edilir. Kendi doğası gereği, tüm akış tek bir doğrusal yoldur (Hadjipavlou vd., 2020). Hasta akışının iyileştirilmesi, talebi karşılamak ve yatan hasta görüşmesinin tamamı boyunca hastalar için gecikmeleri ve katma değeri olmayan süreçleri önlemek için kaynakların sağlanmasını ve kullanımını optimize etmek olarak tanımlanabilir (Lovett vd., 2016). Kritik hastalar için kabul bekleme süresini en aza indirme ve yatak kullanımını en üst düzeye çıkarma şeklindeki karşıt hedeflerin dengelenmesi, her bir hastanenin önceliklerine, hasta popülasyonuna ve fiziksel ve mali kısıtlamalara göre uyarlanmalıdır (Mathews ve Long, 2015). Hasta akışının iyileştirilmesi, hastane verimliliğinin artırılması ve hasta memnuniyetinin artırılması için çok önemli görülmektedir (Villa vd., 2009).

Bu çalışmanın temel problemi, 3. basamak bir kamu üniversite hastanesinde yoğun bakım hastalarının akışını etkileyen darboğazları belirleyerek, bu darboğazların giderilmesi için potansiyel değişiklik seçeneklerini değerlendirmektir. Bu süreç için önemli olan, potansiyel değişiklik seçeneklerinin tanımlanması ve bunların ne kadar başarılı olabileceklerinin değerlendirilmesidir.

## Şekil 2. Yoğun Bakım Ünitesinin Sistem Yapısı



Bu bağlamda, şekil 2'de görüldüğü gibi YBÜ hastalarının kabul aşamasında, yoğun bakım yatağı bekleme sürecinde ve taburculuk aşamasında hasta akışında hasta bekleme kuyrukları gözlemlenmiştir. Yoğun bakım ünitelerine yönelik artan talep, etkin kabul, taburcu ve bakım süreçlerini gerektirmektedir. Bu nedenle, bu çalışmanın birinci amacı, yoğun bakım hasta akışındaki darboğazları belirlemek ve potansiyel değişiklik seçeneklerinin tanımlanması ve bunların ne kadar başarılı olabileceklerinin değerlendirilmesidir. Bu nedenle, YBÜ hasta akışı, hasta bekleme süreleri ve faydalı kullanım oranları yönetim politikasının performansını değerlendirmek için simüle edilmiştir. Bununla birlikte, mevcut yatak sayısında hasta bekleme sürelerinin minimize edilmesi için gerekli olan yatak sayısının simüle edilmesi de amaçlanmaktadır. YBÜ'de hastaların daha uzun süre kalma hasta akışının tıkanmasına neden olabilir ve bu durum hem YBÜ doluluk oranını hem de ölüm oranını etkiler (Dehkordi ve Sadat, 2017). Bu kapsamda, YBÜ hastalarının diğer servis yataklarına blokaj konması durumunda gereken yatak sayısının dinamik olarak hesaplanması ve YBÜ hastalarının taburculuk süreçlerinde diğer servis yataklarının dolu olması nedeniyle geciken taburculuk sürecinin simüle edilmesi de hedeflenmektedir. Bu çalışma, YBÜ yönetimine alternatif bir politika önerisinde bulunmak için tasarlanmıştır.

### 3.3. Metodoloji

Yaygın olarak bulunan temel hasta akışı ve hasta bakım verilerinin ayrık olay simülasyonunun kullanılması, tekrarlanabilir modeller üretir. Yoğun bakım hasta transferi geciken hastaların oranının

düşürülmesi, yatak sayısının sabit olduğu durumlarda taburculuk kararı verilen hastaların bekleme sürelerinin minimize edilmesine bağlıdır. YBÜ hizmetlerine yönelik yüksek talep ve sınırlı yatak mevcudiyeti, hastaneleri kapasite planlama zorluklarını ele almaya sevk etmektedir. Hastanelerdeki yoğun bakım yatak kapasitesi genellikle sabit olduğu için (büyük bir yenileme planlanmıyorsa veya ek yatırım yapılmıyorsa), gerekli rezerv kapasitesini hesaplamak yerine yoğun bakım hasta akış süreçlerindeki bekleme sürelerinin azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılması sorunun çözümünde daha pratik olacaktır. Hasta akışının optimizasyonu için, farklı departmanlardaki hasta süreçlerindeki darboğazları ve engelleri tanımlamak önemlidir. Bu darboğazlar ve engeller belirlendikten sonra, bu engeller kaldırılarak hasta akışı iyileştirilebilir (Kriegel vd., 2015). Bu kapsamda yoğun bakım ünitesine kabul gecikmelerini ve hasta taburculuk bekleme sürelerini azaltmak için modelleme yapılması öngörülmüştür.

Ayrık olay simülasyonu, ölçek değişikliklerine yanıt verme esnekliği, ayrıntı düzeyi, sistemi etkileyen bireysel hasta odaklı stokastik faktörler, model bileşenlerini değiştirme kolaylığı, zamana bağlı performansın varlığı göz önüne alındığında, sağlık hizmetlerinde tercih edilen bir modelleme tekniği olarak kullanılmıştır (Günel, 2012). Bu çalışmada, yoğun bakım hasta akışını modellemek için ayrık olay simülasyonu yöntemi kullanılmıştır. Analizimizde, hasta kabul aşamasındaki yoğun bakım uzman hekiminden istenen konsültasyon istem, onay ve sonuç zamanları, yoğun bakım taburculuk aşamasındaki yoğun bakım hekiminin istemiş olduğu konsültasyon istem, onay ve sonuç zamanları kullanılmıştır. Çalışmada Arena simülasyon programı kullanılarak geliştirilen simülasyon modelinde yoğun bakım hasta akışı modellenmiştir. Performans kriteri olarak hastaların bekleme süreleri ve faydalı kullanım oranları belirlenmiş ve simülasyon çıktıları bu kriterlere göre yorumlanmıştır.

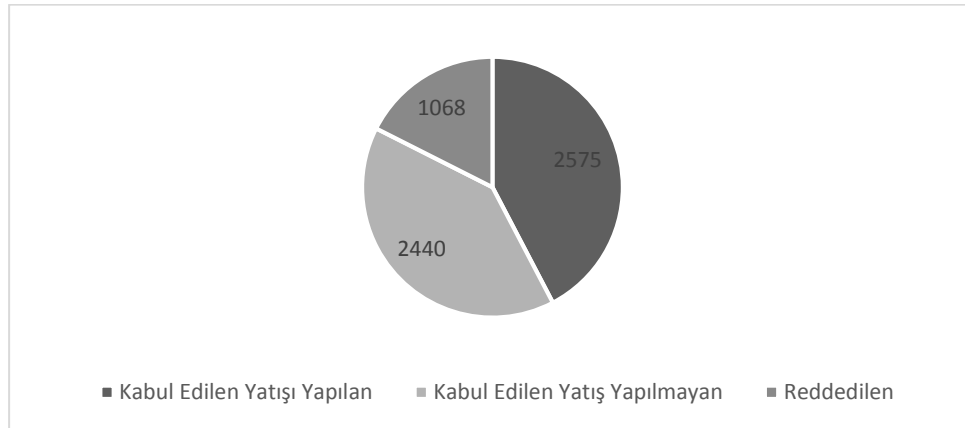
Bir simülasyon modelinin doğrulanması ve onaylanması, modelin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmak için önemli bir prosedürdür (Shannon, 1998). Doğrulama, modelin bilgisayarda doğru bir şekilde uygulandığından emin olmak için gerçekleştirilmiştir. Model, Arena programındaki "izleme" ve "animasyon" seçenekleriyle doğrulandı. Ayrıca yoğun bakım sorumlu hekimine danışılarak modelin gerçeği yansıttığı ile ilgili doğrulanmıştır. Geçerlilik, model davranışının simüle edilen gerçek dünya sistemini geçerli bir şekilde temsil edip etmediğini sorgular (Shannon, 1998). Yaygın olarak kullanılan doğrulama toleransı %10'dur, bu da simülasyon modelinden elde edilen çıktının gerçek sistem çıktısının %10'unu geçmemesi gerektiği anlamına gelir (Najmuddin vd., 2010). Belirlenen performans kriterlerinin değerleri mevcut durum analizi sonuçları ve oluşturulan modelin sonuçları karşılaştırılarak model geçerliliği sağlanmıştır.

### 3.4.Uygulama

Çalışmada simülasyon modelinin geliştirilmesi amacıyla, yoğun bakım sorumlu hekimleriyle yoğun bakım hasta akışları ile ilgili olarak yoğun bakım ünitesinde gözlem ve görüşmeler yapılarak, 2018-2019 yıllarına ait YBÜ uzman hekim konsültasyon istem, kabul ve sonuç zamanları, YBÜ hasta yatış bekleme süreleri, YBÜ hasta yatış süreleri, YBÜ hasta taburculuk süreleri ile ilgili veriler, elektronik hasta kayıtları (PROBEL HBYS) geriye yönelik incelenmesi ile elde edilmiştir. Hastane elektronik kayıt sisteminde hasta kayıtlarında yeterli veriye ulaşılamayan hastalar çalışmadan çıkarılmıştır. YBÜ'ye hastalar, farklı hastane birimlerinden gelir ve geliş süreçlerinin birbirinden bağımsız olduğu varsayılmıştır.

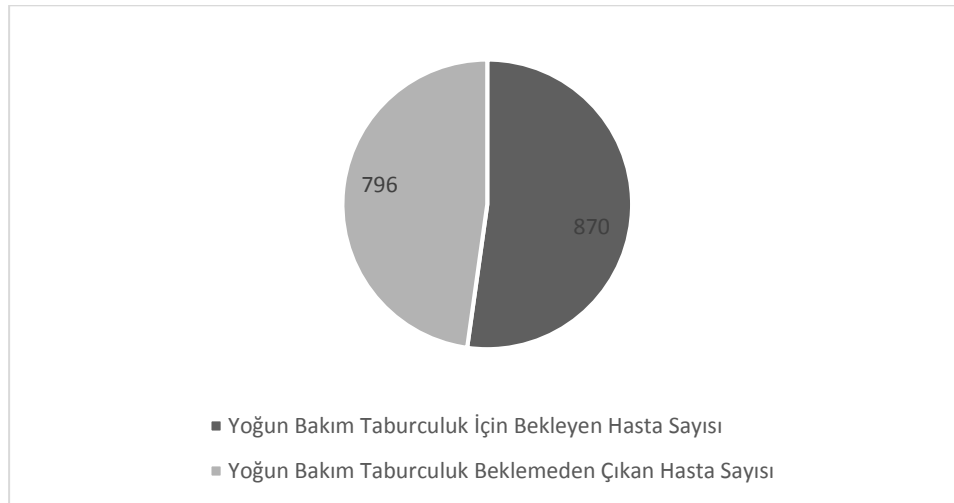
Şekil 2'deki YBÜ sistem yapısına göre hasta kabul süreci için Şekil 3'te görüldüğü gibi, 6083 adet yoğun bakım uzman hekiminden istenen hasta konsültasyonu incelenmiş ve 2575 hastanın yatışı uygun görülmüş ve YBÜ yatışı yapılmış, 1068 hastanın YBÜ yatışı uygun görülmüş fakat yatışı yapılamamış ve 2440 hastanın yoğun bakım yatışı kabul kriterlerine göre uygun görülmemiştir.

### Şekil 3. YBÜ Hasta Kabul Durumları

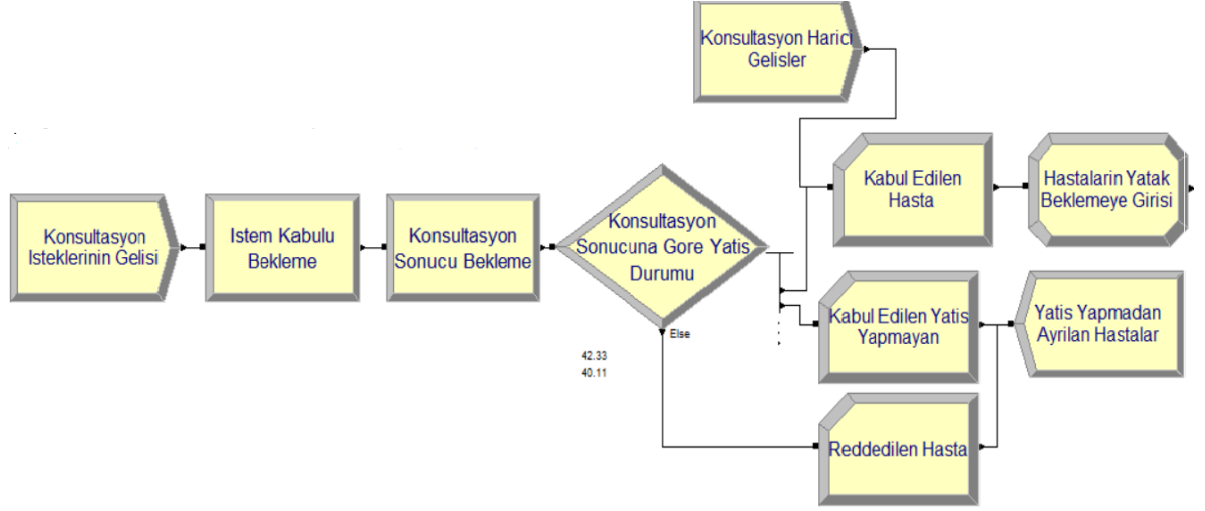


İlk durumda aynı hastalar için birden fazla konsültasyon istemi olduğu tespit edilmiş, konsültasyon süreci için istenen her konsültasyon ayrı olarak değerlendirilmiştir. İkinci durumda 1666 hastanın yoğun bakım yatışı yapılmıştır. Şekil 4’de YBÜ hasta akışını etkileyen taburculuk süreçleri ile ilgili olarak, YBÜ yatışı yapılan ve taburculuk için bekleyen hasta sayısı 870 olarak bulunmuş, 796 hasta ise taburculuk sürecinde beklemeden YBÜ’den ayrılmıştır.

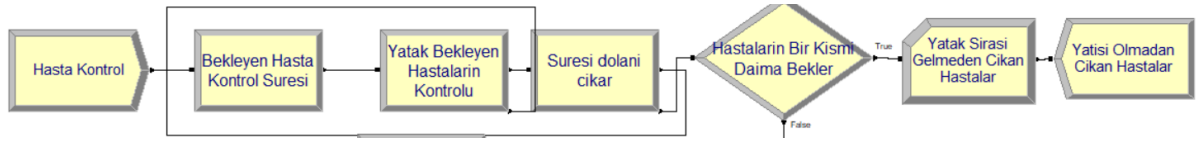
### Şekil 4. YBÜ Hasta Taburculuk Durumları



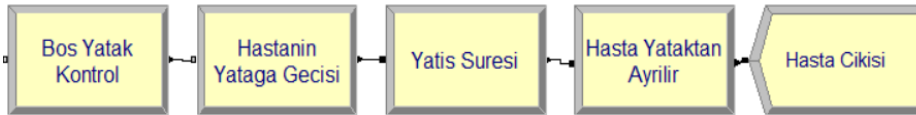
Simülasyon modeli, Arena simülasyon paketinde oluşturulmuştur. Bu çalışmada kullanılan YBÜ hasta akışı simülasyon modeli, şekil 1’deki yoğun bakım hasta akış sürecindeki kavramsal modele göre oluşturulmuştur. Her hasta örneği için ayrı ayrı, (i) konsültasyon istem, kabul, sonuç zamanı, (ii) yoğun bakım yatış bekleme süresi, (iii) yoğun bakım yatış zamanı ve (iv) yoğun bakım taburculuk zamanları tanımlanmıştır. Şekil 5’te Arena simülasyon programındaki, yoğun bakım yatışı talep edilen hastaların yoğun bakım uzman hekimden istenen konsültasyon süreçleri ve konsültasyonsuz yatış yapılan hastaların modellenmesi gösterilmiştir.

**Şekil 5. Yoğun Bakım Modeli (Konsültasyon Talep İşlemleri)**

Şekil 6'da Arena simülasyon programındaki, yoğun bakım ünitesine yatışı uygun görülen hastaların, yoğun bakım yatağı bekleme kuyruğu süreçleri modellenmesi gösterilmiştir.

**Şekil 6. Yoğun Bakım Modeli (Kuyruktan Ayrılma Kontrolü)**

Şekil 7'de Arena simülasyon programındaki, hastaların yoğun bakım yatış süreci ve yataktan ayrılış süreçlerinin modellenmesi gösterilmiştir.

**Şekil 7. Yoğun Bakım Modeli (Yoğun Bakım Yatış Süreci)**

Tablo 1'de, hastaların yoğun bakım bekleme sürelerine ilişkin örnek 10 hastanın, yatış bekleme süresi, yatış süresi, çıkış bekleme süresi verileri bulunmaktadır.

**Tablo 1. Hasta Bekleme Süreleri**

Protokol No	Yatış Bekleme Süresi (Dakika)	Yatış Süresi (Gün)	Çıkış Bekleme Süresi (Dakika)
1	382	19,0	232
2	247	3,9	253
3	956	5,1	324
4	248	8,1	3460
5	455	3,0	218
6	235	2,6	316
7	243	5,0	1702
8	2616	6,0	176
9	626	12,5	102
10	405	1,9	190

Simülasyon çalışması, 2 yıllık simülasyon periyodunun 10 kopyası olarak gerçekleştirilmiştir. Anestezi ve Reanimasyon Yoğun Bakım Ünitesi ve Dahili Yoğun Bakım Ünitesi toplamda 35 yatak kapasitesine sahiptir. 35 adet yatak kapasitesine göre yapılan mevcut durum analizi sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Belirlenen performans kriterlerine göre hastaların yatak bekleme süreleri 28,71 saat olarak hesaplanmış ve YBÜ %99 faydalı kullanım oranına sahiptir.

**Tablo 2. Mevcut Durum Analizi Sonuç Çıktıları**

Yatak Sayısı	Hastaların Yatak Bekleme Süreleri (Saat)	Yatakların Faydalı Kullanım Oranı (%)	Olaslık Dağılımı	Minimum Yatak Bekleme Süreleri (Saat)	Maksimum Yatak Bekleme Süreleri (Saat)	Standart Sapma
35	28,716	0,990	Beta	0,2	486,8	81,1

Yoğun bakım taburculuk kararı verilen hastaların konsültasyon istem zamanlarının taburculuk zamanı olarak düzenlendiği modelimizin sonuç çıktıları Tablo 2’de verilmiştir. Simülasyon modelinin, çeşitli senaryoları değerlendirerek durum analizlerinin yapılabilmesi ve iyileştirme girişimlerinin yapılabilmesi amacıyla YBÜ yatak sayısı 5’ten başlatılarak farklı yatak sayılarındaki bekleme süreleri ve faydalı kullanım oranları hesaplanmıştır. YBÜ sisteminde hasta bekleme sürelerinin 1 (bir) saatin altında olduğu ve faydalı kullanım oranının %70-80 olduğu durumda YBÜ yatak sayısının 54’e çıkarılması gerekmektedir. Bu durumda YBÜ yataklarının %54 oranında artırılması, 19 yatak ilave edilmesi gerekmektedir.

**Tablo 3. Simülasyon Sonuç Çıktıları**

YBÜ Yatak Sayısı	Yatak Bekleme Süresi (Saat)	Faydalı Kullanım Oranı (%)
5	36,694	0,999
10	33,304	0,998
15	30,286	0,995
20	27,232	0,994
25	24,708	0,985
30	20,666	0,978
35	13,308	0,962
40	9,309	0,928
45	5,891	0,89
50	3,071	0,867
54	0,905	0,762
55	0,524	0,787
60	0,396	0,71



Mevcut durumda YBÜ'de 35 yatak kapasitesinde hastaların bekleme süreleri 28,7 saat olarak hesaplanmış, aynı yatak sayısında oluşturulan modelde hasta bekleme süresi 13,3 saat olarak hesaplanmıştır. Modelde hastaların bekleme sürelerinde %46 iyileşme olduğu görülmüştür.

#### IV. TARTIŞMA VE SONUÇ

Üniverste eğitim araştırma hastaneleri gibi hastaneler de dahil olmak üzere birçok büyük kuruluştaki operasyonel zorluklara verilen ilk yanıt, genellikle en belirgin sorunların yaşandığı alanlara daha fazla kaynak eklemektir. Bu, fazla mesainin yanı sıra yatak, ekipman ve personel sayısını artırmayı içerebilir. Bu yaklaşımın bazı faydaları olsa da kaynakların en verimli şekilde kullanılması mümkün olmayabilir.

Yoğun Bakım Ünitesi hasta akışı sorunları ile karşılaşıldığında, daha fazla yoğun bakım yatağı eklemek, üniteye yatışı yapılacak hastalar için ortalama gecikme süresini azaltmaya yardımcı olabilir. Bu yararlı olmakla birlikte, hastane kaynaklarının optimum şekilde tahsis edilmesini içermeyebilir. Ancak, herhangi bir yeni yatak eklemeye karar vermeden önce, bu tür eklemelerin gerekli olup olmadığını değerlendirmek önemlidir. Yoğun bakım hasta çıkış gecikmelerinin azaltılmasının etkisi daha da önemli hale gelir. Özet olarak, yapılan analiz, daha fazla yatak eklemeye hemen başvurmak yerine, yoğun bakım hasta taburculuğunda taburcu bekleme sürelerinin olmadığı varsayımında, hasta transfer politikalarını ayarlamak gibi alternatif yaklaşımların hasta akışında ve kaynak kullanımında önemli iyileştirmeler sağlayabileceğini göstermektedir. Bu yaklaşımlar, potansiyel olarak maliyet tasarrufu sağlayabilir, birden fazla üniteye fayda sağlayabilir ve genel sistem üzerinde tek başına yatak ilavelerinden daha önemli bir etkiye sahip olabilir. Hasta akış müdahale politikalarının, gecikmiş hasta taburculuklarının azaltılması YBÜ yataklarının üzerindeki baskının azaltılmasında etkili olabileceğini göstermektedir (Rashwan vd., 2015).

Bu çalışma, yoğun bakım ünitesi hasta akışını simüle etmek için kavramsal bir çerçeve ve açıklayıcı analiz sunarak, veriye dayalı girdilerle kuyruk teorisinin, yoğun bakım yatak kullanılabilirliğini, yatak kapasitesini ve kabul bekleme süresini iyileştirmeye yönelik öngörüler sunmuştur. YBÜ hasta kabullerini ve transferlerini simüle ederek, farklı yatak tahsisi stratejilerinin, bekleme süresi ve doluluk üzerindeki etkisini incelenmiştir. Sağlık hizmeti sunumundaki süreçlerin simülasyonu hasta akışını yeniden tasarlamak için bu yöntemi kullanmıştır. Modelde YBÜ hasta taburcu süreçlerinde bekleme sürelerinin olmadığı kabul edilmiştir.

YBÜ, hasta akışının karmaşık doğası, hasta ve organizasyonel özellikler arasında meydana gelen etkileşimler incelenmeden tam olarak anlaşılamayacağından (Shahani vd., 2008) akış oluşturmak için diğer hastane birimleriyle oluşan etkileşimler vurgulanmıştır. YBÜ'lerde, hasta akışını iyileştirmeyi amaçlayan hem politika hem de müdahaleleri uygulamak amacıyla hasta akışını anlamak ve sistem tabanlı bir yaklaşım geliştirilmesi önerilmiş ve yoğun bakım ünitelerindeki hasta akışının değerlendirilmesi için bir simülasyon modeli geliştirmiştir. YBÜ hasta akış simülasyonu modeli, YBÜ hasta kabul ve taburcu sürecinde uygulanması, karar vermede ve politika oluşturmada hasta akışı perspektifinden analiz etmek, değerlendirmek ve geliştirmek için bir araç sağlar (Mathews ve Long, 2015). Simülasyon sonuçları, hastaların bekleme sürelerini azaltabileceğini ve kabul edilebilir hasta kabul oranı için YBÜ yatak sayısının artırılması gerektiğini göstermiştir. YBÜ yatak sayısının artırılmasıyla beraber, bu ek yataklara hizmet verecek nitelikli sağlık personelinin temin edilmesi kritik bir önem arz etmektedir. Hemşireler, doktorlar ve teknik personel gibi sağlık profesyonellerinin sayısının artırılması, hastaların etkili bir şekilde izlenmesi ve bakımlarının yapılabilmesi için önemlidir. Ayrıca, yeni yataklara hizmet verecek medikal cihaz ve malzemelerin sağlanması gerekmektedir. YBÜ yatak sayısının artırılmasıyla beraber, buna yönelik bütçe ayrılması ve bu bütçenin etkili bir şekilde yönetilmesi sağlanmalıdır. Bu, ek kaynakların temin edilmesi ve tüm operasyonların sürdürülebilirliği açısından önemlidir.

Hastaların taburculuk süreçlerinde diğer servislere blokaj konması durumunda YBÜ hastalarının bekleme sürelerinde %46'lık bir iyileşme elde edilmiştir. Bu sonuçlar, yoğun bakım ünitelerinde hasta akışının yönetimi için simülasyon modeli kullanımının etkin bir yöntem olduğunu göstermektedir

(Alban, Chick, Lvova, & Sent, 2020). YBÜ' deki bu hasta akışı simülasyon modelimiz, hastane yöneticilerinin yoğun bakım ünitesinde kaynakları yapılandırmak için alternatif karar vermelerine yardımcı olacaktır. Ayrıca YBÜ taburculuk sürecinde diğer servislere yatak blokajı konmasının daha iyi bir hasta akışı sağlayabilecek potansiyel bir çözüm olduğu düşünülmektedir. Hastaneler, bu modeli kullanarak, yoğun bakım ünitelerindeki performanslarını değerlendirebilirler ve iyileştirme stratejileri geliştirebilirler. Bu çalışmanın sonuçları, yoğun bakım ünitelerinin kapasite planlamasına ve kaynakların etkili kullanımına yönelik gelecekteki araştırmalar için faydalı olabilir.

**Etik Kurul İzni:** Araştırma için Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Girişimsel Olmayan Araştırmalar Etik Kurulu'ndan 11/01/2023 tarih ve 2023/02-23 sayılı izin alınmıştır.

## KAYNAKLAR

- Abhicharttibutra, K., Wichaikhum, O. A., Kunaviktikul, W., Kunaviktikul, W., & Nantsupawat, R. (2018). Occupancy rate and adverse patient outcomes in general hospitals in Thailand: a predictive study. *Nursing & health sciences*, 20(3), 387-393.
- Alban, A., Chick, S. E., Lvova, O., & Sent, D. (2020). A Simulation Model to Evaluate the Patient Flow in an Intensive Care Unit under Different Levels of Specialization. *2020 Winter Simulation Conference (WSC)* (s. 922-933). Orlando: IEEE.
- Azcarate, C., Esparza, L., & Mallor, F. (2020). The problem of the last b e d: Contextualization and a new simulation framework for analyzing physician decisions. *Omega*, 96, 1-20.
- Bahalkeh, E., Hasan, I., & Yih, Y. (2022). The relationship between intensive care unit length of stay information and its operational performance. *Healthcare Analytics*, 2, 1-10.
- Bai, J., Fügenger, A., Schoenfelder, J., & Brunner, J. O. (2018). Operations research in intensive care unit management: a literature review. *Health Care Management Science*, 21, 1-24 .
- Bakker, J., Damen, J., van Zanten, A. R., & Hubben, J. H. (2003). Admission and discharge criteria for intensive care departments. *Ned Tijdschr Geneeskde*, 147(3), 110-115.
- Banks, J., Carson II, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2005). *Discrete-Event System Simulation*. Prentice Hall.
- Bard, J. F., Shu, Z., Morrice, D. J., Wang, D. E., Poursani, R., & Leykum, L. (2016). Improving patient flow at a family health clinic. *Health Care Manag Sci.*, 19(2), 170-191.
- Barton, P., Bryan, S., & Robinson, S. (2008). Modelling in the Economic Evaluation of Healthcare: Selecting the Appropriate Approach. *J Health Serv Res Policy*, 9(2), 9-16.
- Batun, S., & Begen, M. A. (2013). *Optimization in Healthcare Delivery Modeling: Methods and Applications*. B. T. Denton içinde, Handbook of Healthcare Operations Management (s. 75-121). New York: Springer Science+Business Media.
- Bhattacharjee, P., & Ray, P. K. (2014). Patient flow modelling and performance analysis of healthcare delivery processes in hospitals: A review and reflections. *Computers & Industrial Engineering*, 78, 299-312.
- Birta, L. G., & Arbez, G. (2013). *Modelling and simulation*. London: Springer.
- Bone, R. C., McElwee, N. E., Eubanks, D. H., & Gluck, E. H. (1993). Analysis of indications for intensive care unit admission. Clinical efficacy assessment project: *American College of Physicians. Chest.*, 104(6), 1806-1811.

- Botros, A. R., Razik, G. M., Alanwer, K. M., & Abd El salam, M. M. (2021). Patients' characteristics, occupancy rate and quality of performance of Emergency Intensive Care Unit at Zagazig University Hospital, Egypt: A descriptive Study. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, 8(3), 3722-3737.
- 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 (s. 153-182). New York: Springer Science+Business Media .
- Brailsford, S. C. (2007). Advances and challenges in healthcare simulation modeling:tutorial. *Proceedings of the 39th conference on Winter Simulation* (s. 1436-1448). Washington: IEEE.
- Brailsford, S., Harper, P., Patel, B., & Pitt , M. (2009). Brailsford, S., Harper, P., Patel, B. et al. An analysis of the academic literature on simulation and modelling in health care. *J Simulation*, 3, 130–140.
- Brideau, L. P. (2004). Flow: Why Does It Matter? *Frontiers of Health Services Management*, 20(4).
- Bruyneel, A., Larcin, L., Martins, D., Bulcke, J., Leclercq, P., & Pirson, M. (2023). Cost comparisons and factors related to cost per stay in intensive care units in Belgium. *BMC Health Services Research*, 23, 1-15.
- Bukowski, L. (2019). *Modelling and Simulation of Logistic Networks*. Switzerland: Springer Nature Switzerland AG.
- Burdett, R., & Kozan, E. (2016). A multi-criteria approach for hospital capacity analysis. *Eur. J. Oper. Res.*, 255, 505–521.
- Carson, J. S. (2005). Introduction to modeling and simulation. *In Proceedings of the Winter Simulation Conference* (s. 16-23). Orlando: IEEE.
- Cochran, J. K., & Bharti, A. (2006). Stochastic bed balancing of an obstetrics hospital. *Health Care Management Science*, 9(1), 31-45.
- Cooper, R. B. (1981). Queueing theory. *Proceedings of the ACM '81 conference* (s. 119–122). New York: Association for Computing Machinery.
- Costa, A. X., Ridley, S. A., Shahani, A. K., Harper, P. R., De Senna, V., & Nielsen, M. S. (2003). Mathematical modelling and simulation for planning critical care capacity. *Anaesthesia*, 58(4), 320-327.
- Damiani, L., Guizzi, G., Giribone, P., Revetria, R., & Romano, E. (2016). *Different approaches for studying interruptible industrial processes: Application of two different simulation techniques*. F. Miranda, & C. Abreu içinde, Handbook of Research on Computational Simulation and Modeling in Engineering (s. 69-104). Hershey: IGI Global.
- Davies, R., & Davies, H. (1994). Modelling patient flows and resource provision in health systems. *Omega*, 22(2), 123–131.
- Dehkordi, A., & Sadat, S. (2017). Sustaining critical care: using evidence-based simulation to evaluate ICU management policies. *Health Care Management Science*, 20, 532–547.
- Devaraj, S., Ow, T. T., & Kohli, R. (2013). Examining the impact of information technology and patient flow on healthcare performance: A Theory of Swift and Even Flow (TSEF) perspective. *Journal of Operations Management*, 31, 181–192.

- Dobson, G., Lee, H.-H., & Pinker, E. J. (2008, 4 8). *Patient Flow in an ICU*. Simon School Working Paper No. 08-21, s. 1-33.
- Egol, A., Fromm, R., Guntupalli, K. K., Fitzpatrick, M., Kaufman, D., Nasraway, S., . . . Zimmerman, J. (1999). Guidelines for intensive care unit admission, discharge, and triage. *Intensivmed*, 36, 545–551.
- Elbeyli, S., & Krishnan, P. (2000). *In-patient flow analysis using promodel simulation package*. Delaware: University of Delaware.
- El-Bouri, R., Taylor, T., Youssef, A., Zhu, T., & Clifton, D. A. (2021). Machine learning in patient flow: a review. *Prog Biomed Eng (Bristol)*, 3(2), 1-23.
- El-Darzi, E., Vasilakis, C., Chaussalet, T., & Mi, P. H. (1998). A simulation modelling approach to evaluating length of stay, occupancy, emptiness and bed blocking in a hospital geriatric department. *Health Care Management Science*, 1, 143–149.
- Forbus, J. J., & Berleant, D. (2022). Discrete-Event Simulation in Healthcare Settings: A Review. *Modelling*, 3(4), 417-433.
- Gaba, D. M. (2004). The future vision of simulation in health care. *Qual Saf Health Care*, 13, 2-10.
- Green, L. (2005). *Capacity planning and management in hospitals*. *Operations Res Health Care*. (s. 15-41).
- Green, L. V. (2002). How many hospital beds? *INQUIRY: The Journal of Health Care Organization, Provision, and Financing*, 39(4), 400-412.
- Griffin, J., Xia, S., Peng, S., & Keskinocak, P. (2012). Improving patient flow in an obstetric unit. *Health Care Management Science*, 15, 1–14.
- Gromova, E. A., & Pupentsova, S. V. (2020). Simulation modelling as a method of risk analysis in real estate valuation. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing.
- Günel, M. M. (2012). A guide for building hospital simulation models. *Health Systems*, 1, 17–25.
- Hadjipavlou, G., Titchell, J., Heath, C., Siviter, R., & Madder, H. (2020). Using probabilistic patient flow modelling helps generate individualised intensive care unit operational predictions and improved understanding of current organisational behaviours. *Journal of the Intensive Care*, 21(3), 221-229.
- Hagen, M. S., Jopling, J. K., Buchman, T. G., & Lee, E. K. (2013). Priority queuing models for hospital intensive care units and impacts to severe case patients. *AMIA Annu Symp Proc.*, 1, 841–850.
- Hall, R., Belson, D., Murali, P., & Dessouky, M. (2006). *In Patient flow: Reducing delay in healthcare delivery*. R. Hall, D. Belson, P. Murali, & M. Dessouky içinde, *Modeling patient flows through the healthcare system* (s. 1-44). Boston: Springer.
- Hall, R., Belson, D., Murali, P., & Dessouky, M. (2013). *Modeling Patient Flows Through the Health care System*. R. Hall içinde, *Patient flow* (s. 3-43). New York: © Springer Science+Business Media.
- Hasan, I., Bahalkeh, E., & Yih, Y. (2020). Evaluating intensive care unit admission and discharge policies using a discrete event simulation model. *Simulation*, 96(6), 501-518.

- Henning, R. J., McClish, D., Daly, B., Nearman, H., Franklin, C., & Jackson, D. (1987). Clinical characteristics and resource utilization of ICU patients: implications for organization of intensive care. *Crit Care Med.*, 15(3), 264-269.
- Hulshof, P. J., Kortbeek, N., Boucherie, R. J., Hans, E. W., & Bakker, P. J. (2012). Taxonomic classification of planning decisions in health care: a structured review of the state of the art in OR/MS. *Health Systems*, 1, 129-175.
- 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.
- Katsaliaki, K., & Mustafee, N. (2011). Applications of simulation within the healthcare context. *Journal of the Operational Research Society*, 62(8), 1431-1451.
- Kolker, A. (2009). Process modeling of ICU patient flow: effect of daily load leveling of elective surgeries on ICU diversion. *J Med Syst.*, 33, 27-40.
- Kovalchuk, S. V., Funkner, A. A., Metsker, O. G., & Yakovlev, A. N. (2018). Simulation of patient flow in multiple healthcare units using process and data mining techniques for model identification. *Journal of Biomedical Informatics*, 82, 128-142.
- Kriegel, J., Jehle, F., Dieck, M., & Tuttle-Weidinger, L. (2015). Optimizing patient flow in Austrian hospitals – Improvement of patient-centered care by coordinating hospital-wide patient trails. *International Journal of Healthcare Management*, 8(2), 89-99.
- Kumar, N., Singh, A., & Kulkarni, R. V. (2015). Transcriptional bursting in gene expression: analytical results for general stochastic models. *PLoS computational biology*. *PLoS computational biology*, 11(10), 1-22.
- Lakshmi, C., & Iyer, S. A. (2013). Application of queueing theory in health care: A literature review. *Operations Research for Health Care*, Volume 2(1-2), 25-39.
- Law, A. M. (2007). *Simulation and modeling analysis*. New York: McGraw Hill.
- Law, A. M., & Kelton, W. D. (1991). *Simulation Modeling And Analysis*. Singapore: McGraw-Hill.
- Lehoczky, J. P. (1996). Real-time queueing theory. *17th IEEE Real-Time Systems Symposium* (s. 186-195). Washington: IEEE.
- Leviner, S. (2020). Patient Flow Within Hospitals: A Conceptual Model. *Nursing Science Quarterly*, 33(1), 29-34.
- Lin, F., Chaboyer, W., & Wallis, M. (2009). A literature review of organisational, individual and teamwork factors contributing to the ICU discharge process. *Australian Critical Care*, 22(1), 29-43.
- Litvak, N., Rijsbergen, M., Boucherie, R. J., & Houdenhoven, M. (2008). Managing the overflow of intensive care patients. *European Journal of Operational Research*, 185(3), 998-1010.
- Lovett, P. B., Illg, M. L., & Sweeney, B. E. (2016). A Successful Model for a Comprehensive Patient Flow Management Center at an Academic Health System. *Am J Med Qual.*, 31(3), 246-55.
- Mahachek, A. R. (1992). Mahachek AR. An introduction to patient flow simulation for health-care managers. *Journal of the Society for Health Systems*, 3(3), 73-81.
- Mahadevan, B. (2015). *Operations Management Theory and Practice*. Uttar Pradesh: Pearson.

- Mallor, F., & Azcárate, C. (2014). Combining optimization with simulation to obtain credible models for intensive care units. *Annals of Operations Research*, 221, 255–271.
- Marik, P. E. (2016). *Management of the Critically Ill Geriatric Patient*. J. M. O'Donnell, & F. E. Nacul içinde, Management of the Critically Ill Geriatric Patient (s. 743–758). Switzerland: Springer International Publishing Switzerland.
- Marlene Gyldmark CP. *A review of cost studies of intensive care units*. *Crit Care Med* 1995; 23: 964–972
- Marshall, A., Vasilakis, C., & El-Darzi, E. (2005). Length-of-stay patient flow models: recent developments and future directions. *Health Care Manag Sci.*, 8, 213–220.
- Mathews, K. S., & Long, E. F. (2015). A Conceptual Framework for Improving Critical Care Patient Flow and Bed Use. *AnnalsATS*, 12(6), 886-894.
- 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.
- Memon, R. A., Li, J. P., & Ahmed, J. (2019). Simulation Model for Blockchain Systems Using Queuing Theory. *Electronics*, 8(234), 1-19.
- Mielczarek, B., & Uziątko-Mydlikowska, J. (2012). Application of computer simulation modeling in the health care sector: a survey. *Simulation*, 88(2), 197-216.
- Najmuddin, A. F., Ibrahim, I. M., & Ismail, S. R. (2010). A Simulation Approach: Improving Patient Waiting Time for Multiphase Patient Flow of Obstetrics and Gynecology Department (O&G Department) in Local Specialist Centre. *WSEAS Trans Math.*, 9(10), 778-790.
- Nates, J. L., Nunnally, M., Kleinpell, R., Sandralee, B., Goldner, J., Birriel, B., . . . Sprung, C. L. (2016). ICU Admission, Discharge, and Triage Guidelines: A Framework to Enhance Clinical Operations, Development of Institutional Policies, and Further Research. *Critical Care Medicine*, 44(8), 1553-1602.
- Oddoye, J. P., Jones, D. F., Tamiz, M., & Schmidt, P. (2009). Combining simulation and goal programming for healthcare planning in a medical assessment unit. *European Journal of Operational Research*, 193(1), 250-261.
- Palvannan, R. K., & Teow, K. L. (2012). Queueing for Healthcare. *Journal of Medical Systems*, 36, 541–547.
- Paul, R. J. (1991). Recent Developments in Simulation Modelling. *The Journal of the Operational Research Society*, 42(3), 217-226.
- Peck, E. (2017). *Organisational Development in Healthcare*. Boca Raton: CRC Press.
- Pendharkar, S. R., Bischak, D. P., & Roger, P. (2015). Using patient flow simulation to improve access at a multidisciplinary sleep centre. *Journal of Sleep Research*, 24(3), 320-327.
- Rashwan, W., Abo-Hamad, W., & Arisha, A. (2015). A system dynamics view of the acute bed blockage problem in the Irish healthcare system. *European Journal of Operational Research*, 247(1), 276-293.
- Restrepo, M., Henderson, S. G., & Topalogu, H. (2009). Erlang loss models for the static deployment of ambulances. *Health Care Manage. Sci.*, 12, 67–79.

- Rhodes, A., Ferdinande, P., Flaatten, H., Guidet, B., Metnitz, P. G., & Moreno, R. P. (2012). The variability of critical care bed numbers in Europe. *Intensive Care Medicine*, 38, 1647–1653.
- Rohleder, T. R., Lewkonja, P., Bischak, D. P., Duffy, P., & Hendijani, R. (2011). Using simulation modeling to improve patient flow at an outpatient orthopedic clinic. *Health Care Manag Sci.*, 14, 135–145.
- Santos, A., Gurling, J., Dvorak, M. F., Noonan, V. K., Fehlings, M. G., Burns, A. S., . . . Liang, L. (2013). Modeling the patient journey from injury to community reintegration for persons with acute traumatic spinal cord injury in a Canadian centre. *PloS one*, 8(8), 1-10.
- 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(10), 1074-1080.
- Shannon, R. E. (1998). Introduction to the art and science of simulation. *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference (s. 7-14)*. Washington: IEEE.
- Shoab, M., & Ramamohan, V. (2022). Simulation modeling and analysis of primary health center operations. *Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International*, 98(3), 183–208.
- Smith, H., Varshoei, P., Boushey, R., & Kuziemy, C. (2020). Simulation modeling validity and utility in colorectal cancer screening delivery: A systematic review. *J Am Med Inform Assoc.*, 27(6), 908-916.
- Sobolev, B., Levy, A., & Kuramoto, L. (2013). *Access to Surgery and Medical Consequences of Delays*. R. Hall içinde, Patient Flow (s. 129-153). New York: Springer Science+Business Media.
- Song, C., & Zhuang, J. (2017). Two-stage security screening strategies in the face of strategic applicants, congestions and screening errors. *Annals of Operations Research*, 258(2), 237-262.
- Sztrik, J. (2012). *Basic queueing theory*. Debrecen: University of Debrecen, Faculty of Informatics.
- Taylor, S. J., Eldabi, T., Riley, G., Paul, R. J., & Pidd, M. (2009). Simulation modelling is 50! Do we need a reality check? *Journal of the Operational Research Society*, 60, 69-82.
- Villa, S., Barbieri, M., & Lega, F. (2009). Restructuring patient flow logistics around patient care needs: implications and practicalities from three critical cases. *Health Care Management Science*, 12(2), 155- 165.
- Wallace, D. J., Seymour, C. W., & Kahn, J. M. (2017). Hospital-level changes in adult ICU bed supply in the United States. *Crit Care Med.*, 45(1), 1-18.
- White, K. P., & Ingalls, R. G. (2015). Introduction to Simulation. *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference (s. 1741-1755)*. California: IEEE Press.
- Williams, J., Dumont, S., Parry-Jones, J., Komenda, I., & Griffith, J. (2015). Mathematical modelling of patient flows to predict critical care capacity required following the merger of two district general hospitals into one. *Anaesthesia*, 70(1), 32-40.
- Willoughby, K. A., Chan, B. T., & Marques, S. (2016). Using simulation to test ideas for improving speech language pathology services. *Eur J Oper Res.*, 252(2), 657–664.
- Worthington, D. J. (1987). Queueing models or hospital waiting lists. *J. Oper. Res. Soc.*, 38(5), 413–422.

Zhang, X. (2018). Application of discrete event simulation in health care: a systematic review. *BMC Health Serv Res.*, 18, 1-11.

Zhao, L., & Lie, B. (2010). Modeling and Simulation of Patient Flow in Hospitals for Resource Utilization. *Simul. Notes Eur.*, 20(2), 41-50.