

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

**Kısıtlar Teorisi Yaklaşımı ile Acil Serviste Simülasyon
Uygulaması**

Şölen ZENGİN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs, 2025

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZ ONAYI

Kısıtlar Teorisi Yaklaşımı ile Acil Serviste Simülasyon
Uygulaması

Şölen ZENGİN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu Doktora Tezi 21/05/2025 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Değerlendirilmiş ve Oy Birliği / Oy Çokluğu ile Kabul Edilmiştir.

Jüri : Doç. Dr. Z. Figen ANTMEN (Danışman)
: Prof. Dr. Güzin YÜKSEL
: Doç. Dr. Melik KOYUNCU
: Doç. Dr. Esra KARAKAŞ
: Doç. Dr. Nuşin UNCU

Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.

Tez No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	VII
1. GİRİŞ	1
1.1. Problemin Tanımı	3
1.2. Çalışmanın Amacı.....	4
1.3. Çalışmanın Kapsamı	5
1.4. Çalışmanın Beklenen Özgün Katkısı	5
1.5. Çalışmanın Adımları ve Organizasyonu	6
1.5.1.Çalışmanın Adımları.....	6
1.5.2. Çalışmanın Organizasyonu	7
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	9
2.1. Kısıtlar Teorisi Önceki Çalışmalar	9
2.2. Sağlık Alanında Kısıtlar Teorisi Kullanılmış Önceki Çalışmalar.....	23
2.3. Acil Servis Simülasyon Önceki Çalışmalar	28
3. MATERYAL VE METOT	35
3.1. Materyal	35
3.1.1. Çalışmada Kullanılan Veriler.....	35
3.1.2. Çalışmada Kullanılan Paket Programlar	38
3.2. Metot	40
3.2.1. Veri Hazırlık Aşaması.....	41
3.2.2. Simülasyon.....	44
3.2.3. Kısıtlar Teorisi Kavramı	54
3.2.4. Optimizasyon	60
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	63
4.1. Acil Servis Süreç Analizi	63
4.2. Simülasyon Veri Hazırlığı	68
4.3. Dağılımların Belirlenmesi.....	70
4.4. Acil Servis Simülasyon Uygulaması.....	71
4.5. Model Geçerliliğinin Sağlanması.....	83
4.6. Model Optimizasyonu.....	88
4.6.1. Optimizasyon Sonuçları.....	92

4.6.2. Mevcut Model ve İyileştirilmiş Modelin Karşılaştırması	93
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	99
KAYNAKLAR	103
ÖZGEÇMİŞ	115
EKLER.....	117



Kısıtlar Teorisi Yaklaşımı ile Acil Serviste Simülasyon Uygulaması

Şölen ZENGİN

Danışman: Doç. Dr. Z. Figen ANTMEN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZ

Dünya genelinde artan nüfus ve küreselleşme ile birlikte sağlık hizmetlerinde sürekli iyileşme ve performans optimizasyonu kaçınılmaz hale gelmiştir. Özellikle sağlık sisteminde kritik bir öneme sahip olan acil servislerde hasta sayısı yoğunluğu ve kaynak kısıtı kaynaklı performans yönetimi önemli bir konu olarak ortaya çıkmaktadır. Acil servislere dünya genelinde ve ülkemizde başvuru sayısının artması, acil servislerde performans çalışmalarının giderek daha önemli bir hale gelmesine neden olmuştur. Acil servislerin 24 saat kesintisiz hizmet sunması, ücretsiz erişim imkanı sağlaması, doktorlara ulaşımın kolay olması ve aynı zamanda durumu acil olmayan hastaların da bu birimlere başvuruda bulunması, acil servislerin yüksek oranda tercih edilmesinin temel sebeplerini oluşturmaktadır. Bununla birlikte belirsiz hasta gelişleri, düzensiz iş yükü ve sınırlı sayıda kaynak sebepli acil servis iş akışı optimizasyonu oldukça karmaşık hale gelmiştir. Bu durum acil servislerde kalabalıklaşmaya, uzun süreli hasta kalışlarına ve çalışanlar arasında tükenmişliğe neden olmaktadır. Acil servislerdeki yoğun ve stresli ortam hastaya kaliteli hizmet vermek ve dolayısı ile hasta (müşteri) memnuniyeti ile doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada, kısıtlı kaynaklara sahip bir acil serviste kaynakların etkin bir şekilde optimize edilmesi yoluyla performans iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Mevcut acil servis sistem akışı Arena Simülasyon programı kullanılarak modellenmiştir. Hasta akışının sağlıklı bir şekilde yansıtılması için verilerin titizlikle ve doğrulukla toplanmasına önem verilmiştir. Geçmiş yıllara ait hasta geliş verileri Easy Fit programı yardımıyla analiz edilmiş ve gelen hastalar için istatistiksel dağılımlar belirlenmiştir. Sistemdeki diğer prosesler de eksiksiz tanımlandıktan sonra gerçek sistem ile Arena programında kurulan sistemin kıyaslaması yapılmıştır. Kurulan modelin güvenilirliğinin testi için Statistica istatistik programından yararlanılmıştır. Model geçerliliği sağlandıktan sonra sonuçlar değerlendirilmiş ve kaynak dar boğazları tespit edilmiştir. Darboğazları ortadan kaldırmak için Kısıtlar teorisi yaklaşımı kapsamında farklı senaryolar tasarlanmıştır. Belirlenen kısıtlar dahilinde Arena/Optquest platformunda geliştirilen matematiksel model ile optimizasyon yapılmıştır. Sonuç olarak hasta bekleme sürelerinin azaltılması hizmet sunumunun iyileştirilmesi ve performansı artışı sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Acil servis, Kısıtlar Teorisi, Simülasyon, Ayrık Olay Simülasyonu, Optimizasyon.

**Simulation Application in the Emergency Department with
the Theory of Constraints Approach**

Şölen ZENGİN

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Z. Figen ANTMEN

Department of Industrial Engineering

ABSTRACT

With the increasing population and globalization worldwide, continuous improvement and performance optimization in healthcare services have become inevitable. Especially in emergency services, which have a critical importance in the healthcare system, performance management due to patient density and resource constraints emerges as an important issue. The increase in the number of applications to emergency services worldwide and in our country has caused performance studies in emergency services to become increasingly important. The fact that emergency services provide uninterrupted service 24 hours a day, provide free access, easy access to doctors and also that patients with non-urgent conditions apply to these units constitute the main reasons for the high preference of emergency services. However, emergency service workflow optimization has become quite complicated due to uncertain patient arrivals, irregular workload and limited resources. This situation causes crowding in emergency services, long-term patient stays and burnout among employees. The intense and stressful environment in emergency services is directly related to providing quality service to patients and therefore patient (customer) satisfaction. In this study, it was aimed to improve performance by effectively optimizing resources in an emergency service with limited resources. The current emergency department system flow was modeled using the Arena Simulation program. In order to reflect the patient flow in a healthy way, it was important to collect the data meticulously and accurately. Patient arrival data from previous years were analyzed with the help of the Easy Fit program and statistical distributions were determined for the incoming patients. After the other processes in the system were completely defined, the real system was compared with the system established in the Arena program. Statistica statistical program was used to test the reliability of the established model. After the model validity was ensured, the results were evaluated and resource bottlenecks were determined. Different scenarios were designed within the scope of the Theory of Constraints approach to eliminate bottlenecks. Optimization was performed with the mathematical model developed on the Arena/Optquest platform within the determined constraints. As a result, patient waiting times were reduced, service delivery was improved and performance was increased.

Keywords: Emergency Department, Theory of Constraints, Discrete Event Simulation, Optimization, Simulation.

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitim hayatım süresince engin bilgi ve tecrübesiyle bana değer katan, hoşgörüsünü ve ilgisini hiçbir zaman esirgemeyen, her konuda bana rol model olan, öğrencisi olmaktan onur duyduğum çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Sayın Z. Figen ANTMEN' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tezimin hazırlanması süresince desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen, akademik bilgi birikimi ve bilimsel yaklaşımı ile beni her zaman yönlendiren çok değerli hocam Doç. Dr. Sayın Melik KOYUNCU' ya içten teşekkürlerimi sunarım.

Lisansüstü eğitim hayatım süresince her zaman yanımda olan, değerli görüşleri ve katkılarıyla beni destekleyen çok değerli hocam Doç. Dr. Sayın Pınar ÖZKURT' a içten teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemi sağlayan, elini hep omzumda hissettiğim, her zaman kalbimde yaşattığım canım babam Hakkı BÜYÜKİKİZ' e ve hayatımın her alanında olduğu gibi doktora sürecimde de gece gündüz demeden desteğini benden esirgemeyen, omzumuzdaki yükü bizimle paylaşan canım annem Tülay BÜYÜKİKİZ' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her noktasında beni destekleyen, iş hayatlarındaki başarılarıyla bana örnek olan sevgili ablam Hatice BÜYÜKİKİZ KÜTKÜT ve sevgili abim Abdullah BÜYÜKİKİZ' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak üniversite yıllarımdan beri hayatı paylaştığım, sevgisi ve desteğiyle bana güç veren sevgili eşim Okan ZENGİN' e ve hayatımıza kattığı neşe, umut ve sevgiyle her anımıza anlam katan, bir tanecik kızım Defne Polen ZENGİN' e içten teşekkürlerimi sunarım.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Kısıtlar teorisi ile ilgili incelenen çalışmalar ve çalışmaların özeti	13
Çizelge 2.2. Ulusal tez merkezinde kısıtlar teorisi yaklaşımını içeren endüstri mühendisliği bölümünde yayınlanmış tezler.....	16
Çizelge 2.3. Sağlık alanında kısıtlar teorisi kullanılmış çalışmalar	24
Çizelge 2.4. Acil servis simülasyon önceki çalışmalar.....	32
Çizelge 3.1. Kısıt türleri	56
Çizelge 4.1. Acil servis hasta grupları	67
Çizelge 4.2. Mevcut durum gelen hasta sayıları.....	69
Çizelge 4.3. Acil servis kaynaklar	70
Çizelge 4.4. Triyaj kategorilerine göre hasta sayısı karşılaştırması.....	83
Çizelge 4.5. Statistica sonuçları.....	85
Çizelge 4.6. Amaç fonksiyonu ve kaynak kısıtları	89
Çizelge 4.7. Karar değişkenleri için alt sınırlar, üst sınırlar ve maliyet katsayıları	90
Çizelge 4.8. Yatak sayısı alt ve üst sınırları.....	90
Çizelge 4.9. OptQuest optimal kaynak sayıları	92
Çizelge 4.10. Optimizasyon öncesi ve sonrası darboğazlardaki bekleme sürelerinin karşılaştırılması.....	93
Çizelge 4.11. Optimizasyon öncesi ve sonrası acil serviste toplam kalış süresinin karşılaştırılması.....	94
Çizelge 4.12. Hastalarının optimizasyon öncesi ve sonrası doktorla ilk temas için geçen sürelerin karşılaştırması	95
Çizelge 4.13. OptQuest senaryo analizi	95
Çizelge 4.14. Senaryolar	97
Çizelge 4.15. Vardiya senaryo analizi.....	98

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Metodoloji.....	40
Şekil 3.2. Metodoloji Uygulama Adımları.....	41
Şekil 3.3. Bir Simülasyon Modelinin Aşamaları	46
Şekil 3.4. Simülasyon Modellerinin Temel Amaçları.....	48
Şekil 3.5. Ayırık Olay Simülasyon Yapısı	51
Şekil 3.6. Kesikli Simülasyonunun Zamana göre Değişimi	51
Şekil 3.7. Sürekli Simülasyon Modelleri için Değişken Zaman Grafiği.....	52
Şekil 3.8. Geri ve Ahituv Tarafından Belirlenen Kısıtlar Teorisinin Adımları.....	55
Şekil 3.9. Kısıt Türleri (Büyükyılmaz ve Gürkan, 2009).....	56
Şekil 3.10. Breen ve Ark (2002), Tarafından Ele Alınan Sistem Özeti	57
Şekil 3.11. Dağılım Arama Metodolojisi	62
Şekil 4.1. Acil Servis Hasta Akış Şeması	64
Şekil 4.2. Detaylı Acil Servis Hasta Akış Şeması.....	64
Şekil 4.3. Türkiye Triage Kategorileri.....	65
Şekil 4.4. Çocuk Acil Servisi Süreç Akışı	66
Şekil 4.5. Acil Servis Gelen Hasta Sayısı Dağılımı	70
Şekil 4.6. Hasta Geliş Sayılarının Günlük Ortalamaları	71
Şekil 4.7. Arena Simülasyon Hasta Gelişi Dağılım Örnekleri.....	71
Şekil 4.8. Acil Servis İş Akış Diyagramı	73
Şekil 4.9. Arena Simülasyon 0-1 Saat Aralığında Gelen Hastaların Create Tanımı.....	75
Şekil 4.10. Arena Simülasyon TNOW Tanımı	75
Şekil 4.11. 0-1 Saat Aralığında Gelen Hastaların Seçimi	76
Şekil 4.12. Hasta Grupları Tanımı	76
Şekil 4.13. Hasta Grubu Ayrımı için Decide Modülü.....	77
Şekil 4.14. Hasta Öncelik Tanımı	77
Şekil 4.15. Grup 1 Hastalarının Sistemden Ayrılması için Tanımlanan Decide Modülü	78
Şekil 4.16. Arena Simülasyon Grup 1 Hastası Çıkış Zamanı TNOW Tanımı	78
Şekil 4.17. Grup 1 Hastaları için ReadWrite Modülü.....	79
Şekil 4.18. Yatak 1 Grubu için Seize Modülü Tanımı Örneği.....	80
Şekil 4.19. Decide Modülü Örneği	81
Şekil 4.20. Sistemden Çıkış Sağlayan Hastalar için Modelde Tanımlanmış Dispose Modülü.....	82
Şekil 4.21. Yatış Yapmayan Hasta Grupları için Gelen Hasta Sayısı Kıyaslaması	84
Şekil 4.22. Yatış Yapan Hasta Grupları için Gelen Hasta Sayısı Kıyaslaması	84
Şekil 4.23. Grup 7 için Sistemde Kalma Süresine Ait Histogram	86
Şekil 4.24. Grup 9 için Sistemde Kalma Süresi Karşılaştırması.....	86

Şekil 4.25. Grup 11 için Sistemde Kalma Süresine ait Histogram.....	87
Şekil 4.26. Grup 4 için Sistemde Kalış Sürelerine İlişkin Kutu Grafiği	87
Şekil 4.27. Grup 12 için Sistemde Kalış Sürelerine İlişkin Kutu Grafiği	88
Şekil 4.28. Optquest Model Kısıtları.....	91
Şekil 4.29. Optquest Model Kaynakları için Alt ve Üst Sınırlar.....	91
Şekil 4.30. Optquest Performans Ölçütleri	92
Şekil 4.31. Maliyet-Yatak Bekleme Süresi İlişkisi	96
Şekil 4.32. Maliyet Operasyon Bekleme Süresi İlişkisi.....	97



SİMGELER VE KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
CRT	: Mevcut Gerçeklik Ağacı (Current Reality Tree)
DISC	: Discrete (Ayrık) Dağılım
DMAIC	: Tanımla, Ölç, Analiz Et, İyileştir, Kontrol Et
DVRP	: Dinamik Araç Rotalama Problemi
KPI	: Anahtar Performans Göstergesi (Key Performance Indicator)
KZY	: Kritik Zincir Yöntemi
NORM	: Normal Dağılım
POIS	: Poisson Dağılımı
TZY	: Tedarik Zinciri Yönetimi
UNIF	: Uniform (Düzenli) Dağılım

1. GİRİŞ

Globalleşen dünyada ekonomik sınırların ortadan kalkması ile rekabet zorlaşarak küresel pazarlar ortaya çıkmaya başlamıştır. Teknolojik gelişmeler ise rekabetin artmasındaki en temel unsur olarak öne çıkmaktadır. Bu gelişmeler hem üretim sektörünü hem de hizmet sektörünü direkt etkilemiştir. Teknolojide yaşanan gelişmeler, üretim ve hizmet sağlayan şirketlerin ayakta kalmaları için gerekli olan maliyetleri çok hızlı etkilemiştir. Böylece geleneksel maliyet yöntemleri yetersiz hale gelmiştir. Günümüzde hem işletmelerin hem de hizmet kurumlarının geleneksel yöntemlerle karlılık hedeflerine ulaşmaları zorlaşmıştır. Bu nedenle şirketlerin ihtiyacını karşılayan ve hedeflerine ulaşmasını sağlayan maliyet yöntemleri, kısıtlar teorisi gibi yeni yöntemler geliştirilmiştir (Okutmuş ve ark., 2015).

Artan popülasyon ve küreselleşmenin etkisiyle sağlık hizmetleri, daha kısa zamanda daha kaliteli bakımı daha düşük maliyetle sunma baskısı altındadır. Hizmet sektöründe müşteriye verilen hizmetin kalitesi ve hızı müşterinin memnuniyetini sağlayacaktır. Ancak mevcut yönetim biçimleri kronik sağlık hizmeti problemlerine cevap vermemektedir. Bu sorunu çözmeye yönelik geleneksel çözümler genellikle daha fazla kapasiteye ihtiyaç duyan ve yatırım gerektiren çözümlerdir. Ancak ihtiyaç mevcut kaynakları kullanarak verimi arttırmak yönünde olmalıdır. (Han ve ark., 2007).

Bacelar-Silva ve ark (2022) tarafından yapılan literatür taramasında, kısıtlar teorisinin uygulandığı sağlık hizmetlerinde, kaliteli ve zamanında hizmet sunumunun iyileştirilmesinin hedeflendiği görülmüştür. İncelenen çalışmaların çoğunda kısıtlar teorisi değişiklikleri neredeyse anında sonuç vermiş ve uygulanması için çok az veya hiç ek maliyet gerektirmemiştir. Kanıtlar, Kısıtlar Teorisini kronik sağlık sorunu için umut verici bir çözüm olarak desteklemektedir.

Kısıtlar Teorisi, bir sistemin hedeflerine ulaşmasına engel olan problemlerin tespitini ve tespit edilen problemlerin ortadan kaldırılmasını amaçlar. Sistemin kısıtlarını belirleyerek bu kısıtları ortadan kaldırarak sistemi daha güçlü hale getirebilir. Kısıtların yok edilmesi ile sistemin darboğaz sorununun önüne geçilmiş olur. Uygulanan kısıtlar teorisi çözümleri, kısıtlardan kaynaklı beklentileri ve kapasite sorunlarını çözer. Bu sayede hastalara kaliteli ve zamanında hizmet sağlanır. Bu durum hizmet sektörüne müşteri memnuniyeti olarak yansır. Kısıtlar Teorisi sistemin bir bütün olarak, performansında sürekli iyileştirme elde etmek için parçaları senkronize etmenin bir yolu olarak birkaç "kaldıraç noktasına" odaklanan sistem yaklaşımına dayalı bir dizi bütünsel süreç ve kural sağlar (Tabish ve Syed 2015).

Dünya'da olduğu gibi Türkiye'de de acil servise başvuru sayısının artması ile acil servislerdeki hasta yoğunluğu büyük bir sorun haline gelmiştir. Acil sağlık servislerine durumu acil olan hastaların yanı sıra acil olmayanlar da başvuru yapmaktadır (Şimşek, 2018). Dolayısı ile acil servis yoğunluğu üst seviyelere ulaşmaktadır. Ülkemizde acil servislerin yüksek oranda tercih edilmesinin başlıca nedenleri arasında; hizmetlerin ücretsiz sunulması, 7/24 erişim imkânı sağlaması, yaşlı nüfusun acil servislere yönelme eğilimi ve polikliniklere kıyasla hekim erişiminin daha hızlı ve

kolay olması yer almaktadır. Bunlara ek olarak iş yükü değişkenliği, belirsiz, artan varış oranları ve kaynak kısıtlamaları arasındaki karmaşık etkileşimler, acil servislerdeki akışı iyileştirmeyi zorlaştırmaktadır. Bu karmaşıklık, kalabalık acil servislere, uzun hasta kalış sürelerine ve bakım sağlayıcılar arasında tükenmişliğe neden olur (Swan ve ark., 2019). Acil servislerdeki kalabalıklaşma hastaya zarar verme olasılığını artırır ve hasta memnuniyetini düşürür. Hastanın fiziksel ve duygusal acısını uzatabilir, klinik koşullarının kötüleşmesine neden olarak önlenabilir komplikasyonların gerçekleşmesine neden olabilir ve mortalite oranını arttırabilir. Bu durumun hem hastalar hem de personel için olumsuz sonuçlarını bildiren çalışmalar mevcuttur (Salway ve ark., 2017; Higginson, 2012).

Kalabalık acil servisler ayrıca iş memnuniyetini ve üretkenliği azaltır, personelde tükenmişliğe neden olur. Personel, acil servis kalabalıklaşması sırasında şiddete maruz kalma ve klinik yönergelerle bağlılığın azalması dahil olmak üzere artan stres seviyeleri yaşar (Morley ve ark., 2018). Sistem düzeyinde, kalabalık acil servisin ötesinde kalış süresini uzatır. Acil servislerdeki kalabalık ulusal bir kriz olarak kabul edilse de aslında acil servislerdeki hasta akışını iyileştirmek, yeniden tasarlanma gerektiren uluslararası bir olgudur (Wiler ve ark., 2011). Sağlık hizmetlerine ayrılan kaynakların sürekli artmasına rağmen, kapasite ve zaman yetersizlikleri dünya genelinde hâlen kronik sorunlar arasında yer almaktadır (Bacelar-Silva ve ark., 2022).

Uluslararası literatür, acil servisteki aşırı kalabalıklaşmayı azaltmanın ve akışı kolaylaştırmanın birkaç yolunu belirlemiştir (Ryan ve ark., 2013). Bu yöntemlerden bir tanesi de Kısıtlar Teorisi'dir. Acil Servis de dahil olmak üzere sağlık hizmetlerinde Kısıtlar Teorisi uygulamalarının sonuçları, bu kuruluşların genellikle büyük miktarda boşa harcanan koruyucu kapasiteye sahip olduğunu göstermiştir. Örnek olarak; Oxfordshire Radcliffe hastanesinde Kısıtlar Teorisi'ni uyguladıktan sonra acil serviste ekstra personel olmadan 4 saatten az zaman geçiren hastaların yüzdesi, 2 ayda %50 ile %60 arasında değişen bir ortalama %95'in üzerine çıkmıştır (Knight ve ark., 2004; Umble ve Umble, 2006). Kısıtlar Teorisi'ni uygulayarak mevcut kaynaklarla acil servislerin nasıl önemli ölçüde iyileştirileceğini başarıyla gösteren Knight Stratton ve Knight ve Sierraalta gibi araştırmacılar benzer sonuçlar almışlardır (Knight, 2013; Stratton ve Knight, 2010; Sierraalta-Arganguren, 2015).

Simülasyonun sağlık alanında sık tercih edilmesinin en önemli nedenleri arasında belirsizlikle başa çıkmaya uygun olması, darboğazların tespitinde, iş akışını iyileştirmede ve operasyonel verimliliği arttırmada kullanılması bulunmaktadır (Karadayı ve ark., 2019). Simülasyon, gerçek dünyadaki sistemleri modelleyerek sistemdeki değişikliklerin etkilerini daha net bir şekilde tanımlamaya yardımcı olan bir yöntemdir (López-López, 2017). Gerçek sistemlere müdahale etmeden mevcut sistemlerde kontrollü değişiklikler yapabilme yeteneği sayesinde giderek daha yaygın hale gelmiştir. Simülasyon ek olarak, yeni sistemlerdeki farklı koşulların performansa etkisini tahmin etmeye olanak tanır. Ayrık Olay Simülasyonu, karar vericilere karmaşık modeller oluşturma, devam eden faaliyetler üzerinde “what-if” senaryolarını hızlı bir şekilde test etme ve yeni stratejiler

benimsemek için farklı taktikleri keşfetme fırsatı sunmaktadır (Al Badi, 2019; Cubukcuoglu, 2020). Bu nedenle, bu çalışmada Ayrık Olay Simülasyonu kullanılmıştır. Arena OptQuest platformu, “what-if” senaryolarını test etmek amacıyla kullanılmış; bu kapsamda, hasta bekleme sürelerinin optimize edilmesi ve ideal kaynak tahsisinin sağlanması hedeflenmiştir.

Bu çalışmada hizmet sektörünün lokomotifini olan sağlık sisteminden Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı Çocuk Acil Servis bölümünde Kısıtlar Teorisi uygulaması yapılmıştır. Acil servise ait mevcut akış Arena Simülasyon programında modellenmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre sistem darboğazları tespit edilmiştir. Tespit edilen darboğazları yok etmek amacıyla Kısıtlar Teorisi kapsamında Arena/ OptQuest platformunda kaynak optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Böylece hasta bekleme süreleri ve dolayısıyla hastaların sistemde kalma süreleri azaltılmıştır. Geliştirilen simülasyon modeli ile acil servis hasta akışı iyileştirilmiş, performans artışı sağlanmış ve müşteri memnuniyetinde artış gözlemlenmiştir.

Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde problemin tanımı, çalışmanın amacı ve kapsamı, çalışmanın özgün katkısı ile çalışmanın adımları ve organizasyonu sunulmuştur. İkinci bölümde çalışmanın konusu ile ilgili kapsamlı bir literatür taraması yapılarak ele alınan çalışmanın literatürde dolduracağı boşluk belirtilmiştir. Üçüncü bölümde çalışmaya ait materyal ve metod açıklanmıştır. Materyal bölümünde çalışmada kullanılan veriler ve çalışmada kullanılan paket programlara yer verilmiştir. Metod bölümünde ise veri hazırlık aşaması, simülasyon ve Ayrık Olay Simülasyonu kavramları, Kısıtlar Teorisi yaklaşımı, optimizasyon kavramı ve Arena OptQuest platformu detaylıca açıklanmıştır. Dördüncü bölümde acil servis süreç analizi, simülasyon veri hazırlığı aşaması, istatistiksel analiz ve dağılımların belirlenmesi, acil servis simülasyon uygulaması, model geçerliliğinin sağlanması aşaması, alternatif senaryolar ile çıktı analizi sonuçları ve yapılan iyileştirmelere ait sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

1.1. Problemin Tanımı

Son yıllarda teknolojiye hızlı gelişmeler ve değişimler sağlık kurumlarında hizmet sunumunda bazı değişikliklere neden olmuştur. İçinde bulunduğumuz hızlı nüfus artışı ve küreselleşme bu gelişmeleri hızlandırmıştır. Bu nedenle tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de sağlık kuruluşlarının performansını arttırmak büyük önem kazanmıştır. Sağlık kuruluşları verdikleri hizmetin kalitesini ve verimini arttırmak için araya girmiştir. Acil servis, hastane birimleri arasında 7/24 hizmet veren tek birim olup en yoğun birimler arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Farklı uzmanlık alanı bilgisi gerektiren tüm başvuruların acil servise kabul edilmesi, doktora ulaşımın kolay olması ve ücretsiz olması acil servisi kritik bir birim haline getirmektedir. Acil servis, herhangi bir hasta ya da uzmanlık ayrımı yapmadan tüm hastaları kabul eden bir varış noktasından ziyade ara istasyon olarak görev yapmaktadır. Bu durum acil servise hasta yoğunluğunu arttıran en önemli sebeplerdendir. Hasta yoğunluğunun artmasına yatak sayısının yetersizliği, personel sayısının yetersizliği, ekipman sayısının yetersizliği gibi birçok sistem kısıtı sebep olmaktadır. Hasta

gelişlerindeki belirsizliğin de eklenmesiyle acil servisler, yönetimi çok zor kaynak kısıtlı bir problem haline gelmektedir. Bu nedenle acil servislerde çok iyi bir kaynak ve sistem yönetimi zorunlu hale gelmiştir.

Bu çalışmada, ülkemizde kritik bir sağlık hizmeti sunum alanı olan Çukurova Bölgesi'ndeki önemli sağlık kurumlarından birisi olan Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı'na bağlı, kapasite kısıtları ve yoğunluğu ile dikkat çeken Çocuk Acil Servisi'nde yaşanan operasyonel darboğazlar analiz edilmiştir. Arena simülasyon programında Kısıtlar Teorisi yaklaşımı dikkate alınarak Arena simülasyon modeli çıktılarına göre darboğazlar tespit edilmiştir. Tasarlanan yeni modellerle darboğazlar ortadan kaldırılmış ve sistemin performans problemi çözüme kavuşturulmuştur.

1.2. Çalışmanın Amacı

Acil servisler hizmet sistemleri içerisinde anahtar rol oynayan sağlık birimleridir. Her sistemde olduğu gibi acil servislerde de performans ölçümü ve performans artırma çalışmaları kritik öneme sahiptir. Bu çalışmanın amacı, Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı Çocuk Acil Servisinde Kısıtlar Teorisi, Arena Simülasyon ve Arena OptQuest platformlarından faydalanarak, tahmin edilemeyen hasta akışları ve kaynak kısıtlamaları ile dengesiz talebi optimize etmek ve sistemde performans artışı sağlamaktır. Çalışmanın amacı ve bu amaca ulaşmak için belirlenen hedefler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

Amaçlar;

- Acil servis kesikli olay simülasyon modelini kurmak,
- Simülasyon çıktılarına göre sistem kısıtlarını belirlemek,
- Belirlenen darboğazları ortadan kaldırmak,
- Yeni simülasyon tasarımları oluşturmak,
- Arena OptQuest yardımıyla optimizasyon sağlamak,

Ve son olarak Çukurova Üniversitesi Balcalı Hastanesi Çocuk Acil Servisi'nde sistem performansını arttırmaktır.

Bu amaca ulaşmak için hedefler;

- Yeni geliştirilen senaryolar ile sistem darboğazlarını ortadan kaldırmak,
- Hastaların bekleme süresini azaltmak,
- Hastaların sistemde kalma süresini azaltmak,
- Kaynak kullanım oranlarını (yatak kullanımı, doktor kullanımı) iyileştirmek,
- Hasta, hasta yakını ve çalışan memnuniyetinin artmasını sağlamak,

- Yerel halka memnuniyet anlamında fayda sağlamak,
- Bu alanda yapılacak yeni çalışmalara örnek olmaktır.

1.3. Çalışmanın Kapsamı

Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı'nda yoğunluğun çok olduğu, bölümler arası koordinasyonun sağlanamadığı ve kısıtlardan kaynaklı çeşitli problemlerin yaşandığı Çocuk Acil Bölümü ele alınmıştır. Kısıtlı kaynaklar, belirsiz hasta gelişleri ve acil servis karmaşıklığı nedeniyle acil servisler etkin yönetimin zor olduğu, hayati öneme sahip sağlık istasyonlarıdır.

Çalışma kapsamında;

1. Sistem kısıtları ve darboğazları,
2. Kısıtlar Teorisi yaklaşımı,
3. Kesikli Olay Simülasyonu,
4. Arena/OptQuest platformu,
5. İstatistiksel analizler,
6. Anahtar performans göstergeleri değerlendirilmiştir.

1.4. Çalışmanın Beklenen Özgün Katkısı

Tüm dünyanın içinde bulunduğu küreselleşme ve nüfus artışı hayatımızda sağlığı ve sağlık kuruluşlarını üst seviyeye taşımıştır. Sağlık kuruluşlarında performansı ve hizmet kalitesini arttırmak yönetim tarafından başta gelen amaçlardan olmuştur. Bu konunun önem arz etmesi nedeni ile ilgili çalışma yapılmış olup çalışmanın beklenen özgün katkıları aşağıda belirtilmiştir.

1. Literatürde Kısıtlar Teorisi kullanılarak yapılan çalışmaların çoğunluğunun üretim sektöründe yapıldığı dikkat çekmektedir. Ancak hizmet sektörünün temelini oluşturan sağlık sektöründe Kısıtlar Teorisi kullanılarak yapılan çalışma sayısının oldukça az olması literatürde bir açıklık olarak dikkat çekmektedir. Yapılan uygulamanın sağlık sektörüne katkısı olacağı düşünülmektedir.
2. Literatürde tespit edilen bir diğer açıklık ise Ulusal Tez merkezinde Endüstri Mühendisliği Bölümünde yayınlanmış Kısıtlar Teorisi çalışmaları üzerinedir. 2001-2024 yılları arası toplam 26 tez sunulmuş olup bunlardan sadece 2 tanesi doktora düzeyindedir. Çalışmanın kapsamlı tutulacak bir doktora çalışması olması diğer özgün katkı olarak öne çıkacaktır.
3. Ülkemizde Çocuk Sağlığı Acil bölümünde performans iyileştirme konusunda yakın dönemde yapılmış güncel çalışmanın az sayıda olduğu görülmüş ve Çukurova Üniversitesi Çocuk Acil bölümünde performansı artırmanın şehrimize olumlu

etkilerinin yansiyacağı ve ülkemizdeki diğer sağlık kuruluşlarına örnek olacağı düşünülmektedir.

4. Literatürdeki modeller incelendiğinde, genellikle 1 günlük, 1 aylık vb. verilere dayalı simülasyon modellerinin kurulduğu görülmüştür. Ancak, hastalar, mevsimsel ve çevresel koşullara göre acil servise farklı sayılarla ve yoğunluklarla gelmektedir. Bu nedenle, küçük veri setleri kullanan modeller, gerçeği doğru şekilde yansıtamayabilir ve sistem performansını gerçekten iyileştirmek için gerekli dinamizmden yoksun olabilir. Bölgedeki en büyük hastanenin Çocuk Acil bölümünden alınan 1 yıllık gerçek verinin kullanılması çalışmanın bir diğer özgün katkısıdır.
5. Bir yıl boyunca gelen hastalar 24 saatlik zaman dilimlerine ayrılmış ve Arena programında 24 farklı dağılıma dayalı olarak farklı Create (giriş) modülleri kurulmuştur. Bu yaklaşım, sistemdeki hasta geliş yoğunluğunun doğruluğunu artıracak ve sistem içinde oluşan kuyrukların hassasiyetini artıracaktır. İncelenen çalışmalarda genellikle 1 gün birkaç zaman dilimine ya da haftalık dağılımlara ayrılmaktadır. Çalışmanın saat diliminin detaylandırılması bir diğer güçlü ve özgün yönüdür.
6. Ayrıca, literatürde kurulan modellerde gelen hastalar genellikle farklı gruplara ayrılmamaktadır ya da yalnızca birkaç belirgin gruba kategorize edilmektedir. Ancak, gelen hastalar incelendiğinde, sistem içinde 0-10 dakika süreyle kalan, reçete için gelen, ayaktan tedavi edilen, yatış verilen, test yapılan (kan tahlili, görüntüleme veya her ikisi), sistemde uzun süre kalan ya da az kalan hastalar ve diğer birimlere sevk edilen hastalar gibi alt grupların olduğu belirlenmiştir. Sistemde geçirilen süre ve iş akışı yolları, hastaların sistemdeki kalış sürelerine göre hastaneye yatırılan ve yatırılmayan hastalar arasında farklılık göstermektedir. Bu çalışma, hastaları bu faktörlere göre 16 farklı alt gruba ayırmakta ve her hasta için buna karşılık gelen iş akışı yolunu ayrıntılı bir şekilde atamaktadır. Bu yaklaşım, simülasyonun gerçekçiliğini artırmakta ve sistem verimliliğinde daha yüksek performans iyileştirmeleri beklenmektedir.
7. Bu özel detaylar, çalışmayı literatüre kıyasla özgün ve farklı kılmaktadır. Ayrıca, sistem çalıştırıldıktan sonra bir istatistik programı olan Statistica kullanılarak kapsamlı istatistiksel değerlendirme yapılmıştır. Birçok kısıtlamaya sahip sistem için OptQuest kullanılarak bir optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Bu iki güçlü yöntem de çalışmanın özgünlüğüne katkı sağlamıştır.

1.5. Çalışmanın Adımları ve Organizasyonu

Çalışmada izlenen adımlar ve çalışmanın organizasyonu aşağıda sırasıyla verilmiştir.

1.5.1. Çalışmanın Adımları

Çalışmada takip edilen adımlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

Problemın Belirlenmesi: Bu çalışmada, Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi ocuk Acil Servisi'nin kaynak kısıtları ve operasyonel darboğazları incelenmiştir.

Çalışmanın amacının belirlenmesi: Bu adımda çalışmanın amaçları ve amaca giderken ulaşılması gereken hedefler belirlenmiştir.

Çalışmanın kapsamının belirlenmesi: Bu adımda çalışmanın kapsamı belirlenmiştir.

nceki alışmaların İncelenmesi: Bu adım, Kısıtlar Teorisinin çeşitli çalışmalar ve tezlerde nasıl kullanıldığı, sağlık alanında Kısıtlar Teorisi uygulamaları ve acil servislerde simülasyon tekniklerinin kullanıldığı çalışmalara dair geniş bir literatür incelemesini sunmaktadır.

Çalışmanın literatürdeki yerinin vurgulanması: Bu aşama, çalışmanın literatüre sağladığı katkılar ve mevcut literatürdeki eksiklikleri nasıl tamamladığı ile ilgili bir değerlendirme sunmaktadır.

Uygulamada Kullanılan Yöntemlerin Adımlarının Anlatılması: Bu adımda, problemın çözümünde kullanılmış olan Kısıtlar Teorisi yaklaşımı, Ayrık Olay Simülasyonu ve Arena/OptQuest platformu ve çalışmada kullanılan Statistica programı ile alakalı açıklama sunulmuştur.

Kullanılan Yöntemin zm: Kısıtlar Teorisi yaklaşımı ve Arena simülasyon programından yararlanılarak çözümünün gerçekleştirildiği adımdır. Simülasyon sonuçlarına göre sistem kısıtları belirlenmiştir. Tespit edilen kısıtlar dikkate alınarak, bir optimizasyon aracı olan OptQuest ile optimizasyon yapılmıştır.

- Mevcut sisteme ait simülasyon modelinin kurulması
- Sistem darboğazlarının belirlenmesi
- Amaç fonksiyonu ve kısıtların tanımlanarak matematik modelin geliştirilmesi
- Optimizasyon platformunun kullanılması
- Optimize modelin performansının değerlendirilmesi
- Uygulama nerilerinin sunulması

Gelecek çalışmalara ışık olacak uygulama stratejilerinin geliştirilmesi Sonuçların Analizi: Arena simülasyon ve Arena OptQuest ıktılarının yorumlandığı aşamadır. Sonuçlar bir istatistik programı olan Statistica ile incelenmiş ve yorumlar sunulmuştur. Sonuçlara ek olarak gelecekte yapılacak çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

1.5.2. Çalışmanın Organizasyonu

Çalışma; giriş, önceki çalışmalar, materyal ve metot, bulgular ve tartışma, sonuçlar ve öneriler olmak üzere 5 bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın ilk bölümünde ele alınacak problemın tanımı yapılarak, çalışmanın amacı, kapsamı, özgün katkısı, çalışmanın adımları ve organizasyonu net şekilde ifade edilmiştir. Çalışmanın 2. Bölümünde; retim ve hizmet alanında yapılmış Kısıtlar

Teorisinin kullanıldığı alışmalar, Kısıtlar Teorisinin kullanıldığı tezler, sağlık alanında Kısıtlar Teorisi alışmaları ve acil serviste simölasyon içeren önceki çalışmalara ait detay verilmiştir. Çalışmanın 3. Bölümde uygulamada kullanılmış olan Kısıtlar Teorisi metodolojisi hakkında bilgi verilmiş ve kısıt türleri ile 7 adımlı sürekli iyileştirme sürecine ait akış açıklanmıştır. Kısıtlar teorisine ek olarak çalışmada kullanılan Arena simölasyon, Arena OptQuest ve Statistica programı hakkında bilgiler sunulmuştur. Çalışmanın 4.bölümünde, Çukurova Üniversitesi Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı Çocuk Acil bölümüne ait gerçek verilerle uygulanan yöntemlerin adımları, bulgular ve tartışma kısmı sunulmuştur. Son bölüm olan 5. bölümde ise uygulamada elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlara ait yorumlar ve gelecek araştırmalar için öneriler sunulmuştur.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Çalışmanın bu bölümünde çalışmanın konusu ile alakalı genelden özele doğru bir literatür taraması verilmiştir. Kısıtlar Teorisi çalışmaları, sağlık alanında Kısıtlar Teorisi çalışmaları ve acil serviste simülasyon içeren önceki çalışmalara ait detaylar sırasıyla verilmiştir.

2.1. Kısıtlar Teorisi Önceki Çalışmalar

Kısıtlar Teorisi 1980'lerin başında Eliyahu Goldratt tarafından geliştirilmiştir. Birçok araştırmacı tarafından Kısıtlar Teorisi bir yönetim felsefesi olarak görülmektedir (Ünal ve ark., 2006). Kısıtlar Teorisi tam zamanında üretim ve toplam kalite yönetimi gibi çeşitli yaklaşımlara örnek olmuştur. İlk olarak üretim planlama amacıyla kullanılmıştır (Blackstone, 2001). Kısıtlar Teorisi yaklaşımı; imalat, tedarik zinciri, perakendecilik, hizmet, devlet, askeri, eğitim, performans yönetimi, pazarlama, satış vb. dahil olmak üzere birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Kısıtlar Teorisi'ne ilişkin farklı disiplinlerde gerçekleştirilen bazı çalışmalar şu şekildedir:

Kuo ve ark (2021), çalışmasında, Endüstri 4.0 ile üretimde rekabet edilebilirlik düzeyini artırarak teslimat zamanı iyileştirmeyi hedeflemiştir. Bu çalışmada üretime ait darboğazları tespit etmek ve ortadan kaldırmak amacıyla Kısıtlar Teorisi'nden faydalanılmıştır. Sonuçta verimlilik ve performans artışı sağlanmıştır.

Özke (2020), çalışmasında, metal işleme sektöründen bir işletmedeki darboğaz sorunu üzerinde durulmuştur. Yapılan uygulamada kaynakların kapasite kullanım oranları incelenerek darboğazlar tespit edilmiş ve optimal ürün karması belirlenmiştir. Sonuçta yeni bir algoritma önerilmiş ve mevcut durumla karşılaştırma yapılmıştır. Problem tam sayılı doğrusal programlama modeline dönüştürülmüş ve GAMS IDE programı ile çözüm uygulanmıştır. Sonuç olarak performansta iyileşme sağlanmıştır.

Ekleş (2020), ele aldığı çalışmada Kısıtlar Teorisi ve Altı Sigma yöntemlerini açıklamıştır. Bu iki yöntemin beraber kullanıldığı çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Uygulama kısmında bir enerji kablosu üretim tesisinde iki yöntem kullanılarak süreç iyileştirme çalışması yapılmıştır.

Demircioğlu ve ark (2020), ele aldıkları çalışmada işletme kârlılığının artırılmasında büyük yeri olan ürün karması üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada ürün karmasında çağdaş yöntemlerden Faaliyete Dayalı Maliyet Sistemi ve Kısıtlar Teorisi birlikte kullanılmıştır. Bu çerçevede bir üretim işletmesinde tanımlayıcı ve keşifsel olay çalışmaları olmak üzere iki tür olay çalışması yapılmıştır. Tanımlayıcı olay çalışması ile işletmenin mevcut üretim ve maliyet sistemi ortaya konulmuş, keşifsel olay çalışması ile de kısıtlar teorisi ve faaliyete dayalı maliyet sisteminin birlikte kullanılmasıyla belirlenecek ürün karmasının işletme kârlılığını ne ölçüde etkilediği ortaya konulmuştur. Tam sayılı programlamadan yararlanılarak yapılan analizlerde ve çözümlemelerde MATLAB ve WINQSB programları kullanılmıştır.

Khezripour ve ark (2020), ele aldıkları çalışmada bankacılık sektöründe yeni bir yöntem olan Kısıtlar Teorisini performans değerlendirmede kullanmışlardır. Kısıtlar Teorisi, stratejik yönetim muhasebesinde karar verme tekniklerinden biridir ve büyüme stratejisini firmaya sistematik bir yaklaşımla maliyet yönetimi stratejisine uygun olarak uygulanmıştır.

Antmen ve Erik (2019), ele aldıkları çalışmada bir üretim işletmesinde kısıtlar teorisi ve başabaş noktası analizi yöntemlerini uygulamışlardır. Kısıtlar Teorisinin beş adımlık algoritması yardımıyla işletmede bulunan yapılan düzenleme sonunda işletmenin var olan karlılığı yaklaşık 36 kat artmıştır. Yapılan maliyet analizi ile kapasite verimi hesaplanmıştır. Ele alınan problem optimizasyon modellemesi ile modellendikten sonra GAMS IDE programında çalıştırılmıştır.

Akçimen ve Antmen (2019), yaptıkları çalışmada Kısıtlar Teorisi Kullanılarak kapasite kısıtı üzerine bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen uygulamada, imalat işletmesinin kârlılığını artırmak amacıyla Kısıtlar Teorisi'nin kullanılmasıyla elde edilebilecek faydalar ayrıntılı bir şekilde ortaya konmuştur.

Erel (2019) yılında ele aldığı çalışmada, en zayıf halkayı bulmada kullanılan Kısıtlar Teorisini kullanmıştır. Çalışmada bir yazılım firması ele alınmış ve satış sonrası çıkan sorunları azaltmada kısıtlar teorisi uygulaması yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucu azalan sorunlarla beraber firma zaman ve maliyet kaybının önüne geçmiştir.

Demir (2019), çalışmasında sistemi bir bütün olarak ele alan ve sistemin içerisindeki tüm elemanların bir bütünlük içinde çalışması gerektiği felsefesi üzerine kurulan Kısıtlar teorisini ele almıştır. Yazar çalışmasında Tarım Kredi Kooperatiflerinin karşılaştıkları kısıtlar üzerinde durmuş ve bu kısıtları aşma üzerine çalışma yapmıştır.

Modi ve ark (2019), ele aldıkları çalışmada Kısıtlar teorisini kullanarak Hindistan'ın en büyük kilit üretim şirketinde performansta iyileştirme hedeflemişlerdir. Kısıtlar teorisi kullanılarak şirketin üretim, dağıtım, tedarik grubundaki tüm aşamalarında darboğazlar tespit edilmiştir ve iyileştirme yapılmıştır. Tedarik zinciri boyunca çeşitli düzeylerde bitmiş ürün, hammadde ve yarı mamül stoklarında önemli ölçüde azalma sağlanmıştır. Şirket sonraki altı yılda 3 kat büyümüştür.

Bhowmik ve ark (2018), ele aldıkları çalışmada, üretim sistemi performansının değerlendirilmesi için kısıtlar teorisi ile altı sigma metodolojisini birleştirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada bir üretim organizasyonunun ürün kalitesini arttırmak için entegre bir kısıtlar teorisi ve altı sigma metodolojisi önermişlerdir. İlk olarak üretim kısıtları belirlenmiş ve daha sonra, üretim sürecinin süreç yeterlilik analizi ile entegre bir Kısıtlar Teorisi ve altı sigma yürütme felsefesi uygulanmıştır. Sistemin yeniden yapılandırılması ile hatalı üretim oranları en aza indirilmiş ve ürün kalitesi artmıştır.

Onursal ve Birgün (2018), ele aldıkları çalışmada soğuk zincir lojistiği için lojistik ve teslimat faktörlerini araştırmışlardır. Lojistik sektöründeki kısıtları Kısıtlar Teorisi ile belirlemiş ve bu kısıtları aşmanın yolları araştırılmıştır. Bulunan çözüm önerileri ilgili kurum ve kuruluşlarda uygulanırsa, lojistik sektörünün tüm ülkede maliyetlerden tasarruf sağlaması beklenmektedir.

Musabeyli (2017), çalışmada tıbbi cihaz üreten bir firmada lojistik faaliyetlerini geliştirme ve artırma yönünde çözüm önerileri sunulmuştur. İşletme, Kısıtlar teorisi yaklaşımı yardımıyla analiz edilmiştir. Sistemin kısıtları belirlenerek bu kısıtları iyileştirme ve yok etme yolunda çözüm önerileri sunulmuştur.

Akman ve Özcan (2017), Kısıtlar teorisi felsefesi, uygulama alanı üretim akış yönetimi, pazarlama, hizmetler ve proje yönetiminden mantıksal sebep-sonuç analizine değişen birçok fonksiyonel işletme alanında uygulanmaktadır. Bu makalede 2005 yılı ve sonrasında Kısıtlar Teorisi konusunda Türkiye’de yapılan 31 makale incelenmiştir. Bu makalelerle ilgili çeşitli istatistikler elde edilmiş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Wolniak ve ark (2017), çalışmalarında maden endüstrisi için elektrikli ekipman üreten bir işletmenin üretim sürecinde Kısıtlar Teorisi yaklaşımını uygulayarak iyileştirmeyi hedeflemişlerdir. Şirketin boya atölyesi bölümünde, kısıtlardan kaynaklanan ciddi mali kayıplar tespit edilmiş ve verimsizlikler dikkat çekmiştir. Sistemin darboğazları belirlenirken süreç haritalama ve ERP süreçleri göz önünde bulundurulmuştur. Makalenin amacı üretim endüstrisinde Kısıtlar Teorisini kullanarak darboğaz analizi yapmaktır. Sonuç olarak tespit edilen kısıtlar ortadan kaldırılmış, süreçte iyileştirmeler yapılmıştır. Boya prosesi adımı sekiz aşamadan yedi aşamaya düşürülmüş, zaman kayıpları azaltılmıştır. Tüm bu iyileştirmeler Kısıtlar teorisinin odaklandığı 5 adım sayesinde gerçekleşmiştir.

Ayanoğlu ve Şakar (2015), bir kargo firması için talebin arttığı dönemlerde mevcut personel ve ekipman ile talebin karşılanmasını sağlayacak bir Kısıtlar teorisi çalışması gerçekleştirmişlerdir. Yoğun dönemlerde güçlük yaşayan firmalar için yol gösterici bir çalışma sunmuşlardır. Kısıtlar teorisinin beş adımından yararlanarak öncelikle kargo firmasının personel, ekipman, makine, araç gibi kısıtları belirlenmiş, ikinci olarak bu kısıtlar etkin bir şekilde yönetilmiş ve son olarak kısıtlar yok edilmiştir. Böylece kargo firması için yoğun dönemlerde talebi karşılamak için önünde bir engel kalmamıştır.

Okutmuş ve ark (2015), 2015 yılında ele alınan çalışmanın amacı, firmaların hedeflerine ulaşmalarını engelleyen kısıtları tanımlayarak kısıtların etkin yönetimini sağlamak ve böylece firmaların karlılığını arttırmaktır. Bu amaçla Akdeniz Bölgesinde faaliyet gösteren bir mobilya firmasında kısıtlar teorisi uygulaması yapılmıştır. Sonuç olarak firmada kapasite kısıtlarının olduğu ve bu kısıtların ortadan kaldırılmasıyla karlılığın %42 artacağı tespit edilmiştir.

Akman ve Karakoç (2005), bu çalışmada yazılım geliştirme sürecindeki darboğazların tespiti ve yok edilmesi, sürecin performansının artırılması konusunda örnek bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Kısıtlar teorisi yöntemlerinin yazılım geliştirme prosesinin performansını arttırmada nasıl kullanılabileceği sunulmuştur.

Zupancic ve ark (2017), çalışmada üretim planlamada Kanban ve Kısıtlar Teorisini birlikte kullanmışlardır. Kaynak verimliliği artmış ancak sonuçlar uzun işlem süreleri ve yüksek stok

gibi sorunları da beraberinde getirmiştir. Hem kanban hem kısıtlar teorisi yaklaşımına kıyasla sadece kısıtlar teorisi yaklaşımı ile daha verimli sonuçlar elde edilmiştir.

Hranický ve ark (2021), çalışmasında demiryolu personelinin çalışma koşullarını Kısıtlar Teorisi yaklaşımı ile değerlendirmiştir. Çalışmada Kısıtlar Teorisi yaklaşımı ile ulaşımda personelin en zayıf noktası yani zincirin en zayıf halkası tespit edilerek performans artışı sağlanması hedeflenmiştir. Belirlenen zayıf halkaları yok etme konusunda pratik ve teorik çözüm önerileri sunulmuştur.

Naor ve Coman, (2017) çalışmasında, vardiyalı çalışmanın olduğu ve yüksek personel devir hızına sahip bir çağrı merkezinde Kısıtlar Teorisi yaklaşımını kullanarak operasyon iyileştirmesini hedeflemiştir. Çalışmada çağrı personeli kapasitesinin bir darboğaz olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucu, kapasite darboğazını çözmek için geçici personel alınması yerine kalıcı ve iyi yan haklara sahip çalışanların istihdam edilmesi sonucuna varılmıştır. Böylece çağrı operasyonu iyileştirilecek ve müşteri memnuniyeti artışı sağlanacaktır. Çalışma Kısıtlar Teorisi yaklaşımının hizmet alanında müşteri memnuniyeti ile sonuçlanacağını bir göstergesidir.

Gundogar ve ark (2016), çalışmasında yatak üretim hattında verimliliği arttırmayı amaçlamaktadır. Çalışmada Kısıtlar Teorisi ve simülasyon tabanlı sezgisel bir yöntem kullanılarak darboğazları tespit etme ve giderme çalışması yapılmıştır. Çalışmada model Arena 13.5 ile kurulmuştur. Simülasyon sonuçlarına göre kapasitede %46'lık artış sağlanmış ve 2 adet ara stok desteği ile üretimin verimliliği %88,8 arttırılmıştır. Ara stokların kapitone kumaş ve yapıştırma istasyonlarına yerleştirilmesi önerilmiştir. Böylece üretim hattı daha verimli ve dengeli hale getirilmiştir.

Golmohammadi ve Mansouri (2015), çalışmasında Kısıtlar Teorisi yaklaşımını kullanarak ürün karması kararını ve ana üretim çizelgelemesini dinamik olarak gerçekleştirmiştir. Bu çalışma ile geleneksel çalışmaların eksikliği ve statikliği Kısıtlar Teorisi felsefesi kullanılarak giderilmeye çalışılmıştır. Çalışmada sezgisel bir algoritma geliştirilmiş ve Tam sayılı Doğrusal Programlama yapılmıştır. Yapılan simülasyonun sonuçları önerilen algoritma ile performansta önemli bir iyileşme kaydedilmiştir. Çalışmada gerçek hayatta karşılaşılan değişkenler de hesaba katılarak çalışmanın uygulanabilirliği arttırılmıştır.

Puche ve ark (2016), Yaşayabilir Sistem Modeli ve Kısıtlar Teorisi yaklaşımını bir arada kullanarak tedarik zinciri performans artışı hedeflenmiştir. Tedarik zincirinde iş birliğini arttırmak için Yaşayabilir Sistem kullanılmıştır. Süreç entegrasyonunu sağlamak amacıyla da Kısıtlar Teorisi yaklaşımından faydalanılmıştır. Çalışma sonucunda sistem performansında önemli ölçüde iyileşme potansiyeli görülmüştür.

Simatupang ve ark (2004), çalışmasında farklı firmaların iş birliği yaparken Kısıtlar Teorisi yaklaşımını da dikkate alarak ilerlemesinin tedarik zincirinin daha efektif yönetilmesine imkan tanıyacağını önemini vurgulamıştır. Çalışmada iş birliğine dayalı stok yenileme politikaları ve iş

birliğine dayalı performans metriklerinin belirlenmesinde Kısıtlar Teorisinin etkisi ön plana çıkarılmıştır.

Mijović ve Savković (2019), ele aldıkları çalışmada çevik tedarik zincirlerinde performans artışına odaklanmıştır. Çalışmada farklı performans değerlendirme yöntemlerinin kullanımı ve performans iyileştirmenin önemine dikkat çekilmiştir. Kısıtlar Teorisi yardımıyla çevik tedarik zincirlerinde performans değerlendirme ve artışı incelenmiştir. Kısıtlar Teorisinin beş temel adımı uygulanmış ve çevik tedarik zinciri performans artışında Kısıtlar Teorisinin kritik derecede önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

Zhao ve Hou (2021), çalışmasında turizm sektöründe tedarik zinciri yönetiminde Kısıtlar Teorisi yaklaşımını kullanarak etkilerini sunmuştur. Kısıtlar Teorisi performans ölçütleri ve drum-buffer-rope modelinin turizm sektöründe uygulama adımları tartışılmıştır. Sonuç olarak turizm sektöründe Kısıtlar Teorisi yaklaşımının performans üzerinde kayda değer olumlu etkilerinin olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak etkinliği arttırmak açısından Kısıtlar Teorisi ile birlikte anket çalışmalarının, nicel analizlerin, vaka çalışmalarının ve simülasyon modellerinin kullanılmasının önemi vurgulanmıştır.

Mendoza-Mendoza ve ark (2021), çalışmasında gıda sektöründe üretim planlamasının optimizasyonu konusunu ele almıştır. Kısıtlar Teorisi yaklaşımı temel alınarak bir matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen matematiksel model iki aşamalı hibrit bir yaklaşım olarak sunulmuştur. Amaç üretim miktarlarını optimize ederek üretim sırasını belirlemektir. Çalışmada Kısıtlar Teorisi ışığında karmaşık tam sayılı doğrusal modelleme uygulaması yapılmıştır. Sonuçta üretim miktarlarının optimize edildiği karlılığı arttıran çözüm önerileri sunulmuştur. Sisteme ait kısıtlar yönetilerek performans artışı sağlanmıştır.

İncelenen çalışmalara ait özet veriler Çizelge 2.1’de sunulmuştur. Çizelgede çalışmayı yapan yazar bilgisi, yayın yılı bilgisi, çalışmanın konusu, çalışmada ele alınan yöntem ve ilgili sektöre ait özet bilgi verilmiştir.

Çizelge 2.1. Kısıtlar teorisi ile ilgili incelenen çalışmalar ve çalışmaların özeti

Yazar	Yıl	Çalışma Konusu	Yöntem	Sektör
Mendoza-Mendoza ve ark	2021	Gıda endüstrisinde esnek hibrit akışlı bir işletmede kısıtlar teorisine dayalı üretim planlaması	Kısıtlar Teorisi	Gıda
Naor ve Coman	2017	Deniz aşırı duyarlılık: Kısıtlar teorisi müşteri hizmetlerini yeniliyor	Kısıtlar Teorisi	Telekomünikasyon
Zhao ve Hou	2021	Kısıtlamalar teorisi prensiplerinin turizm tedarik zinciri yönetimine uygulanması	Kısıtlar Teorisi	Turizm

(Çizelge 2.1'in devamı)

Puche ve ark	2016	Uygulanabilir sistem modeli ve kısıtlar teorisi aracılığıyla tedarik zinciri yönetimine sistemik yaklaşım	Yaşayabilir Sistem Modeli ve Kısıtlar Teoremi	Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY)
Zupancic ve ark	2017	Mevcut kaynaklarla görev yürütme süresinin azaltılması, yaklaşımların karşılaştırılması.	Kanban, Kısıtlar Teorisini	Üretim
Khezripour ve ark	2020	Bankalarda Sermaye Yeterlilik Oranı Değerlendirmesinin Kısıtlama Teorisi ile açıklanması	Kısıtlar Teorisi	Finans
Akman ve Özcan	2017	Türkiye'de Kısıtlar Teorisi ve Uygulamaları Konusunda Yapılan Çalışmalar: Literatür Taraması	Kısıtlar Teorisi	Literatür
Onursal ve Birgün	2018	Soğuk Zincir Zayıf Problemlerinin Çözümü İçin Kısıtlar Teorisi Düşünce Süreçleri Uygulanması.	Kısıtlar Teorisi	Lojistik ve taşımacılık
Şakar ve Ayanoglu	2015	Bir Kargo Firmasının Ek Taleplerinin Karşılama için Kısıtlar Kuramı Yaklaşımı Uygulanması	Kısıtlar Teorisi	Lojistik ve taşımacılık
Wolniak ve ark	2017	Sürekli Gelişim için Kısıtlar Teorisi'nin Uygulanması: Örnek Olay İncelemesi	Kısıtlar Teorisi	Maden Endüstrisi
Okutmuş ve ark	2015	Optimal Ürün Karması için kısıtlar teorisinin kullanımı: Mobilya sektöründe bir uygulama	Kısıtlar Teorisi	Mobilya
Musabeyli	2017	Kısıtlar Teorisi Mantık Düşünce Süreçlerinin Bir Tıbbi Cihaz Firmasına Uygulanması	Kısıtlar Teorisi	Sağlık
Demir	2019	Kısıtlar Teorisi ve Tarım Kredi Kooperatifinde Uygulama	Kısıtlar Teorisi	Tarım
Simatupang ve ark	2004	Kısıtlamalar teorisinin tedarik zinciri iş birliğine uygulanması	Kısıtlar Teorisi	TZY
Mijović ve Savković	2019	Kısıtlar teorisini kullanarak çevik tedarik zincirinin performansının ölçülmesi	Kısıtlar Teorisi	TZY
Hranický	2021	Demiryolu Personeli için Kısıtlar Teorisinin Uygulanması	Kısıtlar Teorisi	Ulaşım
Blackstone	2001	Kısıtlar Teorisi: Bir Durum Raporu	Kısıtlar Teorisi	Üretim

(Çizelge 2.1'in devamı)

Kuo ve ark	2021	Kısıtlar teorisine dayalı teslimat performansı iyileştirmesi	Kısıtlar Teorisi	Üretim
Özke	2020	Kısıtlar Teorisi Yaklaşımı ile Süreç Analizi ve Ürün Karması Optimizasyonu	Kısıtlar Teorisi, Doğrusal Programlama	Üretim
Ekleş	2020	Kısıtlar Teorisi ve Altı Sigma Entegrasyonu: Bir Üretim Tesisinde Süreç İyileştirme Uygulaması	Kısıtlar Teorisi ve Altı Sigma	Üretim
Demircioğlu ve ark	2020	Bir Üretim İşletmesinde Tam sayılı Programlama ile Ürün Karması Kararı: Faaliyete Dayalı Maliyet Sistemi ve Kısıtlar Teorisi Uygulaması	Ürün Karması, Tam sayılı Programlama, Maliyet Sistemi, Faaliyete Dayalı Maliyet Sistemi, Kısıtlar Teorisi	Üretim
Antmen ve Erik	2019	Kısıtlar Teorisi Kavramının Başa baş Analizi ile Birlikte Değerlendirilmesi ve Uygulaması	Kısıtlar Teorisi, Başa Baş Analizi, Optimizasyon	Üretim
Akçimen ve Antmen	2019	Kısıtlar Teorisinde Kapasite Kısıtı ve Bir Üretim İşletmesinde Uygulaması	Kısıtlar Teorisi	Üretim
Modi ve ark	2019	Devrim yaratan tedarik zinciri yönetimi kısıtlama teorisi yolu: bir vaka çalışması	Kısıtlar Teorisi	Üretim
Bhowmik ve ark	2018	Üretim Süreci için Altı Sigma ve Kısıtlar Teorisini Bütünleştirme: Bir Örnek Olay	Kısıtlar Teorisi ve 6 Sigma	Üretim
Tsou	2013	Dinamik stok hedef seviyesi yönetimine dayalı tedarik zinciri iş birliği: Kısıtlar teorisi perspektifi	Kısıtlar Teorisi	Üretim
Golmohammadi ve Mansouri	2015	Kısıtlar teorisi altında ürün karması kararlarında karmaşıklık ve iş yükü hususları	Kısıtlar Teorisi	Üretim
Gundogar ve ark	2016	Kısıtlar Teorisi kullanılarak yatak üretim hattında dinamik darboğazların ortadan kaldırılması	Kısıtlar Teorisi ve simülasyon tabanlı sezgisel bir yöntem	Üretim
Erel	2019	Kısıtlar Teorisi Yaklaşımının Yazılım Geliştirme Sürecine Etkisi	Kısıtlar Teorisi	Yazılım
Akman ve Karakoç	2005	Yazılım Geliştirme Prosesinde Kısıtlar Teorisinin Düşünce Süreçlerinin Kullanılması	Kısıtlar Teorisi	Yazılım

Çizelge 2.1’de Kısıtlar Teorisi konusu kapsamında incelenen çalışmalara ait literatür özeti sunulmuştur. Çizelgede çalışmalar yazar, yıl, konu, yöntem ve sektör bazında sınıflandırılmıştır. Çalışmaların genellikle 2015-2021 yılları arasında yoğunlaştığı ve en fazla araştırma alanı olarak üretim sektörünün ön plana çıktığı görülmektedir. Üretim haricinde yazılım, gıda, finans, turizm, sağlık, TZY, lojistik ve taşımacılık ve madencilik gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. Kısıtlar Teorisi, üretim sektöründe darboğazların belirlenmesi, TZY’de performansın iyileştirilmesi, lojistikte verimlilik yönetimi ve finansal karar alma süreçlerinde etkin olarak kullanılmaktadır. Kısıtlar Teorisi yaklaşımı tek yöntem olarak tercih edilmekle beraber bazı çalışmalarda Altı Sigma, Doğrusal Programlama, simülasyon, Kanban ve Başa Baş Analizi gibi yöntemlerle birlikte de kullanılmaktadır. Çizelgeden de görüldüğü üzere Kısıtlar Teorisi geniş bir sektör yelpazesinde kullanılmaktadır. Farklı yöntemlerle entegrasyonu analizin etkinliğini arttırmaktadır.

Yukarıdaki çalışmalara ek olarak; Ulusal Tez merkezinde yayınlanmış Kısıtlar Teorisi yaklaşımını içeren Endüstri Mühendisliği Bölümünde yayınlanan tezler aşağıda özetlenmiştir. 2001-2024 yılları arası toplam 26 tez sunulmuş olup bunlardan sadece 2 tanesi doktora düzeyindedir. Çalışma alanları incelendiğinde tezlerin çoğunluğun üretim sektöründe yapıldığı dikkat çekmektedir. Genelde çözüm aşamasında tek yöntem kullanılmış olup farklı yöntemlerin ve çözüm uygulamalarının bir arada kullanıldığı az çalışmaya rastlanmıştır.

Ulusal Tez merkezinde Kısıtlar Teorisi yaklaşımını içeren Endüstri Mühendisliği Bölümünde yayınlanmış tezler Çizelge 2.2’ de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Ulusal tez merkezinde kısıtlar teorisi yaklaşımını içeren endüstri mühendisliği bölümünde yayınlanmış tezler

Yazar	Yıl	Tez Adı	Tez Türü	Alan
Demiray Kırmızı	2024	Tedarik zincirinde envanter yönetimi politikası ve satış tahmin performansının etkilerinin incelenmesi	Doktora	TZY
Özke	2020	Kısıtlar teorisi yaklaşımı ile süreç analizi ve ürün karmaşı optimizasyonu	Yüksek Lisans	Üretim
Nergis	2018	Analitik ağ süreci ve kısıtlar teorisi düşünce süreçlerini kullanarak iş kazalarının önlenmesi: Tersane uygulaması	Yüksek Lisans	Üretim
Mızrak	2017	Bir kalıp imalat fabrikasında teslim sürecinde kısıtlar teorisi uygulaması	Yüksek Lisans	Üretim
Özkan Beylihan	2017	Kısıtlar teorisi esaslı proje yönetimi yaklaşımının otomotiv yan sanayiinde uygulaması	Yüksek Lisans	Otomotiv
Çolak	2013	Kısıtlar teorisi düşünme süreçleri yaklaşımı ile ağaç endüstrisinde lojistik süreçlerinin iyileştirilmesi	Yüksek Lisans	Lojistik

(Çizelge 2.2'nin devamı)

Yaşa	2013	Kumaş etiket basma sürecinde yalın teknikler ve kısıtlar teorisinin uygulanabilirliği	Yüksek Lisans	Üretim
Derindere	2013	Çevik yazılım geliştirmeyi etkileyen proje ve süreç yönetim metotları	Yüksek Lisans	Proje Yönetimi
Elmas	2012	Ürün karmasının belirlenmesi için analitik ve sezgisel yöntemlerin bütünleştirilmesine dayalı bir karar destek sisteminin geliştirilmesi	Yüksek Lisans	Üretim
Akan	2012	Tedarik zincirinde kalite yönetimi ve altı sigma uygulaması	Yüksek Lisans	Tedarik Zinciri Yönetimi
Aydınöz	2011	Gıda sektöründe kısıtlar teorisi ile lojistik uygulamaların incelenmesi	Yüksek Lisans	Gıda
Kaplan	2010	Kısıtlar teorisi altında ürün karması optimizasyonu	Yüksek Lisans	Ürün Karması
Gaga	2009	Süreç analizi ve süreç iyileştirme metodolojisi ve kısıtlar teorisi yöntemiyle süreç analizi uygulaması	Yüksek Lisans	Süreç Yönetimi
Şahin	2008	Kısıtlar teorisi ve bir üretim firmasında uygulanması	Yüksek Lisans	Üretim
Arslan	2008	Kısıtlar teorisi ve bir deneme çalışması	Yüksek Lisans	Üretim
Özge	2008	Müşteri odaklı bakım onarım faaliyetleri performansının dinamik tamirci rotalama problemi ile modellemesi ve optimizasyonu	Doktora	Araç Rotalama
İşçigil	2008	Kısıtlar teorisi yaklaşımı ile proje çizelgeleme ve kıymetli metal ve mücevher sektöründe bir uygulama	Yüksek Lisans	Üretim
Ural	2007	Yerel alan ağların internet bağlantılarında güvenliğin sağlanmasında kısıtlar teorisinin düşünce süreçlerinin kullanılması	Yüksek Lisans	Güvenlik
Gürses	2007	Kısıtlar teorisi ve proje yönetiminde bir uygulama	Yüksek Lisans	Proje Yönetimi
Tekin	2006	Kısıtlar teorisi ve proje yönetimine uygulanması	Yüksek Lisans	Proje Yönetimi
Kartal	2006	Kısıtlar teorisi ile senkronize üretim sistemi ve bir uygulama	Yüksek Lisans	Üretim
Çolak	2004	Kısıtlar teorisi (optimizasyon)	Yüksek Lisans	Üretim

(Çizelge 2.2'nin devamı)

Mertoğlu	2003	Üretimde kalite iyileştirme faaliyetlerinin önceliklerinin belirlenmesinde bütünleşik KFG yaklaşımı	Yüksek Lisans	Üretim
Tezcan	2001	Kısıtlar teorisi yaklaşımı ile darboğaz kaynak yönetimi	Yüksek Lisans	Üretim
Karşılıklı	2001	Üretimde kalite iyileştirme faaliyetlerinin önceliklerinin belirlenmesinde değiştirilmiş kısıtlar teorisi yaklaşımı	Yüksek Lisans	Üretim
Sarıoğlu	2001	Sipariş tipi üretim sistemlerinde değişken darboğazların çizelgelenmesi için yeni bir yaklaşım	Yüksek Lisans	Üretim

Bu çalışmaların kısa özeti aşağıda verilmiştir.

Demiray Kırmızı (2024), kimya sektöründe faaliyet gösteren bir şirketin stok kontrol süreçlerini ele almıştır. Endüstride sık kullanılan stok kontrol modellerinden stok-gün yaklaşımı ve Kısıtlar Teorisi yaklaşımının ayrı ayrı ABC-XYZ analizi ile entegre kullanımı karşılaştırılmıştır. Uygulanan yöntemler sonucu finansal analiz yapılmıştır. Belirlenen en uygun stok miktarlarına göre optimum üretim miktarları tespit edilmiştir. Sonuç olarak Kısıtlar Teorisi, ikmal modeli ve servis seviyesi yaklaşımı; stok maliyetleri ile ürün bulunabilirliği arasında en iyi dengeyi sağlayan yöntemler olarak görülmüştür.

Özke (2020), çalışmada, işletmelerin sürekli gelişen teknoloji ile beraber uluslararası pazarda tutunabilmesi için üretim süreçlerini etkin yönetmenin gerekliliğini vurgulamıştır. Ancak işletmelerin üretim sisteminde bulunan kaynak kısıtları kaynaklı yönetim zorlaşmaktadır. Çalışmanın amacı ele alınan üretim sistemindeki kısıtları ortadan kaldırıp, üretim sürecindeki beklemleri en aza indirmektir. Bu çalışmada metal işleme sektöründe kısıtlar teorisinin beş adımlı sürekli iyileştirme süreci gerçekleştirilerek optimum ürün karması belirlenmiştir. Problem için tam sayılı doğrusal programlama ile model kurularak GAMS IDE programı yardımı ile çözüme ulaşılmıştır. Önerilen yeni algoritma mevcut durumla karşılaştırılmış ve yapılan iyileştirmeler gözlemlenmiştir.

Nergis (2018), yaptığı çalışmada analitik ağ süreci ve Kısıtlar Teorisi entegrasyonu ile gemi inşa sektöründe iş sağlığı güvenliği konusunu analiz etmiştir. Amaç diğer sektörlerde göre ölümlü kaza oranının 3,5 kat fazla olduğu Gemi inşa sektöründe kazaların sebebini tespit etmek ve bu sebeplerin ortadan kaldırılması için Kısıtlar Teorisi Düşünce süreçlerini uygulamaktır. Kısıtlar Teorisi yaklaşımı ışığında kaza sebeplerine ait kök neden analizi için Mevcut Gerçeklik Ağacı (CRT) oluşturulmuştur. CRT uygulaması sonucu işletmede kazalara sebep olan başlıca risklerin; çalışanların riskleri önemsememesi, çalışanların alışkanlıkları ve güvensiz çalışma yöntemleri olduğu sonucuna varılmıştır.

Mızrak (2017), çalışmasında bir kalıp imalat sektörü işletmesinde teslimat sürecinde yaşanan aksaklıkları ele almıştır. Amaç, kısıtları belirleyip yok etmek ve süreçte iyileşme kaydetmektir. Çalışmada Kısıtlar Teorisi süreç adımları uygulanmıştır. Çalışmada ilk adım olarak şimdiki gerçeklik ağacı uygulaması ile sorunlar tespit edilmiştir. Bu uygulamaya ek olarak buharlaşan bulut uygulaması, ön koşullar ağacı uygulaması ve geçiş ağacı uygulaması da çözüme ulaşmak için sırasıyla uygulanmıştır. Çalışmada kısıtlar teorisi uygulaması ile işletmenin kalıp teslimatı sürecinde yaşadığı aksaklıklar belirlenmiştir. Sonuç olarak, kısıtlar teorisi uygulaması ile kalıp işletmesinde teslimat sürecinin performansı artırılmıştır.

Özkan Beylihan, (2017), bir otomotiv yedek parça firmasında yürütülen projeyi ele almıştır. Projede süre ve kaynak kısıtı sebepli problemler bulunmaktadır. Bu sorunu aşabilmek için son yıllarda sık kullanılan Kritik Zincir Yöntemi (KZY)'nden yararlanılmıştır. KZY, kısıtlar teorisinin proje yönetimindeki uygulamasıdır. Amaç, projede kritik zincir üzerinde belirlenen görevlerin zamanında yerine getirilmesidir. Önerilen kritik yol izlendiği takdirde proje tamamlanma süresinde %20- 25 düzeyinde iyileştirme sağlandığı görülmüştür.

Çolak 2013, kısıtlar teorisini ağaç endüstrisinde lojistik süreçleri iyileştirmek amacıyla kullanmıştır. Her sistemde en az bir kısıtın olduğu görüşünü savunan kısıtlar teorisi yaklaşımı ile lojistik süreçlerinin kısıtları tespit edilip ortadan kaldırılması sağlanmıştır. Kısıtlar teorisinin kısıt yok etmede etkin bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Yaşa (2013), kumaş etiket basma sürecinde yalın teknikler ve kısıtlar teorisinin birlikte uygulanabilirliği üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışma kapsamında değer akış haritalama tekniği ile kumaş etiketi basma sürecinin israfları belirlenmiştir. Buna ek olarak sürecin verimliliğini bozan en zayıf halka kısıtlar teorisi yaklaşımı ile belirlenmiştir. Çalışma sonucunda performansı artırıcı çözüm önerileri sunulmuştur.

Derindere (2013), çevik yazılım geliştirme projelerinde karşılaşılan engellerin tespiti ve çözümünde karmaşık uyarlanabilir sistemler, yalın teknikler, kanban ve kısıtlar teorisi birlikte kullanılmıştır. Bu metotların yazılım geliştirme projelerine değişik koşullarda ve nasıl uygulanabilecekleri analiz edilmiştir.

Elmas (2012), bir tekstil şirketinde ürün karması problemini ele almıştır. Bu bağlamda, en uygun ürün karmasını oluşturmak için kısıtlar teorisi yardımıyla AHP yöntemini uygulamıştır. Ürün portföyü stratejilerinin oluşturulması sürecinde karar vericilere yardımcı olması amacıyla GE/McKinsey matrisi üzerine kurulu bir karar destek sistemi tasarlanmıştır. Sunulan yeni ürün karması çözüm önerisinin sonuçları değerlendirilmiştir ve ürün karması belirlemede yeni stratejiler ortaya konmuştur.

Akan (2012), çalışmasında lojistik sektöründe bir firmada malzeme ambarı SAP uygulamalarının iyileştirilmesini ele almıştır. Çalışmada TZY kavramları detaylıca açıklanmış ve kalite teknikleri kapsamında Toplam Kalite Yönetimi, Deming Yaklaşımı, Kaizen, Yalın Yaklaşım, Süreç Yönetimi, Kıyaslama (Benchmarking), Balık Kılçığı, EFQM Mükemmellik Modeli, Malcolm

Baldrige Modeli, Kısıtlar Teorisi ve Altı Sigma yöntemleri incelenmiştir. Çalışmada Altı Sigma uygulaması yapılmış ve TZY'ne iyileştirme önerisi sunulmuştur.

Aydınöz (2011), çalışmasında gıda sektöründen bir firmanın lojistik uygulamaları Kısıtlar Teorisi ile analiz edilmiştir. Çalışmada temel amaç, lojistik yönetim sisteminin performansını olumsuz yönde etkileyen kısıtların tespit edilip, kısıtlar teorisi yaklaşımı ile bu kısıtların ortadan kaldırılmasıdır. Kısıtların ortadan kaldırılması lojistik performansını arttıracaktır. İyileştirmeler sonucunda zaman, mesafe ve maliyet tasarrufları sağlanmış ve dağıtım planlamalarında daha fazla alternatif oluşturulmuştur. Sonuçta sunulan öneriler, farklı işletmelerin başka süreçleri için de stratejik yaklaşımlar geliştirilmesine katkı sağlamıştır.

Kaplan (2010), ele aldığı çalışmada kimya sektöründen bir firmada kar maksimizasyonu amaçlı en uygun ürün karmasının belirlenmesi konusunu ele almıştır. Çalışmada geleneksel kısıtlar teorisinin çoklu darboğaz içeren sistemlerdeki etkinliği incelenmiştir. Çalışmada tam sayılı doğrusal model ile geleneksel ve geliştirilmiş algoritmalar kurulmuştur. Çalışmada uygulama yapılan işletmenin kaynak ve talep kısıtları üzerinde durulmuştur. Yapılacak farklı çalışmalarda yönetimsel kısıtlar, pazar kısıtları, makine kısıtları, işgücü kısıtları gibi pek çok kısıtın da dikkate alınabileceği önerisi sunulmuştur.

Gaga (2009), ele aldığı çalışmada sistem belgelendirme sürecinde sistem performansını arttırmak için Kısıtlar Teorisi ve Bulanık AHP yöntemlerini uygulamıştır. Belirlenen firmada sürecin performansını olumsuz etkileyen alanlar Bulanık AHP ile belirlenmiştir. Kısıtlar Teorisi yaklaşımı ile de belirlenen zayıf halkaların nasıl yok edileceğine dair planlama yapılmıştır. Çalışmada süreç, süreç analizi ve süreç iyileştirme yöntemleri bir diğer odak noktasıdır. Çalışma sonucunda firmanın başarısını engelleyen en zayıf halkalar belirlenmiş ve bunlar ortadan kaldırılarak firmanın rekabet gücünde atılım yaptıracak öneriler sunulmuştur. Böylece müşteri memnuniyeti artacak ve firma prestij kazanacaktır.

Şahin (2008), çalışmasında kısıtlar teorisi yönetim ilkelerinin üretim tesislerinde performans artırımı konusunda etkinliğinin testini gerçekleştirmiştir. İplik üretimi yapan bir tekstil fabrikasında kısıtlar teorisi yaklaşımı ile sistemin en zayıf halkası belirlenmiştir. Üretim çıktısı olarak envanter ve işletme giderleri performans ölçümünde kullanılmıştır. Kısıtlar teorisi yaklaşımına dayalı maliyet muhasebesi ile yapılan ürün karmasının günlük karda %8-15 arası artış sağladığı gözlemlenmiştir. Sonuçlar, tekstil gibi benzer üretim koşullarına sahip farklı sektörlerde de Kısıtlar Teorisi yaklaşımının uygulanabilirliğine ve stratejik karar alma süreçlerine sunabileceği katkılara örnek teşkil etmektedir.

Arslan (2008), çalışmasında makas üretiminin olduğu bir işletmede kısıtlar teorisi yaklaşımını uygulamıştır. Sisteme ait kapasite kısıtı dikkate alınarak en uygun ürün karması belirlenmiştir. Tespit edilen kısıtlar yöneticiler ya da çalışanlar tarafından oluşturulmaktadır. Sonuç olarak işletme verimliliğini arttıracak yeni öneriler sunulmuş ve üst yönetim tarafından benimsenmiştir.

Özgen (2008), çalışmasında bilişim firmalarının faaliyetlerini ele almıştır. Operasyonel problemlerin çözümü için analizi amaçlı Kısıtlar Teorisi'nin Düşünen Süreçler yöntemi uygulanmıştır. Yapılan analiz sonucu taşıma faaliyetlerinin maliyeti, optimizasyonu ve araç rotalama konusuna dikkat çekilmiştir. Dinamik araç rotalama problemi (DVRP) detaylı olarak ele alınmış ve Genetik algoritma yaklaşım önerisi sunulmuştur. Çalışmada hem Kısıtlar Teorisi Düşünen Süreçler ile sistematik problem analizi yapılması hem de DVRP çözümüne yönelik sezgisel modellerin kullanılması çalışmayı çok yönlü ve zengin hale getirmiştir.

İşçigil (2008), çalışmasında kıymetli metal ve mücevher sektöründe bir kısıtlar teorisi uygulaması yapmıştır. Kuyumculuk sektöründe modanın, günlük alışkanlıkların ya da mevsimsel farklılıkların çok hızlı değiştiği bir sektör olması nedeniyle ürün hayat döngüsünün kısa çevrimlere sahip olması pazarda önemli bir avantaj sağlayacaktır. Çalışmada ürün geliştirme proje aşamasında iyileştirmeler yapılması hedeflenmektedir. Uygulama sonucunda proje yönetiminde zaman tasarrufu sağlanmış, işçilik, ekipman, makine gibi unsurların maliyetinde azalma görülmüştür. Yeni ürünlerin pazara sunulma zamanlarında ortalama %22'lik artış sağlanmıştır.

Gürses (2007), çalışmasında rekabetçi bir sektörde bulunan dayanıklı tüketim firmasının araştırma geliştirme departmanında bir ürün geliştirme projesini ele almıştır. Projeye ait mevcut kritik yol MS Project Programı ile çıkarılmıştır. Kısıtlar teorisinin en çok kullanıldığı alanlardan biri olan proje yönetimi alanında kritik zincir proje yönetimi yaklaşımı benimsenmiştir. Sonuç olarak kritik zincir yaklaşımı ile planlanan bir projenin organizasyona kazandırdığı zaman tasarrufu ve kaynak kullanımının etkinliği ön plana çıkmıştır. Kısıtlar teorisinin bu alandaki başarısı vurgulanmıştır.

Ural (2007), ele aldığı çalışmada bir şirket yerel alan ağının internet bağlantısında güvenliğin sağlanması amacıyla kısıtlar teorisi yaklaşımının nasıl kullanılacağını göstermiştir. Çalışmada sisteme ait dar boğazların belirlenmesi, ortadan kaldırılması ve sonuçta performans artışının sağlanması hedeflenmiştir. Çalışma, imalat sistemlerinde olduğu kadar hizmet sistemlerinde de kısıtlar teorisinin başarısı ve uygulanabilirliğine dikkat çekmiştir. Kısıtlar teorisinin yalnızca fiziksel üretim yapan işletmelerde değil sigortacılık, bankacılık, turizm, bilişim gibi hizmet sektörlerinde de yöneticilere çözüm aracı olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Tekin (2006), çalışmasında kritik yol yaklaşımına göre projelendirilmiş ve yapılmış olan açılır tavam projesinin kritik zincir temel prensiplerine dayandırılarak tekrar projelendirilmesi ele alınmıştır. Kısıtlar teorisi kritik zincir proje planına göre kaynak çakışmaları ortadan kaldırılmış, kaynaklardan kaynaklanabilecek proje gecikme riski en aza indirilmiştir. Alternatif plan ile orijinal plan arasındaki zaman, maliyet ve kaynak anlamında karşılaştırılma yapılmıştır. Projenin zaman olarak 2 ay öne çekilmesi pazara erken girişi sağlamıştır. Rakiplere göre kazanılan bu atiklik satış rakamlarını da yukarı çekmiştir. Sonuç olarak kısıtlar teorisinin proje yönetimindeki başarısı vurgulanmıştır.

Kartal (2006), çalışmasında bir buzdolabı üretim fabrikasında bulunan plastik atölyede karşılaşılan işletme içi stok fazlalığı problemi ele alınmıştır. Problemin çözümü aşamasında kısıtlar teorisinin işletmedeki dar boğazları ortadan kaldırma ve kaynakların birbiriyle senkronize olarak çalışmasına dayalı çizelgeleme yaklaşımı kullanılmıştır. Kısıtlar teorisinin dallarından olan lojistik bölümünde trampet tampon kordon (TKK) kızlar geleme sistemleri ve senkronize üretim mantığı kullanılmıştır. Önerilen çizelgelerin uygulanabilirliği benzetim yoluyla analiz edilmiştir. Sonuç olarak bir üretim işletmesi olan buzdolabı plastik atölyesinden kısıtlar teorisi uygulamasının yarı mamül stoklarını azaltabildiği, çevrim sürelerini kısalttığı ve sonuç olarak tam zamanlı sipariş üretimlerini desteklediği görülmüştür.

Çolak (2004), çalışmasında bütün üretim ortamlarında en az bir kısıtın olduğunu varsayan kısıtlar teorisi yaklaşımını kullanmıştır. Bir üretim sisteminde darboğazları belirleme, kısıtları ortadan kaldırma ve kar maksimizasyonu konusu ele alınmıştır. Çalışmada kısıtlar teorisi uygulamasına ek olarak genetik algoritma kullanılmıştır. Algoritma kontrolü amaçlı permütasyon akış tipi üretim ortamında Taillard Veri dizileri kullanılmıştır. Sistemde bulunan zaman kısıtına bağlı kalarak maksimum kâr elde etme problemi çözülmüştür. Sonuç olarak, kısıtlar teorisi ile genetik algoritma entegrasyonunun, daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Mertoğlu (2003), çalışmasında, üretimde kalite iyileştirme faaliyetlerinin önceliklendirilmesi aşamasında kalite fonksiyon göçerimi, kısıtlar teorisi, istatistiksel proses kontrol ve hata türü ve etkileri analizi metotlarından faydalanmıştır. Çalışma kapsamında önerilen yöntemin imalat ortamına uyarlanabilirliği ortaya konulmuştur.

Tezcan (2001), çalışmasında kısıtlar teorisi yaklaşımı ile darboğaz kaynak yönetimi konusunu ele almıştır. Kısıtlar teorisinin lojistik yaklaşımında darboğaz kaynakların tespiti ve diğer tüm kaynakları daha etkin kılma amacına hizmet etmesi gücünden yararlanılmıştır. İmalat ortamında darboğaz makinenin etkinleştirilmesinin bir yolu da makinenin önüne bir zaman tamponu konularak bağımlı olayların ve istatistiksel dalgalanmaların etkisinin azaltılmasıdır. Zaman tamponu darboğaz makinenin malzeme bulamamaktan kaynaklı boş kalmasını engelleyen bir envanter birikim yöntemidir. Bu çalışmada kısıtlar teorisi ile zaman tamponunun büyüklüğünün belirlenmesi amaçlanmıştır. Sonuçta en uygun tampon büyüklüğü tespit edilerek sistemde performans artışı sağlanmıştır.

Karşılıklı (2001), üretim ortamında iyileştirme faaliyetlerine odaklanmıştır. Kısıtlar teorisinin iyileştirme süreçlerinde kullanıldığına dair örneklerden yola çıkarak iyileştirme faaliyetlerinin kısıtlar teorisi ile yönetilmesi kararı alınmıştır. Elde edilen sonuçlar kapsamında kısıtlar teorisi yaklaşımının sistem performansını ve kalite faaliyetlerini nasıl etkilediği analiz edilmiştir.

Sarioğlu (2001), çalışmasında özellikle farklı sipariş tipleri için çalışan ve değişkenliklere maruz kalan üretim ortamlarında ortaya çıkan değişken darboğaz çözümü için dinamik bir çizelgeleme ve kontrol yaklaşımı geliştirmiştir. Üretim ortamında ortaya çıkması beklenen darboğaz

kaynakların kısıtlarla yönetim mantığına dayanarak üretim ortamının çizelgelenmesi amaçlanmıştır. Algoritma değişik sezgisel çizelgeleme kuralları ve simülasyon deneyleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Simülasyon deneyleri için büyük ölçekli bir tekstil işletmesinin verileri ile modelleme yapılmıştır. Mevcut duruma ek olarak farklı geliş oranları ve termin zamanları için de analizler gerçekleştirilmiştir.

Türkiye’de lisansüstü seviyede Kısıtlar Teorisi yaklaşımını içeren Endüstri Mühendisliği alanında yapılan çalışmaların tamamı incelendiğinde; çalışmaların ilk yıllarda proje yönetimi konusuna odaklandığı görülmüştür. 2001-2010 yılları arasında daha çok üretim planlama, stok yönetimi ve ürün karması optimizasyonu gibi temel operasyonel alanlarda uygulanmış ve genelde tek çözüm yöntemi uygulanmıştır. 2010–2015 yılları arasında yapılan tezlere bakıldığında Kısıtlar Teorisi uygulamalarında lojistik, kalite yönetimi, yazılım geliştirme gibi farklı yan süreçlerin de yer aldığı görülmüştür. Bu nedenle çalışmaların kapsamı bu yıllarda artmıştır diyebiliriz. Ayrıca çalışmalar yalnızca üretim odaklı iyileştirmeyi değil tüm süreci kapsamaya başlamıştır. Sistemlerde bütüncül bir iyileştirme çabası ön plana çıkmıştır. 2016–2020 yılları arasında yapılan tezlerde dikkat çeken gelişmelerden biri, Kısıtlar Teorisi’nin farklı analitik yöntemlerle entegre kullanılması ve uygulama alanlarının genişlemesidir. Kısıtlar Teorisi ile birlikte farklı karar destek sistemleri, çok kriterli karar verme yöntemleri, kök neden analizleri, benzetim gibi yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. Son yıllarda, Kısıtlar Teorisi yaklaşımının stok yönetimi gibi klasik uygulama alanlarına daha stratejik bir bakışla entegre edildiğinin örneği mevcuttur. Demiray Kırmızı (2024) tarafından yapılan çalışmada, stok yönetiminde ABC-XYZ analizi ile entegre bir Kısıtlar Teorisi yaklaşımı uygulaması yapılması, sisteme bütüncül yaklaşarak yeni stratejilerin geliştirilmesi bu konudaki gelişimin bir kanıtıdır. Çalışmalar Türkiye’de endüstri mühendisliği alanında Kısıtlar Teorisi yaklaşımının gelişimini göstermektedir. Ancak günümüz teknolojik şartlarında makine öğrenmesi, yapay zeka, simülasyon gibi çok disiplinli yaklaşımlarla Kısıtlar Teorisi yaklaşımının entegrasyonu konusunda önemli bir araştırma potansiyeli bulunmaktadır.

2.2. Sağlık Alanında Kısıtlar Teorisi Kullanılmış Önceki Çalışmalar

Mabin ve Mirzaei (2015), 2.000’den fazla makaleden oluşan kapsamlı bir çalışma ve çeşitli Kısıtlar Teorisi konularını içeren konferansları sunmaktadır. Hastanelerde, uzman doktorlarda ve diğer sağlık alanlarında uygulanmış oldukça başarılı sağlık çözümleri mevcuttur. Kısıtlar Teorisi’ nin hastanelerde kullanımı otuz yılı aşkın bir süre önce Alex Knight’ın danışmanlık çalışmasıyla başlamıştır (Cox III, 2021). Daha sonra Knight, bir hastaneyi birkaç ay içinde yetersiz sağlık hizmetinden mükemmel sağlık hizmetine taşıma yolculuğunu anlatan “Gurur ve Sevinç” adlı bir roman yazmıştır (Knight, 2014). Roman, 30’den fazla başarılı Kısıtlar Teorisi hastane uygulamasına dayanmaktadır. Knight’ın Kısıtlar Teorisi uygulamaları acil servisler, değerlendirme birimleri, akut, toplum ve ruh sağlığı hastaneleri, ayakta tedavi gören hastalar, ameliyathaneler, evde/toplumda bakım ve tüm sağlık ve sosyal bakım sistemi genelinde lojistik alanlarını kapsamaktadır. Bu

bölümde, literatürde yer alan sağlık alanında Kısıtlar Teorisi'nin uygulandığı çalışmalardan örnekler Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3. Sağlık alanında kısıtlar teorisi kullanılmış çalışmalar

Yazarlar	Yıl	Çalışma Konusu
Cox III ve Boyd	2021	Randevu çizelgeleme sisteminde kısıtlar teorisi
Grida ve Zeid	2019	Bir sağlık sisteminde sistem dinamiğine dayalı kısıtlar teorisi uygulaması
Bauer ve ark	2019	Halk sağlığı hizmetlerine uygulanan kısıtlar teorisi düşünme süreci
De Souza ve ark	2016	Hastane yatağı yönetimi: kısıtlar teorisi perspektifinden bir analiz
Yükçü ve Yüksel	2015	Hastane işletmelerinde kısıtlar teorisi yaklaşımı ve örnek bir uygulama
Tabish ve Syed	2015	Geleceği güvence altına almak: kısıtlar teorisini uygulayarak sağlık hizmetlerinde sürekli iyileştirmeye yönelik sistem yaklaşımı
Ryan ve ark	2013	Yalın düşünme, kısıtlar teorisi ve acil serviste darboğazları belirleme
Sierraalta-Arganguren	2015	Acil serviste hasta bakım akışının dönüşümü
Strear ve Sirias	2020	Acil serviste hasta merkezli bakım akışının dönüşümü
Tiwari ve Sandberg	2016	Kısıtlar teorisi rehberliğinde perioperatif yatak kapasitesi planlaması
Bacelar-Silva ve ark	2022	Kısıtlar Teorisi kullanılarak sağlık hizmetlerinin yönetilmesinin sonuçları: Sistematik bir inceleme
Bisogno ve ark	2017	Planlı ve plansız hasta akışlarına uygulanan kısıtlar teorisi: Süreç performansını iyileştiriyor mu?
Lowalekar ve Ravi	2017	Kısıtlar Teorisi düşünce sürecini kullanarak kan bankası envanter yönetimi yönetimini oluşturma: Bir Hindistan vaka çalışması
Groop ve ark	2017	Evde bakımı iyileştirme: Katılım ve tasarım yoluyla bilgi yaratma
Ahmed	2019	Sağlık hizmetlerinde kalite iyileştirmeye yönelik Yalın Altı Sigma'nın DMAIC yaklaşımı ve kısıtlamalar teorisinin entegrasyonu

Cox III ve Boyd (2020), sağlık sisteminde randevu çizelgelemede kısıtlar teorisinden faydalanmıştır. Belirlenen kısıtlar; randevuların hastanın isteğinden geç verilmesi, randevusuz gelen hasta oranının yüksek olması, hastanın bekleme süresinin uzun olması, randevusuna zamanında gelmeyen hasta oranının yüksek olması, bekleme odasının yoğunluğunun yüksek olması, hizmet sağlayıcıların bazı durumlarda hizmet sunmaya gecikmesi, hizmet sağlayıcıların bazı durumlarda hizmet esnasında kesintiye uğraması (farklı bölüme destek personel olarak gitmesi, telefon görüşmeleri, evrak işleri, konfor arası), hastaların bazen randevu sırası yerine varış veya ihtiyaç sırasına göre hizmet alması, bazı hastalar için 2. konsültasyon ihtiyacı (testler, röntgenler vs.) şeklindedir.

Grida ve Zeid (2019), ele aldıkları çalışmada sınırlı kaynaklar kullanarak farklı hasta tiplerine hizmet veren orta ölçekli bir hastanenin simülasyon modelini kurmuştur. Simülasyon için Anylogic' ten faydalanılmıştır. Hastanenin kaynak kısıtları arasında ameliyathaneler, doktorlar, yataklar gibi maliyetli kısıtlar bulunmaktadır. Bu kısıtlı kaynakların dengesiz kullanımı kaynaklı hastalar uzun bekleme sürelerine maruz kalmaktadır. Çalışmanın amacı sistem darboğazlarını tespit ederek performans artışı sağlamaktır. Çalışma sonucunda hizmet verilen hasta sayısı herhangi bir kaynak artışı olmadan %6 oranında arttırılmıştır. Çalışmada Kısıtlar Teorisi felsefesi kullanılarak geliştirilen sistem dinamiği modelinde performans artışı sağlanmıştır.

Bauer ve ark (2019), çalışmasında Güney Brezilya' da bir hastanenin acil servisinde Kısıtlar Teorisi yaklaşımına dayalı bir vaka analizi gerçekleştirmiştir. Bu vaka analizinde acil servis süreçleri incelenerek mevcut sorunlara ait kök nedenler analiz edilmiştir. Araştırmada organizasyonel süreçlerdeki kayıpları ortadan kaldırmak için önceliklendirme çalışması yapılmıştır. Amaç sağlık sisteminde hizmet kalitesini iyileştirmektir. Çalışma sonucunda tespit edilen temel sorunlar; hasta tedavisindeki gecikmeler, motivasyonu düşük sağlık çalışanları, hasta önceliklendirmesinin yapılmaması, dengesiz iş dağılımı, çalışanların eğitim yetersizliği kaynaklı bilgi eksiklikleri, kariyer planı eksikliği ve hastaların aciliyet derecelendirme sisteminin bulunmaması sayılabilir. Acil servis ekipman tedariki için sınırlı bütçenin olması dışsal bir kısıt olarak dikkat çekmektedir. Çalışma sonucunda hasta önceliklendirme sisteminin geliştirilmesi, uzman konsültasyonları için randevu önceliklendirme mekanizmasının oluşturulması, hastaların doğru sağlık merkezine yönlendirilmesi için bilgilendirme planlarının uygulanması öneri olarak sunulmuştur.

De Souza (2016), çalışmasında hastane yönetiminde Kısıtlar Teorisi yaklaşımı perspektifinden yatak sayısı kısıtı ile alakalı iyileştirme uygulaması yapmıştır. Kısıtlar Teorisi yaklaşımı ile hastane kısıtlarını haritalamayı ve kısıtların etkilerini en aza indirmeyi amaçlamıştır. Brezilya'da bir hastane için iyileştirme çalışması ele alınmıştır. Çalışma sonucunda bu çalışmanın hastanenin başka bölümlerinde uygulanması gerekliliğinden ve bir analiz geleneği oluşturmanın öneminden bahsedilmiştir.

Yükçü ve Yüksel (2015), çalışmasında Kısıtlar Teorisinin hastane sistemlerinde uygulanabilirliğini göstermeyi amaçlamıştır. Kısıtlar Teorisi ile hastanenin yönetsel süreçlerinde ortaya çıkan yönetsel kısıtların tespit edilerek ortadan kaldırılmasına odaklanmıştır. Hastanelerin insan sağlığı açısından büyük bir öneme sahip olması, burada ortaya çıkabilecek süreç eksikliklerinin giderilmesini önemli bir konu haline getirmektedir. Çalışma sonuçları değerlendirildiğinde kısıtlar teorisi ile hastanelerde sağlık hizmet kalitesinin arttırılabileceği sonucuna varılmıştır.

Tabish ve Syed (2015), çalışmasında sağlık sisteminde Kısıtlar Teorisinin nasıl uygulandığını ve kuruluşun karlılığının geleneksel yöntemlerin dışında çok farklı bir yaklaşımla nasıl yönetilebileceğini göstermiştir. Kısıtlar Teorisi ileriye doğru bir yol, bakımın kaliteli ve zamanında olması ve finansal performansta benzeri görülmemiş atılımlar sağlayan bir metodoloji sunar. Tüm sistemlerde olduğu gibi müşteri gereksinimlerini rakipten daha iyi karşılayarak karlılığı optimize

etmek amaçlanır. Çalışma sonucunda Kısıtlar Teorisinin doktorların, hemşirelerin ve sağlık yöneticilerin benimseyebileceği bir metodoloji olduğu kanıtlanmaktadır. Kısıtlar Teorisini sağlık sisteminde uyguladıktan sonra elde edilebilecek gerçek faydaları belirlemek için daha fazla araştırma çalışması yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Ryan ve ark (2013), çalışmasında acil servisteki darboğazları belirlemeyi amaçlamıştır. Bu darboğazlar, yalın düşünce değer akışı haritası ve kısıtlar teorisinin beş odaklanma adımı referans alınarak değerlendirilmiştir. Toplam 435 acil servis hastası bir hafta boyunca takip edilmiştir. Hastaların sistemde kalma süresini önemli ölçüde geciktiren aşamalar incelenmiştir. Radyoloji için bekleme süresi, yatan hasta ekibini bekleme süresi, yatak bekleme süresi ve acil servis doktoru dönüş süresinin uzun olduğu tespit edilmiştir. Yalın düşünce değer akışı haritası sonuçları incelendiğinde bu çalışmada tanımlanan darboğazlarla değer katmayan aşamaların örtüştüğü görülmektedir. Çalışmada kullanılan metodoloji, bir hasta geciktiğinde hangi aşamaların orantısız şekilde geciktiğini, yani sistem baskı altındayken hangi hizmetlerin darboğaz haline geldiğini belirlemeye olanak tanır. Bu darboğazlar ayrıca niceliksel olarak belirlenebilir, bu da hangi darboğazın önce ele alınması gerektiğini önceliklendirmeye yardımcı olur. Bu durum, herhangi bir değişim projesini desteklemek için bir kanıt tabanı sağlar. Çalışmada, hem Yalın Düşünce hem de Kısıtlar Teorisi ile bu darboğazların analiz edilmesi ve iyileştirme önlemlerinin uygulanmasına yönelik sonuçlar sunulmuştur.

Sierraalta-Arganguren (2015), kısıtlar teorisini kullanarak sağlık alanında iyileşme sağlayan bir diğer çalışmadır. Aynı kaynakları ve personeli kullanarak genel servis zamanında %80'e varan azalma, acil serviste ortalama kalış süresinde %29 azalma, hastane içindeki genel akışta iyileşme, yatak devir hızında artış gözlemlenmiştir. İlk sonuçlar 3 ay içinde alınmıştır. Kısıtlar Teorisi yaklaşımı hasta yataklarının tahsisi, cerrahi yönetim değişiklikleri, hastanın taburcu edilmesiyle ilişkili tıbbi ve idari süreçlerin kontrolü gibi kurum içindeki birçok sürecin iyileştirilmesinde kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Strear ve Sirias (2020), TOCICO konferansında sağlık hizmetlerinde kısıtlar teorisi konusu üzerine çalışmışlardır. Çalışmada kısıtlar; yatak kapasitesi, yatan hasta için saklanan boş yatak sayısı, temizlenmesi gereken yataklara öncelik verilmemesi, taburculuk salonları/üniteleri sayısı (taburculuğu planlanan hastaların taburculuk sürecini tamamlamak için transfer edilebileceği hastane alanları),daha fazla kapasite için yapılacak yatırım, koridorlarda yatan hasta sayısı, transfer merkezleri sayısı, ayakta/yatarak bakım kapasitesi, ayakta bakım ünite sayısı, hızlı ünite sayısı, triyajdaki sağlayıcı sayısı, doktor sayısı, ileri düzey uygulama uygulayıcı sayısı, doktorların çalışma saatleri, bekleme süreleri olarak belirlenmiştir.

Tiwari and Sandberg, (2016), hastanelerde operasyon öncesi, operasyon sırası ve operasyon sonrası için alan planlaması ve yatak kapasitesi planı için Kısıtlar Teorisi yaklaşımı ışığında ayrık olay simülasyon uygulaması gerçekleştirmiştir. Çalışmada, Kısıtlar Teorisi kullanılarak geleneksel karar verme yaklaşımlarına kıyasla daha doğru bir kapasite planının yapıldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Sonuçlar incelendiğinde operasyon öncesi ve sonrası durum için yatak kapasitesinin yeterli olduğu gözlemlenmiştir.

Bacelar-Silva ve ark (2022), çalışmasında sağlık sektöründeki temel sorunlarının belirlendiği ve kısıtlar teorisinin acil serviste uygulandığı bir örneği ele almıştır. Belirlenen kısıtlar; aşırı kalabalık (yüksek yatak doluluk oranı), gecikmiş değerlendirme veya tedavi, yüksek iş yükü (durumu gerçekten acil olmayan hastaların iş yükünü arttırması sonucu durumu acil olan hastalara bakım için ayrılan sürenin azalması), personel (hizmet sağlayıcı için bakım kalitesinden ödün verilmesiyle ilişkilidir) ve hasta için yüksek stres, düşük taburcu olma oranı, tedavisiz ayrılan hastalar, düşük performans, düşük verimlilik ve yüksek bakım/tedavi maliyeti, ambulansların diğer hastanelerin acil servislerine yönlendirilmesi şeklindedir.

Bisogno ve ark (2017) çalışmasında, randevulu ve randevusuz hasta akışlarında Kısıtlar Teorisinin etkisini incelemiştir. Özellikle Drum-Buffer-Rope (DBR) tekniğinin uygulamada yetersiz olduğunu bu tekniğin sağlık hizmetlerinde özelleştirilerek nasıl uygulandığını göstermiştir. Simülasyon kullanılarak hastaların bekleme sürelerini minimize edip gelen hasta sayısı hacminin nasıl maksimize edileceğini göstermiştir. Sonuç olarak Kısıtlar Teorisinin sağlık hizmeti gibi kaynak kısıtlı sistemlerde uygulanmasının etkinliği vurgulanmıştır.

Lowalekar ve Ravi (2017), çalışmasında Kısıtlar Teorisini kullanarak bir kan bankasında performans artışı sağlamayı hedeflemiştir. Kan bankası işleyiş sürecinde temel birçok problem vardır. Bunlara örnek; yüksek kan ürünleri kıtlığı ve israfı, yüksek envanter seviyeleri, zayıf ve düzensiz kan toplama, sınırlı ürün çeşitliliği, yüksek hata oranı, teknisyenlerin yüksek devir hızı, yüksek işletme giderleri ve düşük gelir seviyeleri sayılabilir. Kısıtlar Teorisi yaklaşımı ile bu sorunlar aslında kök nedende bir soruna bağlandığı sonucuna varılmıştır. Tüm bu sorunların birbiri ile ilgisini göstermek için güncel gerçeklik ağacı kullanılmıştır. Kısıtlar Teorisi yaklaşımı ile kan bankasının gelir seviyesinin artması ve işletme giderlerinin azalması hedeflenmektedir. Bir simülasyon modeli önerilerek Kısıtlar Teorisi çözümünün bankadaki yıllık kırmızı kan hücresi eksikliğini %66 ve trombosit eksikliğini %82 oranında azaltacağı gösterilmiştir. Benzer şekilde, kırmızı kan hücresi israfı %93, plazma israfı %99 ve trombosit israfı %98 oranında azalmıştır. Kırmızı kan hücrelerinin ortalama envanter seviyesi %41, plazma israfı %95 ve trombosit israfı %10 oranında düşmüştür. Bu araştırmada sunulan çözümler, operasyonel ve finansal performanslarını iyileştirmek için mücadele eden diğer kan bankalarına da kolayca uygulanabilir durumdadır.

Groop ve ark (2017), çalışmasında bir Kuzey Avrupa ülkesi olan Finlandiya’da evde bakım dağıtım sisteminin verimliliğinin arttırmayı planlamıştır. Önerilen çözüm, Goldratt’ın Kısıtlar Teorisi ve değişken talepli envanter yenileme ilkelerinin uygulanmasının bir sentezi olarak ortaya çıkmaktadır. Geliştirilen sistem, daha verimli kapasite kullanımı nedeniyle hem daha fazla kaynak kullanımı hem de daha yüksek üretkenlik sağlamaktadır.

Ahmed (2019), ele aldığı çalışmada sağlık hizmetinde Kısıtlar Teorisi ve Yalın 6 Sigma metodolojisinin temel yapı taşlarında DMAIC (Tanımla, Ölç, Analiz Et, İyileştir, Kontrol Et),

yaklaşımının entegrasyonu ile tıbbi maliyetleri, tıbbi hataları, yönetim hatalarını ve kusurları azaltarak sağlık hizmeti performansını artırmayı hedeflemiştir. Bu yaklaşım ayrıca sağlık hizmeti sağlayıcılarının hizmet süreçlerindeki israfı, çeşitliliği ve iş dengesizliğini azaltmalarına yardımcı olur. Kısıtlar Teorisi ve DMAIC yaklaşımının entegrasyonu ile tıbbi maliyetleri, tıbbi hataları, yönetim hatalarını ve kusurları azaltarak sağlık hizmeti performansının nasıl arttırılabildiği gösterilmiştir. Dahası, bu entegrasyonun darboğazları azaltmanın mümkün olmadığı sağlık hizmeti süreçlerinde performansı iyileştirebildiği sunulmuştur.

Özetle, sağlık sektöründe Kısıtlar Teorisi'nin hasta akışı iyileştirme, yatak kapasitesi optimizasyonu, darboğaz belirleme ve süreç iyileştirme gibi konularında etkin şekilde kullanıldığı görülmektedir. İncelenilen çalışmalara bakıldığında; 2013-2017 yılları arasında çalışmaların hasta akışı iyileştirme ve kaynak yönetimi üzerine odaklandığı görülmüştür. 2018-2022 yıllarında ise Kısıtlar Teorisinin sistem dinamiği, yalın üretim ve Altı Sigma gibi farklı yöntemlerle entegrasyonu artmıştır. Kısıtlar Teorisindeki ilgi odağı son yıllarda, sağlık hizmetlerinde kalite yönetimi ve stratejik süreç iyileştirme konularına kaymıştır. Bunlara ek olarak sağlık hizmetlerinde Kısıtlar teorisi kullanılan yerel çalışma sayısının azlığı dikkat çekmektedir. Bu nedenle yapılan çalışmanın ülkemize katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2.3. Acil Servis Simülasyon Önceki Çalışmalar

Söyler ve Koç (2014), çalışmasında bir kamu hastanesinin acil servisinde mevcut durum analizi yapıp kaynak kapasitelerini değiştirerek farklı simülasyon modelleri geliştirmiştir. Her bir alternatif senaryo ve mevcut durum birer karar verme birimi kabul edilip Veri Zarflama Analizi ile etkinlik analizi yapılmıştır. Etkin senaryolar belirlenmiş ve kaynak kapasitesini arttırmadan etkinliği arttırmanın mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

Guo ve ark (2017), ele aldıkları çalışma Hong-Kong'ta bir kamu hastanesinde acil serviste işçilik maliyetlerini azaltarak ve kaliteyi arttırarak tıbbi personelin optimal konfigürasyonunun sağlanması üzerinedir. Çalışmada, simülasyon programı olarak Arena kullanılmış ve bir simülasyon optimizasyon algoritması olan RBG-FD önerilmiştir.

Liu ve ark (2017), çalışmasında acil serviste optimizasyon bazlı bir simülasyon çalışması önermiştir. Çalışmada NetLogo simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Çalışmada performans göstergesi olarak 2 anahtar performans göstergesi (Key Performance Indicator, KPI) kullanılmış olup bunlar hastanın sistemde kalış süresi ve muayene olmadan sistemden ayrılan hasta oranıdır. Kapıdan doktora varma süresi ve hastaların bekleme süresi uzunluğu gelecekte çalışmalarda takip edilebilecek KPI' lar arasında önerilmiştir.

Uriarte ve ark (2017), sağlık alanında kesikli olay simülasyonu, simülasyon tabanlı çok amaçlı optimizasyon ve veri madenciliği tekniklerinin kombinasyonunu kullanarak İsveç acil servisine yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Çalışmada acil serviste bekleme sürelerini, işlemlerin, doktorların ve yatakların sayısını azaltmak hedeflenmiştir.

Lee ve ark (2017), karı maksimize etmek ve bekleme sürelerini azaltma amaçlı Seul Kore Cumhuriyetinde bir acil serviste stokastik simülasyon ile acildeki personel sayısını optimize etmeyi amaçlamıştır. Simülasyon programı olarak çalışmada Simio kullanılmıştır.

Landa ve ark (2018), acil hastaları için yatak kapasite planını geliştirmek, yatak kapasitesini arttırmadan taktiksel ve operasyonel seviyede hasta akışlarını düzenlemek amacıyla Witness simülasyonu kullanmıştır. Çalışmada dalgalı ve tahmin edilemez hasta girişlerini yönetmek amaçlanmıştır. Vaka çalışması olarak Genova şehrinde bulunan orta büyüklükte bir hastane seçilmiş ve sistemde yer alan çoklu hasta akışlarını yeniden üretmek için ayrık olay simülasyon modeli geliştirilmiştir.

Thomas Schneider ve ark (2018), çalışmasında acil serviste optimal yatak tahsis etmenin kalabalığa faydası üzerinde durmuştur. Çalışmada kurulan model aynı problemle karşılaşan farklı hastanelere de uyarlanabilmektedir. Model hastanelerde yönetim, akış dinamikleri ve kaynak kullanımına göre tahsis edilen en uygun acil durum yatağı sayısını belirleme gücüne sahiptir.

Yousefi ve ark (2020), çalışmasında 2007-2019 yılları arasında yayınlanmış hastane acil servislerinde optimizasyon bazlı simülasyon metotlarının uygulandığı 38 çalışmaya ait literatür çalışması yapmıştır. Çalışmalarda simülasyon için kullanılan yazılımlar incelendiğinde 38 çalışma içinde en yaygın kullanılan %37 ile Rockwell Arena ön plana çıkmaktadır.

Rasouli ve ark (2019) çalışmasında acil servislerin kalabalık olmasının sonuçlarını sistematik olarak incelemiştir. Çalışmada acil servis kalabalıklığının hasta, hizmet sunum süreci, kaliteli bakım ve hizmet sunumundaki verimlilik üzerine yaygın etkilerinin bir özeti sunulmuştur.

Hastalar üzerindeki etkiler;

- Gecikmiş değerlendirme veya tedavi
- Tedavi olamadan ve doktora görünmeden sistemden ayrılmak
- Acil serviste kalış süresi nedeniyle artan yürüyüşler
- Morbidite
- Hastane yatışlarının sık tekrar etmesi
- Uzun süreli hastanede yatış
- Yüksek tedavi maliyeti
- Düşük memnuniyet
- İlaç hataları ve yan etkiler
- Mortalite

Sağlık hizmeti sunum sistemi süreci üzerindeki etkiler;

- Yüksek iş yükü
- Gecikmiş hizmet sunumu/karar verme ve artan acil sisteminde kalış süresi

- Yüksek riskli klinik özellikleri olan hastaların taburcu edilmesi
- Yüğü azaltmak için hastaların diğér tesislere yönlendirmesi
- Yüksek hasta tekrar kabul oranı
- Kalabalık nedeniyle hasta kabulünün azalması
- Kalabalığa rağmen hastaların taburculuk oranlarında azalma
- Genel servislere ve yoğun bakım ünitesine yüksek hasta kabul oranı
- Tanısal görüntüleme ve laboratuvar testlerinin aşırı kullanımı
- Ayaktan hasta kabulü ve nakli için uzun süre gerekmesi

Kaliteli bakım üzerindeki etkiler;

- Hastaların durumunu araştırmak için kullanılan sürenin kısa olması
- Kötü enfeksiyon önleme ve kontrol önlemleri
- Bakım standartlarına uyumun düşük olması
- Bakım kalitesinden ödün verilmesi
- Yüksek yatak doluluk oranı

Hizmet sunumunda verimlilik üzerindeki etkiler

- Düşük performans, düşük verimlilik ve yüksek bakım/tedavi maliyeti

Acil servis kalabalıklığının çok yönlü etkileri bulunmaktadır. Bu etkiler arasında, özellikle acil müdahale gerektiren hastalar için bakımın gecikmesi ve hastaların sağlık hizmeti alabilmek için uzun süre beklemek zorunda kalmaları önem arz eder. Bu durum; hastaların klinik durumlarının kötüleşmesine, sık tekrar eden hasta gelişlerine, uzun süreli hastane yatışlarına ve beraberinde önemli maliyetlerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır (Rasouli ve ark., 2019).

Zeng ve ark (2012), çalışmasında ABD (Amerika Birleşik Devletleri) Lexington'daki bir toplum hastanesinin acil servisinde hizmet kalitesini iyileştirmek için yapılan bir simülasyon modeli geliştirmiştir. Simülasyon modeli, hizmet kalitesini kalış süresi, bekleme süreleri ve hasta kaçması performans ölçütleri ile değerlendirmiştir. Acil servisten toplanan veriler yardımıyla simülasyonun geçerliliği doğrulanmıştır. İşgücünün ve ekipmanının hizmet performansı üzerindeki etkisini araştırmak için duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde daha iyi klinik sonuçlar sağlamak için hemşire sayısının artırılması gerektiği ve ek bir bilgisayarlı tomografiye ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Bunlara ek olarak model, ekip hemşirelik politikasının uygulanmasının acil servisin bakım kalitesinde önemli bir iyileşmeye yol açabileceğini göstermektedir. Geliştirilen model, acil serviste sürekli iyileştirme ve hizmet performansı kontrolü için nicel bir araç sağlar ve hastanedeki diğer bölümlere de uygulanabilir.

Lee ve ark (2017), bir acil serviste stokastik simülasyon modeli ile en uygun tıbbi personel sayısını belirlemeyi amaçlamıştır. Amaç doğrultusunda, acil servisin beklenen net kârını en üst düzeye çıkarmak, durumu kritik ve kritik olmayan hastaların beklenen bekleme sürelerinin maksimum süresini sınırlamak hedeflenmiştir. Model, bekleme süreleri üzerinde iki stokastik kısıtlamaya sahip bir simülasyon tabanlı optimizasyon problemi olarak formüle edilmiştir. Model kurulumu için Simio tercih edilmiştir. Çalışma sonucunda iki aşamalı çözüm önerilmiştir. İlk aşamada istatistiksel garantiler altında problemin en uygun çözümünü bulmak için bir sıralama sunulmuştur. İkinci aşamada çözüm senaryoları arasından en iyisini belirlemek için bir seçim çerçevesi önerilmiştir. Önerilen çerçeve bir üniversite hastanesinin acil servisine uygulanmıştır.

Kuo ve ark (2016), çalışmasında Hong Kong'daki bir hastane acil servisindeki hasta akışını analiz etmek için simülasyon kullanan bir vaka çalışması sunmaktadır. Bu acil servis günlük ortalama 420 hastaya hizmet veren bir acil servistir. Acil servis hasta akışını bilgisayar ortamına aktarmak için Arena yardımıyla bir simülasyon geliştirmiştir. Simülasyon modeli geliştirilirken, Acil Servis tarafından tutulan verilerin eksik olması kaynaklı hizmet süresi dağılımlarının çıkarılmasında zorluk yaşanmıştır. Simülasyon modelini geliştirirken veri kaynaklı yaşanan zorluk Weibull dağılımı ve meta-sezgisel algoritmalar kullanılarak aşılmıştır. Simülasyon modelinin girdi parametrelerinin iyi bir tahmin kümesini elde etmek için simülasyon tabanlı bir optimizasyon yaklaşımı önerilmiştir. Simülasyon modeli farklı senaryolar ile test edilerek sistemde uygulanacak olası değişikliklerin etkisi incelenmiştir. Model yöneticilere yerleşim düzeni, kapasite ve kaynak yönetiminin önceden ve kolayca değerlendirilmesi için bir karar destek aracı sunmaktadır.

Duguay ve Chetouane (2007), Kanada'da bir hastanenin acil servisini ayrık olay simülasyonu kullanarak modellenmiştir. Modelleme için Arena yazılımından faydalanmıştır. Model incelendiğinde bekleme sürelerinin kaynak yetersizliği kaynaklı olduğu görülmüştür. Bu nedenle performans iyileştirme senaryolarında farklı kaynak süreleri ile bekleme sürelerinin değişimi test edilmiştir. Veri toplama işlemi hafta içleri 08:00-20:00 saatleri arasında yapılmıştır. Hafta sonu gelen hasta sayısının az olması kaynaklı veri örneklemelerine dahil edilmemiştir. Modelleme sonucu bekleme süreleri azaltılmış, performans iyileştirilmiş ve daha verimli bir hizmet sunumu önerisi sunulmuştur. Çalışma bir hastanede yapılmış olmasına rağmen benzer problemlere sahip sağlık birimlerine uyarlanabilir durumdadır.

Rehman ve ark (2023), bir kamu hastanesinin acil servisi ele almıştır. Acil servisler, randevusuz hasta kabul eden ve durumu kritik olan hastaları tedavi eden bir hizmet servisi olması kaynaklı kaynak tahsisi konusu acil servisler için hayati öneme sahiptir. Hatalı yapılmış bir kaynak tahsisi acil servislerde uzun bekleme sürelerine sebep olmaktadır. Bu durum hastanın tedaviyi beklemeden sistemi terk etmesine sebep olabilmektedir. Çalışmanın amacı hastanın sistemde bekleme süresini azaltmak ve tedavi almadan sistemi terk eden hasta sayısını minimum seviyeye çekmektir. Bu amaç doğrultusunda sisteme ait simülasyon modeli oluşturulmuştur. Yazılım olarak Arena simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Sonuçta hedef programlama ve simülasyon optimizasyonu

ile kaynak tahsisi yapılmıştır. Optimizasyon aracı olarak OptQuest platformu kullanılmıştır. Doğru kaynak yönetiminin sistem performansını arttırdığını ve hasta memnuniyetine destek olduğu görülmüştür.

Bahari ve ark (2022), çalışmasında acil servis ile yatan hastaların bulunduğu ünite arasındaki etkileşimin hastanın bekleme süresi ve sistem performansına olan önemini vurgulamıştır. Yatan hasta ünitesinde yatak bekleyen hastaların artması ve darboğaz oluşturması hasta akışını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu çalışmada yatan hasta ünitesi ve acil servis arasındaki iş akışı Arena simülasyon yazılımı ile modellenerek bir ayrık olay simülasyon modeli önerilmiştir. Model sonucu yatan hasta ünitesine kaynak eklenmesi ile hasta akışı iyileşmiş ve sistem performansı artmıştır.

İbrahim ve ark (2017), ele aldığı çalışmada Malezya'nın Selangor bölgesinde bir kamu hastanesinin acil servisinde bir simülasyon modeli önermiştir. Çalışmanın amacı her bir hastanın sistemde geçirdiği süreyi azaltarak hizmet verilen hasta sayısının artırılmasıdır. Simülasyon modeli Arena yazılımı kullanılarak geliştirilmiştir. Acil serviste 1 günlük hasta akışı modellenmiş ve ARENA OptQuest yardımı ile kaynak optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Sonuçta ortalama hasta bekleme süresi %32 azaltılarak hizmet alan toplam hasta sayısında %25 artış kaydedilmiştir. İncelenen bu çalışmalara ait özet bilgi Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Acil servis simülasyon önceki çalışmalar

Yazar Adı	Yıl	Çalışmanın Konusu	Yöntem
Rasouli ve ark	2019	Acil servis kalabalıklığının hasta, süreç, kalite ve verimlilik üzerindeki etkileri	Sistematik İnceleme
Yousefi ve ark	2020	Acil servislerde optimizasyon bazlı simülasyon yöntemlerinin literatür analizi	Literatür Taraması, Arena
Söyler ve Koç	2014	Kamu hastanesi acil servisinde mevcut durum analizi ve kaynak kapasiteleriyle simülasyon modelleri geliştirme	Veri Zarflama Analizi, Simülasyon
Uriarte ve ark	2017	Acil serviste bekleme sürelerini azaltmak ve kaynakları optimize etmek	Kesikli Olay Simülasyonu, Çok Amaçlı Optimizasyon, Veri Madenciliği
Landa ve ark	2018	Acil hastaları için yatak kapasite planlaması	Witness, Ayrık Olay Simülasyonu
Guo ve ark	2017	Acil serviste işçilik maliyetlerini azaltarak ve kaliteyi artırarak tıbbi personel optimizasyonu	Arena
Zeng ve ark	2012	ABD'de bir toplum hastanesinde acil servis hizmet kalitesini iyileştirmek	Arena, Duyarlılık Analizi
Kuo ve ark	2016	Hong Kong'da bir hastane acil servisinde hasta akış analizi	Arena, Meta-sezgisel Algoritmalar, OptQuest
Rehman ve ark	2023	Kamu hastanesi acil servisinde kaynak tahsisi optimizasyonu	Arena, OptQuest, Hedef Programlama
Bahari ve ark	2022	Acil servis ile yatan hasta ünitesi etkileşiminin incelenmesi	Arena, Ayrık Olay Simülasyonu
İbrahim ve ark	2017	Malezya'da kamu hastanesi acil servisinde hasta bekleme süresini azaltma ve hasta akışını artırma	Arena, OptQuest

(Çizelge 2.4'ün devamı)

Duguay ve Chetouane	2007	Kanada'da bir hastanenin acil servis simülasyon modeli	Arena, Ayrık Olay Simülasyonu
Liu ve ark	2017	Acil serviste optimizasyon bazlı bir simülasyon çalışması	NetLogo, KPI analizi
Schneider ve ark	2018	Acil serviste optimum yatak tahsisi	Simülasyon Modelleme
Lee ve ark	2017	Seul'de bir acil serviste personel sayısının optimizasyonu	Simio, Stokastik Simülasyon
Lee ve ark	2017	Acil serviste personel sayısı optimizasyonu ve net kar maksimizasyonu	Simio, Stokastik Simülasyon

Hizmet sektörünün önde gelen sektörlerinden sağlık sektöründe performansı arttırmak ve verimli sistemler kurmak çok önemlidir. Özellikle hastanelerin acil servislerindeki kalabalık ve hızlı müdahale yapmanın öneminden kaynaklı acil servislerin yüksek performansla hizmet vermesi kritik bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Acil servislerde performans artışı amaçlı simülasyon yöntemi çok tercih edilmektedir. Acil servis simülasyonu, hasta akışını iyileştirmek, kaynak kullanımını optimum hale getirmek, doktor ve hemşire çizelgelerini optimum yapmak, operasyonel süreçleri incelemek, sistem darboğazlarını tespit etmek, darboğazları yok ederek sistemi iyileştirmek, hizmet performans artışı sağlamak, hasta bekleme sürelerini azaltmak, tedavi görmeden sistemi terk eden hasta sayısını azaltmak ve müşteri memnuniyetini arttırmak amaçlı kullanılmaktadır.

İncelenen çalışmalara bakıldığında simülasyon modellemede genelde Arena yazılımının kullanıldığı görülmektedir. Arena'ya ek Simio, NetLogo ve Witness gibi farklı simülasyon yazılımlarını kullanan çalışmalar da bulunmaktadır. Bu çalışmalarda simülasyona ek olarak çeşitli optimizasyon teknikleri de doktor, hemşire ve yatak kapasitesini optimum hale getirmek için kullanılmıştır. OptQuest, meta-sezgisel algoritmalar, veri zarflama analizi gibi farklı teknikler simülasyonla entegre kullanılmıştır. Simülasyon modellerine ait sonuçlar incelendiğinde sistem performansının arttığı, hasta bekleme sürelerinin azaldığı ve darboğazların tespit edilip yok etmek için önerilerin sunulduğu görülmüştür. Yapılan doğru kaynak planlamaları ve sistem iyileştirmeleri sayesinde müşteri memnuniyetinin arttığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak acil servislerde simülasyon ve optimizasyon entegrasyonu, darboğazları tespit etmek ve ortadan kaldırmak, kaynak planlaması yapmak ve sistem performansını iyileştirmek için kritik bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışmada Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı Çocuk Acil servisi ele alınmıştır. Bölgedeki en büyük araştırma hastanesi olan bu sağlık kuruluşu bu nedenle yoğun hasta akışı nedeniyle dikkat çekmektedir. Çocuk acil servisi, Adana'nın merkezinde yer almakta olup, çevre il ve ilçelerden yoğun hasta talebi alan ve bölge açısından kritik öneme sahip bir sağlık birimidir. Bu bölümde yılda ortalama yaklaşık 36.000 hasta tedavi görmektedir. Kalabalıklığı sebebi ile hastanın sistemde kalış süresi uzundur.

Çalışmada kullanılan veriler öncelikle hastane bilgi yönetim sistemi veri tabanından alınmıştır. Veri tabanında bulunmayan ayrıntılı bilgiler ise acil servis sorumlu uzman hekim ve ilgili personeller ile yapılan yüz yüze görüşmeler sonucu elde edilmiştir.

Hastane kayıtları, kullanılan yazılım sayesinde detaylı olarak tutulabilmektedir. Acil serviste toplam 1 intörn doktor, 2 asistan doktor, 1 görüntüleme personeli, 1 laboratuvar personeli, 1 hemşire ve 1 hasta kayıt sekreteri bulunmaktadır. Ayrıca hastaların yatışları için 6 adet Yatak 1 ve 18 adet Yatak 2 grubuna ait yatak mevcuttur. Yatak 1 grubu hastanın öyküsünün alındığı ve fizik muayenesinin yapıldığı yatakları ifade eder. Yatak 2 grubu yataklar, hastanın acil serviste belirli bir süre müşahade altına alındığı zamanlarda kullanılan yatak grubunu ifade eder.

3.1.1. Çalışmada Kullanılan Veriler

Çalışmada kullanılan veriler sırasıyla aşağıda sıralanmıştır:

- Son 5 yıla ait hasta giriş bilgileri (hastanın acile giriş ve çıkış bilgileri, hasta eğer servise yönlendiriliyorsa acilden ayrılma zamanı, gelen hasta sayısı, saati, vb.),
- Acil servis personel çalışma çizelgesi, personel sayısı ve niteliği ile ilgili bilgiler,
- Vardiya sayısı ve vardiya saatleri,
- Acil servis işleyişine ilişkin detaylı bilgiler (süreç akışı, işlem sırası ve koşulları),
- Acil servis hasta kayıt, triyaj, muayene, laboratuvar ve görüntüleme, müşahade ve hasta çıkış işlemleri ile ilgili süre bilgileri,
- Acil serviste bir vardiyada bulunan personel sayısı (asistan doktor, intörn doktor, hemşire, hasta kayıt personeli, laboratuvar personeli ve görüntüleme personeli),
- Acil servis bölümlerinin bilgisi (hasta kayıt yeri, triyaj yeri, hemşire odası acil müdahale odası, doktor odası, röntgen odası ve laboratuvar),
- Acil serviste bulunan yatak sayısı (yeşil alan, sarı alan, kırmızı alan),
- Acilde yatan hasta sayısı,
- Günlük akış içinde kısıt olarak görülen tüm detaylara ait bilgiler (kapasite kısıtı, personel kısıtı, mesai saati kısıtı),

- Hafta içi ve hafta sonu kıyaslaması (değişiklik olan süreçlere ait detaylar),

Bu veriler kullanılarak çocuk acil serviste ayrık olay simülasyon modeli geliştirilmiştir. İlk olarak, acil servisin çalışma sistematığı incelenmiş ve mevcut durum analizi yapılmıştır.

Süreç Analizi

Süreç analizi, sistemlerin performansını arttırmak amacıyla üzerinde durduğu bir konudur. Sistemin verimini arttırabilmesi için sistemleri iyi analiz etmesi gerekir. Bilgi ve süreç, sistemin iki temel bileşenidir. Bilgi, yönetimi kolaylaştıran konularda bilgi sahibi olmamızı sağlarken; süreç bilgiyi kullanmanın farklı yönlerini bularak yeni bilgi yaratır ya da bilginin kullanım verimini artırır (Duran, 2015).

Süreç bir girdiyle başlayan (dıştan veya içten gelen bir talep), bu girdiye katma değer yaratarak talebi karşılayacak faydalı bir çıktı oluşturmada birbiriyle ilişkili adımlar dizisidir (Doğan, 2013).

Acil servislere günün farklı saatlerinde değişen sayıda hasta gelişi olmaktadır. İncelenen sistemde uygulanabilirliği arttırmak ve gerçeğe daha yakın model elde edebilmek amacıyla 1 gün hasta geliş sıklığına göre 24 saatlik zaman dilimine ayrılmıştır. Bir yıl boyunca hasta geliş sayılarının ortalamaları hesaplanmıştır. 24 saatlik hasta gelişlerine ait istatistiksel dağılımlar Easy Fit programı kullanılarak elde edilmiştir. Acil servis proseslerine ait işlem süreleri ise bölümden alınan geçmiş yıllara ait verilerden ve uzman görüşlerinden faydalanılarak elde edilmiştir. Sürece ait iş akışı, yapılan fiziki gözlemler ve acil servis sorumlu hekiminden alınan bilgiler doğrultusunda elde edilmiştir. Acil servis iki vardiya halinde çalışmaktadır: 1. vardiya saat aralığı 08:00-17:00 ve 2. vardiya saat aralığı ise 17:00-08:00'dir.

Süreç Analizinde Kullanılan Modern Yöntemler

Geleneksel süreç analizi, iş adımlarının analizini ifade eder. Analizin amacı, sistemin kısıtlarına cevap vermektir. Bu amaçla iş adımlarının detayını inceleyen üç yaklaşım kullanılır. Bunlar sırasıyla aşağıda verilmiştir (Duran, 2015).

1. İş ürün analizi
2. Çapraz fonksiyonel süreç analizi
3. Hizmet faaliyetleri süreç analizi

Bu çalışmada hizmet sektöründen bir kuruluş olan hastane ele alındığı için süreç analizi kısmında hizmet faaliyetleri süreç analizi yaklaşımı benimsenmiştir.

Hizmet Faaliyetleri Süreç Analizi

Bu yöntem hizmet kuruluşlarının performansını iyileştirmek için tasarlanmıştır. Hizmet süreç yöntemlerini diğer iki yöntemden ayıran özellikleri aşağıda verilmiştir (Duran, 2015).

- Sürecin müşteri tarafından görülen ve görülmeyen taraflarının belirlenememesi,
- Süreç tasarımıdaki olası başarısızlık bölgelerini ele alması,
- Süreç karlılık analizinin uygulanması.

Bu yöntemin aşamaları aşağıda sırayla verilmiştir.

1. Süreç tanımlanması,
2. Başarısızlık noktalarının ortadan kaldırılması,
3. Bir zaman süresi saptamak
4. Karlılık analizi

Bu çalışmada hizmet faaliyetlerinin süreç analizinde izlenecek adımlar ve kullanılacak yöntemler sırasıyla şu şekildedir.

1. Süreç tanımlanması: Arena simülasyon yöntemi ile süreç tanımlanarak sürecin modele aktarımı sağlanmıştır.
2. Başarısızlık noktalarının ortadan kaldırılması: Simülasyon sonuçlarına göre Kısıtlar Teorisi yaklaşımı ile sistem darboğazları tespit edilmiştir. Model matematiksel olarak ifade edilmiş ve Arena OptQuest platformunda kısıtlar yok edilerek optimizasyon sağlanmıştır.
3. Bir zaman süresi saptamak: Optimizasyondan önce, hastaların bekleme süresi ve sistemde geçirdiği toplam süre tespit edilmiştir. Optimizasyon sonrası, hastaların bekleme süresi ve sistemde geçirdiği toplam sürenin önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir.
4. Karlılık analizi: Hastaların sistemde geçirdiği toplam sürenin azalması acil servise kar olarak yansıyacaktır. Analiz edilecek sistemi oluşturan tüm bileşenler süreç analizi aşamasında tanımlanır. Sürecin adımları sırasıyla açıklanır. Ek olarak süreç analizinde; süreç akışının çıkarılması, süreç analizinde kullanılan şemaların çıkarılması, sistem iş akış şemasının çıkarılması ve yerleşim planı şeklinde iş akış şemasının çıkarılması yöntemlerinden de faydalanılabilir. Bu çalışmada süreç tanımlama aşamasında sağlık hizmetleri alanında yaygın olarak kullanılan simülasyon kullanılmıştır.

3.1.2. Çalışmada Kullanılan Paket Programlar

Çalışmada verilerin istatistiksel analizi için Easy Fit 5.6, simülasyon modelinin oluşturulması için Rockwell Arena programı, kurulan modelin güvenilirliğinin testi için Statistica istatistik programı ve optimizasyon için Arena/OptQuest platformu kullanılmıştır. Çalışmanın bu üç aşaması için kullanılan paket programlar sırasıyla açıklanmıştır.

Easy Fit 5.6

Simülasyon modelinin kurulabilmesi için gerekli veriler alındıktan sonra bu verilere ait istatistiksel dağılımlar Easy Fit paket programı ile belirlenmiştir. Easy Fit programı, saniyeler içinde verileri otomatik veya manuel şekilde çok sayıda dağılıma uydurulmasına imkan tanır. Tek başına bir uygulama olarak veya Microsoft Excel ile birlikte kullanılabilir ve yalnızca temel istatistiki bilgiyle çok çeşitli iş sorunlarını çözüme ulaştırma yeteneğine sahiptir <https://easyfit.informer.com/5.6/> [Son erişim tarihi: 24.02.2025]. Bu program kesikli ve sürekli dağılımı desteklemektedir. Veriler programa girilip program çalıştırıldıktan sonra istatistikte uygunluk testlerinden Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling ve Ki-Kare testlerine göre en uygun dağılımı kullanıcıya sunmaktadır.

Arena Version 14.00.00

Çalışmaya ait simülasyon modeli Arena yazılımı (sürüm 14.00.00, Rockwell Automation) kullanılarak geliştirilmiştir. Model kurulmadan önce sistem üzerinde bazı varsayımlarda bulunulmuştur. Bu varsayımlar;

1. Her hasta gelişinde 1 hastanın geldiği varsayılmıştır.
2. Hastaların yanında refakatçi olmadığı varsayılmıştır.
3. Kan laboratuvarında sadece çocuk acil servis hastalarının testlerinin yapıldığı varsayılmıştır.
4. Doktor ve hemşirelerin sadece modelde tanımlı işlere sahip olduğu varsayılmıştır.
5. Hastaların sistemde tanımlı iş akışına uyduğu varsayılmıştır. (bazı durumlarda hastalar test vermeyi kabul etmiyor ya da yatması gerektiği halde sistemi terk ediyor vb. durumlar)
6. 1 doktorun 1 hastaya baktığı varsayılmıştır. Bazı durumlarda birden fazla doktor tek hastayı muayene edebiliyor.
7. Yatak 1 ve Yatak 2 grubunda kullanılmayan yatakların olduğu varsayılmıştır.

Statistica

Statistica, parametrik ve parametrik olmayan birçok testin yapılmasına imkan tanıyan kullanıcı dostu bir ara yüze sahip gelişmiş bir istatistiksel analiz programıdır. Statistica'nın ilk

sürümü, 1991 'de grafiksel yönelimli bir istatistiksel yazılım olarak ortaya çıkmıştır. İlk Windows sürümü, 1994 yılında yayınlanmıştır. 2001 yılında ise büyük bir değişiklik içeren yeni bir tasarım modeli piyasaya sürülmüştür. Günümüze kadar olan süreçte birçok farklı versiyonu sunulmuştur ve ara yüz değişiklikleri olmuştur. Bu çalışmada mevcut sistem sonuçları ile arena simülasyon modeli çıktıları kıyaslama amaçlı Statistica programında bulunan Kolmogorov-Smirnov testi ve Mann-Whitney U testi uygulaması yapılmıştır (Weiß, 2007).

Kolmogorov-Smirnov testi, bir dağılımının normal dağılım ile uyumlu olup olmadığını tespit etme aşamasında kullanılan istatistiksel bir testtir. Kolmogorov-Smirnov testi, parametrik olmayan yani belirli bir varsayıma dayanmayan analiz yöntemlerini kapsar.

Mann-Whitney U testi, ele alınan verinin normal dağılıma uymadığı durumlarda iki bağımsız veri grubunun istatistiksel olarak analiz edilme sürecinde kullanılır. İki bağımsız grubun kıyaslanmasında kullanılan Mann-Whitney U testi ile dağılımların farkını belirlenebilir. Bu test özellikle sınırlı örneklem hacmi olan veriler için tercih edilebilir.

Bu çalışmada, Statistica programında bulunan Kolmogorov-Smirnov testi ve Mann-Whitney U testlerinin uygulanması, veri setindeki farklılıkların geçerli ve doğrulanabilir biçimde istatistiksel olarak analiz edilmesine imkan sağlamıştır.

Arena/OptQuest

Bu çalışmada optimizasyon uygulaması için Arena OptQuest tercih edilmiştir. Arena OptQuest günümüzün en verimli simülasyon/optimizasyon yazılım araçlarından biridir (Jerbi, ve ark., 2019). OptQuest, Arena Rockwell ayırık olay simülasyon yazılımına gömülü bir optimizasyon paketidir (Kelton, 2010). OptQuest; dağılım araması, tabu araması ve yapay sinir ağlarını esas alan üç sezgisel yöneme dayanmaktadır. Glover ve ark., 1999; Law, 2014).

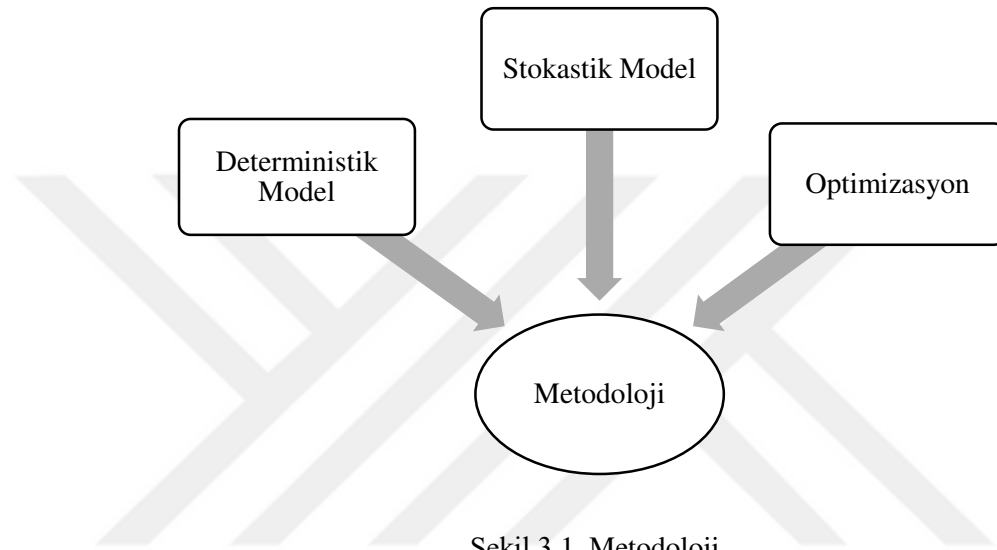
OptQuest, simülasyon modelinin yalnızca girdi ve çıktı değişkenlerini dikkate alarak çalışır. Ana işlevi, simülasyon yazılımını otomatikleştirmek, kontrol etmek, başlatmak ve durdurmaktır. Sezgisel süreçlerin yeni bir uygulaması için mevcut referans noktalarından faydalanır. OptQuest sisteme ait en iyi çözümlerin kombinasyonunu oluşturur. Durdurma kriterine ulaşılan kadar verilen tüm adımlar tekrarlanır. OptQuest aşağıdaki üç durdurma kriterinden birini kullanır (Law, 2014).

1. Belirlenen maksimum konfigürasyon sayısına kadar çalışır.
2. Amaç fonksiyonunun değeri 100 ardışık konfigürasyon boyunca iyileşme göstermediğinde çalışmayı durdur (OptQuest'te otomatik durdurma).
3. Bu kriter yukarıdaki iki kuralın birleşimidir. Bu durumda, optimizasyon algoritması, iyileşme göstermeyen konfigürasyon sayısı belirlenen maksimum konfigürasyon sayısının %5'ine ulaştığında durdurulur.

Çalışmada bu dört paket programa ek olarak veri analizi aşamasında Microsoft Excel programından da faydalanılmıştır.

3.2. Metot

Bu bölümde çalışmada kullanılan metotlar detaylı olarak açıklanmıştır. Çalışma, üç temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada deterministik analiz, ikinci aşamada stokastik analiz, son aşamada ise optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Çalışma metodolojisinin ana çerçevesi Şekil 3.1’de verilmiştir.

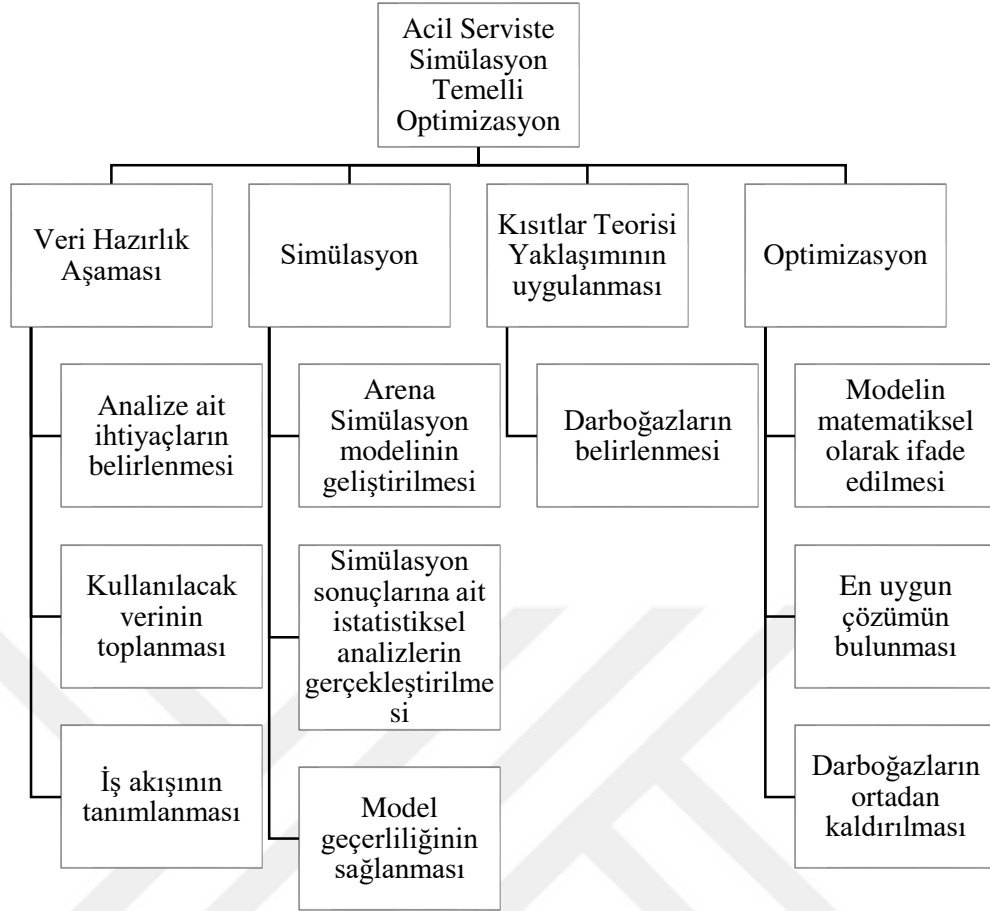


Şekil 3.1. Metodoloji

Çalışmanın ilk adımı olan deterministik analiz aşamasında, simülasyon modelini kurmak için hazırlık yapılmıştır. Bu kapsamda; hasta akış süreçlerinin, işlem sürelerinin ve kaynakların tanımlanması işlemleri gerçekleştirilmiştir.

İkinci adımda, sistemin stokastik özellikleri modellenmiştir. Bu kapsamda, aktivite süreleri, hasta varış süreleri ve hasta bakım gereksinimleri ile ilgili belirsizlikler yer almaktadır. Simülasyon yazılımı, kaynakların aynı anda birden fazla hasta tarafından kullanılmasını engellediğinden, kaynak belirsizliği modelin doğasında vardır. Daha sonra, bu belirsizliklerin modele entegre edilmesiyle iş akışı stokastik bir ortamda simüle edilmiştir. Bu aşamada, kesikli olay simülasyon modeli Arena programı ile geliştirilmiştir.

Son aşamada, belirsizliklerin hasta bekleme süreleri ve sistemde geçirilen süre üzerindeki etkileri, Arena OptQuest platformu kullanılarak farklı senaryolarda optimize edilmiştir. Metodolojide uygulanan adımlar Şekil 3.2’de sırasıyla verilmiştir.



Şekil 3.2. Metodoloji Uygulama Adımları

3.2.1. Veri Hazırlık Aşaması

Simülasyon modelinin gerçek sistemi en iyi şekilde yansıtabilmesi ve güvenilir sonuçlar sunması için girdi analizinin doğru yapılması kritik bir öneme sahiptir. Girdi analizi; genellikle veri toplama, veri analizi, zaman serisi veri modellemesi ve uyum iyiliği testi olmak üzere dört ana aşamada gerçekleştirilmektedir.

Veri toplama; bilgi sistemleri veri tabanından faydalanma, yüz yüze görüşmeler, anket uygulamaları, önceki çalışmalardan faydalanma gibi farklı yöntemler kullanılır. Veri toplama aşamasında dikkat edilecek bazı önemli noktalar şunlardır:

- Modelleneyecek sistem belirli bir süre gözlenmeli ve toplanacak veri türleri önceden belirlenmelidir.
- Toplanacak verilerin türü ve miktarı belirlenmelidir.
- Verilerin toplanması sıraya konulmalı ve hangi zamanda hangi verinin toplanacağı planlanmalıdır.
- Veri toplamak için gerekli anket ve formlar hazırlanmalıdır.
- Girdi dağılımının doğru biçimde belirlenmesi için yeterli miktarda veri toplanmalıdır.

- Sistemi temsil edecek en iyi veri (homojen veri) toplanmalıdır. Bu nedenle aynı zaman diliminde farklı günlere ait veri toplanmalı ve verinin homojenliği test edilmelidir.
- Veri homojenliği testinde farklı istatistiksel testlerden faydalanılmalıdır. (T testi vb.)
- İki değişken arasındaki ilişki durumu belirlenmelidir. İlişki durumu testi için Scatter diyagramları veya regresyon analizi kullanılabilir (Yavuz, 2008).

Girdi analizinde temel amaç, veri özellikleri ve davranışı gözlemlenerek en uygun istatistiksel dağılımın belirlenmesidir. Çünkü, simülasyon modellerinin en önemli özellikleri rastgele sayıların kullanılmasıdır. Rastgele sayılar, en uygun istatistiksel dağılıma göre üretilmekte ve model girdisi olarak simülasyon ortamına entegre edilmektedir.

Bu çalışmada, ele alınan sistemin girdisi olan hasta gelişlerini kümelemek ve gelişlerin olasılık dağılımlarını belirlemek için Easy Fit 5.6 programı kullanılmıştır. Yapılan analizler, uyum iyiliği testlerine (Ki-kare vb.) dayanmaktadır (Schneider, 2018). Kümeleme sürecinin sonuçlarını kullanarak, kümelenmiş her hasta grubuna ait olasılık dağılımlar belirlenmiştir (Normal, Gamma, Weibull) Önemli bazı istatistiksel dağılım türleri şunlardır:

Binom Dağılımı

Bu dağılım süresiz dağılımlar kategorisinde değerlendirilir. Bu tür dağılımlarda, başarı ve başarısızlık, yazı ve tura, kazanç ya da kayıp gibi iki olasılık mevcuttur. Tüm denemeler için başarı olasılığı “p” iken başarısızlık olasılığı “1-p” olarak ifade edilir.

Negatif Binom Dağılımı

Binom dağılımına benzer şekilde, negatif binom dağılımı da belli bir sayıda başarıya ulaşmak için gerçekleştirilen başarısız deneylerin ve toplam deney sayısının modellendiği bir dağılım türüdür.

Poisson Dağılımı

Poisson dağılımı, belirli bir zaman ve mekanda gerçekleşen olayları niceliksel olarak inceleyen dağılımlardan biridir. Poisson dağılımında ayırık olaylar analiz edilir.

Normal Dağılım

İstatistikteki en önemli dağılımlardan biridir. Diğer dağılımlarla ilişki halindedir. Normal dağılım eğrisi çan şekline benzemektedir ve simetriktir. Normal dağılım eğrisinin ortasında en yüksek frekansı gösteren nokta, diğer uçlarda ise daha az frekans gösteren noktalar bulunmaktadır (Pallant, 2016). Normal dağılım test edilirken çarpıklık ve basıklık katsayıları, histogram, normal Q-Q grafiği, gövde-yaprak diyagramı, kutu grafiği ya da KolmogorovSmirnov, Shapiro Wilk vb. gibi hipotez testleri kullanılmaktadır (Pituch ve Stevens, 2016).

Lognormal Dağılım

Bu model, birkaç bileşenin çarpımı olarak ifade edilebilecek bir sürecin dağılımını tanımlamak için kullanılmaktadır (Yavuz, 2008).

Üstel Dağılım

Üstel dağılım, belirli bir oranda meydana gelen bağımsız olaylar arasındaki sürelerin tespitinde kullanılmaktadır. Bu dağılım beklemlerin ve kuyruğun olduğu sistemlerde çok kullanılmaktadır. Hizmet alacak olan müşterinin bekleme süresinin belirsizliği ve kesin olmaması gibi durumlar üstel dağılım ile modellenebilir (Newbold, 1995). Hizmet almak için acil servise gelen hastaların dağılımı bu dağılıma örnek verilebilir.

Gama Dağılımı

Negatif olmayan rastgele değişkenleri modellemede kullanılan gama dağılımı, dağılım frekansı veya olasılık yoğunluk fonksiyonu ile ifade edilmektedir (Thom, 1958).

Beta Dağılımı

Sınırlı rastgele değişkenleri modellemede kullanılan Beta dağılımının sabit alt ve üst ve alt sınırları bulunmaktadır. Bu dağılımda çeşitli genişletmelerle ve kaydırmalarla kapsam değiştirilebilir. Esnek bir dağılımdır (Yavuz, 2008).

Erlang Dağılımı

Gelişler arası sürelerin üstel dağılıma uymadığı durumlarda Erlang dağılımı alternatif bir model olarak kullanılabilir. n tane hizmet istasyonunun bulunduğu bir sistemde, bir müşterinin aldığı hizmet sona ermeden yeni bir müşterinin sisteme alınmadığı durumlarda Erlang dağılımı kullanılabilir. Beklemelerin belirsiz olduğu kuyruk içeren sistemlerde beklemleri tahmin etmek amacıyla tasarlanmıştır (Kocaer ve Kuruca, 2024).

Weibull Dağılımı

Gerçek dünyada birçok verinin modellenmesinde kullanılan Weibull dağılımı şekil parametresine bağlı esnek bir dağılımdır. Genelde şekil parametresi, konum parametresi ve ölçek parametresi ile tanımlanmaktadır. Parametrelerinin bulunmasında en çok maksimum likelihood, moment ve en küçük kareler metotları kullanılmaktadır (Genç ve ark., 2005; Bowman ve Shendon, 2000).

Uniform Dağılım

Tüm sonuçların eşit olasılıkla gerçekleştiği sistemlerde kullanılmaktadır. Bu dağılım, ayrık veya sürekli tekdüze olayları içeren sistemlerin modellenmesinde kullanılır.

Üçgensel Dağılım

Üçgen dağılım, bir olay için minimum, maksimum ve en olası bir değerin bilindiği sistemleri modellemede kullanılmaktadır. Sürekli bir olasılık dağılım çeşididir. Genelde tahmine dayalı modelleme, simülasyon ve risk analizi yapılırken tercih edilen bir dağılım çeşididir.

Deneysel Dağılım

Genelde gerçek verilerin herhangi bir teorik dağılıma uymadığı durumlarda sistem deneysel dağılım ile modellenir. Veri setinin kendisinden türetilir. Bu dağılım çeşidinden, deneysel olarak yeniden örnekleme yapılmaktadır (Yavuz, 2008).

3.2.2. Simülasyon

Sistemlerde performans artışı için çeşitli gözlemlerin ve testlerin yapılacağı bir deney ortamına ihtiyaç vardır. Günümüz teknolojik koşullarında ve ekonomik ortamında gerçek bir sistemde değişiklik yapıp, sonuçlarını incelemek çok uzun zaman alacak ve maliyet kaybına sebep olacaktır. Bu kayıplara ek, gerçek bir sistemde değişim yapılırken birçok olumsuz olayla karşılaşılabilen ve testler istenilen şekilde gerçekleştirilemeyebilmektedir. Bu nedenle bir sistem üzerinde değişikliklerin yapılması, sonuçların bilgisayar ortamında analiz edilmesi ihtiyacı doğmuştur. Herhangi bir süreçte iyileştirme yapmak için tasarımı yapmadan önce uygulanan değişikliğin performansa etkisi görülmek istenir. Geri dönüşü zor tasarımlardan önce, yapılacak değişimle beklenen performans yükselmesini sistem simülasyonu ile bilgisayar ortamında görmek mümkündür. Yapılan değişimin etkileri simülasyon sayesinde önceden tahmin edilebilir (Baran, 2019).

Simülasyon, bir sistemin belli bir zaman diliminde çalışma performansını bilgisayar kullanarak taklit eden bir analiz aracıdır (Law ve Kelton, 2007). Simülasyon ile gerçek bir sistemin işleyişi taklit edilir. Sisteme ait yapay bir geçmiş oluşturulur ve yapılan testlerle gerçek sisteme ait çıkarımlarda bulunulur. Simülasyonun ana amacı temel performans göstergelerindeki değişimi ölçmek ve farklı denemelerle üst üste bazı iyileştirmeler gerçekleştirmektir. Bir simülasyon modelinin girdileri değiştirilip çıktılar analiz edilerek, farklı değişkenlerin sistem içindeki önemi ve birbirleriyle etkileşimleri belirlenebilir (Banks, 1999).

Simülasyon yoluyla incelenecek bir matematiksel model, 6 farklı boyutta sınıflandırılabilir: (Law ve Kelton, 2007)

Statik Model: Bir sistemin bir andaki veya belli bir dönemdeki durumu için, zaman boyutu dikkate alınmadan kurulan model statik model olarak adlandırılmaktadır. Statik simülasyon modeli, belirli bir zamanda bir sistemin temsilidir ve bu modelde zaman hiçbir rol oynamaz. Genellikle statik simülasyon modelleri Monte-Carlo simülasyonu olarak adlandırılmaktadırlar.

Dinamik Model: Zamanla sistem üzerindeki değişimlerin gözlemlendiği modeller dinamik model olarak adlandırılmaktadır. Dinamik modeller, zaman kavramı ile değişim geçiren matematiksel modellerdir. Dolayısı ile dinamik modeller zamanla gelişen ve değişen sistemlerde kullanılır. Bir fabrikadaki konveyör sistemi veya bir hastanenin acil servisi dinamik modele örnek verilebilir.

Deterministik Model: Bir simülasyon modeli herhangi bir olasılıksal bileşen içermiyorsa deterministik model olarak adlandırılır. Deterministik modelin geleceği tahmin edilebilir. Sistem açık ve net şekilde tanımlanabilir. Bu modellerde dışsal ve içsel faktörler raslantısal değildir.

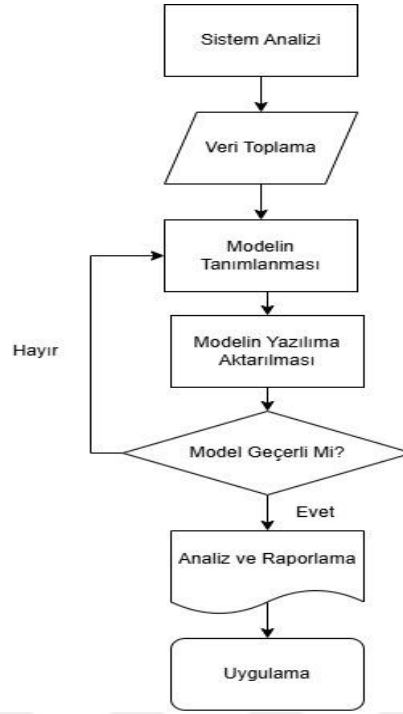
Stokastik Model: Birçok sistem rastgele değişken içerir ve rastgele değişken içeren sistemler stokastik model olarak adlandırılır. Yani davranışı önceden kestirilemeyen sistemler stokastiktir. Çoğu kuyruk ve envanter sistemi stokastik olarak modellenir. Stokastik simülasyon modelleri, rastgele olan çıktılar üretir. Bu nedenle, model gerçek özelliklerinin yalnızca bir tahmini olarak ele alınmaktadır. Bu durum, stokastik modellerin ana dezavantajlarından biridir.

Sürekli Model: Sürekli olay simülasyonunda, sistemin durumu sürekli olarak tüm zaman sürecinde değişebilir.

Kesikli Model: Kesikli olay simülasyon modelinde, sistemin durumu belli bir zaman aralığında ve sonlu sayıda zaman noktasında değişmektedir.

Ele alınan çalışmaya ait simülasyon modeli dinamik, stokastik ve sürekli model kapsamına girmektedir.

Simülasyon, gerçek durumun modellenmesini sağlayarak sistemde yapılacak değişikliklerin etkilerini daha net bir şekilde tanımlamaya yardımcı olan bir yöntemdir (López ve ark., 2017). Gerçek sistemlere müdahale edilmeden mevcut sistemlerde yapılacak değişimlerin kontrollü olmasını sağlarken, yeni sistemlerde olası farklı koşulların performansa etkilerinin tahmin edilebilmesine olanak sağlaması ile kullanımı yaygınlaşmıştır (Baran, 2019). Bir simülasyon modelinin aşamaları Şekil 3.3'te özetlenmiştir.



Şekil 3.3. Bir Simülasyon Modelinin Aşamaları

Simülasyon modelinin ilk aşaması sistem analizi aşamasıdır. Bu aşamada mevcut sistem incelenmekte ve problem tanımı yapılmaktadır. İkinci aşamada sistemin yapısı analiz edildikten sonra sisteme ait veriler toplanır. Sistemin modellenmesinin doğru ve geçerli olması için verinin doğru olması çok önemlidir. Sisteme ait geçmiş dönem verisi varsa alınır ve gerekli gözlemler bu adımda tamamlanır. Modelde kullanılacak parametre ve değişkenler tespit edilir. Kullanılacak yazılım belirlenerek kurulan model yazılıma aktarılır. Böylece sistem bilgisayar ortamına aktarılmış olur. Ardından toplanan veriler yardımıyla simülasyon modeli kurulur ve sistem simüle edilmiş olur. Model çalıştırdıktan sonra ilk olarak modelin gerçek durumla uyumu kontrol edilir. Eğer sistem gerçek durumu yansıtıyorsa devam edilir, yansıtmıyorsa modelde ya da verilerde yapılması gereken düzeltmeler tamamlanır. Kurulan modele istatistiksel güvenilirlik testleri yapılır. Modelin güvenilirliği konusunda bilgi veren bu testler ile modelin doğru çalışıp çalışmadığı test edilir. Model güvenilir sonuçlar verirse uygulama aşamasına geçilir. Çalışma sonucunda sistemde önerilen iyileştirmeler ve revizeler tamamlanır.

Benzetim Modeli Temel Bileşenleri

Bir benzetim modeli temel modeli bazı bileşenlerden oluşur. Sistemin doğru çalışması için bileşenlerin doğru tanımlanmış olması gerekmektedir. Benzetim modeli temel bileşenleri şunlardır:

Varlıklar: Sisteme giriş yapan, bazı süreçlerden geçen ve sistemden çıkış yapan nesnelerdir. Varlıklar sisteme göre değişkenlik gösterir. Varlıklar sistemin dinamik unsurlarıdır.

Özellikler: Varlıkların sahip olduğu özellikler olarak tanımlanabilir. Bir varlığın birden fazla özelliği bulunabilir. Varlıkların farkı bu sayede sisteme tanıtılır.

Kaynaklar: Varlıkların belirli süreçleri tamamlayabilmesi için gerekli ve genellikle sınırlı sayıda bulunan nesnelerdir.

Kuyruklar: Sistemde tanımlı kaynaklar sebebiyle işlem görmeden önce varlıkların beklediği kısımlardır. Bir sisteme ait performansın değerlendirilmesinde kuyruklar önemli yer tutar. Kuyruk uzunluğu ve bekleme süresi sistem performansı takibinde kritik öneme sahiptir.

Olaylar: Sisteme giriş yapan bir varlığın belirli zamanlarda maruz kaldığı prosesler, olayları oluşturur. Simülasyon modellerinin dinamik yapısı kaynaklı olayların modellenmesinin doğruluğu önemlidir.

Durum Değişkenleri: Sistem içinde değişkenlik gösteren, sistemin mevcut durumunu gösteren değişkenlerdir.

Zaman: Simülasyonun ilerleyiş şeklini ifade eder. Olayların karakteristiğine göre süreç sürekli ya da kesikli olarak ilerler.

Çıktılar: Sisteme giriş yapan varlıkların belirli süreçlerden geçtikten sonra sistemden çıkışındaki performans göstergelerini ifade eder. Sistemin performansı çıktılar üzerinden belirlenir. Ortalama bekleme süresi, sistemden çıkış yapan çıktı sayısı, kaynak kullanım oranı vb. sistem çıktılarına örnektir.

Simülasyon Temel Amaçları

Bir simülasyon modelinin kurulmasındaki için temel amaçlar şunlardır:

- Değerlendirme,
- Karşılaştırma,
- Tahmin,
- Duyarlılık analizi,
- Optimizasyon,
- Darboğaz analizi,
- Uygulamadır.

Simülasyon modelinin kullanım amaçları şekil 3.4’de açıklanmıştır.

Değerlendirme

- Mevcut sistemin iş akışını gözlemlemek için kullanılır.

Karşılaştırma

- Mevcut sistem ve iyileştirme önerilen yeni sisteme ait performans göstergelerini karşılaştırmak için kullanılır.

Tahmin

- İyileştirme önerisi doğrultusunda kurulan modele ait performans göstergelerini tahmin etmek amacıyla kullanılır.

Duyarlılık Analizi

- Sistem performansını etkileyen değişkenlerin etkisini kıyaslamak için kullanılır.

Optimizasyon

- Sitem performansını optimum seviyeye getirecek farklı senaryoların tespiti için kullanılır.

Darboğaz Analizi

- Mevcut sisteme ait darboğazların tespi edilmesi amacıyla kullanılır.

Uygulama

- Tespit edilen darboğazlar ortadan kaldırılarak, yüksek performanslı optimum senaryonun uygulamaya geçirilmesi sonucu yeni sistemin davranışını gözlemlemek amacıyla kullanılır.

Şekil 3.4. Simülasyon Modellerinin Temel Amaçları

Simülasyon Avantajları ve Dezavantajları

Simülasyon programının bazı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Avantajları aşağıdaki şekilde sıralanmıştır:

- Simülasyon karmaşık sistemlerin daha kolay modellenmesine yardımcı olmaktadır.
- Yeni bir sistemin farklı senaryolar altındaki davranışını test etmek zaman alıcı ve maliyetlidir. Ancak simülasyon yöntemi ile bu süreç daha hızlı ve kolay hale getirilebilmektedir.
- Sisteme ait darboğazların belirlenip yok edilmesinde etkili bir yöntemdir.
- Sistemde test etmeden bir değişiklik yapmak performans açısından çok risklidir. Ancak simülasyon sayesinde yapılacak değişiklik bilgisayar ortamında test edilip risk azaltılabilir.
- Simülasyon esnek bir çözüm yöntemidir.
- Kademeli değişikliğe imkan tanımaktadır.

- Sistemde yapılacak bir değişikliğin performansa etkisini belirlemek uzun zaman alır. Ancak simülasyon ile kısa sürede analiz yapılabilir.
- Anlaşılması kolay bir modeldir.
- Klasik çözüm yöntemlerinin yetersiz kaldığı durumlarda kullanıcılara farklı çözüm önerileri sunmaktadır.
- Gerçek sistemlerin taklidi kolayca sağlanabilir.
- Sonuçlar grafik ve animasyonlarla görsel hale getirilebilir.
- Sistem optimizasyonu için farklı senaryoların kolaylıkla test edilmesi imkanı sağlamaktadır (Çörekçi, 2014)

Simülasyonun dezavantajları aşağıdaki şekilde sıralanmıştır:

- Kullanılan verilerin doğruluğu önem arz etmektedir. Verinin yanlış olması modelin sonuçlarının hatalı olmasına neden olabilmektedir.
- Sistemdeki bazı gerçek işleyişler modele tam olarak yansıtılamayabilir (insan davranışı gibi). Gerçek veriler dinamik bir yapıya sahip olduğu için modelde sürekli bir güncelleme gerekmektedir.
- Veri alma noktasında gereken özen sağlanmazsa ciddi bir iş yükü ve maliyet kaybına sebep olabilmektedir.
- Karmaşık iş akışına sahip sistemleri modellemek zor ve zaman alıcı olabilmektedir.
- Doğru sonuç alabilmek için verilerin eksiksiz olması gerekmektedir.
- Bazı durumlarda gerçek zamanlı, anlık karar alma ihtiyacı olduğunda simülasyon yetersiz kalabilmektedir.
- Simülasyon modellerini kurmak ve yorumlamak için özel bilgi ve deneyim gerekmektedir (Çörekçi, 2014).

Benzetim Teknikleri

Simülasyon türleri zamanın ilerleyiş şekline, sistemin yapısına ve değişkenlere göre farklı türlere ayrılmaktadır. Bu bölümde sık kullanılan bazı simülasyon teknikleri açıklanmıştır.

Monte Carlo Simülasyonu

Simülasyon kullanılarak doğrudan analitik yöntemlerin uygulanması zordur. Simülasyon modelleri tekrara dayanmaktadır. Her tekrar farklı koşullar altında yapılarak değişkenlerin sonuca etkisi kıyaslanır. Statik simülasyon kategorisine giren Monte-Carlo simülasyonu, sonuçları elde etmek ve hesaplamak için tekrarlı rastgele örneklem kullanan benzersiz bir hesaplama algoritmasıdır.

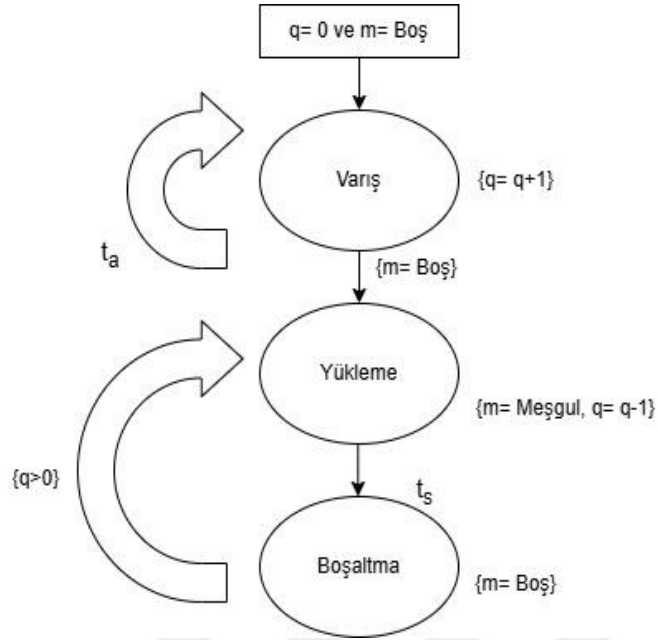
Genellikle farklı simülasyon problem modellerinin fonksiyonlarının sayısal entegrasyonu ve risk değerlendirmesi amacıyla kullanılmaktadır (Choi ve Kang, 2013).

Monte Carlo metodunda, düzgün dağılımdan rastsal değişkenler elde etmek ve değişkenler için uygun dağılıma ulaşmak hedeflenmektedir. Bu metotta bütün değerlerin meydana gelmesi eşit olasılığa sahiptir. Bütün yeni değerler önceki elde edilen değerlerden bağımsızdır.

Ayrık Olay Simülasyonu

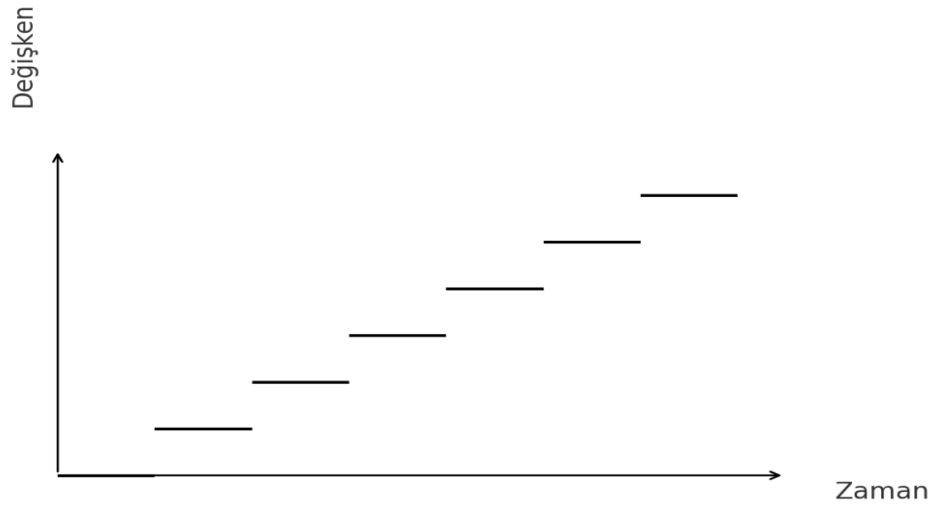
Ayrık olay simülasyonu bir sistemin süreç akışını taklit etmek için kullanılan nicel bir simülasyon modelidir (Berg ve ark., 2009). Ayrık olay simülasyonunda durum değişkeni ayrık zaman aralıklarında değişir. Ayrık olay simülasyonunun genel çerçevesinin oluşturulması için olay listesi çıkarılır. Ayrık olay simülasyonunun önemli bir özelliği, bir olay meydana gelmezse, durum değişkenlerinin değişmemesidir. Ayrık olay simülasyonunun algoritması, simülasyon saatinin sıfıra ayarlanması ve ilk olayların üretimi ile başlamaktadır. Daha sonra, en yakın olay beklenir ve simülasyon yeterli sayıda tekrarlama yaparak devam eder (Altıok ve Melamed, 2007). Bu simülasyon modelinde sistemdeki olaylar kronolojik şekilde sıralanmaktadır (Choi ve Kang, 2013).

Bu model, en çok imalat ve sağlık sistemlerinde tercih edilmektedir. Sağlık sistemlerinde operasyonel karar alma aşamasında “what-if” analizi yaparken, ayrık olay simülasyon modeli tercih edilebilir. Ayrık olay simülasyonu, stokastik veriler içeren sistemlerde ve karmaşık yapıya sahip sistemlerin modellenmesinde bile etkilidir. Temel amaç farklı senaryoların analizi, mevcut durumu en iyileme ve performans artışı sağlamaktır. Ayrık olay simülasyonunun odak noktası yeni bir olay meydana geldiğinde sistemin değişime uğramasıdır. Olayların işlem sürelerine göre olasılık dağılımları belirlenir. Ayrık olay simülasyonunda kaynaklar, varlıklar ve iş akışı tanımlanır. Tanımlanan girdiler yardımıyla sisteme ait model kurulur ve sistem temsil edilmiş olur (Chahal ve Eldabi, 2010). Byoung Choi tarafından Ayrık Olay Simülasyonu Şekil 3.5’teki şekilde ifade edilmiştir.



Şekil 3.5. Ayrık Olay Simülasyon Yapısı

Başlangıçta kuyrukta bekleyen eleman bulunmamaktadır ve makine/işlemci boştur. Sisteme ilk varlık girişi olur. Varlık, makine/işlemciye yüklenir. Makine dolu iken yeni gelen her varlık makine boş duruma geçene kadar kuyrukta bekler. t_a yükleme işlem süresini ifade eder. Yükleme işlemi tamamlandıktan sonra makine/işlemci tekrar boş konuma geçer ve kuyruktan bir eleman daha eksilerek yüklemesi başlar. Sistem akışı bu şekilde devam eder. Ayrık olay simülasyonu kesikli sistemleri modellemek için kullanılmaktadır. Kesikli olay simülasyonunun zamana göre değişimi Şekil 3.6’da verilmiştir.

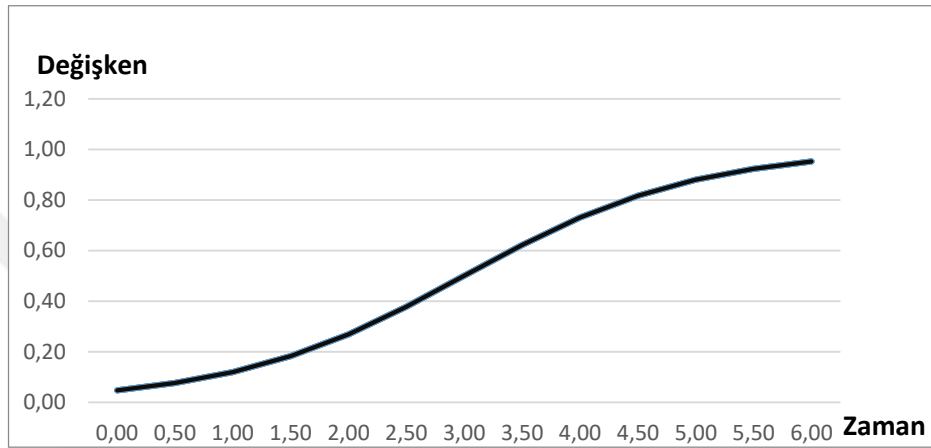


Şekil 3.6. Kesikli Simülasyonunun Zamana göre Değişimi

Sürekli Simülasyon

Dinamik ve fiziksel bir sistemde, simülasyon süresi içinde sistem tepkisinin diferansiyel denklemler içeren matematiksel denklemlerle takip edildiği sistemler sürekli simülasyonlar olarak adlandırılır (Choi ve Kang, 2013). Bu tür simülasyonlarda zamansal kesinti söz konusu değildir.

Sürekli değişen bir dizi bağımlı değişken (davranış, fiziksel koşul, süreç) içeren sistemler sürekli simülasyonlar yardımıyla modellenir (Fortier ve Michel, 2003). Sürekli simülasyon, sistemdeki değişikliklerin zaman içinde devamlı şekilde sürdüğü simülasyon çeşididir (Hillier ve Lieberman, 2001). Sürekli simülasyon modelleri için değişken zaman grafiği Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Sürekli Simülasyon Modelleri için Değişken Zaman Grafiği

Simülasyon Kullanım Alanları

Simülasyonlar, gerçek sistemleri taklit ederek, sistem elemanlarında yapılan değişikliklerin sonuca olan etkisini gözlemlene şansını sunmaktadır. Gerçek sistem, bilgisayar ortamında modellenerek maliyet ve zaman kaybı olmadan sistemde değişiklik yapılması sağlanır. Simülasyon modeli, karar alma aşamasında en iyi kararın alınması için kullanıcıya destek olur. Bu nedenle büyük sistemlerde ve projelerde simülasyon çok tercih edilen bir araçtır. Simülasyon, birçok farklı alanda kullanılmış ve günümüzde halen kullanılmaya devam etmektedir.

Simülasyon, ilk defa İkinci Dünya Savaşı sırasında Manhattan Projesinde nükleer patlamaların etkilerini tahmin etmek ve önlem almak amacıyla kullanılmıştır. İlk kullanım alanı olan askeriyede ve orduda hala yoğun kullanılmaktadır. Askeriyede; askeri personelin eğitim aşamasında, savaşta farklı senaryoların testi amacıyla, taktiksel, operasyonel ve stratejik kararların alınması aşamasında kullanılmaktadır. Simülasyonlar, stratejik kararların alınmasını kolaylaştırmaktadır. Askeriyede can kaybı ile sonuçlanabilecek riski azaltmaktadır. Bunlara ek olarak askeri pilotların eğitim aşamasında, gemi kaptanlarının eğitimi aşamasında, çeşitli askeri taşıtların ilk sürüş ve eğitimi aşamasında simülasyonlar çok tercih edilmektedir. Böylece eğitim aşamasında risk ve maliyet azalmaktadır.

Simülasyonun kullanıldığı bir diğer alan üretim sektörüdür. Üretim sektöründe çok farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Yeni bir proje tasarım aşamasında, kapasite planlamada, optimum üretim planını çıkarmada, tesis yeri yerleşim tasarımında, olası değişikliklerin değerlendirilmesinde, büyük ölçekli lojistik dağıtım sürecinde, stok kontrol sistemlerinin geliştirilmesinde simülasyondan yararlanılmaktadır. Üretim ortamında operasyonel düzeydeki işlerin planlamasında simülasyonun kullanılması zaman ve maliyet tasarrufu sağlayacaktır.

Politika ve ekonomi, simülasyonun kullanıldığı bir diğer alandır. Yöneticiler tarafından risk ve piyasa analizinde, alınan politik bir kararın etkilerinin analizinde simülasyon tercih edilen bir yöntemdir.

Simülasyon, tıp dünyasında tıp öğrencilerinin eğitimi ve pratik uygulama gerçekleştirme aşamasında, robotik cerrahi gibi yüksek teknoloji cerrahi girişimlerin etkisini gözlemlemede, salgın hastalıkların yayılımının izlenmesinde, kapasite darboğazı yaşayan hastane servislerinde ve yoğun bakımlarda, evde sağlık organizasyonunda, ambulans rotalamada, hastane personeli çizelgelemede, tümör gibi vücuda yerleşen hastalıkların gelişiminin takip edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Tıp dünyasında simülasyonun kullanılması hastaya zarar verme riskini azaltır, özel tedavi senaryolarının gerçekleştirilmesine olanak tanır. Böylece sağlık hizmetlerinin kalitesi artarak daha güvenli pratik ortam oluşturulmaktadır.

Simülasyon özetle; sağlık ve tıp, havacılık ve uzay, savunma ve askeri stratejiler, üretim ve endüstri, lojistik ve taşımacılık, enerji ve çevre, şehir planlama ve akıllı şehirler, ekonomi ve finans, otomotiv ve ulaşım sistemleri, eğitim ve öğrenme, tarım ve gıda üretimi, iklim ve doğa bilimleri, telekomünikasyon ve ağ yönetimi, oyun ve eğlence sektörü, inşaat ve yapı mühendisliği gibi çok farklı sektörlerde farklı amaçlarla kullanılmaktadır.

Sağlık Sektöründe Simülasyon

Simülasyon modellerinin belirsizliklerle başa çıkmak için uygun olması, darboğazları azaltmak, operasyonel verimliliği arttırmak, maliyeti azaltmak ve hizmet kalitesini artırmak gibi sistemdeki problemleri çözmek için kolaylıkla kullanılabilmesi sağlık hizmetinde kullanımını arttırmaktadır. Simülasyon sağlık kuruluşlarında hasta çizelgeleme, operasyon çizelgeleme, kaynak kısıtlı çizelgeleme gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır (Karadayı ve ark., 2019).

Bu çalışmada, mevcut durumu bilgisayar ortamına aktarmak ve yapılacak değişimlerin performansa etkilerini gözlemek amacıyla Arena simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Arena, sağlık sisteminde sürecin hızlı ve etkin bir şekilde modellenmesini sağlarken ve öngörücü modelleme akışlarının tasarlanmasında kullanıcı dostu yapısıyla etkili bir araç olmuştur. Arena kullanımının başlıca avantajları arasında; süreçleri dinamik animasyonlarla görselleştirerek gelecekteki karmaşık performansları gözlemek, model iyileştirme sonuçlarını sunmak ve iletebilmek, karmaşık ilişkileri belirleyerek iyileştirme fırsatlarını ve gelecekteki performansı simüle etmek ve bunların

nasıl yapıldığını analiz etmek yer almaktadır. Ek olarak, Arena farklı olasılıklarla sistemi gözlemlene şansı sayesinde en iyi kararın seçilebilmesine olanak tanımaktadır.

3.2.3. Kısıtlar Teorisi Kavramı

Kısıtlar Teorisi, İsraili fizikçi Dr. Eliyahu Moshe Goldratt tarafından 1980'lerin başında tasarlanmıştır. Goldratt ve ekibi tarafından üretim sistemlerinin optimizasyonu için “optimize edilmiş üretim teknolojisi” isimli bir sonlu program yazılımı geliştirilmiştir. Teorinin kökeni bu çalışma ile 70'li yıllara dayanmaktadır (Coxand Schleier, 2010). 1984 yılında, üretimi yöneten belirli fenomenleri açıklamaya odaklanan ve kuruluşlar için sürekli iyileştirme ve karar verme desteği sürecini öneren bir dizi kavram sunan “The Goal” kitabı yayınlanmıştır (Goldratt ve Cox 1984). Kitapta zarar eden bir fabrikanın kar eden bir fabrikaya dönüşme süreci anlatılmaktadır. Kitapta Kısıtlar Teorisi anlatılmış ve teori böylece ortaya çıkmıştır.

Kısıtlar teorisi, tam zamanlı üretim ve toplam kalite yönetimi gibi temel yöntemlere öncülük etmekle beraber ilk olarak üretim planlamada kullanılmıştır (Blackstone, 2001). Sonraki yıllarda ise Goldratt tarafından geliştirilerek yönetim ve maliyet muhasebesi ile de birlikte kullanılmaya başlanmıştır (Ronen, 2005). O zamandan bu zamana kullanılmaya devam eden Kısıtlar Teorisi; üretim, sağlık, lojistik, tedarik zinciri, yazılım, proje yönetimi, araştırma ve geliştirme, satış, pazarlama gibi birçok alanda yıllardır başarıyla uygulanmaktadır (Ikeziri ve ark., 2019).

Kısıtlar Teorisi, 1980'lerin başında Eliyahu Goldratt tarafından geliştirilmekle birlikte birçok araştırmacı tarafından bir yönetim felsefesi olarak tanımlanmaktadır (Ünal ve ark., 2006).

Kısıtlar Teorisi'nde sistem bir zincire benzetilmektedir (Şahin, 2012). Sistemin gücünü de o sistemi oluşturan en zayıf halkalar, yani sistem kısıtları belirlemektedir. Bu nedenle bir sistemin performansını arttırabilmesi için kısıtlarının belirlenip, en zayıf halkanın güçlendirilmesi gerekmektedir. Sistem performansını dolayısı ile karlılığını arttırmada kısıtların yönetilmesi bu bağlamda çok önemlidir. Kısıtların iyi yönetilmesi sonucu olarak, kısıtlardan kaynaklı maliyetler azalacaktır. Azalan maliyetler beraberinde sistemin karını ve verimliliğini arttıracak, böylece sistem rekabet gücü kazanarak pazarda söz sahibi olacaktır (Küçüksavaş ve ark., 2005).

Kısıtlar Teorisi Adımları

Kısıtlar Teorisi adımları aşağıda verilmiştir.

1. Amaç belirlenir.
2. Performans kriterleri belirlenir.
3. Sistem kısıtları belirlenir.
4. Kısıtı yok etme yolları tespit edilir.
5. Kısıtı kaldırmak için en uygun yol seçilir.

6. Kısıtta düzeltme yapılır ya da kısıt ortadan kaldırılır.
7. Üçüncü aşamaya dönülür ve bu döngü devam ettirilir.

Kısıtlar Teorisinin adımları Geri ve Ahituv tarafından Şekil 3.8’de özetlenmiştir (Geri ve Ahituv, 2008).



Şekil 3.8. Geri ve Ahituv Tarafından Belirlenen Kısıtlar Teorisinin Adımları

Kısıtlar Teorisi Kısıt Türleri

Kısıt türleri genelde beşe ayrılmakla birlikte bu konuda farklı görüşlere sahip uzmanlar da bulunmaktadır. Bu bölümde kısıt türleri ve açıklamaları verilmiştir.

Louderback ve Patterson kısıtları temel olarak iç ve dış kısıtlar şeklinde ikiye ayırmaktadır (Louderback ve Patterson, 1996).

Büyükyılmaz ve Gürkan tarafından ise kısıtlar beşe ayrılmıştır. Bu kısıtlar; pazar kısıtları, politik kısıtlar, hammadde kısıtları, lojistik kısıtlar ve kapasite kısıtlarıdır (Büyükyılmaz ve Gürkan, 2009). Şekil 3.9’da Kısıt türleri verilmiştir.



Şekil 3.9. Kısıt Türleri (Büyükyılmaz ve Gürkan, 2009)

Çizelge 3.1’de kısıt türleri kısaca açıklanmaktadır.

Çizelge 3.1. Kısıt türleri (Büyükyılmaz ve Gürkan, 2009)

Kısıt Türü	Açıklama
Pazar Kısıtları	İşletme kapasitesi ve pazar talebi arasında meydana gelen dengesizliklerin işletmeye yansması sonucu ortaya çıkan kısıt türüdür.
Kapasite Kısıtları	Pazar talebi karşısında, işletme kaynaklarının yetersiz kalması durumunda ortaya çıkan kısıt türüdür.
Politik Kısıtlar	Yöneticilerin karşlarına çıkan fırsatları değerlendirememeleri sonucu ortaya çıkan kısıt türüdür.
Hammadde Kısıtları	Hammadde yetersizliği ya da yokluğu durumunda karşılaşılan kısıt türüdür.
Lojistik Kısıtlar	İşletme faaliyetlerinin sınırlandırılmasına neden olan, işletme içinde uygulanan prosedürler sonucu ortaya çıkan kısıt türüdür.

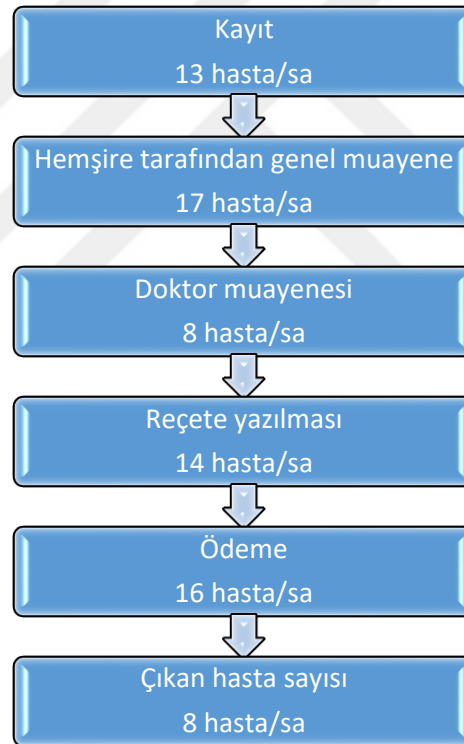
Kısıtlar sadece fiziksel değildir. Bir sistem fiziksel kısıtların yanında soyut kısıt da içerebilir. Etkisiz iletişim, kısıtlayıcı şirket politikaları ve hatta zayıf ekip morali soyut sistem kısıtlarına örnek verilebilir.

Kapasite Kısıtları

Talep dengesizlikleri sonucu sistem kapasitenin yetersiz kalması durumudur (Büyükyılmaz ve Gürkan, 2009). Eğer bir kaynağın mevcut kapasitesi üretilmesi gereken miktarı ya da istenilen hizmeti karşılamıyorsa kapasite kısıtı mevcuttur (Dettmer, 1997). Kapasite kısıtları makine veya kişi sayısını içerebildiği gibi, akışı da kısıtlayabilir. Birinci derecede kısıtlar, sistemin çıktı miktarını engellemektedir. İkinci derece kısıtlar ise birincil kısıtları destekleyen girdileri kısıtlamaktadır

(Duran, 2015) Her işletmede talebi karşılama amaçlı makine, çalışan sayısı ya da kalitesi kaynaklı kapasite sorunu yaşanabilmektedir. Kapasite sorunu yaşanan darboğaz nokta, sistemi komple etkileyeceğinden iş akışı bu durumdan olumsuz etkilenecektir (Karagün ve Sözen, 2017).

Kısıtlar Teorisinde kapasite kısıtını daha iyi anlamak için bir örnek verecek olursak; Breen ve ark (2002), tarafından yapılan çalışmada durum net şekilde ifade edilmiştir. Kısıtlar Teorisini bir sağlık kliniğinde ele almışlardır. Kayıttaki personel saatte 13 hasta, hemşire saatte 17 hasta, doktor saatte 8 hasta, reçete bölümü için saatte 14 hasta ve ödeme için saatte 16 hasta bakma kapasitesine sahiptir. Sistemin performansını darboğaz olan yer yani doktor kapasitesi belirlediği için sistem saatte 8 hastadan fazla çıkış yapamaz. Çünkü, bir hekim saatte maksimum 8 hastaya bakabiliyor. Burada sistemin kısıtını hekim kapasitesi oluşturmaktadır. Bu süreçten örnek verirsek, süreçte kısıt oluşturmayan bir sürecin performansını arttırmak sistemin performansını iyileştirmeyecektir. Örneğin hemşirenin saatlik hasta bakma sayısını 17'den 20' ye taşıması sistemin performansını arttırmayacaktır. Çünkü, hekim hala saatte 8 hasta kapasitesinde iş yapabilmektedir. Bu sisteme ait detaylar Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Breen ve ark (2002), Tarafından Ele Alınan Sistem Özeti

Malzeme Kısıtları

Malzeme kısıtı, en genel tanım olarak dışardan temin edilen malzemelerde sorun çıkması şeklinde ifade edilmektedir (Erol, 2008). Hem üretim için hem de hizmet sektörü için malzeme kısıtı aşılması gereken temel kısıtların başında gelmektedir. Malzeme kısıtları uzun dönemli ve kısa dönemli olmak üzere iki çeşittir. Uzun dönemli kısıt, pazarda bulunan malzeme kısıtı kaynaklı kısıt ifade ederken; kısa dönemli kısıt, teslimatın tedarikçi tarafından geciktirilmesi anlamına gelmektedir

(Kadioğlu, 2019). Malzeme kısıtını ortadan kaldırmak için ya yeni tedarikçi arayışına girilmelidir ya da tedarik edilen ürün veya hizmetin teslimatını öne çekmek için ödenen ücret arttırılabilir (Büyükyılmaz ve Gürkan, 2009).

Malzeme kısıtını önlemek için ABD' de kullanılan bir diğer yöntem sağlık kuruluşlarında tampon amaçlı ekstra oda tahsisi yapılmasıdır. Sağlık kuruluşlarındaki malzeme kitlerinin tam donanımlı bir şekilde hazır edilmesi amaçlanmaktadır. Malzeme kısıtı yaşamamak adına haftalık tampon yönetimi toplantıları yapılmaktadır (Cox III, 2021).

Sağlık sisteminde malzeme kısıtı laboratuvar sayısı, ekipman sayısı, yatak sayısı vb. olabilmektedir.

Pazar (Piyasa) Kısıtları

Sunulacak ürün ya da hizmet çıktılarının müşteriye ulaştırılmasında pazarda yeterli kapasite olmaması durumunda ortaya çıkan kısıt türüdür. Bu kısıtın yok edilmesi ürün ya da hizmet üreticisinin yetkinliğinde olmadığı için dış faktörler kaynaklı kısıtlar grubuna girer (Büyükyılmaz ve Gürkan 2009). Dışsal faktörlere bağlı bir kısıt olan pazar kısıtı, yönetim politikaları ile kontrol altına alınabilir (Solak, 2012). Pazar kısıtı olduğu durumda kuruluş hizmetini sunamayacağı için kuruluşun kar etmesi mümkün olmayacaktır. Pazar kısıtları da diğer kısıtlarda olduğu gibi yok edilebilir ya da olumsuz etkileri azaltılabilir. Pazar kısıtlarının ortadan kaldırılması kuruluşun talebini arttırmayla, yeni pazarlar bulmayla ya da ürün/hizmet çeşitliliğini artırmaya yönelik çalışmalarla mümkündür (Ünal ve ark., 2007).

Lojistik Kısıtlar

Üretim alanından tüketim noktasına kadar geçen süreç içerisinde her türlü ürün, bilgi ve para akışının yönetilmesine yardımcı olan faaliyetlerin tümü "lojistik" olarak ifade edilir (Lambert ve ark., 1998). Lojistik performansı günümüzde bir iktisadi gelişmişlik göstergesidir (Bayraktutan ve Özbilgin, 2015). Bu nedenle lojistik performansının doğru yönetilmesi sistemin performansını doğrudan etkileyecektir. Her sektörde olduğu gibi hizmet sektörünün öncüsü sağlık sektöründe de lojistik önemli bir sistem elemanıdır. Lojistik zaman zaman bir kısıt olarak karşımıza çıkabilir. Tedarik zincirinde üretimden gelen bir ürün ya da satın alınan bir hizmet doğru zamanda, doğru yerde doğru şekilde bulunmuyorsa bunun bir nedeni de lojistik kısıtlardır. Lojistik kısıtın sonucu olarak ortaya stok veya hizmet eksikliği sorunları çıkmaktadır. Dolayısı ile diyebiliriz ki lojistikte yaşanan bir sorun sistemin tamamını doğrudan etkileyebilir (Karagün ve Sözen, 2017).

Yönetimsel Kısıtlar

Yönetim, faaliyetlerin gerçekleştirilmesinde fırsatlara uyum sağlamayı sınırlayıcı kurallar koyabilir. Etkin olmayan politikalar, kısıtların yönetimini zorlaştırırken kısıtlı olmayan kaynaklardan faydalanılmasını da engellemektedir (Kaygusuz, 2005). Sistemi iki şekilde etkileyen yönetim

kısıtlarının birincisi, sistemin düzeninin bozulmasıdır. İkincisi ise sistemdeki kısıtların etkilerini kapsayabilmektedir (Utku, 2007).

Davranışsal Kısıtlar

Davranış kısıtı işletmenin performans ölçümü ile yakın ilişkilidir. Goldratt “Bana beni nasıl ölçeceğini söyle, ben de sana nasıl davranacağımı söyleyeyim.” (Şahin, 2012) sözüyle aslında bu kısıtı açıkça ifade etmiştir. Davranışsal kısıtlar, gerçek ile davranışın uyuşmaması durumunda performansı negatif etkileme şeklinde ifade edilmektedir (Kaygusuz, 2005). Kuruluşlarda meydana gelen sorunların temel sebepleri davranışsal kısıtlar olmayabilir, ancak bu kısıtlar oluştuğunda ortadan kaldırılması da oldukça zor olabilmektedir (Utku, 2007).

Kısıtlar Teorisinin Amacı ve Özellikleri

Kısıtlar Teorisi, bütünün parçaların toplamından çok daha fazlası olduğunu ve sistem içinde karmaşık bir ilişkinin var olduğunu savunan bir felsefedir. Goldratt ve ark (2000)’nın bir açılış konuşmasında vurguladığı gibi, "Küresel resmi asla gözden kaçırmamalıyız". Kısıtlar teorisinin temel amacı, üretim sürecinde problemlere neden olan parçaların (en zayıf halkanın) belirlenmesi, en zayıf halkanın güçlendirilmesi ve böylece işletmenin karlılığının ve performansının artırılmasıdır (Akkaş, 2016). Kısıtlar Teorisinin temel özellikleri aşağıda verilmiştir.

Tüm sistemlerde verimliliği sınırlayan en az bir kısıt bulunmaktadır. Bu sistemdeki kısıtı iyileştirmek, toplam sistem performansının artmasına katkı sağlar (Amonge, 2015).

Sistemi bir zincire benzetilir ve bu zincirin performansı en zayıf halkanın gücü ile sınırlıdır. Bu nedenle kısıtlar teorisinde amaç, sistemin gücünü sınırlayan en zayıf halkayı güçlendirmektir (Nave, 2002).

- Sisteme sunulan bir optimal çözüm zaman içinde işe yaramaz hale gelebilir.
- Bir çözümün verimli olması için süreçte devamlı iyileştirme yapmak gereklidir.
- Sistemler zincirlere benzer. Her sistemin onu engelleyen bir en zayıf halkası bulunmaktadır.
- En zayıf halkanın dışında bir halkanın iyileştirilmesi sistem performansını arttırmayacaktır.
- Sistemde yapılacak bir değişikliğin kararını vermek için sistemi çok iyi anlamak gerekmektedir.
- Sistemin amacının, büyüklüğünün ve işleyişinin eksiksiz bilinmesi gerekmektedir (Dettmer, 1997).

Kısıtlar Teorisinin Varsayımları

Kısıtlar Teorisi yaklaşımı bazı varsayımlara dayanmaktadır. Bu varsayımlar aşağıda verilmiştir (Huang, 1999; Tollington, 1998; Kaygusuz, 2006).

1. İşletmelerin temel hedefleri kar sağlamaktır.

Bir işletmenin mevcuttaki ve gelecekteki en büyük amacı kar elde etmektir. İşletme bir zincire benzetilmiş ve zincirin gücünü en zayıf halka belirleyecektir. Bunun için en zayıf halka belirlenmeli ve güçlendirilmelidir.

2. Her ürün en az bir kısıta sahiptir.

Kısıtlar teorisi yaklaşımına göre işletmeye etki eden iç veya dış faktörler karı sınırlayabilir. İşletmenin temel amacı kar etmek olduğu için karı engelleyici iç veya dış faktörler tespit edilmelidir. Öncelikle ilgili kısıtın uzun vadeli mi yoksa kısa vadeli mi bir kısıt oldu belirlenmelidir. Kısıt geçici ise darboğaz olarak adlandırılır. Eğer uzun dönemli engelleyici bir faktör ise kısıt olarak adlandırılır. Üretim ile ilgili süreçlerde genelde kapasite kısıtı bulunmaktadır. Bu kısıtın bir iç kısıt olması kaynaklı kontrolü kolaydır. Ancak işletmenin kârını engelleyen bir dış kısıt var ise bu kısıtın yönetimi daha zor ve zaman alıcıdır.

3. Zincirdeki ürün akışı yönetimi zordur.

Bu varsayım bir önceki varsayım ile bağlantılıdır. Sistem karını ve performansını engelleyen bir kısıt bulunduğu anda bu kısıtı yok etmek ve zincir içinde akış yönetimini sağlamak kolay değildir. Zincir içerisinde iyileştirme yaparken beklenmeyen şartlar oluşabilir. Zincir planlaması yaparken kısıtın olduğu alanda azami çıktı elde edilecek şekilde planlama yapılmalıdır. Ürün ve ürün karmasında değişiklik olacağı unutulmamalıdır.

4. Direkt işçilik maliyetleri dönem gideri olarak sayılır.

Kısıtlar teorisinin bir diğer varsayımı da malzeme ve hammadde dışındaki tüm giderlerin dönem gideri olarak kabul edilmesidir. Kısıtlar teorisi farklı bir maliyet yönetimi olarak da tanımlanmaktadır. Kısa dönem içerisinde direkt işçilik giderleri sabit maliyet kapsamında yer almalıdır.

3.2.4. Optimizasyon

Optimizasyon, bir sistemi veya süreci oluşturan kaynakların verimli şekilde kullanılarak, sürecin veya sistemin çalışmasının en uygun hale getirilmesi amacıyla matematiksel veya hesaplmalı yöntemlerin bütünüdür. Bu yöntemler genelde belirli amaçlara ulaşmak için sistemde yapılacak iyileştirmeleri içerir. Örneğin kar maksimizasyonu, maliyet minimizasyonu, maksimum verimlilik, performans artışı bu amaçlar arasında yer almaktadır. Optimizasyon, üretim planlamadan, stok kontrolü ve yönetimine, lojistik hizmetlerini iyileştirilmesinden rotalama problemlerine kadar birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Temelde, sistemde bulunan kısıtlı kaynakların nasıl daha verimli kullanılabileceğini inceler. Optimizasyon süreci, modelleme ve çözümleme olmak

üzere iki temel aşamadan oluşur. Modelleme aşamasında gerçek dünyada karşılaşılan bir problemin matematiksel olarak ifadesi geliştirilir. Çözümleme adımı ise, geliştirilen modelin çeşitli yöntemler aracılığı ile optimal sonuca ulaşılması sağlanır.

OptQuest

OptQuest, karmaşık sistem simülasyonlarında optimal çözümler elde etmek amacıyla geliştirilmiş bir optimizasyon aracıdır. OptQuest, Glover ve ark, (2007), tarafından geliştirilmiştir. OptQuest, arka planda scatter search ve tabu search stratejilerini kullanır. İlk olarak, Mikro Saint 2.0 ile modellenen ayrık olay simülasyonlarını optimize etmek amacıyla tasarlanmıştır. Ancak günümüzde Arena, Promodel, Simul8 ve Simio gibi simülasyon yazılımlarının optimizasyon aracı olarak kullanılmaktadır (Laguna, 2011).

Scatter Search: Meta sezgisel bir optimizasyon aracıdır. Dilimize “dağılım araması” veya “serpme araması” olarak geçmiştir. Bu yöntem, yalnızca başlangıç çözümlerine dayanan geleneksel yaklaşımlardan daha kaliteli çözümler elde etmek amacıyla, karar kurallarını ve kısıtlamaları birleştirmeye yönelik stratejilerden oluşmaktadır. OptQuest gibi optimizasyon araçları, karmaşık sistemlerin optimizasyonu aşamasında bu yöntemi kullanarak, genellikle iki ya da daha fazla referans çözümün birleştirilmesi ile daha verimli sonuçlar elde etmeyi hedeflemektedir.

Dağılım araması yöntemi 5 yöntemden oluşur:

1. Çeşitlendirme Oluşturma
2. İyileştirme
3. Referans Seti Güncelleme
4. Alt Küme Oluşturma
5. Çözüm Birleştirme

Çeşitlendirme oluşturma yöntemi, aramayı başlatmanın temeli olan çeşitli çözümler kümesi oluşturmak için kullanılır.

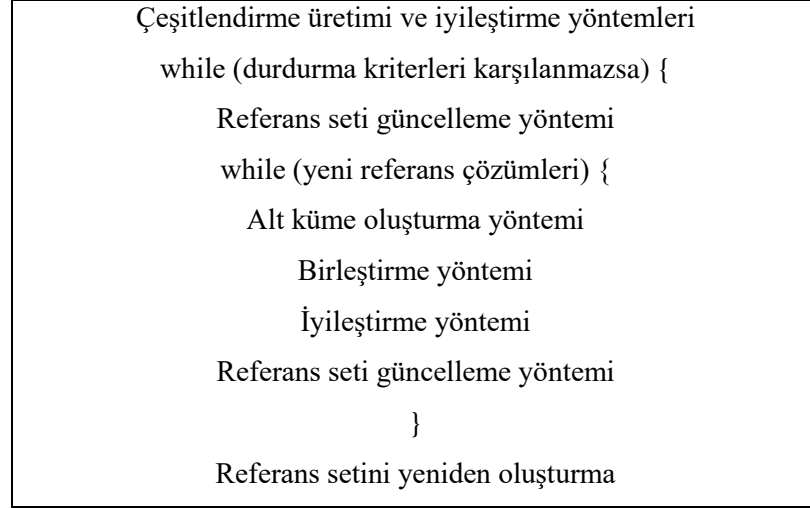
İyileştirme yöntemi kaliteyi iyileştirmeyi ifade eder. Genellikle amaç fonksiyonun değeri ile ölçülmektedir.

Referans seti güncelleme, herhangi bir dağılım arama uygulamasının ana yinelemeli döngüsünde birleştirilen bir çözüm kümesini oluşturma ve sürdürme sürecini ifade eder.

Alt küme oluşturma yöntemi, birleştirme yönteminin girdisi haline gelen referans çözümlerinin alt kümelerini üretir.

Çözüm birleştirme yöntemi, yeni deneme çözümleri oluşturmak için alt küme oluşturma yönteminden elde edilen çıktıyı kullanmaktadır.

Dağılım arama metodolojisi Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11. Dağılım Arama Metodolojisi

Tabu Search: Tabu Arama, optimizasyonun çözüm uzayında, yerel optimalden daha iyi çözüm bulma amacıyla olan bir meta-sezgisel yöntemdir. Tabu arama, yerel arama veya komşu arama metodu ile başlar. Belirlenen sonlandırma koşulları sağlanana kadar kademeli olarak çözüm aramaya devam eder (Glover ve ark., 2007). Bu süreçte bulunan değerlere tabu olarak işaret konulur ve bir daha bu çözümle aynı sonucu bulup zaman kaybı yaşanmaz (Glover ve Laguna, 1997). Böylece aynı değeri veren çözümler, optimizasyon işlemi sırasında gereksiz yere yeniden değerlendirilmez.

OptQuest'in İleri Seviye Özellikleri

Çözüm Üretimi: OptQuest, doğrusal veya karma tam sayılı programlama kullanarak problemlere çözüm üretir. Diğer kısıt türleri için ceza fonksiyonlarını kullanmaktadır.

Proximity Ölçümleri: Uygun olmayan çözümler için uygun çözüme en yakın çözümü üretmeye çalışır. Örnek olarak, sürekli değişken içeren sistemlerde çözüm aşamasında, öklid mesafesi gibi uygun ölçütler kullanılmaktadır.

Paralel Hesaplama: OptQuest ile birden fazla çözüm aynı anda yani paralel olarak değerlendirilebilmektedir. Bu özellik sayesinde çözüm süresinden tasarruf sağlanmakta ve hız artmaktadır.

Çok Amaçlı Optimizasyon: OptQuest, birden fazla çıkış üreten ve birbirine zıt olabilen hedefleri aynı çözüm uzayında değerlendirerek optimize edebilir. Bu özellik, pareto sınırını oluşturmak için iki aşamalı bir süreçle çalışmaktadır.

Ceza Fonksiyonları: Doğrusal olmayan kısıtlar ve çıkış değişkenlerine dayalı kısıtlar için ceza fonksiyonları kullanılmaktadır. Bu özellik, uygun olmayan çözümler için cezalar eklenir ve geçerli çözüm uzayında uygun çözüm aranmaya devam edilir.

Esneklik ve Kullanıcı Ayarları: OptQuest, farklı problem türlerine göre çözüm seçimi yapılabilir. OptQuest, farklı çeşitte optimizasyon modellerine uyarlanabilmektedir. Ek olarak, kullanıcıya optimizasyon ayarlarında değişiklik yapma esnekliği sunmaktadır (Laguna, 2011).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı Çocuk Acil bölümünde iş akışını iyileştirmek ve performans artışı sağlamak amacıyla Arena simülasyon modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model için Arena OptQuest platformunda sisteme ait kısıtlar ve belirlenen amaç fonksiyonu doğrultusunda optimizasyon yapılmıştır. Bu bölümde geliştirilen model ve yapılan optimizasyon testlerinin sonuçlarına ait bulgulara yer verilmiştir. Sırasıyla acil servis süreç analizi, simülasyon veri hazırlığı, istatistiksel analiz ve dağılımların belirlenmesi, acil servis simülasyon uygulaması, model geçerliliğinin sağlanması, model optimizasyonu, alternatif senaryolar ve simülasyon çıktı analizi bulgularına yer verilmiştir.

4.1. Acil Servis Süreç Analizi

İlk yardım kelimesi ilk defa 1881’de savaş yaralıları için çıkarılan bir yönetmelikte kullanılmıştır. Acil ve ilk yardım sistemlerinin kurucusu olarak tanınan cerrah Esmarsch Schleswig 18. Yüzyılda ilk yardımın önemini vurgulayan bir eser yazmıştır. İlk yardım kavramının tarihsel gelişimi savaş döneminde yaralı askerlerin cepheden taşınması aşamasında hızlanmıştır (Dumlu, 2020). Acil tıp, hastanın hayati tehlikesinin olduğu riskli durumunda en hızlı ve uygun müdahalenin yapılmasını amaçlayan bir tıp disiplini (Kuşku Kıyak, 2013).

Weiss ve ark (2004) tarafından acil servis, 365 gün 7/24 kesintisiz hizmetin sunulduğu sağlık birimi olarak tanımlanmıştır. Acil servisin temel amacı hızlı bir tanı ile çok kısa sürede tıbbi ve cerrahi bir girişiminde bulunarak acil yardıma ihtiyaç duyulan hastaların tedavisinin sağlanmasıdır (Babatabar, 2020 ve Adriani, 2022). Acil servislerde hemen tedavi sunulmazsa ani şok durumları, sakatlıklar ya da ölümle karşılaşılabilir.

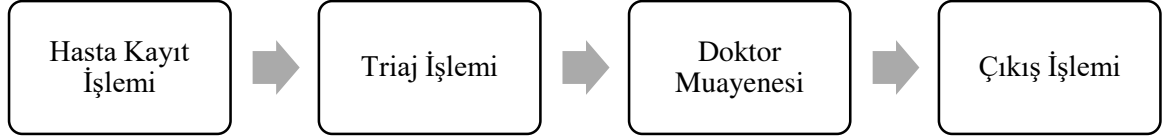
Acil servislerde kalabalıklaşma problemi bulunmaktadır. Acil servis kalabalıklığında birçok faktör etkilidir. Bunlara örnek olarak; acil personel sayısındaki yetersizlikler, acil serviste kullanılan malzeme ve ekipmanın kısıtlı olması, acil servis yatak sayısının yetersiz olması, konsültasyona bakan hekimlerden kaynaklı gecikmelerin yaşanması, laboratuvar ve görüntüleme alanındaki personel yada ekipman yetersizliği, sonuçların geç çıkması, triaj sistemi eksiklikleri, acil servis muayene alanlarının yetersiz olması ve günün belirli zamanlarında düzensiz hasta gelişi kaynaklı yığılma olması verilebilir (Derlet ve Richards, 2002).

Acil servislerin uluslararası kabul gören bir yoğunluk tanımı bulunmamaktadır (Derlet ve Richards, 2002). Hastalara acil servis tedavi alanları harici koridorlarda da tedavi verilmesi gerekiyorsa burada yoğunluktan bahsedilebilir.

Acil servisteki ortalama hasta sayısı, hastaların muayene için bekleme süresi, bekleme odalarındaki kalabalıklık, hastaların koridorlarda beklemesi, yatışı yapılacak hastanın yatak boşalana kadar bekleme süresi, doktora muayene olamadan kalabalık sebebiyle acil servisi terk eden hasta sayısı, acil servis personelinin yorgunluk sebebiyle hastaya bakım verme süresinin uzaması,

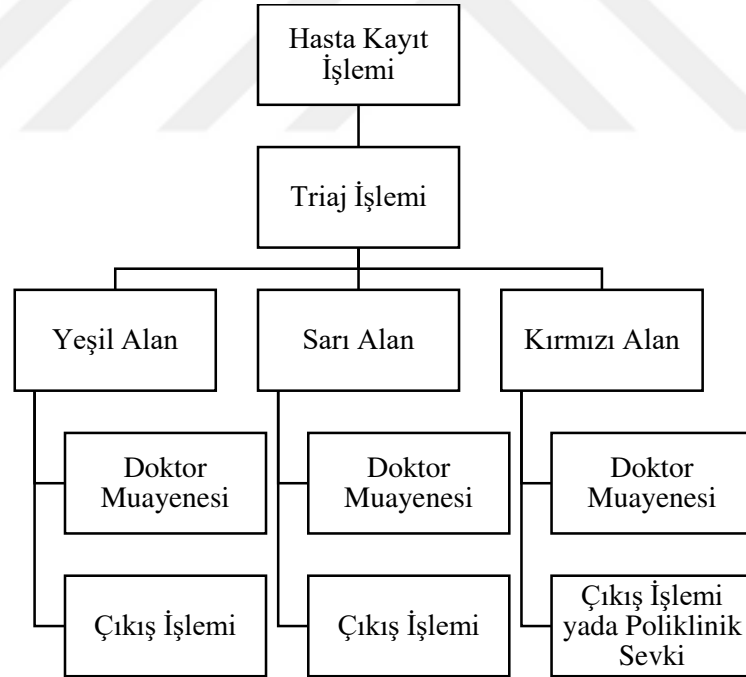
ambulansların başka hastaneye yönlendirilmesi gibi birçok sebep acil servis yoğunluğunun ölçütlerindendir.

Ülkelerin acil servis çalışma prensipleri birbirinden farklıdır. Bu çalışmada Türkiye acil servis çalışma prensipleri dikkate alınmıştır. Türkiye’deki acil servis hasta akışı genel olarak Şekil 4.1’ de verilmiştir.



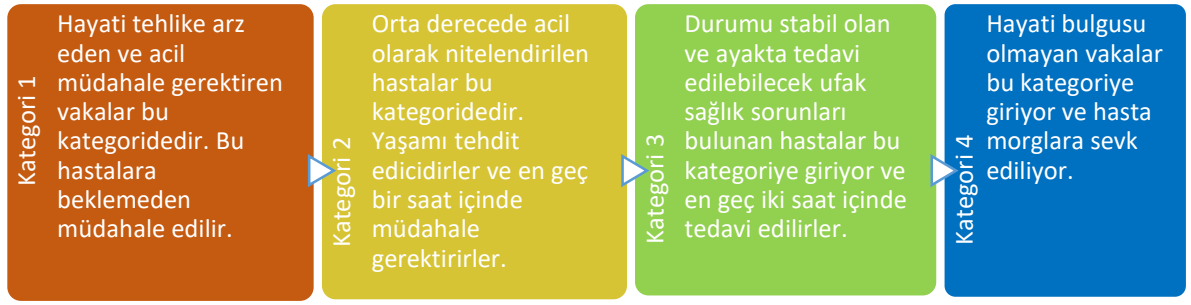
Şekil 4.1. Acil Servis Hasta Akış Şeması

Türkiye’de hasta acil servise gelir kayıt açtırır, ardından triaj bölümüne geçerek ilk kontrolü yapılır. Hastanın aciliyet durumu belirlenir. Hastalar aciliyet durumuna göre yeşil, sarı ve kırmızı alanlara sevk edilir. Sevki sağlanan hasta doktor tarafından muayene edilir. Doktor muayenesinden sonra hasta gerekli tedavisini alır ve sistemi terk eder. Yeşil, sarı ve kırmızı alan detayını içeren hasta akış şeması Şekil 4.2’ de verilmiştir.



Şekil 4.2. Detaylı Acil Servis Hasta Akış Şeması

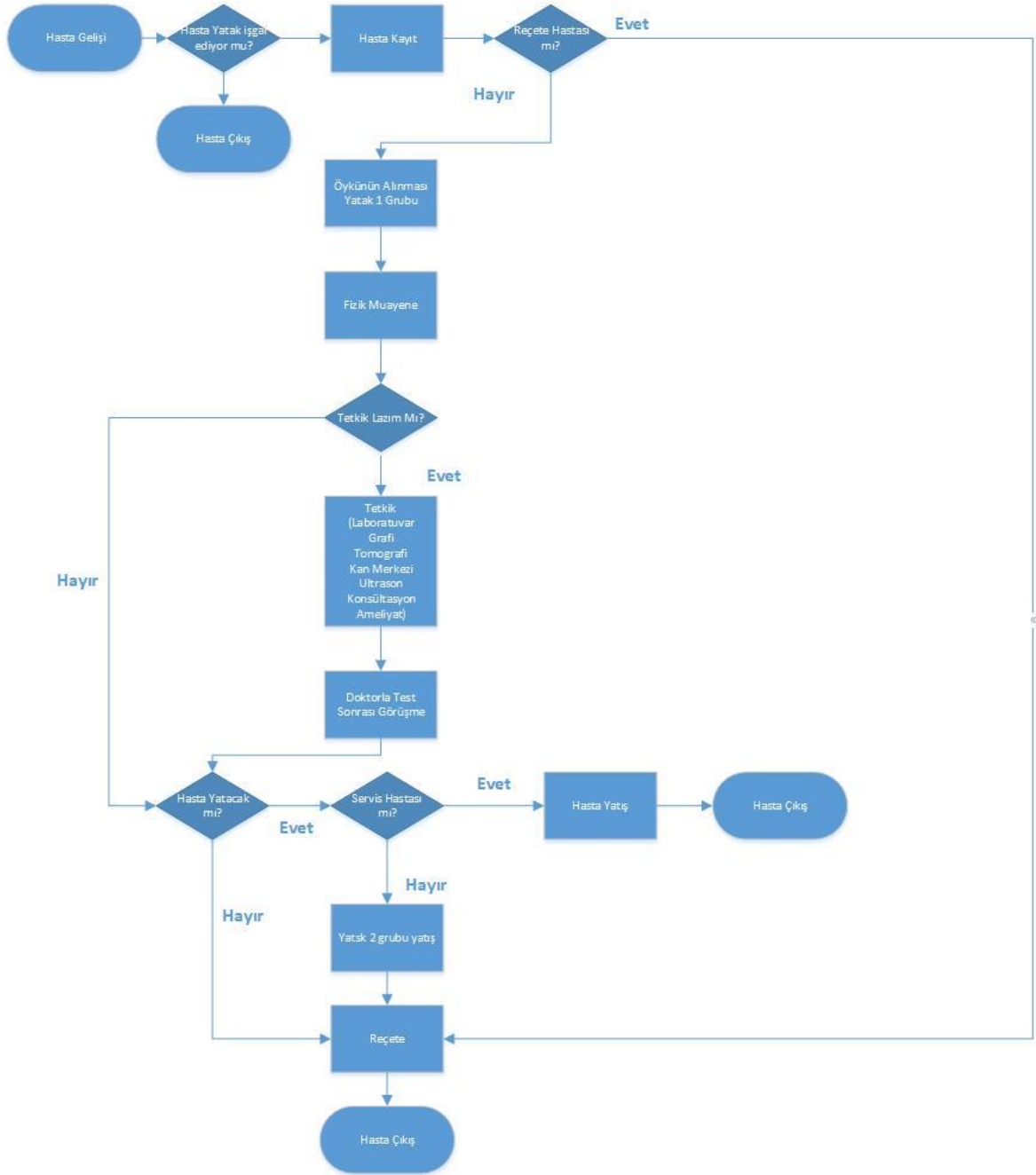
Etkili hizmet sağlamak için acil servislerde triyaj sistemi uygulanmaktadır. Türkiye’de triyaj sistemi dört kategoriden oluşur. Bu kategorilerin ayrıntıları Şekil 4.3’te sunulmuştur.



Şekil 4.3. Türkiye Triage Kategorileri

Acile gelen hasta öncelik durumuna göre triajda kategorilendirildikten sonra doktor muayenesi ve gerekli testler yapılır. Hastanın tedavisi tamamlandıysa hasta sistemi terk eder. Hastanın tedavisine ek tetkikler ya da gözlemler lazımsa hasta polikliniğe sevk edilebilir. Bazı hastalar için ise hastanede yatma kararı verilir. Bu hastalar ya acilde belirli bir süre müşahede altında kalır ya da farklı bir bölüme sevki gerçekleştirilir.

Bu aşamada uygulamanın yapılacağı Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalında Çocuk Acil bölümünde mevcut duruma ait proses akışı hazırlanmıştır. Proses akışı çıkarılırken gözlem yönteminden faydalanılmış ve bölüm çalışanlarından yardım alınmıştır. Mevcut duruma ait iş akış şeması hazırlık aşamasında Visio programı kullanılmıştır. Mevcut akış Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4. Çocuk Acil Servisi Süreç Akışı

Mevcut durumda acil akışı hastanın sisteme gelişiyle başlar. Hasta sistemde 10 dakikadan az kalıyorsa ve bir muayene sürecinden geçmeyecekse sistemden çıkışı sağlanır. Bu sürece dahil olmayan tüm hastalar hasta kayıt bölümünde sekreter tarafından sisteme kaydolur. Hasta acil servise sadece reçete yazdırmak için gelmişse reçete yazdırmak için direkt doktorun yanına geçer. Doktor uygunsa reçeteyi yazar, hasta sistemi terk eder. Ancak doktor uygun değilse hasta doktor uygun olana kadar sıra bekler. Eğer hasta acil servise muayene olmak için geldiyse Yatak 1 grubuna geçer ve öyküsünün alınmasını bekler. Öyküsü alınan hasta fizik muayene için bekler. Fizik muayenesi tamamlanan hastaya tetkik yapılması gerekiyorsa hasta ilgili tetkik birimine yönlendirilir. Eğer

hastaya bir tetkik yapılmayacaksa hasta yatacak mı diye sorgulanır. Hasta acil serviste yatmayacaksa reçetesini yazdırıp sistemden çıkışı sağlanır. Eğer hasta yatacaksa servis hastası olup olmadığı sorgulanır. Tetkike ihtiyacı olan hastalar tetkikini yaptırdıktan sonra doktora tetkik sonuçlarını gösterir. Daha sonra hastanın yatıp yatmayacağını kararı verilir. Hasta yatmayacaksa reçetesini yazdırıp sistemden çıkışı sağlanır. Hasta yatacaksa servis hastası olup olmadığı sorgulanır. Servis hastası olan tüm hastalar ilgili servise yönlendirilir, tedavisini aldıktan sonra sistemden çıkışı sağlanır. Servis hastası olmayan ancak acil serviste yatacak olan hastaların Yatak 2 grubunda bulunan yataklarda yatışı sağlanır. Yatak 2 grubunda tedavisi tamamlanan hastanın reçetesi yazılır ve sistemden çıkışı sağlanır.

Acil servise gelen hastalar sistemde kalma sürelerine göre 16 farklı gruba ayrılmıştır. Sistemde kalma sürelerine göre acil servis hasta grupları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Acil servis hasta grupları

Hasta Türü	Grup	Sistemde Kalış Süresi
Yatmayan hasta	1	0-10 dk
	2	11-30 dk
	3	31-59 dk
	4	1 sa-3 sa 59 dk
	5	4 sa-7 sa 59 dk
	6	8 sa- 15 sa 59 dk
	7	16 sa- 24 sa
Yatan hasta	8	0- 3 sa 59 dk
	9	4 sa-7 sa 59 dk
	10	8 sa- 15 sa 59 dk
	11	16 sa- 24 sa
	12	1 gün-5 gün
	13	5 gün-10 gün
	14	10 gün- 15 gün
	15	15 gün- 31 gün
	16	> 1 ay

Grup 1: Acil serviste kalış süresi 0-10 dk arası olan hastaları temsil etmektedir. Bu hasta grubu bir işlem yaptırmadan sistemi terk eden hastalardan oluşur.

Grup 2: Bu grup, sistemde kalış süresi 11-30 dk arası olan hastaları temsil etmektedir. Bu hasta grubu acil servise sadece reçete yazdırmak amacıyla gelmektedir.

Grup 3: Bu grup, sistemde kalış süresi 31-59 dk arası olan hastaları temsil etmektedir.

Grup 4: Bu grup, sistemde kalış süresi 1 sa-3 sa 59 dk arası olan hastaları temsil etmektedir.

- Grup 5:** Bu grup, sistemde kalış süresi 4 sa-7 sa 59 dk arası olan hastaları temsil etmektedir.
- Grup 6:** Bu grup, sistemde kalış süresi 8 sa- 15 sa 59 dk arası olan hastaları temsil etmektedir.
- Grup 7:** Bu grup, sistemde kalış süresi 16 sa- 24 sa arası olan hastaları temsil etmektedir.
- Grup 8:** Bu gruptaki hastalar acil serviste yatan hasta grupları arasındadır. Bu grup, sistemde kalış süresi 0-3 sa 59 dk arası olan hastaları temsil etmektedir.
- Grup 9:** Bu gruptaki hastalar acil serviste yatan hasta grupları arasındadır. Bu grup, sistemde kalış süresi 4 sa-7 sa 59 dk arası olan hastaları temsil etmektedir.
- Grup 10:** Bu gruptaki hastalar acil serviste yatan hasta grupları arasındadır. Bu grup, sistemde kalış süresi 8 sa- 15 sa 59 dk arası olan hastaları temsil eder.
- Grup 11:** Bu gruptaki hastalar acil serviste yatan hasta grupları arasındadır. Bu grup, sistemde kalış süresi 16 sa- 24 sa arası olan hastaları temsil etmektedir.
- Grup 12:** Bu gruptaki hastalar acil serviste yatan hasta grupları arasındadır. Bu grup, sistemde kalış süresi 1 gün-5 gün arası olan hastaları temsil etmektedir.
- Grup 13:** Bu gruptaki hastalar acil serviste yatan hasta grupları arasındadır. Bu grup, sistemde kalış süresi 5 gün-10 gün arası olan hastaları temsil etmektedir. Bu hasta grubu, servise sevk edilen hasta grupları arasındadır.
- Grup 14:** Bu gruptaki hastalar acil serviste yatan hasta grupları arasındadır. Bu grup, sistemde kalış süresi 10 gün-15 gün arası olan hastaları temsil etmektedir. Bu hasta grubu tedavi süresinin durumu ve uzun süre kalış kaynaklı servise sevk edilen hastalar arasındadır.
- Grup 15:** Bu gruptaki hastalar acil serviste yatan hasta grupları arasındadır. Bu grup, sistemde kalış süresi 15 gün-31 gün arası olan hastaları temsil etmektedir. Bu hasta grubu tedavi süresinin durumu ve uzun süre kalış kaynaklı servise sevk edilen hastalar arasındadır.
- Grup 16:** Bu grup, sistemde kalış süresi 1 aydan uzun olan hastaları temsil etmektedir. Bu hasta grubu tedavi süresinin durumu ve uzun süre kalış kaynaklı servise sevk edilen hastalar arasındadır.

4.2. Simülasyon Veri Hazırlığı

Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı Acil Servisi Adana ilinin kritik bir hizmet sağlayıcısı konumundadır. Ayda ortalama 3000 hastaya hizmet veren bu serviste, günlük yaklaşık 100 hastaya hizmet verilmektedir. Verilen sayılar ortalama değerler olup fiziksel koşullara göre değişkenlik göstermektedir. Çocuk acil servis 24 saat hizmet vermekte olup hasta kayıt, triaj, kan laboratuvarı, görüntüleme odası, Yatak 1 grubu, Yatak 2 grubu bölümlerinden oluşmaktadır.

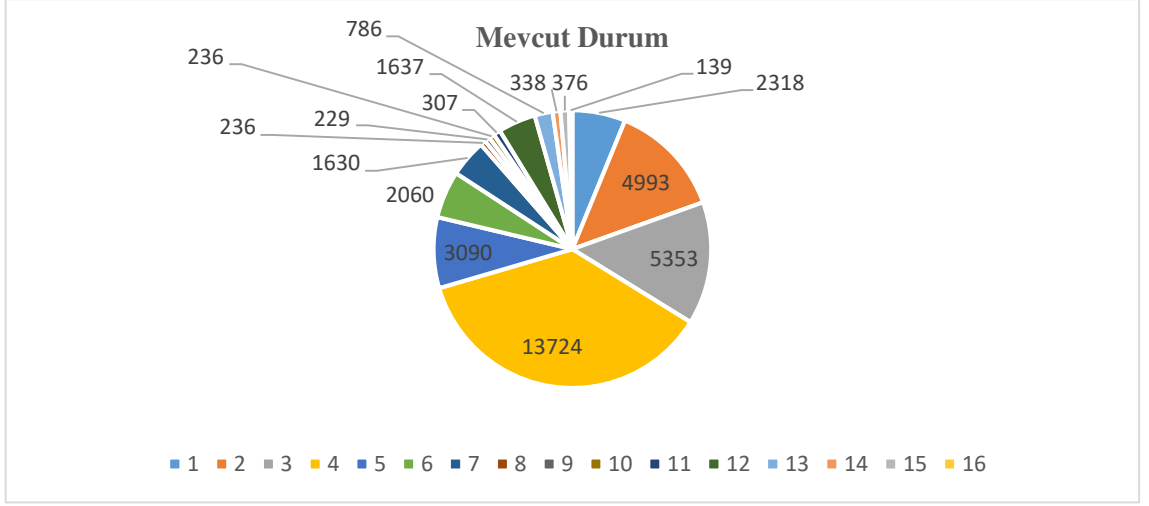
Simülasyon modelinin gerçeği yansıtması için toplanan verilerin eksiksiz ve hatasız olması büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, model için gerekli veriler; saha ziyaretleri, gözlemler, uzmanlarla yapılan görüşmeler ve hastane bilgi yönetim sistemi veri tabanından sağlanmıştır. Bir önceki bölümde gelen hastaların 16 farklı gruba ayrıldığı açıklanmıştı. 16 farklı hasta grubu için mevcut durumda bir yıllık süre içinde ortalama gelen hasta sayısı dağılımı (sayısı ve yüzdesi) Çizelge

4.2’de verilmiştir. Gelen hasta sayısı ortalamasının en yüksek olduğu gruplar Grup 4, Grup 3 ve Grup 2 olarak belirlenmiştir. Gelen hasta sayısının en az olduğu gruplar ise Grup 16, Grup 9, Grup 8 ve Grup 10’dur.

Çizelge 4.2. Mevcut durum gelen hasta sayıları

Grup	Gelen Hasta Sayısı	Yüzde
1	2318	6,19%
2	4993	13,33%
3	5353	14,29%
4	13724	36,64%
5	3090	8,25%
6	2060	5,50%
7	1630	4,35%
8	236	0,63%
9	229	0,61%
10	236	0,63%
11	307	0,82%
12	1637	4,37%
13	786	2,10%
14	338	0,90%
15	376	1,00%
16	139	0,37%

Bu dağılıma göre, en fazla hasta gelişinin olduğu grup 13724 hasta ile 4. Grup olmuştur. Bu hasta grubunun sistemde kalma süresi ortalaması 1 sa-3 sa 59 dk arasındadır. Gelen hasta sayısının en az olduğu grup ise sistemde ortalama 1 aydan uzun süre kalırlara sahip olan hastalardır. Bu hastaların idealde acil servise başvurmamaları beklenmektedir. Ancak ani gelişen sağlık problemleri kaynaklı bu hasta grubu acil servise başvurabilmektedir. Şekil 4.5’de gelen hasta sayısı dağılımının pasta grafiği verilmiştir.



Şekil 4.5. Acil Servis Gelen Hasta Sayısı Dağılımı

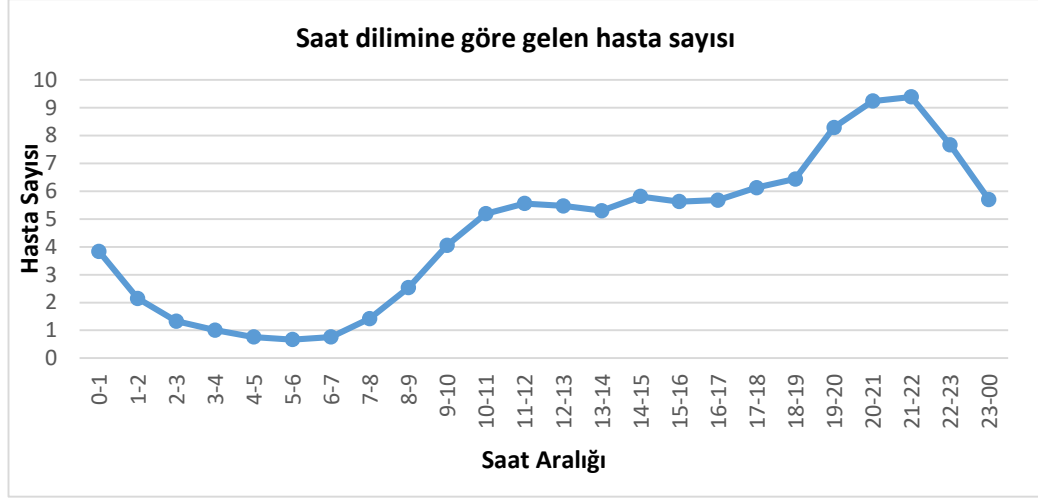
Acil serviste yer alan tüm kaynaklar, simülasyon modeline tanımlanmak üzere belirlenmiştir. Acil serviste bir vardiyada görev alan personel ve diğer kaynaklara ait sayılar Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Acil servis kaynaklar

Kaynak	Adet
İntörn doktor	1
Asistan Doktor	2
Görüntü personeli	1
Laboratuvar personeli	1
Hemşire	1
Hasta Kayıt Sekreteri	1
Yatak 1	6
Yatak 2	18

4.3. Dağılımların Belirlenmesi

Acil servislere günün farklı saatlerinde değişen sayıda hasta gelişi olmaktadır. İncelenen sistemde uygulanabilirliği arttırmak ve gerçeğe daha yakın bir model elde edebilmek amacıyla 1 gün hasta geliş sıklığına göre 24 eşit dilime ayrılmıştır. Bir yıllık verilerden faydalanarak hasta geliş sayılarının günlük ortalamaları hesaplanmıştır. Hasta geliş sayılarının günlük ortalamaları Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Hasta Geliş Sayılarının Günlük Ortalamaları

Şekil 4.4'e göre gece yarısından sabah saat 08.00'a kadar acile gelen hasta sayısı azdır. Saat 08.00'dan öğle saatine kadar gelen hasta sayısı artış göstermektedir. Öğle saatlerinde gelen hasta sayısı ortalama aynı kalmakla beraber, saat 17.00'dan itibaren yeniden artışa geçmektedir. Saat 22.00'a kadar artmaya devam eden hasta sayısı bu saatten sonra yeniden azalışa geçmektedir. Saat dilimlerine göre gelen ortalama hasta sayıları analiz edildikten sonra Easy Fit programı kullanılarak hasta gelişlerine ait istatistiksel dağılımlar belirlenmiştir. 24 farklı saat dilimi için arenada 24 farklı "Create" giriş modülü oluşturulmuştur. Ardından, Easy Fit programı kullanılarak belirlenen istatistiksel dağılımlar Create modüllerine tanımlanmıştır. Örnek olarak, bu modüllerden 8 tanesine ait dağılım Şekil 4.7'de verilmiştir.

Create - Basic Process					
	Name	Entity Type	Type	Expression	Units
1	0_1	Entity 1	Expression	POIS(0.26)	Hours
2	1_2	Entity 1	Expression	POIS(0.46)	Hours
3	2_3	Entity 1	Expression	POIS(0.75)	Hours
4	3_4	Entity 1	Expression	POIS(0.99)	Hours
5 ▶	4_5	Entity 1	Expression	EXPO(0.77)	Hours
6	5_6	Entity 1	Expression	EXPO(0.67)	Hours
7	6_7	Entity 1	Expression	POIS(0.76)	Hours
8	7_8	Entity 1	Expression	POIS(0.7)	Hours

Şekil 4.7. Arena Simülasyon Hasta Gelişi Dağılım Örnekleri

4.4. Acil Servis Simülasyon Uygulaması

Çalışmada Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı Acil Servisi'ne ait 1 yıllık hasta akışı simüle edilmiştir. Çalışmada Arena Simülasyon Paket Programı 14.00.00 versiyonu kullanılmıştır. Arenada oluşturulan model ile mevcut hasta

akışına ait darboğazlar tespit edilmiştir. Arena’da kurulan mevcut durum, iş akış modeli EK A’da verilmiştir.

Geliştirilen simülasyon modelinde hastalar üç öncelik grubuna ayrılmıştır. Model yaşayan hastalar için tasarlanmıştır. Bu nedenle 4. Kategori modele aktarılmamıştır. Modeldeki kategoriler: Kategori 1 (Grup 8-16), Kategori 2 (Grup 3-7) ve Kategori 3 (Grup 1-2) şeklinde tanımlanmıştır. Model 7 adet alt model içermektedir. Modelin detaylarının daha net incelenmesi için ana model ve 7 alt model Ek A’da ayrıntılı şekilde verilmiştir.

Acil servis süreci hastanın acil servise gelmesiyle başlayıp hastanın acil servisi terk etmesine kadar geçen süreci kapsamaktadır. Acil süreci sisteme hasta gelişi ile başlar. Grup 1 hastaları bir işlem yaptırmadan sistemi terk eden hastalar olması kaynaklı sistemden çıkışı sağlanmaktadır. Grup 1 hastaları sistemden ayrıldıktan sonra diğer tüm hastalar hasta kayıt bölümüne gelir. Hasta kaydı kayıt sekreteri tarafından tamamlanır. Kayıt açıldıktan sonra hastalar, acil servisin ön bölümünde bulunan Yatak 1 grubu olarak adlandırılan bölüme gelir. Burada bulunan 6 yataktan biri eğer müsaitse hasta öyküsünün alınması için bu yataklardan birine alınır, yer yoksa hasta bekler. Asistan doktor tarafından hastanın öyküsü alınır. Ardından hastanın fizik muayenesi tamamlanır. Fizik muayenesi tamamlanan hastaya tetkik yapıp yapılmayacağının kararı verilir. Tetkik lazımsa hasta tetkik bölümüne yönlendirilir. Tetkik sonuçları asistan doktor tarafından değerlendirilir. Daha sonra hastaya yatış verilip verilmeyeceğinin kararı verilir. Bu karardan sonra eğer hasta uzun süre kalacaksa bir servise yönlendirilir. Eğer hastanın tedavisine acil serviste devam edilecekse hasta yatış için, Yatak 2 grubu olarak adlandırılan bölüme geçer. Bu yatak grubunda 18 yatak bulunmaktadır, bu 18 yataktan biri boşsa hastanın yatışı sağlanır. Yatış işlemi bittikten sonra bu gruba dahil olan hastalar reçete bölümüne yönlendirilir. Bu grup hastaları ile tetkik sonrası tedavisine ayaktan devam edilen hastaların reçetesi yazılır. Reçetesi yazılan hastanın sistemden çıkışı sağlanır. Acil servisin mevcut durum akışına ait temel adımlar şu şekilde özetlenmiştir:

Hastaneye Geliş: Hastanın muayene olmak için çocuk acil servise gelişini ifade eder.

Hasta Kayıt: Acil servise gelen hastaların, hasta kayıt bölümünde kayıt sekreteri tarafından giriş işlemi gerçekleştirilir.

Yatak 1 Grubu: Bu yatak grubunda 6 yatak bulunmaktadır. Yatak 1 grubu hastaların öyküsünün alındığı ve fizik muayenesinin yapıldığı bir istasyon olarak kullanılmaktadır.

Öykünün Alınması: Doktor tarafından hastaya tanı konulup tedavi planının yapılabilmesi için kişinin hastalığı ile ilgili bilgilerin alınmasıdır.

Fizik Muayene: Hastanın doktor tarafından muayenesinin tamamlanması işlemidir.

Laboratuvar: Doktor tarafından istenen tahlil ve tetkiklerin yapıldığı birimdir.

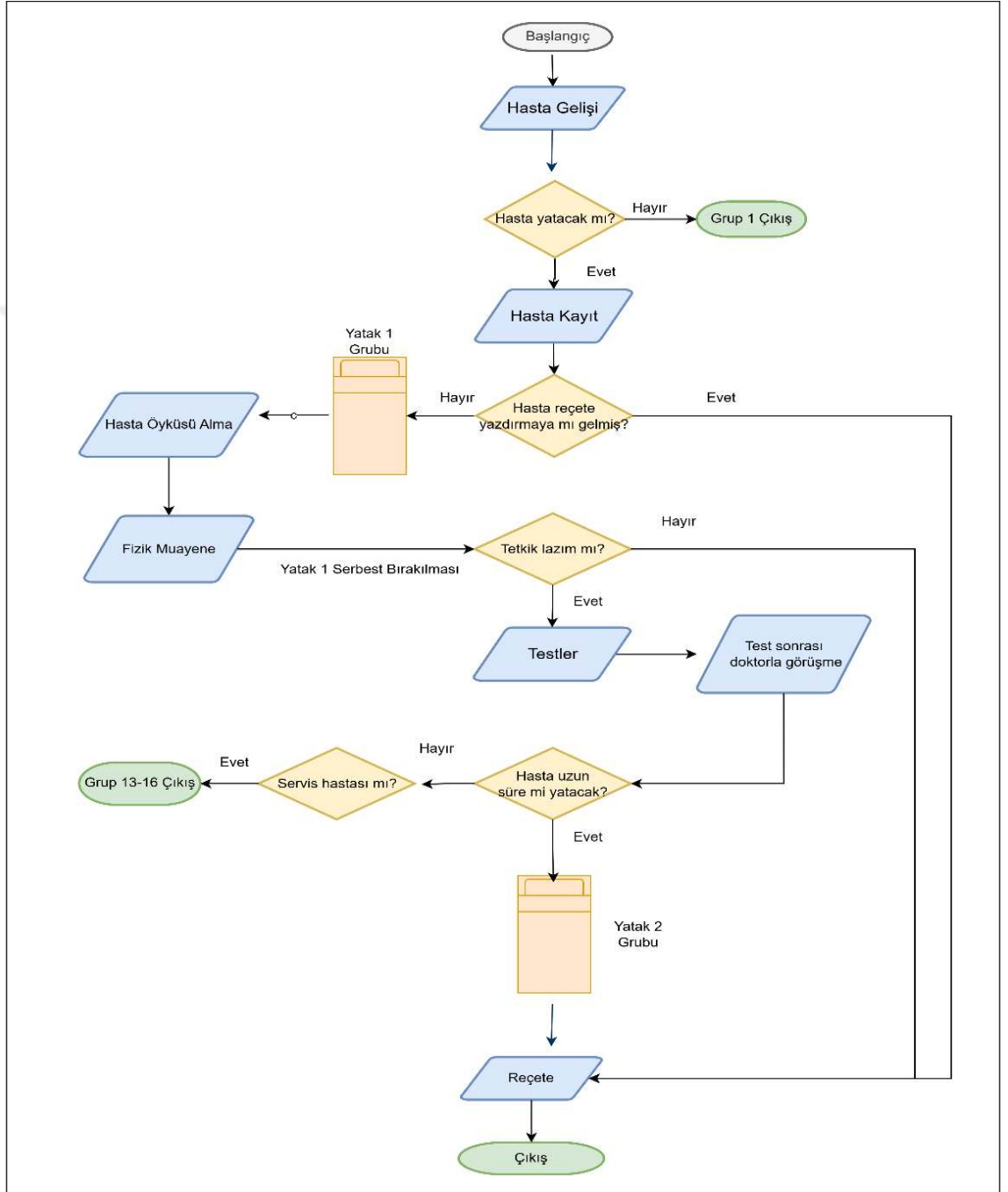
Görüntüleme: Hastaların, doktorlar tarafından istenen radyolojik tetkiklerin yapıldığı birimdir.

Doktorla Test Sonrası Görüşme: Doktorun tanı ve tedavi için, hasta tetkik yaptırdıktan sonra sonuçları değerlendirdiği aşamadır.

Yatak 2: Doktor tarafından yatış verilen hastaların, acil serviste yatışının sağlanarak tedavi verildiği yatak grubudur.

Reçete Yazımı: Taburcu edilen hastaların evde tedavisinin devam edebilmesi için doktor tarafından uygun görülen ilaç listesinin yazılması işlemidir.

Acil servise ait iş akışı diyagramı Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Acil Servis İş Akış Diyagramı

Bu akışa göre sisteme hasta gelişir. Gelen hastalar yatak işgal etmiyorsa yani öykü verme vb. işlemleri bulunmuyorsa sistemden çıkışı sağlanır. Bu hasta grubu 1. Grubu ifade eder. Bu gruba ait hastalar sistemde 10 dk'dan az bulunan hastalardan oluşur.

Diğer tüm gruplar önce hasta kayıt bölümüne gitmektedir. Bu hastaların tamamı yatak işgal edecektir. Kaydı tamamlanan hasta sadece reçete yazdırmak için sisteme giriş sağladıysa reçete bölümüne geçer. Bu hasta grubu 2. Grubu ifade eder. Eğer doktor reçete yazmak için müsaitse hasta reçetesini yazdırıp sistemi terk edebilir. Ancak doktor müsait değilse hasta reçete yazdırmak için kuyrukta bekler doktor müsait olunca reçetesini yazdırıp sistemden çıkışı sağlanır.

Hasta sisteme sadece reçete yazdırmak için gelmemişse muayene olmak için Yatak 1 grubuna geçer. Yatak 1 grubunda doktor tarafından öyküsü alınan hasta, fizik muayene için bekler. Fizik muayenesi tamamlanan hastanın tetkike ihtiyacı varsa hasta uygun tetkik birimine yönlendirilmektedir. Tetkik aşamasında; hastalar laboratuvara, görüntüleme bölümüne veya her ikisine birden gitmektedir.

Hastaya tetkik yapılması gerekmiyorsa hastanın acil serviste yatıp yatmayacağı sorgulanır. Hasta yatmayacaksa reçete bölümüne aktarılır. Diğer taraftan tetkiki tamamlanan hasta doktorla test sonrası görüşme işlemi için bekler. Doktorla görüşükten sonra hastanın yatıp yatmayacağını kararı alınır. Eğer hasta yatacaksa servis hastası olup olmadığı sorgulanır, hasta servis hastası ise servise yönlendirilir ve burada yatışı sağlanır. Tedavisi serviste tamamlanan hasta sistemi terk eder. Bu hasta grubu Grup 13, Grup 14, Grup 15, Grup 16 ‘dan oluşur.

Eğer hasta servis hastası değilse belli bir süre acil serviste müşahade altında tutulacaksa Yatak 2 grubu yataklarına yatışı sağlanır. Tedavisi tamamlanan hastanın reçetesi yazılır. Reçetesi yazılan hastanın sistemden çıkışı sağlanır. Grup 8, Grup 9, Grup 10, Grup 11 ve Grup 12 hastaları bu grupta yer almaktadır.

Acil serviste belli bir süre yatmayan, yani tedavisi ayakta tamamlanan hasta grupları ise Grup 3, Grup 4, Grup 5, Grup 6 ve Grup 7 tarafından temsil edilir.

Acil servis proseslerine ait işlem süreleri yapılan fiziki gözlemler ve acil servis sorumlu hekiminden alınan bilgiler doğrultusunda elde edilmiştir. Süreci daha net ifade etmek için bazı prosesler detaylıca açıklanmıştır.

Model kurulum aşamasında, hastaların sisteme girişinin sağlanması için ilk olarak “Create” modülleri tanımlanmıştır. Bu aşamada, gelen hastalar 24 farklı saat dilimine göre farklı dağılımla modellenmiştir. 24 saat dilimi 3 alt modele ayrılarak her alt modelde 8 farklı “Create” modülü tanımlanmıştır. Örnek olarak Saat 00.00-01.00 zaman aralığında gelen hasta sayılarına ait dağılım Easy Fit ile POIS (0,26)/saat bulunmuştur. Bu saat diliminde gelen hastaların dağılımının verildiği Create modülü Şekil 4.9’da verilmiştir.

Şekil 4.9. Arena Simülasyon 0-1 Saat Aralığında Gelen Hastaların Create Tanımı

Gelen tüm hastaların geliş saatinin takibi için “TNOW” tanımlaması yapılmıştır. Gelen hastalar Arena modelinde varlık olarak adlandırılmaktadır. Bu özellik sayesinde varlığın yani hastanın sistemde bekleme süreleri ve sistemde kalma süresi takip edilmiştir. Arenada tanımlanan “TNOW” attribute (özelligi) Şekil 4.10’da verilmiştir.

Şekil 4.10. Arena Simülasyon TNOW Tanımı

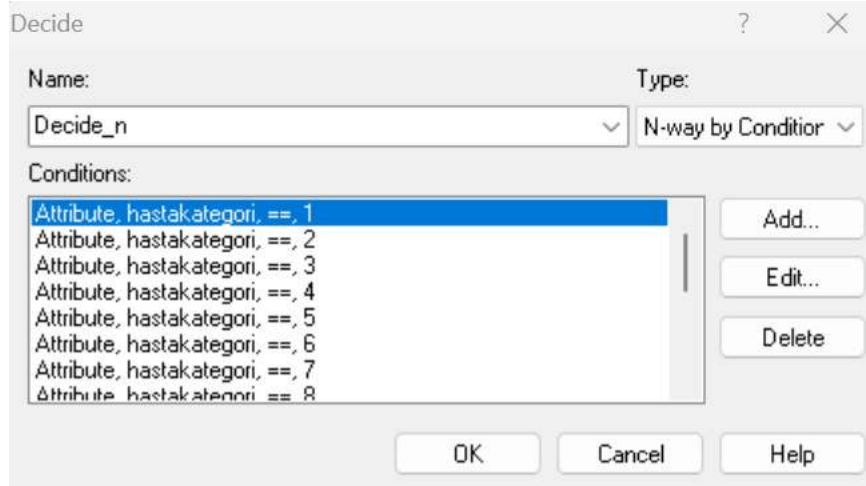
Arena simülasyonda 0-1 saat aralığında gelen hastaların ayırımı için Decide modülünde “CALHOUR(TNOW)<1” ifadesi kullanılmıştır. Şekil 4.11’de 0-1 saat aralığında gelen hastaların seçimi için kullanılan Decide modülü verilmiştir.

Şekil 4.11. 0-1 Saat Aralığında Gelen Hastaların Seçimi

Gelen hastaların kategorilendirilmesi için hastalara grup özelliği atanmıştır. Grup attribute tanımı Şekil 4.12’de verilmiştir. Bu “attribute” tanımlanırken ayrık olay simülasyonunun kümülatif olasılık dağılımı özelliğinden faydalanmıştır. Gelen her bir hastanın, hangi grup olduğunun olasılığı grupların mevcuttaki sayılarına göre belirlenmiştir. Ayrık olay olasılık dağılımı “DISC (0.062,1,0.195,2,0.338,3,0.705,4,0.788,5,0.843,6,0.886,7,0.892,8,0.898,9,0.904,10,0.912,11,0.956,12,0.977,13,0.986,14,0.9965,15,1,16)” şeklinde tanımlanmıştır.

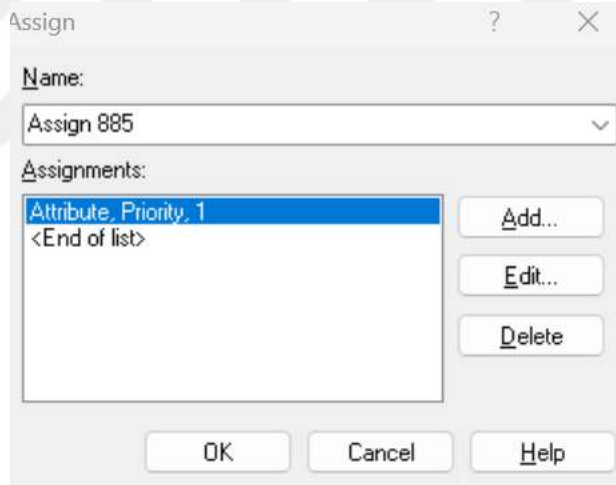
Şekil 4.12. Hasta Grupları Tanımı

Hasta grupları tanımlandıktan sonra “Decide” modülü sayesinde hastalar, farklı akışlara yönlendirilmiştir. Decide modülü tanımı Şekil 4.13’te verilmiştir.



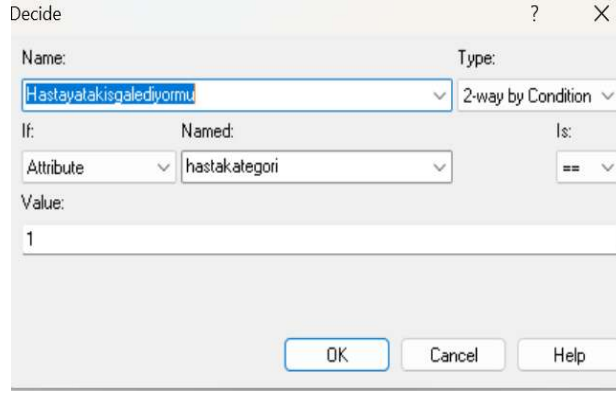
Şekil 4.13. Hasta Grubu Ayrımı için Decide Modülü

Hastalar gruplarına göre farklı akışlara yönlendirildikten sonra hastaların aciliyet durumlarına göre hastalara öncelik atanmıştır. Hastalara öncelik vermek için Arena simülasyon programında hastalara “Priority” atanmıştır. Bu özellik varlıkların kaynaklara erişim sırasını belirlemek için kullanılır. Priority 1 (Grup 8-16), Priority 2 (Grup 3-7) ve Priority 3 (Grup 1-2) ‘yi ifade eder. Hastaların kaynaklara erişimdeki önceliğine ait tanım örneği Şekil 4.14’de verilmiştir.



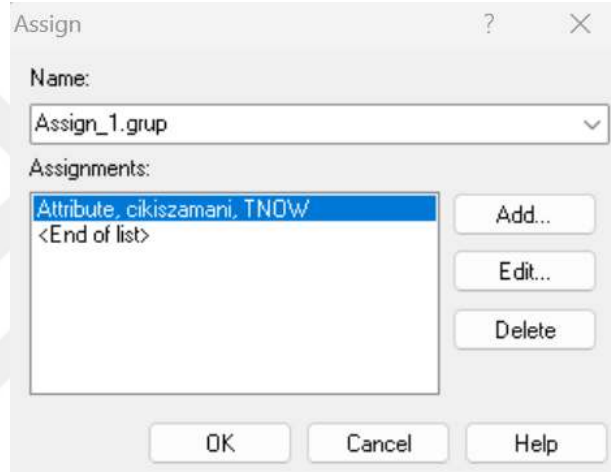
Şekil 4.14. Hasta Öncelik Tanımı

Yatak işgal etmeyen 1. Grup hastalar Şekil 4.15’te verilen “Decide” modülü ile sistemden ayrılmıştır.



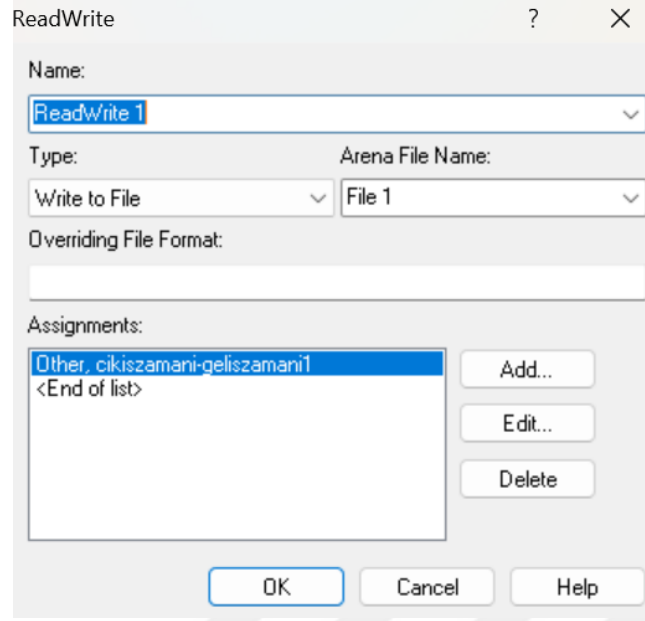
Şekil 4.15. Grup 1 Hastalarının Sistemden Ayrılması için Tanımlanan Decide Modülü

Grup 1 hastasının sistemden ayrılırken ayrılış zamanını tutmak için çıkış “TNOW”ı tanımlanmıştır. Şekil 4.16’da Arena simülasyon Grup 1 hastası için tanımlanan “TNOW” verilmiştir.



Şekil 4.16. Arena Simülasyon Grup 1 Hastası Çıkış Zamanı TNOW Tanımı

Sistemden ayrılan Grup 1 hasta kategorisi için sistemde ortalama kalış süresi takibinde arena simülasyon modelinin “ReadWrite” modülünden faydalanılmıştır. Tanımlanan modülde Grup 1 hastalarının sistemde kalma süreleri (çıkış zamanı- gelişzamanı 1) formülü ile “TNOW” modüllerinin farkları alınarak hesaplanır. ReadWrite modülü ile bu süreler dış ortama istenen formatta aktarılabilir. Şekil 4.17’de Grup 1 hastaları için ReadWrite modülü tanımı verilmiştir. Diğer hasta grupları için de bu modül tanımlanmıştır.



Şekil 4.17. Grup 1 Hastaları için ReadWrite Modülü

Grup 1 hastaları sistemden ayrıldıktan sonra kalan tüm hasta grupları kayıt bölümüne gelir. Hasta kayıt işlemi kayıt sekreteri tarafından yapılmaktadır. Sekreterin çalışma mantığının modele tanıtımı için “Seize Delay Release” modülü kullanılmıştır. Burada varlık yani hasta, sekreter müsait olduğunda sekreteri meşgul eder. Sekreterin doluluğu “Seize” modülü ile ifade edilir. Daha sonra sekreter varlık için işlem yapar, sekreterin meşguliyeti için geçen süre simülasyon modelinde “Delay” modülü ile temsil edilir. Son olarak kayıt işlemini tamamlayan sekreter sistem tarafından yeni gelen varlığın işlemini yapması için serbest bırakılır. Bu durum için “Release” modülü kullanılır. Arenada Hasta kayıt prosesi UNIF (2, 2,1) dağılımına uygun olarak tanımlanmıştır. 1 hastanın kayıt işlemi kayıt sekreteri tarafından 2 dk ile 2,1 dk arası tamamlanmaktadır. Arena simülasyon hasta kayıt prosesi EK B’de verilmiştir.

Hasta kaydı tamamlandıktan sonra Grup 2 hastaları Decide modülü ile sistemden ayrıştırılarak direkt reçete bölümüne geçer. Bu hasta grubu reçetesini yazdırdıktan sonra sistemi terk eder. Diğer tüm hasta grupları muayene olmanın ilk aşaması olan öykü vermek için yönlendirilir.

Hastanın öyküsünün alınması aşamasında hasta Yatak 1 grubundan bir yatağı meşgul eder. Bu durumu arena simülasyon modelinde tanımlamak için “Seize” modülü kullanılır. Şekil 4.18’de Seize modülü tanımı örneği verilmiştir.

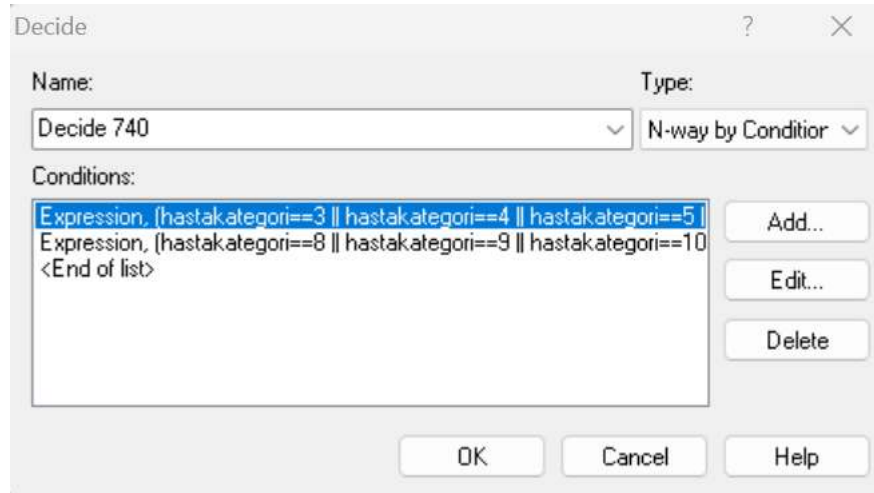
Şekil 4.18. Yatak 1 Grubu için Seize Modülü Tanımı Örneği

Hastanın öyküsünün alınması işlemi asistan doktor tarafından yapılmaktadır. Arenada öykü verme prosesi NORM (9, 9,01) dağılımına uygun olarak tanımlanmıştır. Bir hastanın öyküsünün ortalama 9 dakikada tamamlanmaktadır. Arena simülasyon modeli öykü alma prosesi EK B’de verilmiştir.

Hasta fizik muayene işlemi asistan doktor tarafından yapılmaktadır. Arenada fizik muayene prosesi NORM (9, 9,01) dağılımına uygun olarak tanımlanmıştır. Bir hastanın fizik muayenesi asistan doktor tarafından ortalama 9 dakikada tamamlanmaktadır. Arena simülasyon fizik muayene prosesi EK B’de verilmiştir.

Hastanın doktorla test sonrası değerlendirme işlemi asistan doktor tarafından yapılmaktadır. Arenada doktorla test sonrası görüşme prosesi UNIF (3, 3,5) dağılımına uygun olarak tanımlanmıştır. Bir hastanın doktorla test sonrası görüşmesi aşamasında doktor, yapılan tetkik sonuçlarını değerlendirmektedir. Asistan doktor tarafından bu değerlendirme minimum 3, maksimum 3,5 dakikada tamamlanmaktadır. Arena simülasyon fizik muayene prosesi EK B’de verilmiştir.

Farklı öncelik seviyesindeki hasta kategorilerinin doktora ilk ulaşma süresinin takibi için hastalar “Decide” modülü ile iki gruba ayrılmıştır. “(hastakategori==3 || hastakategori==4 || hastakategori==5 || hastakategori==6 || hastakategori==7)” tanımı sarı triaj grubunu (2. öncelikli hasta grubu) temsil etmektedir. “(hastakategori==8 || hastakategori==9 || hastakategori==10 || hastakategori==11 || hastakategori==12 || hastakategori==13 || hastakategori==14 || hastakategori==15 || hastakategori==16)” tanımı ise kırmızı triaj grubunu (1. öncelikli hasta grubu) temsil etmektedir. Kullanılan Decide modülü örneği Şekil 4.19’da verilmiştir.



Şekil 4.19. Decide Modülü Örneği

Öyküsü alınan ve fizik muayenesi tamamlanan hastanın Yatak 1 grubundaki yatak meşgul etme süresi sona erer. Burada yatağın sistemde serbest bırakıldığının tanımı için arena simülasyonda “Release modülü kullanılmıştır. Yatak 1 grubu yatakların Release modülü tanımı EK B’ de verilmiştir.

Her hasta grubuna tetkik yapılma yüzdesi birbirinden farklıdır. Bu nedenle hastalar yeniden gruplarına ayrılmıştır. Bu aşama için modelde “Decide” modülü kullanılmıştır. Hasta grupları ayrımı için Decide modülü örneği Ek B’de verilmiştir.

Her hasta grubunun yaptırdığı tetkik türü ve yüzdesi birbirinden farklıdır. Hastaların bir kısmı laboratuvar da kan testi yaptırmakta, bir kısmı görüntüleme bölümüne gitmekte ya da her iki tetkiki birden yaptıran hastalar bulunmaktadır. Her bir hasta grubunda bu dağılımın tanımı için “Assign” özelliği kullanılmıştır. Örnek olarak Grup 4’e ait tetkik yüzdesi tanımı EK B’ de verilmiştir.

Tetkik yaptırmayı gereken hastalardan kan alınması gerekenler kan alma işlemi için laboratuvara yönlendirilmektedir. Kan alma işlemi, kan alan hemşire tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu proses, Seize Delay Release seçilerek NORM (3, 0,001) dağılımına uygun olarak tanımlanmıştır. Kan alma işlemi için arena simülasyonda tanımlanan “Process” Ek B’de verilmiştir.

Tetkik yaptırmayı gereken hastalardan görüntüleme işlemini yaptırmayı gereken hastalar görüntüleme bölümüne yönlendirilmektedir. Görüntüleme işlemi bu konuda görevli ilgili personel tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu proses, Seize Delay Release seçilerek NORM (5, 0,001) dağılımına uygun olarak tanımlanmıştır. Görüntüleme işlemi için arena simülasyonda tanımlanan “Process” Ek B’de verilmiştir.

Hastalar, tetkik sonuçlarını iki farklı yolla beklemektedir. Durumu iyi olmayan hastalar, sonucunu Yatak 1 grubunda beklemekte iken, durumu iyi olan hastalar sonuçlarını hastane bahçesinde beklemektedir. Bu iki bekleme tipinin arenada tanımlı örneği Ek B’de verilmiştir.

Tetkik sonuçları çıkan hastalar doktorla test sonrası görüşme için yönlendirilir. Bu aşamada, hastalar ya tedavisine ayakta devam eder ya da hastaya belli bir süre yatış verilir.

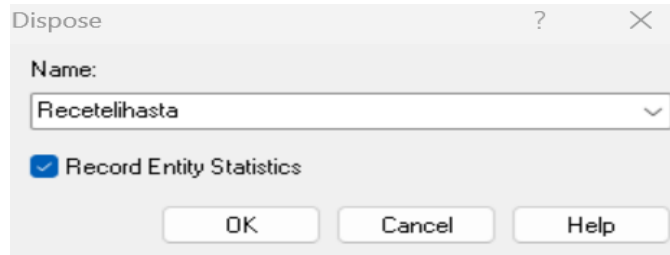
Belirli bir süre tedavisine yatarak devam edecek olan hasta gruplarını belirlemek için modelde “Decide” modülü kullanılmıştır. “(hastakategori==8 || hastakategori==9 || hastakategori==10 || hastakategori==11 || hastakategori==12 || hastakategori==13 || hastakategori==14 || hastakategori==15 || hastakategori==16)” koşulunu sağlayan hastalar yatacak olan hastaları ifade etmektedir. Yatan hastaların belirlenmesinde kullanılan Decide Ek B’de verilmiştir.

Yatan hastalar arasından uzun süre yatacak olan hastalar servislere sevk edilir. Servise yönlendirilecek hasta grubunu belirlemek için “Decide” modülü kullanılmıştır. Servis yönlendirmesinde kullanılan Decide modülü Ek B’de verilmiştir. Serviste tedavisi tamamlanan hastaların sistemden çıkışı sağlanır.

Tedavisi ayakta devam eden hasta grupları ise reçetesini yazdırdıktan sonra sistemden çıkış sağlamaktadır. Bu hasta grubunun toplam sayısını belirlemek için Record modülü kullanılmıştır. Record modülü Ek B’de verilmiştir.

Ayakta ya da yatarak tedavisi tamamlanan hasta, reçete için doktora yönlendirilir. Hastanın reçete yazım işlemi intörn doktor tarafından yapılmaktadır. Arenada reçete yazım prosesi UNIF (4, 4,2) dağılımına uygun olarak tanımlanmıştır. Arena simülasyon reçete yazım prosesi Ek B’de verilmiştir.

Modelin son aşamasında reçetesi yazılan hastanın sistemden çıkışı sağlanmaktadır. Hastaların sistemden çıkışını modelde tanımlamak için “Dispose” modülü kullanılmıştır. Şekil 4.20’de reçete yazdırıp sistemden çıkış sağlayan hastalar için modelde tanımlanmış Dispose modülü verilmiştir.



Şekil 4.20. Sistemden Çıkış Sağlayan Hastalar için Modelde Tanımlanmış Dispose Modülü

Çalışmanın daha iyi anlaşılması için modelde önemli görülen modüller, bu bölümde sırasıyla sunulmuştur. Çalışmada geliştirilen modelin kapsamlı bir model olması kaynaklı alt modellerde tanımlı daha birçok modül bulunmaktadır. Bu modüller genelde sonuçların kontrolü için konulan Record modülleridir. Record modülleri ile modelin sistem performans göstergeleri takip edilmiştir. Model yapısı bu şekilde kurulduktan sonra Arena simülasyon modeli başarılı bir şekilde çalıştırılmıştır. Modelin gerçek sistemle uyumunun kontrolü için geçerlilik testleri yapılmıştır. Bir sonraki bölümde model geçerliliği testlerine ait sonuçlar verilmiştir.

4.5. Model Geçerliliğinin Sağlanması

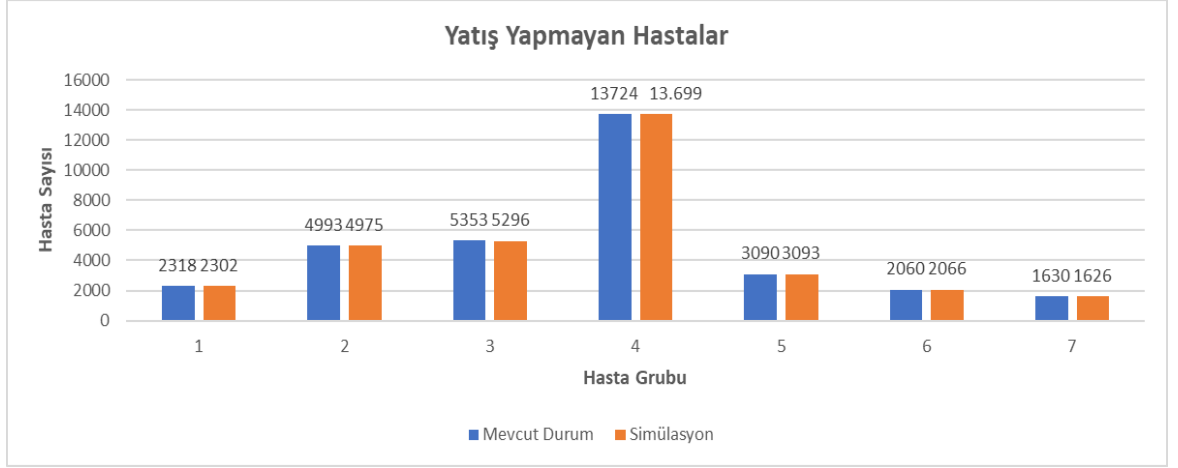
Simülasyon modelleme sürecinde modelin gerçek sistemle uyumu kontrol edilmiştir. Bu doğrultuda mevcut durumda ve simülasyon ortamında sisteme giriş yapan hasta sayısı karşılaştırması yapılmıştır. Mevcut sistemde bir yılda 37452 hastaya hizmet verilirken, simülasyon modeli sonuçlarına göre 37275 hastaya hizmet verilmiştir. Arada %0,47 oranında bir fark bulunmaktadır. Bu fark, simülasyon modelinde sisteme giren hasta sayısının mevcut durumla uyumlu olduğunu göstermektedir. Hastalar triaj kategorilerine göre ayrıldığında da gelen hasta sayısı mevcut durumda ve simülasyon ortamında benzerlik göstermektedir. Triyaj kategorisine göre hasta sayısı karşılaştırması Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Triyaj kategorilerine göre hasta sayısı karşılaştırması

Grup (Hasta Sayısı)	Mevcut Durum Ortalama	Simülasyon Ortalama	Fark
Kategori 1 (Kırmızı)	4284	4183	2.35 %
Kategori 2 (Sarı)	25857	25661	0.76 %
Kategori 3 (Yeşil)	7311	7431	1.64 %
Toplam	37452	37275	0.47 %

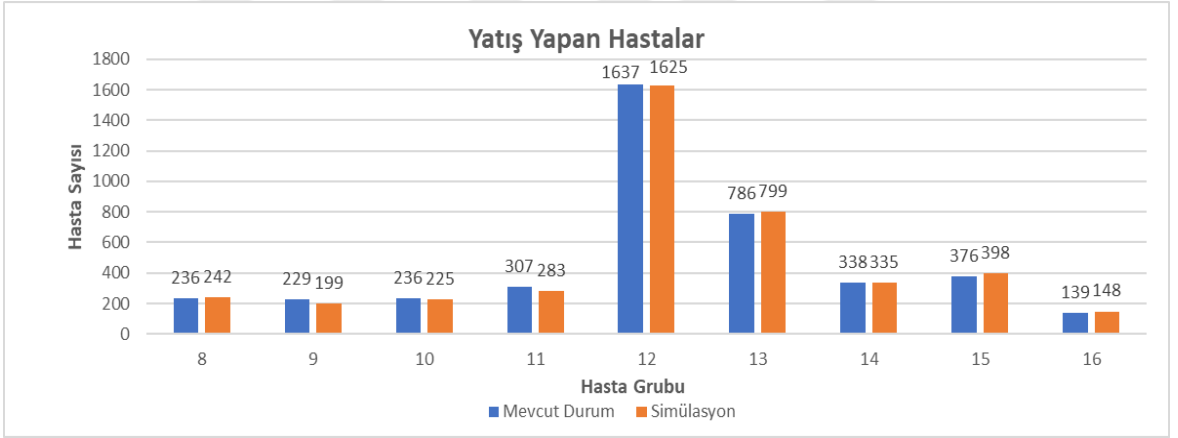
Bu karşılaştırma, modelin hem toplam hasta sayısı hem de hastaların triaj kategorilerine göre ayrıldığı durumdaki hasta sayısı karşılaştırması bakımından geçerli ve güvenilir sonuçlar sunduğunu ortaya koymaktadır.

Tüm hastalar; yatış yapan hastalar ve yatış yapmayan hastalar olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Yatış yapmayan hasta grupları için mevcut durum ile simülasyon ortamında gelen hasta sayısı kıyaslaması yapılmıştır. Bu kıyaslamaya ait, karşılaştırma grafiği Şekil 4.21’de verilmiştir. Grafik, yatış yapmadan sistemi terk eden hasta sayılarının mevcut durumda ve simülasyon ortamında birbirine yakın olduğunu göstermektedir. Model, bu hasta grubu için gerçek sistemi başarı ile temsil etmektedir.



Şekil 4.21. Yatış Yapmayan Hasta Grupları için Gelen Hasta Sayısı Kıyaslaması

Aynı şekilde, yatış yapan hasta grupları için mevcut durum ile simülasyon ortamında gelen hasta sayısı kıyaslaması yapılmıştır. Bu kıyaslamaya ait, karşılaştırma grafiği Şekil 4.22’de verilmiştir. Grafik yatış yaptıktan sonra sistemi terk eden hasta sayılarının, mevcut durumda ve simülasyon ortamında birbirine yakın olduğunu göstermektedir. Model, bu hasta grubu için de gerçek sistemi başarı ile temsil etmektedir.



Şekil 4.22. Yatış Yapan Hasta Grupları için Gelen Hasta Sayısı Kıyaslaması

Model geçerliliğinin testi aşamasında ikinci olarak, mevcut durumdaki bir hastanın sistemde geçirdiği ortalama süre ile simülasyon ortamında bir hastanın sistemde geçirdiği ortalama süre karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılırken her bir grup için, gerçek ortamdaki hasta sayısı baz alınarak simülasyon ortamından da aynı sayıda hasta örneklem olarak alınmıştır. Eşit sayıdaki hastalar için sistemde kalma sürelerinin kıyaslanmıştır. Hastaların sistemde geçirdikleri sürelerin karşılaştırması için Statistica programında “Mann-Whitney U testi” ve “Kolmogorov-Smirnov testi” kullanılmıştır. Gerçek veriler ve Arena Simülasyonu verileri için sistemde geçirilen ortalama süreler karşılaştırıldığında, 8 hasta grubu için aradaki farkın %3’ten az, 4 hasta grubu için ise %3 ile %5 arasında olduğu görülmüştür. Aradaki fark yeterince az ve kabul edilebilir bir aralıktadır. Yani

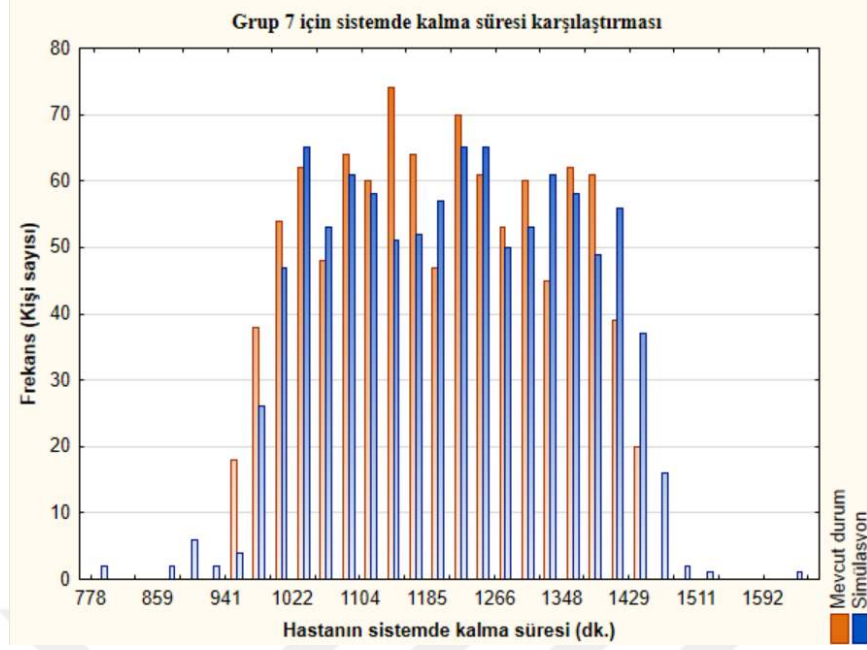
gerçekte hastanın sistemde geçirdiği ortalama süre ile simülasyon ortamında sistemde geçirdiği ortalama süre birbiri ile uyumludur. Kalan dört hasta grubu servis hastası olduğu için sistemde kalma süreleri değerlendirmeye alınmamıştır. Hastaların sistemde kalış sürelerinin ve standart sapmalarının karşılaştırması Çizelge 4.5' de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Statistica sonuçları

Grup	Mevcut Durum Ortalama	Simülasyon Ortalama	Ortalama Fark	Mevcut Durum St. Sapma	Simülasyon St. Sapma	P Değeri
1	10.4	10.9	4.8 %	2,53	2,59	0,58
2	20.1	20.8	3.48 %	5,62	4,99	0,15
3	44.2	45.3	2,48 %	8,35	12,60	0,15
4	123.0	122.7	0.24 %	46,89	45,51	0,66
5	332.0	347.6	4.6 %	68,73	71,06	0,08
6	682.6	684.7	0.3 %	135,39	173,92	0,59
7	1201.6	1239.8	3.17 %	133,21	142,02	0,07
8	148.1	146.3	1.21 %	56,79	158,45	0,17
9	332.0	329.0	0.9 %	67,32	379,51	0,56
10	698.7	690.7	1.14 %	142,65	244,52	0,05
11	1211.0	1234.0	1,89 %	137,97	279,14	0,93
12	3770.2	3730.6	1,05 %	1653,59	1615,54	0,12

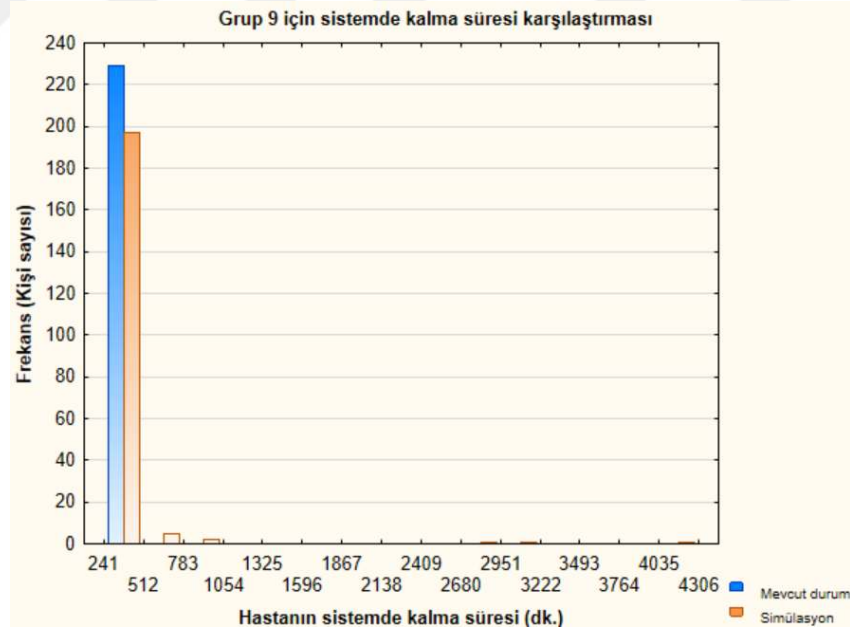
Mevcut sistem verileri ve Arena simülasyon modeli verileri karşılaştırılarak istatistiksel anlamlılık testleri yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, 12 hasta grubu için sistemde kalış sürelerine ilişkin p değerlerinin istatistiksel olarak uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Nonparametrik Mann-Whitney U testinde, anlamlılık seviyesi olarak 0,05 kullanılmıştır. Buna göre, $p \leq 0,05$ olması durumunda kıyaslanan iki değişken arasında anlamlı farklılığın olduğu, $p > 0,05$ olması durumunda ise anlamlı bir farklılığın olmadığı varsayılmıştır. Bu bağlamda, çizelgede yer alan tüm hasta grupları için gerçek durum ve simülasyon ortamında sistemde kalma sürelerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı görülmektedir. Bu durum, modelin güvenilir bir karar destek aracı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Mevcut sistem ve simülasyon modeli için, sistemde kalma süreleri kıyaslaması bazı gruplar için sırasıyla verilmiştir. Grup 7 özelinde sistemde kalma sürelerine ait ortalamaların karşılaştırması Şekil 4.23'te verilmiştir. Şekil, Grup 7 hastaları için sistemde kalma sürelerinin birbiri ile uyum içinde olduğunu göstermektedir.



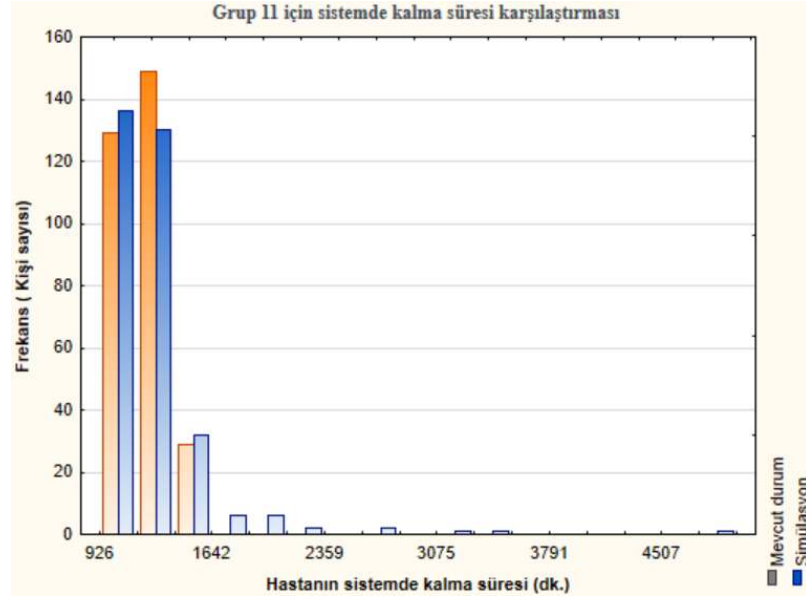
Şekil 4.23. Grup 7 için Sistemde Kalma Süresine Ait Histogram

Grup 9 için sistemde kalma sürelerine ait ortamaların karşılaştırması Şekil 4.24’de verilmiştir. Grafik, Grup 9 hastaları için sistemde kalma sürelerinin birbiri ile örtüştüğünü göstermektedir.



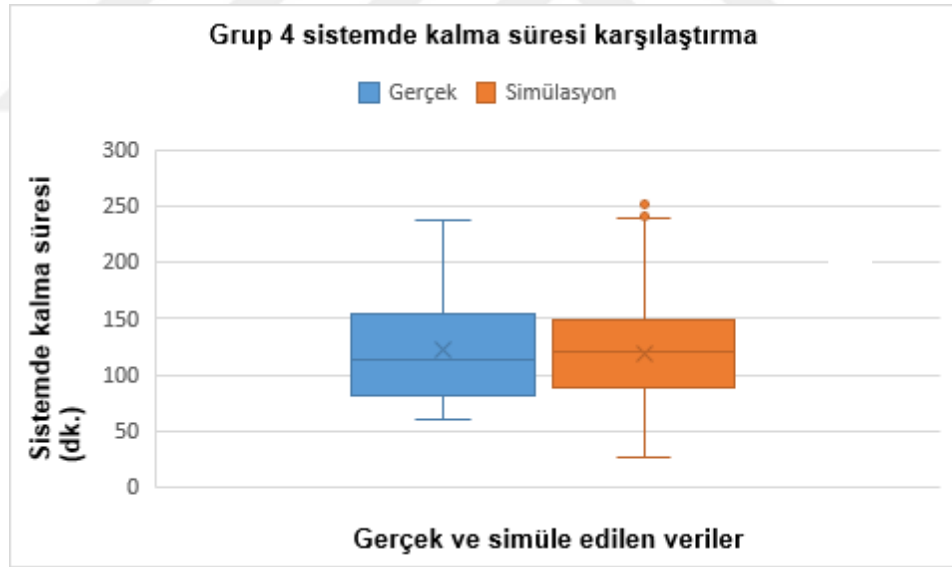
Şekil 4.24. Grup 9 için Sistemde Kalma Süresi Karşılaştırması

Grup 11 için sistemde kalma sürelerine ait ortamaların karşılaştırması Şekil 4.25’de verilmiştir. Şekil, Grup 11 hastaları için sistemde kalma sürelerinin birbiri ile örtüştüğünü göstermektedir.



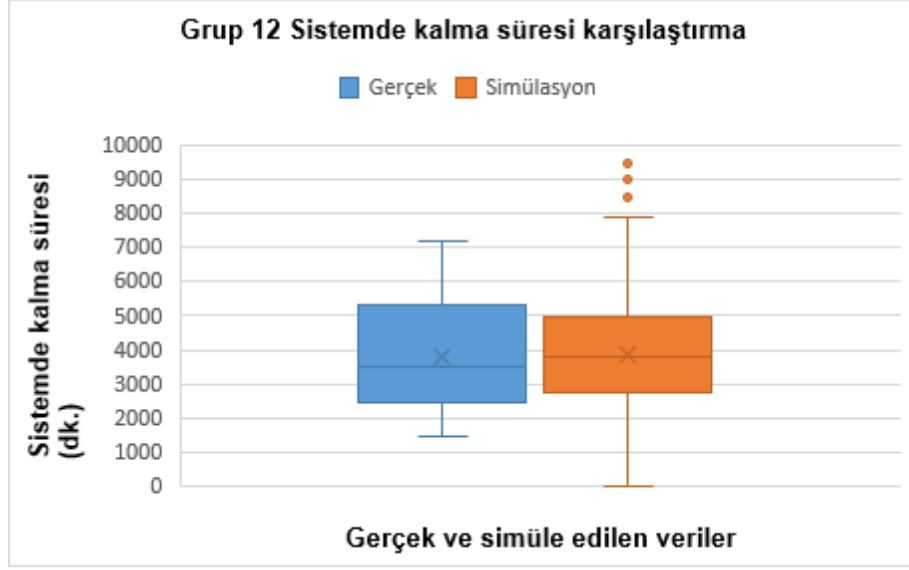
Şekil 4.25. Grup 11 için Sistemde Kalma Süresine ait Histogram

Şekil 4.26’da, Grup 4 için mevcut durum ve simülasyon ortamında sistemde kalış sürelerine ilişkin kutu grafiği verilmiştir. Bu grafikler, alt değerlerin, üst değerlerin ve ortalamaların tutarlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.26. Grup 4 için Sistemde Kalış Sürelerine İlişkin Kutu Grafiği

Şekil 4.27’de, Grup 12 için sistemde kalış sürelerine ilişkin kutu grafiği verilmiştir. Bu grafikler, alt değerlerin, üst değerlerin ve ortalamaların tutarlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.27. Grup 12 için Sistemde Kalış Sürelerine İlişkin Kutu Grafiği

Yapılan istatistiksel analizler ve kıyaslamalar sonucunda mevcut sistem ile simülasyon ortamında oluşturulan modelin birbiri ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Mevcutta ve simülasyon modelinde, sisteme giriş yapan toplam hasta sayısının ve triaj kategorileri özelinde birbiri ile uyumlu olması modelin geçerliliğini desteklemektedir. Ek olarak; mevcut durum ve simülasyon modelinde bir hastanın sistemde geçirdiği ortalama süreler, karşılaştırılan 12 hasta grubu için birbiri ile uyum içinde çıkmıştır. Statistica programında yapılan Mann-Whitney U testi sonuçları, 12 hasta grubunun sistemde kalma sürelerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.

4.6. Model Optimizasyonu

Artan nüfus ve globalleşme ile her geçen gün sağlık hizmetine duyulan ihtiyaç daha da artmaktadır. Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı, coğrafi konumu bakımından hem Çukurova bölgesinin hem de Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin en çok tercih edilen sağlık kuruluşlarından biri haline gelmiştir. Çok tercih edilmesi ile kilit konumunda olan çocuk acil servis, yoğun ve kısıtları olan bir bölümdür. Bu bölümün darboğazları, Arena Simülasyon modelinden elde edilen sonuçlar doğrultusunda Kısıtlar Teorisi yaklaşımı ile tespit edilmiştir. Tespit edilen darboğazlar dikkate alınarak, sistem performansını arttırmak için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen matematiksel model, optimizasyonun gücünden faydalanılarak çözülmüştür. Hizmet kalitesinin artması amacıyla kurulan matematiksel modelin çözümünde, Arena Optquest optimizasyon aracından faydalanılmıştır. Arena Optquest çözülen matematiksel model ile optimum kaynak sayıları belirlenmiştir. Matematiksel modelin çözümünde uygulanan adım sıralaması şu şekildedir:

1. Problem tanımlanır.
2. Problemi oluşturan parametreler belirlenir.
3. Problemin karar değişkenleri belirlenir.
4. Amaç fonksiyonu tanımlanır.
5. Problemi oluşturan kısıtlar belirlenir.
6. Çözüm Arena Optquest platformu ile elde edilir ve yorumlanır.

Simülasyon modelinin sonuçlarına göre sistemdeki darboğazlar şunlardır:

- Yatak 1 grubunda hastaların öykü vermesi
- Yatak 1 grubunda hastaların fizik muayenesinin yapılması
- Tetkikler yapıldıktan sonra hastanın doktorla görüşme işlemi,
- Yatak 2 grubunda uzun süre yatış için hastaların beklemesi olarak belirlenmiştir.

Belirlenen sistem darboğazlarının ortadan kaldırılması, acil servis performansının artmasına katkı sağlayacaktır. Bu darboğazları azaltmak ve acil servisteki hasta bekleme sürelerini düşürmek için Arena simülasyon OptQuest platformu kullanılmıştır. Sisteme ait matematiksel model ile Optquest ortamında optimizasyon yapılmıştır. İlk olarak amaç fonksiyonu tanımlanmıştır. Amaç fonksiyonu belirlenirken kaynakların maliyetlerine katsayı belirlenmiştir. Geliştirilen modelde belirlenen amaç, maliyet minimizasyonunu sağlamaktır. İkinci olarak kaynak kısıtı tanımlanmıştır. Kaynak kısıtları için alt ve üst sınırlar, acil servis yönetiminin sağlayabileceği mevcut kaynak miktarına göre belirlenmiştir.

Modele ait amaç fonksiyonu ve kaynak kısıtları Çizelge 4.6' da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Amaç fonksiyonu ve kaynak kısıtları

Amaç Fonksiyonu	
$Min Z = \sum_{k=1}^K c_k x_k$	
Kısıtlar	
$x_{lk} \leq x_k \leq x_{uk}$	$\forall k \in K$
$t_m \leq t_{um}$	$m=1,2$
$b_{ln} \leq b_n \leq b_{un}$	$n=1,2$
$x_{lk}, x_k, x_{uk}, c_k, t_m, t_{um}, b_{ln}, b_n, b_{un}$	$x_{lk}, x_k, x_{uk}, c_k \geq 0 \quad k = 1, \dots, K$ $t_m, t_{um}, b_{ln}, b_n, b_{un} \geq 0 \quad m=1,2 \quad n=1,2$

Matematiksel modelde;

x_k : k. kaynak kısıtı, $k=1, \dots, K$

c_k : k. kaynağa ilişkili maliyet katsayısı, $k=1, \dots, K$

x_{lk} : k. kaynağının alt sınırı, $k=1, \dots, K$

x_{uk} : k. kaynağının üst sınırı, $k=1, \dots, K$

b_n : n. yatak grubundaki yatak sayısı, $n=1,2$

b_{ln} : n. yatak grubundaki minimum yatak sayısı, $n=1,2$

b_{un} : n. yatak grubundaki maksimum yatak sayısını, $n=1,2$

temsil eder.

Karar değişkenleri için alt sınırlar, üst sınırlar ve maliyet katsayıları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Karar değişkenleri için alt sınırlar, üst sınırlar ve maliyet katsayıları

k	x_k	x_{lk}	x_{uk}	c_k
1	İntörn Doktor	1	5	1
2	Asistan Doktor	3	5	4
3	Görüntüleme Personeli	1	4	3
4	Laboratuvar Personeli	1	6	3
5	Hemşire	1	3	3
6	Kayıt Sekreteri	1	2	2

Yatak sayısına ilişkin alt ve üst sınırlar Çizelge 4.8’ da verilmiştir.

Çizelge 4.8. Yatak sayısı alt ve üst sınırları

n	b_n	b_{ln}	b_{un}
1	Yatak 1	6	8
2	Yatak 2	10	20

t_m : m. yatak için kuyrukta bekleme süresi, $m=1,2$

t_{um} : m. yatak için kuyrukta maksimum bekleme süresi, $m=1,2$

$t_m \leq t_{um}$, $m=1,2$

$t_1 \leq 5$

$t_2 \leq 30$

Matematiksel model tanımlandıktan sonra Arena OptQuest platformuna aktarılmıştır.

OptQuest platformuna aktarılan modelin amaç fonksiyonu EK C’de verilmiştir.

OptQuest platformuna aktarılan model kısıtları Şekil 4.28’de verilmiştir.

Constraints

Constraints Summary					
	Included	Name	Type	Desc	Expression
▶	✓	New Constraint	Linear		1 <= [Intorn Doktor] <= 5
	✓	New Constraint	Linear		3 <= [Asistan Doktor] <= 5
	✓	New Constraint	Linear		1 <= [Goruntupersoneli] <= 4
	✓	New Constraint	Linear		1 <= [Labpersoneli] <= 6
	✓	New Constraint	Linear		8 >= [yatak1] >= 6
	✓	New Constraint	Linear		20 >= [yatak2] >= 10
	✓	New Constraint	Linear		1 <= [Kan alan hemsire] <= 3
	✓	New Constraint	Linear		1 <= [Kayit Sekreteri] <= 2
	✓	New Constraint	NonLinear		0 <= [Yatak 2 Grubu.Queue.WaitingTime] <= 30
	✓	New Constraint	NonLinear		[Yatak1Gubu.Queue.WaitingTime] <= 5

Şekil 4.28. Optquest Model Kısıtları

OptQuest platformuna aktarılan kaynaklar için alt ve üst sınırlar Şekil 4.29’da verilmiştir.

Controls Resources

Resources Summary							
	Includ /	Control	Element Type	Type	Low Bound	Suggested Value	High Bound
	✓	AsistanDoktor	Resource	Integer	3	3	5
	✓	Goruntupersoneli	Resource	Integer	1	2	4
	✓	Intorn Doktor	Resource	Integer	1	1	5
	✓	Kan alan hemsire	Resource	Integer	1	1	3
	✓	Kayit Sekreteri	Resource	Integer	1	1	2
	✓	Labpersoneli	Resource	Integer	1	1	6
	✓	yatak1	Resource	Integer	6	6	8
▶	✓	yatak2	Resource	Integer	10	15	20

Şekil 4.29. Optquest Model Kaynakları için Alt ve Üst Sınırlar

OptQuest platformuna aktarılan model için optimize edilmek istenen performans ölçütleri Şekil 4.30’da verilmiştir.

Queue Summary				
Included	Data Type	Response /	Response Type	
☒	Waiting Time	Yatak 2 Grubu.Queue.WaitingTime	Tally Value	
☐	Number Waiting	Yatak1debeklemesure.Queue.NumberInQueue	DStat Average	
☐	Waiting Time	Yatak1debeklemesure.Queue.WaitingTime	Tally Value	
☐	Number Waiting	Yatak1debeklemesure_1.Queue.NumberInQueue	DStat Average	
☐	Waiting Time	Yatak1debeklemesure_1.Queue.WaitingTime	Tally Value	
☐	Number Waiting	Yatak1Gubu.Queue.NumberInQueue	DStat Average	
☒	Waiting Time	Yatak1Gubu.Queue.WaitingTime	Tally Value	

Şekil 4.30. Optquest Performans Ölçütleri

Bu çalışmada geliştirilen matematiksel model QptQuest platformuna aktarıldıktan sonra optimizasyon çalıştırılmıştır. Amaç darboğazların etkisini azaltarak, kaynakları daha verimli kullanmaktır.

4.6.1. Optimizasyon Sonuçları

Optimizasyon modelinin amacı, kısıtları göz önünde bulundurarak maliyeti en aza indirmektir. Modelde tanımlanan amaç fonksiyonu ve kısıtlar doğrultusunda Arena OptQuest platformunda, 1000 simülasyon, 10 tekrarla çalıştırılmıştır. QptQuest sonuçlarına göre optimum kaynak sayıları belirlenmiştir. OptQuest tarafından sunulan en iyi çözüm, bazı kaynakların mevcut kapasitesini korurken, belirli görevler için ek kaynak eklenmesini önermiştir. Çizelge 4.9’da ortalama hasta bekleme süresini en aza indirmek için seçilen en iyi kaynak kombinasyonunu gösteren OptQuest sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.9. OptQuest optimal kaynak sayıları

Karar Değişkenleri	Optimal Kaynak Sayıları
x_1	1
x_2	3
x_3	1
x_4	1
x_5	1
x_6	1

OptQuest’in sunduğu optimizasyon sonuçları değerlendirildiğinde;

Asistan doktor sayısı kaynaklı bekleme sürelerini azaltmak için, asistan doktor sayısının 1 kişi artırılarak 3 yapılması gerektiği önerilmektedir.

Diğer kaynaklarda darboğaz olmaması kaynaklı, mevcut kapasitelerinin korunması gerektiği önerilmektedir.

4.6.2. Mevcut Model ve İyileştirilmiş Modelin Karşılaştırması

Son aşamada, optimizasyon sonucunda önerilen kaynak kombinasyonuna göre ilgili kapasite değerleri değiştirilerek simülasyon modeli yeniden oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modele iyileştirilmiş simülasyon modeli adı verilmiştir. Optimizasyon sonucunda, asistan doktor sayısı 2’den 3’e çıkmıştır. Bu durum maliyeti bir miktar arttırsa da sistemde bekleme süreleri ve kalış sürelerinde önemli bir azalmaya yol açmıştır. Ayrıca halihazırda mevcut olan ancak kullanılmayan yataklar maliyette artışa sebep olmadan kullanıma açılmıştır. Bu nedenle yatak sayısı artışı maliyet artışına sebep olmadığı için amaç fonksiyonuna dahil edilmemiştir. Yatak 2 sayısı, 18’den 20’ye çıkmıştır. Yapılan değişiklikler sonucunda ortalama hasta bekleme süreleri azalmıştır. Optimizasyon sonrası bekleme sürelerindeki iyileşmeler Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Optimizasyon öncesi ve sonrası darboğazlardaki bekleme sürelerinin karşılaştırılması

Ortalama Hasta Bekleme Süresi	Optimizasyondan Önce (Minumum)	Optimizasyondan Sonra (Minumum)	Azalma
Hasta öyküsü alma	6,44	1,45	77,48 %
Fizik Muayene	7,59	1,79	76,42 %
Tetkik sonrası doktorla görüşme	7,62	1,42	81,36 %
Yatak 1	6,33	1,18	81,36 %
Yatak 2	31,8	7,95	75,00 %

Sonuçlar değerlendirildiğinde;

- Hasta öyküsü alma için bekleme süresi, ortalama 6,44 dakikadan 77,48 %’lik bir azalma ile 1,45 dakikaya düşmüştür.
- Fizik Muayene için bekleme süresi, ortalama 7,59 dakikadan 76,42 %’lik bir azalma ile 1,79 dakikaya düşmüştür.
- Tetkik sonrası doktorla görüşme için bekleme süresi, ortalama 7,62 dakikadan 81,36 %’lik bir azalma ile 1,42 dakikaya düşmüştür.
- Yatak 1 için bekleme süresi, ortalama 6,33 dakikadan 81,36 %’lik bir azalma ile 1,18 dakikaya düşmüştür.
- Yatak 2 için bekleme süresi, ortalama 31,8 dakikadan 75 %’lik bir azalma ile 7,95 dakikaya düşmüştür.

Optimizasyondan sonra bekleme sürelerindeki azalmanın bir sonucu olarak, tüm hasta grupları için acil serviste toplam kalış süresi de azalmıştır. Sonuçlar, optimizasyonun gruplar arasında farklı düzeyde iyileşme sağladığını göstermektedir. Ayrıntılar Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Optimizasyon öncesi ve sonrası acil serviste toplam kalış süresinin karşılaştırılması

Grup	Mevcut Durum Simülasyon	Optimize Durum Simülasyon	Fark (%)
1	10,9	5,5	49,5
2	20,8	20,7	0,4
3	45,3	30,4	32,8
4	122,7	102	16,8
5	347,6	330,1	5
6	684,7	668,8	2,3
7	1239,8	1205,5	2,7
8	146,3	111	24,1
9	329	286	13
10	690,7	636,1	7,9
11	1234	1200,7	2,7
12	3730,6	3612	3,1

Mevcut durum simülasyon ve optimizasyon sonrası simülasyon için acil serviste toplam kalış süreleri karşılaştırması incelendiğinde;

En çok iyileşme % 49,5 oranında azalma ile 1. Grup hastalarında olmuştur. Mevcut durumda 1. Grup hastalarının sistemde kalış süresi simülasyona göre 10,9 dakika iken optimizasyon sonrası bu süre 5,5 dakikaya düşmüştür.

İkinci sırada en iyi performans 3. Grup hastalarında gözlemlenmiştir. Bu hasta grubu optimizasyon öncesi sistemde ortalama 45,3 dakika geçirirken optimizasyonla 32,8%’lik bir azalma ile bu süre 30,4 dakikaya düşmüştür.

Bu iki grubun ardından en iyi performans iyileşmesi yatan hastaların olduğu bir hasta grubu olan Grup 8’de gözlemlenmiştir. Bu hasta grubundaki hastalar optimizasyon öncesi sistemde ortalama 146,3 dakika kalırken, optimizasyon sonrası bu süre 24,1% azalma ile 111 dakikaya gerilemiştir.

Genel olarak optimizasyon tüm hasta gruplarının acil serviste geçirdiği ortalama toplam sürenin azalmasına katkı sağlamıştır.

Optimizasyon sonrası gözlemlenen bir diğer iyileşme de hastaların doktora ilk ulaşma süresidir. Kategori 1 ve Kategori 2 hastalarının optimizasyon öncesi ve sonrası doktorla ilk temas için geçen sürelerinin karşılaştırması Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Hastalarının optimizasyon öncesi ve sonrası doktorla ilk temas için geçen sürelerin karşılaştırması

Durum	Kategori 1	Kategori 2
Opimizasyon öncesi	9,50	9,08
Opimizasyon sonrası	4,01	3,88
Azalma	57,79 %	57,27 %

Kategori 1 hasta grubu için optimizasyon öncesi doktora ilk ulaşma süresi 9,5 dakika iken bu süre optimizasyon sonrası 9,08 dakikaya düştüğü görülmektedir. Kategori 2 hasta grubu için ise optimizasyon öncesi doktora ilk ulaşma süresi 4,01 dakika iken bu süre optimizasyon sonrası 3,88 dakikaya düşmüştür. Çizelge 4.14’de görüldüğü üzere, Kategori 1 hastalarında doktorla ilk temas süresi %57,79 oranında ve Kategori 2 hastalarında ise %57,27 oranında azalma sağlanmıştır. Bu azalış oranları acil serviste büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla, elde edilen bu iyileşmeler, tedavi sürecinin etkinliğini artıran önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Acil müdahale gerektiren hastaların sağlık hizmetine daha hızlı ulaşması hasta güvenliği ve hastanın klinik durumu açısından hayati öneme sahiptir.

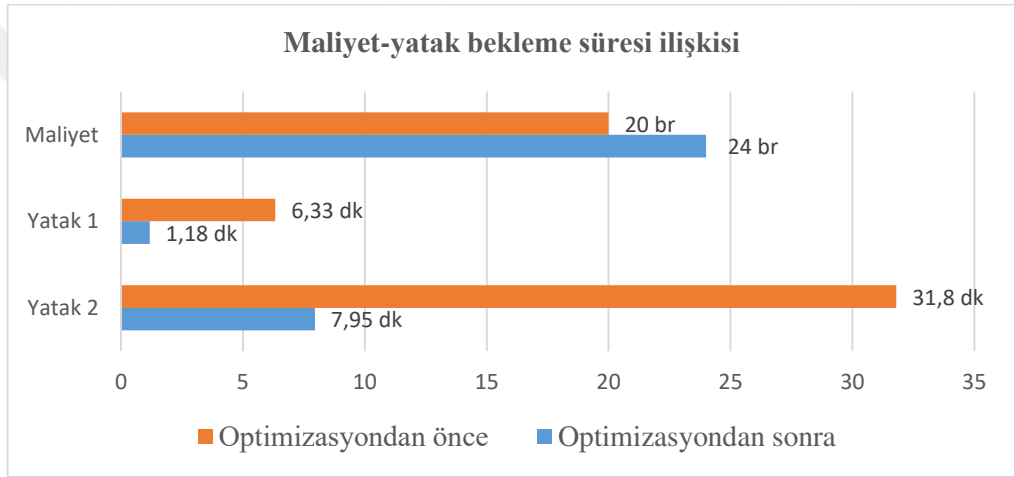
OptQuest ile, matematiksel modelde belirtilen kısıtlar doğrultusunda hasta bekleme sürelerini hedeflenen seviyelerin altına düşürerek, en düşük maliyetle optimum kaynak sayılarını belirlemek amaçlanmıştır. Sonuçlar incelendiğinden bu hedefe başarı ile ulaşıldığı görülmektedir. Bu iyileştirmeye ek olarak, OptQuest ile en uygun sonuç için farklı denemeler de yapılmıştır. Farklı denemelerin yapıldığı OptQuest senaryo analizi sonuçları Çizelge 4.13’te verilmiştir.

Çizelge 4.13. OptQuest senaryo analizi

Senaryo	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	y_1	y_2	Q_1	Q_2	Maliyet
1	1	3	1	1	1	1	6	20	1,18	7,95	24
2	1	3	1	1	1	1	8	20	0,71	13,6	24
3	2	3	1	1	1	1	8	20	0,53	3,94	25
4	1	3	1	1	1	2	6	20	1,72	24,51	26
5	1	3	1	1	1	2	7	20	0,99	15,83	26
6	1	3	1	1	1	2	8	20	0,63	18,71	26
7	1	3	1	2	1	1	6	20	1,18	7,95	27
8	1	3	2	1	1	1	8	20	0,92	5,74	27
9	2	3	2	1	1	1	6	20	1,3	9,83	28
10	5	3	1	1	1	1	6	20	1,21	0,59	28

OptQuest tarafından önerilen farklı senaryolar Arena simülasyon programında test edilmiştir. Senaryo sonuçları incelendiğinde, Yatak 1 ve Yatak 2 için bekleme sürelerinin değişkenlik gösterdiği görülmüştür. 1. Senaryonun OptQuest tarafından önerilen optimal sonuç olduğu görülmektedir. Bu senaryo Arenada çalıştırıldığında Yatak 1 bekleme süresini ifade eden Q_1 değeri 1,18 dakika ve Yatak 2 için bekleme süresini ifade eden Q_2 değeri 7,95 dakika çıkmıştır. Optimal senaryoda toplam kaynak maliyeti 24 br olarak hesaplanmıştır. Kaynak sayıları arttırıldığında yatak 2 bekleme süresi oldukça azalmış ancak bu durum maliyeti çok arttırdığı için kabul edilebilir bulunmamıştır. Bu bulgular, OptQuest tarafından önerilen optimal sonucun maliyet ve performans açısından başarılı bir çözüm olduğunu desteklemektedir.

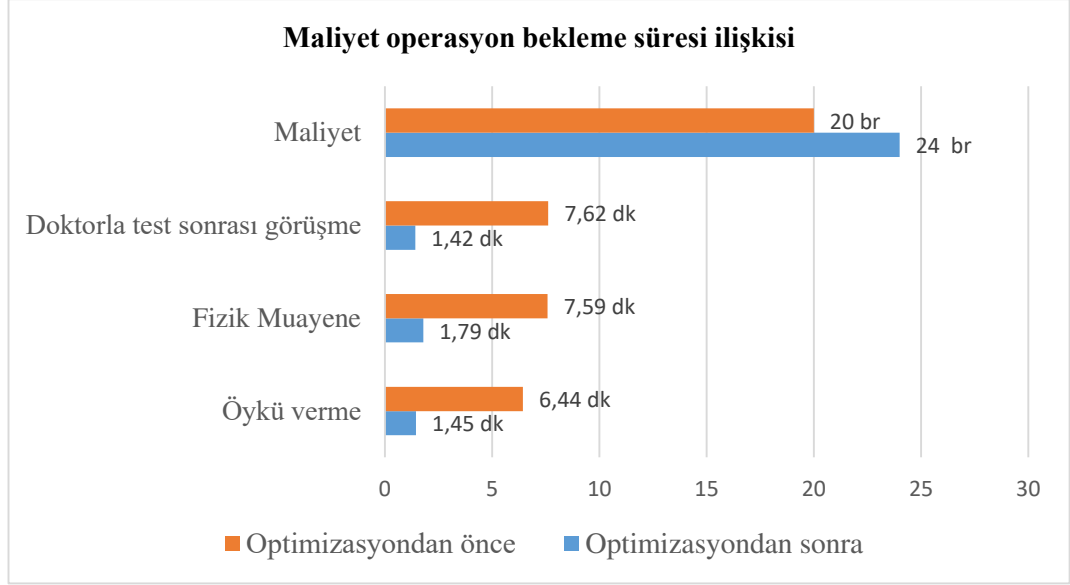
Yatak 1 ve Yatak 2 grupları için kuyrukta bekleme süreleri ve toplam maliyetteki değişim durumu optimizasyon öncesi ve sonrası için Şekil 4.31’de verilmiştir.



Şekil 4.31. Maliyet-Yatak Bekleme Süresi İlişkisi

Optimizasyon sonucu Yatak 1 ve Yatak 2 için hastaların kuyrukta bekleme süresi azalmıştır ancak kaynak sayısında yapılan artış maliyette küçük bir artışa sebep olmuştur. Sistem performansının kayda değer şekilde artması, personel ve hasta memnuniyetindeki yükselme küçük maliyet değişiminin kabul edilebilir bir değişim olarak değerlendirilmesine sebep olmuştur. Bekleme sürelerindeki önemli azalma optimizasyonun etkinliğini ortaya koymaktadır.

Benzer şekilde, doktorla test sonrası görüşme, fizik muayene ve hastanın öykü vermek için kuyrukta bekleme sürelerinin optimizasyonla değişimi Şekil 4.32’de verilmiştir.



Şekil 4.32. Maliyet Operasyon Bekleme Süresi İlişkisi

Optimizasyon sonrası; doktorla test sonrası görüşme, fizik muayene ve hastanın öykü vermek için kuyrukta bekleme sürelerinin önemli oranlarda azalması, optimizasyonun verimliliğini ortaya koymaktadır.

Darboğazları gidermek için optimizasyon senaryolarına ek olarak farklı senaryolar geliştirilmiştir. Acil serviste, hasta yoğunluğu ilk vardiyaya kıyasla ikinci vardiyada daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle ikinci vardiyada personel sayısının artırılmasının daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Yatak sayısı sabit tutularak ve personel sayısı değiştirilerek toplam 8 farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolar uzmanlarla beyin fırtınası yapılarak tasarlanmıştır. Senaryolar Çizelge 4.14' de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Senaryolar

Personel	Senaryo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Asistan Doktor	1.Vardiya						2	2	2
	2.Vardiya	4		4	4	4	4	4	4
İntörn Doktor	2.Vardiya		2	2				2	
Görüntüleme Personeli	2.Vardiya				2	2			2
Laboratuvar Personeli	2.Vardiya					2			2

Vardiya özelinde daha duyarlı testler yapmak için geliştirilen yeni senaryolar aşağıda sıralanmıştır.

1. Senaryo: Asistan doktor sayısı 2. vardiyada 4 yapılmıştır.
2. Senaryo: İntörn doktor sayısı 2. vardiyada 2 yapılmıştır.
3. Senaryo: Asistan doktor sayısı 2. vardiyada 4 ve intörn doktor sayısı 2 yapılmıştır.
4. Senaryo: Asistan doktor sayısı 2. vardiyada 4 ve görüntüleme personeli sayısı 2 yapılmıştır.
5. Senaryo: Asistan doktor sayısı 2. vardiyada 4, görüntüleme personeli sayısı 2 ve laboratuvar personeli 2 yapılmıştır.
6. Senaryo: Asistan doktor sayısı 1. vardiyada 2, 2. vardiyada 4 yapılmıştır.
7. Senaryo: Asistan doktor sayısı 1. vardiyada 2, 2. vardiyada 4 ve intörn doktor sayısı 2. vardiyada 2 yapılmıştır.
8. Senaryo: Asistan doktor sayısı 1. vardiyada 2, 2. vardiyada 4, görüntüleme personeli sayısı ve laboratuvar personeli sayısı 2. vardiyada 2 yapılmıştır.

Senaryolarda belirtilen değişkenler dışındaki tüm değişkenler, optimizasyon sonucu ile aynı bırakılmıştır. Tasarlanan 8 farklı vardiya senaryosu arena programında analiz edilerek sonuçları değerlendirilmiştir. Vardiya senaryolarının sonuçları Çizelge 4.15’da verilmiştir.

Çizelge 4.15. Vardiya senaryo analizi

Senaryo	Q_1	Q_2	Maliyet
1.	0,74	11,6	26
2.	1,15	4,65	24,5
3.	0,5	1,54	26,5
4.	0,54	7,92	27,5
5.	0,49	4,26	29
6.	0,7	11,1	24
7.	0,75	2,04	24,5
8.	0,81	13,82	27

Q_1 , Yatak 1 için bekleme süresini ve Q_2 , Yatak 2 için bekleme süresini temsil etmektedir. Diğer senaryolarla karşılaştırıldığında; hem Yatak 1 hem de Yatak 2 için en az bekleme süresine sahip senaryo, Senaryo 3 olmuştur. Bu nedenle, yatak bekleme sürelerini en aza indirmeyi amaçlayan bir sistem için en uygun senaryo olarak Senaryo 3 kabul edilebilir bir senaryo olarak öne çıkmaktadır. En uygun senaryo olarak belirlenen 3.Senaryo önerisine göre; asistan doktor sayısı 2. vardiyada 4 ve intörn doktor sayısı 2’ye çıkarılmalıdır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde sistemlerin yüksek performans ve başarı göstermeleri, mevcut süreçlerinin sürekli iyileştirilmesi ile doğrudan ilişkilidir. Kısıtlar Teorisi yaklaşımı, sistemlerin performansını etkileyen en az bir kısıt olduğunu, sistemlerin performansını olumsuz etkileyen darboğazların bu kısıttan kaynaklandığını, bu kısıtların yönetilmesi ve ortadan kaldırılması gerektiğini savunan bir yönetim felsefesidir. Kısıtlar Teorisinde, sistemin kısıtları bir zincirin en zayıf halkasına benzetilir. Sistemin performansının artırılması, kısıtlarının yok edilmesine bağlıdır. Sistemde bulunan bir kısıt dahi tüm sistemin performansını olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle sistem yöneticilerinin, sistemin kısıtlarının belirlenmesi ve ortadan kaldırılmasının önemini farkında olması önemlidir. Sistemin performansını etkileyen kısıtların belirlenmesi, belirlenen kısıtların amaca olan etkisinin belirlenmesi ve son olarak geliştirilen çözümlerle kısıtların yok edilmesi Kısıtlar teorisinin temelini oluşturmaktadır. Ortadan kaldırılan kısıtlar sayesinde, sistemde malzeme, personel, ekipman ve işleyişte performans artışı beklenmektedir.

Literatür incelendiğinde, Kısıtlar Teorisinin birçok farklı disiplinde kullanıldığı gözlemlenmiştir. Ancak hizmet sektörünün temelini oluşturan sağlık sektöründe yapılan çalışma sayısının oldukça az olması, literatürde bir açıklık olarak dikkat çekmektedir. Bacelar-Silva ve ark (2022), tarafından Kısıtlar Teorisi yaklaşımı kullanılarak sağlık alanında yapılmış 42 uygulama incelenmiştir. İncelenen uygulamaların sonucu kontrol edildiğinde %98’ inde daha fazla hastanın tedavi edildiği, %83’ünde bakımın zamanında olması görülmüştür. Ayrıca, bazı çalışmalarda çarpıcı performans artışları dikkat çekmektedir. Bunlardan bazıları; hasta bekleme süresinde ortalama %50 azalmanın olması, hasta kalış süresinde %38 azalmanın olması, %43 ameliyathane verimliliğinde artış sağlanması ve %34 sistem verimi artışı sağlanmasıdır. Sonuçlar, Kısıtlar Teorisinin kronik sağlık hizmeti sorunu için umut verici bir çözüm olabileceğini göstermektedir.

Acil servislerdeki aşırı kalabalık dünya çapında önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır (Coster ve ark., 2017; Higginson, 2012) Acil servislerdeki hasta yoğunluğunu arttıran birçok etken bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; hastaların, acil servisleri sağlık birimleri arasından öncelikli olarak tercih etmesi, acil serviste bulunan asistan doktorların uzman doktorlardan tavsiye alması (beklemelere sebep olmaktadır) veya sevk alması, yaşlı hastaların acil servisleri sık tercih etmesi vb. sebeplerdir (Coster ve ark., 2017; Unwin ve ark., 2016). Bu etkenler acil servislerin kalabalık olmasına sebep olmaktadır.

Bu tez kapsamında, Çukurova Üniversitesi Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı’na ait sistem kısıtları ele alınmıştır. Çalışmanın amacı operasyonel darboğazların analiz edilmesi, tespit edilen darboğazların ortadan kaldırılması ve sistem performansında artış sağlamaktır.

Çalışmada, Çukurova Üniversitesi Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı’nda sistemdeki darboğazları belirlemek için öncelikle mevcut sisteme ait gerçek veriler kullanılarak simülasyon modeli geliştirilmiştir. Simülasyon modeli için Arena programı tercih edilmiştir.

Simülasyon sayesinde gerçek sistemin işleyişini bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Gerçek sistem ile simülasyon ortamında kurulan sistem birbiri ile kıyaslanmıştır. Veriler arası farkı belirleme aşamasında Statistica programından faydalanılmıştır. Statistica programında “Mann-Whitney U testi” ve “Kolmogorov-Smirnov testi” ile modelin geçerliliği test edilmiştir. Değerlendirme sonucu, modelin başarılı bir karar destek aracı olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Arena simülasyon ortamında 1 yıllık gerçek veri ile simülasyon çalıştırılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre, Kısıtlar Teorisi yaklaşımından faydalanarak sistem için en kritik darboğazlar tespit edilmiştir. Belirlenen darboğazların, hastanın sisteme ilk giriş anından başlayarak hastanın sistemden çıkış yapma aşamasına kadar hastanın bekleme sürelerine olan etkisi gözlemlenmiştir. Darboğazları ortadan kaldırmak için yeni simülasyon model önerileri geliştirilmiştir. Simülasyon sayesinde "what if" analizi gerçekleştirilmiş ve farklı senaryolar ile sistem performansının değişimi ek bir maliyete sebep olmadan analiz edilmiştir. Bilgisayar simülasyonlarının sağlık hizmetlerinde kullanımı, karar alma süreçlerini iyileştirmeye ve operasyonel verimliliği artırmaya yardımcı olduğu için giderek yaygınlaşmaktadır. Geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında, simülasyonlar daha hızlı, daha uygun maliyetli ve daha verimli çözümler sunmaktadır.

Bu çalışmada; belirlenen kısıtları ortadan kaldırmak ve sistemdeki hasta akışını/hizmet süreçlerini optimize etmek amacıyla Arena programında bulunan OptQuest optimizasyon aracı kullanılmıştır. Çalışmada ele alınan sisteme ait matematiksel model kurulmuş ve model OptQuest’e entegre edilmiştir. Modelleme aşamasında, ilk olarak amaç fonksiyonu belirlenmiştir. Bu sayede, belirlenen amaç fonksiyonu, kısıtlar ve performans ölçütleri doğrultusunda kapsamlı bir optimizasyon yapılmıştır. OptQuest platformu yardımıyla farklı kaynak atamaları ile çeşitli senaryoların testi gerçekleştirilmiştir. OptQuest sayesinde darboğazları azaltacak ve sistemin en yüksek performansı göstereceği en uygun kaynak kombinasyonu belirlenmiştir. Yapılan optimizasyonla, belirlenen sistem kısıtları ortadan kaldırılmış ve hasta bekleme süreleri en aza indirilmiştir. Bu kapsamda; hastane ekipmanları verimliliğinin artması, yatak kapasitesinin en uygun hale getirilmesi, personel performansının artması, hasta bekleme süresinin azalması, hasta işlem görme süresinin azalması, kaynak kullanımının optimize edilmesi ve müşteri memnuniyetinin artması sağlanarak toplam sistem performansında artış sağlanmıştır.

Sistem darboğazları olarak belirlenen; bir hastanın, öykü vermesi için bekleme süresi %77,48, fizik muayene için bekleme süresi %76,42, Yatak 1 grubunda bekleme süresi %81,36, Yatak 2 grubunda bekleme süresi %75 azalmıştır. Kaydedilen iyileştirmeler acil servisin verimliliğinde artış sağlamıştır. Önerilen model ile hastaların bekleme süreleri ve dolayısı ile hastanın sistemde geçirdiği toplam süre azalmıştır. Tedavi süreçleri hızlanmış ve hizmet sunum kalitesinde artış sağlanmıştır. OptQuest optimizasyonu sonucunda acil servis kaynak maliyetinde hafif bir artış olsa da, elde edilen verimlilik ve artan hasta memnuniyeti bu maliyeti dengelemektedir. Yapılan tüm süreç iyileştirmeleri, hizmet sektöründe müşteri memnuniyetinin artmasına sebep olacak uzun vadeli faydalar sağlama potansiyeline sahiptir.

Günümüzde sağlık hizmetlerini iyileştirmek için farklı konularda sağlık ile ilgili çalışmalar yürütülmektedir (yoğun bakım yatak kapasitesinin simülasyonu, nesnelerin internetini kullanan akıllı ambulans sistemleri, tıbbi lojistiğin sağlık kullanıcıları üzerindeki etkisi vb.) Bu çalışmada acil servis için bir metodoloji geliştirilmiştir. Ancak sunulan metodoloji farklı sağlık birimlerine de uyarlanabilir. Hasta geliş oranları, kaynak sayıları, tedavi süreleri farklılık gösterse de simülasyon modelinin genel yapısı farklı modellere (yoğun bakım birimleri ve aile sağlık merkezi) uyarlanmaya uygundur. Tüm acil servis süreçlerini kapsayan mükemmel bir simülasyon modeli oluşturmak çok zor veya imkansız olsa da, temel aktiviteleri içeren bir model bile yöneticilerin operasyonel kararlarını iyileştirmeye önemli katkılar sağlayabilir. Bu simülasyon modeli, acil servis yöneticilerinin olası değişikliklerin günlük operasyonlara etkisini önceden görmesini ve daha bilinçli kararlar almasını sağlamaktadır. Elde edilen bulgular doğrultusunda, sistem performansının artırılması için önerilen bu bütünlük yaklaşımın, çocuk acil servis gibi kritik ve yoğun birimlerde karar vericilere rehberlik edebilecek etkili bir yöntem olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Ayrıca simülasyon modelinin sonuçlarının genelleştirilebilirliğini etkileyebilecek bazı sınırlamaları ve varsayımları vardır (sabit kaynak sayısı, beklenmeyen hasta gelişleri ve doğal afet, salgın hastalık, politika değişiklikleri vb. gibi öngörülemeyen dış etkenler). Özetle, sonuçların genelleştirilebilirliği varsayımların gerçek dünya ile uyumluluğuna bağlıdır. Acil servis yöneticileri, önerilen simülasyon modelini kullanarak kaynak sayısı optimizasyonunu gerçek hayata uyarlayabilir ve hasta akışında iyileşmeler gözlemleyebilir. Ek olarak, farklı kaynak sayısı kombinasyonlarının sistem üzerindeki etkileri kolayca gözlemlenebilir.



KAYNAKLAR

- Adriani, L., Dall'Oglio, I., Brusco, C., Gawronski, O., Piga, S., Reale, A., ... ve Raponi, M. 2022. Reduction of waiting times and patients leaving without being seen in the tertiary pediatric emergency department: a comparative observational study. *Pediatric Emergency Care*, 38(5), 219-223.
- Ahmed, S. 2019. Integrating DMAIC approach of Lean Six Sigma and theory of constraints toward quality improvement in healthcare. *Reviews on environmental health*, 34(4), 427-434.
- Akan G. 2012. Tedarik zincirinde kalite yönetimi ve altı sigma uygulaması. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 98 s.
- Akçimen, C. ve Antmen, Z. F. 2019. Kısıtlar teorisinde kapasite kısıtı ve bir üretim işletmesinde uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 618-626.
- Akkaş S., 2016. Kısıtlar teorisi temelli süreç katkı muhasebesinin yönetim muhasebesi aracı olarak kullanımı ve bir imalat işletmesinde uygulama. Yüksek lisans tezi, Başkent Üniversitesi, Ankara, 166 s.
- Akman, G. ve Karakoç, Ç. 2005. Yazılım geliştirme prosesinde kısıtlar teorisinin düşünce süreçlerinin kullanılması. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(7), 103-122.
- Akman, G. ve Özcan, B. 2017. Türkiye’de kısıtlar teorisi ve uygulamaları konusunda yapılan çalışmalar: Literatür taraması. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 26(2), 263-277.
- Al Badi, K. 2019. Discrete event simulation and pharmacy process re-engineering, *International Journal of Health Care Quality Assurance*, Vol. 32, No. 2, 398-411.
- Altıok, T. ve Melamed, B. 2010. Simulation modeling and analysis with Arena. Elsevier.
- Amonge, A.O., 2015. Application of Goldratt’s thinking process to constraints within an emergency department a case study. Masters theses, Western Kentucky University, Kentucky, 89 p.
- Antmen, Z. F. ve Erik, A. 2019. Kısıtlar teorisi kavramının başabaş analizi ile birlikte değerlendirilmesi ve uygulaması. *Journal of Yaşar University*, 14(55), 266-276.
- Arslan N., 2008. Kısıtlar teorisi ve bir deneme çalışması. Yüksek lisans tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 137 s.
- Ayanoğlu, M. ve Şakar, M. 2015. Bir kargo firmasının ek taleplerinin karşılanması için kısıtlar kuramı yaklaşımı uygulanması. *İşletme Bilimi Dergisi*, 3(2), 19-38.
- Aydınöz C., 2011. Gıda sektöründe kısıtlar teorisi ile lojistik uygulamaların incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 147 s.
- Babatabar-Darzi H, Jafari-Iraqi I, Mahmoudi H, Ebadi A. 2020. Overcrowding management and patient safety: an application of the stabilization model. *Iranian Journal of Nursing and Midwifery Research*, 25, 382.

- Bacelar-Silva GM, Cox III JF, Rodrigues PP. 2022. Outcomes of managing healthcare services using the theory of constraints: a systematic review. *Health Systems*, 11(1), 1-16.
- Bahari A, Aboueljinane L, Lebbar M. 2022. Analysis of patients boarding time in emergency departments: a discrete event simulation approach. In 2022 14th International Colloquium of Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA), 1-6. IEEE.
- Banks J. 1999. Introduction to simulation. In *Proceedings of the 31st Conference on Winter Simulation: Simulation—A Bridge to the Future, Volume 1*, 7-13.
- Baran C., 2019. Hasta kayıt sistemi simülasyonu ve bir uygulama. Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 78 s.
- Bauer JM, Vargas A, Sellitto MA, Souza MC, Vaccaro GL. 2019. The thinking process of the theory of constraints applied to public healthcare. *Business Process Management Journal*.
- Bayraktutan Y, Özbilgin M. 2015. Lojistik maliyetler ve lojistik performans ölçütleri. *Maliye Araştırmaları Dergisi*, 1(2), 95-112.
- Berg B, Denton B, Nelson H, Balasubramanian H, Rahman A, Bailey A, Lindor K. 2009. A discrete event simulation model to evaluate operational performance of a colonoscopy suite. *Medical Decision Making*, 30(3), 380–387.
- Bhowmik C, Gangwar S, Ray A. 2018. Integrating six sigma and the theory of constraints for manufacturing process: a case study. In *Soft Computing: Theories and Applications*, 607-617. Springer, Singapore.
- Bisogno S, Calabrese A, Ghiron NL, Pacifici A. 2017. Theory of constraints applied to scheduled and unscheduled patient flows: does it improve process performance? *International Journal of Services and Operations Management*, 26(3), 365-385.
- Blackstone JH Jr. 2001. Theory of constraints: a status report. *International Journal of Production Research*, 39(6), 1053-1080.
- Bowman KO, Shendon LR. 2000. Maximum likelihood and Weibull distribution. *Far East Journal of Theoretical Statistics*.
- Breen AM, Burton-Houle T, Aron DC. 2002. Applying the theory of constraints in health care: part 1—the philosophy. *Quality Management in Healthcare*, 10(3), 40-46.
- Büyükyılmaz O, Gürkan S. 2009. Süreçlerde en zayıf halkanın bulunması: kısıtlar teorisi. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 5(9), 177-196.
- Çörekçi C., 2014. Atölye tipi üretimde simülasyon teknikleri ile dinamik çizelgeleme ve atölye simülasyonu. Yüksek lisans tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 123 s.
- Chahal K, Eldabi T. 2010. A multi-perspective comparison for selection between system dynamics and discrete event simulation. *International Journal of Business Information Systems*, 6(11), 4-17.
- Choi BK, Kang D. 2013. Modeling and simulation of discrete event systems. John Wiley ve Sons.

- Coster JE, Turner JK, Bradbury D, Cantrell A. 2017. Why do people choose emergency and urgent care services? A rapid review utilizing a systematic literature search and narrative synthesis. *Academic Emergency Medicine*, 24(9), 1137-1149.
- Cox III JF, Schleier JG (Ed.). 2010. *Theory of Constraints Handbook*. McGraw-Hill, New York, NY.
- Cox III JF, Boyd LH. 2020. Using the theory of constraints' processes of ongoing improvement to address the provider appointment scheduling system design problem. *Health Systems*, 9(2), 124-158.
- Cubukcuoglu C, Nourian P, Sariyildiz IS, Tasgetiren MF. 2020. A discrete event simulation procedure for validating programs of requirements: the case of hospital space planning. *SoftwareX*, 12, Paper 100539.
- Çolak A. B., 2004. Kısıtlar teorisi (optimizasyon). Yüksek lisans tezi, Fatih Üniversitesi, İstanbul, 93 s.
- Çolak F., 2013. Kısıtlar teorisi düşünme süreçleri yaklaşımı ile ağaç endüstrisinde lojistik süreçlerinin iyileştirilmesi. Yüksek lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 130 s.
- De Souza MC, Souza TA, Vaccaro GL. 2016. Hospital bed management: an analysis from the perspective of the theory of constraints. *Revista Espacios*, 37(30).
- Demir G., 2019. Kısıtlar teorisi ve Tarım Kredi Kooperatifinde uygulama. Yüksek lisans tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 103 s.
- Demiray Kırmızı S., 2024. Tedarik zincirinde envanter yönetimi politikası ve satış tahmin performansının etkilerinin incelenmesi. Doktora tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 96 s.
- Demircioğlu EN, Demircioğlu M, Küçüksavaş N. 2020. Bir üretim işletmesinde tamsayılı programlama ile ürün karması kararı: faaliyete dayalı maliyet sistemi ve kısıtlar teorisi uygulaması. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 88, 1-22.
- Derindere M. S., 2013. Çevik yazılım geliştirmeyi etkileyen proje ve süreç yönetim metodları. Yüksek lisans tezi, Fatih Üniversitesi, İstanbul, 169 s.
- Derlet RW, Richards JR. 2002. Emergency department overcrowding in Florida, New York, and Texas. *Southern Medical Journal*, 95(8), 846-850.
- Dettmer HW. 1997. Goldratt's theory of constraints, a systems approach to continuous improvement. ASQ Quality Press.
- Duguay, C., ve Chetouane, F. 2007. Modeling and improving emergency department systems using discrete event simulation. *Simulation*, 83(4), 311-320.
- Dumlu, Ö.F., 2020. Acil servis başvurularının triyaj sistemine ve acil parametrelerine göre değerlendirilmesi. Yüksek lisans tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, 123 s.
- Duran, M., 2015. Kısıtlar teorisi yöntemiyle süreç analizi ve iyileştirilmesi: Bir ameliyathane uygulaması. Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 125 s.
- <https://easyfit.informer.com/5.6/>. [Son erişim tarihi: 24.02.2025].

- Ekleş, E., 2020. Kısıtlar teorisi ve Altı Sigma entegrasyonu: Bir üretim tesisinde süreç iyileştirme uygulaması. Yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 159 s.
- Elmas Y., 2012. Ürün karmaşının belirlenmesi için analitik ve sezgisel yöntemlerin bütünleştirilmesine dayalı bir karar destek sisteminin geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 125 s.
- Erel, G., 2019. Kısıtlar teorisi yaklaşımının yazılım geliştirme sürecine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, 76 s.
- Erol M. 2008. Kısıtlar teorisi yaklaşımı ve teorisinin stratejik maliyet yönteminde kullanımı. Muhasebe ve Finansman Dergisi, 39.
- Fortier PJ, Michel HE. 2003. Computer systems performance evaluation and prediction. Elsevier Inc., Burlington.
- Gaga O., 2009. Süreç analizi ve süreç iyileştirme metodolojisi ve kısıtlar teorisi yöntemiyle süreç analizi uygulaması. Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 107 s.
- Genç A, Murat E, Pekgör A, Oturanc G, Hepbaşlı A, Ülgen K. 2005. Estimation of wind power potential using Weibull distribution. 27, 809-822.
- Geri N, Ahituv N. 2008. A theory of constraints approach to interorganizational systems implementation. Information Systems and E-Business Management, 6(4), 341-360.
- Glover F, Kelly JP, Laguna M. 1999. The OptQuest callable library user's documentation. Optimization Technologies, Boulder, CO.
- Glover F, Laguna M. 1997. Tabu search. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Glover F, Laguna M, Marti R. 2007. Principles of tabu search. Approximation Algorithms and Metaheuristics, 23, 1-12.
- Goldratt EM, Cox J. 1984. The goal: excellence in manufacturing. North River Press, Croton-on-Hudson, NY.
- Goldratt EM, Schragenheim E, Ptak CA. 2000. Necessary but not sufficient. North River Press, Great Barrington, MA.
- Golmohammadi D, Mansouri SA. 2015. Complexity and workload considerations in product mix decisions under the theory of constraints. Naval Research Logistics, 62(5), 357-369.
- Grida M, Zeid M. 2019. A system dynamics-based model to implement the theory of constraints in a healthcare system. Simulation, 95(7), 593-605.
- Groop J, Ketokivi M, Gupta M, Holmström J. 2017. Improving home care: knowledge creation through engagement and design. Journal of Operations Management, 53, 9-22.
- Gundogar E, Sari M, Kokcam AH. 2016. Dynamic bottleneck elimination in mattress manufacturing line using theory of constraints. SpringerPlus, 5(1), 1-15.
- Guo H, Gao S, Tsui KL, Niu T. 2017. Simulation optimization for medical staff configuration at emergency department in Hong Kong. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 14(4), 1655-1665.

- Gürses M., 2007. Kısıtlar teorisi ve proje yönetiminde bir uygulama. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 95 s.
- Han JH, Zhou C, France DJ, Zhong S, Jones I, Storrow AB, Aronsky D. 2007. The effect of emergency department expansion on emergency department overcrowding. *Academic Emergency Medicine*, 14(4), 338-343.
- Higginson I. 2012. Emergency department crowding. *Emergency Medicine Journal*, 29(6), 437-443.
- Hillier FS, Lieberman GJ. 2001. Introduction to operations management. McGraw-Hill, New York.
- Hranický MP, Černá L, Kuka A. 2021. Application of the theory of constraints for railway personnel. *Transportation Research Procedia*, 53, 31-38.
- Huang L., 1999. The integration of activity-based costing and the theory of constraints. *Journal of Cost Management*, 21-27.
- Ibrahim I.M., Liong C.Y., Bakar S.A., Ahmad N., Najmuddin A.F. 2017. Minimizing patient waiting time in emergency department of public hospital using simulation optimization approach. In *AIP Conference Proceedings*, 1830(1).
- Ikeziri LM, Souza FB, Gupta MC, De Camargo Fiorini P. 2019. Theory of constraints: review and bibliometric analysis. *International Journal of Production Research*, 57(15-16), 5068-5102.
- İşçigil E., 2008. Kısıtlar teorisi yaklaşımı ile proje çizelgeleme ve kıymetli metal ve mücevher sektöründe bir uygulama. Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 99 s.
- Jerbi A, Ammar A, Krid M, Salah B. 2019. Performance optimization of a flexible manufacturing system using simulation: the Taguchi method versus OptQuest. *Simulation*, 95(11), 1085-1096.
- Kadioğlu S., 2019. Süreç yönetiminde kısıtlar teorisi ve bankacılık sektöründe bir uygulama. Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 84 s.
- Kaplan B., 2010. Kısıtlar teorisi altında ürün karmaşı optimizasyonu. Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 133 s.
- Karadayı MA, Gökmen YG, Kasap LG, Tozan H. 2019. Sağlıkta güncel simülasyon yaklaşımları: bir derleme çalışması. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 31(1), 1-16.
- Karagün V, Sözen M. 2017. Kısıtlar teorisinde kapasite kısıtı ve bir uygulama. *Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 184-199.
- Karşılıklı U.K., 2001. Üretimde kalite iyileştirme faaliyetlerinin önceliklerinin belirlenmesinde değiştirilmiş kısıtlar teorisi yaklaşımı. Yüksek lisans tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 121 s.
- Kartal Z., 2006. Kısıtlar teorisi ile senkronize üretim sistemi ve bir uygulama. Yüksek lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 135 s.
- Kaygusuz SY. 2006. Üretim veya satın alma kararlarında kısıtlar teorisi ve MS Excel Office programının birlikte kullanılması. *İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 20(2), 159-177.

- Kaygusuz SY. 2005. Kısıtlar teorisi: Varsayımlar, süreç ve bir uygulama. Ankara Üniversitesi SBF Dergisi, 60(4), 134-156.
- Kelton WD, Sadowski RP, Swets NB. 2010. Simulation with Arena. New York: McGraw-Hill.
- Khezripour M, Khan Mohammadi MH, Ahmadi F, Kordlouie H. 2020. The application of the theory of constraint(s) model to evaluate the capital adequacy ratio in banks. Journal of Management Accounting and Auditing Knowledge, 9(36), 77-85.
- Knight A. 2013. Achieving a breakthrough in healthcare. https://cdn.ymaws.com/www.tocico.org/resource/resmgr/webinar_files/2013_pdfs/21_november_2013_webinar_sli.pdf (Erişim tarihi: 19.12.2024)
- Knight A, Schragenheim E, Gibb H, Schragenheim A. 2004. Making TOC the main way in health and social care. In Proceedings of the TOCICO Conference 2004: 2nd Annual Worldwide Gathering of TOC Professionals, Las Vegas, NV, USA, 23 October 2004; Volume 2.
- Knight A. 2014. Pride and Joy, 1st ed. Mansfield, UK: Linney Group Ltd. ISBN 978-0-9559534-9-1.
- Kocaer ER, Kuruca Hİ. 2024. Simulation software development and workforce optimization for service systems: QS-Sim software. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 39(1), 77-89.
- Kuo TC, Hsu NY, Li TY, Chao CJ. 2021. Industry 4.0 enabling manufacturing competitiveness: Delivery performance improvement based on theory of constraints. Journal of Manufacturing Systems, 60, 152-161.
- Kuo YH, Rado O, Lupia B, Leung JM, Graham CA. 2016. Improving the efficiency of a hospital emergency department: A simulation study with indirectly imputed service-time distributions. Flexible Services and Manufacturing Journal, 28, 120-147.
- Kuşku Kıyak, S., 2013. Türkiye'de acil tıp alanında yayınlanmış makalelerin dünya tıp literatürüne katkısının analizi. Tıpta uzmanlık tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 62 s.
- Küçüksavaş, N., Ünal, E. ve Tanış, V. 2005. Kısıtlar teorisi ve bir üretim işletmesinde uygulama. Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 14(2), 433-448.
- Laguna, M. 2011. OptQuest. Optimization of Complex Systems.
- Lambert, D. M., Stock, J. R., ve Ellram, L. M. 1998. Fundamentals of logistics management. Irwin McGraw-Hill, USA.
- Landa, P., Sonnessa, M., Tãnfani, E., ve Testi, A. 2018. Multiobjective bed management considering emergency and elective patient flows. International Transactions in Operational Research, 25(1), 91-110.
- Law, A. M. 2014. Simulation modeling and analysis. 5th ed. New York: McGraw-Hill.
- Law, A. M., ve Kelton, W. D. 2007. Simulation Modeling and Simulation.

- Lee, M. L., Park, I., Park, D. U., ve Park, C. J. 2017. Constrained ranking and selection for operations of an emergency department. *International Journal of Simulation Modelling*, 16(4), 563-575.
- Liu, Z., Rexachs, D., Epelde, F., ve Luque, E. 2017. An agent-based model for quantitatively analyzing and predicting the complex behavior of emergency departments. *Journal of Computational Science*, 21, 11-23.
- López-López, J. A., Van den Noortgate, W., Tanner-Smith, E. E., Wilson, S. J., ve Lipsey, M. W. 2017. Assessing meta-regression methods for examining moderator relationships with dependent effect sizes: A Monte Carlo simulation. *Research Synthesis Methods*, 8(4), 435-450.
- Louderback, J. G., ve Patterson, J. W. 1996. Theory of constraints versus traditional management accounting. *Accounting Education*, 1(2), 189-196.
- Lowalekar, H., ve Ravi, R. R. 2017. Revolutionizing blood bank inventory management using the TOC thinking process: An Indian case study. *International Journal of Production Economics*, 186, 89-122.
- Mendoza-Mendoza, A., Ospino-Castro, W., ve Romero-Martínez, D. 2021. Production scheduling in a flexible hybrid flow shop in the food industry based on the theory of constraints. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 52, 124-136.
- Mertoğlu, B., 2003. Üretimde kalite iyileştirme faaliyetlerinin önceliklerinin belirlenmesinde bütünleşik KFG yaklaşımı. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 153 s.
- Mirzaei, M., ve Mabin, D. V. 2015. 2015 TOCICO International Conference Transforming Businesses Track.
- Mızrak E., 2017. Bir kalıp imalat fabrikasında teslim sürecinde kısıtlar teorisi uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi, İstanbul, 86 s.
- Mijović, N. ve Savković, M., 2019. Measuring the performance of agile supply chain by using the theory of constraints. *IETI Transactions on Engineering Research and Practice*, 3(2), 58-64.
- Modi, K., Lowalekar, H. ve Bhatta, N. M. K. 2019. Revolutionizing supply chain management the theory of constraints way: A case study. *International Journal of Production Research*, 57(11), 3335-3361.
- Morley, C., Unwin, M., Peterson, G. M., Stankovich, J. ve Kinsman, L. 2018. Emergency department crowding: a systematic review of causes, consequences and solutions. *PloS One*, 13(8), e0203316.
- Musabeyli, S. Y., 2017. Kısıtlar teorisi mantık düşünce süreçlerinin bir tıbbi cihaz firmasına uygulanması. Yüksek lisans tezi, Çankaya Üniversitesi, Ankara, 121 s.
- Naor, M., ve Coman, A. 2017. Offshore responsiveness: theory of constraints innovates customer services. *The Service Industries Journal*, 37(3-4), 155-166.

- Nave, D. 2002. How to compare Six Sigma, Lean and the Theory of Constraints. *Quality Progress*, 35(3), 73-78.
- Nergis, H. G., 2018. Analitik ağ süreci ve kısıtlar teorisi düşünce süreçlerini kullanarak iş kazalarının önlenmesi: Tersane uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 82 s.
- Newbold, P. 1994. *Statistics for Business and Economics*, 4th ed. Printice-Hall Inc., New York.
- Okutmuş, E., Kahveci, A., ve Kartaşova, J. 2015. Using theory of constraints for reaching optimal product mix: An application in the furniture sector. *Intellectual Economics*, 9(2), 138-149.
- Onursal, F. S. ve Birgün, S., 2018. Soğuk zincir zayıflık problemlerinin çözümü için kısıtlar teorisi düşünce süreçleri uygulaması. *International Conference on Eurasian Economies*.
- Özgen, A., 2008. Müşteri odaklı bakım onarım faaliyetleri performansının dinamik tamirci rotalama problemi ile modellenmesi ve optimizasyonu, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 239 s.
- Özkan Beylihan, E., 2017. Kısıtlar teorisi esaslı proje yönetimi yaklaşımının otomotiv yan sanayiinde uygulaması, Yüksek lisans tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, 117 s.
- Özke, N., 2020. Kısıtlar teorisi yaklaşımı ile süreç analizi ve ürün karması optimizasyonu. Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 132 s.
- Pallant, J. 2016. *A step by step guide to data analysis using IBM SPSS*. McGraw Hill Education.
- Pituch, K. A., ve Stevens, J. P. 2016. *Applied multivariate statistics for the social sciences*. 6th ed. Routledge.
- Mijović, N., ve Savković, M. 2019. Measuring the performance of agile supply chain by using the theory of constraints. *IETI Transactions on Engineering Research and Practice*, 3(2), 58-64.
- Puche, J., Ponte, B., Costas, J., Pino, R., ve De la Fuente, D. 2016. Systemic approach to supply chain management through the viable system model and the theory of constraints. *Production Planning and Control*, 27(5), 421-430.
- Rasouli, H. R., Esfahani, A. A., Nobakht, M., Eskandari, M., Mahmoodi, S., Goodarzi, H., ve Farajzadeh, M. A. 2019. Outcomes of crowding in emergency departments; a systematic review. *Archives of Academic Emergency Medicine*, 7(1), e52.
- Rehman, A. U., Usmani, Y. S., Mian, S. H., Abidi, M. H., Alkhalefah, H. 2023. Simulation and goal programming approach to improve public hospital emergency department resource allocation. *Systems*, 11(9), 467.
- Ronen, B. 2005. Special issue on the theory of constraints – practice and research. *Human Systems Management*, 24, 1-2.
- Ryan, A., Hunter, K., Cunningham, K., Williams, J., O'Shea, H., Rooney, P., ve Hickey, F. 2013. STEPS: lean thinking, theory of constraints and identifying bottlenecks in an emergency department. *Ir Med J*, 106(4), 105-7.

- Salway, R. J., Valenzuela, R., Shoenberger, J. M., Mallon, W. K., ve Viccellio, A. 2017. Emergency department (ED) overcrowding: evidence-based answers to frequently asked questions. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 28(2), 213-219.
- Sarioğlu, B., 2001. Sipariş tipi üretim sistemlerinde değişken darboğazların çizelgelenmesi için yeni bir yaklaşım. Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 168 s.
- Sierraalta-Arganguren, M. C. 2015. Transformation of the flow of patient-centered care in the emergency room. In *TOCICO Conference 2015: 13th Annual Worldwide Gathering of TOC Professionals* (Vol. 13).
- Simatupang, T. M., Wright, A. C., ve Sridharan, R. 2004. Applying the theory of constraints to supply chain collaboration. *Supply Chain Management: An International Journal*, 9(1), 57-70.
- Sirias, D., ve Strear, C. 2020. Smash the bottleneck: Fixing patient flow for better care (and a better bottom line). *ACHE Learn*.
- Solak, B., 2012. Kısıtlar teorisi yaklaşımı ile üretim senaryolarının finansal analizi: Otomotiv endüstrisinde bir uygulama. Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 112 s.
- Söyler, H. ve Koç, A., 2014. Bir kamu hastanesi için acil servis simülasyonu ve veri zarflama analizi ile etkinlik ölçümü. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 6(2).117-132
- Stratton, R. ve Knight, A. 2010. Managing patient flow using time buffers. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Swan, B., Ozaltin, O., Hilburn, S., Gignac, E., ve McCammon, G. 2019. Evaluating an emergency department care redesign: a simulation approach. In *2019 Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 1137-1147). IEEE.
- Şahin, O., 2008. Kısıtlar teorisi ve bir üretim firmasında uygulanması, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 90 s.
- Şahin, Ş., 2012. Kısıtlar teorisine göre sanayi işletmelerinde çalışanların motivasyonu ve işletme başarısına etkisi: PVC üretim işletmesi üzerine bir uygulama. Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 330 s.
- Şimşek, D. Ö. 2018. Triaj sistemlerine genel bakış ve Türkiye’de acil servis başvurularını etkileyen faktörlerin lojistik regresyon ile belirlenmesi. *Sosyal Güvence*, 13, 84-115.
- Tabish, S. A., ve Syed, N. 2015. Securing the Future: A Systems Approach to Continuous Improvement in Health Care by Applying the Theory of Constraints. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 438(1), 2674-2695.
- Tekin, H., 2006. Kısıtlar teorisi ve proje yönetimine uygulanması. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 81 s.
- Tezcan, M. Ö., 2001. Kısıtlar teorisi yaklaşımı ile darboğaz kaynak yönetimi. Yüksek lisans tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 181 s.

- Thom, H. C. S. 1958. A Note on the Gamma Distribution, *Monthly Weather Review*, 86(4), 117-122.
- Thomas Schneider, A. J., Luuk Besselink, P., Zonderland, M. E., Boucherie, R. J., Van Den Hout, W. B., Kievit, J., ve Rabelink, T. J. 2018. Allocating emergency beds improves the emergency admission flow. *Interfaces*, 48(4), 384-394.
- Tiwari, V., ve Sandberg, W. S. 2016. Perioperative bed capacity planning guided by theory of constraints. In 2016 Winter Simulation Conference (WSC) (pp. 1894-1903). IEEE.
- Tollington, Tony 1998. ABC v TOC: "Same Cloth As Absorption v Marginal, Different Style and Cut?" *Management Accounting*, 76(4), 44-45.
- Umble, M., ve Umble, E. J. 2006. Utilizing buffer management to improve performance in a healthcare environment. *European Journal of Operational Research*, 174(2), 1060-1075.
- Unwin, M., Kinsman, L. ve Rigby, S. 2016. Why are we waiting? Patients' perspectives for accessing emergency department services with non-urgent complaints. *International Emergency Nursing*, 29, 3-8.
- Ural, Ö., 2007. Yerel alan ağların internet bağlantılarında güvenliğin sağlanmasında kısıtlar teorisinin düşünce süreçlerinin kullanılması. Yüksek lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 135 s.
- Uriarte, A. G., Zúñiga, E. R., Moris, M. U., ve Ng, A. H. 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.
- Utku, B. D., 2007. Kısıtlar Teorisi'ne dayalı süreç katkı muhasebesinin muhasebe yöntemleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmesi. Doktora tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 238 s.
- Ünal, E. N., Tanış, V. N. ve Küçüksavaş, N. 2007. Kısıtlar teorisi ve süreç muhasebesinin yönetim ve muhasebe açısından önemi. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 23-35.
- Ünal, E. N., Demircioğlu, M., ve Küçüksavaş, N. 2006. Optimal Ürün Karması Belirlemede Faaliyete Dayalı Maliyet Sistemi ve Kısıtlar Teorisi. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 15(2), 327-444.
- Weiβ, C. H. 2007. Statsoft, Inc., Tulsa, OK: Statistica, Version 8.
- Weiss, S. J., et al. 2004. Estimating the Degree of Emergency Department Overcrowding in Academic Medical Centers: Results of the National Emergency Department Overcrowding Study (NEDOCS). *Academic Emergency Medicine*, 11, 38-50.
- Wiler, J. L., Griffey, R. T. ve Olsen, T. 2011. Review of modeling approaches for emergency department patient flow and crowding research. *Academic Emergency Medicine*, 18(12), 1371-1379.

- Wolniak, R., Skotnicka-Zasadzi, B. O. Z. E. N. A., ve Zasadzi, M. 2017. Application of the Theory of Constraints for Continuous Improvement of a Production Process - Case Study. Destech Transactions on Social Science, Education and Human Science, (SEME).
- Yaşar, A., 2013. Kumaş etiket basma sürecinde yalın teknikler ve kısıtlar teorisinin birlikte uygulanabilirliği. Yüksek lisans tezi, Hava Harp Okulu Komutanlığı, İstanbul, 188 s.
- Yavuz, S. 2008. Sistem Simülasyonu Ders Notları. Yıldız Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Yousefi, M., Yousefi, M. ve Fogliatto, F. S. 2020. Simulation-based optimization methods applied in hospital emergency departments: A systematic review. Simulation, 96(10), 791-806.
- Yükçü, S. ve Yüksel, İ. 2015. Hastane İşletmelerinde Kısıtlar Teorisi Yaklaşımı ve Örnek Bir Uygulama. Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 29(3), 557-578.
- Zeng, Z., Ma, X., Hu, Y., Li, J. ve Bryant, D. 2012. A simulation study to improve quality of care in the emergency department of a community hospital. Journal of Emergency Nursing, 38(4), 322-328.
- Zhao, X. ve Hou, J. 2021. Applying the Theory of Constraints Principles to Tourism Supply Chain Management. Journal of Hospitality and Tourism Research, 1096348021996791.
- Zupancic, D., Buchmeister, B. ve Aljaz, T. 2017. Reducing the time of task execution with existing resources – comparison of approaches. International Journal of Simulation Modelling, 16(3), 484-496.



ÖZGEÇMİŞ

Şölen ZENGİN, 2010 yılında Osmaniye Fen Lisesi'nde lise öğrenimini tamamladı. 2011 yılında başladığı Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden 2016 yılında mezun oldu. Aynı yıl bir tekstil fabrikasında üretim planlama mühendisi olarak çalışma hayatına başladı. 2016 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında başladığı Yüksek Lisans 2019 yılında mezun oldu. 2020 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında doktora eğitimine başladı. Aynı yıl Tarsus Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı ve halen çalışmaya devam ediyor. Evli ve bir çocuk annesi.



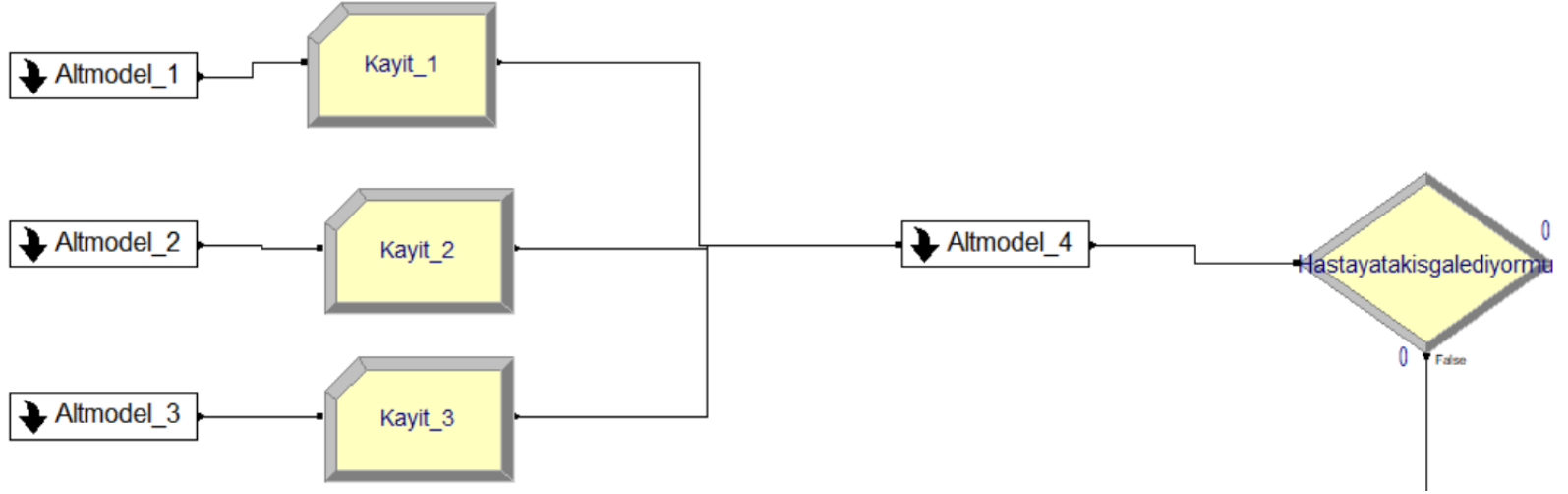




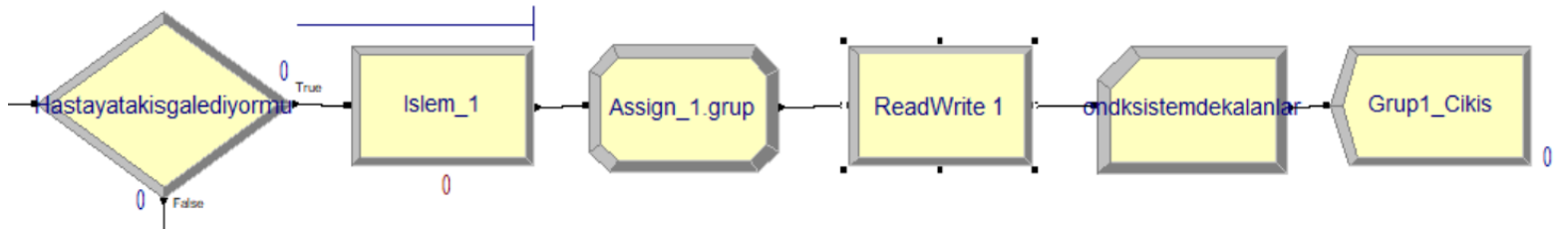
EKLER



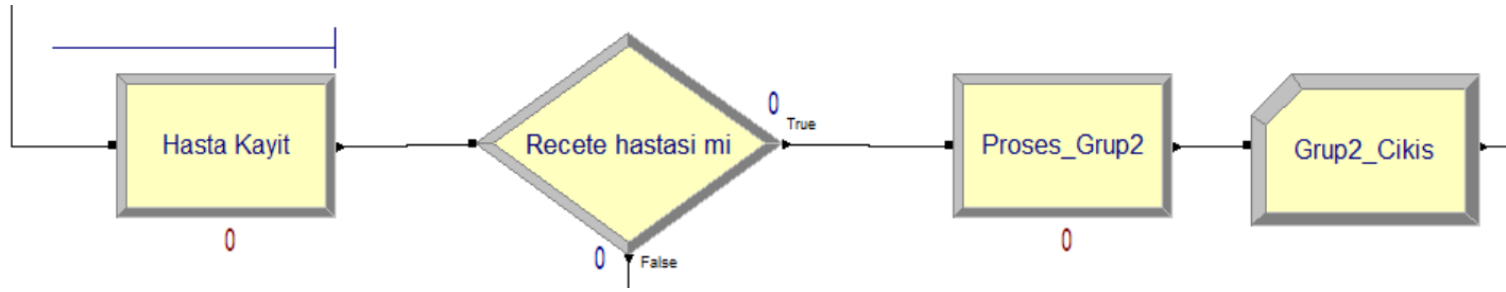
EK A. Acil Servis Süreç Akışı Arena Modeli



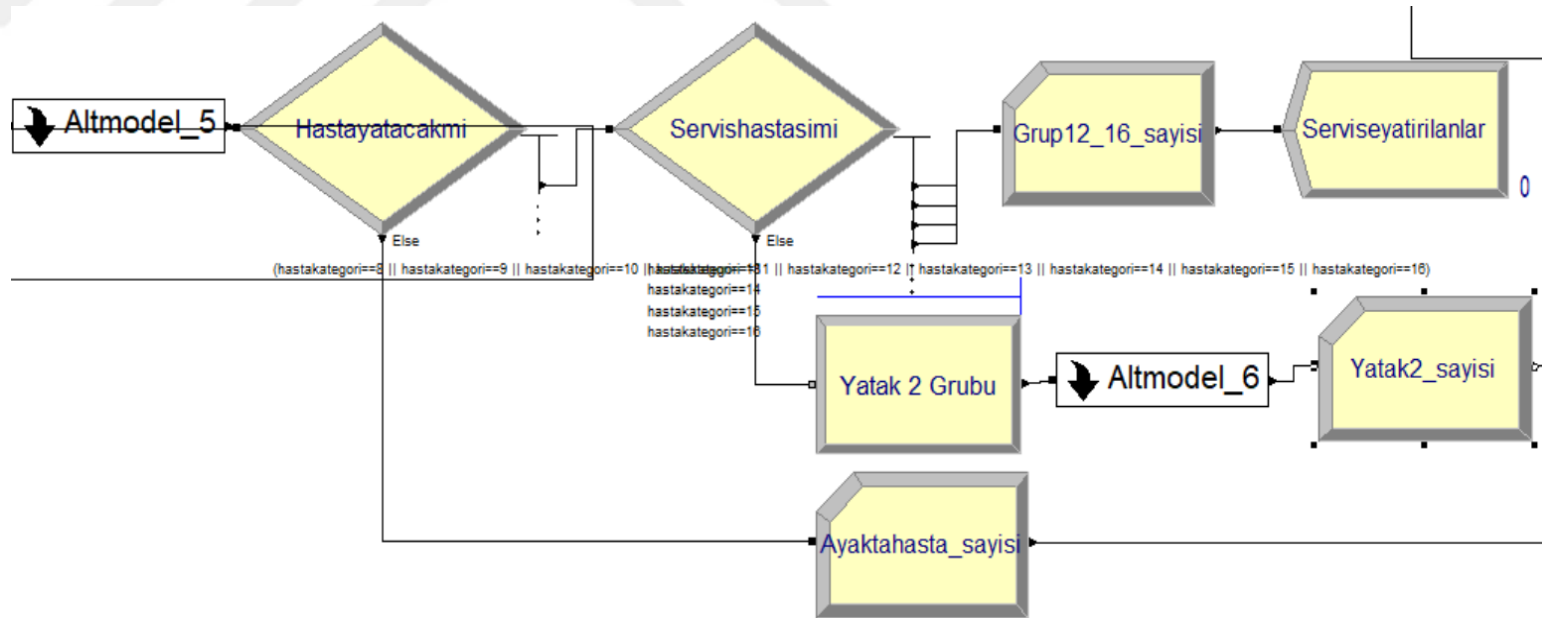
Şekil 1. Ana Model-1



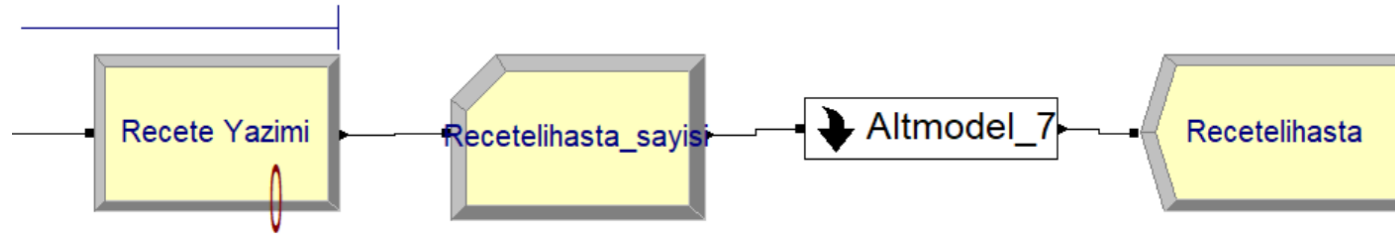
Şekil 2. Ana Model-2



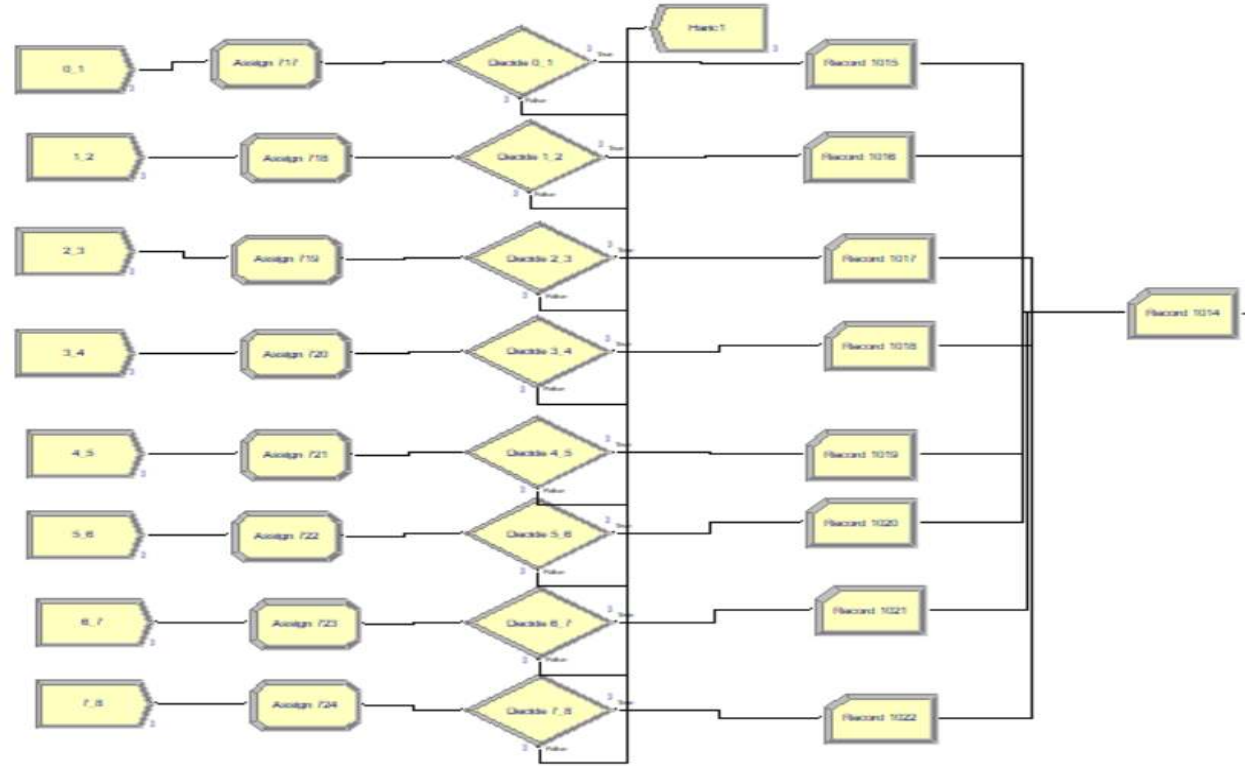
Şekil 3. Ana Model-3



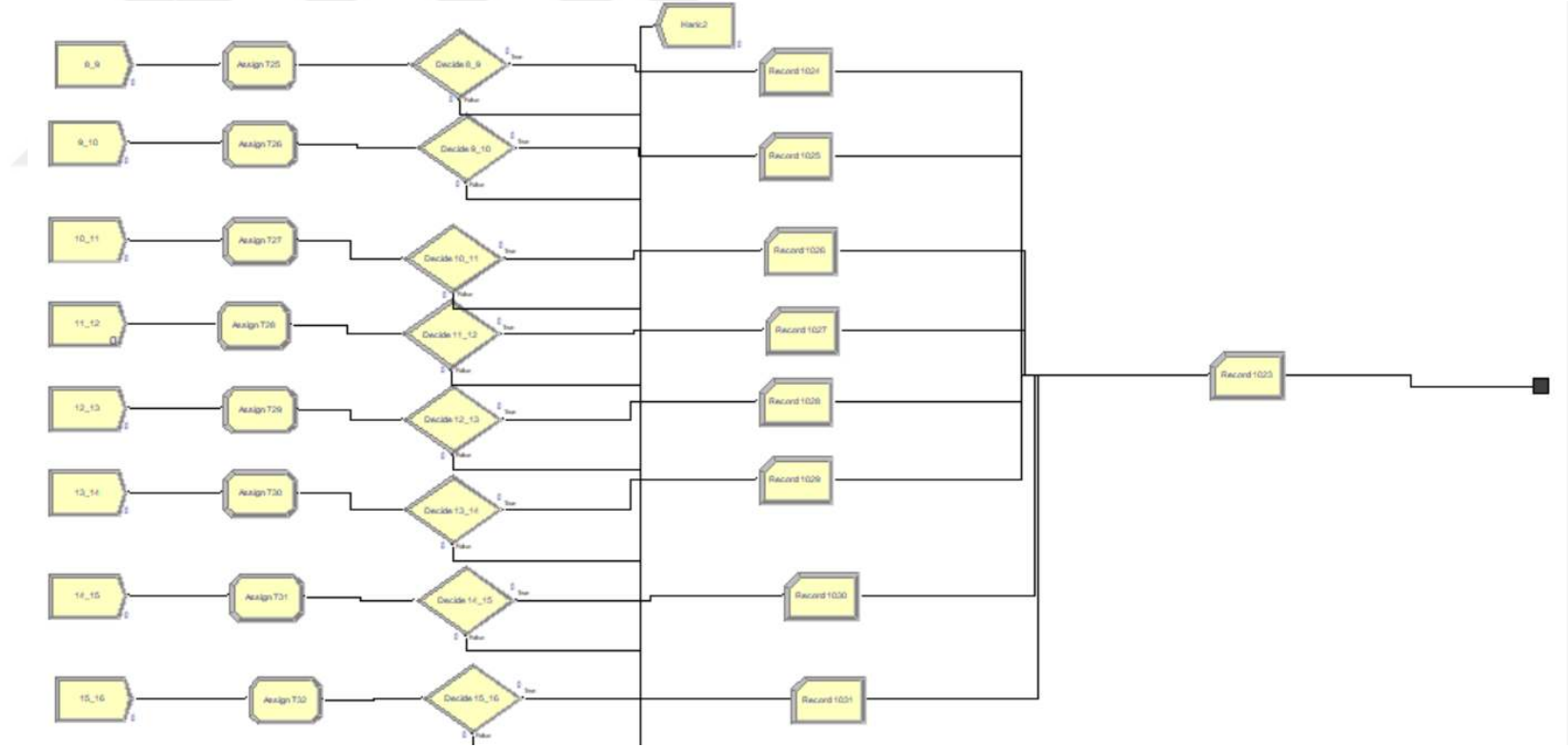
Şekil 4. Ana Model-4



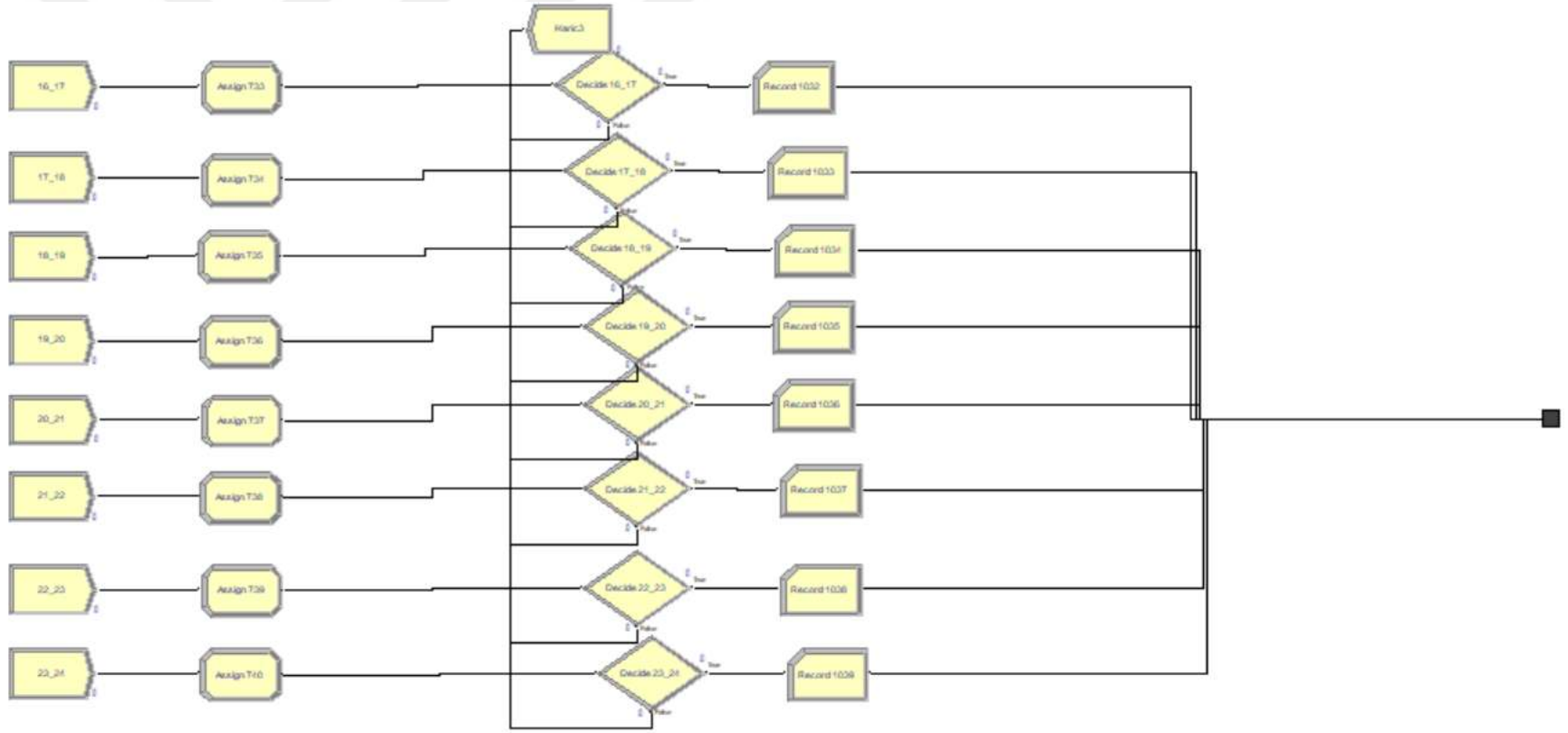
Şekil 5. Ana Model-5



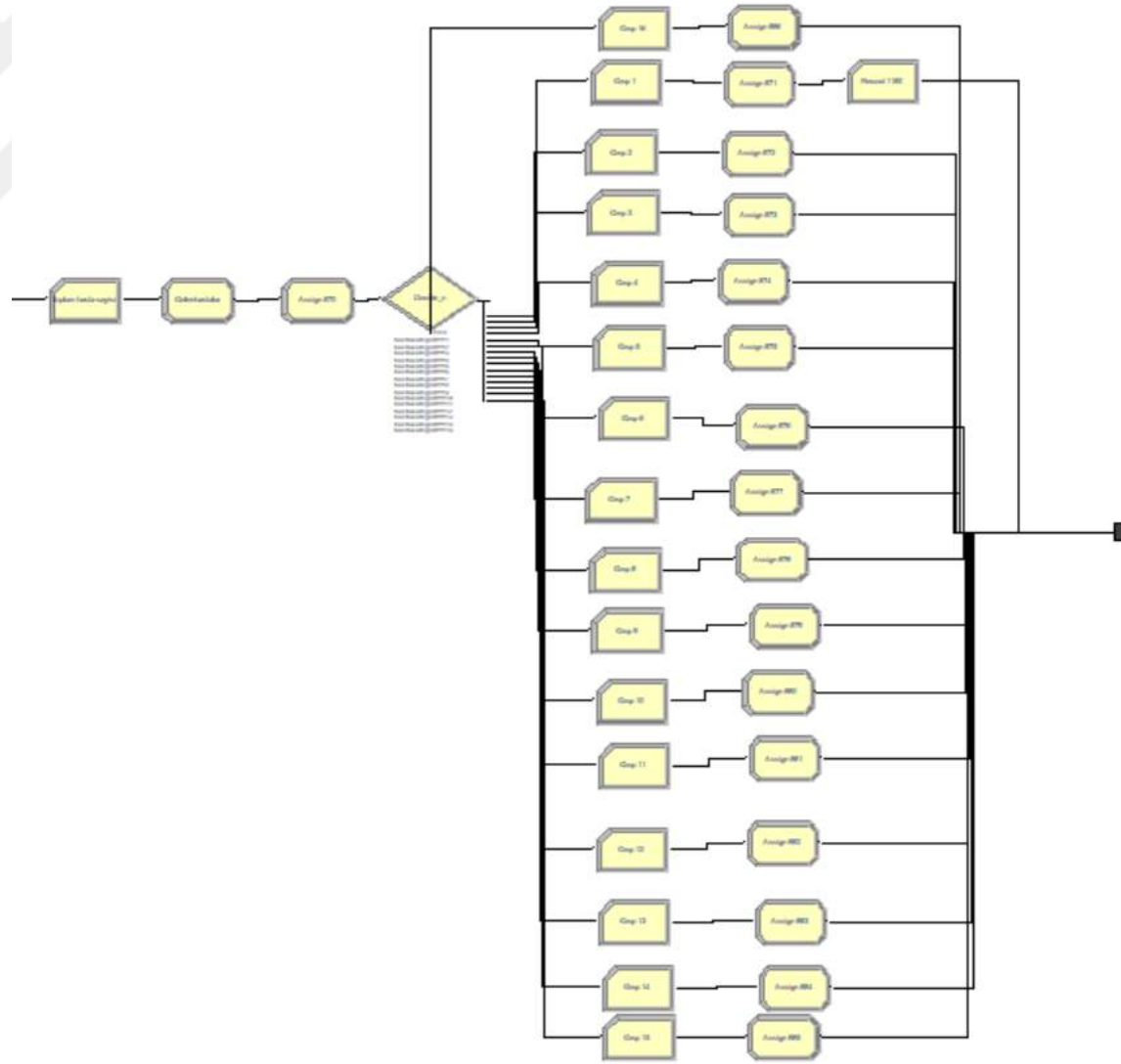
Şekil 6. Alt Model-1



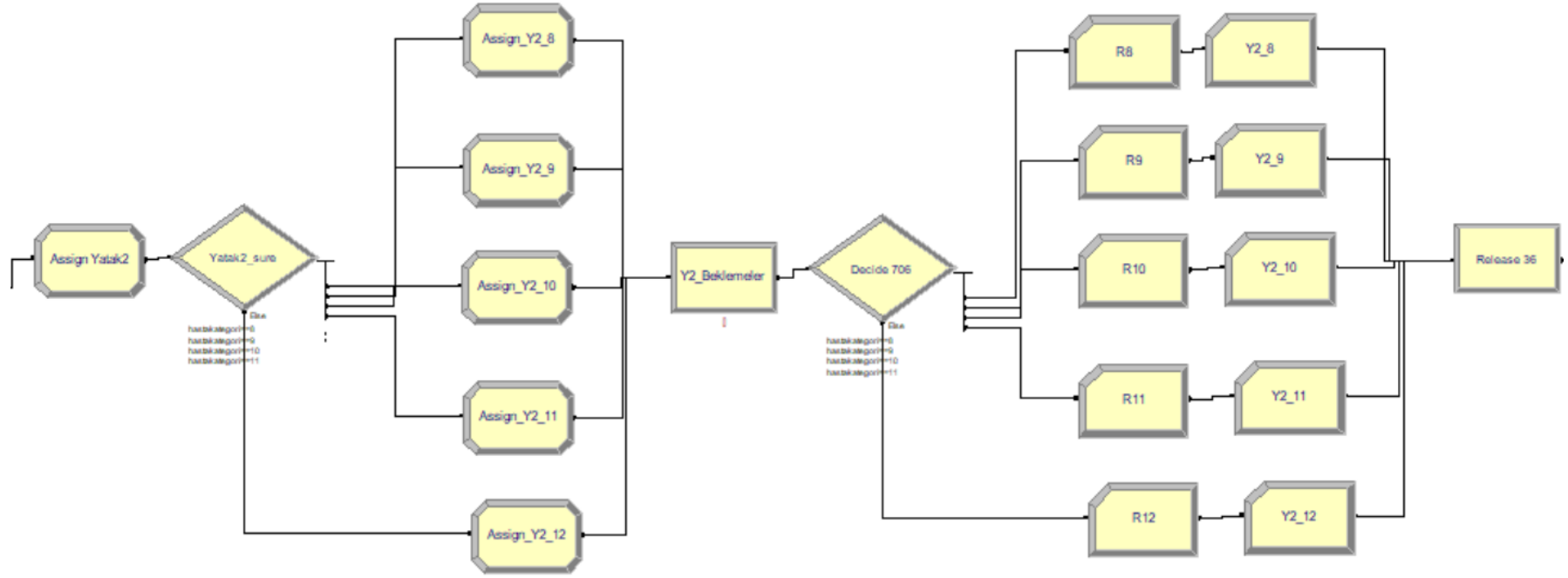
Şekil 7. Alt Model-2



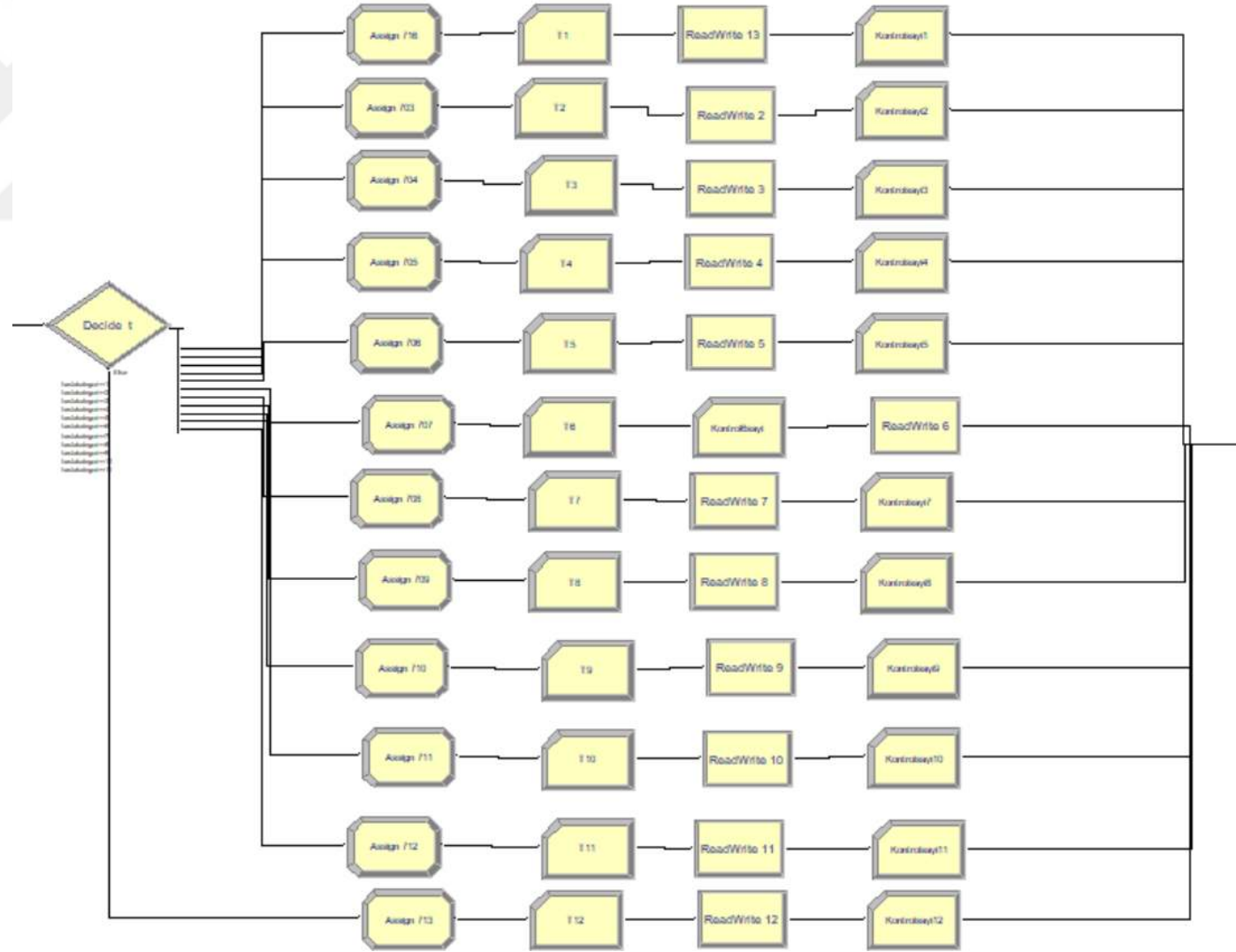
Şekil 8. Alt Model-3



Şekil 9. Alt Model-4



Şekil 10. Alt Model-5



Şekil 11. Alt Model-6

EK B. Arena Modül Tanımları

Process

Name: Hasta Kayıt Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Delay Type: Expression Units: Minutes Allocation: Value Added

Expression: UNIF(2 , 2.1)

☒ Report Statistics

OK Cancel Help

Şekil 1. Arena Simülasyon Hasta Kayıt Prosesi

Process

Name: Öyku Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Resources: Resource, Asistan Doktor, 1
<End of list>

Delay Type: Expression Units: Minutes Allocation: Value Added

Expression: NORM(9, 0.01)

☒ Report Statistics

OK Cancel Help

Şekil 2. Arena Simülasyon Öyku Alma Prosesi

Process

Name: Fizik Muayene Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Resources:

Resource, Asistan Doktor, 1
<End of list>

Add...
Edit...
Delete

Delay Type: Expression Units: Minutes Allocation: Value Added

Expression: NORM(9 , 0.01)

☒ Report Statistics

OK Cancel Help

Şekil 3. Arena Simülasyon Muayene Prosesi

Process

Name: Doktorla Test Sonrası Görüşme Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Resources:

Resource, Asistan Doktor, 1
<End of list>

Add...
Edit...
Delete

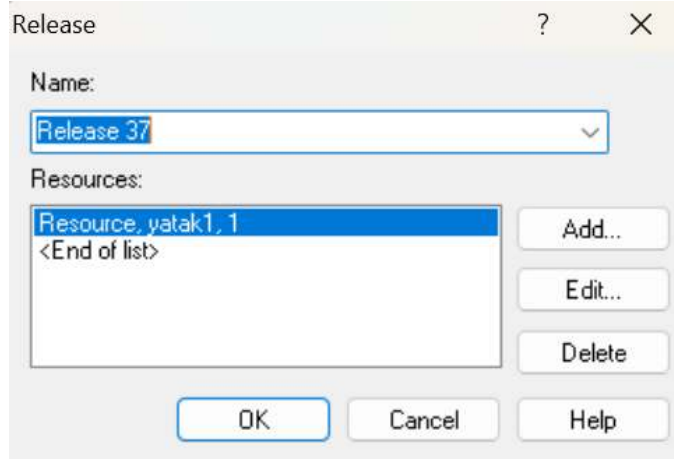
Delay Type: Uniform Units: Minutes Allocation: Value Added

Minimum: 3 Maximum: 3.5

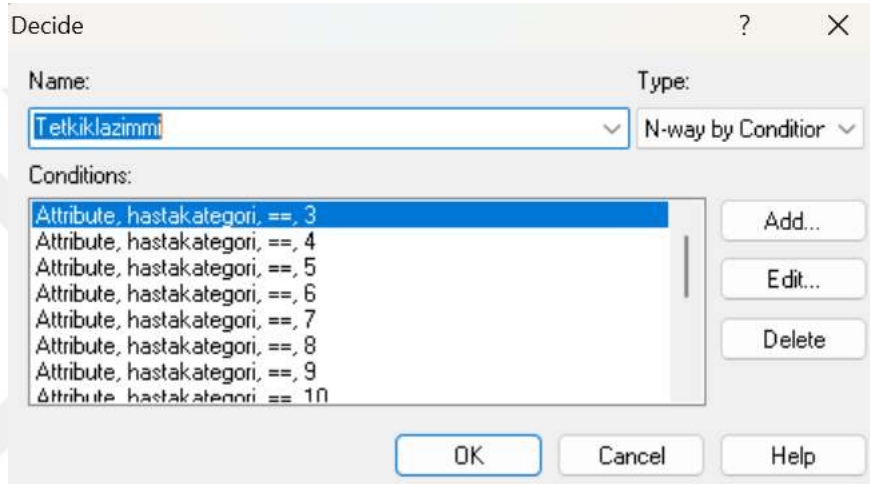
☒ Report Statistics

OK Cancel Help

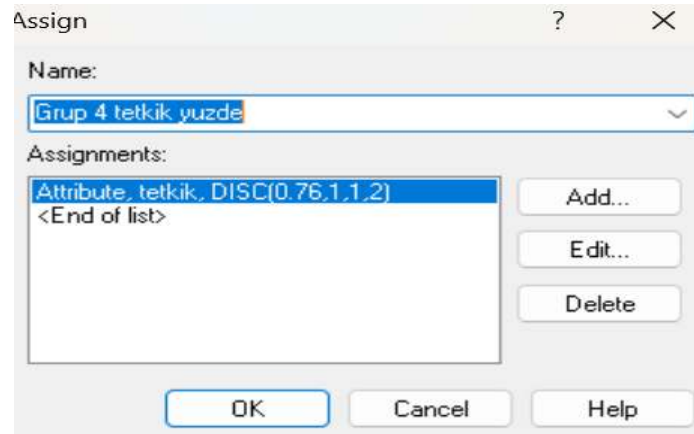
Şekil 4. Arena Simülasyon Doktorla Test Sonrası Görüşme Prosesi



Şekil 5. Yatak 1 Grubu Yatakların Release Modülü Tanımı



Şekil 6. Hasta Grupları Ayrımı için Decide Modülü Örneği



Şekil 7. Grup 4 Tetkik Yüzdesi Tanımı

Process

Name: Type:

Logic

Action: Priority:

Resources:

<End of list>

Add...
Edit...
Delete

Delay Type: Units: Allocation:

Expression:

☒ Report Statistics

OK Cancel Help

Şekil 8. Kan Alma İşlemi için Arena Simülasyonda Tanımlanan “Process” Modülü

Process

Name: Type:

Logic

Action: Priority:

Resources:

<End of list>

Add...
Edit...
Delete

Delay Type: Units: Allocation:

Expression:

☒ Report Statistics

OK Cancel Help

Şekil 9. Görüntüleme İşlemi için Arena Simülasyonda Tanımlanan “Process” Modülü

Decide

Name: Hastayatacakmi Type: N-way by Condition

Conditions:

Expression, (hastakategori==8 || hastakategori==9 || hastakategori==10)
<End of list>

Add... Edit... Delete

OK Cancel Help

Şekil 10. Yatan Hastaların Belirlenmesinde Kullanılan Decide Modülü

Decide

Name: Servishastasimi Type: N-way by Condition

Conditions:

Attribute, hastakategori, ==, 13
Attribute, hastakategori, ==, 14
Attribute, hastakategori, ==, 15
Attribute, hastakategori, ==, 16
<End of list>

Add... Edit... Delete

OK Cancel Help

Şekil 11. Servis Yönlendirmesinde Kullanılan Decide Modülü

Record

Name: Ayaktahasta_sayisi Type: Count

Value: 1

Counter Name: Ayaktahasta_sayisi

☐ Record into Set

OK Cancel Help

Şekil 12. Tedavisi Ayakta Tamamlanan Hastalar için Record Modülü

Process

Name: Recete Yazimi Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Resources:

Resource, Intom Doktor, 1
<End of list>

Add...
Edit...
Delete

Delay Type: Expression Units: Minutes Allocation: Value Added

Expression: UNIF(4, 4.2)

☒ Report Statistics

OK Cancel Help

Şekil 13. Arena Simülasyon Reçete Yazım Prosesi

Ek C. OptQuest Amaç Fonksiyonu Tanımı

Objectives

Objectives Summary						
	Select	Name	Linear	Goal	Description	Expression
▶	☒	New Objective	Linear	Minimize		1[Intern Doktor] + 4[Asistan Doktor] + 3[Labpersoneli] + 3[Goruntupersoneli] + 3[Kan alan hemsire] + 2[Kayıt Sekreteri]

Şekil 1. OptQuest Amaç Fonksiyonu