Erciyes Üniversitesi
İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi
e-ISSN: 2630-6409

Araştırma Makalesi | Research Article
Yayın Tarihi: 30 Ağustos 2025 | Published: August 30, 2025
doi: 10.18070/erciyesiibd.1556337

ÜNİVERSİTE HASTANESİ BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ BÖLÜMÜNDE İŞ AKIŞI VE KAPASİTE SEVİYESİNİN MODELLEMESİ VE ANALİZİ

***ALKAN DURMUŞ**[1*]* ***ABDURRAHMAN İSKENDER**[2]*

[1] *Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, alkan.durmus@deu.edu.tr*
[2] *Dr. Öğr. Üyesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Yıldızeli Meslek Yüksekokulu, aiskender@cumhuriyet.edu.tr*

***Sorumlu Yazar/ Corresponding Author:**
Alkan DURMUŞ,
alkan.durmus@deu.edu.tr

JEL:
I18, C63, L89

***Geliş:** 26 Eylül 2024*
***Received:** September 26, 2024*
***Kabul:** 11 Nisan 2025*
***Accepted:** April 11, 2025*
***Yayın:** 30 Ağustos 2025*
***Published:** August 30, 2025*

Atıf / Cited as (APA):
Durmuş, A. & İskender, A. (2025), Üniversite Hastanesi Bilgisayarlı Tomografi Bölümünde İş Akışı ve Kapasite Seviyesinin Modellemesi ve Analizi, Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 71, 9-20, doi: 10.18070/erciyesiibd.1556337

Etik Kurul İzni / Ethics Committee Permission:
Bu çalışma için Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal ve Beşeri Bilimler Bilimsel Araştırma ve Yayın Etik Kurulunun 02.04.2024 tarih ve 30 sayılı karar numarası ile etik kurul izni alınmıştır.

ÖZ

Bu çalışma, bir üniversite hastanesinin radyoloji bölümünde Bilgisayarlı Tomografi (BT) hasta akışını ve kapasitesini tahmin etmeye yönelik Ayrık Olay Simülasyonu (DES) kullanarak operasyonel süreçleri optimize etmeyi amaçlamaktadır. Araştırmada, iki yıllık bir zaman diliminde toplanan veriler kullanılarak BT biriminde yaşanan darboğazlar, kaynak kullanım oranları ve hasta bekleme süreleri detaylı şekilde analiz edilmiştir. Arena Simülasyon Yazılımı ile geliştirilen model, mevcut sistemde kaynak yetersizliği ve uzun bekleme süreleri gibi operasyonel sorunları ortaya koymuştur. Çalışmada, mevcut duruma ek olarak, yeni cihaz alımı ve çalışma saatlerinin uzatılması gibi stratejik çözümler içeren 12 farklı senaryo test edilmiştir. Simülasyon sonuçları, ek cihaz kullanımı ve çalışma saatlerinin uzatılması ile hasta bekleme sürelerinde %50'ye varan azalmalar elde edilebileceğini göstermektedir. Bu kapsamda, çalışma BT hizmetlerinin yönetiminde karar destek süreçlerine katkıda bulunmakta ve kaynak planlamasının etkinliğini artırmaya yönelik somut öneriler sunmaktadır. Çalışmanın bulguları, ayrık olay simülasyonunun sağlık hizmetleri operasyonlarında verimlilik artışı sağlamak için kullanılabilecek etkili bir yöntem olduğunu göstermekte ve literatüre önemli katkılar sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ayrık Olay Simülasyonu, Bilgisayarlı Tomografi, Hasta Akışı Yönetimi, Radyoloji Operasyonları Optimizasyonu

MODELLING AND ANALYSIS OF PATIENT FLOW AND CAPACITY LEVEL IN THE COMPUTED TOMOGRAPHY DEPARTMENT OF A UNIVERSITY HOSPITAL

ABSTRACT

This study aims to optimise operational processes by using Discrete Event Simulation (DES) to predict Computed Tomography (CT) patient flow and capacity in the radiology department of a university hospital. In the study, the bottlenecks, resource utilisation rates and patient waiting times in the CT unit were analysed in detail using data collected over a two-year period. The model developed with Arena Simulation Software revealed operational problems such as lack of resources and long waiting times in the current system. In addition to the current situation, 12 different scenarios including strategic solutions such as purchasing new devices and extending working hours were tested in the study. Simulation results show that up to 50% reduction in patient waiting times can be achieved with the use of additional devices and extension of working hours. In this context, the study contributes to decision support processes in the management of IT services and provides concrete recommendations to improve the effectiveness of resource planning. The findings of the study show that discrete event simulation is an effective method that can be used to increase efficiency in healthcare operations and provides important contributions to the literature.

Keywords: Discrete Event Simulation, Computed Tomography, Patient Flow Management, Radiology Operations Optimisation

[An extended English abstract is available at the end of the article.]

GİRİŞ

Sağlık hizmetleri sistemleri, sınırlı fiziksel tesislerin ve kaynakların kullanımının yanı sıra çeşitli sağlık hizmetleri grupları arasındaki karmaşık etkileşimleri de içeren, doğası gereği uyarlanabilir ve insan merkezlidir (Thorwarth vd., 2016). Bu sistemlerin doğasında bulunan yüksek derecede değişkenlik ve belirsizlik nedeniyle, bunları anlamak, tasarlamak ve tahmin etmek doğası gereği zordur (Gillespie vd., 2014).

Sağlık hizmetleri sistemleri geliştikçe, bir yandan maliyetleri düşürürken diğer yandan bakım kalitesini artırmaya yönelik küresel bir vurgu söz konusudur. Sonuç olarak, çeşitli sağlık hizmetleri süreçlerinin ve hizmetlerinin verimliliğini ve etkinliğini değerlendirmek ve geliştirmek için her gün stratejik, taktiksel ve operasyonel kararlar alınmaktadır (Chahal ve Eldabi, 2011). Bu kararların sistem performansı üzerindeki etkisini öngörmek için sağlık hizmeti sağlayıcıları, farklı senaryoları ve bunların potansiyel sonuçlarını etkili bir şekilde keşfetmek için simülasyon gibi uygun araçlara ihtiyaç duymaktadır (Thorwarth, 2016).

Radyoloji, hastalıkları teşhis ve tedavi etmek için çeşitli görüntüleme tekniklerini kullanan tıbbi bir uzmanlık alanıdır. Yıllar içinde radyolojide, geleneksel radyografiden manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ve bilgisayarlı tomografi (BT) gibi daha gelişmiş görüntüleme yöntemlerine doğru önemli bir evrim yaşanmıştır (Sutter vd., 2015; Ferris vd., 2016).

Bilgisayarlı tomografi (BT), radyoloji hizmetlerinde çok önemli bir görüntüleme yöntemidir ve çeşitli tıbbi durumların teşhisinde önemli bir rol oynar. BT taramaları, vücudun ayrıntılı kesitsel görüntülerini sunarak radyologların iç yapıları yüksek çözünürlük ve netlikle görselleştirmesini sağlar (Cao vd., 2023). BT (Bilgisayarlı Tomografi), tanısal doğruluğu, hızı ve invazif olmayan doğası nedeniyle hastanelerde hayati bir araçtır. COVID-19, hepatoselüler karsinom ve akciğer kanseri gibi durumların teşhisi ve yönetimi de dahil olmak üzere çeşitli tıbbi senaryolarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Cunha vd., 2021 ; Liam vd., 2015; Nakajima vd., 2020). Ayrıca, BT taramaları travma hastalarının değerlendirilmesinde, tedavi kararlarının yönlendirilmesinde ve hastaneye yatış veya cerrahi müdahale ihtiyacının öngörülmesinde önemli bir rol oynamaktadır (inci vd., 2024; Nakajima vd., 2020).

BT'nin sağlık hizmetlerindeki önemi, pulmoner nodüller, venöz bacak ülserleri ve sistemik otoimmün hastalıklar gibi durumlar için ayrıntılı görüntüleme bilgileri sunma kabiliyeti ile daha da vurgulanmaktadır (Patton vd.,2020; AlShammeri, ve diğerleri, 2022; Eslambolchi vd., 2020). Ayrıca BT görüntüleme, hastalığın ilerlemesinin izlenmesinde, tedavi etkinliğinin değerlendirilmesinde ve çeşitli tıbbi uzmanlık alanlarında terapötik müdahalelerin yönlendirilmesinde kritik öneme sahiptir (Liam vd., 2015 ; Nakajima vd., 2020 ; Pearce vd., 2012). Hastanelerde BT hizmetlerinin bulunması, zamanında ve doğru teşhisler yapılmasını sağlayarak hasta sonuçlarının iyileşmesine ve sağlık hizmetlerinin kolaylaştırılmasına yol açar (Winqvist vd., 2023)

Bu hizmetlere erişimdeki gecikmeler, acilen ihtiyaç duyulan tıbbi bakımı erteleyerek hastanın durumunu daha da kötüleştirebilir. Radyoloji bölümünde bir araya gelen hastalar hem ekipman kullanımını hem de hastaların bekleme süresini etkileyerek sistemin önemli bir bileşenini oluşturur. Bu nedenle, ekipman kullanım verimliliğini değerlendirmek ve hasta bekleme sürelerini en aza indirmek için radyoloji departmanının operasyonlarının kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi şarttır. Bu bağlamda simülasyon, özellikle BT tarama hizmetlerinin yönetimini iyileştirmek için değerlendirme sürecinde ve karar vermede hayati bir araç olarak ortaya çıkmaktadır (Shakoor vd., 2021).

Türkiye'de bilgisayarlı tomografi (BT) çekim sayıları, 2020-2022 yılları arasında belirgin bir artış göstermiştir. 2020 yılında toplam BT çekim sayısı 22.608.923 iken, 2021 yılında bu sayı 24.688.587'ye yükselmiştir. Bu, bir yıl içinde yaklaşık %9,2'lik bir artışı ifade etmektedir. 2022 yılında ise BT çekim sayısı 25.178.827 olarak kaydedilmiş ve bir önceki yıla göre %2'lik bir artış daha yaşanmıştır. Bu süreçte en fazla çekim, Sağlık Bakanlığı'na bağlı sağlık kurumlarında gerçekleştirilmiş olup, toplam çekimlerin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Üniversite ve özel sağlık kuruluşları ise daha düşük oranlarda BT çekimi gerçekleştirmiştir. Veriler, artan tanı ve teşhis ihtiyacı ile birlikte sağlık hizmetlerindeki kapasitenin genişlediğini ve özellikle pandeminin etkisiyle görüntüleme taleplerinin arttığını göstermektedir.

TABLO 1 | BT Çekim Sayıları

Yıllar	Kurumlar	BT
2020	Sağlık Bakanlığı	16.103.574
	Üniversite	2.914.855
	Özel	3.590.494
	Toplam	22.608.923
2021	Sağlık Bakanlığı	18.008.250
	Üniversite	3.171.108
	Özel	3.509.229
	Toplam	24.688.587
2022	Sağlık Bakanlığı	18.807.818
	Üniversite	3.372.514
	Özel	2.998.495
	Toplam	25.178.827

Sonuç olarak, bilgisayarlı tomografi (BT) taramaları, modern tıp pratiğinde kritik bir rol oynamaktadır ve hastalıkların doğru teşhis ve tedavisinde vazgeçilmez bir araçtır. Radyoloji bölümlerinin etkinliği, hastaların zamanında ve doğru teşhisler almasını sağlayarak, genel sağlık hizmetlerinin kalitesini doğrudan etkiler. Ancak, artan talep ve sınırlı kaynaklar nedeniyle radyoloji departmanlarında operasyonel zorluklar yaşanmaktadır. Bu zorluklarla başa çıkabilmek amacıyla yeni cihaz veya cihazlar satın alınması, çalışma sürelerinin artırılması veya dış hizmet satın alımı gibi alternatif çözüm yöntemleri mevcuttur.

Yeni cihaz satın alınmasının hasta bekleme sürelerini azaltacağı aşikârdır. Ancak hem cihaz maliyeti hem gerekli personel sayısı ve tahsis edilecek fiziksel alan gibi unsurlar göz önüne alındığında cihaz sayısının devamlı olarak artırılmasının gerçekçi olmayacağı açıktır. Diğer bir alternatif hizmet sürelerinin uzatılması olabilir. Ancak özellikle şehir dışından gelecek hastalar dikkate alınırsa gece geç vakitlere verilecek randevuların da çeşitli sorunları beraberinde getireceği düşünülmektedir. Dolayısıyla çalışma saatlerinin hastaneye ulaşımın nispeten kolay olabileceği zaman dilimlerinde olması sorunun çözümüne bir miktar katkı sağlayabilir. Bir başka alternatif çözüm ise dış hizmet satın alımıdır. Dış hizmet satın alımı hastane yönetiminin sorunun çözümüne yönelik uygulayabileceği yukarıda sayılan alternatif çözümlerin etkisinin değerlendirilmesinden sonra vereceği karardır. Bu çalışma bir üniversite hastanesi radyoloji bölümünde BT çekimi için tasarlanmıştır. Artan hasta sayısı BT çekimi için başvuran hastaların uzun süre beklemesine neden olmaktadır. Hastanenin yeni cihaz alımı, dış hizmet satın alımı ve çalışma saatlerinin uzatılması gibi alternatif çözüm yolları vardır. Çalışmada, yukarıda bahsedilen alternatif çözümlerin hizmet verilebilecek hasta sayısını ve hastaların ortalama bekleme sürelerini nasıl etkileyeceği araştırılmıştır. Ayrıca hasta sayısında meydana gelebilecek artışlara göre de sistem simüle edilmiş ve geleceğe projeksiyonu oluşturulmuştur. Böylece hastane yönetimine bir cihaz alınması durumunda sistemin nasıl davranacağı hususunda öngörü sağlanmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmanın geri kalan kısmı şu şekilde yapılandırılmıştır: İkinci bölümde, çalışmaya temel teşkil eden literatür taraması ve bu konuda yapılmış önceki araştırmalar ele alınmaktadır. Üçüncü bölümde, araştırmada kullanılan metodoloji ve veri toplama süreci detaylandırılmıştır. Dördüncü bölümde, elde edilen veriler ve simülasyon modelleri üzerinden yapılan analizler ile uygulama sonuçları tartışılmaktadır. Beşinci ve son bölümde ise, çalışma bulguları özetlenerek yönetimsel ve operasyonel öneriler sunulmakta, ayrıca gelecekte yapılabilecek çalışmalar için öneriler yer almaktadır.

2. Literatür Taraması

Ayrık Olay Simülasyonu (DES), sağlık sistemlerinde hasta akışlarını modelleme, kaynak tahsisi ve kapasite planlaması için önemli bir araç haline gelmiştir. Radyoloji bölümleri de dahil olmak üzere çeşitli sağlık hizmetleri ortamlarında DES'in etkinliğini vurgulayan birçok çalışma bulunmaktadır. DES, acil servislerde (Maass vd., 2021), yoğun

bakım ünitelerinde (Durmuş ve Özdemir, 2023), ameliyathanelerde ve radyoloji departmanlarında (Luo vd., 2018), fizik tedavi ve rehabilitasyon bölümünde (Doğan ve Unutulmaz, 2016), bir eğitim ve araştırma hastanesinin iç hastalıkları bölümünde (Akbal ve Doğan, 2025), hasta akışlarını modellemek için kullanılmıştır.

Teichgräber vd., (2003) tarafından yapılan çalışmanın amacı, radyolojide iş akışı yönetimi için çeşitli araçları tanıtmak ve bunların uygulanmasını incelemektir. Bu çalışmada, basit kağıt tabanlı yöntemlerin yanı sıra karmaşık iş akışlarını analiz etmek için doğru nicel ve nitel tahminler yapabilen tekniklerin tercih edilmesi önerilmektedir. Sonuç olarak, radyoloji uygulamalarındaki iş akışı yönetiminin önemine dikkat çekilerek, hekimlerin ekonomik faktörlere göre iş akışlarını optimize etmek için geliştirilmiş becerilere olan ihtiyacı vurgulanmaktadır (Teichgräber vd., 2003).

Lindsköld vd., (2008) tarafından yapılan bir çalışmanın amacı, sağlık hizmetlerinde (özellikle radyolojide) simülasyonun iş uygulama değişikliklerinin sonucunu tahmin etmek için nasıl kullanıldığını analiz etmektir. Bu çalışma, radyoloji organizasyonlarındaki dönüşüm sürecinde, yeni teknolojilerin radyoloji iş uygulamasındaki kullanım bağlamında tahmin edilmesi veya hayal edilmesi konusunda mevcut literatürde bir eksiklik olduğunu belirtmektedir. Bununla birlikte, veri toplamanın ve madenciliğinin karmaşık sistemleri anlama konusunda mükemmel bir yatırım olduğunu ve simülasyon modellerinin radyolojide değişim için nasıl uygulanabileceğini göstermektedir (Lindsköld vd., 2008).

Nickel ve Schmidt (2009) tarafından yapılan çalışmanın amacı, bir Alman üniversite hastanesindeki süreçleri iyileştirmek üzere yapılan bir vaka çalışmasını incelemektir. Özellikle, radyoloji bölümünde hasta akışının ve cihaz kullanımının analizine odaklanılmıştır. Çalışmanın gözlemleri, mevcut radyoloji bölümü organizasyonunun yüksek hasta bekleme süreleri ve makine boş bekleme süreleri ile sonuçlandığını göstermiştir. Ayrık olay çok kriterli simülasyon modeli kullanılarak yapılan analizler, farklı senaryoların modellemesini sağlayarak farklı alternatifleri kolayca karşılaştırmaya ve değerlendirmeye imkân tanımıştır. Bu da makine kullanımının artırılması ve bekleme sürelerinin azaltılmasına yol açmıştır (Nickel ve Schmidt, 2009).

Lindsköld vd., (2012) tarafından yapılan çalışmanın amacı, elektronik sağlık teknolojilerinin ortaya çıkardığı sürekli dönüşüm sürecinde, radyoloji departmanlarını bu değişikliklere hazırlamak için yeni yöntemler geliştirmektir. Yeni teknolojilerin sağlık hizmetlerindeki uygulanması ve kullanımının etkilerini önceden tahmin etme yöntemlerine yönelik literatürde bir eksiklik bulunduğu belirtilmektedir. Bu çalışmanın sonucunda, DES tekniğinin İsveç'teki Alingsås Hastanesi radyoloji departmanında, yeni bir MRI ünitesine yatırım yapıldıktan ve iki eski oda kapatıldıktan sonra gelecekteki muayene kapasitesi değişikliklerini planlamak için geçerli bir araç olduğu doğrulanmıştır (Lindsköld vd., 2012). Ayrıca, bir sağlık sistemindeki hasta akışı ve verileri analiz edildikten sonra geliştirilen ve bir radyoloji bölümündeki BT hasta akışı ve kapasitesinin tahmin edilmesini destekleyen bir ayrık olay simülasyon modeli olan StratBAM da sunulmuştur (Devapriya vd., 2015).

Luo Vd., (2016) tarafından yapılan çalışma, bir hastane ortamında BT tetkik kuyruğu için bir ayrık olay simülasyon modeli sunmaktadır. Bu çalışma, acil servisten hastane yataklarına hasta akışındaki darboğazları belirlemeye odaklanmakta ve BT hasta akışını ve kapasitesini tahmin etmekle ilgili olan hasta akış dinamiklerini analiz etmede ayrık olay simülasyonunun uygulanmasını göstermektedir (Luo vd., 2016).

Al-Nasra vd. çalışmalarında, hastalara sorunsuz ve ekonomik bir şekilde daha iyi hizmet vererek belirli bir sağlık departmanının performansını artırmak ve mevcut sistemin kapsamlı bir şekilde gözden geçirilmesine yol açmaktadır. Çalışma, Arena modelleme yazılımını kullanarak bir model geliştirmek için bir yıl boyunca işlem ve varış süreleriyle ilgili verileri kullanarak ana yönetim aracı olarak Ayrık Olay Simülasyonunu kullanmaktadır. Bulgular, radyoloji bölümündeki tükenmiş kaynakları ortaya çıkararak hizmet kalitesini artıran ve hasta bekleme sürelerini azaltan yönetimsel kararların alınmasını sağlamıştır (Al-Nasra vd., 2017).

Liv d., (2018) tarafından yapılan bir çalışma, Genel Hastane'nin radyoloji bölümünde randevulu hastaların her muayene alt döneminde kapasite ve varış stratejilerini tartışmaktadır. Bu çalışmada, hizmet memnuniyeti teorisi, istatistiksel analiz ve simülasyon modelleme analizi kullanılarak, mevcut randevu kuralı incelenir ve ardından her muayene alt döneminde randevulu hastalar için kesin kapasite ve varış stratejileri önerilir. Bu yaklaşım, randevu kurallarının doğruluğunu artırabilir, hastaların bekleme sürelerini azaltabilir ve radyoloji bölümündeki tıbbi kaynakları makul bir şekilde eşleştirebilir.

Gullhav vd., (2018) tarafından yapılan bir çalışma, manyetik rezonans görüntüleme laboratuvarlarında blok planlamayı araştırmak için ayrık olay simülasyonunu kullanarak hasta akışlarını modellemekte ve randevu planlama politikalarını analiz etmektedir. Bu çalışma, radyoloji bölümündeki BT hasta akışını anlamakla ilgili sağlık hizmetleri sistemlerindeki hasta akışlarını incelemek için ayrık olay simülasyonunun nasıl uygulanabileceğine dair içgörüler sunmaktadır (Gullhav vd., 2018). Literatür taraması ayrıca DES'in performans odaklı sağlık hizmeti tasarımını desteklemedeki değerini vurgulamış, sağlık hizmeti ortamlarında tesis tasarımı ve planlamasıyla ilgili karar verme süreçlerine yardımcı olmuştur (Cai & Jun, 2018). Benzer şekilde, Vieira vd., (2019) tarafından yapılan bir araştırma, büyük bir radyoterapi departmanında hasta akışının modellenmesinde ayrık olay simülasyonunun uygulandığını göstermektedir ve bu çalışma BT hasta akışı ve kapasitesinin tahmin edilmesiyle ilgilidir. Ayrıca DES, radyoloji personeli de dahil olmak üzere sağlık çalışanlarının akut tıbbi acil durumları yönetme becerilerini geliştirmek ve klinik yeterliliği artırmak için eğitimlerinde kullanılmıştır (Mh vd., 2020).

Chen vd., (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, bir radyoloji bölümündeki BT hasta akışını ve kapasitesini tahmin etme göreviyle uyumlu olarak, bölümün kapasitesini analiz etmek için gerçek hasta akışı verilerine dayanan Simul8 ayrık olay simülasyon yazılımı kullanılmıştır. DES, klinik tasarımı için etkili bir araç olarak kabul edilmiş ve simülasyon modellemesi yoluyla personel, operasyonel süreçlerin ve kapasite yönetiminin optimize edilmesine yönelik içgörüler sunmuştur (Zamani, 2023; Durmuş vd., 2023).

Türkiye'de sağlık sektöründe simülasyon yönteminin kullanımı, sağlık hizmetlerinin kalitesini artırmak ve verimliliği sağlamak amacıyla hızla yaygınlaşmaktadır. Bu yöntem, sağlık kaynaklarının etkin yönetimi, eğitim süreçlerinin iyileştirilmesi ve hasta güvenliğinin artırılması gibi birçok alanda uygulanmaktadır. Örneğin, Günöz (2023) simülasyon teknikleriyle hastanelerin yatak kapasitesi, doluluk oranları ve hasta bekleme süreleri gibi sorunların çözüme kavuşturulmasını ele almıştır. Benzer şekilde, Karadayı ve arkadaşlarının (2019) çalışmasında, simülasyonun sağlık hizmetlerinde kaliteyi artırma ve verimliliği sağlama açısından etkili bir yöntem olduğu vurgulanmıştır. Bunun yanı sıra, Kama ve Doğan (2020) bir kamu hastanesinde simülasyon bazlı değer akış haritalama uygulamaları gerçekleştirerek, sağlık hizmetlerinin planlama ve yönetim süreçlerinde bu yöntemin önemli bir araç olduğunu göstermiştir.

Simülasyonun sağlık çalışanlarının eğitimi ve hasta bakım süreçlerinde de kritik bir rol oynadığı görülmektedir. Sarıkoç (2016), simülasyon uygulamalarının hasta güvenliği ve bakım kalitesine katkılarını incelerken, Nur ve arkadaşları (2022) bu yöntemin cerrahi ve gastroenteroloji gibi uzmanlık alanlarındaki eğitimlerdeki önemine dikkat çekmiştir. Ayrıca, Atalan ve arkadaşlarının (2018) çalışması, simülasyonun acil servislerde hizmet kalitesini artırmak için yüksek eğitimli hemşirelerin becerilerini geliştirmede etkili olduğunu ortaya koymuştur. Sarvan ve Efe (2021), yenidoğan resüsitasyonu eğitiminde simülasyonun kritik öneme sahip olduğunu belirtirken, Arı (2024) simülasyonun sağlık sektöründe şiddet ve asimetrik bilgi gibi sorunların çözümüne katkı sağladığını ifade etmiştir. Tüm bu uygulamalar, simülasyonun sağlık hizmetlerinin farklı alanlarında hem hizmet kalitesini artırdığını hem de sağlık çalışanlarının mesleki becerilerini geliştirdiğini göstermektedir.

Bu çalışma, literatürde yer alan mevcut araştırmalardan birkaç yönüyle farklılaşmaktadır. İlk olarak, simülasyon modellerini yalnızca operasyonel süreçlerin analizinde değil, aynı zamanda farklı senaryolar üzerinden stratejik karar destek aracı olarak da kullanmaktadır. Çalışmada, BT cihazlarının kullanımına ilişkin darboğazlar ve bekleme süreleri detaylı şekilde analiz edilerek, mevcut literatürde eksik kalan kapasite optimizasyonu ve hizmet sürekliliği konularında katkı sağlanmaktadır. Ayrıca, veri temelli simülasyon analizleri ile kaynak planlamasına yönelik somut ve uygulanabilir öneriler sunulmaktadır.

Bu bağlamda, araştırmanın bulguları hem literatüre hem de sağlık hizmetlerinin yönetimsel süreçlerine önemli katkılar sunarak, sağlık sektöründe simülasyonun rolünü güçlendirmektedir.

Sonuç olarak, literatür taraması DES'in radyoloji departmanlarındaki hasta akışını ve kapasitesini tahmin etmedeki öneminin altını çizmekte, operasyonel süreçleri optimize etme, verimliliği artırma ve sağlık hizmeti ortamlarında hasta bakımını geliştirme konusunda değerli bilgiler sunmaktadır. DES'ten yararlanarak, sağlık tesisleri bilinçli kararlar alabilir, etkili stratejiler uygulayabilir ve hastalara yüksek kaliteli bakım sunulmasını sağlamak için zorlukları ele alabilir.

3. Yöntem

Araştırma, bir üniversite hastanesinin radyoloji bölümünde BT (Bilgisayarlı Tomografi) hastalarının akışını ve bölüm kapasitesini tahmin etmek amacıyla ayrık olay simülasyonunu kullanmaktadır. Simülasyon modeli ile ilgili veriler radyoloji bölümünden toplanmıştır. Bu veriler, hastaların geliş, muayene, tarama ve taburcu süreçlerini kapsamaktadır. Sistemden elde edilen veriler analiz edilerek simülasyon modelinde kullanılacak olan dağılımlar bulunmuştur. BT çekimi süreci Arena simülasyon programı kullanılarak modellenmiştir. Ardından simülasyon için başlangıç koşulları belirlenmiş ve farklı senaryolar ve değişkenler üzerinde çeşitli varyasyonlar yapılmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçları, grafikler ve tablolar aracılığıyla görselleştirilmiş ve analiz edilmiştir. Son olarak, araştırmanın bulguları özetlenmiş, ayrık olay simülasyonunun radyoloji bölümünde BT hizmetlerinin yönetimine nasıl katkı sağlayabileceği tartışılmış ve gelecekte yapılacak çalışmalar için öneriler sunulmuştur. Bu yöntemlerin kullanılması, radyoloji bölümünde BT hizmetlerinin akışını ve kapasitesini iyileştirmek için stratejiler geliştirmeye yardımcı olabilir.

3.1.Simülasyon Modeli

Modelleme hem varış hızlarında hem de işlem sürelerinde önemli değişkenliklerle karakterize edilen karmaşık sistemlerde karar verme, çalışma ve çeşitli işlemleri analiz etmek için en yaygın kullanılan yöntemlerden biri olarak kabul edilir (Shannon, 1998).

Bir simülasyon modeli, karmaşık sistemlerin davranışını tahmin etmek için sağlık, otomotiv endüstrisi ve bilgisayar bilimi gibi çeşitli alanlarda kullanılan değerli bir araçtır (Hotz vd., 2006). Bu modeller, sistem unsurlarının davranışlarını birleştirerek, olay gecikmeleri için olasılık dağılımlarını tanımlayarak, deneysel bir çerçeve oluşturarak ve model unsurlarını görsel olarak temsil ederek gerçek dünya senaryolarını kopyalamayı amaçlamaktadır (Casas vd., 2013). Özünde, simülasyon modelleri, geleneksel matematiksel yaklaşımlar kullanılarak analiz edilmesi zor olan karmaşık sistemlerin anlaşılmasına yardımcı olan hesaplamalı modeller olarak hizmet eder (Primiero, 2019). Birden fazla simülasyon aracı, model ve bilgi işlem kaynağı içeren basitten son derece karmaşık mimarilere kadar çeşitlilik gösterebilirler (Sohier vd., 2021).

Simülasyon modelleri, karar alma süreçlerinde, özellikle de herhangi bir değişikliği uygulamadan önce değerlendirilmek üzere gerçek sağlık sistemlerini temsil etmek için kullanıldıkları sağlık hizmetlerinde önemli bir rol oynamaktadır (Nawawi vd., 2021). Bir simülasyon modeli geliştirme süreci tipik olarak problem formülasyonu, model uygulaması, doğrulama, geçerleme, deney ve çıktı verilerinin analizi gibi aşamaları içerir (Powell ve Mustafee, 2017). Simülasyon çalışmaları, yumuşak sistemler, hibrit simülasyon ve ajan tabanlı modelleme gibi çeşitli metodolojileri bir araya getirerek çok çeşitli sistem davranışlarını ve etkileşimlerini yakalayabilir (Powell ve Mustafee, 2017; Onggo ve Karpat, 2012; Ordu vd., 2021).

Araştırmalar DES'in karmaşık hasta akışlarının modellenmesi, geçici sistem performans analizi ve çizelgeleme/kaynak tahsisi problemleri için çok uygun olduğunu göstermiştir ve bu da onu radyoloji departmanlarında hasta randevu çizelgeleme ve muayene odası atama için uygun bir yaklaşım haline getirmektedir (Chen vd., 2021).

Simülasyon modelleri, geleneksel analitik yöntemlerle anlaşılması zor olan karmaşık sistemleri tahmin etmek, analiz etmek ve optimize etmek için bir araç sunarak çeşitli alanlarda paha biçilmez araçlar olarak hizmet vermektedir. Farklı metodolojileri, doğrulama tekniklerini ve optimizasyon yaklaşımlarını bir araya getiren simülasyon modellemesi, karmaşık sistemlere ilişkin anlayışımızı geliştirmeye ve farklı sektörlerdeki karar alma süreçlerini iyileştirmeye devam etmektedir.

3.2.Veri Toplama

Bu çalışma kapsamında, Dokuz Eylül Üniversite Hastanesinin Radyoloji Bölümünde BT (Bilgisayarlı Tomografi) hasta akışını ve kapasitesini tahmin etmek amacıyla ayrık olay simülasyonu kullanılmıştır. Simülasyon modelinin doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamak için gerekli verilerin toplanması kritik bir adım olmuştur. Veri toplama sürecinde, hastane bilgi yönetim sistemi (HBYS) ile doğrudan gözlem ve ölçümlerden yararlanılmıştır. HBYS'den elde edilen veriler, hasta kayıtları ile BT çekim zamanı bilgilerini içermektedir. Ayrıca, BT ünitesinde yapılan gözlemler ve personel görüşmeleri ile ek veriler toplanmıştır. Veri toplama süreci üç ana aşamadan oluşmuştur: ön hazırlık ve planlama, veri toplama ve gözlem, veri doğrulama ve analiz. Ön hazırlık aşamasında, veri toplama stratejisi belirlenmiş ve Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal ve Beşerî Bilimler Bilimsel Araştırma ve Yayın Etik Kurulunun 02/04/2024 tarihli toplantısında değerlendirilmiş ve toplantıda alınan 30 sayılı karar ile gerekli izinler alınmıştır.

Tablo 2'de, farklı servislerden gelen hastaların bilgisayarlı tomografi (BT) çekim taleplerine ilişkin randevu tarihleri, cihaz kullanım saat aralıkları ve hasta tipleri yer almaktadır. Veriler, hasta başvurusu ile randevu tarihi arasında değişen bekleme sürelerini ve kullanılan cihazların (BT1, BT2) yoğunluğunu göstermektedir.

TABLO 2 | Örnek Veriler

Servis Adı	Hasta Geliş Tarihi	İstem Adı	Randevu Verildiği Tarih	Randevu Tarihi	Randevu Saat Aralığı
Üroloji Pol.	11/1/2023	Bt-Alt Abd	11/1/2023	12/1/2023	08:30-08:45
Hematoloji Pol. -3	1/24/2023	Bt-Alt Abd	1/24/2023	2/15/2023	09:30-09:45
Tıbbı Onkoloji Pol.	1/24/2023	Bt-Alt Abd	1/25/2023	3/28/2023	12:15-12:30
Gastroenteroloji P. 2	12/1/2023	Bt-Alt Abd	12/1/2023	1/16/2023	18:30-18:45
Nefroloji Pol. 1	12/12/2022	Bt-Alt Abd	12/12/2022	12/1/2023	11:30-11:45
Nefroloji Pol. 1	12/30/2022	Bt-Kemsurvey	2/1/2023	1/2/2023	8:15-18:35
Hematoloji Pol.	2/23/2023	Bt-Kemsurvey	2/23/2023	2/24/2023	18:00-18:20
Tıbbı Onkoloji Pol.	11/16/2022	Bt-Alt Abd	11/21/2022	1/23/2023	11:15-11:30
Kadın Hastalıkları Polk-1	2/13/2023	Bt-Alt Abd	2/13/2023	3/20/2023	14:05-14:20
Tıbbı Onkoloji Pol.	8/31/2022	Bt-Alt Abd	3/11/2022	1/24/2023	09:30-09:45

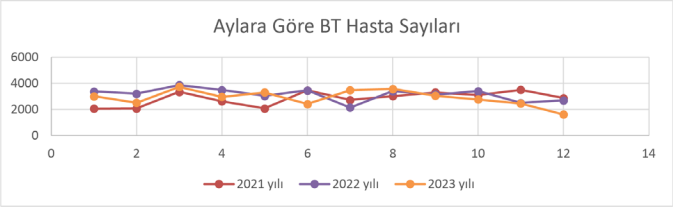
Veri toplama aşamasında, HBYS'den elde edilen veriler doğrulanmış ve belirli bir dönemde yapılan gözlemler ile ek veriler kaydedilmiştir. Son aşamada, toplanan veriler Arena Input Analyzer ile analiz edilmiş ve simülasyon modelinde kullanılmak üzere uygun dağılımlar elde edilmiştir. Bu kapsamlı veri toplama süreci, modelin hasta akışını, kaynak kullanımını ve bekleme sürelerini doğru bir şekilde yansıtabilmesini sağlamış ve simülasyon sonuçlarının geçerliliğini artırmıştır.

TABLO 3 | Aylara Göre BT Hasta Sayıları

Aylar	2021 Yılı	2022 Yılı	2023 Yılı
Ocak	2058	3367	3006
Şubat	2072	3196	2509
Mart	3337	3855	3722
Nisan	2619	3475	2961
Mayıs	2076	3033	3291
Haziran	3453	3458	2402
Temmuz	2722	2153	3470
Ağustos	3009	3390	3561
Eylül	3300	3133	3043
Ekim	3099	3389	2760
Kasım	3509	2490	2454
Aralık	2860	2691	2608

Tablo 3'te yıllara göre aylık BT çekim sayıları bulunmaktadır.

ŞEKİL 1 | Aylara Göre BT Hasta Sayıları



Grafikte (Şekil 1), 2021, 2022 ve 2023 yıllarına ait hastanenin BT (Bilgisayarlı Tomografi) çekim sayılarına ilişkin aylık veriler sunulmaktadır. Veriler, yıllar arasında BT çekimlerinde belirgin değişiklikler olduğunu göstermektedir. 2021 yılına bakıldığında, genel BT çekimleri ocak ayında 2058 hasta ile başlamakta ve kasım ayında en yüksek değer olan 3509'a ulaşmaktadır. Mart, haziran ve eylül aylarında BT çekimlerinin yine yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir. 2022 yılı verileri incelendiğinde, genel BT çekimlerinin ocak ayında 3367 ile başlayıp mart ayında 3855 hasta ile zirve yapmıştır. En düşük hasta sayısı temmuz ayında olmakla birlikte kasım ve aralık aylarında diğer aylara göre belirgin bir azalma olduğu açıktır. 2023 yılında ise ocak ayında 3006 hasta ile başlanmış olup 2022 yılında olduğu gibi mart ayında en yüksek hasta sayısına ulaşılmıştır (3722). Yılın son üç ayında hasta sayısında bir azalma olduğu görülmektedir. Grafik incelendiğinde üç yıl içinde mart ayında hasta sayısında bir yükselme olduğu dikkat çekmektedir.

3.3. Problemin Tanımı ve Modellenmesi

Bilgisayarlı Tomografi (BT) Hasta Akış Süreci, hastaların kabulünden sonuçlarının raporlanmasına kadar olan süreçlerde gözlenen bekleme kuyruklarının, darboğazların belirlenmesi ve etkin bir şekilde yönetilmesi açısından büyük öneme sahiptir. BT çekim talebindeki artış, etkin hasta randevu planlaması, çekim aşaması ve rapor yazım süreçlerinin geliştirilmesini zorunlu kılar. Uzun bekleme süreleri, BT çekimlerinin tıkanmasına ve cihaz kapasite doluluk oranlarının artmasına neden olabilir, bu da hastaların dış sağlık kuruluşlarına yönlendirilmesine yol açabilir. Hastanenin radyoloji bölümünde BT ve MR raporlaması için toplamda 20 asistan, 5 tıbbi sekreter ve 12 öğretim üyesi görev yapmaktadır. Asistanlar, raporların ön değerlendirmesini gerçekleştiren ilk aşamada aktif rol almakta, ardından rapor yazım süreci tıbbi sekreter tarafından yürütülmektedir. Hazırlanan raporlar, son onay aşamasında öğretim üyesi tarafından değerlendirilmektedir. Tüm personel, kamu hastanelerinde yaygın olduğu üzere 08:00-20:00 saatleri arasında tek vardiya düzeninde çalışmaktadır. Simülasyon sürecinde, tüm raporlama işlemlerinin (BT, MR ve ultrason) tıbbi sekreterler tarafından yürütülmesi nedeniyle, modelde her bir işlem için yalnızca birer tıbbi sekreter atanmış ve bu sekreterlerin işlem süreleri, gerçek sistemdeki iş yüküne uygun şekilde ayarlanmıştır. Aynı şekilde, asistan doktorlar yalnızca raporların ön değerlendirmesini yaptıkları için bir asistan doktor, son onay sürecinde ise bir öğretim üyesi kullanılarak tüm süreçlerin modellemesi gerçekleştirilmiştir.

Bu yaklaşım, simülasyon modellerinde yaygın olarak kullanılan temsiliyet ilkesi doğrultusunda benimsenmiş olup, süreçlerin karmaşıklığını azaltarak analiz sürecini kolaylaştırmayı hedeflemiştir. Her ne kadar gerçek sistemde daha fazla personel görev alsa da, simülasyonda her bir pozisyonun iş yükü ve süresi, temsilî personel üzerinden dengelenerek yansıtılmıştır. Bu sayede, modelin doğruluğu korunmuş ve analiz edilebilir bir yapı elde edilmiştir.

Bu çalışmada, mesai saatlerinin değiştirilmesi ve yeni bir cihaz alınması durumunda bir yıl içerisinde ne kadar hastanın hizmet alabileceği, hastaların ortalama bekleme sürelerinin ne kadar olacağı belirlenmeye çalışılmış olup BT yönetimine alternatif politika önerileri sunulması amaçlanmıştır.

Model oluşturma sürecinde çeşitli varsayımlar yapılmıştır:

(1) Modelde sadece hafta içi günler hesaba katılmıştır. Hafta sonları ve diğer resmî tatil günlerine randevu verilmemektedir.

(2) Hastaların geliş hızı ve işlem süreleri, toplanan verilerle eşleşen istatistiksel olasılık yoğunluk fonksiyonlarına dayandırılmıştır.

(3) Randevulu hastalar için BT çekimleri saat 08.00 ile 20.00 arasıdır.

(4) Çalışma radyoloji ünitesindeki hizmet sunumu için yapılmış olup acil servis te bulunan BT cihazı dikkate alınmamıştır. Acil servis hastaları ilgili hizmeti acil serviste bulunan cihazdan almakta olup bu cihaz poliklinik hastalarına hizmet vermemektedir.

(5) Yataklı hastaların BT çekimleri gece saatlerinde yapılmaktadır.

(6) Nadiren de olsa acil servis veya yataklı hastalardan BT çekimi için radyoloji servisine hasta gönderilebilmektedir. Bu durumda hastaların en kısa sürede uygun olan cihaza yönlendirmesi yapılmaktadır.

(7) Tüm radyoloji bölümü personelinin ayırt edilemez ve tam nitelikli kaynaklar olduğu varsayılmıştır.

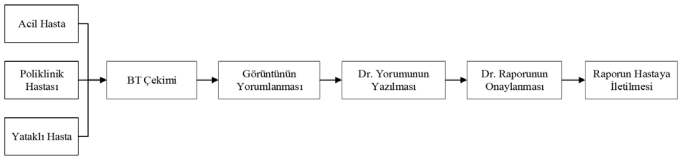
(8) Hastaların bekleme alanından tarama alanına yürümek için harcadıkları süre görüntüleme işlem süresine dahil edilmiştir.

(9) Hastaların giyinmek ve soyunmak için harcadıkları zaman işlem süresinin bir parçası olarak kabul edilmiştir.

Bir BT tarayıcısı için hasta akış süreci Şekil 1'de gösterilmiştir. Tarayıcı, rutin taramalar sunan üç hasta kategorisine hizmet vermektedir: poliklinik hastaları, yataklı hastalar ve acil hastalar. Acil hastaların çekimi, acil servis içinde bulunan cihazla yapılırken, diğer gruptaki hastalar radyoloji ünitesindeki cihazlarla hizmet almaktadır. Toplamda üç adet BT cihazı bulunmaktadır. Hasta akış süreci, acil hasta, poliklinik hastası ve yataklı hasta olmak üzere üç farklı hasta grubunun BT çekimi için yönlendirilmesi ile başlamaktadır. İlk aşama, hastanın BT çekimi için görüntüleme merkezine yönlendirilmesidir. Görüntüleme işlemi tamamlandıktan sonra, elde edilen görüntüler uzman bir doktor tarafından yorumlanır. Doktorun yorumlaması sonrasında, bu yorumlara dayalı olarak detaylı bir rapor yazılır. Yazılan rapor, ikinci bir doktor tarafından incelenerek onaylanır. Son aşamada ise, onaylanmış rapor hastaya iletilir. Bu süreç, hasta tipinden bağımsız olarak standart bir prosedürü takip eder ve her aşama tıbbi doğruluk ve güvenilirlik esaslarına dayanarak gerçekleştirilir.

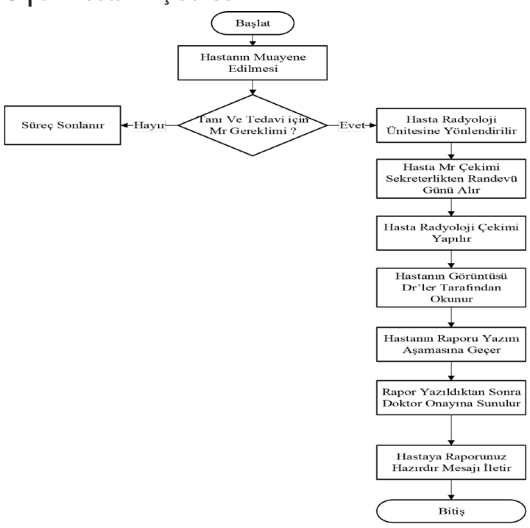
Çalışmada radyoloji ünitesinde bulunan ve randevulu hastalara hizmet veren cihazlar simülasyona dahil edilmiştir. Acil serviste bulunan BT cihazı sadece acil servis hastalarına hizmet vermekte olup simülasyona dahil edilmemiştir.

ŞEKİL 2 | BT Akış Süreci



BT Hasta Akış Süreci, sağlık kuruluşlarında hasta yönetimi ve bakımının optimize edilmesini sağlayan kritik bir sistemdir. Bu süreç, hastaların başvurudan taburcu olana kadar olan tüm aşamalarını kapsar ve bilgi teknolojileri sistemlerinin kullanımını içerir. Hasta kayıtlarının tutulması, randevu planlaması, tedavi planlarının oluşturulması, tıbbi görüntüleme sonuçlarının yönetilmesi gibi birçok işlevi bünyesinde barındırır.

ŞEKİL 3 | BT Hasta Akış Süreci



Bu akış diyagramı, bir hastanın Bilgisayarlı Tomografi (BT) çekimi sürecini adım adım göstermektedir. Süreç, hastanın muayene edilmesiyle başlar. Eğer tanı ve tedavi için BT gerekmiyorsa süreç sonlanır. Ancak BT gerekiyorsa, hasta radyoloji ünitesine yönlendirilir ve burada sekreterlikten BT çekimi için randevu alır. Randevu günü geldiğinde, hastanın BT çekimi yapılır ardından görüntüler doktorlar tarafından okunur. Doktorlar görüntüleri değerlendirdikten sonra, rapor yazım aşamasına geçilir. Rapor yazıldıktan sonra doktor onayına sunulur. Onaylandıktan sonra, hastaya raporunun hazır olduğuna dair bir mesaj iletilir ve süreç tamamlanır.

Bu akış diyagramı, hastanın BT çekim sürecindeki adımları sistematik ve anlaşılır bir şekilde göstermekte, bu sayede süreçteki her adımın takip edilmesini kolaylaştırmaktadır. Bu tür bir diyagram, sağlık hizmetlerinde etkinlik ve verimliliği artırmak için kullanılabilir.

3.4. Model Doğrulama Ve Geçerleme

Simülasyon modeli doğrulaması, simülasyon modellerinin doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamada kritik bir süreçtir. İki ana bileşenden oluşur: model doğrulama ve model onaylama. Model doğrulama, modelin çıktısını deneysel gözlemlerle karşılaştırarak uyum düzeyini değerlendirmek suretiyle simülasyon modelinin simüle ettiği gerçek sistemi doğru bir şekilde temsil ettiğini teyit etmeyi amaçlar (Lin vd., 2018). Öte yandan, model onaylama, simülasyon modelinin sistemin kavramsal modelinin özelliklerine göre uygulanmasını sağlar. Kavramsal modelin, modelleme amacıyla gerçek sistemin sadık bir temsili olduğunun doğrulanmasını içerir (Dinwoodie vd., 2015).

Doğrulama, geliştirilen modelin mevcut sistemi doğru bir şekilde temsil edip etmediğini değerlendirme sürecidir (Law ve Kelton, 2000). Simülasyon modelleri gerçek sistemlerin basitleştirilmesi olduğundan, tam bir doğrulama elde etmek genellikle pratik değildir. Banks vd., ve Kelton vd., (2014) mevcut sistemlerin modellerini doğrulamak için bir çerçeve çizmiştir (Banks vd., 2004; Law ve Kelton, 2000). Doğrulama modelleri ile simülasyon modelleri arasındaki önemli bir ayrım, doğrulama modellerinin doğrulama amacıyla tüm durum kümesini oluşturmak için basitleştirilmesi gerekirken, simülasyon modellerinin hesaplama kısıtlamaları olmaksızın bileşenler arasındaki etkileşimlerin karmaşıklığını ele alabilmesidir (Yacoub vd., 2020). Doğrulama modellerini simülasyon modellerinden türetmek veya hem doğrulama hem de simülasyon modellerini kavramsal bir modelden türetmek için biçimsel doğrulama ve simülasyonu entegre eden teknikler kullanılmaktadır (Yacoub vd., 2020).

Oluşturulan modelin doğrulanması ve geçerliliği iki aşamada yapılmıştır. Öncelikle oluşturulan model check komutu ile kontrol edilmiş ve herhangi bir hata olmadığı görülmüştür. İkinci olarak model 1000 saat warm-up ve 100 tekrar ile çalıştırıldı ve sisteme giren ve sistemden çıkan hasta sayıları gerçek veriler ile karşılaştırıldı. Model verileri ile gerçek verilerin uyumlu olduğu görülmüştür. Geçerliliği kabul edilen model kullanılarak, oluşturulan senaryolar simüle edilmiştir.

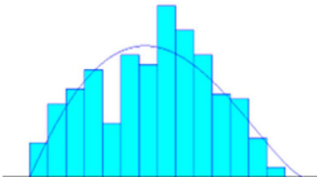
3.5. Varsayımlar

Mevcut işleyişte randevular 08.00-20.00 saatleri arasında verilmektedir. Dolayısıyla oluşturulan simülasyon modelinde BT çekim randevuları 08.00-20.00 saatleri olarak alınmıştır. Randevular arası personel için mola süresi verilmemiştir. Ayrıca yatan hastalardan doktor isteği doğrultusunda randevusuz acil olarak sevk edilen hasta sayısı da önemsenmeyecek ölçüde az olduğundan modele dahil edilmemiştir. Hastanede hafta sonları ve resmî tatillerde randevulu BT çekimi yapılmamakta olup yatan hastalar için gerekli olan BT çekimleri gece saatlerinde yapılmaktadır. Cihazların çalışma saatlerinde arızalanmadığı çekim işleminin aksamadığı varsayılmıştır.

3.6. Uygulama

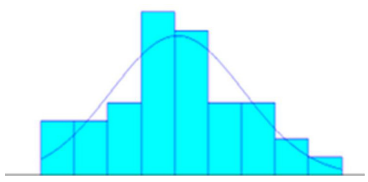
Hastanenin BT çekimi Rockwell Automation Arena v14 ile modellenmiştir. BT çekimi için simülasyon modelinde kullanılan dağılım hastanenin Bilgi Yönetim Sisteminde bulunan kayıtlardan elde edilmiştir. Veriler 2021,2022 ve 2023 yıllarında BT çekimi için randevu verilen hasta kayıtlarından oluşmaktadır. Kayıt altına alınan verilerde hasta müracaatları gün olarak kaydedilmiş olup hastanın müracaat saati belli değildir. Hasta geliş dağılımı bulunurken 254 günlük veriler incelenmiş ve günlük gelen hasta sayıları bulunmuştur. Hasta müracaatları saat 08.00-12.00,12.00-17.00 saatleri arasında 480 dakikalık süre içerisinde yapılmaktadır. Hasta geliş sıklığı belirlenirken 480 dakikalık süre günlük hasta sayısına bölünerek günlük ortalama hasta geliş süresi dakika cinsinden bulunmuş olup ilgili veriler EK. Tablo A'da sunulmuştur. Ek Tablo A'da sunulan veriler Arena Input Analyzer kullanılarak hasta geliş dağılımı 2 + 3 * BETA (2.05, 2.44)/ dakika olarak bulunmuştur. Dağılım ile ilgili istatistiki bilgiler Şekil 4'te verilmiştir. Hastane tüm hastalar için 15 dakikalık BT çekim süresi öngörerek randevu vermektedir. Hastane kayıtlarında hastanın çekime giriş-çıkış saatleri bulunmamaktadır. Çalışmada 15 dakikalık süre kullanılmamıştır. BT çekim süresi ile ilgili dağılımı bulabilmek amacıyla 38 gözlem yapılmıştır. Gözlemlerde süreler ölçülmüş olup hasta için ne tür işlem yapıldığı dikkate alınmamıştır. Farklı zamanlarda yapılan 38 gözlem ile BT çekim süreleri kaydedilmiş ve kaydedilen süreler Arena Input Analyzer ile analiz edilerek BT çekimi işleminin NORM(14.6, 1.97) / dakika dağılımına uygun olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5). Modeldeki diğer süreçler ile ilgili gözlem yapılamadığından diğer işlemler ile ilgili dağılımlar ilgili görevlilerle yapılan görüşmeler sonucu belirlenmiştir. Görüşmeler sonucunda rapor okuma işleminin 1-10 dakika, rapor yazımının 8-15 dakika ve rapor onay işleminin de 8-10 dakika arasında yapılabileceği belirlenmiştir. Belirlenen işlem aralığındaki her bir değerin eşit olasılıkla meydana geleceği varsayımı altında işlemler modele rapor okuma için UNIF(1,10) dakika, rapor yazımı için UNIF(8,15) dakika ve rapor onayı için UNIF(8,10) dakika olarak dahil edilmiştir.

ŞEKİL 4 | Hasta Geliş Dağılımı



Distribution Summary
Distribution: Beta
Expression: 2 + 3 * BETA(2.05, 2.44)
Square Error: 0.005804
Chi Square Test
Number of intervals = 12
Degrees of freedom = 9
Test Statistic=19.9
Corresponding p-value = 0.202
Kolmogorov-Smirnov Test
Test Statistic = 0.0608
Corresponding p-value > 0.15
Data Summary
Number of Data Points = 254
Min Data Value = 2.03
Max Data Value = 4.75
Sample Mean = 3.37
Sample Std Dev = 0.638
Histogram Summary
Histogram Range = 2 to 5
Number of Intervals = 15

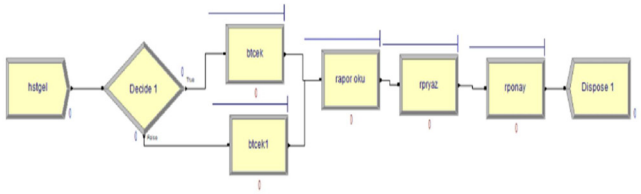
ŞEKİL 5 | BT Çekimi İşlem Dağılımı



Distribution Summary
Distribution: Normal
Expression: NORM(14.6, 1.97)
Square Error: 0.008222
Chi Square Test
Number of intervals = 5
Degrees of freedom = 2
Test Statistic = 1.3
Corresponding p-value = 0.528
Data Summary
Number of Data Points = 38
Min Data Value = 11
Max Data Value = 19
Sample Mean = 14.6
Sample Std Dev = 2
Histogram Summary
Histogram Range = 10.5 to 19.5
Number of Intervals = 9

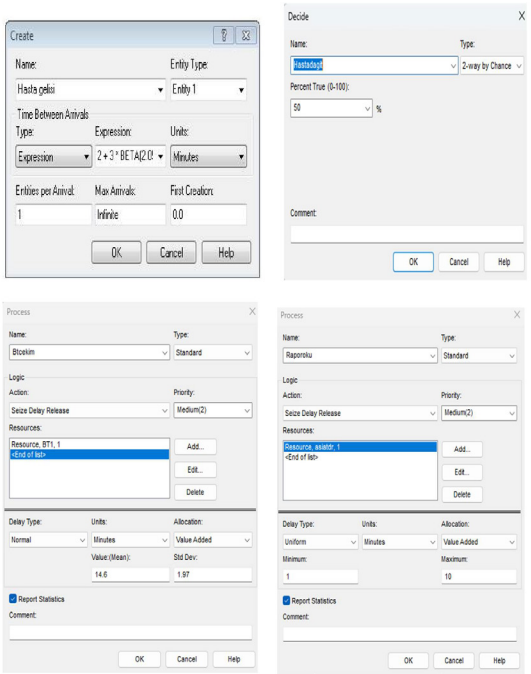
Mevcut durumda hastanenin radyoloji ünitesinde randevulu hastalara hizmet veren iki adet BT cihazı bulunmaktadır. BT çekimi randevulu hastalar için 08.00-20.00 saatleri arasında yapılmaktadır. Yatan hastalar için BT çekimleri gece saatlerinde yapılmaktadır. Ancak nadiren de olsa acil servisten veya yatan hastalardan hasta gelebilmekte olup sayıları önemsenmeyecek kadar azdır. BT çekimi için randevu sistemi uygulandığından bu şekilde gelen hastaları tolere edebilecek boşlukların var olduğu kabul edilmiş ve önceliklendirme yapılmamıştır. Bu veriler doğrultusunda oluşturulan Arena simülasyon modeli Şekil 6'da verilmiştir.

ŞEKİL 6 | Arena Simülasyon Modeli



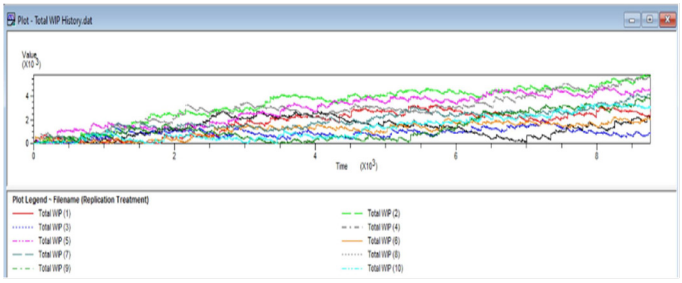
Modelde hasta gelişi Create modülü kullanılarak 2 + 3 * BETA (2.05, 2.44) dağılımına göre modellenmiştir. Gelen hastalar iki BT cihazına Decide modülü ile eşit dağıtılmıştır. BT çekimi, Rapor okuma, Rapor Yazımı ve Rapor Onay işlemleri için Process modülü kullanılıp BT çekimi için dağılım NORM (14.6, 1.97) dakika, rapor okuma için UNIF (1,10) dakika, rapor yazımı için UNIF (8,15) dakika ve rapor onay için UNIF (8,10) dakika olarak modellenmiştir. Son aşamada hastalar Dispose modülü ile sistemden çıkarılmıştır. Simülasyon modelinde kullanılan modüllerin ekran görüntüleri Şekil 7'de sunulmuştur.

ŞEKİL 7 | Kullanılan Modüllerin Ekran Görüntüleri



Simülasyon modeli oluşturulduktan sonra warm-up periyodu tespit etmek için Welch grafiği yöntemi kullanılmıştır. Welch grafiği yönremi warm-up periyodu tespit edebilmek için makul bir yöntemdir (Rossetti ,2015;335). Warm-up periyodu bulabilmek amacıyla Arena programında Advance process paneli altında bulunan statistic sekmesinden elde edilen time-Persistent verileri output analyzer ile analiz edilerek ilgili grafik çizdirilmiş (Şekil 8), elde edilen grafik görsel olarak incelenerek 1000 saatlik bir warm-up süresinin model için yeterli olduğuna karar verilmiştir. Warm-up periyodun fazla uzun alınması veri kaybına sebep olarak simülasyon sonuçlarının hatalı çıkmasına neden olabilir.

ŞEKİL 8 | Warm-up Period Output Analyzer Çıktısı



Hafta sonu ve resmî tatillerde BT servisine hasta müracaatı olmadığından BT servisi yıllık yaklaşık 250 gün hizmet vermektedir. Simülasyon uzunluğu bir yıllık süre içerisinde sistemin davranışının gözlemlenmesi amaçlandığından 250 gün olarak alınmıştır. Böylece sisteme gerçek durumda giren hasta sayısına yakın hasta sokularak sistemin performansı test edilmek istenmiştir.

En az replikasyon sayısını belirlemek için Rossetti (2015;309) tarafından verilen

$$n \geq \left[t_{\alpha/2,(n-1)} \cdot \frac{s}{E} \right]^2$$

formül kullanılarak iterasyon ile minimum replikasyon değeri bulunmuştur. Formülde $t_{\alpha/2,(n-1)}$, yarım genişliğe sahip t tablo değerini, s, verilere ait standart sapmayı ve E ise verilere ait Half-Width değeri olup n, replikasyon sayısını göstermektedir.

Bu çalışmada %95 güven aralığı kullanılmış olup α=1-0,95=0,05 olmak üzere yarım genişliğe sahip güven aralığı için α/2=0,025 olup bekleme süresi için E=1,12 ve s=1,54 değerleri kullanılarak n formül değerleri tablo 4'teki gibi bulunmuştur.

TABLO 4 | Replikasyon Sayısı

n	$t_{\alpha/2,(n-1)}$	s	E	Formül Değeri
2	12,71	1,54	1,12	305,4193
3	4,303	1,54	1,12	35,00645
4	3,182	1,54	1,12	19,14281
5	2,776	1,54	1,12	14,56949
6	2,571	1,54	1,12	12,49711
7	2,447	1,54	1,12	11,3207
8	2,365	1,54	1,12	10,57469
9	2,306	1,54	1,12	10,05366
10	2,262	1,54	1,12	9,673655
11	2,228	1,54	1,12	9,385032

n≥ n (formül) olması gerektiği için replikasyon sayısı en az 10 olmalıdır. Tekrar sayısının fazla olması daha doğru sonuçların elde edilmesine neden olur. Tekrar sayısının fazla olması simülasyon için gerekli zaman maliyetinin artmasına sebep olur. Bu çalışmada simülasyon tekrar sayısı en az 10 olarak hesaplanmış olmasına rağmen sonuçlarının doğruluk oranını artırabilmek amacıyla (Çekici ve Yüregir,2021) zaman maliyetine katlanılarak tekrar sayısı 100 olarak alınmıştır.

SİMÜLASYON SENARYOLARI

HBYS'den elde edilen veriler doğrultusunda hastaların BT çekimi için uzun süreler beklemek zorunda olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca hastanenin oluşan yoğunluğu azaltabilmek adına dış hizmet alımında bulunduğu belirlenmiştir.

Hem hasta yoğunluğunun azaltılması hem de dış hizmet alımının azaltılması veya tamamen sonlandırılması için yeni bir BT cihazı alımı ve çalışma saatlerinin düzenlenmesi gibi alternatif çözümlerin etkisini ve gelecekte hasta sayısının artması durumunda sistem davranışını gözlemlemek üzere 12 senaryo oluşturularak simüle edilmiştir. Oluşturulan senaryolar Tablo 5'te verilmiştir.

TABLO 5 | Oluşturulan Senaryolar

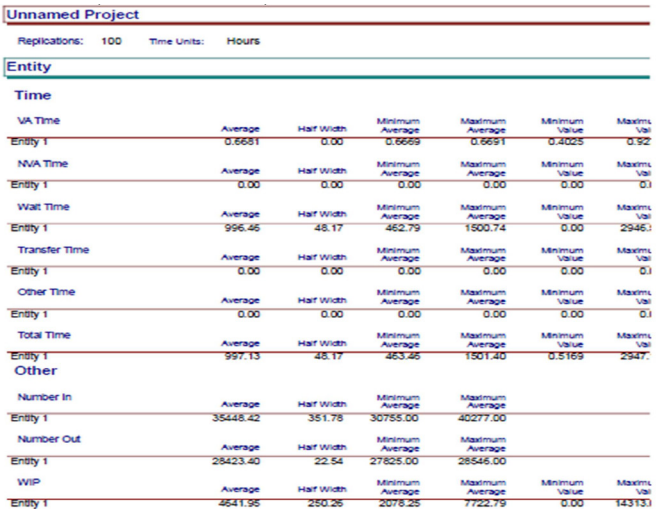
Senaryo	Hasta Sayısı	Cihaz Sayısı	Çalışma Saati
S1	Mevcut Durum (35000-36000)	2	08.00-20.00
S2	Mevcut Durum (35000-36000)	2	08.00-21.00
S3	Mevcut Durum (35000-36000)	2	08.00-22.00
S4	Mevcut Durum (35000-36000)	3	08.00-20.00
S5	Mevcut Durum (35000-36000)	3	08.00-21.00
S6	Mevcut Durum (35000-36000)	3	08.00-22.00
S7	37000-38000	3	08.00-20.00
S8	37000-38000	3	08.00-21.00
S9	37000-38000	3	08.00-22.00
S10	45000-46000	3	08.00-20.00
S11	45000-46000	3	08.00-21.00
S12	45000-46000	3	08.00-22.00

Oluşturulan senaryolara göre model uyarlanarak senaryolar simüle edilmiş olup simülasyon sonuçları Tablo 6'de sunulmuştur.

Senaryo1(S1) mevcut durum simülasyonu olup halihazırdaki durumu göstermektedir. Mevcut durumda BT çekimi için hastalara 08.00-20.00 saatleri arasında randevu verilmekte ve 2 adet BT cihazı kullanılmaktadır.

S1 simülasyonuna göre gelen hasta sayısı 35448 ve BT çekimi yaptırıp çıkan hasta sayısı 28423 olarak bulunmuştur. Gelen ve çıkan hasta sayıları gerçek verilerle uyumludur. Simülasyon sonucundan da görüleceği üzere yaklaşık 7000 hastanın işlemi gerçekleştirilememiştir. Bu durum hasta yığılmasına sebep olup darboğaz oluşturmaktadır. Hastaların ortalama bekleme süresi 996 saat 96/24=41.5 yaklaşık 42 gün)'tir (Tablo6 S1-Şekil 9). Süreç içinde işlem yaptırabilmek için bekleyen hasta sayısındaki yığılma göz önünde bulundurulduğunda hem sırada bekleyen hasta sayısının hem de hastaların ortalama bekleme sürelerinin artacağı ve bu durumun sürdürülemez olduğu açıktır. Diğer yandan mevcut durumda kaynak kullanım oranlarına bakıldığında her iki BT cihazının da yaklaşık %43'lük kullanım oranına sahip olduğu görülmektedir. İnsan kaynağı olarak tıbbi sekreterin %70,23 oranında meşgul olduğu belirlenmiştir.

ŞEKİL 9 | S1 Senaryosu İçin Örnek Simülasyon Çıktısı



TABLO 6 | S1, S2 ve S3 Simülasyon Sonuçları

S1			S2			S3		
Gelen Hasta Sayısı	35448		Gelen Hasta Sayısı	35830		Gelen Hasta Sayısı	35862	
Çıkan Hasta Sayısı	28423		Çıkan Hasta Sayısı	29351		Çıkan Hasta Sayısı	30109	
Hasta Bekleme Süresi (Saat)			Hasta Bekleme Süresi (Saat)			Hasta Bekleme Süresi (Saat)		
Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.
996.46	0	2946	940.68	0	2878	822.78	0	2665
Kaynak Kullanım Oranı (%)			Kaynak Kullanım Oranı (%)			Kaynak Kullanım Oranı (%)		
BT1	43.07		BT1	44.54		BT1	45.62	
BT2	42.97		BT2	44.26		BT2	45.52	
BT3	-		BT3	-		BT3	-	
Doktor	54.94		Doktor	56.74		Doktor	58.20	
Asistan Dr.	33.60		Asistan Dr.	34.68		Asistan Dr.	35.60	
Tıb. Sekreter	70.23		Tıb. Sekreter	72.51		Tıb. Sekreter	74.38	

S1 simülasyonu, var olan sürecin hasta birikimine neden olduğu ve hastaların uzun süre beklemeleri gerektiğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlar gerçekte verilen randevu tarihleri ile de uyumludur. Soruna çözüm bulabilmek amacıyla çalışma saatlerini uzatmak ve yeni bir BT cihazı almak gibi alternatifleri içeren senaryolar oluşturularak simüle edilmiştir.

Senaryo 2 (S2); cihaz artırımına gidilmeden çalışma süresinin 1 saat artırılarak 08.00-21.00 saatleri arası olması üzerine kurgulanmıştır. Simülasyon sonucu gelen hasta sayısı 35830 ve çıkan hasta sayısı 29351, hastaların ortalama bekleme süresi ise 940,68 saat (yaklaşık 40 gün) olarak bulunmuştur (Tablo 6 S2). Kaynak kullanım oranlarında artış olmakla birlikte kaynaklar üzerinde aşırı bir yük artışından bahsedilemez. Günlük 1 saat fazla mesai hastaların bekleme sürelerinde yaklaşık 2 günlük bir azalmaya neden olacaktır. Ancak günlük 1 saatlik mesai artırımının sorunun çözümüne önemli bir katkı sağlamayacağı açıktır.

Günlük çalışma süresinin 2 saat artırılması yani 08.00-22.00 saatleri arasında çalışılmasını öngören senaryo 3 (S3) oluşturularak simüle edilmiştir. S3 simülasyonuna göre gelen hasta sayısı 35862, çıkan hasta sayısı 30181 olarak bulunmuştur. Hastaların ortalama bekleme süresi ise 822,78 saat (Yaklaşık 35 gün) olacaktır (Tablo 6 S3). Kaynak kullanım oranları ise BT1 cihazı için %45,62, BT2 cihazı için %45,52, insan kaynağı olarak doktor için %58,20 ve tıbbi sekreter için %74,38 ve asistan doktor için ise %35,60 olarak gerçekleşecektir. BT cihazları için kullanım oranları artmış olmakla birlikte insan kaynaklar için meşguliyet normal olarak değerlendirilebilir.

S2 ve S3 senaryoları sonuçlarına göre çalışma saatlerinin birer saat artırılması her seferinde bekleyen hasta sayısında yaklaşık 1000 hasta kadar azalmaya neden olacağı görülmektedir. Senaryo 4 (S4), Senaryo 5 (S5) ve Senaryo 6 (S6) ise sırasıyla cihaz sayısının artırılıp var olan çalışma süresinin, 1 saat ve 2 saat artırılması üzerine kurgulanmıştır. Buna göre; S4 senaryosu cihaz sayısı 3 çalışma saati 08.00-20.00 olarak, S5 senaryosunda cihaz sayısı 3 çalışma saatleri 08.00-21.00 arası ve S6 cihaz sayısı 3 çalışma saatleri 08.00-22.00 alınarak simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçları tablo 7'deki gibidir.

S4 simülasyonunda gelen hasta sayısı 35647 ve çıkan hasta sayısı 35591 olarak bulunmuştur. Hastaların ortalama bekleme süresi 109,73 saat, yaklaşık 5 gün olacaktır. İnsan kaynaklar olan doktor ve tıbbi sekreterin meşguliyet oranları (%68,80 ve %87,92) artmış olmakla birlikte kaynaklar için kabul edilebilir seviyededir. Tüm senaryoların simülasyonunda asistan doktor meşguliyet oranı %42 seviyesinde bulunmuştur. BT cihazları için kullanım oranları sırasıyla %37,91, %36,92 ve %36,84 olarak tespit edilmiştir

TABLO 7 | S4, S5 ve S6 Simülasyon Sonuçları

S4			S5			S6		
Gelen Hasta Sayısı	35647		Gelen Hasta Sayısı	35984		Gelen Hasta Sayısı	35709	
Çıkan Hasta Sayısı	28423		Çıkan Hasta Sayısı	29351		Çıkan Hasta Sayısı	35629	
Hasta Bekleme Süresi (Saat)			Hasta Bekleme Süresi (Saat)			Hasta Bekleme Süresi (Saat)		
Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.
109.73	0	1074		0	877	104.19	0	810
Kaynak Kullanım Oranı (%)			Kaynak Kullanım Oranı (%)			Kaynak Kullanım Oranı (%)		
BT1	37.91		BT1	38.19		BT1	38.06	
BT2	36.92		BT2	37.09		BT2	36.98	
BT3	36.84-		BT3	37.16		BT3	36.95	
Doktor	68.80		Doktor	69.14		Doktor	68.87	
Asistan Dr.	42.08		Asistan Dr.	42.37		Asistan Dr.	42.19	
Tıb. Sek.	87.92		Tıb. Sekreter	88.34		Tıb. Sekreter	88.00	

S5 senaryosunun simülasyon sonuçlarında ise gelen hasta sayısı 35984 ve çıkan hasta sayısı 35768 olarak tespit edilmiştir. Gerek S4 ve gerekse S5 senaryolarında gelen hastaların çok küçük bir miktarı sistemden ayrılamamıştır. S5 senaryosunda hastaların bekleme süresi ortalama 101,46 saat (yaklaşık 5 gün) olarak bulunmuştur. Kaynak kullanım oranlarında S4 senaryosuna göre az da olsa bir artış söz konusudur. S6 senaryosunda ise çalışma süresi 1 saat daha artırılarak sistem davranışı gözlemlenmiştir. Buna göre gelen hasta sayısı 35709 ve çıkan hasta sayısı 35629 ve hastaların bekleme süresi 104,19 saat yani yaklaşık yine 5 gün olacağı görülmüştür. S5 ve S6 simülasyon sonuçlarında çalışma süresi arttığı halde hastaların ortalama bekleme sürelerinde meydana gelen artış gelen hasta sayılarından kaynaklanmakta olup tercih noktasında S5 ve S6 senaryoları arasında çalışma süresi ayırt edici olacaktır.

Hâlihazırda radyoloji ünitesinde hastaların BT çekimi yaptırabilmek için ortalama 42 gün beklemeleri gerekmektedir. Simülasyon sonuçları BT çekimi için sıra bekleyen hasta sayısının ve bekleme süresinin zaman içerisinde artacağını ortaya koymaktadır. BT cihaz sayısının 1 adet artırılması hasta bekleme süresi üzerinde ciddi bir azalmaya sebep olacaktır. Hasta bekleme süresi ortalama 42 günden ortalama

5 güne kadar düşebilecektir. Dolayısıyla daha fazla hastaya hizmet sunumu gerçekleştirilebileceği için dış hizmet alımında da önemli ölçüde azalma sağlanabilecektir. Özetle S4, S5 ve S6 senaryolarının her biri mevcut durumda sorunun çözümüne olumlu katkı sunabilecek potansiyele sahiptir.

S7, S8 ve S9 senaryoları ise hasta sayısında yaklaşık 2000 kişilik bir artış S10, S11 ve S12 senaryoları ise hasta sayısında şimdiki duruma göre yaklaşık 10000 kişilik bir artış öngörülerek tasarlanmıştır. Böylece hasta sayısında artış olması halinde sistem davranışının test edilmesi amaçlanmıştır. 2021-2023 yılları arasında müracaat eden hasta sayılarının incelenmesi sonucu gelen hasta sayısında ortalama 1500-2000 kişilik bir artışın olduğu tespit edilmiştir. Buna göre oluşturulan S7, S8 ve S9 senaryoları yakın geleceği S10, S11 ve S12 senaryoları ise yaklaşık 3-5 yıl sonraki oluşabilecek durumu analiz etmek amacıyla tasarlanmıştır. Böylece gelecek projeksiyonu oluşturularak yeni bir cihaz alınması alternatifi değerlendirilmiştir.

S7 senaryosu hasta sayısının şimdiki duruma göre yaklaşık 2000 kişi artacağı öngörülerek oluşturulmuştur (Tablo 8). Bu senaryoda günlük çalışma saatleri 08.00-20.00 olarak belirlenmiştir. Ayrıca rapor yazımında görevli olan tıbbi sekreter sayısının mevcut duruma göre yeterli olmayacağı varsayılarak tıbbi sekreter sayısı 1 artırılmıştır. Rapor okuma ve rapor onay işlemlerini gerçekleştiren doktor ve asistan doktorlar rotasyona tabi olduklarından sayılarında değişiklik yapılmamıştır. S8 ve S9 senaryoları ise S7 temel alınarak çalışma saatlerinin 1 ve 2 saat artırılmasıyla oluşturulmuştur.

TABLO 8 | S7, S8 ve S9 Simülasyon Sonuçları

S7			**S8**			**S9**		
Gelen Hasta Sayısı	37995		Gelen Hasta Sayısı	37976		Gelen Hasta Sayısı	38128	
Çıkan Hasta Sayısı	37472		Çıkan Hasta Sayısı	37526		Çıkan Hasta Sayısı	37728	
Hasta Bekleme Süresi (Saat)			Hasta Bekleme Süresi (Saat)			Hasta Bekleme Süresi (Saat)		
Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.
157.57	0	1399	155.75	0	1465	164.53	0	1303
Kaynak Kullanım Oranı (%)			Kaynak Kullanım Oranı (%)			Kaynak Kullanım Oranı (%)		
BT1	39.89		BT1	40.19		BT1	40.59	
BT2	38.93		BT2	39.11		BT2	39.39	
BT3	39.17		BT3	39.24		BT3	39.41	
Doktor	72.43		Doktor	72.54		Doktor	72.93	
Asistan Dr.	44.47		Asistan Dr.	44.66		Asistan Dr.	44.97	
Tıb. Sek(2 Kişi)	92.56		Tıb. Sek(2 Kişi)	92.69		Tıb. Sek(2 Kişi)	93.20	

S7 senaryosu simülasyonunda gelen hasta sayısı 37995 ve çıkan hasta sayısı 37472 olarak bulunmuştur. Hastaların ortalama bekleme süresi 157,57 saat (yaklaşık 7 gün) olarak tespit edilmiştir (Tablo 8, S7). BT cihazları için kaynak kullanım oranları sırasıyla %39,89, %38,93 ve %39,17 olarak bulunmuştur. Doktor ve asistan doktor meşguliyeti ise %72,43 ve %44,47 şeklindedir. Tıbbi sekreter sayısının artırılmasına karşılık hasta sayısının artması durumunda meşguliyet yüzdelerinde şimdiki duruma göre artış tespit edilmiştir ki bu durum tıbbi sekreter sayısının şimdiki duruma göre artırılmasının gerekli olduğunu göstermektedir. Öte yandan simülasyon sonucu göstermektedir ki yeni bir cihaz temini yakın gelecekte sistemin rahatlaması ve hasta birikiminin önlenmesi üzerinde olumlu etkiye neden olacaktır. Çalışma saatlerinin uzatılmasıyla sistemin davranışını incelemek amacıyla oluşturulan S8 ve S9 senaryolarının simülasyonu sonucunda sırasıyla gelen hasta sayısı 37976 ve 38128, çıkan hasta sayıları ise 37526 ve 37728 olarak bulunmuştur. Hastaların ortalama bekleme süreleri de sırasıyla 155,75 saat ve 164,53 saat, yani yine ortalama 7 gün civarında olacaktır (Tablo8 S8 ve S9). Zaman içerisinde hasta yığılımı takip edilerek bekleyen hasta sayısı yönetim tarafından belirlenecek kabul edilebilir seviyelerde oldukça senaryolar uygulanabilir.

S10, S11 ve S12 senaryoları ise geleceğe projeksiyon tutmak amacıyla hasta sayısında mevcut duruma göre yaklaşık 10000 kişilik bir artış olması durumuna göre oluşturuldu. Senaryolarda çalışma saatleri sırasıyla 08.00-20.00, 08.00-21.00 ve 08.22-22.00 olarak alınmıştır. Tıbbi sekreter sayısı 2 kişi olarak alınmıştır. Simülasyon sonuçları tablo 9'da sunulmuştur. S10 senaryosunda çalışma saatleri 08.00-20.00 olarak alınmıştır. Simülasyon sonucu gelen hasta sayısı 45966, çıkan hasta sayısı ise 40338 olarak bulunmuştur. Bu durumda hastaların ortalama bekleme süresi 649,96 saat (yaklaşık 27 gün) olacaktır (Tablo 9, S10). Sonuçlar hasta sayısında ortalama 10000 kişilik bir artış olması durumunda hastaların bekleme süresinde önemli bir artışın olacağını ve bekleyen hasta sayısının da önemli ölçüde artacağını göstermektedir.

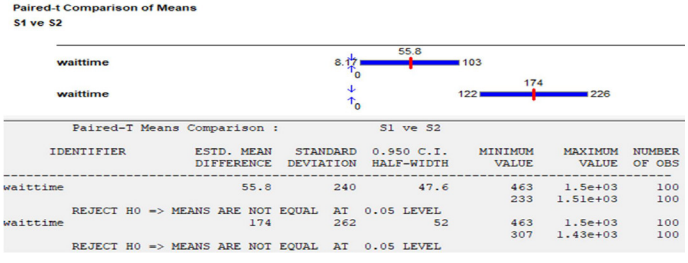
TABLO 9 | S10, S11 ve S12 Simülasyon Sonuçları

S10			**S11**			**S12**		
Gelen Hasta Sayısı	45966		Gelen Hasta Sayısı	45660		Gelen Hasta Sayısı	46132	
Çıkan Hasta Sayısı	40338		Çıkan Hasta Sayısı	40356		Çıkan Hasta Sayısı	40364	
Hasta Bekleme Süresi (Saat)			Hasta Bekleme Süresi (Saat)			Hasta Bekleme Süresi (Saat)		
Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.
649.96	0	2487	639.87	0	2602	.44	0	2984
Kaynak Kullanım Oranı (%)			Kaynak Kullanım Oranı (%)			Kaynak Kullanım Oranı (%)		
BT1	42.93		BT1	44.28		BT1	45.21	
BT2	42.82		BT2	44.08		BT2	44.87	
BT3	47.48		BT3	47.17		BT3	47.69	
Doktor	77.97		Doktor	78.01		Doktor	78.02	
Asistan Dr.	50.20		Asistan Dr.	51.05		Asistan Dr.	51.91	
Tıb. Sek(2 Kişi)	99.66		Tıb. Sek(2 Kişi)	99.68		Tıb. Sek(3 Kişi)	83.51	

Çalışma saatlerinin artırılması (S11 ve S12) hastaların bekleme süreleri üzerinde bir azalmaya sebep olacaksa da bu azalma kayda değer bir azalma değildir (Tablo 9, S11 ve S12). S10 ve S11 simülasyonları tıbbi sekreterler üzerinde aşırı iş yükünün olacağını göstermektedir. S12 simülasyonunda tıbbi sekreter sayısı 3 olarak alınmıştır. S12 simülasyonunda tıbbi sekreterler için meşguliyet oranı %83,51 olarak bulunmuştur. Aşırı çalışmanın meydana getireceği tükenmişlik duygusunun azaltılabilmesi için sekreter sayısının artırılması elzemdir. Cihazların kullanım oranları ise kabul edilebilir seviyelerde olacaktır.

Simülasyon senaryoları hastaların ortalama bekleme sürelerine göre karşılaştırılarak sonuçlar tablo 10'da sunulmuştur. Tabloya göre S1 ve S2 senaryolarının ortalamaları eşit olmayıp minimum bekleme süreleri karşılaştırıldığında S2 senaryosunda minimum bekleme süresi S1 senaryosundaki minimum bekleme süresinin neredeyse yarısı kadardır. Bu sonuca göre S2 senaryosunun S1'e göre hastaların ortalama bekleme sürelerinde önemli bir azalmaya neden olacağı görülmektedir. S3 senaryosu çalışma süresinin S2 senaryosuna göre 1 saat daha uzatılmasıyla elde edildiği için S3 senaryosunun da S1'e göre hastaların ortalama bekleme süreleri bazında daha iyi performans sergileyeceği açıktır. Tablo 10 'da sunulan S1 ve S2 ile S1 ve S3

ŞEKİL 10 | Paired-t Comparison of Means Örnek Output Analyzer Çıktısı



Paired-T Means Comparison : S1 ve S2

IDENTIFIER	ESTD. MEAN DIFFERENCE	STANDARD DEVIATION	0.950 C.I. HALF-WIDTH	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	NUMBER OF OBS
waittime	55.8	240	47.6	463	1.5e+03	100
				233	1.51e+03	100
REJECT H0 => MEANS ARE NOT EQUAL AT 0.05 LEVEL						
waittime	174	262	52	463	1.5e+03	100
				307	1.43e+03	100
REJECT H0 => MEANS ARE NOT EQUAL AT 0.05 LEVEL						

Karşılaştırmaları çalışma saatlerinin uzatılmasının hastaların ortalama bekleme süreleri üzerinde kayda değer azalma sağlayacağını göstermektedir.

TABLO 10 | Senaryolar İçin Ortalama Bekleme Süreleri Karşılaştırmaları

Paired-t Comp. of Means	Estd. Mean Diff.	Std. Dev.	0.95 C.I Half-Width	Min. Value	Max. Value	Average waittime
S1 ve S2	55.8	240	47.6	463 233	1.5e+03 1.51e+03	Reject H0=> Means are not equal at 0.05 level
S1 ve S3	174	262	52	463 307	1.5e+03 1.43e+03	Reject H0=> Means are not equal at 0.05 level
S1 ve S4	887	225	44.7	463 51.8	1.5e+03 552	Reject H0=> Means are not equal at 0.05 level
S1 ve S5	895	233	46.2	463 51.1	1.5e+03 279	Reject H0=>Means are no equal at 0.05 level
S1 ve S6	892	235	46.6	463 46.7	1.5e+03 314	Reject H0=> Means are not equal at 0.05 level
S7 ve S8	1.82	106	21	53.7 59.9	635 612	Fail to Reject H0=> Means are equal at 0.05 level
S7 ve S9	6.96	121	24-Jan	53.7 54.2	635 721	Fail to Reject H0=> Means are equal at 0.05 level
S8 ve S9	-8.77	92.7	18-Apr	59.9 54.2	612 721	Fail to Reject H0=> Means are equal at 0.05 level
S10 ve S11	10.1	243	48.1	189 167	1.14e+03 1.31e+03	Fail to Reject H0=> Means are equal at 0.05 level
S10 ve S12	-40.5	292	58	189 147	1.14e+03 1.44e+03	Fail to Reject H0=> Means are equal at 0.05 level
S11 ve S12	-50.6	268	53.1	167 147	1.31e+03 1.44e+03	Fail to Reject H0=> Means are equal at 0.05 level

S1 ve S4 senaryoları karşılaştırıldığında S4 senaryosunda elde edilen hastaların ortalama bekleme süresi ile S1 senaryosundaki ortalama bekleme sürelerinin önemli ölçüde farklı olduğu bulunmuştur. Mevcut durumda (S1) hastalar sistemde ortalama 996,46 saat (Tablo 6. S1)) beklerken BT cihazı sayısı 1 adet artırıldığında ortalama bekleme süresi 109,73 saate (Tablo 7. S4) kadar azalacaktır. Benzer şekilde S5 ve S6 senaryoları da hastaların ortalama bekleme sürelerinde S1 senaryosuna göre kayda değer azalma olacağını ortaya koymaktadır. S7, S8 ve S9 senaryoları şimdiki duruma göre yaklaşık 2000 kişilik bir hasta artışı öngörülerek tasarlanmıştır. Cihaz sayısı şimdiki duruma göre 1 adet artırılmıştır. Dolayısıyla S7, S8 ve S9 senaryoları kendi aralarında karşılaştırılmış hastaların ortalama bekleme sürelerinde önemli bir farklılığın olmadığı bulunmuştur. Aynı durum hasta sayısında yaklaşık 10000 kişilik artış öngören S10, S11 ve S12 senaryoları içinde geçerli olup, çalışma sürelerinin 1 veya 2 saat uzatılmasının hastaların ortalama bekleme süreleri üzerinde anlamlı bir azalmaya sebep olmayacağı belirlenmiştir.

4. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada bir üniversite hastanesinin BT bölümünde oluşan hasta yoğunluğu ve buna bağlı olarak hastaların uzun süre beklemesi sorunu ele alınmıştır. Çalışmada araştırma ve yayın etiğine uygun olarak, hasta geliş verileri hastanenin bilgi yönetim sisteminden alınmıştır. BT çekim sürecindeki diğer işlemler için gerekli olan süreler doğrudan süreçteki işlemleri gerçekleştiren ilgili personel ile yapılan görüşmeler sonucunda belirlenmiştir. Halihazırda hastanenin BT bölümüne müracaat eden hastalara bir aydan daha uzun süreler için randevu verilmekte olup hasta birikimi sürekli olarak devam etmektedir. Sahip olunan cihazlar ve mevcut çalışma düzeni hasta yoğunluğunun artmasına ve bekleme sürelerinin uzamasına neden olmaktadır. Bu durum hastaların tedavi sürelerinin uzamasına ve yaşam standartlarında bozulmalara sebep olmaktadır.

Soruna çözüm bulmak amacıyla aralarında yeni bir BT cihazı alımı ve çalışma sürelerinin yeniden düzenlenmesini gibi alternatif çözüm önerilerinin bulunduğu bir dizi senaryon oluşturulmuştur. Çalışmada, düşünülen senaryoların sorunun çözümüne sağlayacakları katkılar incelenmiştir. Herhangi bir sistemin işleyişi üzerinde yapılması düşünülen değişiklerin olası sonuçlarının neler olabileceğinin bilimsel veriler ışığında değerlendirilmesi yöneticiler için karar alım sürecinde önemli kolaylık ve katkılar sağlamaktadır. Böylesi bir sistem üzerinde yapılması düşünülen değişikliklerin olası sonuçlarını tahmin etmenin bir yolu da simülasyondur. Simülasyon, sistemin bilgisayar ortamında canlandırılması olup zaman ve maliyet açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca simülasyon, uygulamalar sonucunda meydana gelebilecek tahmin edilebilen ya da edilemeyen istenmeyen durumlarla karşılaşma riskini de ortadan kaldırmaktadır. Çalışmada geliştirilen senaryoların sistem üzerindeki olası sonuçlarını test etmek amacıyla simülasyon yöntemi kullanılmıştır.

Elde edilen veriler doğrultusunda BT bölümünün simülasyon modeli oluşturulmuş olup modelin doğruluğu ve geçerliliği onaylandıktan sonra mevcut durum simülasyonu (S1) yapılmıştır. Simülasyon sonucunda hastaların BT çekimi için yaklaşık 42 gün beklemeleri gerektiği görülmüştür. S2 ve S3 senaryoları çalışma saatlerinde değişiklik yapılması üzerine oluşturulmuş olup S2 ve S3 senaryolarının simülasyonunda çalışma saatinin 1 saat uzatılmasının hastaların bekleme süresini yaklaşık 2 gün azaltabileceği (40 gün), 2 saat uzatmanın ise bekleme süresini yaklaşık 7 gün azaltabileceği (35 gün) görülmüştür. Çalışma süresinin her bir saat artırılması biriken hasta sayısında ortalama 1000 kişilik bir azalmaya sebep olacaktır.

S4, S5 ve S6 senaryolarında BT cihaz sayısı 3'e çıkarılarak farklı çalışma sürelerine göre sistem simüle edilmiştir. S4'te cihaz sayısı 3, çalışma saatleri 08.00-20.00, S5'te cihaz sayısı 3, çalışma saatleri 08.00-21.00 ve S6'da cihaz sayısı 3 ve çalışma saatleri 08.00-22.00 olarak belirlenmiştir. S4 senaryosu simülasyonunda hastaların bekleme sürelerinin önemli ölçüde azalarak yaklaşık 5 güne kadar düşebileceği görülmüştür. 1 adet BT cihazı temini mevcut durumdaki hasta yoğunluğunun azaltılmasında önemli ölçüde katkı sağlayacaktır. Ancak yine de mevcut durumdaki hasta yığılmasından çok daha az da olsa hasta birikimi devam edecektir. Bu durumu önlemek amacıyla çalışma süreleri hasta yoğunluğu takip edilerek ihtiyaca göre 1 veya 2 saat artırılabilir. S5 ve S6 senaryoları S4 senaryosuna göre ciddi düzeyde bir avantaj sağlamamakla beraber ihtiyaca göre hasta birikmesini önlemek amacıyla zaman zaman tercih edilebilir. Kaynak kullanım oranlarının tıbbi sekreter haricinde kabul edilebilir düzeylerde olduğu ancak tıbbi sekreter sayısının 1 kişi artırılmasının uygun olacağı görülmüştür.

Ancak geçmiş verilerin incelenmesi sonucu müracaat eden hasta sayısının yıllık yaklaşık 2000 artığı görülmüştür. S7, S8 ve S9 senaryoları hasta sayısının ortalama 2000 kişi artması durumunda sistem davranışını incelemek amacıyla tasarlanmıştır. S7, S8 ve S9 simülasyonları cihaz sayısı ve tıbbi sekreter sayısının 1 artırılması ile sistemin hasta sayısında meydana gelecek ortalama 2000 kişilik artışını tolere edebileceği hastaların bekleme sürelerinin ortalama 7 gün civarında olacağını göstermiştir.

Daha uzun bir döneme projeksiyon tutabilmek amacıyla hasta sayısında 10000 kişilik bir artışın olması durumunda sistemin göstereceği performans S10, S11 ve S12 senaryolarında kurgulanmış ve simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçları 3 cihazla çalışılması halinde mevcut çalışma saatlerinde çalışılması halinde hastaların yaklaşık 27 gün beklemeleri gerekeceğini göstermiştir. Çalışma süresinin 1 veya 2 saat artırılmasının hasta bekleme süresi üzerinde belirgin bir iyileştirmeye neden olmayacaktır. Ortalama bekleme süresi 26 gün civarında olacaktır. Ancak başta tıbbi sekreter olmak üzere kaynak kullanımının önemli ölçüde yükseleceği belirlenmiştir. Gelecek senaryoları bir adet BT cihazının temininin yakın gelecekte sorunun çözümünde katkı sağlayacağını ancak hasta artış hızında yavaşlama olmaması durumunda 3 ila 5 yıl sonra 3 adet BT cihazının da yeterli olmayacağını göstermektedir.

Hasta sayısının sürekli artması randevu sürelerinin uzamasına neden olmaktadır. Her ne kadar çalışmada görmezden gelinse de BT çekim sonrası süreçlerde hastaların bekleme sürelerini artırıcı etkiye sahip olmaktadır. İlgili personelin çalışma düzenlerinin dikkatli bir şekilde planlanması ile bu olumsuzluğun üstesinden gelinebilir. Diğer taraftan hastaneye gece saatlerinde kolaylıkla ulaşım sağlayabilecek hastalar belirlenerek bu hastalara gece saatlerinde randevu alternatifinin sunulması bekleme sürelerinde azalmaya yardımcı olabilir.

Bu çalışmanın bulguları, mevcut literatürdeki benzer araştırmalarla uyumlu olmakla birlikte, bazı yönlerden farklılık göstermektedir. Öncelikle, Ayrık Olay Simülasyonu (DES) kullanılarak operasyonel darboğazların tespit edilmesi ve çözüm önerilerinin geliştirilmesi, daha önce Nickel ve Schmidt (2009) ile Lindsköld vd. (2012) tarafından da ele alınmıştır. Ancak, bu çalışmadan farklı olarak, mevcut araştırma yalnızca mevcut sistemin analizini yapmakla kalmayıp, farklı hasta yoğunlukları ve cihaz sayıları için 12 senaryo oluşturarak gelecekteki ihtiyaçları da öngörmeyi hedeflemiştir. Ayrıca, çalışmada simülasyon sonuçlarının veri odaklı karar destek süreçlerinde nasıl kullanılabileceği detaylı bir şekilde ele alınmış, bu yönüyle literatüre

stratejik planlama perspektifi kazandırılmıştır. Çalışmanın bir diğer önemli farklılığı, BT hizmetlerinin yönetimine yönelik çözüm önerilerinin sağlık hizmetlerinin kalite ve verimliliğine olan etkisini doğrudan göstermesidir. Bu kapsamda, araştırmanın bulguları literatüre hem teorik hem de uygulamalı düzeyde değerli katkılar sunmaktadır

Bu çalışmanın bazı kısıtları bulunmaktadır. Öncelikle, simülasyon modeli yalnızca belirli bir üniversite hastanesinin radyoloji bölümüne ait verilere dayanmakta olup, bu durum genelleştirme yapılmasını sınırlayabilir. Ayrıca, modelde acil servislerde kullanılan BT cihazları ve hastaların randevu dışındaki ani talepleri gibi faktörler dikkate alınmamıştır. Gelecekte yapılacak çalışmalar, farklı hastane türlerini ve bölgeleri kapsayarak sonuçların genelleştirilebilirliğini artırabilir. Ayrıca, simülasyon modeline daha fazla değişken eklenerek (örneğin, personel sayısındaki değişiklikler, cihaz arızaları ve bakım süreçleri) daha kapsamlı analizler yapılabilir. Bunun yanı sıra, yapay zeka ve makine öğrenimi tekniklerinin entegrasyonu, hasta akışını daha hassas şekilde modellemeye ve tahmin etmeye katkı sağlayabilir. Gelecekteki çalışmalar, bu eksiklikleri ele alarak sağlık hizmetleri yönetiminde daha etkili karar destek sistemleri geliştirebilir.

Kaynakça

Akbal, H., & Doğan, N. Ö. (2025). Lean Process Improvement in Healthcare: A Study Using Value Stream Mapping, *Theory Of Constraints And Simulation. International Journal of Management Studies,* 32(1), 164-182

AlShammeri, O., Saif, S. A., Shehri, H. A., Alasng, M., Qaddoura, F., Shehri, M. A., & Faraidy, K. A. (2022). Saudi heart association guidelines on best practices in the management of chronic coronary syndromes. *Journal of the Saudi Heart Association,* 34(3), 182-211.

Arı, A. (2024). Türkiye'de sağlik sektöründe asimetrik enformasyon ve sağlık çalışanlarına yönelik şiddet olgusu. *Uluslararası Anadolu Sosyal Bilimler Dergisi,* 8(4), 900-926.

Atalan, A., Dönmez, C., & Atalan, Y. (2018). Yüksek-eğitimli uzman hemşire istihdamı ile acil servis kalitesinin yükseltilmesi için simülasyon uygulaması: türkiye sağlık sistemi. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi,* 30(4), 318-338

Banks, J., Carson II, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2004). *Discrete event system simulation (4th ed.)*. Upper Saddle River: Prentice Hall.

Cai, H., & Jun, J. (2018). Using discrete event simulation (des) to support performance-driven healthcare design. *HERD: Health Environments Research &Amp; Design Journal,* 12(3), 89-106.

Cao, B., Iredell, J. R., Middleton, P. G., & Young, N. (2023). Chest ct in covid-19 patients: a clinical need. *Journal of Medical Radiation Sciences,* 70(1), 40-45.

Casas, P., Pi, X., Casanovas , J., & Jové, J. (2013). *Definition of Virtual Reality Simulation Models Using Specification and Description Language Diagrams. SDL 2013: Model-Driven Dependability Engineering* (s. 258–274). Springer.

Çekici, V., & Yüregir, H.O.(2021). Process optimization of the customer complaints handling system and a new customer oriented model proposal. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 36:2 (2021) 855-869.

Chahal, K., & Eldabi, T. (2011). Hybrid simulation and modes of governance in UK healthcare. Transform. Gov. *People Process Policy.,* 5, 143–154.

Chen, M., Wu, K., Tsai, Y., & Jiang, B. C. (2021). Data analysis of ambient intelligence in a healthcare simulation system: a pilot study in high-end health screening process improvement. *BMC Health Services Research,* 21(1).

Cunha, G. M., Chernyak, V., Fowler, K. J., & Sirlin, C. B. (2021). Up-to-date role of ct/mri li-rads in hepatocellular carcinoma. *Journal of Hepatocellular Carcinoma,* 8, 513-527.

Devapriya, P., Strömblad, C. T., Bailey, M. D., Frazier, S., Bulger, J., Kemberling, S. T., & Wood, K. E. (2015). Stratbam: a discrete-event simulation model to support strategic hospital bed capacity decisions. *Journal of Medical Systems,* 39(10).

Dinwoodie, I., Endrerud, O. V., Hofmann, M., Martin, R., & Sperstad, I. B. (2015). Reference cases for verification of operation and maintenance simulation models for offshore wind farms. *Wind Engineering,* 39(1), 1-14.

Doğan, N. Ö., & Unutulmaz, O. (2016). Lean production in healthcare: a simulation-based value stream mapping in the physical therapy and rehabilitation department of a public hospital. *Total Quality Management & Business Excellence,* 27(1-2), 64-80.

Durmuş, A., & Özdemir, A. (2023, Cilt: 26 Sayı: 4, 1009 - 1032). Yoğun Bakım Ünitelerinde Hasta Akışının Değerlendirmesi: 3. Basamak Hastaneler İçin Simülasyon Modellemesi. *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi,* 26(4), 1009-1032.

Durmuş, A., Özdemir, A., & Gökmen, N. (2023). Yoğun Bakım Ünitelerinde Kapasite Değerlendirmesi Ve Planlaması: 3. Basamak Hastaneler İçin Simülasyon Modellemesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi,* 25(2), 599 - 620.

Erdemir, A., Mulugeta, L., Ku, J. P., Drach, A., Horner, M., Morrison, T. M., . . . Myers Jr., J. G. (2020). Credible practice of modeling and simulation in healthcare: ten rules from a multidisciplinary perspective. *Journal of Translational Medicine.*

Eslambolchi, A., Aghaghazvini, L., Gholamrezanezhad, A., Kavosi, H., & Radmard, A. R. (2020). Coronavirus disease 2019 (covid-19) in patients with systemic autoimmune diseases or vasculitis: radiologic presentation. *Journal of Thrombosis and Thrombolysis,* 51(2), 339-348.

Ferris, H., Joyce, M., & Hogan, J. (2016). Small group tutorials in radiology: a pilot study. *MedEdPublish,* 43.

Gillespie, J., McClean, S., FitzGibbons, F., Scotney, B., Dobbs, F., & Meenan, B. J. (2014). Do we need stochastic models for healthcare? The case of ICATS? *J. Simul.*, 8, 293–303.

Gullhav, A. N., Christiansen, M., Nygreen, B., Aarlott, M. M., Medhus, J. E., Skomsvoll, J. F., & Østbyhaug, P. O. (2018). Block scheduling at magnetic resonance imaging labs. *Operations Research for Health Care,* 18, 52-64.

Guo, X., & Su, S. (2016). Guo, X. and Su, S. (2016). *Validation of dynamic simulation models on uncertainty.* Proceedings of the 2016 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Industrial Engineering (AIIE 2016). (s. 60-63). Atlantis Press.

Günöz, N. (2023). Analyzing the efficiency of health resources of health institutions in computer environment and calculating optimum values. *İstatistik Ve Uygulamalı Bilimler Dergisi,* (7), 43-63

Hotz, I., Hanisch, A., & Schulze, T. (2006). *Simulation-Based Early Warning Systems as a Practical Approach for the Automotive Industry.* Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference (s. 1962-1970). Monterey: IEEE.

Inci, O., Altuncı, Y. A., Can, Ö., Akarca, F. K., & Ersel, M. (2024). The Efficiency of Focused Assessment with Sonography for Trauma in Pediatric Patients with Blunt Torso Trauma. Journal of Emergencies, *Trauma, and Shock,* 17(1), 8-13.

Kama, A. and Doğan, N. (2020). Tedarik zincirinde değer katmayan faaliyetlerin ortadan kaldirilmasi: imalat sektöründe bir değer akiş haritalama uygulamasi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 10(1), 91-99.

Karadayı, M., Gökmen, Y., Kasap, L., & Tozan, H. (2019). Sağlıkta güncel simülasyon yaklaşımları: bir derleme çalışması. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences,* 31(1), 1-16

Law, A. M., & Kelton, W. D. (2000). *Simulation modeling and analysis (3rd ed.).* New York,: McGraw Hill Higher Education.

Li, Y., Gou, L., & Jin, L. (2018). *Simulation Research for Patient Capacity and Arrival Strategy on Sub-period Appointment in the Radiology Department of General Hospital. Proceedings of the Twelfth International Conference on Management Science and Engineering Managemen* (s. Proceedings of the Twelfth International Conference on Management Science and Engineering Management). Springer.

Liam, C. K., Andarini, S., Lee, P., Ho, J. C., Chau, N. Q., & Tscheikuna, J. (2015). Lung cancer staging now and in the future. *Respirology,* 20(4), 526-534.

Lin, S., Li, W., Xia, Q., Ma, P., & Yang, M. (2018). *A simulation model validation and calibration platform*. Proceedings of the 9th EUROSIM 2017, (s. 687-693).

Lindsköld, L., Aspelin, P., Jacobsson, B., & Lundberg, N. (2008). The use of simulation in radiology. *Radiol Manage.,* 30(3), 55-62.

Lindsköld, L., Wintell, M., Aspelin, P., & Lundberg, N. (2012). Simulation of radiology workflow and throughput. *Radiol Manage.,* 34(4), 47-55.

Luo, L., Liu, H., Liao, H., Tang, S., Shi, Y., & Guo, H. (2016). Discrete event simulation models for ct examination queuing in west china hospital. *Computational and Mathematical Methods in Medicine,* 1-10.

Luo, L., Zhang, Y., Qing, F., Ding, H., Shi, Y., & Guo , H. (2018). A discrete event simulation approach for reserving capacity for emergency patients in the radiology department. *BMC Health Services Research,* 18, 1-11.

M., S., Al-Nasra, M., Abu Jadayil, W., Jaber, N., & Abu Jadayil, S. (2017). Evaluation of provided services at MRI department in a public hospital using discrete event simulation technique: A case study. *Cogent Engineering,* 4(1), 1-11.

Maass, K. L., Halter, E., Huschka, T. R., Sir, M. Y., Nordland, M. R., & Pasupathy, K. S. (2021). A discrete event simulation to evaluate impact of radiology process changes on emergency department computed tomography access. J*ournal of Evaluation in Clinical Practice,* 28(1), 120-128.

Mh, W., Powell, E. A., & Pallmann, P. (2020). Use of high-fidelity simulation training for radiology healthcare professionals in the management of acute medical emergencies. *The British Journal of Radiology,* 94(1117), 1-18.

Nakajima, K., Kato, H., Yamashiro, T., Izumi, T., Takeuchi, I., Nakajim, H., & Utsunomiya, D. (2020). COVID-19 pneumonia: infection control protocol inside computed tomography suites. *Jpn J Radiol.,* 38, 391–393.

Nakajima, K., Kato, H., Yamashiro, T., Izumi, T., Takeuchi, I., Nakajima , H., & Utsunomiya, D. (2020). Covid-19 pneumonia: infection control protocol inside computed tomography suites. *Japanese Journal of Radiology*, 38(5), 391-393.

Nawawi, M. K., Zulkepli, J., Khalid,, R., & Abidin, N. Z. (2021). Modeling in healthcare: selection of simulation types. *Universal Journal of Public Health,* 9(6), 401-409.

Nickel, S., & Schmidt, U. A. (2009). Process improvement in hospitals: a case study in a radiology department. *Qual Manag Health Care.,* 18(4), 326-338.

Nur, S., Okuyan, C., Ataç, G., & Şahmaran, T. (2022). Effect of computerized tomography simulation education on student education: a distance education example. *İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu Dergisi,* 10(3), 965-976.

Onggo, B. S., & Karpat, O. (2012). *Agent-based conceptual model representation using BPMN*. Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference (WSC) (s. 671-682). Phoenix: IEEE.

Ordu, M., Demir, E., & Davari , S. (2021). A hybrid analytical model for an entire hospital resource optimisation. *Soft Computing,* 25, 11673–11690.

Patton, D., Avşar, P., Sayeh, A., Budri, A., O'Connor, T., Walsh, S., & Moore, Z. (tarih yok). A meta-review of the impact of compression therapy on venous leg ulcer healing. I*nternational Wound Journal,* 20(2), 430-447.

Pearce, M. S., Salotti, J., Little, M. P., McHugh, K., Lee, C., Kim, K. P., & González, A. B. (2012). Radiation exposure from ct scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. *The Lancet,* 380(9840), 499-505.

Powell, J. H., & Mustafee, N. (2017). Widening requirements capture with soft methods: an investigation of hybrid m&s studies in health care. *Journal of the Operational Research Society,* 68(10), 1211-1222.

Primiero, G. (2019). A minimalist epistemology for agent-based simulations in the artificial sciences. *Minds and Machines,* 29(1), 127-148.

Rockwell Automation Arena v14, https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/software/arena-simulation.html

Rossetti, M.D. (2015). *Simulation Modeling and Arena. Second edition.* © 2016 John Wiley & Sons, Inc. Published 2016 by John Wiley & Sons, Inc.New Jersey.USA.

Sarvan, S. and Efe, E. (2021). Use of simulation in newborn resuscitation education: systematic review. *The Journal of Tepecik Education and Research Hospital,* 31(2):133-41. doi:10.5222/terh.2021.03789

Shakoor, M., Qureshi, M. R., Jadayil, W., Jaber, N., & Al-Nasra, M. (2021). Evaluation of provided services at MRI department in a public hospital using discrete event simulation technique: A case study. *International Journal of Healthcare Management,* 14(4), 1303-1310. DOI: 10.1109/WSC.1998.744892

Shannon, R. E. (1998). I*ntroduction to the art and science of simulation. In 1998 winter simulation conference* (s. 7-14). Washington: IEEE. https://doi.org/10.1002/sys.21594

Sohier, H., Lamothe, P., Guermazi, S., Yagoubi, M., Ménégazzi, P., & Maddaloni, A. (2021). Improving simulation specification with mbse for better simulation validation and reuse. *Systems Engineering,* 24(6), 425-438. https://doi.org/10.1002/sys.21594

Sutter, R., Stoel, B. C., Buck, F. M., Andreisek, G., Morelli, J. N., Hodler, J., & Pfirrmann, C. W. (2015). Internal derangements of joints—past, present, and future. *Investigative Radiology,* 50(9), 601-614. DOI: 10.1097/RLI.0000000000000162

Teichgräber, U. K., Gillessen, C., & Neumann, F. (2003). Methoden des Prozessmanagements in der Radiologie [Methods of process management in radiology]. *Rofo.,* 175(12), 1627-1633. DOI: 10.1055/s-2003-45331

Thorwarth, M., Rashwan, W., & Arisha, A. (2016). An analytical representation of flexible resource allocation in hospitals. *Flex. Serv. Manuf. J.,* 28, 148–165. https://doi.org/10.1007/s10696-015-9216-4

Vieira, B., Demirtaş, D., Kamer, J. B., Hans, E. W., & Harten, W. H. (2019). Improving workflow control in radiotherapy using discrete-event simulation. *BMC Medical Informatics and Decision Making,* 19(1). https://doi.org/10.1186/s12911-019-0910-0

Winqvist, I., Näppä, U., Rönning, H., & Häggström, M. (2023). Reducing risks in complex care transitions in rural areas: a grounded theory. *International Journal of Qualitative Studies on Health and Well-Being,* 18(1), 1-14. https://doi.org/10.1080/17482631.2023.2185964

Yacoub, A., Hamri, M. E., & Frydman, C. (2020). Dev-promela: modeling, verification, and validation of a video game by combining model-checking and simulation. *Simulation,* 96(11), 881-910. https://doi.org/10.1177/0037549720946

Zamani, Z. (2023). Discrete event simulation for clinic design. *International Journal of Environment, Architecture, and Societies,* 3(01), 1-16. DOI: 10.26418/ijeas.2023.3.01.1-16

Extended Summary

Introduction

Healthcare institutions, especially university hospitals, face increasing demand for services such as radiology, which is crucial in diagnostic and treatment processes. In radiology departments, effective management of patient flow and resource allocation is critical for optimizing service delivery and maintaining quality care. However, the complexity of operations in radiology departments, especially in handling computed tomography (CT) procedures, often leads to inefficiencies, such as long waiting times and suboptimal resource use.

This study focuses on predicting patient flow and capacity in the CT unit of a university hospital's radiology department using Discrete Event Simulation (DES). By utilizing simulation techniques, this research aims to analyze the hospital's CT capacity, improve workflow efficiency, and reduce patient waiting times. The goal is to provide valuable insights into operational bottlenecks and suggest solutions for enhancing service quality in healthcare.

Methodology

This research employs a Discrete Event Simulation (DES) model, which is particularly effective for studying complex, dynamic systems such as healthcare operations. DES allows for a detailed, step-by-step simulation of individual events and their impact on the system as a whole. In this study, we simulated the patient flow through the CT unit, taking into account key variables such as patient arrival times, CT scan duration, and staff availability.

The data for the model was collected from the radiology department of the university hospital over a defined period. This data includes the number of patients, the time taken for CT scans, patient waiting times, and resource utilization rates. The simulation model was built using specialized software designed for healthcare operations. Key performance indicators (KPIs) such as average waiting time, queue length, and CT machine utilization rate were analyzed.

The simulation model was validated using actual hospital data, ensuring that the simulated patient flow closely mirrors real-life scenarios. Various scenarios were simulated to explore the impact of different variables on patient flow and resource utilization, such as changing staff numbers, adjusting CT machine availability, and varying patient arrival rates.

Findings

The simulation results reveal several critical insights into the operation of the CT unit. Firstly, the analysis shows that patient waiting times are significantly affected by the variability in patient arrival times and the availability of CT machines. Under the current operational setup, the average waiting time for patients was found to be higher than desired, indicating inefficiencies in resource allocation and scheduling.

Additionally, the utilization rate of the CT machines was high, often exceeding optimal levels, which leads to frequent machine downtime and increased wear and tear. This also contributes to prolonged waiting times during peak hours. Moreover, staff availability was identified as a limiting factor in improving the efficiency of the CT unit. During times of staff shortages, patient flow slowed significantly, leading to long queues and patient dissatisfaction.

The simulation also tested several improvement scenarios, such as increasing the number of CT machines and optimizing staff schedules. The results of these scenarios indicate that increasing machine availability by just 10% could reduce patient waiting times by up to 20%. Similarly, optimizing staff schedules, especially during peak hours, was shown to improve overall system performance and reduce queue lengths.

Discussion

The findings of this study highlight the importance of using simulation tools like DES in healthcare settings to improve operational efficiency. By modeling the patient flow and capacity of the CT unit, this research provides actionable insights into the key factors driving inefficiencies in the system. One of the key contributions of this study is its ability to predict the impact of various operational changes, such as adjusting machine availability or staff schedules, on patient waiting times and resource utilization.

The high utilization rates of CT machines suggest that the current capacity is insufficient to meet the demand during peak hours. Therefore, one of the main recommendations is to invest in additional CT machines or to implement flexible scheduling that allows for increased machine availability during high-demand periods. This would alleviate the pressure on the current machines and reduce downtime due to overuse.

Furthermore, staff optimization is crucial for improving patient flow. The simulation results suggest that adjusting staff schedules to align better with patient demand, especially during peak hours, could significantly reduce waiting times and enhance the patient experience. Additionally, reducing variability in patient arrival times through better appointment scheduling could further improve system performance.

Conclusion

This study demonstrates the effectiveness of Discrete Event Simulation in analyzing and improving the operational performance of healthcare services, specifically in the CT unit of a radiology department. By identifying key bottlenecks and testing various improvement scenarios, the research provides valuable insights into how hospitals can enhance their service delivery and optimize resource use. Future studies could expand on this work by incorporating more variables, such as patient no-shows and emergency cases, to create an even more comprehensive simulation model. Moreover, applying this approach to other departments within the hospital could help streamline operations and improve overall healthcare quality.

The results of this simulation study offer practical recommendations for healthcare administrators aiming to improve patient flow, reduce waiting times, and increase capacity utilization. Implementing the suggested improvements could lead to significant operational gains, not only in radiology departments but also in other critical areas of healthcare operations.