

# SAĞLIK KAYNAKLARI İÇİN KESİKLİ-OLAY SİMÜLASYONUN VE DENEYSEL OPTİMİZASYON TASARIMININ UYGULANMASI-YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ ARAŞTIRMA VE UYGULAMA HASTANESİ

\*\*\*

## APPLICATION OF DISCRETE-EVENT SIMULATION AND EXPERIMENTAL OPTIMIZATION DESIGN FOR HEALTHCARE RESOURCES-YOZGAT BOZOK UNIVERSITY RESEARCH AND APPLICATION HOSPITAL

**Yasemin AYAZ ATALAN\***  
**Ümit ÇIRAKLI\*\***  
**Battal Burak TEMEL\*\*\***  
**Abdulkadir ATALAN\*\*\*\***

DOI: 10.33461/uybisbbd.929432

### Öz

*Sağlık sistemleri içerisinde yer alan en önemli yapılar hastanelerdir. Acil servisler ise hastanelerin en önemli birimleri olmakla beraber hastaların çoğunlukla bu birimden hastaneye girişleri gerçekleşmektedir. Bu sebeple acil servis birimleri sağlık yönetimi açısından önemlidir. Bu çalışma için Yozgat Bozok Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Hastanesinin acil servis birimine ait veriler kullanılarak acil serviste tedavi edilen hasta sayısının artırılmasını, hasta bekleme süresinin azaltılmasını, hastanın acil serviste geçirmesi gereken sürenin azaltılmasını ve kaynaklara ait verimliliğin maksimum seviyeye çıkarılması amaçlanmıştır. Bu çalışmanın metodolojisi üç ana aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada acil servis bölümüne ait kesikli-olay simülasyon modeli oluşturulmuştur. Geçerliliği test edilen simülasyon modeline ait karar değişkenlerinden oluşan tüm kombinasyonları içeren ve bu çalışmanın ikinci aşaması olan deney tasarımı modeli oluşturulmuştur. Deney tasarımı ve simülasyon modellerinden elde edilen sonuçların istatistiksel analizi gerçekleştirilerek çalışmanın üçüncü aşaması olan optimizasyon modelleri geliştirilmiştir. Simülasyon ve deney tasarımında ele alınan karar değişkenlerinin sahip olduğu maksimum ve minimum değerler göz önünde bulundurularak araştırmanın amaçlarına ve karar değişkenlere ait optimum sonuçlar elde edilmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Acil Servis, Kesikli-Olay Simülasyon, Deney Tasarımı, Optimizasyon

### Abstract

*Hospitals are the most important structures in healthcare systems. The emergency services are the most important units of hospitals and the patients mostly enter the hospital from these units. For this reason, emergency units are important in terms of healthcare management. This study has aimed to increase the number of patients treated in the emergency department, to decrease the patient waiting time, to reduce the time that the patient should spend in the emergency department, and to maximize the efficiency of the resources by using the data of the emergency department of Yozgat Bozok University Research and Application Hospital. The methodology of this study consists of three main stages. In the first stage, a discrete-event simulation model belonging to the emergency department*

\* Dr. Arş. Gör., Yozgat Bozok Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yozgat, Türkiye, yasemin.ayaz@bozok.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7767-0342

\*\* Doç. Dr., Yozgat Bozok Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Sağlık Yönetimi Bölümü, Yozgat, Türkiye, umit.cirakli@bozok.edu.tr, ORCID: 0000-0002-3134-8830

\*\*\* Yüksek Lisans, Yozgat Bozok Üniversitesi, Araştırma ve Uygulama Hastanesi, Yozgat, Türkiye, battalburak.temel@yobu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7701-7658

\*\*\*\* Dr. Öğr. Üyesi, Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye, abdulcadiratalan@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0924-3685, Sorumlu Yazar

*was created. The second stage of this study, design of experiment which includes all combinations of decision variables belonging to the simulation model whose validity was tested, was created. The third stage of the study, optimization models, were developed by performing statistical analysis of the results obtained from the design of experiment and simulation models. Considering the maximum and minimum values of the decision variables in simulation and design of experiment optimum results for the aims of the research and the decision variables were obtained.*

**Keywords:** *Emergency Department, Discrete-Event Simulation, Design of Experiment, Optimization*

## 1. GİRİŞ

Günümüzde insanlık için üretimden sonra en önemli sektör sağlık sektörüdür (Austin ve Wetle, 2016). Sağlık sektörü gün geçtikçe üretim gibi rekabetçilik anlayışını benimsemektedir. Ülkelerin sağlık sistem yapılarına göre bu durum iki şekilde ele alınmalıdır. Ülkeler sosyal olan (non-profit) ve sosyal olmayan (profit) iki tür sağlık sistemine sahiptir (Atalan, 2018). Sosyal sağlık sistemi olmayan ülkelerde sağlık kuruluşları genellikle özel kuruluşlar olarak faaliyetlerini sürdürmektedirler. Bu ülkelerde sağlık sektörü gelirlerini arttırmak adına daha iyi hizmet sağlamak için yoğun bir rekabetçilik anlayışına sahiptirler (Clemente ve ark., 2019; Pellegrini ve ark., 2014; Siciliani ve ark., 2009). Ancak zaman geçtikçe insanların daha çok yaşama arzusu ve sağlıklı yaşama duygusu ile sosyal olan ülkelerde de kaliteli sağlık hizmeti sağlanması adına hem devlet hem de özel sağlık kuruluşlarında rekabetçilik anlayışı hâkim olmaktadır. Özel sağlık kuruluşları daha fazla hastaya sahip olarak hasta maliyetlerini karşılayabilmektedir. Ancak devlet sağlık kuruluşları sağlık maliyetlerini kendi öz bütçelerinden karşılamaktadırlar (Atalan, 2018; Clemente ve ark., 2019; Eriksen ve Wiese, 2019). Bu sebeple devlet sağlık kuruluşları israfları minimize ederek hastane maliyetlerini düşürmeye çalışmaktadırlar (Joffres ve ark., 2007; McGuire ve Iuga, 2014; Mikolajczak ve Bellegem, 2017). Hastane maliyetleri fazla istihdam sayısı, aşırı hasta bekleme süresi, aşırı kaynak kullanımı gibi birçok nedene dayanmaktadır. Bu çalışmada bir devlet kurumu olan bir hastanenin acil servis birimi dikkate alınmıştır.

Bu çalışma Yozgat Bozok Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Hastanesine ait acil servis birimi için deneysel simülasyon tasarımı ve optimizasyon modelleri geliştirerek acil servis kaynaklarının optimum seviyede istihdam edilmesi, tedavi edilen hasta sayının artırılması, hasta bekleme süresinin azaltılması, bir hastanın hastanede geçireceği sürenin azaltılması, sağlık kaynaklarına ait verimliliğin artırılması ve dolayısıyla hasta tedavi maliyetinin minimum düzeye çekilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçların gerçekleştirilmesi ile sağlık sisteminin merkezinde yer alan hastaların memnuniyeti artırılmıştır.

Bu çalışmanın metodolojisi üç aşamadan ve her bir aşama birbiri ile etkileşimli olarak meydana gelmiştir. Araştırmanın ilk aşamasında deney tasarımının oluşturulması için verilerin toplanması ve sınıflandırılması işlemi gerçekleştirilmiştir. Deney tasarımı tarihsel olarak 1920 yıllarına dayanmaktadır (Fisher, 1971). Deney tasarımının temelinde üç prensip bulunmaktadır. Bunlar rasgelelik, bloklama ve replikasyon teknikleridir (Antony, 2003). Bu tekniklerden sadece rasgelelik ve replikasyon teknikleri bu çalışmada kullanılmıştır. Kullanılan verilerde mevsimlik değişimler göz ardı edildiği için bloklama işlemi yapılmamıştır. Deney tasarımının amacı bağımsız değişkenlerin seviyelerine göre bağımlı değişken üzerindeki etkisini ölçmektir (Montgomery, 2012). Bu çalışmada seviye sayısı (veya istihdam sayısı) birden fazla olan hemşire ve yatak sayısı bağımsız değişken (karar değişken) olarak belirlenmiştir. Bu değişkenlerin bu çalışma için oluşturulan hedefler üzerindeki etkisini ölçmek için deney tasarımı yönteminden faydalanılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasını ise kesikli-olay simülasyon yöntemi oluşturmaktadır. Dinamik yapılara sahip birimlerde sabit veya doğrusal matematiksel modelleme kurulması zor olduğundan simülasyon tekniğine başvurmak gerekmektedir (Atalan ve Donmez, 2019; Van Barneveld ve ark., 2018). Bu çalışma için seçilen birim acil servis olduğundan gelen hastaların belli bir süre ile değil dağılımlı veya belirsiz bir şekilde geldiği için simülasyon tekniğinin kullanılması kaçınılmazdır (Wang ve ark., 2009). Simülasyon kullanımı gereksiniminin diğer nedeni ise acil servis birimine gelen hastaların belli bir hasta türüne göre değil farklı hastalık türüne göre gelmesidir (Tsai ve ark., 2010). Bu durumun olması tedavi/muayene süresinin hastalık türüne göre değişmesine neden olmaktadır. Hastalık türü de bu açıdan bir belirsizliğe neden olmaktadır. Simülasyon programları genellikle iki ve üç boyutlu olarak program sağlayıcılar tarafından kullanıcılara sunulmaktadır (Altiok ve Melamed, 2007; Kelton, 2004). Bu çalışma için üç boyutlu simülasyon programı tercih edilmiştir. Kullanım kolaylığı ve anlaşılması

kolay olması nedeniyle bu çalışmada geliştirilen simülasyonu modelleri için Flexsim Healthcare 21.01.03 bilgisayar programı kullanılmıştır. (Atalan, 2014).

Bu çalışmanın son aşaması ise optimizasyon bölümü olup geliştirilen optimizasyon modellerinden elde edilen optimum sonuçları içermektedir. Deney tasarımı ve kesikli-olay simülasyon modellerinden elde edilen sonuçlar ile optimizasyon modelleri çalıştırılıp hem karar değişkenlerine hem de amaç fonksiyonlarına ait optimum sonuçlar elde edilmiştir. Optimizasyon tekniği sağlık alanında çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Atalan ve Donmez, 2020; Daldoul ve ark., 2018; Dönmez ve ark., 2020; Goienetxea Uriarte ve ark., 2017; Steiner ve ark., 2015). Sağlık alanında kullanılan optimizasyon modelleri genellikle dinamik bir yapıya sahiptir (Schmid, 2012). Optimizasyon yöntemini kullanan araştırmacılar sağlık sisteminin kronik problemi olan hasta bekleme süresini azaltmayı (Daldoul ve ark., 2018; Schmid, 2012) ve böylelikle sağlık maliyetini minimize etmeyi amaçlamışlardır. Ancak bu çalışmalarda optimizasyon modelleri genellikle tek amaç fonksiyonu içermektedir. Bu çalışmada ise birden fazla amacımız olduğu için çok-amaçlı optimizasyon model tekniğinden faydalanılmıştır.

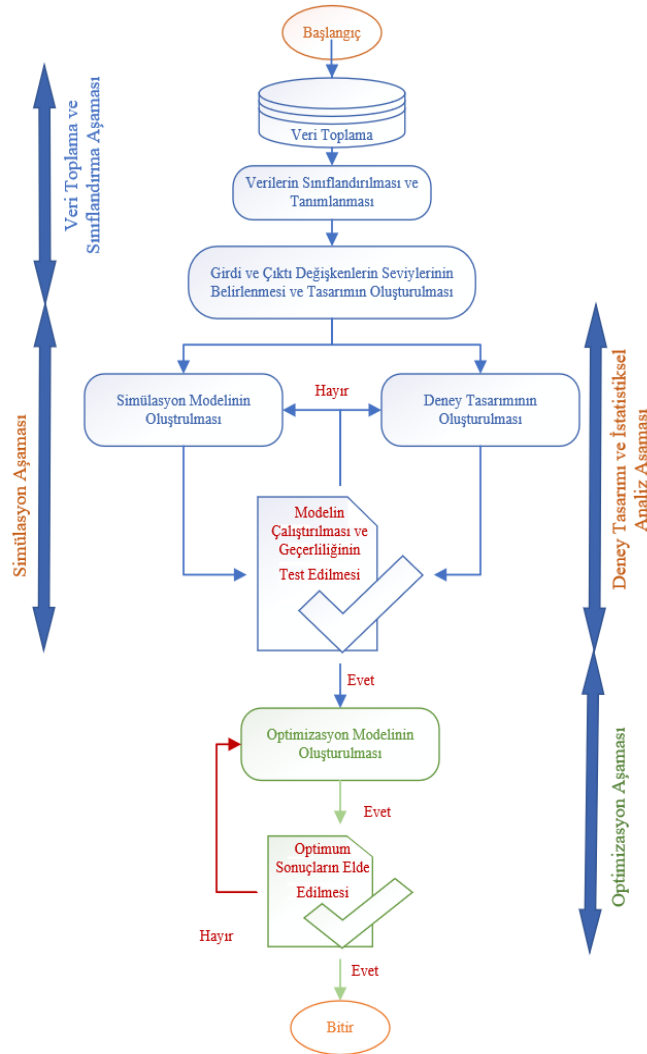
Bu çalışma dört kısımdan oluşmaktadır. İlk bölüm çalışmada kullanılan yöntemlerin literatürdeki yeri hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmanın ikinci kısmı ise kullanılan metodolojiler hakkında bilgi içermektedir. Çalışmanın üçüncü bölümünde çalışmada kullanılan yöntemlerden elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Makaleye ait sonuç kısmı çalışmanın dördüncü kısmını oluşturmuştur.

## 2. METODOLOJİ

Bu çalışma Yozgat Bozok Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Hastanesinin acil servis birimi için gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın beş ana amacı ve bu amaçların gerçekleştirilmesi ile hasta maliyeti ile hasta memnuniyeti amaçları bulunmaktadır. Çalışmanın ilk ve ikinci kısmında sağlık sistemlerine ait kaynakların doğru yönetilmesi sağlanarak hastanelerde oluşan problemlerin çözümü için deneysel simülasyon tasarım modeline ait sonuçların istatistiksel analizler ile önemlilik dereceleri amaçlanmıştır. Üçüncü kısımda, hastane kaynaklarını içeren doğrusal veya doğrusal olmayan optimizasyon modellerinin oluşturulmasını sağlanmıştır. Hastaneye ait kaynakların doğru yönetilmesiyle aşağıda listelenmiş amaçların gerçekleşmesi sağlanmıştır. Bu amaçlar gerçekleştirilirken çalışma için seçilen acil servis birimine dışarıdan (ekstra) herhangi bir sağlık kaynağı eklenmemiştir. Mevcut sağlık kaynakları dikkate alınmıştır. Araştırmanın aşamalarını gösteren iş-akış şeması aşağıda **Şekil 1** gösterilmiştir.

Çalışmanın metodolojisi izlenen adımlar şu şekildedir: araştırma, dikkate alınan hastane biriminden gerekli olan verilerin toplanma işlemi ile başlanılmıştır. Elde edilen verilerin sınıflandırılması ve tanımlayıcı istatistik analizler gerçekleştirilmiştir. Bir sonraki adımda çalışmanın ilk ve ikinci aşaması olan kesikli-olay simülasyon modeli ile deney tasarımı aşamaları aynı anda oluşturulmaya çalışılmıştır. Deney tasarımında faktörlerin veya değişkenlerin seviyeleri belirlendikten sonra tüm kombinasyonları kapsayan senaryolar tanımlanıp, bu bilgiler simülasyon modelinin içine yerleştirilerek sonuçların alınması sağlanmıştır. Çalışmanın son aşamasında ise optimum sonuçlar elde edilmesi için geliştirilen optimizasyon modeli çalıştırılmıştır. Böylelikle çalışmanın adımları tamamlanmıştır.

### Şekil 1: Metodoloji için Yöntem Akış Şeması



Bu çalışmada dikkate alınan hastanenin acil servis departmanına ait geçmiş kayıtlı verilerin kullanılması ve verilerin geçerliliğini (validation) test edilerek araştırma için elde edilecek sonuçların doğrulanması (verification) hedeflenmiştir. Yozgat Bozok Üniversitesi araştırma ve uygulama hastanesinin acil servis birimine ait lokasyon ve personel kaynak bilgileri aşağıda **Tablo 1** verilmiştir:

**Tablo 1: Acil Servis Birimine ait Kaynaklar**

Kaynak Türü	Kaynaklar	Sayısı
Personel	Doktor	1.00
	Hemşire ve ATT*	3.00
	Memur	2.00
Lokasyon	Yatak	15.0
	Acil Durum Odası	1.00
	Pansuman Odası	1.00
	Triyaj Birimi	1.00

\*Acil Tıp Teknisyeni

Bu çalışmada toplamda 24 acil servis kaynağı (doktor, hemşire, memur, teknisyen, yataklar, triyaj odası vs.) kullanılmıştır. Sadece hemşire ve yatak sayısı birden fazla olduğu için bu iki değişken bu çalışmada karar değişkeni olarak tanımlanmıştır. Diğer kaynakların sayısı sadece 1 olarak

sınırlandırılmıştır. Hastanenin acil biriminde toplamda 3 hemşire ve 15 yatak bulunmaktadır. Karar değişken sayılarını belirlerken hemşire sayısı 3 alınırken yatak sayısı 6 olarak belirlenmiştir (Geri kalan 9 yatağın hiçbir katma değeri olmadığından -verimlilik oranları %0- yatak karar değişken sayısı altı olarak belirlenmiştir).

Bu hastanenin acil servis birimine gelen hasta sayıları Covid-19 salgını öncesi ve sonrası olmak üzere iki kısımdan ele alınmıştır. Covid-19 salgını öncesi acil servis birimine yaklaşık olarak ortalama 125 hasta müracaat ederken Covid-19 salgını sonrası bu birime müracaat eden hasta sayısı %80 azalarak ortalama 25 hasta gelmektedir. Ancak bu birimde Covid-19 öncesi ve sonrasında birime ait kaynakların sayısında bir değişiklik olmamıştır. Bu sebeple bu çalışmada Covid-19 salgını göz ardı edilerek günlük hasta sayısının ortalama 125 olarak dikkate alınması ile kaynakların performansları analiz edilmiştir.

## 2.1.Simülasyon Modelinin Oluşturulması

Kesikli-olay simülasyon modeli literatürde benzetim olarak ele alınmaktadır (Türk Dil Kurumu, 2021). Simülasyon modeli için 3 boyutlu, çek-bırak yöntemi ile çalışan Flexsim Healthcare 21.01.03 bilgisayar programı kullanılmıştır. Bu program C++ programlama dili ile yazılmış olup sadece Windows işletimli bilgisayarlarda kullanılmaktadır. Bu simülasyon bilgisayar programının seçilmesinin en önemli nedeni hastaların ve birim kaynaklarına ait hareketlerin kolayca takip edilmesi ve doğruluğunun hızlı bir şekilde test edilmesidir. Simülasyon modelini oluşturmak için acil servis birimine ait yerleşim çizimleri dikkate alınarak bir zemin planı oluşturulmuştur. Acil servis bölüme ait kaynakların ve lokasyonların yerleşimi **Şekil 2**'de gösterilmiştir.

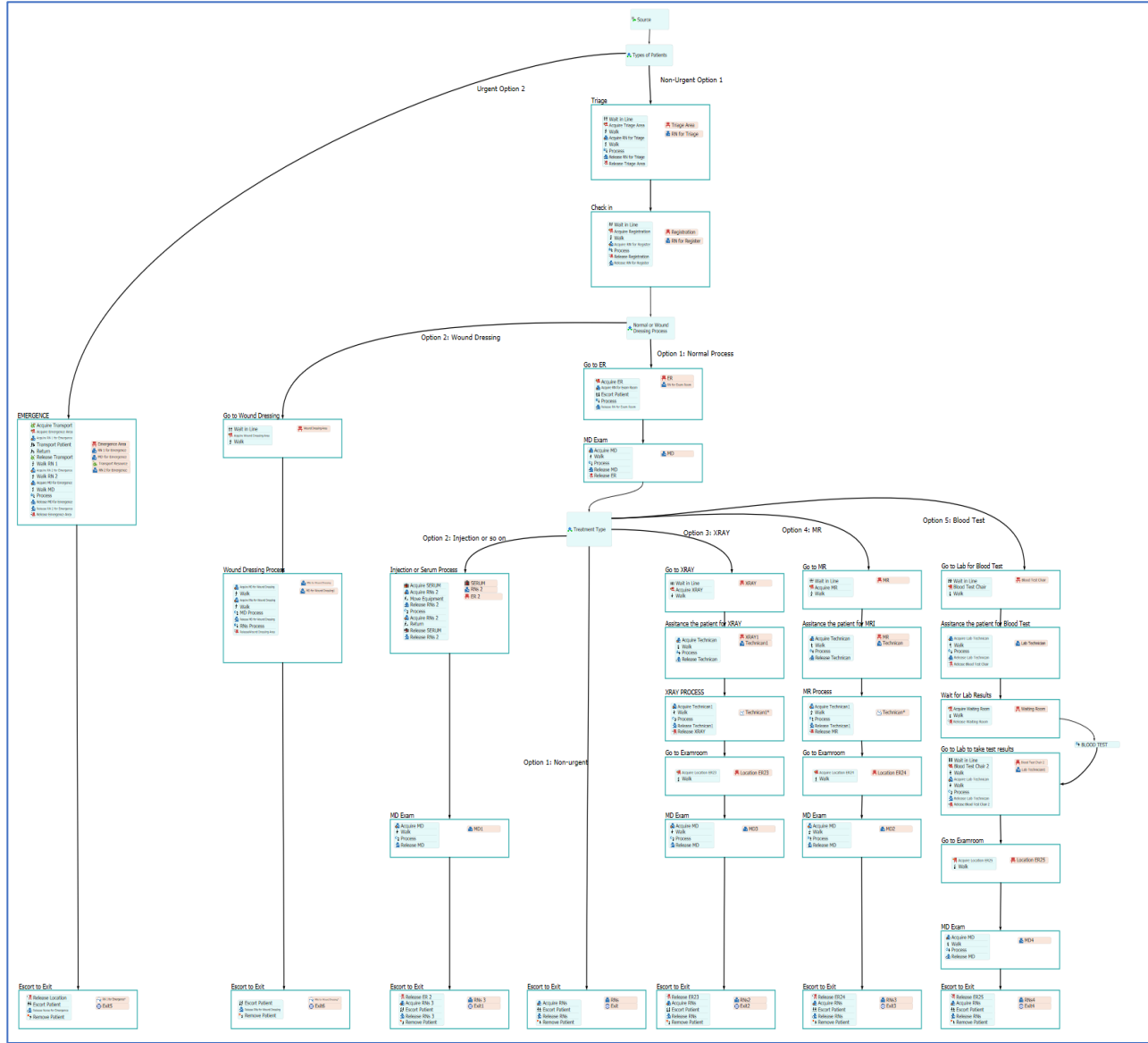
**Şekil 2:** Acil Servis Birimine ait Kaynakların ve Lokasyonların Yerleşim Planı



Kaynak türleri belirlenen simülasyon modeli için hasta-akış şeması oluşturulmuştur. Hasta akış şeması simülasyon programı tarafından oluşturulmuş olup, **Şekil 3**'te gösterilmiştir. Simülasyon modeli gerçekte var olan hasta akış şemasına göre çalıştırılmıştır. Acil servise gelen hastaların hastalık türlerine göre farklı tedavi veya muayene işlemi gerçekleştirilmektedir. Hastalar akış şemasına göre iki tür hastaneye geliş şekilleri bulunmaktadır. Hastalar yürüyerek (ayakta) gelen normal hasta türü (baş ağrısı, mide bulantısı, nezle, grip, vs.) olarak hasta akış diyagramına dahil olurken ambulans veya özel hasta

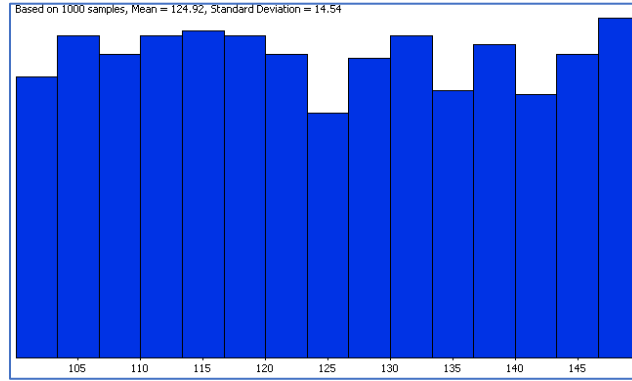
araçları ile gelen acil hasta türü (beyin kanaması, ağır yaralanma, kalp krizi gibi hayati tehlikesi olan hastalar) olarak hasta akış diyagramına entegre olmaktadır. Ayrıca acil servis birimine hasta gelişleri hastaneden (polikliniklerden) olması dahilinde yeni hasta geliş gibi hasta işlem görmektedir.

Şekil 3: Hasta Akış Şeması



Acil servislerine gelen hastaların randevu ile değil, olasılıklı (veya rastgele) bir şekilde gelmektedirler. Bu sebeple hasta geliş zamanları özel bir program ile olasılıklı olarak hesaplanmaktadır. Bu çalışmada plot birim olarak seçilen acil servis birimine ait hasta geliş zamanları Flexsim HC programına ait Expertfit aracılığı ile dağılımları hesaplanmıştır. Hasta geliş dağılımı Şekil 4’de gösterilmiştir. Bu acil servis için hasta geliş dağılımı uniform(100, 150, getstream(activity)), yani uniform dağılımına göre yaklaşık olarak günlük ortalama 125 hasta gelmektedir. (1000 örnekten elde edilen ortalama değer 124,92 ve standart sapma 14,54 olarak hesaplanmıştır.)

Şekil 4: Hasta Geliş Dağılımı



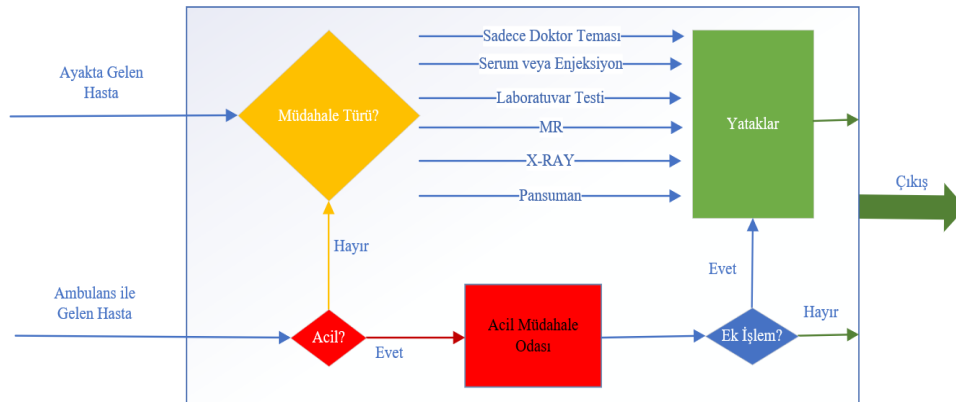
Bu hastanede, acil müdahale gerektiren hasta türüne sahip olan hastalar özel acil hasta odasına sevk edilerek acil servis biriminde bulunan tüm sağlık personelinin muayene veya tedaviye katılmaktadır. Ancak yürüyerek veya refakat durumu gerektirmeyen bir şekilde hastaneye gelen hastalar için altı olasılık bulunmaktadır. Bu olasılıklar **Tablo 2**'de verilmiştir.

Tablo 2: Acil Müdahale gerektirmeyen durumlar

Durumlar	Müdahale Tipi
Durum 1.0	Sadece doktor teması gerektiren
Durum 2.0	Serum veya enjeksiyon gerektiren
Durum 3.0	Laboratuvar tahlili gerektiren
Durum 4.0	Pansuman gerektiren
Durum 5.0	MR gerektiren
Durum 6.0	Xray veya Röntgen gerektiren

**Tablo 2**'de tanımlanan olasılıkların sahip olduğu hasta-akış diyagramlarında farklılık gözlenmektedir. Örneğin sadece doktor müdahalesi gereken hastalık türüne sahip olan hasta doktor muayenesinden sonra hastaneden çıkış yaparken diğer hasta-akış diyagramlarında acil servis veya hastanenin diğer birimlerine ait kaynakların (x-ray, MR, röntgen, vs.) kullanılması gerekmektedir. Hasta çıkışları acil servis dışına çıkan hastaların (poliklinik veya tahliye) hepsini kapsamaktadır. **Şekil 5** acil servis birimine gelen hastaların hastalık türüne göre sahip olabileceği müdahale türlerine ait bir algoritma sunmaktadır.

Şekil 5: Hasta Geliş Biçimleri ve Müdahale Türleri





## 2.2. Deney Tasarımının Oluşturulması

Çalışmanın ikinci aşaması olan deney tasarımı yöntemi bu bölümde ele alınmıştır. Deney tasarımının gerçekleştirilmesi için öncelikle karar değişkenlerinin belirlenmesi ve bu değişkenlere ait seviyelerin hesaplanması gerekmektedir. Bir karar değişkenine ait en az iki seviye bulunmalıdır ve bunun için aynı karar değişkeninin en az iki birimi, derecesi veya değeri gerekmektedir. Bu çalışmada yalnızca hemşire ve yatak karar değişkenlerine ait birden fazla değeri bulunmaktadır. Doktor, memur, teknisyen, acil müdahale birimi, pansuman odası, MR, X-ray gibi tespit edilen karar değişkenlerine ait değerler yalnızca birdir. Bu sebeple bu karar değişkenlerinin üzerinde herhangi bir değişiklik yapılamayacağından bu karar değişkenleri dikkate alınmamıştır.

Hemşire veya ATT (Acil Tıp Teknisyeni) karar değişken sayısı ile yatak karar değişken sayısı için seviyeler belirlenerek oluşacak senaryo kombinasyonları hesaplanmıştır. Fazla yatak kullanımının acil servis için tanımlanan amaçlar için herhangi bir etkiye sahip olmadığından yatak sayısında değişiklik yapılmıştır. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'te karar değişkenlerine ait seviyeler gösterilmiştir.

**Tablo 3:** Karar Değişkenleri ve Seviyeleri

Karar Değişkenleri	Karar Değişkeni Notasyon Bilgisi	Faktör Seviye Sayısı	Seviye 1 Kod Değeri (1.00)		Seviye 2 Kod Değeri (2.00)		Seviye 3 Kod Değeri (3.00)		Seviye 4 Kod Değeri (4.00)		Seviye 5 Kod Değeri (5.00)		Seviye 6 Kod Değeri (6.00)	
			Değer	Limit	Değer	Limit	Değer	Limit	Değer	Limit	Değer	Limit	Değer	Limit
Hemşire/ATT Sayısı	$x_1$	3	1	1-1	2	1-2	3	1-3	*	*	*	*	*	*
Yatak Sayısı	$x_2$	6	1	1-1	2	1-2	3	1-3	4	1-4	5	1-5	6	1-6

Deney tasarımında karar değişkenleri ve seviyeleri/sayıları belirlendikten sonra deney tasarımının diğer bir prensibi olan replikasyon aracının uygulanması gerekmektedir. Bu çalışma için beş replikasyon işlemi yapılmıştır. Yani simülasyon modeli bir senaryo için beş kez çalıştırılmıştır. Bu işlemin gerçekleştirilmesinin başlıca nedeni istatistiksel analiz için elde edilen değerlerin rasgelelik ilkesinin uygulanmasıdır. İki karar değişkeninin farklı seviyede (multi-level) olması ve beş kez replikasyon yapılması sonucunda toplamda 18\*5 senaryo oluşturulmuştur. Bu çalışmada 18 senaryo için oluşturulan deney tasarımı **Tablo 4**'te gösterilmiştir.

**Tablo 4:** Acil Servis Birimine ait Deney Tasarımı

Senaryo	Hemşire ve ATT		Yatak	Çıktı
	$x_1$	$x_2$		
0.00				
1.00	1.00	1.00	1.00	$y_{f,1}$
2.00	1.00	1.00	2.00	$y_{f,2}$
3.00	1.00	1.00	3.00	$y_{f,3}$
4.00	1.00	1.00	4.00	$y_{f,4}$
5.00	1.00	1.00	4.00	$y_{f,5}$
6.00	1.00	1.00	6.00	$y_{f,6}$
7.00	2.00	1.00	1.00	$y_{f,7}$
8.00	2.00	1.00	2.00	$y_{f,8}$
9.00	2.00	1.00	3.00	$y_{f,9}$
10.00	2.00	1.00	4.00	$y_{f,10}$
11.00	2.00	1.00	4.00	$y_{f,11}$
12.00	2.00	1.00	6.00	$y_{f,12}$
13.00	3.00	1.00	1.00	$y_{f,13}$
14.00	3.00	1.00	2.00	$y_{f,14}$
15.00	3.00	1.00	3.00	$y_{f,15}$
16.00	3.00	1.00	4.00	$y_{f,16}$
17.00	3.00	1.00	4.00	$y_{f,17}$
18.00	3.00	1.00	6.00	$y_{f,18}$

Not:  $y_{f,s}$  karar değişkenlerinin etkilediği yanıt sonucudur,  $i = \{1,2,3,..n\}$  ve  $j = \{1,2, ..., 18\}$ .

### 2.3.Optimizasyon Modelinin Oluşturulması

Çalışmanın son aşaması olan optimizasyon yöntemi ile optimizasyon modelleri geliştirilerek karar değişkenlerine ait optimum sonuçların elde edilmesi sağlanmıştır. Bu çalışma için altı farklı amaç belirlenmiştir ve her bir amaç için optimizasyon modelleri oluşturularak optimum sonuçlar ayrı ayrı elde edilmek istenmiştir. Aşağıdaki matematiksel denklemler bu çalışmanın optimizasyon modellerini temsil etmektedir. Yazılan matematiksel modellerde kapalı formül olmasının nedeni çalışmanın stokastik bir yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

**Amaç 1:** Tedavi edilen hasta sayısının maksimum edilmesi,

$$\begin{aligned} \text{Max [Hasta Sayısı]} &= f\{x_1, x_2\} \\ \text{Kısıt;} & \\ \text{alt limit}_f &\leq \{x_1, x_2\} \leq \text{üst limit}_f \\ x_1, x_2 &\text{ pozitif} \end{aligned} \quad (1)$$

**Amaç 2:** Hasta bekleme süresinin minimum edilmesi,

$$\begin{aligned} \text{Min [Bekleme Süresi]} &= f\{x_1, x_2\} \\ \text{Kısıt;} & \\ \text{alt limit}_f &\leq \{x_1, x_2\} \leq \text{üst limit}_f \\ x_1, x_2 &\text{ pozitif} \end{aligned} \quad (2)$$

**Amaç 3:** Hastanın acil serviste geçirdiği sürenin minimum edilmesi,

$$\begin{aligned} \text{Min [Hastanede Kalış Süresi]} &= f\{x_1, x_2\} \\ \text{Kısıt;} & \\ \text{alt limit}_f &\leq \{x_1, x_2\} \leq \text{üst limit}_f \\ x_1, x_2 &\text{ pozitif} \end{aligned} \quad (3)$$

**Amaç 4:** Acil servis birimine ait personelin verimliliğinin maksimize edilmesi

$$\begin{aligned} \text{Max [Personel Verimliliği]} &= f\{x_1, x_2\} \\ \text{Kısıt;} & \\ \text{alt limit}_f &\leq \{x_1, x_2\} \leq \text{üst limit}_f \\ x_1, x_2 &\text{ pozitif} \end{aligned} \quad (4)$$

**Amaç 5:** Acil servis birimine ait lokasyonların verimliliğinin maksimize edilmesi

$$\begin{aligned} \text{Max [Lokasyon Verimliliği]} &= f\{x_1, x_2\} \\ \text{Kısıt;} & \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} alt\ limit_f \leq \{x_1, x_2\} \leq üst\ limit_f \\ x_1, x_2\ pozitif \end{aligned}$$

**Amaç 6:** Hasta memnuniyetinin artırılması,

$$Max [Hasta memnuniyeti] = f\{Amaç\ 1, Amaç\ 2, Amaç\ 3, Amaç\ 4, Amaç\ 5\} \quad (5)$$

Bu çalışma için optimizasyon modelleri tek tek çalıştırılmayıp hepsini birden aynı kısıtlar ile beraber çalıştırılarak çok amaçlı optimizasyon modeli uygulaması yapılmıştır. Çok amaçlı optimizasyon modeline göre bu çalışmanın optimizasyon modeli aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} Max [Hasta Sayısı] &= f\{x_1, x_2\} \\ Min [Bekleme Süresi] &= f\{x_1, x_2\} \\ Min [Hastanede Kalış Süresi] &= f\{x_1, x_2\} \\ Max [Lokasyon Verimliliği] &= f\{x_1, x_2\} \\ Max [Lokasyon Verimliliği] &= f\{x_1, x_2\} \end{aligned} \quad (6)$$

Kısıt;

$$\begin{aligned} alt\ limit_f \leq \{x_1, x_2\} \leq üst\ limit_f \\ x_1, x_2\ pozitif \end{aligned}$$

Bu optimizasyon modeline 6. Amaç fonksiyonu eklenmemiştir. 6. Amaç fonksiyonu ise aşağıdaki gibi tekrardan ele alınmıştır:

$$Target [Hasta memnuniyeti] = f\{$$

$$\begin{aligned} Max [Hasta Sayısı] &= f\{x_1, x_2\} \\ Min [Bekleme Süresi] &= f\{x_1, x_2\} \\ Min [Hastanede Kalış Süresi] &= f\{x_1, x_2\} \\ Max [Lokasyon Verimliliği] &= f\{x_1, x_2\} \\ Max [Lokasyon Verimliliği] &= f\{x_1, x_2\} \end{aligned} \quad (7)$$

}  
Kısıt;

$$\begin{aligned} alt\ limit_f \leq \{x_1, x_2\} \leq üst\ limit_f \\ x_1, x_2\ pozitif \end{aligned}$$

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın sonuçlar simülasyon, deney tasarımı, optimizasyon olmak üzere üç başlık altında ele alınmıştır. Bu çalışma için toplanan ve analiz edilen verilere ait tanımlayıcı istatistik bilgileri **Tablo 5**'te verilmiştir.

**Tablo 5:** Verilere ait Tanımlayıcı İstatistik Bilgileri

Değişken	N	Mean	SE Mean	StDev	Variance	Minimum	Maximum	Skewness	Kurtosis
Hasta Sayısı	90	128.28	4.560	43.27	1872.1	20.00	194.000	-0.37	-0.38
Kalış Süresi	90	117.70	13.80	131.0	17163	31.10	467.90	1.51	0.70
Bekleme Oranı	90	0.4344	0.030	0.285	0.0812	0.030	0.8200	-0.19	-1.57
Personel Verimliliği	90	0.8016	0.002	0.018	0.0003	0.760	0.8600	0.04	0.11
Lokasyon Verimliliği	90	0.2542	0.016	0.149	0.0223	0.100	0.9200	3.04	10.14

Oluşturulan 18 senaryo sonucunda simülasyon modeli 5 kez replike edilerek her bir amaç fonksiyonu için 90 veri ve toplamda ise 450 veri elde edilmiştir. Bu senaryolar sonucunda acil servis biriminde maksimum 194 hasta tedavi edilirken en az 20 hastanın muayene/televi edildiği gözlemlenmektedir. Yani 3 hemşire ve 6 yataklı bir acil servisin kapasitesi yaklaşık olarak 194 hastanın muayene etmeye yeterli olduğu anlaşılmaktadır. Bir hasta acil servis biriminde kalması gereken süre 7,8 saat (en kötü senaryo için) ile 31 dakika arasında değişmektedir. Hasta bekleme oranı ise 0,76 ile 0,86 arasında değişmektedir. Acil servis biriminde istihdam edilen personellere (doktor, hemşire, teknisyen, memur, vs.) ve yer alan lokasyonlara ait verimlilik oranlarının maksimum (%92.00) ve minimum değerler (%10.00) arasında aşırı bir biçimde farklılık gözlemlenmiştir.

### 3.1. Simülasyona ait Sonuçlar

#### 3.1.1. Mevcut Durumun Simülasyona Göre Sonuçları

Bu çalışma için oluşturulan üç boyutlu kesikli simülasyon modelinin hiçbir karar değişkenin seviyelerinin değiştirilmemesi yani mevcut durumu koruyarak çalıştırılmasına ait sonuçlar bu bölümde ele alınmıştır. Simülasyon modeli için çizilen hasta akış diyagramına göre yedi farklı süreç gerekmektedir. Her bir süreç için ya sabit değer veya dağılım kullanılmıştır. Ancak acil servis birimlerinde gelişen olaylar arasında rasgelelik veya belirsizlik olduğu için genellikle dağılım verilerinin kullanılması gerekmektedir. Bu çalışmada elde edilen verilerin analizi sonucunda süreçlere ait süreler üssel dağılıma daha yakın olduğu gözlemlenmiştir. Simülasyon modelinde tanımlanan karar değişken sayılarına göre (hemşire sayısı-3 ve yatak sayısı-6 olmak şartıyla) günlük sonuçlar elde edilmiştir. Mevcut karar değişkenlerin sayıları değiştirilmeden kesikli-olay simülasyon modeli çalıştırılarak **Tablo 6**'daki sonuçlar elde edilmiştir.

**Tablo 6:** Mevcut Karar Değişkenlerine göre Amaçların Sonuçları

Amaçlar	Sonuç
Tedavi Edilen Hasta Sayısı	101
Kalış Süresi	30,05 dakika
Bekleme Süresi	0,7920
Personel Verimliliği	0,2508
Lokasyon Verimliliği	0,1245

Bu hastanenin acil birimine günlük ortalama gelen hasta sayısı 25 ile 150 arasında değişmektedir. Bu çalışma için gerçekleştirdiğimiz simülasyon modelinde günlük hasta sayısı ortalama 101 olarak elde edilmiştir. Bir hastanın mevcut durumda acil servis biriminde ortalama olarak 1803 saniye (30,05 dakika) kalmakta ve mevcut durumda acil servis biriminde ortalama olarak 1974,02 (32,90 dakika) saniye beklemektedir. Yani, bir hasta acil servis biriminde yaklaşık olarak 4,37 dakika beklemektedir. Hasta bekleme oranı ise 0,79 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada bekleme süreleri, dakika yerine oran olarak dikkate alınmıştır.

Acil servis biriminde çalışan mevcut personele ait çalışma oranlarına göre en çok çalışan kişi doktor olarak gözlemlenmektedir (verimlilik oranı %95,94). Hasta akış şeması incelendiğinde her hastalık türüne göre gerekli olan hasta akışında doktor karar değişkeni yer almaktadır. Bu sebeple hastaların fazla beklemesine sebep olan ve darboğaz olarak tanımlayacağımız faktör doktor karar değişkenidir. Hemşirelerin verimlilik oranları %57,74 olarak hesaplanmıştır. Teknisyenlerin çalışma oranları diğer personele göre az olmasının nedeni ise x-ray, MR, laboratuvar testine tabi tutulan hastaların acil servis biriminden sevk edilmesidir. Yani, bu personeller sadece acil servis biriminden yönlendirilen hastalara değil, hastanenin diğer birimlerinden gelen hastalara da hizmet vermektedir. Ancak diğer birimlerde gelen hastalara ait işlemlere bu çalışmada yer verilmemiştir. Ayrıca, lokasyonlara ait verimliliklerin çok düşük olduğu tespit edilmiştir.

### 3.1.2. Karar Değişken Sayılarının Acil Servis Birimine olan Etkisi

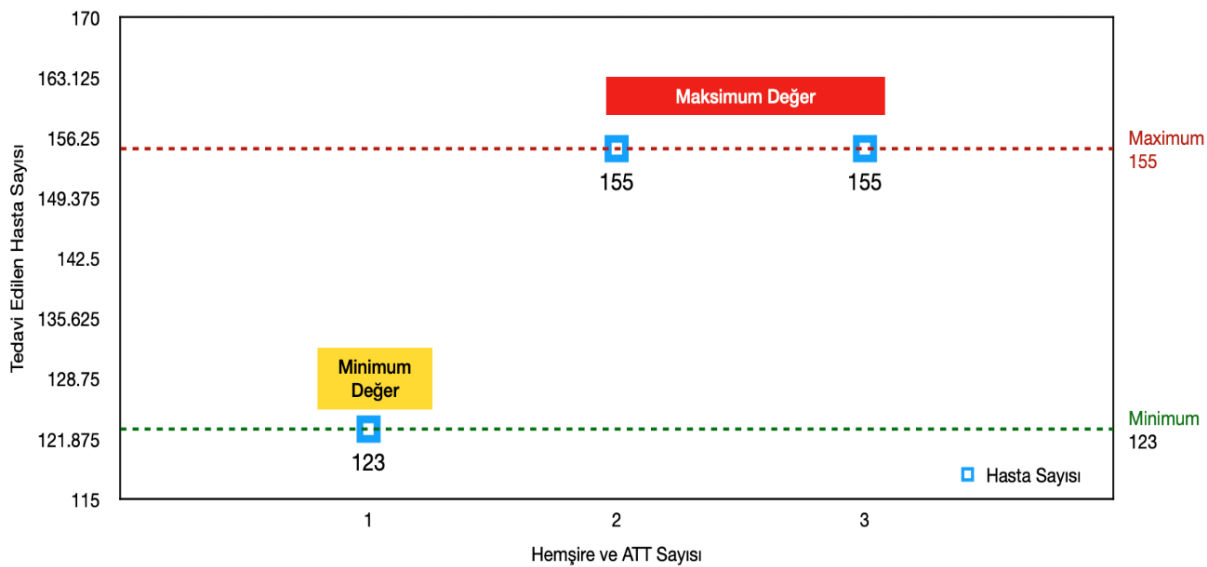
Bu çalışmada sadece iki karar değişkeni üzerinde durulmuş ve bu karar değişkenlerinin amaçlar üzerindeki etkisi ölçülmüştür. Acil servis biriminin mevcut karar değişken sayılarına göre modelin çalıştırılması ile elde edilen sonuçlar iki kısımda incelenmiştir.

#### 3.1.2.1. Hemşire Sayısı

İki karar değişkeninden biri olan hemşire karar değişken sayısı 3 olarak bu çalışmada ele alınmıştır (Gerçek durumda da 3 hemşire/ATT istihdam edilmektedir). Hemşire sayısı 3 olmakla beraber her bir amaç için 3 senaryo oluşturulduğu anlamına gelmektedir. Her bir senaryo için sonuçlar elde edilerek karşılaştırılmıştır.

Şekil 6'da hemşire/ATT sayısının tedavi edilen hasta sayısı üzerindeki etkisini göstermektedir. Bu çalışmada dikkate alınan acil servis biriminde tek hemşire istihdam edilirse günlük tedavi edilen hasta sayısı ortalama olarak 123 olurken hemşire sayısı 2 veya 3 olduğunda tedavi edilen hasta sayısı 155 olmaktadır.

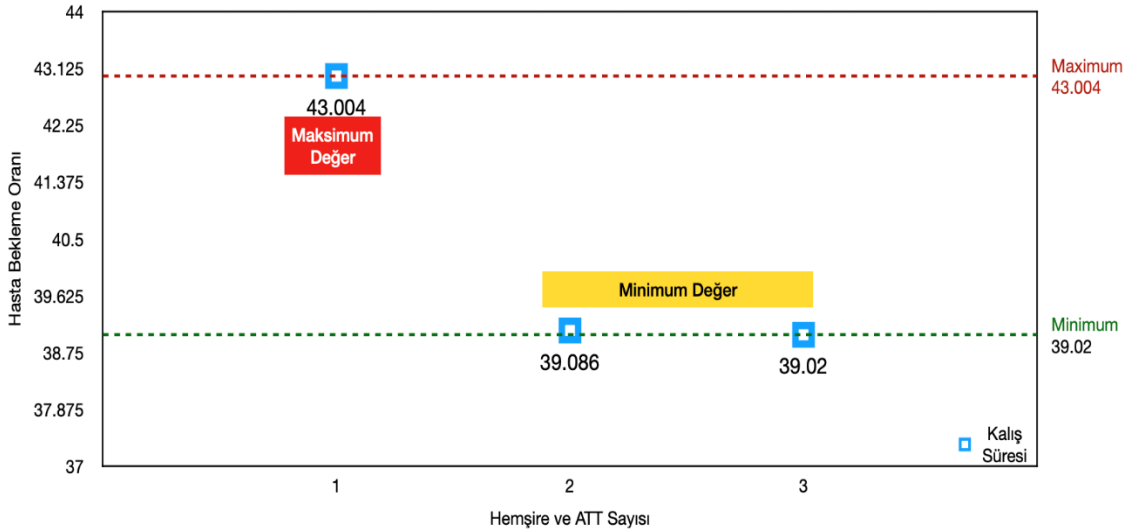
Şekil 6: Hemşire/ATT sayısının Tedavi Edilen Hasta Sayısına Etkisi



Şekil 7'de hemşire/ATT sayısının bir hastanın hastanede kalış süresi (length of stay) üzerindeki etkisini göstermektedir. Acil servis biriminde tek hemşire istihdam edilirse hasta kalış süresi ortalama

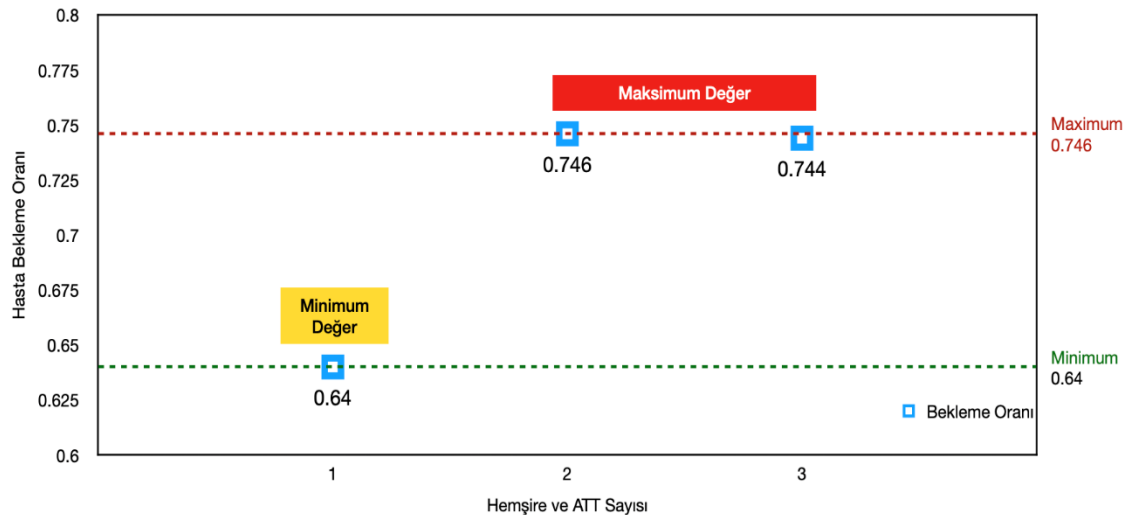
olarak 43 dakika olurken hemşire sayısı 2 veya 3 olduğunda hasta kalış süresi ortalama 39 dakika olarak hesaplanmaktadır.

Şekil 7: Hemşire Sayısının Hasta Kalış Süresine Etkisi



Bu çalışmada hasta bekleme süreleri yüzdelik oran şeklinde hesaplanmıştır. Şekil 8’de hemşire/ATT sayısının hasta bekleme süresinin üzerindeki etkisini göstermektedir. Acil servis biriminde tek hemşire istihdam edilirse hasta bekleme süresi ortalama olarak %64 olurken hemşire sayısı 2 veya 3 olduğunda hasta bekleme süresi ortalama %74 olarak hesaplanmaktadır. Yani hemşire sayısı artırılması ile hasta bekleme süresinin düşmesinin aksine arttığı gözlemlenmiştir. Bir birimde kaynak artırımı ile elde edilen sonuçlar arasında ters orantılı olabilmektedir.

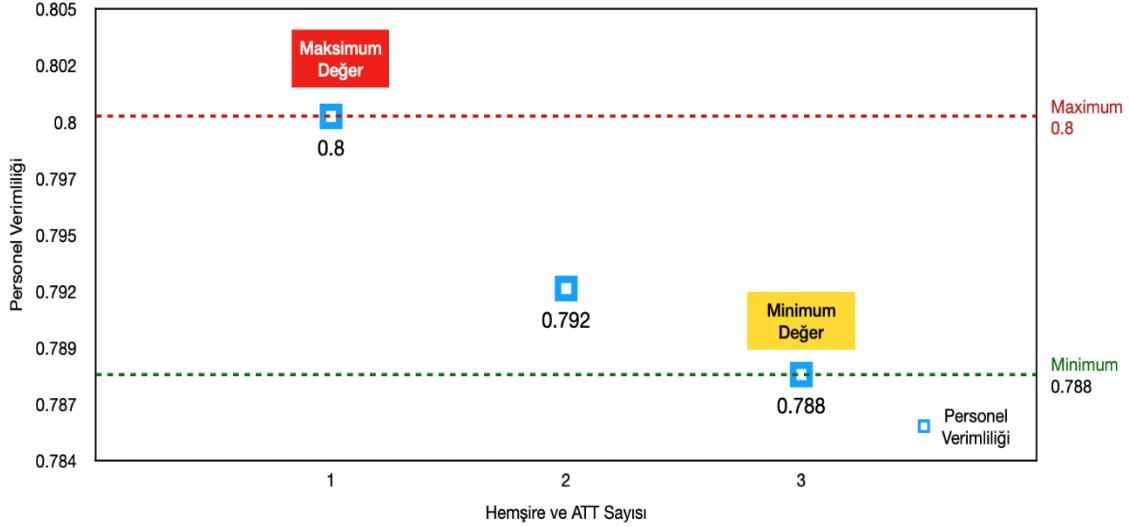
Şekil 8: Hemşire Sayısının Bekleme Süresine Etkisi



Kaynak verimlilikleri de hasta bekleme oranı gibi yüzdelik oran şeklinde hesaplanmıştır. Hemşire/ATT sayısının acil servis biriminde istihdam edilen tüm personel (doktor, teknisyen, memur

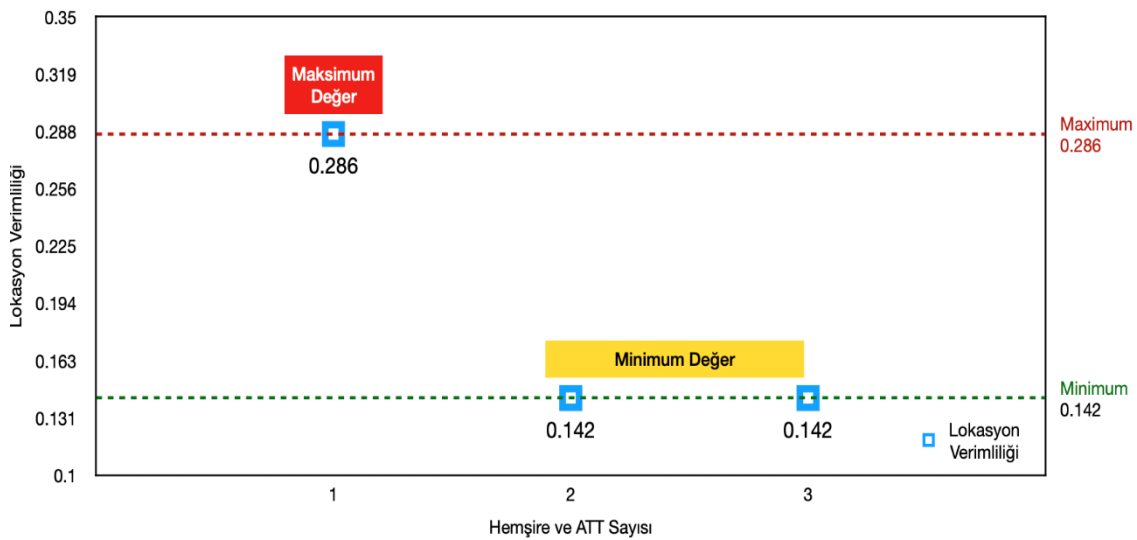
vs.) üzerindeki etkisi ölçülmüştür. **Şekil 9**'da hemşire/ATT sayısının personel verimliliği üzerindeki etkisini göstermektedir. Acil servis biriminde tek hemşire istihdam edilirse personel verimlilik oranı ortalama olarak %80 olurken hemşire sayısı 2 veya 3 olduğunda hasta personel verimlilik oranları %78'e kadar düşmektedir. Hemşire/ATT sayısındaki değişiklik verimlilik oranında %2'lik farklılığa neden olmaktadır.

**Şekil 9:** Hemşire sayısının tüm personel verimliliği üzerine etkisi



**Şekil 10**'da hemşire/ATT sayısının acil servis biriminde yer alan lokasyonlar (yatak, triyaj, kayıt işlem vs.) üzerindeki etkisini göstermektedir. Acil servis biriminde tek hemşire istihdam edilirse lokasyon verimlilik oranı ortalama olarak %29 olurken hemşire sayısı 2 veya 3 olduğunda lokasyon verimliliği ortalama %14,2 olarak hesaplanmaktadır.

**Şekil 10:** Hemşire sayısının lokasyon verimliliği üzerine etkisi

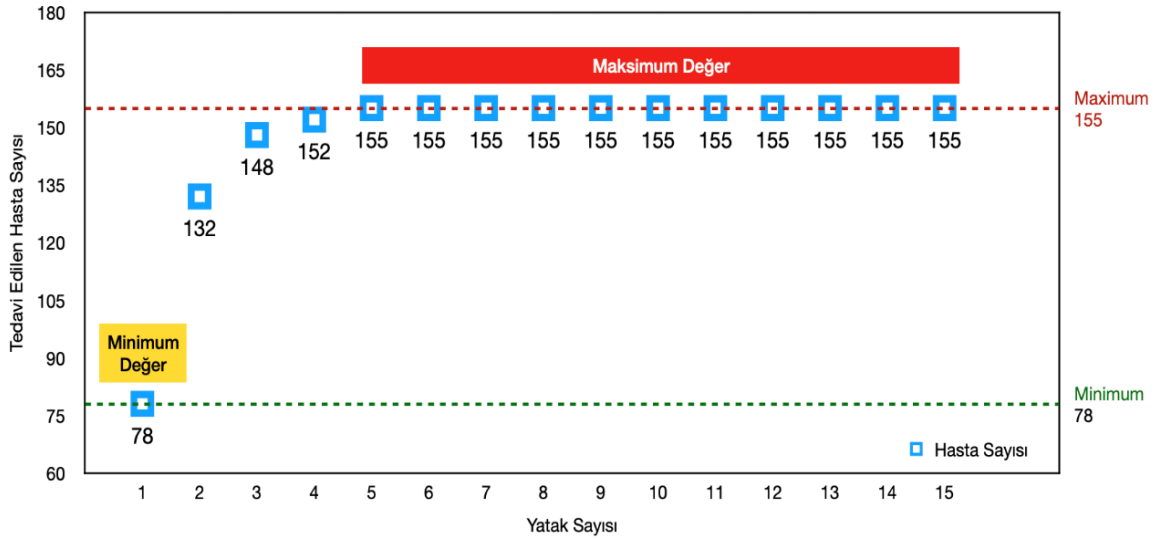


### 3.1.2.2. Yatak Sayısı

Araştırmanın diğer karar değişkeni olan yatak sayısı 6 olarak bu çalışmada ele alınmıştır. Ancak bu çalışmada neden yatak sayısını 6 olarak belirlediğini göstermek için gerçek durumda var olan 15 yatak sayısı dikkate alınarak kıyaslama yapılmıştır. Yatak sayısı 15 olmakla beraber her bir amaç için 15 senaryo oluşturulmuştur. Her bir senaryo için sonuçlar elde edilerek karşılaştırılmıştır.

**Şekil 11**'de yatak sayısının tedavi edilen hasta sayısı üzerindeki etkisini göstermektedir. Acil servis biriminde tek yatak çalıştırılması ile günlük tedavi edilen hasta sayısı ortalama olarak 78'dir. Yatak sayısı 2 olduğundan tedavi edilen hasta sayısı 132, 3 olduğunda 148 ve 4 olduğunda 152 olarak hesaplanmıştır. Ancak yatak sayısı 5 ile 15 arasında olursa tedavi edilen hasta sayısı 155 olmaktadır. Yani yatak sayısının 5'ten fazla olması halinde tedavi edilen hasta sayısına etkisi bulunmamaktadır. Bu nedenle yatak karar değişkeninin sayısı bu çalışma için 6 (5 yatak ile 6 yatak arasındaki farkı görmek açısından) olarak belirlenmiştir.

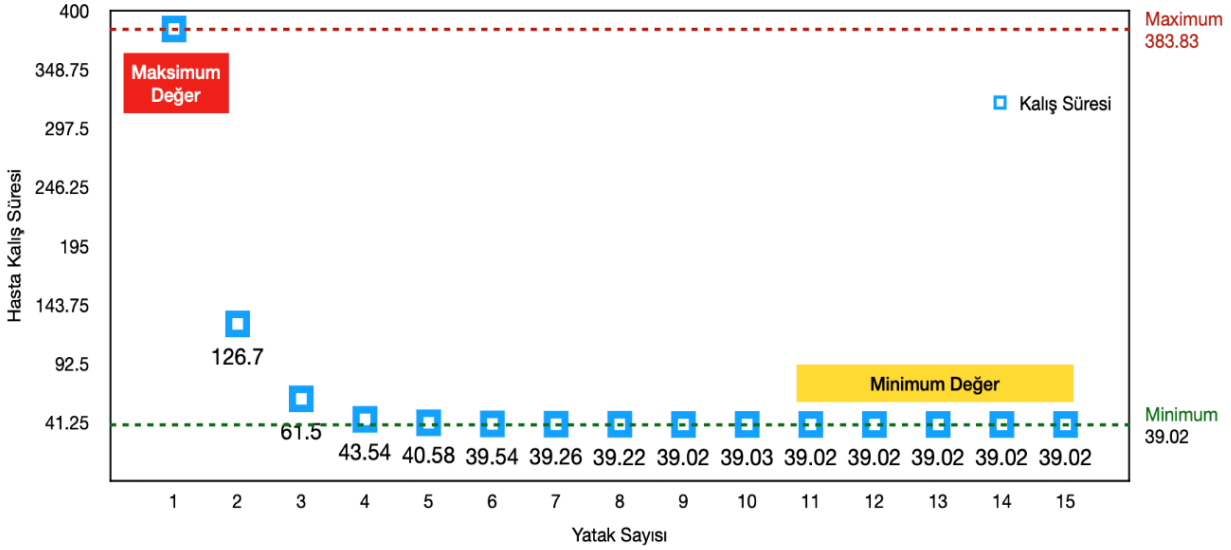
**Şekil 11:** Yatak sayısının Tedavi Edilen Hasta Sayısına Etkisi



**Şekil 12**'de yatak sayısı artırılması ile hastaların acil serviste kama süreleri 39 dakikaya kadar düşmektedir. Maksimum hasta kalış süresi tek yatakta olurken minimum hasta kalış süresine sahip olmak için en az sekiz yatağa sahip olmak gerekmektedir. Ancak yatak sayısı belli bir limite ulaştığında hastaların kalış sürelerinde herhangi bir değişiklik gözlenmemektedir. Bu sebeple diğer amaçlar göz ardı edilmesi koşuluyla bu amaç için maksimum yatak sayısı 9 olarak belirlenebilir.

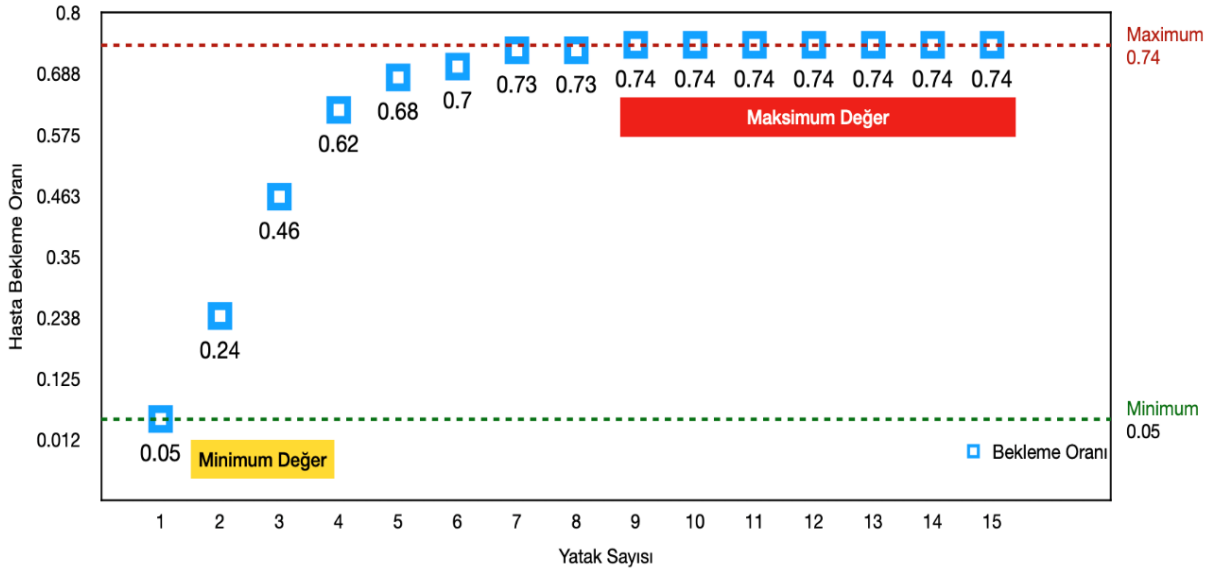
**Şekil 12:** Yatak Sayısının Hasta kalış Süresine Etkisi





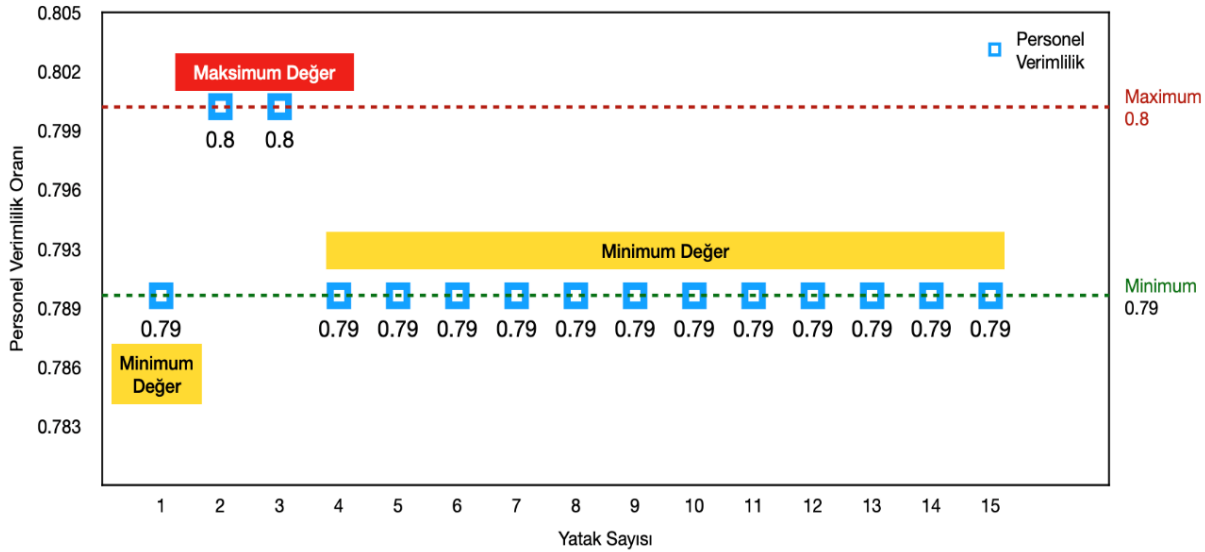
Şekil 13'te yatak sayısının hasta bekleme süresinin üzerindeki etkisini göstermektedir. Acil servis biriminde tek yatak istihdam edilirse hasta bekleme süresi ortalama olarak %5 olurken yatak sayısı 9 ve üzeri olduğunda hasta bekleme süresi ortalama %74 olarak hesaplanmaktadır.

Şekil 13: Yatak Sayısının Bekleme Süresine Etkisi



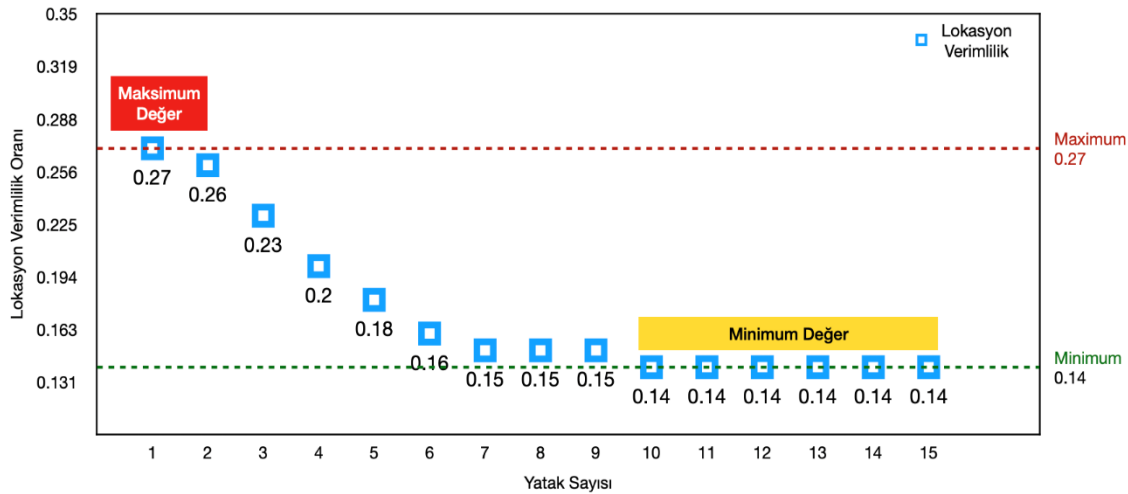
Şekil 14'te yatak sayısının personel verimliliği üzerindeki etkisini göstermektedir. Acil servis biriminde tek yatak istihdam edilirse personel verimlilik oranı ortalama olarak %79 olurken yatak sayısı 2 veya 3 olduğunda hasta personel verimlilik oranları %80'ne kadar yükselmektedir. Ancak yatak sayısı 4 veya daha fazla olduğunda personel verimlilik oranı %79 olarak gözlemlenmektedir. Yani yatak sayısı belli bir limite ulaştığında personel verimlilik oranında herhangi bir değişiklik gözlenmemektedir. Yatak sayısındaki değişiklik verimlilik oranında %1'lik farklılığa neden olmaktadır. Diğer amaçlar göz ardı edilmesi koşuluyla bu amaç için maksimum yatak sayısı 4 olarak belirlenebilir.

Şekil 14: Yatak sayısının personel verimliliği üzerine etkisi



**Hata! Yer işareti başvurusu geçersiz.**'te yatak sayısının acil servis biriminde yer alan lokasyonlar (yatak, triyaj, kayıt işlem vs.) üzerindeki etkisini göstermektedir. Acil servis biriminde tek yatak istihdam edilirse lokasyon verimlilik oranı ortalama olarak %27 olurken yatak sayısı 10 veya daha fazla olduğunda lokasyon verimliliği ortalama %14 olarak hesaplanmaktadır.

**Şekil 15:** Yatak sayısının personel verimliliği üzerine etkisi



### 3.1.2.3. Amaçlara göre Karar Değişken Sayıları

Karar değişkenlerinde herhangi bir değişiklik yapmadan simülasyon modeline göre elde edilen sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. Simülasyon modellerin oluşması için en önemli faktör karar değişkenlerinin belirlenmesidir. Simülasyon modellerinde karar değişkenlerin limitleri belirlendikten sonra amaç fonksiyonlarına olan etkileri ölçülmektedir. Bu çalışma için beş farklı amaç fonksiyonun iki karar değişken limitlerinde yapılan değişiklikler sonucunda bazı sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 7 ve Tablo 8'da amaç fonksiyonlara ait sonuçlar verilmiştir

**Tablo 7:** Amaçlara göre Hemşire/ATT sayısı

Amaçlar	Sonuç	Karar Değişken Sayısı
Tedavi Edilen Hasta Sayısı	155	2.00
Kalış Süresi	39,02 dakika	1.00
Bekleme Süresi	0,64	1.00
Personel Verimliliği	0,80	1.00
Lokasyon Verimliliği	0,29	1.00

**Tablo 8:** Amaçlara göre Yatak sayısı

Amaçlar	Sonuç	Karar Değişken Sayısı
Tedavi Edilen Hasta Sayısı	155	5.00
Kalış Süresi	39,02 dakika	9.00
Bekleme Süresi	0,05	1.00
Personel Verimliliği	0,80	2.00
Lokasyon Verimliliği	0,27	1.00

Hemşire/ATT sayısı 2 ve yatak sayısı 5 olduğunda tedavi edilen hasta sayısı 155 olarak hesaplanmıştır. Minimum hasta kalış süresine sahip olabilmek için hemşire sayısı 1 ve yatak sayısı 9 olması gerekmektedir. Hasta bekleme oranı ile lokasyon verimlilik oranı için hem hemşire hem de yatak sayısı 1 olarak belirlenmiştir. Ancak maksimum personel verimlilik oranına sahip olmak için hemşire/ATT sayısı 1 iken yatak sayısı 2 olarak tespit edilmiştir. Genellikle, farklı amaçlar için farklı sayıda sağlık kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak beş farklı amaç için ortak kısıt kullanılması gerektiğinden optimizasyon modellerinin tek bir model üzerinde oluşturulması gerekmektedir.

### 3.2. Deney Tasarımına Ait Sonuçlar

Deney tasarımı bu çalışmanın ikinci aşamasını oluşturmaktadır. Bu yöntemin kullanılmasındaki amaç girdi faktörlerin çıktı faktörler üzerinde istatistiksel olarak etkisini ölçmektir. Deney tasarımının en önemli üç prensibinden replikasyon metodu kullanılarak elde edilen sonuçlar arasında istatistiksel olarak rastgele sonuçların olduğu gösterilmiştir. Bu çalışmada 18 senaryonun her bir senaryosu için 5 kez replike edilerek her bir yanıt için 90 veri olmak üzere toplam 540 veri kullanılmıştır.

Bu çalışmada toplam 2 girdi ve 5 çıktı değişken bulunmaktadır. Bu değişkenlere ait ANOVA tablosu **Tablo 9**'da verilmiştir. Bu araştırmayı diğer çalışmalardan ayıran en önemli özelliklerinden biri ise karar değişkenlerin yalnız tekil olarak değil aynı zamanda etkileşimli olarak amaçlar üzerindeki etkisi ölçülmüştür.

**Tablo 9:** Karar Değişkenlerine ait ANOVA Verileri

Çıktı	Girdi	F-value	P-value	Statü
Tedavi edilen Hasta Sayısı	Hemşire/ATT	4.83	0.011	Önemli
	Yatak	7.19	0.000	Önemli
	Hemşire*Yatak	0.69	0.732	Önemsiz
Kalış Süresi	Hemşire/ATT	0.34	0.712	Önemsiz
	Yatak	157.11	0.000	Önemli
	Hemşire*Yatak	0.06	1.000	Önemsiz
Bekleme Süresi	Hemşire/ATT	7.60	0.000	Önemli
	Yatak	1.11	0.336	Önemsiz
	Hemşire*Yatak	0.10	1.000	Önemsiz
Personel Verimlilik Oranı	Hemşire/ATT	2.55	0.021	Önemli
	Yatak	4.69	0.012	Önemli
	Hemşire*Yatak	0.13	0.999	Önemsiz
	Hemşire/ATT	6.05	0.004	Önemli

Lokasyon Oranı	Verimlilik	Yatak Hemşire*Yatak	0.60	0.696	Önemsiz
			0.60	0.812	Önemsiz

Karar değişkenleri tek tek incelendiği zaman bazı amaçlar üzerinde etkili olurken bazı amaçlar üzerinde etkisinin çok az veya hiç olmadığı anlaşılmaktadır. Hemşire/ATT sayısının tedavi edilen hasta sayısında, bekleme süresinde, personel ve lokasyon verimliliği üzerinde etkili olmaktadır. Yatak sayısı ise kalış süresinde ve personel verimliliği üzerinde etkili olduğu analiz edilmiştir. Hem hemşire/ATT hem de yatak sayısının bir arada olduğu karar değişkeni hiçbir amaç üzerinde etkisi olmadığı veya çok az olduğu gözlemlenmiştir.

### 3.3.Optimizasyon Sonuçları

Bu çalışmada toplamda beş farklı amaç fonksiyonu tanımlanmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda geliştirilen optimizasyon modellerinin çalıştırılması ile optimum sonuçların elde edilmiştir. Optimizasyon sonuçları ile ilgili en önemli husus bütün amaçların bir arada olduğu çok amaçlı optimizasyon ilkesine göre elde edilmiştir. Yani, her bir optimizasyon modeli ayrı ayrı çalıştırılmamıştır. Bu sebeple beş amaç fonksiyonu için üç (aynı) kısıt kullanılmıştır. Bu kısıtlar karar değişkenlerin sahip olduğu maksimum ve minimum değerler ile negatif olmama şartlarıdır. **Tablo 10**'da optimizasyon modellerinde elde edilen istatistiksel sonuçlar verilmiştir.

**Tablo 10:** Optimizasyon Modellerine ait İstatistiksel Veriler

Amaçlar	Uygunluk	Uygunluk Standart Hatası	%95 Güven Aralığı	95% Tahmin Aralığı
Lokasyon	0.3420	0.0653	(0.212, 0.472)	(0.023, 0.661)
Personel	0.8140	0.0081	(0.798, 0.831)	(0.775, 0.854)
Bekleme Oranı	0.3780	0.1070	(0.165, 0.591)	(-0.15, 0.901)
Hasta Kalış Süresi	78.200	18.900	(40.6, 115.80)	(-13.9, 170.3)
Tedavi Edilen Hasta Sayısı	128.40	16.400	(95.8, 161.00)	(48.50, 208.3)

**Tablo 11** ve **Tablo 12**'de karar değişkenlerinin ayrı ayrı ele alındığında hesaplanan optimum değerleri göstermektedir. Bu sonuçlar elde edilirken bir karar değişkenin değerleri sabit tutulmuştur. Diğer karar değişken sayısı kadar senaryo oluşturularak optimum sonuçların elde edilmesi sağlanmıştır.

**Tablo 11:** Amaçlara göre Hemşire/ATT sayısı

Amaçlar	Sonuç	Karar Değişken Sayısı
Tedavi Edilen Hasta Sayısı	158	2.00
Kalış Süresi	49,5 dakika	2.00
Bekleme Süresi	0,28	1.00
Personel Verimliliği	0,81	1.00
Lokasyon Verimliliği	0,32	1.00

**Tablo 12:** Amaçlara göre Yatak sayısı

Amaçlar	Sonuç	Karar Değişken Sayısı
Tedavi Edilen Hasta Sayısı	159	4.00
Kalış Süresi	38 dakika	5.00
Bekleme Süresi	0,04	1.00
Personel Verimliliği	0,82	2.00
Lokasyon Verimliliği	0,29	2.00

**Tablo 13**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.'te elde edilen optimum değerlerin her iki karar değişkeni dikkate alınarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre bu acil serviste bir hemşire ve 3 yatak istihdam edilmesi gerekmektedir. Karar değişkenlere ait optimum değerler bu çalışma için dikkate alınan amaçların optimum değerlere ulaşmasını sağlamıştır. Ayrıca **Tablo 13**'te optimum karar değişken sayılarına göre maksimum ve minimum değerler verilmiştir. Bu tablodaki değerler ise amaç her bir replikasyon sonucunda acil servis birimi için belirlenen amaç fonksiyonlarının sahip olacağı optimum sonuçları vermektedir.

**Tablo 13:** Optimum Sonucuna veren Senaryoya ait Veriler

Replikasyon No	Hemşire Sayısı	Yatak Sayısı	Tedavi Edilen Hasta Sayısı	Kalış Süresi	Bekleme Oranı	Personel Verimlilik Oranı	Lokasyon Verimlilik Oranı
1.00	1.00	3.00	103	39.46*	0.62	0.79	0.17
2.00	1.00	3.00	162	112.79	0.20	0.83*	0.32
3.00	1.00	3.00	175*	137.5	0.17*	0.83*	0.30
4.00	1.00	3.00	142	44.41	0.71	0.82	0.25
5.00	1.00	3.00	60	56.76	0.19	0.80	0.67*
Maksimum Veriler			175.0	137,5	0,710	0,830	0,670
Minimum Veriler			60.00	39,46	0,200	0,790	0,170
Ortalama Veriler			128.4	78.184	0.378	0.814	0.342

\*Bu senaryo için gerçekleştirilen replikasyon verileri arasında en iyi değerlerdir.

Bu sonuçlara göre karar değişken sayıları hemşire/ATT için 1 ve yatak sayısı için 3 olarak optimum sonuçlar elde edilmiştir. Amaç fonksiyonları için optimum sonuçlar; günlük ortalama tedavi edilen hasta sayısı 128, bir hastanın acil servis biriminde geçirmesi gereken süre 78 dakika, bir hastanın bekleme oranı 0,37, acil servis personel kaynaklarına ait verimlilik oranı %81,40 ve son olarak lokasyon kaynaklarına ait verimlilik oranı %34,20 olarak hesaplanmıştır. Maksimum sonuçlara göre; günlük ortalama tedavi edilen hasta sayısı 175, bir hastanın acil servis biriminde geçirmesi gereken süre 137,5 dakika, bir hastanın bekleme oranı 0,71, acil servis personel kaynaklarına ait verimlilik oranı %83,30 ve son olarak lokasyon kaynaklarına ait verimlilik oranı %67,00 olarak hesaplanmıştır. Maksimum sonuçlara göre; günlük ortalama tedavi edilen hasta sayısı 60, bir hastanın acil servis biriminde geçirmesi gereken süre 39,46 dakika, bir hastanın bekleme oranı 0,20, acil servis personel kaynaklarına ait verimlilik oranı %79,00 ve son olarak lokasyon kaynaklarına ait verimlilik oranı %17,00 olarak hesaplanmıştır.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışma Yozgat Bozok Üniversitesi Araştırma ve Uygulama hastanesinin acil servis birim için gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada minimum seviyede sağlık kaynak istihdamı sağlanarak maksimum sonuçların edilebilmesi amaçlanmıştır. Günlük tedavi edilen hasta sayısının ortalama 101'den 125 yükseltilecek %23,76 artış sağlanmıştır. Bir hastanın acil servis biriminde geçirmesi gereken sürenin 39 dakikadan (101 hasta için) 78 dakikaya (102 hasta için) yükseldiği görülmüştür. Bu durumun başlıca nedeni karar değişkenlerinin diğer amaç fonksiyonları optimum değere sahip olabilmesi için bu amaç fonksiyonunun da en düşük seviyeye düşürülmesi olmasıdır. Bu durumun ikinci bir nedeni ise bu amaç için en önemli faktörün yatak sayısıdır. Yatak sayısı arttıkça hastanın hastanede bekleme süresi en aza inmektedir. Diğer amaçlar göz ardı edilerek sadece hastanın hastanede geçirdiği süre dikkate alınırsa bu süre 31,1 dakika olarak %20,25 fayda sağlanmıştır. Hastaların acil servis biriminde bekleme süresinin %79,20'ten %37'e düşürülerek ortalama 2,05 dakika bekleme süresi olarak hesaplanmıştır. Acil servis

biriminde istihdam edilen personellere ait verimlilik oranları %81'e yükseltilmiştir. Son olarak acil servis biriminde yer alan lokasyon kaynaklarına verimlilik oranları %34'e arttırılmıştır.

Sonuç olarak, bu çalışma ile sağlık sistemleri içerisinde yer alan kaynakların, geliştirilen deneysel simülasyon tasarım ve optimizasyon modelleri ile fayda görmesi istenilmiştir. Sağlık kaynaklarının optimum düzeyde istihdam edilmesi, tedavi edilen hasta sayısının arttırılması, hasta bekleme süresinin azaltılması, bir hastanın hastanede geçireceği sürenin azaltılması ve sağlık sisteminin merkezinde yer alan hastaların memnuniyeti arttırılması amaçları gerçekleştirilmiştir. Böylelikle çalışma, kullanılan yöntemler bakımından bilimsel çalışmalara ve yapılacak olan uygulamalarda sağlık kuruluşlarına yenilikler getirerek bilim/teknoloji kavramının somut bir yaklaşımı olacaktır.

**Finansal Destek:** Bu çalışma, Yozgat Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'nün 6602a-İİBF/20-430 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

## KAYNAKÇA

- Altıok, T., & Melamed, B. (2007). *Simulation Modeling and Analysis with Arena* (1st ed.). Academic Press.
- Antony, J. (2003). *Design of Experiments for Engineers and Scientists*. Elsevier.
- Atalan, A. (2014). Central Composite Design Optimization Using Computer Simulation Approach. *Flexsim Quarterly Publication*, 5–19. <https://www.flexsim.com/wp-content/uploads/2014/07/July2014.pdf>
- Atalan, A. (2018). Türkiye Sağlık Ekonomisi için İstatistiksel Çok Amaçlı Optimizasyon Modelinin Uygulanması. *İşletme Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 34–51. <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/414076>
- Atalan, A., & Donmez, C. (2019). Employment of Emergency Advanced Nurses of Turkey: A Discrete-Event Simulation Application. *Processes*, 7(1), 48. <https://doi.org/10.3390/pr7010048>
- Atalan, A., & Donmez, C. C. (2020). Developing Optimization Models to Evaluate Healthcare Systems. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 38(2), 853–873.
- Austin, A., & Wetle, V. (2016). *The United States Health Care System: Combining Business, Health, and Delivery* (3rd ed.). PRENTICE HALL.
- Clemente, J., Lázaro-Alquézar, A., & Montañés, A. (2019). US state health expenditure convergence: A revisited analysis. *Economic Modelling*, 83, 210–220. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2019.02.011>
- Daldoul, D., Nouaouri, I., Bouchriha, H., & Allaoui, H. (2018). A stochastic model to minimize patient waiting time in an emergency department. *Operations Research for Health Care*, 18, 16–25. <https://doi.org/10.1016/J.ORHC.2018.01.008>
- Dönmez, N. F. K., Atalan, A., & Dönmez, C. Ç. (2020). Desirability Optimization Models to Create the Global Healthcare Competitiveness Index. *Arabian Journal for Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04718-w>
- Eriksen, S., & Wiese, R. (2019). Policy induced increases in private healthcare financing provide short-term relief of total healthcare expenditure growth: Evidence from OECD countries. *European Journal of Political Economy*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejpoleco.2019.02.001>
- Fisher, R. A. (1971). *The Design of Experiment* (Reprinted). Hafner Publishing Company.
- Goienetxea Uriarte, A., Ruiz Zúñiga, E., Urenda Moris, M., & Ng, A. H. C. (2017). How can decision makers be supported in the improvement of an emergency department? A simulation, optimization and data mining approach. *Operations Research for Health Care*, 15, 102–122. <https://doi.org/10.1016/J.ORHC.2017.10.003>
- Joffres, M. R., Campbell, N. R. C., Manns, B., & Tu, K. (2007). Estimate of the benefits of a population-based reduction in dietary sodium additives on hypertension and its related health care costs in Canada. *Canadian Journal of Cardiology*, 23(6), 437–443. [https://doi.org/10.1016/S0828-282X\(07\)70780-8](https://doi.org/10.1016/S0828-282X(07)70780-8)
- Kelton, W. D. (2004). *Simulation with Arena* (4th ed.). Mass: WCB/McGraw-Hill.
- McGuire, M., & Iuga. (2014). Adherence and health care costs. *Risk Management and Healthcare Policy*, 35.

<https://doi.org/10.2147/RMHP.S19801>

- Mikolajczak, M., & Belleghem, S. Van. (2017). Increasing emotional intelligence to decrease healthcare expenditures: How profitable would it be? *Personality and Individual Differences*, 116(Supplement C), 343–347.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.paid.2017.05.014>
- Montgomery, D. C. (2012). *Design and Analysis of Experiments* (8th ed.). Wiley.
- Pellegrini, L. C., Rodriguez-Monguio, R., & Qian, J. (2014). The US healthcare workforce and the labor market effect on healthcare spending and health outcomes. *International Journal of Health Care Finance and Economics*.  
<https://doi.org/10.1007/s10754-014-9142-0>
- Schmid, V. (2012). Solving the dynamic ambulance relocation and dispatching problem using approximate dynamic programming. *European Journal of Operational Research*, 219(3), 611–621.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.10.043>
- Siciliani, L., Stanciole, A., & Jacobs, R. (2009). Do waiting times reduce hospital costs? *Journal of Health Economics*, 28, 771–780.
- Steiner, M. T. A., Datta, D., Neto, P. J. S., Scarpin, C. T., & Figueira, J. R. (2015). Multi-objective optimization in partitioning the healthcare system of Parana State in Brazil. *Omega*, 52(Supplement C), 53–64.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.10.005>
- Tsai, J. C.-H., Liang, Y.-W., & Pearson, W. S. (2010). Utilization of Emergency Department in Patients With Non-urgent Medical Problems: Patient Preference and Emergency Department Convenience. *Journal of the Formosan Medical Association*, 109(7), 533–542. [https://doi.org/10.1016/S0929-6646\(10\)60088-5](https://doi.org/10.1016/S0929-6646(10)60088-5)
- Türk Dil Kurumu. (2021). *Türk Dil Kurumu Sözlükleri*. TDK. <https://sozluk.gov.tr/>
- Van Barneveld, T., Jagtenberg, C., Bhulai, S., & Van der Mei, R. (2018). Real-time ambulance relocation: Assessing real-time redeployment strategies for ambulance relocation. *Socio-Economic Planning Sciences*, 62, 129–142.  
<https://doi.org/10.1016/j.seps.2017.11.001>
- Wang, T., Guinet, A., Belaidi, A., & Besombes, B. (2009). Modelling and simulation of emergency services with ARIS and Arena. case study: The emergency department of Saint Joseph and Saint Luc hospital. *Production Planning and Control*. <https://doi.org/10.1080/09537280902938605>