

**ACIL SERVİS SÜRECİNİN SİSTEM DİNAMİĞİ
SİMÜLASYON YÖNTEMİYLE ANALİZİ**

**ANALYSIS OF EMERGENCY PROCESS VIA SYSTEM
DYNAMICS SIMULATION METHOD**

KEVSER KARAKURT

DR. ÖĞR. ÜYESİ AYÇA TARHAN

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

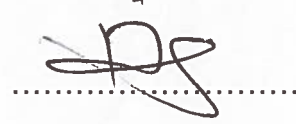
**Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.**

2019

KEVSER KARAKURT'un hazırladığı “**Acil Servis Sürecinin Sistem Dinamiği Simülasyon Yöntemiyle Analizi**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Veysi İŞLER

Başkan



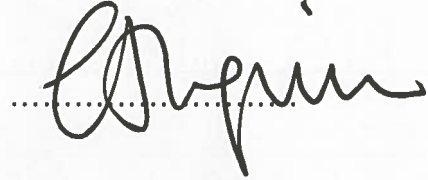
Dr. Öğr. Üyesi Ayça TARHAN

Danışman



Prof. Dr. H. Seval AKGÜN

Üye



Doç. Dr. M. Kayhan İMRE

Üye



Dr. Öğr. Üyesi Adnan ÖZSOY

Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak / /..... tarihinde onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Aileme...

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

28 / 06 / 2019


Keşer KARAKURT

YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan "**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**" kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ay ertelenmiştir.
- Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmiştir.

28 / 06 / 2019


Kevser KARAKURT

ÖZET

ACIL SERVİS SÜRECİNİN SİSTEM DİNAMİĞİ SİMÜLASYON YÖNTEMİYLE ANALİZİ

Kevser KARAKURT

Yüksek Lisans, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ayça TARHAN

Haziran 2019, 115 sayfa

Hastanelerin en önemli birimlerinden olan acil servis bölümü, hastalara 7 gün 24 saat aralıksız sağlık hizmeti sunmaktadır. Acil servislerin değişen koşullar altında (beklenmeyen hasta yoğunluğu, hastanın sağlık durumu vb.) etkili ve verimli bir şekilde kesintisiz hizmet vermeye devam etmesi, hastaların zamanında tedavi edilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Karmaşıklığın, belirsizliğin ve hasta yoğunluğunun fazla olduğu acil servis bölümünde, süreç akışlarındaki aksaklıklar ve eksiklikler sonucunda bir takım zorluklar yaşanmaktadır. Yaşanan zorlukların birçoğu hastaların acil servisteki bekleme süreleriyle ilişkilidir. Hasta yoğunluğu karşısında; hastanenin personel ve fiziki kaynaklarının yetersiz kalması veya yanlış tahsis edilmesi, uzun bekleme sürelerine neden olmakta ve hastalar acil servis bölümünden verimli ve etkili hizmet alamamaktadır. Bu nedenle, acil servis bölümünde hasta süreç akışını iyileştirmeye yönelik yapılan çalışmalar önem kazanmaktadır.

Acil servis bölümünde, anlık hasta giriş oranları yüksek dinamik değişkenlik gösterdiğinden tahmin edilemeyen bu değişkenliğin sebep olduğu problemlere;

çok büyük ve karmaşık sistemleri temsil etme ve dinamik belirsizlikleri tanımlama yeteneklerinin olması sebebiyle, sistem dinamiği simülasyon yöntemi kullanılarak uygun çözümler üretilebileceği düşünülmektedir. Bu tez çalışmasında, sistem dinamiği simülasyon yöntemi kullanılarak bir hastanenin acil servis bölümünde; hastaların acil servise girdikleri andan acil servisten çıktıkları ana kadar geçen süreyi kapsayan hasta süreç akışını iyileştirerek, hastaların uzun bekleme sürelerinin azaltılmasına yönelik analiz çalışması yapılması amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda, acil servis bölümü süreç akışını iyileştirmek için benzersiz bir simülasyon modeli oluşturulmuştur. Önerilen model, hastaneden elde edilen gerçek verilerle çalıştırılmıştır. Modelde yer alan belli performans ölçütleri üzerinden yapılan doğrulama ve onaylama adımlarıyla, modelin gerçek sistemi temsil edip etmediği incelenmiştir. Çıktı analizlerinin başarılı sonuç vermesi üzerine, acil serviste hastaların bekleme sürelerini azaltmaya ve hasta süreç akışını iyileştirmeye yönelik hastane kaynakları (doktor, triyaj hemşiresi, kayıt personeli ve yatak sayısı) üzerinden çeşitli senaryolar üretilmiştir. Sistemin bu alternatif senaryolar altında gösterdiği farklı davranışlar anlatılmıştır.

Sistem dinamiği yaklaşımı kullanılarak acil servis bölümünün uçtan uca tüm süreç akışını iyileştirmeye yönelik geliştirilen bu modelin, literatürde ender bulunan çalışmalardan biri olması nedeniyle; bu alanda gelecekte yapılacak çalışmalar için örnek teşkil etmesi ve geliştirilerek sağlık hizmetlerinin farklı bölümlerinde kullanılması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hasta Triyajı, Hasta Akışı, Acil Servis Süreci, Süreç Modelleme, Simülasyon, Sistem Dinamikleri, Optimizasyon

ABSTRACT

ANALYSIS OF EMERGENCY PROCESS VIA SYSTEM DYNAMICS SIMULATION METHOD

Kevser KARAKURT

Master of Science, Department of Computer Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ayça TARHAN

June 2019, 115 pages

The emergency department, which is one of the most significant units of hospitals, offers health services to patients 7 days 24 hours. It is vital that emergency services provide uninterrupted service effectively and efficiently under changing conditions (unexpected patient density, patient health status, etc.). In the emergency department where complexity, uncertainty and patient density are high, there are some difficulties due to disruptions and deficiencies in process flows. Many of the difficulties are related to waiting times of patients in the emergency department. Inadequate or incorrect allocation of staff and physical resources of the hospital against patient intensity causes long waiting periods and patients cannot receive efficient and effective service from the emergency department. Therefore, studies on optimize the patient process flow in this department becomes important.

In the emergency department, the rate of instant patient entry shows high dynamic variability and it is thought that the problems caused by this unpredictable variability can be solved by using the system dynamics simulation

method due to its ability of representing very large and complex systems and defining dynamic uncertainties. Within the scope of this thesis, it is aimed to make analysis to reduce long waiting times of the patients by using the system dynamic simulation method in the emergency department of a hospital by improving the patient process flow which is from the time they enter the emergency department to the time they leave the emergency department.

In line with this goal, a unique simulation model has been created to improve the process flow of the emergency department. The proposed model was operated with actual data from the hospital. It was examined whether the model represents the real system with the verification and validation steps performed on certain performance criteria in the model. Based on the successful results of the output analysis, various scenarios have been produced with hospital resources (doctor, triage specialist, registration staff and bed count) to reduce the waiting times of the patients and optimize the patient process flow in the emergency department. The possible behaviors of the system under these alternative scenarios was described.

This model, which was developed to improve the whole process flow from end to end of the emergency department by using the system dynamics approach, is one of the rare studies in the literature and therefore it is expected that it will be used as an example in future studies in this field and will be developed and used for different parts of health services.

Keywords: Patient Triage, Patient Flow, Emergency Service Process, Process Modeling, Simulation, System Dynamics, Optimization.

TEŞEKKÜR

Gerçekleştirmiş olduğum tez çalışmasının, başlangıcından bitimine kadar her aşamasında değerli katkı ve görüşleriyle beni yönlendiren ve destekleyen, bana ayırdığı zaman ve sağladığı tüm yardımlar için danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ayça TARHAN'a,

Simülasyon konusunda beni yönlendiren, bana ayırdığı kıymetli zaman ve tez çalışmama sağladığı tüm katkılarından dolayı Endüstri Mühendisliği Bölümü hocalarından Sayın Dr. Öğr. Üyesi Banu YÜKSEL'e,

Bugünlere gelmemde en büyük payın sahibi olan, hayatımın her anında hep yanımda olan, beni her zaman destekleyen, varlıkları ile bana güç veren canım aileme,

Sonsuz Teşekkürler.

Kevser KARAKURT

Haziran 2019, Ankara

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Problem Tanımı	1
1.2. Tez Çalışmasının Amacı ve Kapsamı.....	1
1.3. Tez Organizasyonu	3
2. ÖN BİLGİ	5
2.1. SİMÜLASYON	5
2.1.1. Simülasyon Kavramı	5
2.1.2. Sistem Kavramı	6
2.1.3. Simülasyon Modellerinin Sınıflandırılması	8
2.1.3.1. Statik ve Dinamik Simülasyon Modelleri.....	9
2.1.3.2. Sürekli ve Kesikli Olay Simülasyon Modelleri	10
2.1.3.3. Deterministik ve Stokastik Simülasyon Modelleri	10
2.1.4. Simülasyon Yönteminin Kullanım Amaçları	11
2.1.5. Simülasyon Çalışmasının Aşamaları	13
2.1.5.1. Problem Tanımı ve Formülasyonu	15
2.1.5.2. Hedeflerin Belirlenmesi ve Proje Planının Hazırlanması	15
2.1.5.3. Modelin Kavramsallaştırılması.....	16
2.1.5.4. Veri Toplama	17
2.1.5.5. Model Çevrimi	18
2.1.5.6. Modelin Doğrulanması ve Onaylanması.....	20
2.1.5.7. Deneylerin Tasarlanması.....	22
2.1.5.8. Çıktı Analizi	22
2.1.5.9. Dokümantasyon ve Raporlama	23

2.1.5.10. Uygulama.....	23
2.1.6. Simülasyon Yönteminin Avantajları	23
2.1.7. Simülasyon Yönteminin Zorlukları	24
2.2. SİSTEM DİNAMIĞI	25
2.2.1. Sistem Dinamiği Metodolojisi.....	25
2.2.2. Sistem Dinamiği Modellemesi	26
2.2.2.1. Elemanların Tanımlanması	27
2.2.2.2. Nitel Modelleme	28
2.2.2.3. Nicel Modelleme	31
2.2.3. Dinamik Davranış Biçimleri.....	35
2.2.3.1. Üstel Büyüme.....	35
2.2.3.2. Hedef Arama.....	37
2.2.3.3. S-Şeklinde Büyüme	39
2.2.3.4. Salınım.....	40
3. İLİŞKİLİ ÇALIŞMALAR	43
3.1. Acil Servis Simülasyonu Çalışmaları.....	43
3.2. Sistem Dinamiği ile Diğer Yöntemleri Karşılaştıran Çalışmalar	48
3.3. Sistem Dinamiği Yönteminin Sağlık Hizmetlerinde Uygulamaları	49
3.4. Tez Çalışmasının Literatüre Katkısı	53
4. PROBLEM TANIMI ve SİSTEM AÇIKLAMASI	57
4.1. Problem Tanımı	57
4.1.1. Acil Servis Sorunları	57
4.1.2. Acil Servis Sorunlarının Etkileri.....	59
4.2. Sistem Açıklaması.....	60
4.3. Sistem Sınırı	61
4.4. Sistem Bileşenleri	61
4.5. Kavramsal Model	63
4.5.1. Akış Diyagramı	63
4.5.1.1. Triyaj Süreci.....	63
4.5.1.2. Acil Servis Süreci	66
4.5.2. Etki Diyagramı	63
4.5.2.1. Triyaj Süreci.....	71
4.5.2.2. Acil Servis Süreci	73

4.6. Veri Analizi	81
5. ACİL SERVİS SÜRECİNİN SİMÜLASYONU	87
5.1. Modelin Oluşturulması.....	87
5.1.1. Stok ve Akış Diyagramı.....	87
5.1.1.1. Triyaj Süreci	88
5.1.1.2. Acil Servis Süreci	90
5.1.2. Matematiksel Formülasyon	94
5.1.2.1. Triyaj Süreci	95
5.1.2.2. Acil Servis Süreci	96
5.2. Modeli Doğrulama ve Onaylama	98
5.3. Alternatif Senaryoların Değerlendirilmesi	105
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	109
KAYNAKLAR.....	111
EKLER.....	116
EK 1 - Tezden Türetilmiş Bildiriler	116
ÖZGEÇMİŞ	117

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Acil Servis Simülasyonu Çalışmaları	47
Çizelge 3.2 Sistem Dinamiği Yönteminin Sağlık Hizmetlerinde Uygulamaları..	52
Çizelge 3.3 Tez Çalışmasının Literatürdeki Çalışmalarla Karşılaştırılması	54
Çizelge 4.1 Acil Servis Bölümü Sistem Bileşenleri	62
Çizelge 4.2 Acil Serviste Triyaj Renk Kategorisi [52].....	64
Çizelge 4.3 Kayıt İşlemine Ait Değişkenler, İlişkiler ve Döngüler.....	75
Çizelge 4.4 Muayene İşlemine Ait Değişkenler, İlişkiler ve Döngüler	76
Çizelge 4.5 Laboratuvar Testine Ait Değişkenler, İlişkiler ve Döngüler	77
Çizelge 4.6 Radyoloji Tetkikine Ait Değişkenler, İlişkiler ve Döngüler	78
Çizelge 4.7 Sonuç Göstermeye Ait Değişkenler, İlişkiler ve Döngüler	79
Çizelge 4.8 Müşahedeye Ait Değişkenler, İlişkiler ve Döngüler.....	80
Çizelge 4.9 Konsültasyona Ait Değişkenler, İlişkiler ve Döngüler.....	81
Çizelge 4.10 Triyaj Kategorilerine Göre Acil Serviste Ortalama Kalış Süreleri .	85
Çizelge 4.11 Tetkik/Test İstemine Göre Ortalama Kalış Süresi.....	86
Çizelge 4.12 Konsültasyon İsteğine Göre Ortalama Kalış Süresi.....	86
Çizelge 5.1 Triyaj Süreci Stok ve Akış Diyagramı Elemanları	89
Çizelge 5.2 Acil Servis Süreci Stok ve Akış Diyagramı Elemanları	92
Çizelge 5.3 Stokları Etkileyen Akışlar.....	93
Çizelge 5.4 Akışları Etkileyen Dinamik Değişkenler ve Stoklar	94
Çizelge 5.5 Gerçek Sistem-Simülasyon Modeli Süre Bilgileri.....	100
Çizelge 5.6 Alternatif Senaryolar için Girdi ve Çıktı Değerleri	106

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Sistem Bileşenleri [9]	6
Şekil 2.2 Sistem Çevresi ve Sınırı [10]	8
Şekil 2.3 Sistem Analiz Yöntemleri [10]	9
Şekil 2.4 Simülasyon Çalışması Akış Diyagramı [9]	14
Şekil 2.5 Modelin Kavramsallaştırılması	16
Şekil 2.6 Model Çevrimi Adımları [9].....	19
Şekil 2.7 Modelin Doğrulanması, Onaylanması ve Kalibrasyon Adımları [9]	20
Şekil 2.8 Sistem Dinamiği Modelleme Süreci [28]	27
Şekil 2.9 Etki Diyagramı Örneği [32]	31
Şekil 2.10 Stok ve Akış Diyagramı Elemanları.....	32
Şekil 2.11 Stok ve Akış Diyagramı Örneği [32]	33
Şekil 2.12 Üstel Büyüme Davranışı [34]	36
Şekil 2.13 Üstel Büyüme Örneği (Nüfus Artışı) [35].....	37
Şekil 2.14 Hedef Arama Davranışı [34]	38
Şekil 2.15 Hedef Arama Örneği (Nüfusta Azalma) [35]	39
Şekil 2.16 S-Şeklinde Büyüme Davranışı [34]	39
Şekil 2.17 S-Şeklinde Büyüme Nüfus Örneği [35]	40
Şekil 2.18 Salınım Davranışı [34]	41
Şekil 2.19 Salınım Örneği (Nüfus İhtiyacına Yönelik Ev İnşa Edilmesi) [36].....	42
Şekil 4.1 Triyaj Süreci Akış Diyagramı.....	65
Şekil 4.2 Acil Servis Süreç Akış Diyagramı.....	67
Şekil 4.3 Triyaj Süreci Etki Diyagramı.....	71
Şekil 4.4 Acil Servis Süreci Etki Diyagramı.....	74
Şekil 4.5 Hastaların Acil Servise Geliş Şekline Göre Dağılımı	83
Şekil 4.6 Hastaların Acil Durumuna Göre Dağılımı	83
Şekil 4.7 Gün Bazlı Ortalama Hasta Sayısı	84
Şekil 4.8 Saat Aralığı Bazında Ortalama Hasta Sayısı	85
Şekil 5.1 Triyaj Süreci Stok ve Akış Diyagramı.....	88
Şekil 5.2 Acil Servis Süreci Stok ve Akış Diyagramı	91
Şekil 5.3 Acil serviste Geçirilen Ortalama Süre için T-Testi Sonucu.....	102

Şekil 5.4 Konsültasyon İstenme Durumunda T-Testi Sonucu	103
Şekil 5.5 Konsültasyon İstenmeme Durumunda T-Testi Sonucu	103
Şekil 5.6 Müşahede İstenme Durumunda T-Testi Sonucu	104
Şekil 5.7 Müşahede İstenmeme Durumunda T-Testi Sonucu	104

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

AR-GE	Araştırma ve Geliştirme
BT	Bilgisayarlı Tomografi
MIT	Massachusetts Institute of Technology
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
XPDL	XML for Process Definition Language
BPMN	Business Process Model and Notation

1. GİRİŞ

1.1. Problem Tanımı

Sağlık hizmetlerinin büyük bir parçası olan hastanelerde süreç akışlarının modellenmesi, sistem analizinde ve hastane sisteminin performansının iyileştirilmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu süreçlerin performansı; sunulan sağlık hizmetlerinin işleyişini, hasta memnuniyetini, çalışan memnuniyetini ve en önemlisi de hasta sağlığını dahi etkileyebilmektedir. Bu nedenle, hastane sistemlerindeki süreç akışlarının analiz edilmesine ve iyileştirilmesine yönelik çalışmalar son yıllarda hız kazanmıştır.

Hastalara 7 gün 24 saat kesintisiz hizmet sunan acil servisler, hastanelerin en kritik ve en öncelikli bölümlerindedir. Acil servis bölümü, değişen tüm koşullar altında etkili ve verimli bir şekilde aralıksız hizmet vermeye devam etmelidir.

Belirsizliğin ve karmaşıklığın fazla olduğu acil servis bölümünde, hasta süreç akışlarındaki eksiklikler sebebiyle bir takım problemler ortaya çıkmaktadır. Bu problemlerden bazıları; hastalara doğru zamanda uygun sağlık hizmetinin verilememesi, hastaların acil servis bölümünde geçirdikleri sürelerin fazla olması, hasta memnuniyetsizliği, personel memnuniyetsizliği ve bu problemlerin tümünün ilişkili olduğu aşırı bekleme süreleridir.

İdari (kayıt görevlisi) ve sağlık (triyaj hemşiresi, doktor, laboratuvar ve radyoloji teknisyeni) personeli sayısındaki eksiklikler, muayene ve tedavi oda sayılarının yetersiz olması, müşahede süreci ve yatışı yapılan hastalar için mevcut yatak sayısının ihtiyacı karşılayamaması, laboratuvar ve görüntüleme hizmetlerindeki eksiklikler hastanenin fiziksel ve personel kaynaklarıyla ilgilidir. Hayati önem taşıyan acil servis bölümünde hasta yoğunluğunun artması, hastaların aşırı bekleme süreleri ve acil serviste geçirdikleri sürelerin artışı, bu kaynakların eksikliği veya verimli kullanılmaması ile doğrudan ilişkili olup bu doğrultuda hasta süreç akışında iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir.

1.2. Tez Çalışmasının Amacı ve Kapsamı

Acil servis bölümünün verimli çalışması, hastane kaynaklarının uygun düzeyde kullanılması, hastaların sağlık hizmeti almak için bekleme sürelerinin azaltılması

ve hastalara doğru zamanda doğru tedavilerin sunulması, acil servislerde yaşanan yoğunluğu ve karmaşıklığı önlemenin yanı sıra birçok hastanın hayatını kurtaracak bir işleve sahiptir. Bu nedenle, acil servis bölümünde süreç akışının iyileştirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Hasta süreçlerinin işleyişini tanımlayan, bu süreçlerin problemlerini ele alan ve çözümüne yönelik geliştirilen birçok yöntem ve araç bulunmaktadır. Simülasyon, süreç işleyişi tanımlayan ve problemleri ortaya koyan önemli bir araçtır [1]. Acil servisler girdi parametresi insan (hasta) olan dinamik ve karmaşık sistemlerdir. Simülasyon yöntemi, değişkenlik ve belirsizlikle başa çıkma yeteneği sayesinde acil servislerde yaşanan birçok sorunun çözümünde etkin bir teknik olarak kullanılmaktadır [2]. Bu çalışma için, önemli bir simülasyon yöntemi türü olan sistem dinamiği yaklaşımı seçilmiştir.

Sistem dinamiği, sistemlere ait dinamik davranışları analiz etmek için kullanılan bir simülasyon yöntemidir. Sağlık hizmetleri de dâhil olmak üzere birçok farklı çalışma alanında uygulanmaktadır. Çok büyük ve karmaşık sistemleri temsil etme yeteneğinin olması, daha az veri kullanarak kullanışlı modelleme yapılabilmesi sebebiyle veri ulaşılabilirliğinin kolay olması, dinamik belirsizliklerin anlaşılabilmesi ve oluşturulan modellerin daha hızlı çalışması nedeniyle sistem dinamiği yönteminin, sağlık hizmetleri alanında kullanılması son yıllarda artmıştır.

Acil servis bölümünde anlık hasta giriş oranları yüksek dinamik değişkenlik gösterdiğinden ve tahmin edilemeyen bu değişkenliğin hasta akış sürecinde birçok probleme neden olmasından dolayı, sistem dinamiği bu problemlere uygun çözümler üretmek için kullanılan etkin bir yöntem olarak değerlendirilmektedir [3].

Bu çalışmada, sistem dinamiği simülasyon yöntemi kullanılarak bir hastanenin acil servis bölümünde; hastaların acil servise girdikleri andan acil servisten çıktıkları zamana kadar geçen süre içinde oluşan hasta süreç akışını iyileştirerek, hastaların uzun bekleme sürelerini ve hastanede kalış süresini azaltmak için analiz yapılması amaçlanmıştır.

Literatürde yer alan ve sağlık hizmetleri alanında daha önce yapılan çalışmalara bakıldığında [4] [5] [6] [7] [8], acil servis bölümünün uçtan uca tüm süreci için geliştirilen sistem dinamiği modeline rastlanmamış olup, önerilen model bu hedef ve kapsamdaki ender örnek çalışma olma özelliğine sahiptir.

1.3. Tez Organizasyonu

Tez, çalışmanın girişi olan birinci bölüm de dâhil olmak üzere toplam 6 bölümden oluşmaktadır. Tezin bundan sonraki bölümleri aşağıdaki şekilde hazırlanmıştır:

2. Bölümde, çalışmanın yöntemi olan simülasyon yaklaşımı ve çalışmada kullanılan sistem dinamiği metodolojisi hakkında detaylı teknik bilgiler verilmiştir.

3. Bölümde, literatürde yer alan bu tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmaya benzer olan çalışmalardan bahsedilmiştir. Sistem dinamiği yöntemi, acil servis simülasyonu ve sistem dinamiği yöntemi ile sağlık hizmetleri alanında kullanılan diğer simülasyon yöntemlerin karşılaştırıldığı çalışmalar anlatılmıştır.

4. Bölümde çalışmanın konusunu oluşturan problem tanımı detaylı bir şekilde verilerek çalışmanın yapıldığı hastanenin acil servis bölümü için sistem açıklaması, sistem sınırları ve sistem bileşenlerinden bahsedilmiştir. Kavramsal model aşamasında oluşturulan acil servis süreç akış diyagramı ve etki diyagramı detaylarıyla anlatılmıştır. Veri toplama ve veri analizi adımlarına ilişkin bilgiler de bu bölümde yer almaktadır.

5. Bölümde, acil servis bölümü için oluşturulan sistem dinamiği simülasyon modeline ve modelin belli parametreler altında doğrulama ve onaylama adımlarıyla birlikte yapılan çıktı analizine yer verilmiştir. Hastaların acil serviste kalış sürelerini ve hasta bekleme sürelerini azaltmaya ve hasta süreç akışını iyileştirmeye yönelik hastane kaynakları üzerinden oluşturulan alternatif senaryolar da bu bölümde anlatılmıştır.

6. ve son bölümde ise önerilen senaryolar kapsamında simülasyon modelinden elde edilen sonuçlar yorumlanmış, çalışmaya ait görüşler paylaşılarak gelecekteki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. ÖN BİLGİ

2.1. SİMÜLASYON

2.1.1. Simülasyon Kavramı

Latince kökenli "simulare" sözcüğünden türetilen sözlük anlamı benzetim, taklit etmek ve benzerini yapmak olan simülasyon (ya da benzetim), 20. Yüzyılda kazandığı teknik anlamda ise gerçekte var olan bir sürecin veya gerçekte bir sistemin belli bir zaman diliminde işleyişinin taklit edilmesidir [9].

Simülasyon, bir sistemin yapay bir şekilde geçmişini ve geleceğini üreterek sistem karakteristiklerinin tahmin edilmesini ve bunlarla ilgili çıkarımlara ulaşılmasını sağlayan deneysel ve uygulamalı bir yöntemdir [10]. Gerçek sistem yapısının ve davranışlarının anlaşılabilmesi için, sisteme ait kavramsal ve matematiksel ilişkileri içeren simülasyon yöntemi, bilgisayar veya başka araçlarla deney yapma olanağı sağlamaktadır.

Diğer bir tanıma göre; simülasyon, belli bir zaman dilimi ve çalışma koşulları altında sistemin performansını tahmin etmek ve değerlendirmek amacıyla kullanılan bir analiz aracıdır [11].

Bilgisayar simülasyonu ise en genel anlamıyla gerçek veya varsayıma dayanan bir sürecin, bir sistem işleyişinin bilgisayar ortamında taklit edilmesidir. Simülasyondaki elemanlar değiştirilerek sistem davranışı tahmin edilebilir, sistemin nasıl çalıştığı gözlemlenebilir [10].

Bilgisayarla yapılan simülasyonlar, bir sistemin yapay bir şekilde geçmişini ve geleceğini üreterek, sistemin özelliklerinin tahmin edilmesini ve bunlarla ilgili çıkarımlara ulaşılmasını sağlar. Ayrıca simülasyon, değerlendirme ve analiz için güçlü bir araçtır. Yeni sistem tasarımları ve mevcut sistemlerde önerilen değişiklikler simülasyon yöntemi ile etkin bir şekilde ele alınabilmektedir.

2.1.2. Sistem Kavramı

Birçok yöntemin olduğu gibi simülasyon modellerinin de temeli olan sistem kavramı, belli bir amaç doğrultusunda birbirleriyle etkileşen ve ilişki halinde bulunan parçaların birleşmesinden oluşan bir bütün olarak tanımlanmaktadır.

Ortak bir amaca ulaşmak için, ortak bir sürece bağlı ve farklı elemanların oluşturduğu bir bütün olan sistem ile birlikte karmaşık problemlerin niteliklerini, karakterini görebilmek ve söz konusu problemleri kendi bileşenlerine ayırarak kolayca çözümlenmek mümkündür [9].

Sistem Bileşenleri

Sistem, ortak bir amacı gerçekleştirmek için birlikte çalışan, birbirleriyle etkileşimde olan veya aralarında ilişki bulunan bir araya getirilmiş bir grup bileşenden oluşmaktadır. Bir sistemi anlamak ve analiz etmek için sistemin sahip olduğu, sistemi oluşturan farklı türlerde bileşenler bulunmaktadır. Bu bileşenler Şekil 2.1'de gösterilmektedir [9].



Şekil 2.1 Sistem Bileşenleri [9]

Şekil 2.1'de yer alan, sistemi oluşturan bileşenlerin açıklamaları aşağıda yer almaktadır:

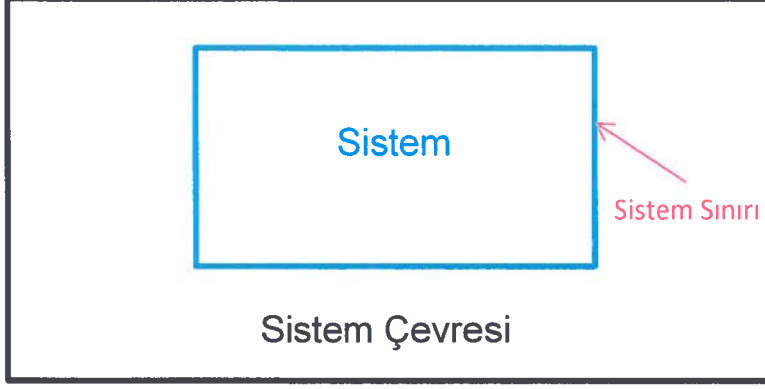
- **Varlık (Entity):** Sistemde dolaşan sistemin sahip olduğu nesnelere. Nesnelere sistemde açık bir şekilde belirtilmesi gerekmektedir.
- **Özellik (Attribute):** Nesnelere sahip olduğu özelliklerdir. Farklı nesnelere farklı özelliklere sahip olabilirler. Özellikler nesnelere sistemdeki dolaşımını etkileyebilmektedir.
- **Aktivite (Activity):** Bir nesnenin geçtiği ve zaman alan süreçler olarak tanımlanabilmektedir.
- **Durum (State):** Herhangi bir zamanda sistemi tanımlamak için kullanılan bilgileri içeren değişkenler topluluğudur. Genellikle sistemin performansını ölçmek için gereken tüm değişkenleri kapsar.
- **Olay (Event):** Herhangi bir anda gerçekleşerek sistemi etkileyen, sistemin durumunu değiştiren ani olaylardır.
 - ✓ Endogenous (iç) olaylar, sistem içinde gerçekleşen olayları tanımlamak için kullanılır.
 - ✓ Exogenous (dış) olaylar, sistem dışında gerçekleşen olayları tanımlamak için kullanılır.

Sistem Çevresi ve Sınırı

Sistem çevresi, sistemin ilgilenilen durumunu değiştirebilen, etkileyebilen tüm değişkenlerden ve bu değişkenlerin özelliklerinden oluşan küme olarak tanımlanabilir. Kısaca ifade etmek gerekirse, sistemin durumunu etkileyebilen tüm değişkenler sistem çevresini oluşturmaktadır [11].

Sistem sınırı ise en genel tanımıyla bir sistemi çevresinden ayıran alandır. Her sistem belli sınırlar içerisinde faaliyet göstermektedir. Şekil 2.2'de gösterildiği gibi, sistem içerisinde birbirleriyle ilişkili olan iç değişkenler, bir bütün olarak sistem çevresinden sistem sınırı ile ayrılmaktadır [10].

Sistemin sınırları içinde yer alan elemanlar, sistemin dışındakilere göre daha kolay değiştirilebilir ve kontrol edilebilirler. Ayrıca, açık sistemlerde, sistem ile sistem çevresi arası etkileşim sistem sınırı ile mümkünken, kapalı sistemlerde sistem ve çevresi arasında herhangi bir etkileşim söz konusu değildir.

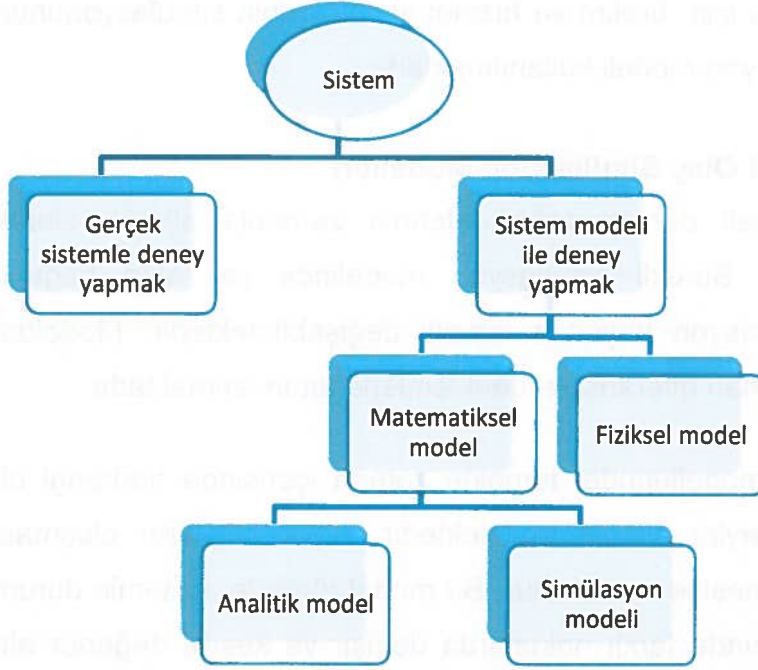


Şekil 2.2 Sistem Çevresi ve Sınırı [10]

2.1.3. Simülasyon Modellerinin Sınıflandırılması

Model, kısaca sistem özelliklerinin ve bileşenlerinin temsilidir [11]. Sistem, sisteme ait alt sistemler ve alt sistemler arasındaki ilişkiler model ile açıklanmaktadır. Modelin amacı, sistemin değişen koşullar altındaki davranışlarını incelemeye, kontrol etmeye ve geleceği hakkında varsayımlarda bulunmaya yardımcı olmaktır.

Bir sistemi analiz etmek için birtakım yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler Şekil 2.3'te yer almaktadır [10].



Şekil 2.3 Sistem Analiz Yöntemleri [10]

Sistem analizinde kullanılan, matematiksel soyut bir model olan simülasyon modelleri temel olarak üç farklı alanda sınıflandırılmaktadır [12]. Bunlar:

- Zaman parametresinin model içindeki rolüne göre statik ve dinamik,
- Durum parametresinin sürekli veya değişken olmasına bağlı olarak sürekli ve kesikli olay,
- Belirsizliklerin, olasılıkların var olup olmamasına bağlı olarak deterministik ve stokastiktir.

2.1.3.1. Statik ve Dinamik Simülasyon Modelleri

Statik simülasyon modelinde zamanın hiçbir rolü yoktur. Bu model türü zamandan etkilenmemektedir. Model, sistemin belli bir anındaki gösterimidir ve modelin durumu zamana göre değişiklik göstermez. Bu yüzden zaman birimlerinin statik simülasyon modelinde hiçbir etkisi yoktur.

Dinamik simülasyon modeli ise zamandan etkilenen, bir sistemin zaman içindeki değişimini gösteren model türüdür. Model, sistemin çalışma zamanına göre modellenir. Modelin durumu zaman birimlerine göre değişkenlik gösterir. Zaman

içinde değişiklik gösterdiği için, üretim ve hizmet sistemlerinin simülasyonunda genellikle dinamik simülasyon modeli kullanılmaktadır.

2.1.3.2. Sürekli ve Kesikli Olay Simülasyon Modelleri

Sürekli simülasyon modeli durum değişkenlerinin zamanla sürekli olarak değiştığı model türüdür. Sürekli simülasyon modelinde yer alan bağımlı değişken değerleri simülasyon boyunca sürekli değişebilmektedir. Modelde, durum değişkenleri ve zaman diferansiyel denklemlerle tanımlanmaktadır.

Kesikli olay simülasyon modellerinde, temelde zaman içerisinde herhangi bir noktada oluşan anlık olaylar simüle edilmektedir. Anlık olayların oluşması sistem durumunun değişmesine neden olur. Bu model türünde, sistemin durum değişkenleri zaman içerisinde farklı noktalarda değişir ve kesikli değerler alır [12]. Kesikli olay simülasyonu en yaygın kullanılan modelleme yöntemlerindedir.

Bazı durumlarda sistem ne tam olarak sürekli ne de tam olarak kesiklidir. Modelin bağımlı değişkenleri kesikli, sürekli ya da kesikli-sürekli yapıda olabilir. Karma özellik gösteren bu simülasyon modelinde kesikli ve sürekli olarak değişiklik gösteren değişkenler arasında karşılıklı etkileşimler vardır. Örneğin, sürekli olan bir değişkenin değerinde kesikli bir değişim meydana getirebilir veya sürekli değişkenlerin fonksiyonel tanımı kesikli zaman aralıklarında değiştirilebilmektedir. Böyle durumlarda hem kesikli olay simülasyon modeli hem de sürekli simülasyon modeli ile model kurma ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

2.1.3.3. Deterministik ve Stokastik Simülasyon Modelleri

Model rastgele, olasılıklı bileşen içermiyorsa deterministik simülasyon modeli türüne girmektedir. Bu model rassal değişken içermez ve sisteme giren girdi seti için bir çıktı seti vardır. Böylece deterministik simülasyon modelinde sistem davranışı tümüyle tahmin edilebilirdir.

Stokastik simülasyon modelinin işleyişinde olasılık dağılımları kullanılmaktadır. Bu model türünde bir veya birden fazla rassal değişken yer almaktadır. Stokastik simülasyon modeli kullanılarak elde edilen çıktı rassal olup, model

özelliklerinin beklenen değerlerinin tahmin edilmesidir. Başka bir deyişle sistem davranışı bu model türünde tümüyle bilinmemektedir [12].

Bu çalışmada, sağlık hizmetleri alanında kullanılan ve 2.2. Bölümünde ayrıntılı bir şekilde anlatılan sistem dinamiği yönteminde, yukarıda anlatılan simülasyon model türlerinden dinamik simülasyon modeli yaklaşımı uygulanmaktadır.

2.1.4. Simülasyon Yönteminin Kullanım Amaçları

Simülasyon yöntemi birçok farklı alanda çeşitli amaçlara yönelik kullanılmaktadır. Simülasyon yazılımlarının gelişimi ve sayısının artmasıyla birlikte simülasyonun kullanım alanları, kullanım şekilleri ve kullanım amaçları son yıllarda önemli ölçüde artmıştır.

Simülasyon temelde, sisteme ait fonksiyonel yönleri ortaya çıkarmayı amaçlar. Sistem davranışlarını gözlemler, tanımlar ve sistem davranışları için kurulan teori ve hipotezlerin istatistiksel olarak test edilmesini sağlar. Ayrıca sistemi kontrol etme ve analiz etme olanağı sunar.

Simülasyon yöntemi; bir sistemin aşağıda yer alan değerlendirme, karşılaştırma, tahmin etme, analiz ve iyileştirme amaçlarından birisini veya birkaçını gerçekleştirmek için kullanılabilir [13]:

- **Değerlendirme:** Simülasyon, önerilen sistemin belli bir amaca yönelik tanımlanan kriterlere göre performansının değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. Ölçme sonuçları bir ölçüt doğrultusunda sistematik süreçler ile yapılarak gözlemlenen sonuçların sebepleri değerlendirilebilmektedir.
- **Karşılaştırma:** Önerilen sisteme ait tasarımların ve çalışma kurallarının karşılaştırılması sistem uygulamaya geçirilmeden önce simülasyon ile yapılabilmektedir.
- **Tahmin Etme:** Simülasyon, henüz tasarım aşamasındaki sistemlerin değişik koşullar altındaki performansının tahmin edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Verilecek olası kararların sonuçları ve gidişatı simülasyon ile tahmin edilebilmektedir. Kurulan teori ve hipotezler ile

sistemin gelecekteki davranışları öngörülür. Bu nedenle, sistemde ortaya çıkan değişiklikler sonucunda oluşan etkiler araştırılabilmektedir.

- **Analiz:** Simülasyon, özellikle karmaşık sistemlerin analizinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Simülasyon modellerinden elde edilecek sonuçların analizi yapılarak; sistem performansı üzerinde hangi faktörlerin etkili olduğunun belirlenmesi, problem alanlarının, verimsizliklerin, darboğazların belirlenmesi, tasarım eksikliklerinin tanımlanması ve yapılan değişikliklerin etkilerinin ortaya çıkarılması amaçlanır.
- **İyileştirme:** Sistem performansının en iyi değerinin belirlenmesi ve uygulamaya geçirmeden önce sistemlerin iyileştirilmesi amacına yönelik olarak simülasyon kullanılabilir. Girdilerin değiştirilmesi ve çıktıların incelenerek hangi değişkenin daha önemli olduğunun belirlenmesi sisteminin iyileştirilmesi açısından oldukça yararlı olmaktadır. Sistemi uygulamaya geçirmeden önce iyileştirme çalışmalarının yapılması büyük önem taşımaktadır.

Sistem analizi, simülasyon yönteminin kullanım amaçlarının başında gelmektedir. Bu tez çalışmasında ise simülasyon yönteminin analiz etme, değerlendirme ve iyileştirme amaçlarına yönelik araştırma ve uygulama yapılmaktadır.

Simülasyon yönteminin; üretim, mühendislik, planlama, finans, pazarlama, kamu hizmeti, ekoloji ve çevre, sosyoloji, biyoloji ve bunların yanı sıra daha birçok farklı uygulama alanı bulunmaktadır [14].

Bu çalışmada, önemli bir operasyonel araştırma tekniği olan simülasyonun kamu hizmetinin alt alanı olan sağlık hizmetleri için uygulaması yapılmıştır.

Yukarıda yer alan amaçlar ve uygulama alanları doğrultusunda simülasyon yönteminin kullanılması her zaman uygun değildir. Simülasyon yönteminin kullanımının uygun olmadığı birtakım durumlar da bulunmaktadır ve bu

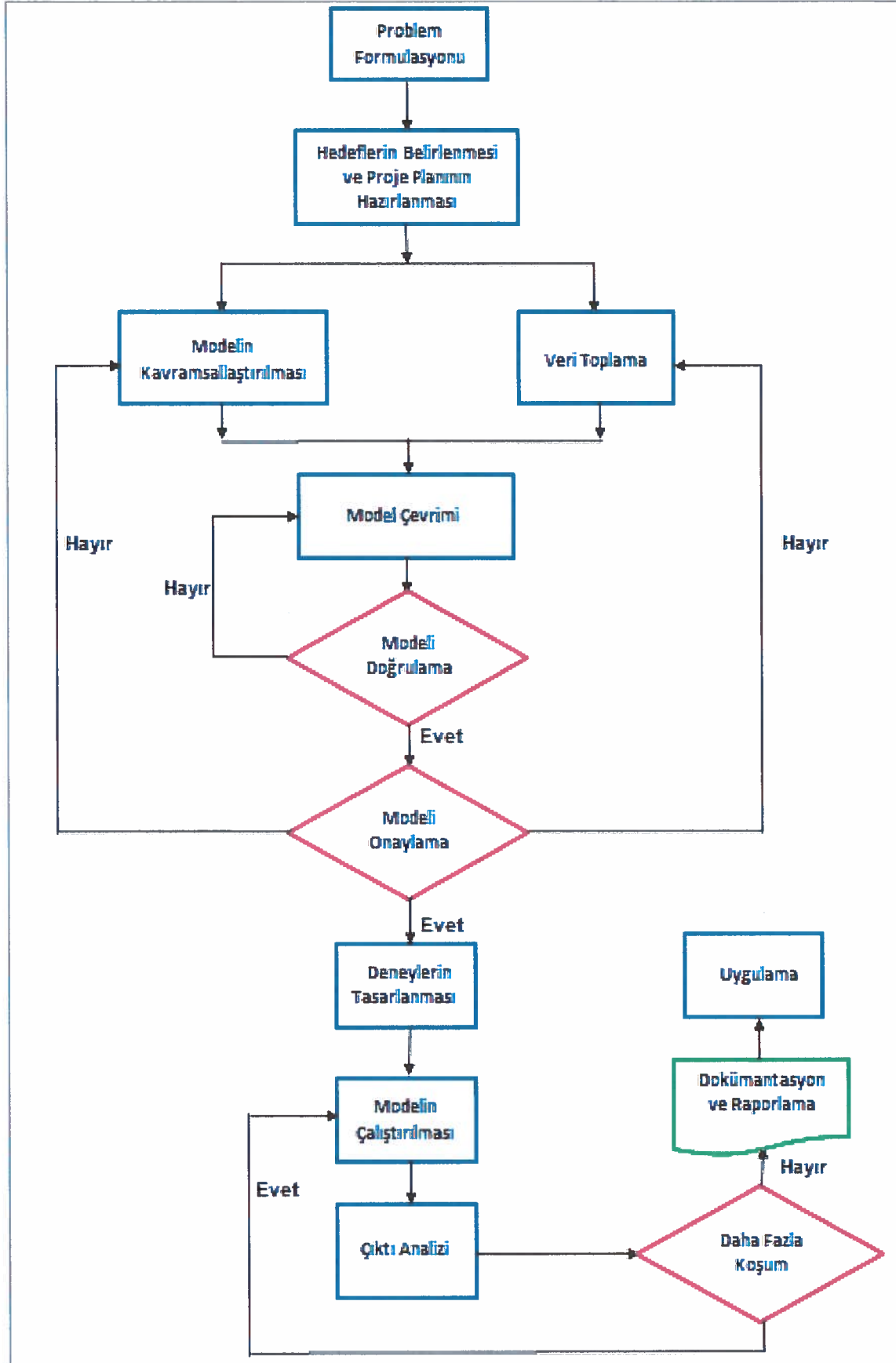
durumlardan bazıları aşağıda yer almaktadır [15]. Bu durumlarda simülasyon yöntemi yerine diğer analitik yöntemlerin kullanılması daha uygun olabilir:

- Problemin genel/basit bir bakış açısı ile çözülebilmesi
- Problemin çözülebilir tam bir matematiksel modelinin bulunması
- Problemin analitik model ile çözülebilmesi
- Deneyleri direkt gerçekleştirmenin daha kolay olması
- Simülasyonun maliyetinin kazancından fazla olması
- Yeterli kaynak, veri ve zamanın bulunmaması
- Değişikliklerin etkisinin tahmin edilmesinin zor olması
- Modelin doğrulanması ve sağlamlasının mümkün olmaması
- Sistem çok zor olduğu için tanımlanmasının yapılamaması
- Sistem bileşenlerinin kolay karakterize edilememesi

2.1.5. Simülasyon Çalışmasının Aşamaları

Belli bir amaç doğrultusunda gerçekleştirilen simülasyon çalışması sürecinde takip edilmesi gereken birtakım ortak aşamalar bulunmaktadır. Bu aşamalar, simülasyon çalışmasının nasıl yapılacağını belirlemektedir. Her simülasyon çalışmasının kendine özgü birtakım özellikleri olmasına rağmen, çalışma gerçekleştirilirken bu ortak adımların takip edilmesi önerilmektedir.

Bu çalışma yapılırken, Şekil 2.4'te yer alan ve [9] kaynağından alınan simülasyon sürecine ait akış diyagramı takip edilmiştir. Bu aşamaların her birinin bir simülasyon çalışması için önemi bulunmaktadır ve bu aşamalardan herhangi birini gerçekleştirmeden diğer adıma geçmek, elde edilen sonuçların güvenilir olmamasına neden olabilmektedir.



Şekil 2.4 Simülasyon Çalışması Akış Diyagramı [9]

2.1.5.1. Problem Tanımı ve Formülasyonu

Diğer mühendislik çalışmalarında olduğu gibi simülasyon çalışmasının da birinci aşaması problemin tanımı ve formülasyonudur. Çalışma, problemin net bir şekilde tanımlanması ile başlamaktadır. Yapılacak simülasyon çalışmasının kapsamının, modellenecek sistemin özelliklerinin ve sınırlarının tanımlanması gerekmektedir.

Problem tanımı ile üzerinde çalışılacak araştırma konusunun açıklaması ve tanımlanması yapılır. Problem formülasyonunun amacı araştırma için bir çerçeve oluşturmaktır. Ele alınan problemin ne olduğu, araştırma ile nelerin hedeflendiği, problemin nerede olduğu ve kiminle alakalı olduğu, problemin çözümü için hangi eylemlerin gerçekleştirilebileceği vb. özelliklerle problem genel hatlarıyla formüle edilmektedir [12]. Kesin ve ayrıntılı problem formülasyonu geliştirmek uzun zaman alabilmektedir, fakat çalışmanın başlamasından önce yapılan iyi bir problem formülasyonu çalışmanın gidişatı açısından gereklidir. Ayrıca problem formülasyonu problem tanımından farklı olarak yinelemeli bir süreçtir.

Problem tanımının ve formülasyonunun doğru ve açık bir şekilde yapılması, Şekil 2.4'te yer alan aşamaların işleyişini ve simülasyon çalışmasının başarısını doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle, iyi bir tanımlama ve formülasyon yaparak çalışmaya başlamak oldukça önemlidir. Ayrıca problemin tanım ve formülasyonunun, çalışmanın sonucunu kullanacak herkes tarafından kabul edilmesi ve anlaşılması gerekmektedir.

2.1.5.2. Hedeflerin Belirlenmesi ve Proje Planının Hazırlanması

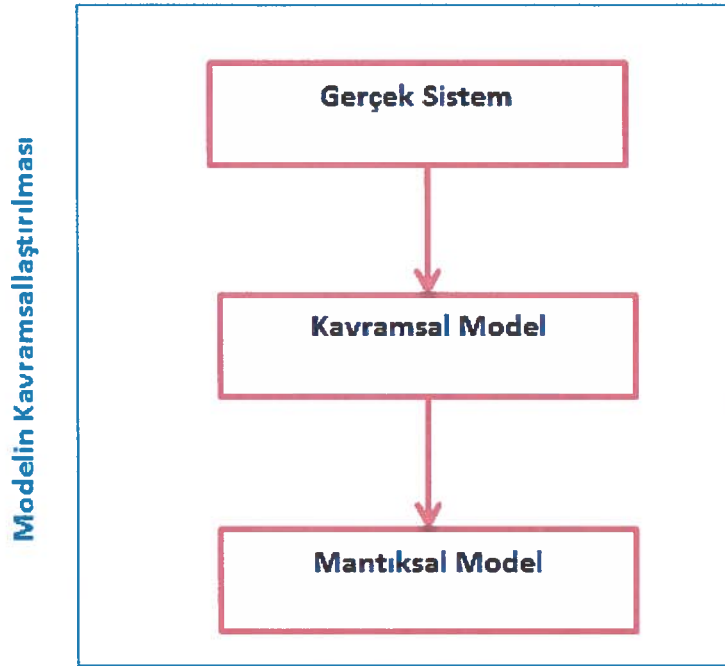
Problem tanımı ve formülasyonu adımının tamamlanmasının ardından çalışmanın hedeflerinin belirlenmesi ve proje planının hazırlanması gerekmektedir. Temel olarak birinci adımda tanımı ve formülasyonu yapılan problemin çözüme kavuşturulması amaçlanmaktadır. Simülasyon çalışmasının hedefleri, genellikle üzerinde çalışılacak problemin durumuna göre saptanmaktadır.

Hedefler belirlendikten sonra; çalışma boyunca cevaplanması gereken sorular detaylandırılmakta ve hedefler ile ilgili bilgiler çıkarılmaktadır [9]. Çalışmanın

ayrıntı seviyesi, gerekli olan veriler, bu verilerin nasıl elde edilebileceği, donanım, yazılım ve personel gereksinimleri belirlenmektedir. Ayrıca, simülasyon çalışmasının zaman ve maliyet planının hazırlanması gerekmektedir.

2.1.5.3. Modelin Kavramsallaştırılması

Modelin kavramsallaştırılmasıyla, kolaylık olması açısından, simülasyon modeli oluşturulmadan önce sistem gereksinimlerini içerecek bir model tasarlanması amaçlanmaktadır. Modelin kavramsallaştırılması aşaması Şekil 2.5'te gösterildiği üzere iki adımdan oluşmaktadır. Bunlar gerçek sistemden kavramsal modelin oluşturulması ve kavramsal modelden mantıksal modelin oluşturulmasıdır.



Şekil 2.5 Modelin Kavramsallaştırılması

Kavramsal model, çalışmanın konusu olan gerçek sistem ile geliştirilecek mantıksal model arasında ara adım olarak kullanılmaktadır. Geçmişten günümüze kadar kavramsal model için çeşitli tanımlamalar yapılmıştır. Bu tanımlamalardan bazıları şu şekilde verilebilir: Hedefleri, fonksiyonel ve davranışsal yeteneklere dönüştürmek için kullanılan bir araçtır [16]. Belli bir çalışmada problemin matematiksel, mantıksal ya da sözel gösterimidir [17].

Teorilerin ve algoritmaların formal olarak ifade edilmesidir [18]. Modelleme gereksinimlerinin, bir sistemin oluşturulabileceği detaylı tasarım çerçevelerine dönüştürülmesidir.

Bu tanımlamalar doğrultusunda, modelin kavramsallaştırılması adımıyla oluşturulan kavramsal modelin simülasyon çalışması açısından sahip olduğu bazı önemli özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [19]:

- Sistemin işlevsel ve davranışsal yeteneklerini tanımlar.
- Problemin majör niteliklerini özetler.
- Bir önceki aşamada belirlenen hedeflere göre, çalışmanın gereksinimlerini ve problem için cevaplanması gereken soruları detaylandırır.
- Modelde yer alan elemanlar arasındaki mantıksal ilişkileri ve etkileşimleri gösterir.
- Çalışmanın detay seviyesini belirterek, daha detaylı bir modele dönüşüm için gerekli tanımları içerir.
- Sınırları ve tahminleri belirtir ve sistemin tanımlamasını sağlar.
- Doğrulama ve onaylama için gerekli yöntemlerin uygulanabileceği bir yapıda kurulursa, bu aşamalarda kullanılabilir.
- Gereksinim analizi ve tasarım aşamaları arasındaki bağlantıyı kurar.

Bu özellikleri içeren iyi bir kavramsal modelin oluşturulması bundan sonra geliştirilecek olan mantıksal model için önemli bir kaynak olmaktadır.

Modelin kavramsallaştırılması adımıyla gerçekleştirilen diğer bir işlem, mantıksal modelin oluşturulmasıdır. Mantıksal model, geliştirilen kavramsal modelin sistemde var olan olaylar arasındaki mantıksal ilişkileri tanımlayan bir modele dönüştürülmesiyle elde edilmektedir. Simülasyon modeli mantıksal modelden oluşturulacağı için, mantıksal modelin güvenilir ve doğru olması gerekmektedir.

2.1.5.4. Veri Toplama

Bu adımda simülasyon çalışması için gerekli olan veriler toplanır. Simülasyon yönteminde doğru ve tutarlı çıktılar elde etmek için öncelikle girdilerin doğru olması gerekir. Yanlış veya eksik veriler ile doğru çıktılar üretilmez ve model

güvenilir sonuç vermez. Elde edilen verilerin doğruluğunun, çıkacak sonuç üzerindeki etkisi büyüktür. Bu nedenle, verilerin toplanması adımı simülasyon çalışmasında önemli bir yere sahiptir.

Temelde iki farklı veri tipi vardır. Bunlar girdi verisi ve çıktı verisidir. Girdi verisi modele girdi olarak verilecek dağılımlar, bu dağılımların parametreleri, olay hızlarının belirlenmesinde kullanılır. Modelde kullanılacak rassal değişkenlerin dağılımlarının ve parametrelerinin belirlenmesi için gerekli veri gereksinimleri belirlenmektedir. Sistemin rastgele süreçlerine ilişkin dağılımların ve parametrelerin, bilinen veya beklenen olasılık dağılımlarına uygunluğu kontrol edilmekte ve modelde kullanılabilir ölçütlere dönüştürülmektedir [9].

Çıktı verisi ise genellikle performans verilerinden oluşur ve modelin geçerliliğinin test edilmesinde kullanılmaktadır [9]. Onaylama adımında, simülasyon modelinin gerçek sistemi temsil edip etmediği belirlenmektedir. Çıktı verileri olmaksızın simülasyon modellerinin geçerliliğini objektif olarak araştırmak mümkün değildir. Toplanan ve kullanılan çıktı verileri, geçerlilik, verilerin dağılımı, teorik dağılımlar gibi faktörler çalışmanın başarısını büyük ölçüde etkilemektedir.

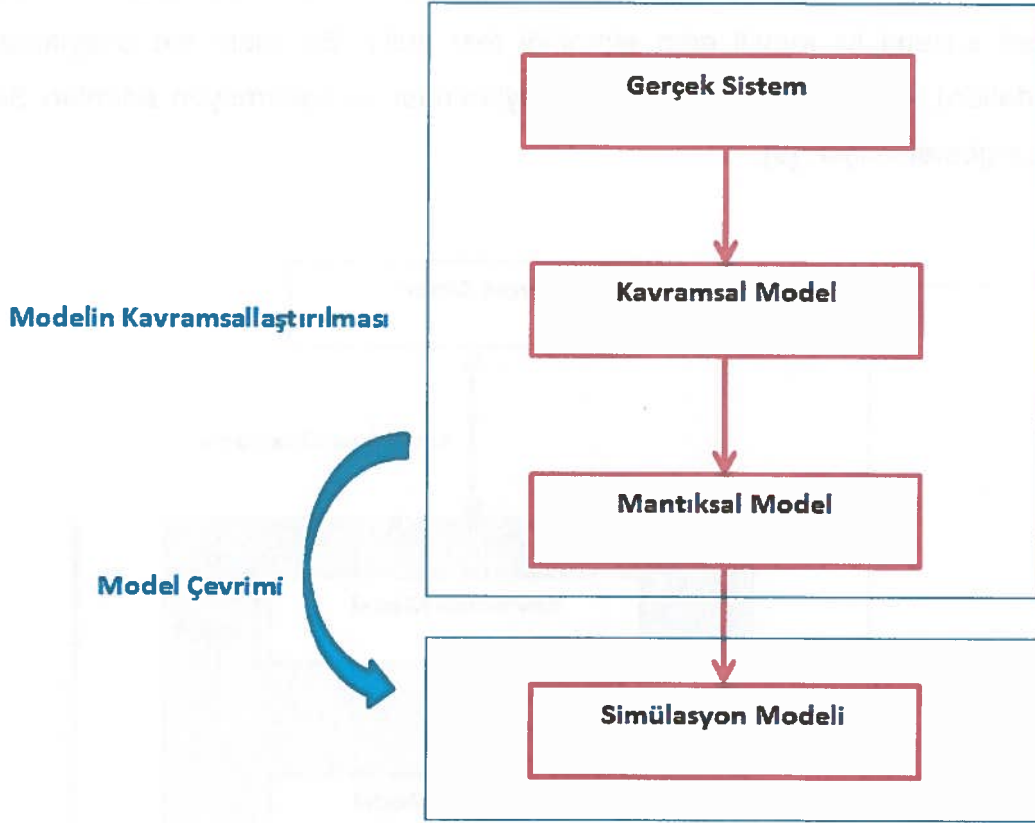
Veri toplama aşaması simülasyon çalışmasının zor ve önemli adımlarından olduğu halde, bu adıma kaynak kısıtlarından dolayı daha az zaman ayrılması simülasyon çalışmasının başarısız sonuçlanmasına ya da elde edilen sonuçların güvenilir olmamasına yol açabilmektedir. Bu nedenle, bu adıma yeterince zaman ve kaynak ayrılmalıdır.

2.1.5.5. Model Çevrimi

Modelin kavramsallaştırılması ve verilerin toplanması adımlarından sonra sırada model çevrimi adımının gerçekleştirilmesi gelmektedir. Bu aşamada bir önceki adımda oluşturulan kavramsal model ve mantıksal model, simülasyon modeline dönüştürülür.

Bilgisayar ortamına aktarılan modeller (kavramsal ve mantıksal model) ile birlikte, tanımlanan problemlerin ve bu problemlerin çözümüne yönelik belirlenen hedeflerin gerçekleşmesini sağlayacak ve sistemi temsil edebilecek

simülasyon modeli oluşturulur. Model matematiksel ve mantıksal ifadelerden oluşmakta ve bu ifadelerin sistem işleyişini iyi bir şekilde temsil etmesi gerekmektedir. Şekil 2.6'da model çevrimi adımları gösterilmektedir [9].



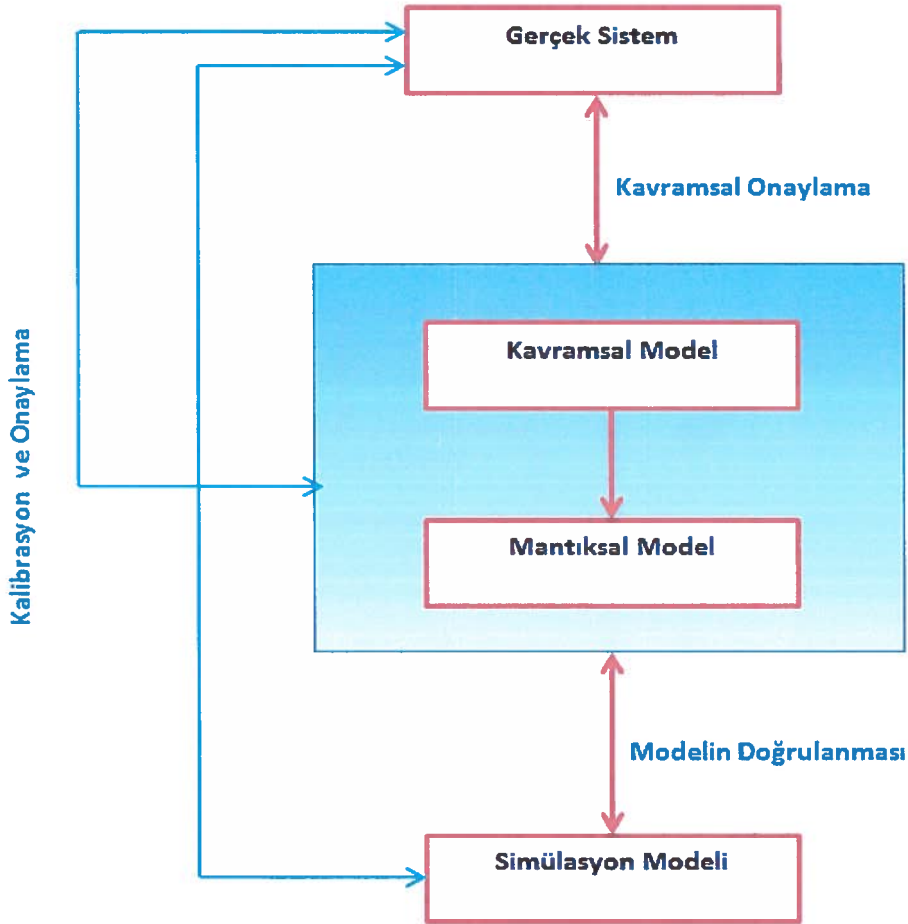
Şekil 2.6 Model Çevrimi Adımları [9]

Kavramsal modelden oluşturulan mantıksal modelden sonra sıra simülasyon modelinin oluşturulmasına gelmektedir. Mantıksal modelin doğru bir şekilde bilgisayar ortamına taşınması ve kodlama adımı için ilgili sistemin doğru bir şekilde simüle edilmesini destekleyecek bir simülasyon yazılımını seçmek, çalışmanın başarısı açısından önemli bir faktördür.

Gerçek sistemi temsil etmesi, anlaşılabilir olması, kullanım kolaylığı sağlaması simülasyon modelinde aranan temel özelliklerdir. Bu nedenle, sistemin sadece gerekli olan ve ilgili problem sınırları içinde kalan kısımlarını kapsayacak bir modelin geliştirilmesi tercih edilmelidir.

2.1.5.6. Modelin Doğrulanması ve Onaylanması

Bu adım interaktif ve iteratif olarak gerçekleştirilen iki temel aşamadan oluşmaktadır. Öncelikle bilgisayara kodlanarak aktarılan simülasyon modelinin, kavramsal ve mantıksal modeli doğru bir şekilde yansıtip yansıtmadığı kontrol edilir. Bu işlem doğrulamadır (verification). Ardından simülasyon modelinin gerçek sistemi iyi temsil edip etmediği test edilir. Bu işlem ise onaylamadır (validation). Modelin doğrulanması, onaylanması ve kalibrasyon adımları Şekil 2.7’de gösterilmiştir. [9].



Şekil 2.7 Modelin Doğrulanması, Onaylanması ve Kalibrasyon Adımları [9]

Doğrulama (Verification): Modelin kontrol edilerek doğrulanmasındaki amaç, kavramsal ve mantıksal modelin bilgisayarda simülasyon modeline doğru uygulanmış olup olmadığının, modelin girdi parametrelerinin ve mantıksal yapının doğru kurulup kurulmadığının kontrol edilmesidir.

Doğrulama sürecinde kullanılabilir bir çok öneri bulunmaktadır [9]:

- Bir olay gerçekleştiğinde sistemde oluşabilecek her hareket için akış diyagramının hazırlanması,
- Girdi parametrelerinin değişik değerleri ile model çıktısının yakından incelenmesi ve beklenen sonuçların elde edilmesi,
- Kullanılan değişkenlerin tam açıklamalarının verilmesi,
- Toplanan çıktı verilerinin simülasyon modelinden elde edilen çıktı verileri ile istatistiksel olarak test edilmesidir.

Onaylama (Validation): Modelin onaylanmasındaki temel amaç, gerçek sistemden elde edilen verilerin modelde uygun bir şekilde kullanılıp kullanılmadığının ve gerçek sistemin model tarafından temsil edilip edilmediğinin değerlendirilmesidir.

Onaylama sürecinde kullanılabilir bir çok öneri bulunmaktadır [9]:

- Belli performans ölçütleri altında, yapılan testler sonucu elde edilen çıktıların, gerçek sistem verileri ile karşılaştırılması,
- Model gerçek sistemi yansıtmakta yetersiz kalıyorsa kavramsal modelin biraz daha detaylandırılması,
- Gerçek sistemin giriş-çıkış dönüşümleri ile model sistemin giriş-çıkış dönüşümlerinin karşılaştırılması,
- Model varsayımlarının geçerliliğinin kontrol edilmesi,
- Gerçek sisteme yakın bir model oluşturuluncaya ve en iyi tahmin elde edilinceye kadar sürecin devam ettirilmesi.

Kalibrasyon (Calibration): Model ile gerçek sistemin tekrarlı olarak karşılaştırılmasıdır. Kimi zaman, gerçek sistemden elde edilen verilerle kalibrasyon modeli uygulamaya paralel olarak gerçekleştirilmektedir [9]. Kalibrasyon modeli tahminlerinden hesaplanan hatalar ve ölçümler model için geri bildirim olarak kullanılmaktadır. Başlangıçta model için çok az verinin olması ya da modellenen sürecin zaman içinde kendini yenilemesi durumunda bu işlem oldukça kullanışlıdır.

Yapılan incelemelerden sonra, modelin gerçek sistemi doğru yansıtmadığı ve güvenilir sonuçlar elde edilmediği tespit edilirse, eksiklikler tamamlanmadan bir sonraki aşamalara geçilemez. Bu sebeple, modelin doğrulanması ve onaylanması simülasyon çalışmasının en önemli aşamalarındandır.

2.1.5.7. Deneylerin Tasarlanması

Simülasyon modelinin gerçek sistemi belirlenmiş bir güvenlik düzeyinde yansıttığına karar verildikten sonra problemin niteliğine göre alternatif çözüm senaryoları tespit edilir.

2.1.5.8. ıktı Analizi

ıktı analizi, bir önceki adımda yapılan deneylerden elde edilen çıktıların analizidir. Deneylerden üretilen çıktılar, istatistiksel teknikler yardımıyla analiz edilmektedir. Tasarlanan deneyler model üzerinde test edilmektedir. Modelin bir kez çalıştırılması sonucu elde edilen değerin yeterli olmadığı, aynı testin belli sayıda yapılmasıyla elde edilen değerlerin ortalamasının dikkate alınması, bu aşamada göz önünde bulundurulması gereken önemli bir durumdur. ıktı analizinde amaç:

- Üzerinde çalışılan sistemin performansını tahmin etmek,
- Sistemin performans ölçütünün güven aralığını belirlemek,
- Simülasyon deneylerinin sonucunda, sistemin performansını ölçmek amacıyla kullanılan parametre değerini tahmin etmek ve parametrenin varyansını ölçmek,
- Birden fazla alternatif sistem tasarımlarının performansını karşılaştırmak,
- Birden fazla sistem için, performans ölçütünün en iyi olduğu alternatif sistemi belirlemek, sıralamak, seçmek,
- Gerçekleştirilen alışma için kurulmuş olan hipotezleri test etmek için test istatistiklerini hesaplamak,
- Sonuçları değerlendirmek ve yorumlamaktır.

2.1.5.9. Dokümantasyon ve Raporlama

Model çalıştırıldıktan ve sonuçları alındıktan sonra tüm aşamalarının ve çalışmanın sonuçlarının dokümantasyonu ve raporlaması yapılmaktadır. Çalışmanın, tüm işleyişin dokümantasyonu yapılmalıdır. Raporlamada ise simülasyon çalışması hakkında bilgi verilmektedir.

Dokümanlar ve raporlar; modelin genel mantığını, modelin tüm aşamalarını, ana unsurlarını, veri yapılarını, alternatif senaryoları, performans ölçütlerini, deney sonuçlarını ve önerileri içermektedir.

2.1.5.10. Uygulama

Son adım olan uygulama aşamasında güvenilir bir simülasyon modelinden elde edilen sonuçlara göre model üzerinde denemeler yapılır ve alternatif çözümler üretilir. Uygulama aşamasından önceki aşamaların başarı oranı, uygulama aşamasının başarısını belirlemektedir.

2.1.6. Simülasyon Yönteminin Avantajları

Simülasyon yönteminin diğer yöntemler üzerinde sahip olduğu birtakım avantajlar mevcuttur. Bu avantajlar nedeniyle gün geçtikçe daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Simülasyon yönteminin getirdiği avantajların bazıları aşağıdaki gibi listelenebilir [12]:

- Karmaşık ve gerçek sistemlerin analizinde simülasyon yöntemlerini uygulamak analitik yöntemleri uygulamaktan genellikle daha kolaydır.
- Simülasyon esnek bir çözüm yöntemidir. Farklı düzeylerdeki ayrıntıyı sisteme dâhil edecek ve gerek görüldüğü anda değişiklikler yapılabilecek esnekliğe sahiptir.
- Simülasyon, çeşitli varsayımlar, değişkenlikler ve belirsizliklerle gerçek sistemleri modellemeye imkân tanır.
- Simülasyon modeli bir kez kurulduktan sonra bu model farklı tasarımların analizinde tekrar tekrar kullanılabilir.
- Simülasyon yöntemi ile birlikte "What if? (Ne-Eğer)" soruları kolaylıkla yanıtlanabilmekte ve bu nedenle simülasyon özellikle yeni sistem tasarımında kullanışlı olmaktadır.

- Modellenen sistemin devam eden işlemlerini kesmeden, sistemi değiştirmeden yeni kurallar, politikalar geliştirilebilir ve bunlar model üzerinde kolaylıkla test edilebilir. Özellikle simülasyonun gerçek sistemin yapısına herhangi bir zarar vermeden bu işlemi yapmasına olanak vermesi oldukça önemlidir.
- Simülasyon yöntemi, zaman üzerinde tam yetkiye sahiptir. Başka bir deyişle olay simülasyon modeli ile birlikte gerekli durumlarda istenilen şekilde hızlandırılıp, yavaşlatılabilir; zaman skalası daraltılabilir veya genişletilebilir. Bu özelliği sayesinde sonuçların uzun zaman alacağı durumlarda bu yöntem ile birlikte sistem analizi kısa zamanda tamamlanabilmektedir.
- Simülasyon süreci tekrarlanan bir süreçtir. Modelin oluşturulmasının ardından, sistemin farklı durumları için ihtiyaç duyulduğu sürece kullanılabilir.
- Simülasyon, dinamik yapıların incelenmesi için uygun bir yöntemdir. Sistemin, değişen koşullar altında sergileyeceği davranışlar belirlenebilmektedir.

2.1.7. Simülasyon Yönteminin Zorlukları

Simülasyon yönteminin Bölüm 2.1.6'da belirtilen durumlarda yarar ve üstünlüklere sahip olmasının yanında bir kısmı aşağıda yer alan zorlukları ve dezavantajları da bulunmaktadır [12]:

- Nitelikli, iyi bir simülasyon modelini geliştirmek ve analizini yapmak sistemin karmaşıklık düzeyi arttıkça yüksek maliyetli ve zaman alıcı olabilmektedir. Simülasyon yeterli kaynak ve zaman harcanmaması durumunda ise eksik, yanlış ve yetersiz sonuçlar elde edilebilmektedir.
- Tüm simülasyon modelleri, üzerinde çalışılacak probleme ve sisteme göre geliştirilmektedir. Bu yüzden her model kendine özgüdür ve çoğunlukla üretilen çözümler ve yapılan çıkarımlar başka problemlerin çözümünde kullanılamazlar.
- Çalışma sırasında bütün alternatifler simüle edilemeyebilir. Bu nedenle, seçilen alternatiflerden iyi sonuç elde edilebilir, ancak simüle

edilmeyen diğer alternatiflerden daha iyi sonuç elde edilip edilemeyeceği belirsizdir.

- Simülasyon yöntemi, diğer yöntemlere oranla daha fazla uzmanlık gerektiren yaklaşımdır. İki farklı model geliştirici benzer modeller geliştirebilse dahi her ikisinin tamamen aynı olması pek mümkün değildir. Bu yüzden simülasyon modellerinin başarısı dolaylı olarak model geliştiricinin başarısına ve uzmanlık düzeyine bağlı olabilmektedir.
- Onaylama ve doğrulama adımları uygun bir şekilde gerçekleştirilmezse yanlış sonuçlar elde edilebilir.
- Simülasyon sonuçlarını yorumlamak karmaşık sistemler için zorlaşabilmektedir. Birçok simülasyon çalışmasında kullanılan rassal girdilere bağlı olarak çıktılar rassal değişkenler oldukları için, çıkarımların sistem etkileşimlerinden mi rassallıktan mı kaynaklandığı kesin değildir.
- Simülasyon tek başına direkt olarak optimizasyon yapamaz. Simülasyon modeli, girdileri kullanacak uygun bir optimizasyon yöntemi ile birleşerek optimizasyon yapabilir.

2.2. SİSTEM DİNAMIĞI

2.2.1. Sistem Dinamiği Metodolojisi

Sistem dinamiği yöntemi, ilk olarak 1950'lerde Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde çalışan Prof. Jay W. Forrester tarafından geliştirilmiştir. 1960'lı yıllarda endüstri ve ekonomi alanlarında sistem anlayışlarını daha iyi tanımlamak için sistem dinamiği metodolojisi kullanılmıştır. Bu yüzden o yıllarda "Endüstriyel Dinamikler" olarak adlandırılmıştır [20]. Fakat daha sonra gerçek sistemleri kolaylıkla temsil etme özelliğinden dolayı çevre, fizik ve sağlık gibi birçok alanda, sistem analiz metodu olarak da kullanılmaya başlanmıştır [21]. 1983 yılında Uluslararası Sistem Dinamikleri Topluluğu kurulmuş ve 2003 yılında ise bu topluluk altında sistem dinamiği yöntemiyle sağlık hizmetleri alanında yapılacak olan çalışmalara yönelik bir grup oluşturulmuştur [22].

Öncelikle, bu yaklaşımın iki ana yapı taşını tanımlamak gerekmektedir. Sistem, karmaşık bir bütünü oluşturan etkileşimli fiziksel ve soyut bileşenlerin toplamıdır. Sistem yapısı, sistemi oluşturan bileşenler arasındaki ilişkiden kaynaklanmaktadır. Dinamik terimi, zaman içindeki sürekli değişimdir. Bu nedenle, dinamik bir sistemde, bileşenlerin etkileşimleri zaman içinde sistemde değişikliklere neden olmaktadır. Bileşenlerin zaman içinde oluşturduğu sistem etkileşimi sonucunda sistem davranışı ortaya çıkmaktadır. Sistem dinamiği ise, en temel tanımıyla, sisteme ait dinamik sistem davranışlarını anlama yöntemidir. Bir sistem yapısının sergilediği davranışı, değişen zaman koşulları içinde nasıl sürdürdüğünü anlamaya yarayan simülasyon metodolojisidir [23].

Sistem davranışında, sistemi oluşturan parçalar arasındaki ilişkiler bu parçaların bireysel etkisinden daha etkin bir rol oynayabilmektedir. Başka bir deyişle, bazı durumlarda sistemi oluşturan parçalar tek başına sistemin bir bütün olarak sergilediği davranışı açıklamakta eksik kalabilmektedir [24]. Sistem dinamiği yöntemiyle, özellikle karmaşık sistemler bir bütün olarak ele alınmakta ve sistemin zaman içinde sergileyeceği davranış incelenmektedir. Bu nedenle, karmaşık bir sistem davranışının, parçaların davranışlarıyla açıklanamaması durumunda sistem dinamiği yöntemini kullanmak oldukça yararlıdır.

2.2.2. Sistem Dinamiği Modellemesi

Sistem dinamiği, karmaşık sistemlerin modellenmesinde kullanılan çok güçlü bir yöntemdir. Matematiksel modeli kurulmuş olan bir sistemle ilgili bilgilere, analitik yöntemlerle ulaşmak bazı durumlarda mümkün olsa da sistemlerin dinamik karmaşıklığı çok sayıda sistem eşitliği kullanılmasını gerektirdiğinden analitik yöntemler çoğu zaman yetersiz kalabilmektedir. Sistem dinamiği modellemesi ile birlikte, karmaşık bir sistemin dinamik davranışının nasıl işlediği açıklanıp belli bir işlem sürecinden kaynaklanan değişiklikler belirlenmektedir [25].

Sistem dinamiği yöntemi nitel (kavramsal) ve nicel (sayısal) olmak üzere iki tamamlayıcı ve aynı öneme sahip yönü içermektedir [26]. Sistem dinamiği yaklaşımının, modelleme sürecinin bu esnekliği nedeniyle, hem kavramsal bilgiyi hem de sayısal bilgiyi birleştirebilme yeteneği vardır. Bu özelliğinden

dolayısı sistem dinamiği modelleri, nedensel matematiksel modeller olarak da adlandırılmaktadır [27].

Sistem dinamiği modelleme sürecinin diğer yöntemlerden farklı olarak kendine özgü birtakım aşamaları bulunmaktadır. Bu aşamalar Şekil 2.8'de gösterilmektedir [28]. Modelleme sürecinin daha iyi anlaşılabilmesi için her bir adım açıklandıktan sonra, midedeki yemek miktarının zaman içindeki değişimini gösteren sistem örneği ele alınacaktır.



Şekil 2.8 Sistem Dinamiği Modelleme Süreci [28]

2.2.2.1. Elemanların Tanımlanması

Sistem dinamiği modelleme sürecinin ilk adımında sistemi tanımlayan elemanların belirlenmesi gerekmektedir. Elemanların belirlenmesi, büyük ölçüde modeli geliştirecek uzmanın bilgisine bağlı olan nitel bir süreçtir. Model için elemanların seçimi yalnızca uzman bilgisine bağlı değildir, aynı zamanda sistemin performansını tanımlayan önceden belirlenmiş faktörlere de dayanmaktadır.

Modelde kullanılacak elemanlar, öncelikle bir sonraki adımda yer alan etki diyagramında olmak üzere tüm süreç boyunca etkin bir şekilde kullanılacağı için, elemanların açık ve doğru belirlenmesi çalışma açısından önemli bir adımdır [28]. Tutarlılığı sağlamak ve karışıklığı önlemek adına her eleman için çalışma kapsamında net bir tanım mevcut olmalıdır.

Midedeki yemek miktarının zaman içindeki değişimini gösteren modelleme örneği için tanımlanan elemanlar aşağıda listelenmiştir:

- Midedeki yemek miktarı
- Sindirim olayı

- Açlık
- Yemek yeme

Tanımlanacak olan elemanlar yönlü olmalıdır. Bir elemanın yönlü olması, o elemanın arttırılıp azaltılabilecek bir yön veya miktara sahip olması anlamına gelmektedir. Elemanların bu özelliğe sahip olması gerekliliğinin sebebi, etki diyagramındaki ilişkiler arasında matematiksel tutarlılığı sağlamaktır. Ele aldığımız örnekte midedeki yemek miktarı artıp azalan bir miktara; açlık, sindirim ve yemek yeme elemanları ise midedeki yemek miktarını artırıp veya azaltan yönleri sahiptir. Bu elemanların yönleri bilinmezse aralarında mantıklı bir ilişki kurulamaz.

Modelde kullanılacak elemanlar boyutlu olabilirler, ancak elemanların boyutlu olması zorunlu değildir. Boyutsal olmayan bir eleman da modelde kullanılabilir. Yukarıda tanımlanan elemanların (midedeki yemek miktarı, sindirim olayı, açlık yemek yeme) hiçbiri boyutlu değildir. Ancak, herhangi bir model için tanımlanan kalite değişkeni boyutlu bir elemana örnektir. Kalite değişkeninin performans, verimlilik, güvenlik gibi boyutları olabilmektedir.

Model geliştirilirken elemanların tanımlanması adımı tekrarlayan bir işlemdir. Çalışma devam ederken, başta oluşturulan eleman listesine yeni elemanların eklenmesi veya listeden var olan elemanların çıkarılması mümkündür. Çünkü modelin ayrıntı düzeyi ve kapsamı çalışma devam ederken değişebilmektedir.

2.2.2.2. Nitel Modelleme

Sistem dinamiği yönteminin nitel modelleme aşaması; karmaşık sistemlerin değişkenleri arasındaki pozitif ve negatif ilişkilerden, geri besleme döngülerinden ve zaman gecikmelerinden oluşan sistem yapısını belirlemekle ilgilidir [29].

Bu adımda, modellenecek sistemin kavramsal gösterimi olan etki diyagramı oluşturulmaktadır. Etki diyagramı, sistemdeki elemanların birbirlerine yapacağı etkilerin, sebeplerin gösterimini veren ve sistemin geri bildirim yapısını içeren önemli bir araçtır [30]. Etki diyagramı ile sistem değişkenleri arasındaki ilişkiler ve döngüler bir arada gösterilmektedir. Değişkenler, sistemin içerisinde

bulunduğu bir durumu etkileyen veya sistemde oluşan bir durumdan etkilenen elemanlardır. Etki diyagramında ise değişkenlerin birbirleriyle nasıl etkileşime girdiği ve sistemin nasıl çalıştığı derinlemesine anlatılmaktadır.

Etki diyagramı elemanlar arasındaki nedensellikleri de gösterdiği için, nedensel döngü diyagramı olarak da adlandırılmaktadır [31]. Oluşturulan etki diyagramının mümkün olduğu kadar basit tutulması gerekmektedir. Çünkü diyagramın amacı, sürecin her detayını tanımlamak değil, geri bildirim yapısının gözlemlenen davranış biçimine yol açan yönlerini göstermektir. Bu doğrultuda, sistem dinamiği yönteminin nitel modelleme adımında etki diyagramı oluşturmanın başlıca adımları aşağıda gibi listelenmiştir [32]:

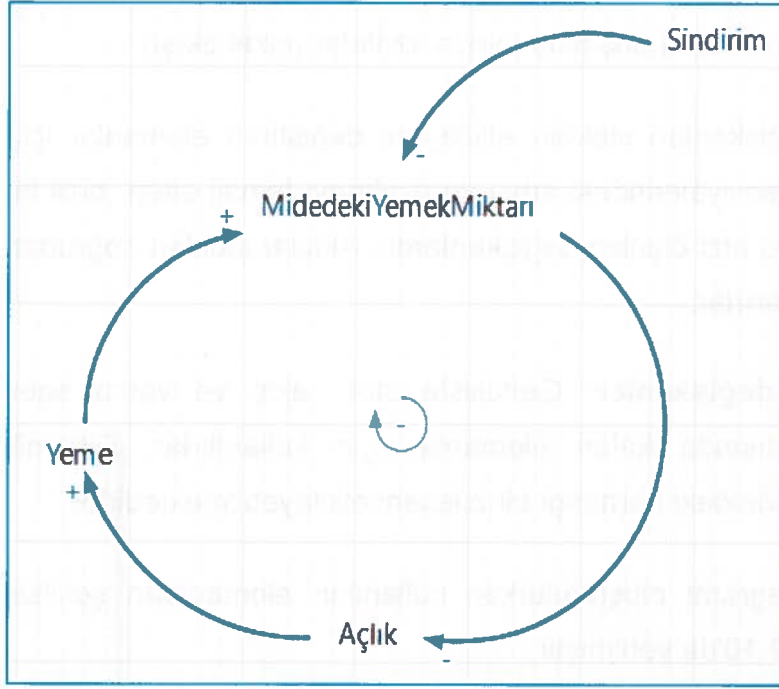
1. Etki diyagramı içindeki değişkenler, sistem üzerinde en büyük etkiye sahip olan elemanlardır. İlk olarak tanımlanan değişkenlerden birbirleri üzerinde etkisi olanlar belirlenir. Bir değişkenin başka bir değişken üzerinde doğrudan bir etkisi varsa, bu iki eleman etki diyagramında birbirine bir ok ile bağlanır. Dolaylı etkiler biliniyorsa, dolaylı yollar model kapsamında olduğu sürece tekrarlanmalı, alternatif olarak doğrudan bir etki göz önünde bulundurulmalı veya modelin kapsamı gözden geçirilmelidir.
2. İki değişken arasındaki etkiler net değilse, ilişkinin açıklamasını kolaylaştırmak için modele yeni elemanlar eklenebilir.
3. Etki diyagramı oluşturulduğunda, değişkenler arasındaki oklar değişimin yönünü temsil etmektedir. Etki diyagramındaki değişkenlerin birbirleri üzerindeki etki yönleri pozitif veya negatif etkiler olarak belirtilmektedir. Bir elemanın değişimi diğer elemanın değişimiyle aynı yönde (arttığında artıyor, azaldığında azalıyor) ise aralarında pozitif bir ilişki mevcuttur ve bu ilişki etki diyagramı üzerinde "+" ile gösterilir. Bir elemanın değişimi diğer elemanın değişimiyle zıt yönde (arttığında azalıyor, azaldığında artıyor) ise aralarında negatif bir ilişki mevcuttur ve etki diyagramında "-" ile gösterilir. Etki diyagramındaki elemanlar arasındaki "+" ve "-" işaretleri yalnızca etkinin yönünü belirtir, etkinin büyüklüğü hakkında bilgi vermez [33].

4. Elemanlar arasındaki etkilerin yönü belirlendikten sonra sistemdeki geri bildirim döngülerinin bulunması gerekmektedir. Geri bildirim kavramı, sistem dinamiği yaklaşımında önemli bir rol oynamaktadır. Geri bildirim, bir sistemin önceki davranışlarından etkilenmesidir. Yani geçmiş davranışlar sistemin gelecekteki davranışlarını kontrol edebilmektedir. Geri bildirim döngüleri etki diyagramında yönlendirilmiş bir ok döngüsü ile gösterilmektedir.
5. Son olarak, geri bildirim döngüleri belirlendikten sonra döngülerin nedenselliklerine göre döngülere pozitif ve negatif kutupluluk atanır. Geri bildirim döngüleri negatif (dengeleyici) döngü ve pozitif (pekiştirici) döngü olmak üzere iki çeşittir. Dengeleyici döngüler tek sayıda negatif "-" ilişki içerirken, pekiştirici döngüler çift sayıda negatif "-" ilişki içermektedir. Etki diyagramında ise dengeleyici döngüler "-", pekiştirici döngüler ise "+" ile gösterilmektedir [32]. Bu döngüler ile birlikte, araştırılmakta olan problemi temsil eden değişkenlerin nasıl etkileşime girdiğine dair görüş sağlanarak sistemin kavramsal özelliklerine ait bilgilendirici diyagramlar oluşturulabilmektedir.

Şekil 2.9'da verilen örnekte [32] midedeki yemek miktarının zaman içindeki davranışına ait oluşturulan etki diyagramı yer almaktadır. 2.2.2.1. Bölümde tanımlanan değişkenler (açlık, yemek yeme, sindirim ve midedeki yemek miktarı) arasında ilişkili olanlar birbirlerine oklarla bağlanmıştır. Sonrasında değişkenler arasındaki pozitif ve negatif yönlü değişimler tespit edilerek "+" ve "-" yönler belirlenmiştir. Yemek yeme işlemi gerçekleştiğinde midedeki yemek miktarı artacağından bu iki değişken arasındaki ilişki pozitif yönlü, sindirim olayı gerçekleştiğinde midedeki yemek miktarı azalacağından bu iki eleman arasındaki ilişki negatif yönlü, midedeki yemek miktarı azaldığında açlık artacağı için bu iki eleman arasındaki ilişki negatif yönlü, açlık arttığında yemek yeme isteği artacağı için bu iki eleman arasındaki ilişki pozitif yönlü olarak belirtilmiştir.

İlişki yönleri belirlendikten sonra değişkenler arasındaki geri bildirim döngüsü tanımlanmıştır. Verilen örnekteki döngü tek sayıda negatif ilişki içerdiğinden geri

bildirim döngüsü olarak dengeleyici bir döngüye sahiptir ve döngü işareti "-" ile gösterilmiştir. Örnekteki dengeleyici geri bildirim döngüsüne göre; açlık arttığında yemek yeme isteği artmakta, yemek yeme eylemi ile birlikte midedeki yemek miktarı artmakta, midedeki yemek miktarı arttığında ise açlık hissi azalmaktadır.



Şekil 2.9 Etki Diyagramı Örneği [32]

2.2.2.3. Nicel Modelleme

Sistem dinamiği yaklaşımının nicel modelleme aşaması; sistem davranışını gözlemlemek amacıyla matematiksel ilişkileri model içinde birleştirerek bir önceki adımda oluşturulan etki diyagramının stok ve akış diyagramına dönüştürülmesine ve matematiksel formülasyonlarının çözülmesine karşılık gelmektedir [23].

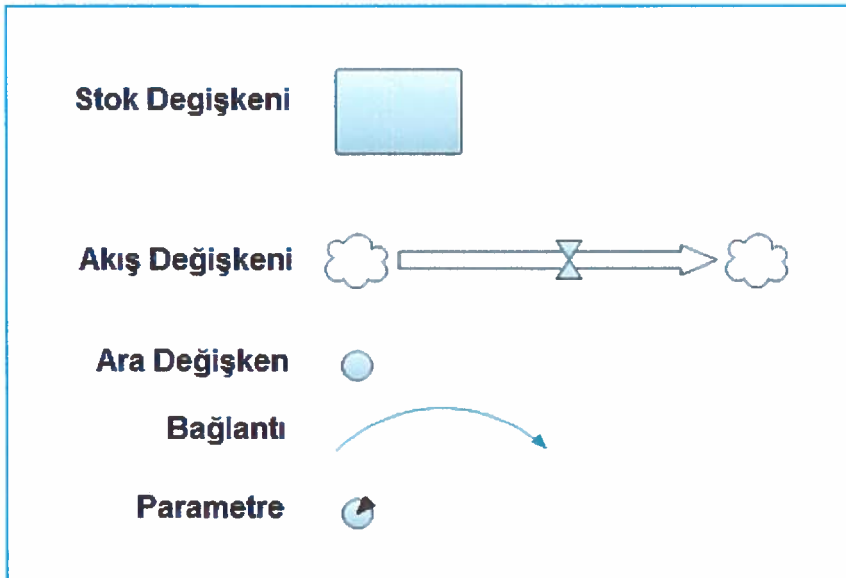
Stok ve Akış Diyagramı

Stok ve akış diyagramı oluşturmanın amacı, modelin sayısal özelliklerini nicel bir şekilde analiz etmek için bir mekanizma geliştirmektir. Stok ve akış diyagramı oluşturulurken takip edilecek adımlar aşağıda yer almaktadır [34]:

1. Etki diyagramında yer alan elemanların stok, akış veya dinamik değişken türlerinden hangisiyle modellenmesi gerektiği belirlenmelidir [26].

- **Stok:** Birikimler veya seviyeler olarak da bilinen stok değişkenleri, ilişkili bir miktara sahip olan veya belli bir zamanda belli seviyede olan elemanlar için kullanılmaktadır [33]. Stoklar sistemde bulunan temel birikimleri temsil ederler ve doğrudan değiştirilemezler. İlişkili oldukları akışlardan dolayı artar (giriş akışı) veya azalır (çıkış akışı).
- **Akış:** Akış değişkenleri stokları etkileyen, değiştiren elemanlar için kullanılır. Stok seviyelerindeki artışı ve azalmayı temsil eden, belli bir zaman diliminde hızı ölçülen değişkenlerdir. Akışlar stokları doğrudan azaltır ya da artırır.
- **Dinamik ara değişkenler:** Genellikle stok, akış ve varsa sabit parametreler dışında kalan elemanlar için kullanılırlar. Dinamik değişkenler modeldeki herhangi bir bileşeni etkileyebilmektedirler.

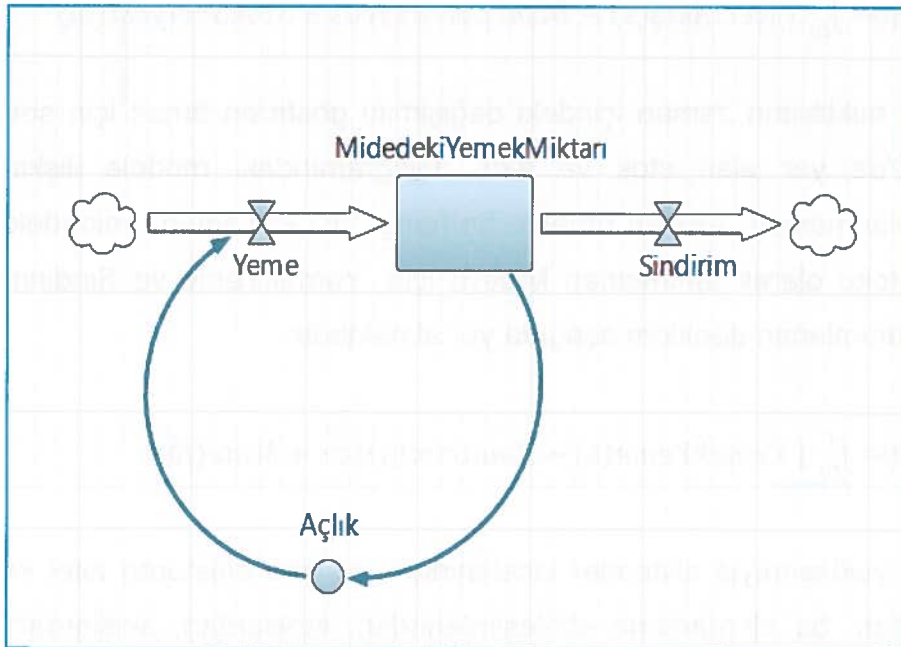
Stok ve akış diyagramı oluşturulurken kullanılan elemanların şekilsel gösterimleri Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10 Stok ve Akış Diyagramı Elemanları

2. Etki diyagramında yer alan sistem elemanlarının hangi tür değişkenlerle modelleneceği belirlendikten sonra bu bileşenler arasındaki ilişkiler tanımlanarak stok ve akış diyagramı elde edilir.

Şekil 2.9'da yer alan örnek etki diyagramından oluşturulan stok ve akış diyagramı Şekil 2.11'de yer almaktadır [32]. Stok ve akış diyagramı oluşturulurken takip edilen adımlar doğrultusunda bu örneği açıklayacak olursak öncelikle değişken türleri (stok, akış ve dinamik değişken) belirlenmiştir. Midedeki yemek miktarı stok olarak tanımlanmıştır. Yemek yeme midedeki yemek miktarından içeri giren akış ve sindirim midedeki yemek miktarından dışarı çıkan akıştır. Açlık ise dinamik ara değişken olarak tanımlanmıştır. Elemanların türleri tanımlandıktan sonra sıra elemanlar arasındaki ilişkilerin belirlenmesindedir. Yemek yeme ile birlikte midedeki yemek miktarına doğru bir giriş akışı olmaktadır. Sindirim ile birlikte ise midedeki yemek miktarından dışarı doğru bir akış olmaktadır. Açlık ise yemek yeme işleminin gerçekleştiği orana bağlantılıdır. Ayrıca midedeki yemek miktarı da açlığı etkilemekte ve bu döngüyü tamamlamaktadır.



Şekil 2.11 Stok ve Akış Diyagramı Örneği [32]

Matematiksel Formülasyon

Nicel modelleme aşamasındaki bu adımda ise denklemler, parametre değerleri ve sistemi temsil eden başlangıç koşulları oluşturulur. Oluşturulan stok ve akış diyagramındaki farklı elemanların etkileri diferansiyel denklemler kurularak ilişkilendirilir. Bir sistem dinamiği modeli, deneysel verileri geniş bir yelpaze içinde geliştirilen birbirine kenetlenmiş bir dizi diferansiyel ve matematiksel denklem setinden oluşmaktadır [32]. Sistemde yer alan değişkenlerin belli başlangıç değerleri vardır ve modelin çalışmasıyla birlikte bu değerler değişmektedir. Diferansiyel denklemler, sistemin herhangi bir andaki durumunun bir önceki durumuna bağlı olarak türetilmesini sağlayan eşitlikleri içerir. Bu denklemler tekrar tekrar çözümlenerek sistemin zaman içindeki gelişimi simüle edilir.

Matematiksel denklemler modelin çalışmasını tanımlamaktadır. Bir stok modellendiğinde, herhangi bir zamandaki stok seviyesi, aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi zaman içinde stok içine giren ve stoktan çıkan akışlar arasındaki fark olarak hesaplanmaktadır. ($t \geq t_0$ olmak üzere)

$$StokSeviyesi(t) = \int_{t_0}^t [İçeriAkış(s) - DışarıAkış(s)] ds + StokSeviyesi(t_0)$$

Midedeki yemek miktarının zaman içindeki değişimini gösteren örnek için son adım, Şekil 2.8'de yer alan stok ve akış diyagramındaki modele ilişkin denklemin tanımlanmasıdır. Verilen örnekte herhangi bir $t \geq t_0$ anında midedeki yemek miktarı stoku olarak tanımlanan $Mide(t)$ için, $YemekYeme$ ve $Sindirim$ akışlarına göre tanımlanan denklem aşağıda yer almaktadır.

$$Mide(t) = \int_{t_0}^t [YemekYeme(s) - Sindirim(s)] ds + Mide(t_0)$$

Sistem dinamiği yaklaşımıyla sistemler incelenirken; sistemi oluşturan nitel ve nicel elemanlardan, bu elemanların etkileşimlerinden, stoklardan, akışlardan, geri bildirim döngülerinden yararlanılarak sistem davranışları birtakım koşullar altında gözlemlenmekte ve bu davranışlarla ilgili anlayış geliştirilmektedir [32]. Sistem dinamiği yöntemini diğer simülasyon yöntemlerinden ayıran en önemli özelliği, geri bildirim döngülerini dikkate almasıdır.

Bu tez çalışmasında, sistem dinamiği modeli geliştirilirken Şekil 2.6'da yer alan sistem dinamiği modelleme sürecinin aşamaları takip edilmiştir. Bu aşamalardan; modeli geliştirmeye başlarken tanımlanan elemanların listesi ve özellikleri, elemanlar arasındaki kavramsal ilişkiler, tanımlanan ilişkiler doğrultusunda oluşturulan etki diyagramı ve geri bildirim döngüleri 4. Bölümde, etki diyagramına ait stok ve akış diyagramı ve matematiksel formülasyonlar ise 5. Bölümde detaylı bir şekilde yer almaktadır.

2.2.3. Dinamik Davranış Biçimleri

Bir sistemin yapısının kolay anlaşılabilmesi için, problem durumunu anlatan davranışlar göz önünde bulundurulmalıdır. Sistemin geri bildirim yapısı sistem davranışlarını oluşturur. Sistem dinamiği yönteminde ise sistem davranışları, Bölüm 2.2.2.2'de detaylı olarak anlatılan negatif (dengeleyici) ve pozitif (pekiştirici) geri bildirim döngüleriyle ve bunlar arasındaki etkileşimle karakterize edilmektedir.

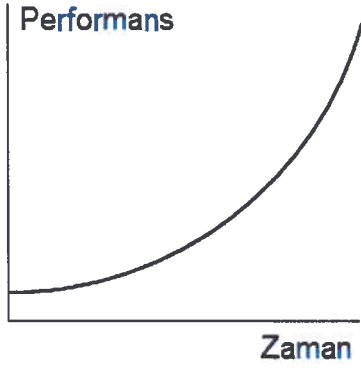
Sistemlerde gözlenen dinamiklerin çoğu dört temel davranış biçimi sergilemektedir [34]. Bu davranış biçimleri sistemlerde çoğu zaman tek tek veya bazen birlikte ortaya çıkmaktadır. Bu dört davranış biçimi:

- Pozitif (pekiştirici) geri besleme döngüsünün karakteristik davranışı olan *üstel büyüme*,
- Negatif (dengeleyici) geri besleme döngüsünün tipik davranışı olan *hedef arama*,
- Hem pozitif (pekiştirici) geri bildirim döngüsü hem de negatif (dengeleyici) geri bildirim döngüsü içeren *S şeklinde büyüme*,
- Önemli bir gecikmeye sahip negatif (dengeleyici) geri besleme döngülerinin yol açtığı *salınım*dır.

2.2.3.1. Üstel Büyüme

Üstel büyüme terimi, büyümenin üstel olarak artan büyüme süreci için kullanılan matematiksel bir modelden gelmektedir. Üstel büyüme, matematiksel bir fonksiyonun büyüme hızının, fonksiyonun o anki değeriyle orantılı olması halinde gözlenen durumdur. Başlangıçta belli bir değere sahip olan bir ölçütün,

zamanla belli bir oranda büyüme hızının artmaya başlamasıyla üstel büyüme davranış biçimini gösterdiği grafik, Şekil 2.12'de gösterilmektedir.



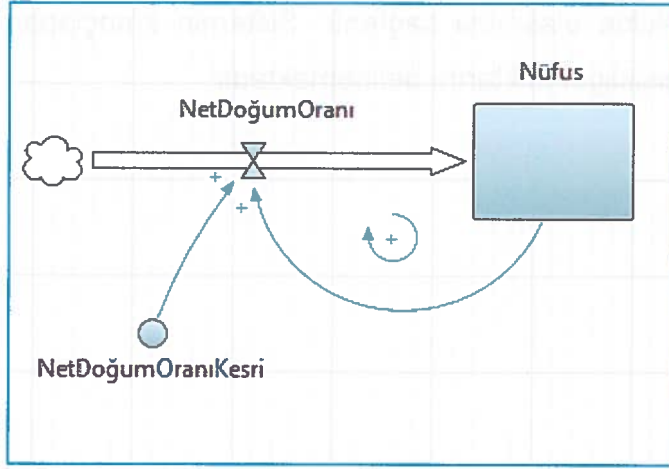
Şekil 2.12 Üstel Büyüme Davranışı [34]

Üstel büyüme davranışı, pozitif ya da kendini güçlendiren pekiştirici geri bildirimden kaynaklanmaktadır. Pozitif geri besleme döngü yapısı, sistemde değişikliklerin aynı yönde giderek artan bir oranda değişim göstermesine sebep olmaktadır. Bu nedenle, üstel büyüme pozitif geri besleme döngüsüne özgü dinamik davranış biçimidir.

Üstel büyümede, büyüme oranı erken aşamalarda yavaş gözükür ancak zamanla hızlanır. Üstel büyüme sürecinin ilk aşamalarında büyüme oranı yavaş olduğu için, sistemde yer alan önemli problemler bazen önemsiz görünebilmekte ve genellikle büyüme hızı artmaya başladığı zaman problem fark edilebilmektedir. Böyle durumlarda sorunu çözmek için geç kalınabilmektedir. Bu nedenle pozitif geri besleme döngüsüne sahip olan bir sistemin büyüme özelliği bazen yanıltıcı olabilmektedir.

Üstel büyüme davranışına Şekil 2.13'te stok ve akış diyagramı verilen nüfus artışı modeli örnek olabilir. Başlangıçta belli bir sayıda olan nüfus stoku, zaman içinde net doğum oranı akışı ile birlikte büyümektedir. Nüfus ve net doğum oranı arasında aynı yönde giderek artan orandaki bu değişim pozitif geri bildirim

döngüsünden kaynaklanmakta ve nüfus stoku, zaman içinde üstel olarak artmaktadır.



Şekil 2.13 Üstel Büyüme Örneği (Nüfus Artışı) [35]

Bütün sistemlerde üstel büyümeye sınır koyacak bir büyüme sınır faktörü bulunmaktadır. Faktör, kimi zaman fiziksel bir kısıt kimi zaman kapasite ile ilgili olabilmektedir. Bu nedenle, üstel büyümede geri bildirim sonsuza kadar devam edemez. Örneğin, nüfus artışı için büyüme hiçbir zaman sınırsız bir şekilde devam etmez. Nüfus artışını kısıtlayan sınır faktörlerinden bazıları; çevresel taşıma kapasitesi, doğal kaynakların durumu, ekonomik koşullar vb. olarak verilebilir.

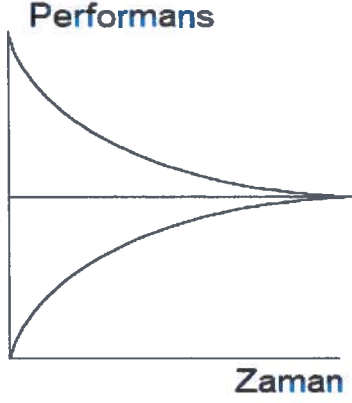
2.2.3.2. Hedef Arama

Hedef arama davranışı, hedef seviyesinin üstünde veya altında başlayan değerlerin zamanla hedefe doğru ilerlemesidir. Hedef arama davranışı negatif ya da kendi kendini kontrol eden geri bildirimlerden kaynaklanmaktadır.

Negatif geri bildirim döngüsü dengeleyici bir döngüdür. Sistemde oluşan herhangi bir sapma veya değişikliğe karşı çıkarak dengeyi tekrardan kuracak hedefi arama eğilimdedir. Bu nedenle, negatif geri bildirim döngüsünün karakteristik dinamik davranış biçimi hedef aramadır.

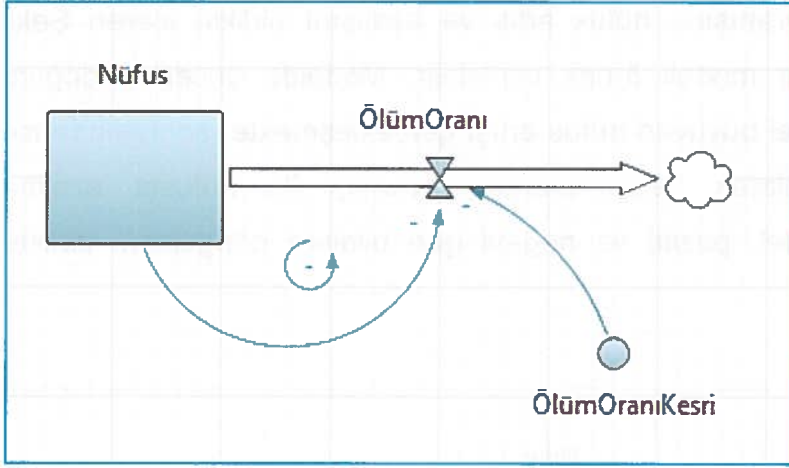
Negatif geri bildirim döngüsü hedef arama davranışı sergileyerek sistemin hedefe doğru hareketini sağlamaktadır. Eğer ilgili değişkenin mevcut seviyesi hedefin üstünde ise o zaman döngü yapısı değerini aşağı iterken, mevcut

seviye hedefin altındaysa, döngü yapısı değerini yukarı doğru iter. Şekil 2.14'te yer alan grafikte görüldüğü gibi, sistem azalarak veya artarak dengeye doğru yaklaşmaktadır. Değişim oranı hedefe yaklaştıkça azalır, böylelikle sistemin hedefe/dengeye yumuşak bir şekilde ulaşması sağlanır. Sistemin amaçlanan hedeften uzaklığı uğrayacağı değişikliğin miktarını belirlemektedir.



Şekil 2.14 Hedef Arama Davranışı [34]

Hedef arama davranış tipine Şekil 2.15'te yer alan nüfus sayısındaki azalma örneği verilebilir. Stok ve akış diyagramında gösterildiği gibi nüfus stoku ölüm oranına bağlı olarak azalmaktadır. Bu azalma, hedef olarak belirlenen nüfus sayısına ulaşmak için gerçekleşmektedir. Ölüm oranı ve ölüm oranına bağlı olarak değişim gösteren nüfus arasındaki bu azalmadan kaynaklı negatif geri bildirim besleme döngüsü bulunmaktadır. Başka bir deyişle, nüfus stoku hedef olarak belirlenen nüfus sayısına ulaşmak için, ölüm oranı ile birlikte hedef arama davranışı sergilemektedir.

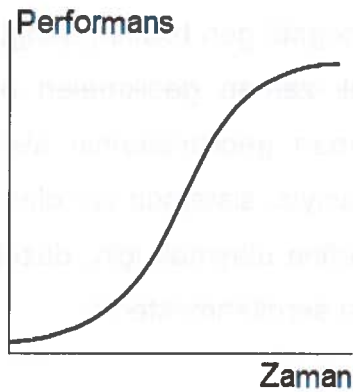


Şekil 2.15 Hedef Arama Örneği (Nüfusta Azalma) [35]

2.2.3.3. S-Şeklinde Büyüme

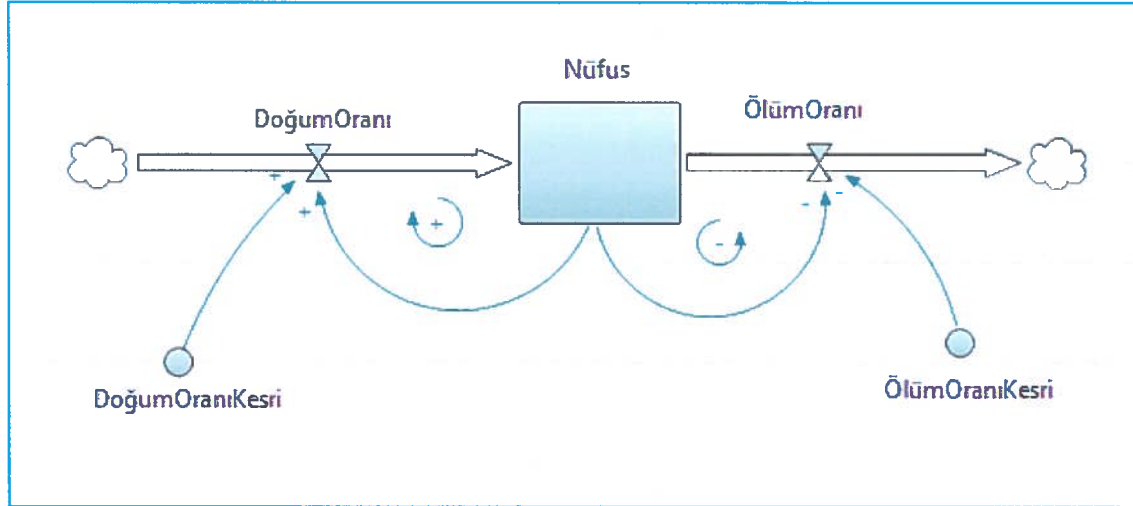
S-şeklinde büyüme davranışı üstel büyüme ve hedef arama davranışlarının birlikte sergilenmesidir. S-şeklinde büyüme davranış tipinde öncelikle üstel büyüme davranışı görünürken sonrasında hedef arama davranışı hâkim olmakta ve bu şekilde denge sağlanmaktadır.

Bu davranış türü, pozitif ve negatif geri bildirim döngülerinin birlikte yer aldığı sistemlerde ortaya çıkmaktadır. Sistemde, ilk olarak pozitif geri bildirim döngüsü belirir. Daha sonra oluşan herhangi bir değişiklik veya gecikme nedeniyle sistemi dengede tutacak negatif geri bildirim döngüsü sistem davranışında etkisini gösterir. Bu birleşim, Şekil 2.16'da yer alan S-şeklinde bir eğri ile sonuçlanır. Büyüme süreçlerinin çoğunun büyümeleri üzerinde sınır faktörleri bulunmaktadır.



Şekil 2.16 S-Şeklinde Büyüme Davranışı [34]

S-şeklinde büyüme davranışına nüfus artış ve azalışını birlikte içeren Şekil 2.17'deki dinamik nüfus modeli örnek verilebilir. Modelde öncelikle doğum oranına bağlı olarak üstel büyüyen nüfus artışı gerçekleşmekte, sonrasında ise ölüm oranına bağlı olarak hedef arama davranışı ile nüfusta azalma gerçekleşmektedir. Model, pozitif ve negatif geri bildirim döngülerini birlikte içermektedir.

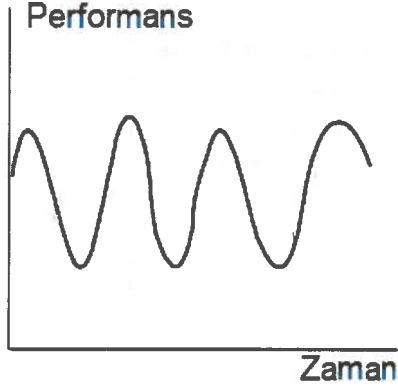


Şekil 2.17 S-Şeklinde Büyüme Nüfus Örneği [35]

2.2.3.4. Salınım

Salınım davranışında, durum değişkeni belli bir nokta etrafında periyodik ve düzenli olarak tekrar etmektedir. Her bir salınım hareketi bir önceki salınım hareketinin aynısıdır. Periyot, bir salınım döngüsünün tamamlanması için gerekli zaman olarak tanımlanmaktadır.

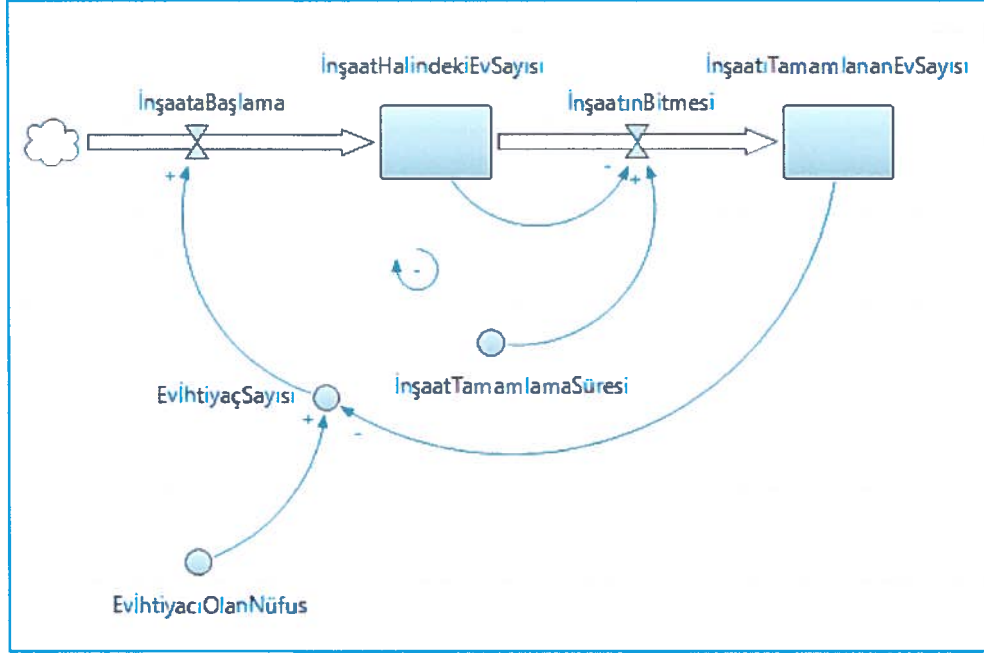
Bir sistemin salınım davranışı sergileyebilmesi için negatif geri bildirim döngüsü içermesi gerekir. Çünkü salınım davranışı, önemli zaman gecikmeleri olan negatif geri besleme nedeniyle ortaya çıkar. Zaman gecikmelerinin sistem üzerinde oluşturduğu etkileri en aza indirmek amacıyla, sistemde var olan bir denge durumunu geri yüklemek veya sistemin hedefine ulaşmak için, düzeltici eylem olarak Şekil 2.18'deki gibi bir salınım davranışı sergilenmektedir.



Şekil 2.18 Salınım Davranışı [34]

Zaman gecikmeleri içeren dengeleyici süreçlerde yaşanan gecikmeler göz önüne alınmazsa hedefe varmak zorlaşabilmekte ve sistemde büyük dalgalanmalar yaşanmaktadır. Bu durumda değişken, aşağı ve yukarı hareket etmektedir. Bazı durumlarda ise bir değişkenin değeri yukarıda açıklandığı gibi tamamen salınım yapmaya devam eder. Diğer durumlarda, salınımların genliği aşamalı olarak azalacak ve ilgilenilen değişken bir hedefe yerleşecektir.

Salınım davranışına, Şekil 2.19'daki nüfusun ihtiyacını karşılayacak sayıda ev inşa edilmesi modeli örnek verilebilir. Modelde, öncelikle bir evi inşa etmek için (inşaata başlama ve inşaatı bitirme arasını içeren) inşaat tamamlama süresi belirlenmektedir. Daha sonra ev ihtiyacı olan toplam kişi sayısı tanımlanmakta ve bu sayı yapılması gereken hedef ev sayısı olarak belirtilmektedir. İhtiyaç olan ev sayısı tamamlanan ev sayısına bağlı ve dinamik olarak değişmektedir. Bir evin tamamlanması için belirlenen ortalama sürede ev inşaatı tamamlanamazsa modelde zaman gecikmeleri meydana gelmektedir. Bu gecikmelerle birlikte istenilen hedef sayıya ulaşmak zorlaşabilir. Bu nedenle inşaatı tamamlanan ev sayısı, hedeflenen toplam ev sayısına ulaşmak için zaman içinde sistemde salınım davranışı sergiler.



Şekil 2.19 Salınım Örneği (Nüfus İhtiyacına Yönelik Ev İnşa Edilmesi) [36]

3. İLİŞKİLİ ÇALIŞMALAR

Konu ile ilgili yapılan önceki çalışmaları ele almak için detaylı bir literatür taraması yapılmıştır. Literatür taraması yapılırken sistematik haritalama yöntemi kullanılmıştır [37]. Özet bölümünde yer alan; Hasta Triyajı, Hasta Akışı, Acil Servis Süreci, Süreç Modelleme, Simülasyon, Sistem Dinamikleri, Optimizasyon anahtar kelimeleriyle yapılan tarama sonucunda oluşan ilk makale havuzunda 100 ün üzerinde çalışma bulunmaktadır. Daha sonra, belirlenen dâhil etme ve hariç tutma kriterlerine ve bu tez kapsamındaki araştırma sorularına göre yapılan sadeleştirme ile birlikte, üzerinde detaylı olarak çalışılacak makale sayısı 32 ye düşmüştür.

Literatürde, acil servislerdeki hasta akış süreçlerinin, simülasyon yöntemiyle iyileştirilmesiyle ilgili birçok çalışma yer almaktadır. Hatta, literatür taraması ile araştırmaya dâhil olan 32 çalışma üzerinde yapılan analiz sonucunda, sağlık hizmetleri alanında yapılan simülasyon uygulamalarının özellikle acil servis modellemesi üzerine yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Bu alanda özellikle kesikli olay simülasyonu yönteminin yaygın bir şekilde kullanıldığı belirlenmiştir. Sistem dinamiği yönteminin de sağlık hizmetleri alanında kullanıldığı pek çok çalışma olmakla birlikte, literatürde acil servislerdeki hasta süreç akışının sistem dinamiği yöntemiyle iyileştirilmesine yönelik sadece üç çalışma [4] [5] [8] olduğu görülmüştür.

Bu bölümde, incelenen çalışmalar üç ana başlık altında ele alınmıştır. Bunlar; acil servis simülasyonu konusunda yapılan çalışmalar, sağlık hizmetleri alanında acil servis bölümü ve diğer hastane bölümleriyle ilgili sistem dinamiği yöntemini kullanarak gerçekleştirilen çalışmalar ve sağlık hizmetleri alanında kullanılan diğer simülasyon yöntemleriyle sistem dinamiği yaklaşımının karşılaştırıldığı çalışmalardır.

3.1. Acil Servis Simülasyonu Çalışmaları

Sağlık hizmetlerinin önemli bir bölümü olan acil servisler değişen koşullar altında etkili ve verimli bir şekilde kesintisiz hizmet vermeye devam etmelidirler. Bu yüzden literatürde, acil servis bölümündeki süreçlerin iyileştirilmesine yönelik

birçok çalışma bulunmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalardan en önemlilerine bu bölümde yer verilmiştir.

Cabrera ve ark. [38] yaptıkları çalışmada, acil servis bölümü için karar destek sistemi tasarlamaya yönelik ajan tabanlı modelleme yaklaşımını kullanarak, acil servislerdeki süreç akışını iyileştirip hastaların hastanede kalış süresini en aza indirmeyi amaçlamışlardır. Ajan tabanlı modelleme, birbirleriyle ve çevresiyle etkileşim halinde olan, kendi kendine karar verme ve farklı davranışlarda bulunabilme özelliklerine sahip ajan adı verilen varlıkları modellemek için kullanılan bir yöntemdir. Model; acil servisteki doktorları, triyaj hemşirelerini, kabul ve kayıt personellerini ele alarak tasarlanmıştır. Çalışmada, modelin performansını değerlendirmek adına hastanın acil serviste kalış süresi için bir performans ölçütü tanımlanmıştır. Bu ölçüt doğrultusunda sonuçlar incelendiğinde, personel sayısının artırılması ile birlikte hastanın acil serviste kalış süresinin azaldığı belirtilmiştir.

Uriarte ve ark. [39] kesikli olay simülasyonu yönteminin, çok amaçlı optimizasyon tekniğiyle beraber kullanıldığında, acil servis bölümündeki hasta akış sürecini iyileştirmeye yarayabileceğini göstermeyi amaçlamışlardır. Acil servislerdeki hasta akışına ait iyileştirme sürecinin, çok sayıda değişkeni ve hedefi dikkate alan en uygun çözümlerle uğraşma zorunluluğunu içerdiği belirtilmiş ve çok amaçlı optimizasyon yöntemiyle acil servis hastaları için hastanede kalma ve bekleme sürelerini önemli ölçüde azaltan bir dizi alternatif iyileştirme senaryosu üretilmiştir. X-Ray ve laboratuvarında geçen zamanın azaltılması, idari personellerin işlem sürelerinin kısa tutulması, cerrahi bölümlere ilave yatak eklenmesi ve doktor sayısının artırılması bu senaryoların bir kısmıdır. Çalışmada, kesikli olay simülasyonunun tek başına gösteremediği iyileştirme performansının, çok amaçlı optimizasyon tekniğiyle birlikte sağlandığı ve çok amaçlı optimizasyon tekniğinin acil servis sistem tasarımı ve iyileştirme süreçlerini desteklemek için uygun bir teknik olduğu açıklanmıştır.

Duguay ve Chetouane [40] acil servis bölümündeki hastaların bekleme sürelerini azaltmak, acil servislerin genel hizmet sunumunu ve sistem verimini artırmak amacıyla kesikli olay simülasyonunu kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Hasta bekleme sürelerinin kaynaklarla (personel ve fiziksel

kaynaklar) bağlantılı olduğunu saptamış, bu kaynaklara ilişkin senaryoları belirleyerek çeşitli alternatifler tasarlamışlardır. Simülasyon modeli Arena yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Simülasyon çalışması sonucunda sonuçlar analiz edildiğinde, personel sayısında herhangi bir artış olmadan fiziksel kaynakların (muayene, inceleme odası gibi) artırılmasının, çalışılan sistem dâhilinde hastanın bekleme süresini çoğunlukla etkilemediği belirtilmiştir.

McGuire [41] yaptığı çalışmada, bir hastanenin acil servis bölümündeki hastaların hastanede kalış sürelerini önemli ölçüde azaltılmasına yönelik çözüm üretmek için simülasyon teknolojisini nasıl kullanıldığını açıklamaktadır. Özel bir hastane için gerçekleştirilen bu çalışmada, hastanenin hasta sayısının önemli bir kısmının acil servis kaynaklı olduğu belirtilerek özellikle bu bölümdeki hastaları memnun etme ihtiyacının önemli olduğu vurgulanmıştır. Simülasyon yönteminin acil serviste yaşanan problemler için etkin çözüm sağlayacağı düşünüldükçe, hasta bakım personelleri ve hasta bekleme/triyaj/muayene odaları üzerine alternatif senaryolar test edilmiştir. Sonuç olarak, hastanın hastanede kalış süresi üzerinde; sisteme doktor eklenmesinin hafif bir iyileştirme sağladığı, hemşire eklenmesinin ise anlamlı bir etkisi olmadığı raporlanmıştır. Hem personel kaynağının hem de fiziksel kaynakların birlikte artırılması gerektiği belirtilmiştir.

Laskowski ve ark. [42] yaptıkları çalışmada, acil servislerde hasta erişimini ve hasta akışını iyileştirmek için, ajan tabanlı modelleme ve kuyruk modelleri yöntemlerini uygulayarak bu iki simülasyon tekniğinin avantajları ve dezavantajları hakkında bilgi vermeyi amaçlamışlardır. Modeller, acil servis simülasyonuna uygunluklarını karşılaştırmak amacıyla, birbirinden bağımsız olarak geliştirilmiştir. Girdi parametrelerinin nitel hassasiyetlerine ve etkilerine yönelik kavramsal tahminlerde bulunma, karmaşık durumlarda aydınlatma senaryoları sağlama, geliştirme devam ederken modelleri yinelemeli bir şekilde doğrulayabilme özellikleri, her iki yaklaşımın da sahip olduğu avantajlar olarak belirtilmiştir. Her iki modelin de farklı üstünlüklerinin bulunduğu tespit edilerek net bir seçimin, ancak problem türüne göre yapılabileceği belirtilmiştir.

Kolker [43] acil serviste süreç akış modellemesi üzerine yaptığı çalışmada, özellikle hastaların acil serviste kalma süresinde etkili olan faktörler üzerinde

durmuştur. Acil serviste süreç akışı için simülasyon modelini geliştirerek hasta akışının farklı senaryolarını simüle etmiştir. Analiz sonuçlarında ise üç önemli bileşenin acil servisteki hasta akış sürecini etkilediği sonucuna varmıştır. Bu bileşenler; herhangi bir zamanda sisteme giren hasta sayısı, sistemde belli bir süre geçirdikten sonra sistemden ayrılan hasta sayısı ve sistemin akışını sistem üzerinden sınırlayan sistemin kapasitesidir. Bu bileşenler arasında uygun dengenin olmamasının sistemin aşırı yüklenmesine ve bloke olmasına neden olduğunu ileri sürmüştür, bu nedenle yapılacak olan iyileştirmelerin bu üç bileşen üzerinden yürütülmesi gerektiğini belirtmiştir.

Keshtkar ve ark. [44] yaptıkları çalışmada, acil servis bölümünde hastaların hastanede kalış süresini etkileyen kaynakların (yatak, hemşire ve doktor) en iyi konfigürasyonunu belirlemek için, simülasyon optimizasyonu tekniğini kullanmışlardır. Simülasyon optimizasyonu, simülasyon modelini elde etmek için, simülasyonu bir optimizasyon algoritmasıyla birleştirme uygulamasıdır. Simülasyon optimizasyonu ile birlikte bir çıktı kriteri verildiğinde, girdi parametrelerinin en iyi değerleri belirlenmeye çalışılır. Çalışmada, kesikli olay simülasyonu yöntemi kullanılmıştır. Model, Arena simülasyon yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Simülasyon modeli; triyaj, hastalık teşhisi, tanı dâhil olmak üzere, karmaşık hasta akış süreçlerini kapsamaktadır. Acil servis performansını farklı operasyonel koşullar altında değerlendirmek için hastanın acil serviste kalış süresi, hastanın ortalama bekleme süresi ve kaynak kullanımı parametreleri üzerine çeşitli senaryolar geliştirilmiştir. Simülasyon sonuçları SPSS kullanılarak analiz edilmiş ve hastanın acil serviste kalış süresi üzerinde yatak sayısının artırılmasının, hemşire ve doktor sayısının artırılmasından daha etkili olduğu belirtilmiştir.

Luo ve ark. [45] kesikli olay simülasyonu yöntemini kullanarak acil servis bölümüne başvuran hastaların, radyoloji bölümündeki bekleme sürelerini düşürmeyi amaçlayan bir çalışma yapmışlardır. Çin'deki bir hastanenin radyoloji bölümünde bilgisayarlı tomografi (BT) tarayıcısı kullanan hastaların işlemlerine dayanan kesikli olay simülasyonu modeli oluşturulmuştur. Ardından, BT için acil olmayan hastalara randevu planlama ve acil servis bölümünden gelen acil hastalar için rezervasyon politikasına dayanarak önerilen modelin; işlem süresi,

hasta bekleme süresi ve donanım kullanımı üzerindeki etkileri tespit edilmiştir. Acil hastalar için uygun kapasitenin rezerve edilmesinin, gecikmeleri ve hastaların bekleme sürelerini azalttığı raporlanmıştır. Ayrıca, çalışmada kullanılan kesikli olay simülasyon yaklaşımı ile birlikte, radyoloji bölümü kapasite tahsisi için önerilen senaryoların etkileri incelenerek hastane kaynak kullanımının iyileştirildiği belirtilmiştir.

Yukarıda bahsedilen acil servis simülasyonu alanında yapılan çalışmalara ait yöntem, varsa sağladıkları nitel ve nicel fayda, çalışma sırasında yaşanan zorluklar Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Acil Servis Simülasyonu Çalışmaları

Referans	Yöntem	Nitel Fayda	Nicel Fayda	Kısıt/Zorluk
[38]	Ajan Tabanlı Modelleme	Acil servis sürecinin iyileştirilmesi	Hastanın acil serviste kalış süresinin azalması	Uygulama süresinin uzun olması
[39]	Kesikli Olay Simülasyonu – Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği	Acil serviste bir dizi değişkenin eşzamanlı olarak iyileştirilmesi	Hastanın acil serviste kalış ve bekleme sürelerinin azalması	Gerekli bazı verilerin hastanede tutulmaması
[40]	Kesikli Olay Simülasyonu	Acil serviste sistem verimi ve hizmet sunumunun iyileştirilmesi	Personel sayısının artırılmasının gerekliliği	Anlık dinamik değişikliklerin ele alınamaması
[41]	Simülasyon Yöntemi	Alternatif senaryolar içinden en iyi çözümün seçilmesi	Hastanın acil serviste kalış süresinin azalması	Veri toplama sırasında sorun yaşanması
[42]	Kesikli Olay Simülasyonu-Kuyruk Modelleri	Her iki model ile birlikte hasta süreç akışının iyileştirilmesi		Gerçek verilerin sayısal olarak yetersiz kalması
[43]	Kesikli Olay Simülasyonu	Bekleme süresi ile acil serviste kalış süresi arasındaki ilişkinin saptanması	Süreler için iyileştirmenin 3 bileşen sayısı üzerinden yapılması	Bileşenler arasında uygun dengenin olmaması
[44]	Kesikli Olay Simülasyonu-Optimizasyon Tekniği	Acil servis süreç akışının iyileştirilmesi	Hastaların acil serviste kalış süresinin ve bekleme süresinin azalması	Sistemin dinamik davranışlarının ele alınamaması
[45]	Kesikli Olay Simülasyonu	Acil servis radyoloji bölümü sürecinin iyileştirilmesi	Radyoloji bölümünde yaşanan gecikmelerin ve bekleme sürelerinin azalması	

3.2. Sistem Dinamiği ile Diğer Yöntemleri Karşılaştıran Çalışmalar

Günümüze kadar sağlık hizmetleri alanında yapılan çalışmalarda birçok farklı simülasyon yöntemi kullanılmış olup, literatürde her simülasyon yöntemini kullanan pek çok araştırma bulunmaktadır. Bu bölümde, sistem dinamiği yöntemini, sağlık hizmetleri alanında yaygın bir şekilde kullanılan kesikli olay simülasyonu yöntemiyle ve kullanılan diğer yöntemlerle karşılaştıran çalışmalara yer verilmiştir.

Bu alanda yapılan önemli çalışmalardan birisi Brailsford ve Hilton [32]'a aittir. Yaptıkları çalışmada, sistem dinamiği ve kesikli olay simülasyonu yöntemleri hakkında genel bilgi verip bu iki farklı yaklaşımı karşılaştırmayı amaçlamışlardır. Sistem dinamiği kalp ameliyatı için geliştirilen bir modelle, kesikli olay simülasyonu ise HIV/AIDS için geliştirilen bir modelle detaylı bir şekilde açıklanmış ve elde edilen simülasyon sonuçlarına göre iki yöntemin de güçlü ve zayıf yönleri analiz edilerek avantaj ve dezavantajlarına yer verilmiştir. Her iki yöntemin de sistem gereksinimlerine göre farklı üstünlüklerinin olduğu belirtilerek farklı durumlarda hangi yöntemin kullanımının daha uygun olacağına dair yol haritası verilmiştir. Çalışmanın konusu ve kapsamına göre operasyonel olması ya da stratejik olması, sistem için değişkenliğin öneminin yüksek veya düşük olması, varlık sayısının az veya çok olması, zaman çizelgesinin uzun veya kısa olması, çalışma amacının göre karşılaştırma, tahmin etme veya iyileştirme olmasına bağlı olarak hangi yöntemin kullanılacağına karar verilmesi yol haritasında belirtilmiştir.

Rohleder ve ark. [3] tıbbi tanı laboratuvarı ve numune toplama merkezlerinde hasta akış sürecini hem kesikli olay simülasyon yöntemi ile hem de sistem dinamiği yöntemi ile modelleyerek, özellikle hastaların ortalama bekleme sürelerini ve değişkenliklerini azaltıp sunulan hasta servisini iyileştirmek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Modelleme önce kesikli olay simülasyon yöntemi ile gerçekleştirmiş ve bu yöntemin, dinamik geri bildirimlerden kaynaklanan beklenmeyen birtakım performans sorunlarına yol açtığı tespit edilmiştir. Sonrasında sistem dinamiği yönteminin, sağladığı en önemli özelliklerinden birisi olan geri bildirim yapısı ile bu sorunların tahmin edilmesine yardımcı olabileceği düşünölmüştür. Bu doğrultuda, laboratuvar süreci için

sistem dinamiği modeli oluşturularak bu yöntemle, değişikliklerin karmaşık sistemler üzerindeki etkilerini anlayıp düzelterek sonuçların nasıl iyileştirilebileceği anlatılmıştır. Çalışma sonucunda karmaşık yapıya sahip sağlık hizmetlerinde, sistem dinamiği yaklaşımının kullanılmasının daha uygun olacağı belirtilmiştir.

Marshall ve ark. [46] [47] yaptıkları çalışmalarda, dinamik simülasyon modellemenin temellerini ortaya koyarak sağlık hizmetlerinde sıkça kullanılan sistem dinamiği, kesikli olay simülasyonu ve ajan tabanlı modelleme yöntemlerini karşılaştırarak hangi durumlarda hangi yöntemin kullanılmasının daha uygun olacağını tespit etmeyi amaçlamışlardır. Karşılaştırma yaparken, yöntemleri 14 farklı açıdan değerlendirmişlerdir. Bunlar; problem türü, bakış açısı, parçalarına ayırma, dinamiklerin kaynağı, zamanın işlenmesi, çalışma yaklaşımı, temel yapı taşları, veri kaynakları, analiz birimi, matematiksel formülasyon, çıktılar, model bakımı, geliştirme süresi ve maliyettir. Problemi ele almak ve bu üç yöntemden hangisini kullanmanın daha uygun olduğunu belirlemek için, 14 farklı yönden yaptıkları değerlendirmenin göz önünde bulundurulmasının araştırmacılar için yararlı olabileceğini anlatmışlardır. Özellikle amaç türü, araştırma soruları, modelin nesne kapsamı ve amaca ulaşmak için nesneyi modelleme yöntemi, en önemli kriterler olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak üç yöntemin de birbirinden farklı önemli özellikleri olduğunu ve birbirleri üzerinde farklı açılardan üstünlükleri olduğu için, içlerinden birinin sağlık hizmetlerinde kullanılmasının daha uygun olduğu yönünde bir sonuca varılamadığı belirtilmiştir.

3.3. Sistem Dinamiği Yönteminin Sağlık Hizmetlerinde Uygulamaları

Bu bölümde, incelenen literatür çalışmalarından, özellikle acil servis hizmetleri olmak üzere sağlık hizmetleri alanında sistem dinamiği yönteminin kullanıldığı önemli araştırmalara yer verilmiştir.

Guizzi ve ark. [4], bir hastanenin acil servis bölümü için sistem dinamiği yöntemi kullanarak sistemde araştırma yapmayı amaçlamışlardır. Öncelikle İtalya'daki hastanelerin acil servis bölümlerinde karşılanması mümkün olmayan, artan hasta talebiyle karşı karşıya gelme problemini anlatmışlardır. Anlık dinamik değişikliklerin en fazla acil servislerde olduğunu ve tahmin edilemeyen bu

değişikliklerin, hasta akış sürecinde birçok probleme neden olduğunu belirtmişler ve sistem dinamiği ile hastaların bekleme sürelerinde ve hasta akış süreçlerinde iyileştirmeler yapmanın mümkün olup olmadığını araştırmışlardır. Model; acil servise gelen hasta hızı, hastaların acil servisten ayrılış hızı, hastaların acil serviste yatış oranı ve sistemde bekleyen hasta sayısı değişkenleri üzerine kurulmuştur. Sistem dinamiği modeli oluşturulup gerçek verilerle simüle edildikten sonra; oda, doktor, hemşire ve tıbbi araç gibi kaynakların teminiyle birlikte hastaların bekleme sürelerinin azalabileceği ve acil serviste hasta akış sürecinin iyileştirilebileceği belirtilmiştir.

Royston ve ark. [5] çalışmalarında, bir devlet hastanesi için sağlık hizmetleri politika ve programlarının geliştirilmesine/yönetilmesine yardımcı olmak amacıyla, sistem dinamiği yöntemi ile yapılan çalışmalara genel bir bakış sunmuşlardır. Halk sağlığı risklerinin değerlendirilmesi, hastalık taraması, tedavi olmak için bekleyen hastalarının yönetilmesi, sağlık iş gücünün planlanması ve acil servislerin iyileştirilmesi alanlarına yönelik, sistem dinamiği modellemesi kullanılarak yapılan çalışmalardan bahsetmişlerdir. Acil servis bölümlerinde; bekleme süreleri, hasta triyajı veya sıralama düzenleri, hemşire, tıbbi kaynak ve yatak müsaitliği etrafında geri bildirimler ortaya çıkmıştır. Çalışmanın sonucunda sistem dinamiği yönteminin avantaj ve dezavantajlarına yer verilmiş ve karmaşıklığın ve belirsizliklerin fazla olduğu sağlık hizmetlerinde sistem dinamiği yaklaşımıyla daha hızlı sonuç alındığı belirtilmiştir. Sistem dinamiği modellemesinin, bilgi boşluklarını vurgulamaya, mevcut bilgileri en iyi şekilde bütünleştirmeye ve kullanmaya yardımcı olduğu anlatılmıştır. Kısa süreli gecikmeler için ortalama gecikme sürelerinin, her zaman kavramsal veya sayısal olarak kullanılmasının kolay olmadığı da sistem dinamiği yaklaşımının dezavantajı olarak belirtilmiştir.

Brailsford [6] sistem dinamiği yönteminin, sağlık hizmetleri alanında son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlamasının olası nedenlerinden bazılarını açıklamayı amaçlamıştır. Yaklaşımın kullanımını pratikte örneklemek ve somut sonuçlar sunmak için, İngiltere'nin Hampshire eyaletindeki bir hastane için sistem dinamiği modeli oluşturmuştur. Hastaların, yatak bekleme sürelerinin hastanede toplam kalış süreleri üzerindeki etkisini tespit etmek amacıyla

oluşturulan modelden elde edilen sonuçlara göre, sağlık hizmetlerinde sistem dinamiği yöntemini kullanmanın sağlayacağı avantajlara yer verilmiştir. Bunlar; sistem dinamiğinin çok büyük ve karmaşık sistemleri temsil etme yeteneğinin olması, sistem dinamiği yöntemiyle daha az veri kullanarak kullanışlı modelleme yapılabilmesi sebebiyle veri kalitesi ve ulaşılabilirliğinin kolay olması, dinamik belirsizliklerin anlaşılabilmesi ve sistem dinamiği ile modellerin hızlı çalışmasıdır.

Homer ve Hirsch [7] yaptıkları çalışmada, sağlık hizmetlerinde, dinamik karmaşıklıkların neden olduğu birçok durumda, problemlerin sistem dinamiği metodolojisi ile etkin bir şekilde ele alınabileceğini göstermişlerdir. Kronik hastalık önleme probleminin modellenmesi için sistem dinamiği yaklaşımını kullanmışlardır. Hastalık sonuçları, risk davranışları, çevresel faktörler, kaynak durumları ve dağıtım sistemleri gibi modern bir sağlık yaklaşımının sahip olması gereken unsurları sistem dinamiği ile bütünleşik olarak ele almaya çalışmışlardır. Dinamik değişkenliklerin sebep olduğu uzun gecikme sürelerinin, sistem dinamiğinin geri bildirimlerin işlenmesini destekleyen özelliği sayesinde sağlık alanında analitik çözüm sağlayıcı aracı olarak kullanılabileceği gösterilmiştir. Sistem dinamiğinin özellikle geri bildirim döngüleri aracılığıyla, birden fazla etkileşime giren hastalıklar ve riskler için önemli bir yöntem olduğu, ayrıca hasta akışı, hastane kapasitesi yönetimi, kaynak planlaması gibi konulara da önemli katkılarda bulunabileceği ve fark yaratabilecek sonuçlar elde edilebileceği ifade edilmiştir.

Rashwan ve ark. [8] sistem dinamiği yöntemiyle, İrlanda'daki bir hastane için yatak sayısı yetersizliği problemi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Acil servis bölümündeki aşırı yoğunluğun, temelde yatarak tedavi görmesi gereken hastaların yatak sırası beklemelerinden kaynaklandığı belirtilerek dinamik karmaşıklığa neden olan parametrelerin sistem dinamiği ile modellenmesi amaçlanmıştır. Sistem dinamiği modelleme adımları takip edilerek etki diyagramı ve stok ve akış diyagramı oluşturulup matematiksel formülasyonlar çözülmüştür. Yalnızca yatak sayısının artırılmasının hasta yoğunluğunu hafiflettiği ancak yoğunluğa geçici çözüm sunduğu gözlemlenmiştir. Çıktı analizinde, bu çalışmanın 4 farklı açıdan birtakım kısıtlamalara sahip olduğu

belirtilmiştir. Bunlar; tek bir kaynağa (yatak kapasitesi) güvenmesi, hastaların sağlık durumunun zaman içindeki değişiminin ele alınmaması, yatak kapasitesi için yalnızca acil servis bölümünden gelen hastaların dikkate alınması ve veri tabanından elde edilen verilerde tutarsızlıkların saptanmasıdır.

Yukarıda bahsedilen sistem dinamiği simülasyon yönteminin sağlık hizmetlerinde uygulamalarını içeren çalışmalara ait yöntem, bağlam, sağladıkları nitel fayda ve çalışma sırasında yaşanan zorluklar Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 Sistem Dinamiği Yönteminin Sağlık Hizmetlerinde Uygulamaları

Referans	Bağlam	Nitel Fayda	Kısıt/Zorluk
[4]	İtalya'daki bir hastanenin acil servis süreci	Acil servis süreç akışının iyileştirilmesi	Sistemin yalnızca belli parametreler üzerine kurulmuş olması
[5]	İngiltere'deki bir hastanenin farklı bölümlerine ait süreçler	Hastanenin farklı süreçleri için hızlı sonuç alınması	Kısa süreli gecikmelerin sayısal olarak kullanılmasının zorluğu
[6]	İngiltere'deki bir hastanede sosyal hizmetler bakım sistemi	Yatak bekleme sürelerinin hastanede toplam kalış süreleri üzerindeki etkilerinin tespiti	
[7]	Kronik hastalık önleme problemi	Geri bildirim döngüleriyle birden fazla unsurun bütünlük olarak ele alınması	
[8]	İrlanda'daki bir hastanenin acil servis süreci	Yatak sayısı yetersizliği probleminin iyileştirilmesi	Tek bir kaynak üzerinden çalışmanın gerçekleştirilmesi

3.4. Tez Çalışmasının Literatüre Katkısı

Çalışma yapılırken takip edilen adımlar, bazı farklılıklara sahip olmakla beraber Royston ve ark. [5], Rohleder ve ark. [3], Guizzi ve ark. [4] ve Rashwan ve ark. [8] çalışmalarındaki yaklaşımlara benzerdir. Acil servis simülasyon modeli oluşturulurken belirlenen değişkenler ve bileşenler ise, Marshall ve ark. [46] [47], Duguay ve Chetouane [40], Uriarte ve ark. [39], Keshtkar ve ark. [44] ve özellikle McGuire [41] çalışmalarında yer alan değişkenleri ve bileşenleri içermekle birlikte, tüm süreci ele alan kapsamlı bir geliştirme yapıldığından, sistemde ek olarak farklı değişken ve bileşenler de tanımlanmıştır.

Bu çalışmada, literatürde yer alan çalışmalardan farklı olarak, sistem dinamiği yöntemi, acil servis bölümünde hastanın acil servise girdiği andan acil servisten çıktığı ana kadar oluşan uçtan uca hasta hasta süreç akışını iyileştirmeye yönelik kullanılmıştır. Bu kapsamda, Anylogic simülasyon yazılımı kullanılarak benzersiz bir simülasyon modeli oluşturulmuştur. Model, farklı kaynaklar üzerinden oluşturulmuş ve bu kaynaklar üzerinden alternatif senaryolar üretilmiştir.

Bu tez çalışmasının, literatürde yer alan çalışmalara benzer ve farklı yönlerinin özeti Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 Tez Çalışmasının Literatürdeki Çalışmalarla Karşılaştırılması

Model Özellikleri	[5]	[3]	[4]	[8]	[46][47]	[40]	[39]	[41]	[44]	Bu Çalışma
Sistem dinamiği simülasyon yöntemi kullanılarak oluşturulması	X	X	X	X	X					X
Acil servisin uçtan uca tüm sürecini kapsamı			X			X		X		X
Acil servis süreç akışının iyileştirilmesine yönelik gerçekleştirilmesi	X	X		X		X	X	X	X	X
Birden fazla kaynak üzerinden koşulması	X		X		X	X	X	X	X	X
Birden fazla alternatif senaryonun üretilmesi					X	X	X	X	X	X
Anylogic yazılımı kullanılarak hazırlanması										X

Literatürde yer alan ve Çizelge 3.3'te verilen çalışmalarda kullanılan kesikli olay simülasyonu ve bu tez çalışmasında kullanılan sistem dinamiği simülasyon yöntemleri birbirinden farklı iki yaklaşımdır. Kesikli olay simülasyonu sistemdeki durum değişikliklerinin belirli zaman noktalarında gerçekleştiği kuyruk ve aktivite ağı olarak sistemleri modellemektedir. Sistem dinamiği ise bir sistemi, durum değişikliklerinin sürekli olduğu bir dizi stok ve akış olarak modellemektedir. Durum değişiklikleri sürekli olarak kabul edilmekle birlikte, modeli çözmek için

kullanılan temel denklemler, zaman dilimleme yaklaşımı kullanarak zamana ayrılan fark denklemleridir [32] .

Kesikli olay simülasyonu stokastik iken sistem dinamiği yöntemi temelde deterministiktir. Sistem dinamiği yöntemi, nitel yönü sayesinde karmaşık bir sistemin farklı bölümleri arasındaki ilişkileri anlamak için yüksek bir kullanım eğilimine sahiptir. Kesikli olay simülasyonu ise belirli soruları cevaplamak için daha operasyonel veya taktiksel bir seviyede kullanılmaktadır [3] .

Bir sistem dinamiği modelinin amacı, çoğunlukla geri besleme dinamikleri ve uzun vadeli sistem davranışları hakkında bir anlayış kazanmaktır. Kesikli olay simülasyonunun kullanım amacı ise genellikle tahmin etme ve analiz etmedir. Çok büyük ve karmaşık sistemleri modelleme yeteneğine sahip olan sistem dinamiği yaklaşımı tahmin etme yerine çok sayıda nitel ve nicel çıktı ölçümü sunabilmektedir.

Sistem dinamiği yöntemi ile oluşturulan modeller, akademik toplumda daha çok bilinen ve kullanımı daha yaygın olan kesikli olay simülasyonu modelleri ile kıyaslandığında, daha hızlı çalışmaktadır. Ayrıca kesikli olay simülasyonu modelleri sistem dinamiği simülasyon modelleri ile karşılaştırıldığında, modelleme sırasında çoğunlukla daha fazla miktarda veriye ihtiyaç duymaktadır.

Özetle bu çalışmada, literatürden farklı olarak acil servisin yalnızca tek bir süreci değil uçtan uca tüm süreci birden fazla kaynak üzerinden sistem dinamiği simülasyon yöntemiyle modellenmiştir. Yukarıda bahsedilen, çok büyük ve karmaşık sistemleri temsil etme yeteneğinin olması, daha az veri kullanarak kullanışlı modelleme yapılabilmesi sebebiyle veri ulaşılabilirliğinin kolay olması, dinamik belirsizliklerin anlaşılabilmesi ve oluşturulan modellerin daha hızlı çalışması sistem dinamiği simülasyon yönteminin tercih edilme sebeplerindedir.

4. PROBLEM TANIMI ve SİSTEM AÇIKLAMASI

Bu çalışma gerçekleştirilirken, 2.1.5. Bölümde detaylı bir şekilde anlatılan simülasyon çalışması akış diyagramındaki adımlar takip edilmiştir. Bu bölümde, akış diyagramında yer alan adımlardan, problem tanımı ve çalışmanın konusu olan sistemin; sistem çevresi, sistem sınırı ve sistem bileşenlerinin ayrıntılı bir şekilde açıklanması, kavramsal modelin oluşturulması ve toplanan verilerin analizi adımlarına yer verilmiştir.

4.1. Problem Tanımı

Çalışmanın başında, araştırma konusu olan problemin net bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Bu tez çalışması; bir hastanenin acil servis bölümünde, hastaların acil servise girdikleri andan acil servisten çıktıkları zamana kadar geçen süre içinde oluşan hasta akış sürecinin iyileştirilmesine yönelik gerçekleştirilmiştir.

Karmaşıklığın ve belirsizliğin fazla olduğu acil servis bölümlerinde yaşanan zorlukların birçoğu, hastaların acil serviste yaşadıkları bekleme süreleriyle ilişkilidir. Bu sebeple, acil servis bölümü için çok iyi bir süreç ve kaynak planlamasının yapılması gerekmektedir [48]. Bu kapsamda, çalışmanın temel amacı; hastaların acil serviste bekleme sürelerini en aza indirmek için, sistem dinamiği simülasyon yöntemini kullanarak acil servis bölümü hasta akış sürecinin iyileştirilmesi için personel ve fiziksel kaynakların kullanımına yönelik uygun senaryoları tespit etmektir.

Hastanenin acil servis bölümünde, hastaların bekleme sürelerine ve hizmet gecikmelerine neden olan ve 4.1.1. Bölümde anlatılan sebeplerin ele alınması, bu sebeplerin yol açtığı ve 4.1.2. Bölümde anlatılan sonuçların değerlendirilerek çözümlerine yönelik alternatif senaryoların üretilmesi gerekmektedir.

4.1.1. Acil Servis Sorunları

Acil servis, hastalık türü farkı gözetmeksizin her hastanın giriş yapabildiği, yılın her günü ve günün her saati kesintisiz hizmet vermek zorunda olan bir bölümdür. Bu nedenle hastanelerin en kritik ve en yoğun çalışan birimlerinden

sayılmaktadır. Ancak, bu önemli birimin işleyişinde genellikle birçok problem yaşanmakta ve hastalara sunulan hizmet kalitesi düşebilmektedir.

Acil servisler hasta yoğunluğunun çok fazla olabildiği bölümlerdir. Bu nedenle, acil servis süreç akışlarındaki eksiklikler ve aksaklıklar sonucunda bir takım zorluklar yaşanmaktadır. Acil servis bölümündeki en önemli problem, beklenmeyen hasta yoğunluğu karşısında hastanenin personel ve kaynaklarının yetersiz kalması veya yanlış tahsis edilmesidir. Bu yetersizlik, uzun hasta bekleme sürelerine neden olmakta ve hastalar acil servis bölümünden verimli, etkili ve sağlıklı hizmet alamamaktadır [49]. Acil servis bölümünde bekleyen hasta yoğunluğu üzerinde etkili olan önemli sebeplerden bazıları aşağıda listelenmiştir:

- *Acil servis bölümüne başvuran acil olmayan hasta sayısının fazlalığı:* Hastaların, acil servis bölümünde polikliniklere oranla daha hızlı muayene olduklarını düşündükleri için, durumları acil olmadığı halde acil servis bölümüne gelmeleri hasta sayısını artırmaktadır. Ancak, bu sebep üzerinde herhangi bir kontrolün bulunmaması sebebiyle model üzerinde bu durum ele alınmamaktadır.
- *Acil servis bölümünde çalışan tıbbi personel sayısının az olması:* Yeterli sayıda doktor, hemşire, triyaj hemşiresi ve tetkik personeli bulunmaması; hastalara verilen hizmetlerin gecikmesine, uzun bekleme sürelerine, hastaların acil serviste kalış sürelerinin artmasına ve acil servislerde bekleyen hasta yoğunluğuna neden olmaktadır.
- *Acil servis bölümünde yatak ve muayene oda sayısının yetersiz olması:* Hasta muayene oda sayısının az olması tıbbi personel sayısı yeterli olsa bile hastaların uzun muayene sırası beklemesine ve acil servis bölümünde hasta yığılmasına sebep olmaktadır. Yatak sayısının az olması yatış için hastanede boş yatak bekleyen hasta sayısının artmasına, hastaların tedavi için uzun süre beklemelerine ve zamanında etkin hizmet alınamamasına yol açmaktadır.

- *Tetkik hizmetlerinde yaşanan gecikmeler:* Laboratuvar ve radyoloji tetkik hizmetlerinde yaşanan gecikmeler hastaların acil serviste geçirdikleri sürenin artmasına ve acil servis bölümünde karmaşıklığa neden olmaktadır.
- *Kayıt ve idari personel sayısının az olması:* Kayıt işlemi yapan ve diğer idari işlemleri yürüten personel sayısının yetersiz olması, acil servis bölümünde hasta akışının aksamasına ve acil servis bölümünde bekleyen hasta sayısının artmasına neden olmaktadır.

4.1.2. Acil Servis Sorunlarının Etkileri

Acil servis bölümünde, 4.1.1. Bölümde yer alan problemlerin neden olduğu bekleyen hasta yoğunluğunun aşırı artması sonucunda, hem hastalar hem de hastane çalışanları istenmeyen durumlarla karşı karşıya kalabilmekte ve hasta akışı aksayabilmektedir. Bu durumlardan bazılarını aşağıda yer verilmiştir:

- Hastaların gerekli zamanda muayene olamaması, teşhis ve tedavilerinin gecikmesine ve hayati risklere varacak derecede önemli sorunlara yol açabilmektedir. Bu nedenle, hasta sağlığı ve güvenliği tehlikeye girebilmektedir.
- Uzun bekleme süreleri hasta memnuniyetsizliğine yol açmakta olup, çoğu hasta muayene dahi olmadan hastaneden ayrılabilmekte ve gerekli olan tedaviyi alamamaktadır.
- Hastane kapasitesinin dolmasıyla birlikte bazı hastaların başka hastanelere sevk edilmesi zorunluluğundan dolayı acil müdahale gerekebilecek hastaların tedavileri gecikebilmektedir.
- Özellikle tıbbi personel çalışanlarının (doktor, triyaj hemşiresi vb.) aşırı hasta yoğunluğu karşısında iş yüklerinin artmasıyla birlikte verimlerinin düşmesi, hata yapma olasılıklarının artması ve hastalara etkin hizmet verememeleri hasta sağlığın riske atabilmekte ve aynı zamanda çalışanların memnuniyetsizliğini artırmaktadır [50].

- Yatarak tedavi almaları gereken ve yatak için bekleyen hastalar zamanında gerekli olan tedaviyi alamadıkları için sağlıkları risk altına girebilmektedir.

Etkilerinin bir kısmı yukarıda verilen problemler, temelde hasta sağlığını tehlikeye sokarak hayati risk oluşturmaya, hasta memnuniyetsizliğine, personel memnuniyetsizliğine, bozulan çalışma ortamına ve acil servis bölümünün etkin ve verimli hizmet verememesine neden olmaktadır.

4.2. Sistem Açıklaması

Çalışmanın yapıldığı hastanenin acil servis bölümünde, 18 yaş ve üzeri tüm hastalar 24 saat kesintisiz değerlendirilmektedir. Hastanenin girişinde yer alan acil servis bölümünün personel ve fiziksel kaynakları, modellemenin yapıldığı sistemin kapasitesini oluşturmaktadır.

Modelleme kapsamında; doktorlar, triyaj hemşireleri, kayıt personelleri, laboratuvar ve radyoloji bölümü teknisyenleri birimin personel kaynakları olarak tanımlanmaktadır. Resüsitasyon odaları, muayene odaları, müşahede için kullanılan yataklar ve tetkik cihazları (tomografi, x-ray, EKG vb.) ise birimin fiziksel kaynakları olarak tanımlanmaktadır.

Acil servisin giriş kısmında, hastaların ilk başvurdukları birim olan triyaj bölümü yer almaktadır. Bu bölümde, hastaların şikyet ve sağlık durumlarına göre triyaj işlemini yürüten toplam 5 adet triyaj hemşiresi vardiyalı çalışmaktadır. Yine giriş kısmında yer alan hasta kayıt biriminde toplam 4 adet kayıt personeli vardiyalı görev yapmaktadır.

Ambulans ile hastaneye getirilen veya ayaktan hastaneye gelen ve durumu çok acil olan (solunum durması, travma, zehirlenme, şuurun kapalı olması vb. durumlar) hastaların ilk muayene ve tedavilerinin yapıldığı resüsitasyon/travma odası, durumu çok acil olmayan hastaların muayenelerinin yapıldığı 1 yatak kapasiteli toplam 4 adet muayene odası bulunmaktadır. İlk değerlendirilmeleri ve muayeneleri yapılan hastalardan müşahede kararı verilenler için toplam 19 yatak kapasiteli gözlem odaları yer almaktadır.

Acil servis bölümünde toplam 12 adet doktor ve 23 adet hemşire vardiyalı olarak görev yapmaktadır. Tahlil ve tetkikler için laboratuvar ve radyoloji bölümleri 24 saat kesintisiz hizmet vermektedir. Laboratuvar ve radyoloji ünitesinde vardiyaya göre 2-3 adet biyokimya teknisyeni, röntgen teknisyeni ve tomografi teknisyeni çalışmaktadır. Acil servis alanında bekleme amaçlı kullanılması için yeterli sayıda sandalye ve sedye bulunmaktadır.

4.3. Sistem Sınırı

Acil servis bölümü için, sistem sınırını; hasta, doktor, hemşire, triyaj personeli, kayıt personeli, resüsitasyon odası, muayene odası ve müşahede yataklarının tamamının kullanılabilmesi, tedavi için gerekli malzemelerin (ilaç, laboratuvar test kutusu vb.) hali hazırda bulunması, radyoloji tetkikleri için cihazların (tomografi cihazı, EKG cihazı, MR cihazı vb.) çalışır durumda olması oluşturmaktadır.

4.4. Sistem Bileşenleri

Çalışmanın yapıldığı acil servis bölümü için kavramsal model oluşturulurken tanımlanan sistem bileşenleri Çizelge 4.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 Acil Servis Bölümü Sistem Bileşenleri

Sistem	<ul style="list-style-type: none"> • Acil Servis Bölümü
Varlık	<ul style="list-style-type: none"> • Hasta
Özellik	<ul style="list-style-type: none"> • Hastanın acil servise nasıl geldiği (ayaktan, ambulansla) • Hastanın acil durumu (çok acil, acil, acil olmayan)
Aktivite	<ul style="list-style-type: none"> • Triyaj işlemi • Hasta kayıt işlemi • Muayene • Laboratuvar testlerinin yapılması • Radyolojik tetkiklerin yapılması • Sonuç gösterme • Müşahede • Konsültasyon • Tedavi • Hasta çıkış işlemleri
Durum Değişkenleri	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemde bekleyen hasta sayısı • Ambulansla gelen hasta sayısı • Ayakta gelen hasta sayısı • Meşgul doktor sayısı • Müsait doktor sayısı • Meşgul triyaj hemşire sayısı • Müsait triyaj hemşire sayısı • Meşgul kayıt personel sayısı • Müsait kayıt personeli sayısı • Meşgul laboratuvar teknisyeni sayısı • Müsait laboratuvar teknisyeni sayısı • Meşgul radyoloji teknisyen sayısı • Müsait radyoloji teknisyen sayısı • Boş müşahede yatak sayısı • Dolu müşahede yatak sayısı • Triyaj bekleme süresi • Kayıt bekleme süresi • Muayene bekleme süresi • Laboratuvar test için bekleme süresi • Radyoloji tetkiki için bekleme süresi • Müşahede bekleme süresi • Konsültasyon bekleme süresi
Olay	<ul style="list-style-type: none"> • Acil servise geliş • Acil servisten çıkış • Triyaja giriş • Triyajdan çıkış • Kayıt giriş • Kayıt çıkış • Muayene giriş • Muayene çıkış • Laboratuvar giriş • Laboratuvar çıkış • Radyoloji giriş • Radyoloji çıkış • Sonuç gösterme giriş • Sonuç gösterme çıkış • Müşahede giriş • Müşahede çıkış • Konsültasyon giriş • Konsültasyon çıkış

4.5. Kavramsal Model

Simülasyon modeli oluşturulmadan önce, problemin ve sistemin doğru bir şekilde anlaşılmasını sağlamak amacıyla sisteme ait kavramsal modelin oluşturulması gerekmektedir [9]. Simülasyon modeline kaynak oluşturan kavramsal model çalışmada önemli bir yere sahiptir.

4.2., 4.3. ve 4.4. Bölümlerde anlatılan sistem özellikleri, sistem sınırı ve sistem bileşenleri referans alınarak hastanenin acil servis bölümüne ait süreç akış diyagramı ve etki diyagramı oluşturulmuştur.

Çalışmada, kavramsal model oluşturulurken takip edilen adımlar önce triyaj sürecine uygulanarak başarılı sonuç elde edildikten sonra tüm acil servis sürecine uygulanmıştır. Bu doğrultuda, kavramsal model aşamasında; öncelikle triyaj sürecine ait akış diyagramı ve etki diyagramı hazırlanıp daha sonra acil servis bölümünün tüm sürecini kapsayan akış diyagramı ve etki diyagramı oluşturulmuştur.

4.5.1. Akış Diyagramı

Tez çalışmasında, etki diyagramı oluşturulmadan önce, Bizagi Modeller kullanılarak akış diyagramı hazırlanmıştır. Bizagi Modeller, oldukça yaygın kullanılan süreç modelleme aracıdır. Hızlı ve ileri düzeyde bir süreç otomasyon çözümü sağlamaktadır. Sürükle-bırak ara yüzü sayesinde süreçlere ait akış diyagramları kolaylıkla oluşturulmaktadır. Oluşturulan akış diyagramları otomatik olarak yüksek kalitede word, pdf ve wiki gibi formatlarda belgelenebilmektedir. Akış diyagramları Visio, XPDL veya BPMN gibi birlikte çalışabilir formatlardan içe veya dışa aktarılabilir.

4.5.1.1. Triage Süreci

Fransızca "trier" fiilinden türeyen ve sözlük anlamı ayırmak, sıralamak, elemek ve seçmek olan triyajın, sağlık alanında kullanılan en temel tanımı hastaların sağlık durumlarına göre sınıflandırılmasıdır. Acil servis bölümünde yaşanan karmaşıklığın ve yoğunluğun önüne geçebilmek, hastaların doğru zamanda doğru tedavi almalarını sağlamak, kritik durumda olan hastalara acil müdahale edebilmek amacıyla triyaj uygulamasına ihtiyaç duyulmuştur [51].

Acil servisin giriş bölümünde yer alan triyaj alanında sağlık durumları gözden geçirilen hastalar, aciliyet durumlarına göre önceliklendirilmektedir. Bu süreçte, triyaj hemşiresi hangi hastaların acil müdahaleye ihtiyaç duyduğunu hangilerinin duymadığını sınıflandırarak en hızlı müdahaleye ihtiyacı olanlara öncelik sağlayıp bekleme sürelerini azaltabilmektedir.

Acil servis bölümü için, triyaj sürecini yönetmek ve hastaları önceliklendirmek amacıyla çeşitli triyaj sistemleri geliştirilmiştir. Geliştirilen triyaj sistemleri 3-5 seviyeli olabilmektedir. Çalışmanın yapıldığı hastanenin acil servis bölümünde, Sağlık Bakanlığı tarafından Türkiye'deki hastaneler için geliştirilen üçlü triyaj sistemi kullanılmaktadır. Bu sistemde hastalar; kırmızı, sarı ve yeşil olmak üzere 3 renk kategorisi ile sınıflandırılmaktadır [52]. Hastanenin kullanmış olduğu triyaj renk kategorileri ve kategorilerdeki hastalara müdahale süreleri Çizelge 4.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.2 Acil Serviste Triage Renk Kategorisi [52]

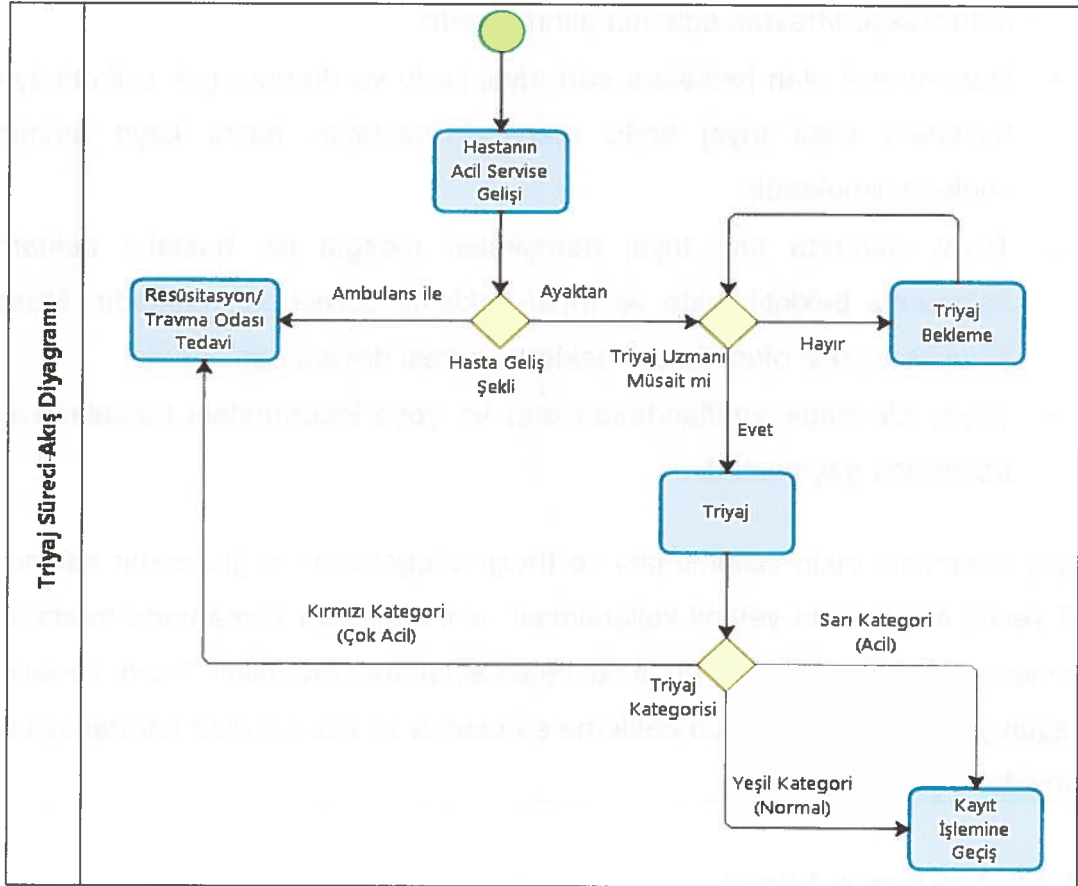
Renk Kategorisi	Açıklama	Hedeflenen Müdahale Süresi
Kırmızı	Çok Acil	Hemen
Sarı	Acil	En geç bir saat
Yeşil	Normal	En geç iki saat

- **Kırmızı Kategori:** Bu kategori, durumu çok acil olan hastalar için kullanılmaktadır. Hayati tehlikesi bulunan ve çok acil müdahale gerektiren hastalar resüsitasyon/travma odasına alınarak tedavileri hemen başlatılmaktadır. Bu kategoride sınıflandırılan hastalar, tedavi önceliğinde ilk sırada gelmekte ve bu hastalar için herhangi bir bekleme süresi bulunmamaktadır.
- **Sarı Kategori:** Durumu acil olan hastalar için kullanılan kategoridir. Orta kritik seviyede olan bu hastalar, muayene odasına alınarak en geç bir saat içinde müdahaleleri yapılmaktadır. Öncelik sırası iki olan bu kategorideki

hastalara olabildiğince hızlı müdahale edilerek hastaların olası riskli durumlara karşı fazla bekletilmemeleri gerekmektedir.

- **Yeşil Kategori:** Herhangi bir hayati risk taşımayan, sağlık durumu acil olmayan, sabit olan ve tedavileri ayaktan yapılan hastalar bu kategoride sınıflandırılmaktadır. Öncelik sırası üç olan bu hastalar için ise bekleme süresi en fazla iki saattir.

Hastanenin acil servis bölümünde uygulanan triyaj sürecinde, hastaların sağlık durumlarına göre sınıflandırılarak uygun tedavi alanlarına yönlendirilmelerini içeren triyaj sürecine ait akış diyagramı Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1 Triyaj Süreci Akış Diyagramı

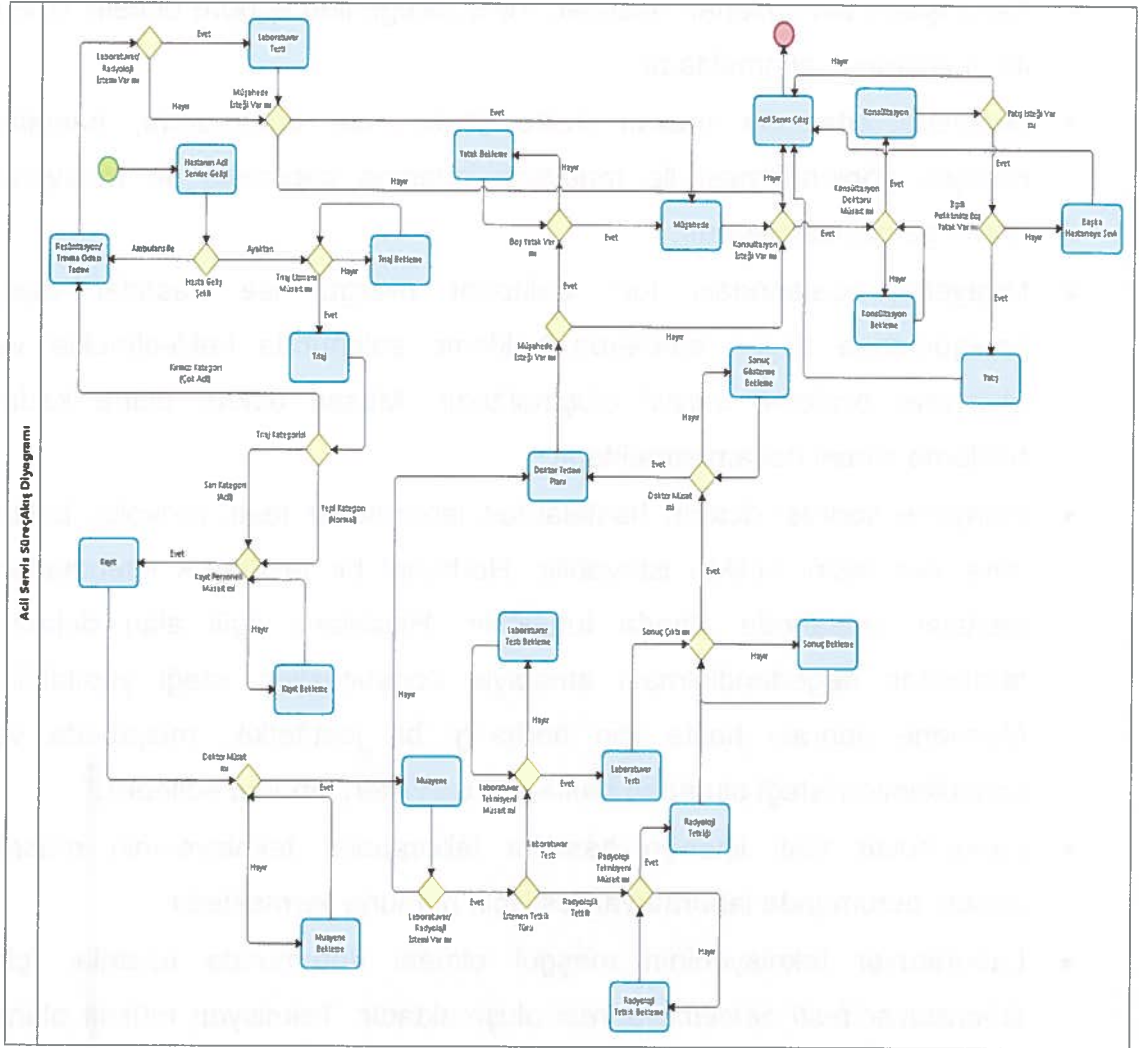
Diyagrama göre:

- Hastaların acil servis bölümüne başvurmaları iki şekilde olmaktadır. Bunlar, ambulans ile getirilen hastalar ve ayaktan gelen hastalardır. Ambulansla getirilen hastalara kırmızı triyaj kodu atanarak hastalar hiç bekletilmeden gerekli müdahalelerin yapılması için resüsitasyon/travma odasına alınmaktadır. Ayaktan gelen hastalar ise acil servis girişinde bulunan triyaj alanına yönlendirilmektedir.
- Trijaj alanında müsait triyaj hemşiresi bulunması durumunda hastalara 3'lü triyaj işlemi yapılmaktadır.
- Trijaj değerlendirilmesinde durumu çok acil olan hastalara kırmızı triyaj kodu atanarak hastalara acil müdahale edilmesi için hastalar resüsitasyon/travma odasına alınmaktadır.
- Durumu acil olan hastalara sarı triyaj kodu ve durumu çok acil olmayan hastalara yeşil triyaj kodu atanarak hastalar, hasta kayıt birimine yönlendirilmektedir.
- Trijaj alanında tüm triyaj hemşireleri meşgul ise hastalar bekleme salonunda bekletilmekte ve *triyaj bekleme süresi* oluşmaktadır. Müsait triyaj hemşiresi olana kadar bekleme süresi devam etmektedir.
- Trijaj işleminde sınıflandırılan sarı ve yeşil kategorideki hastalar kayıt bölümüne geçmektedir.

Trijaj sisteminin etkin kullanılması ve triyaj kategorisinin doğru tespit edilmesi; acil servis bölümünün verimli kullanılması, acil hastalara zamanında müdahale edilmesi ve bekleme sürelerinin azaltılması açısından önemlidir. Triyaj sürecinin düzgün yürütülememesi uzun bekleme sürelerine ve acil serviste karmaşaya yol açmaktadır [51].

4.5.1.2. Acil Servis Süreci

Acil servis süreci, hastaların acil servis bölümüne gelişi ile başlayıp hastanın; tedavi ile taburcu olması, hastane içinde ilgili polikliniğe yatışının yapılması veya başka bir hastaneye sevk edilmesi için acil servisten çıkışıyla sona ermektedir. Hastanenin acil servis bölümünün uçtan uca tüm süreci için hazırlanan akış diyagramı Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2 Acil Servis Süreç Akış Diyagramı

Diyagrama göre:

- 4.5.1.1. Bölümde anlatılan triyaj sürecinden sonra kayıt işlemi gelmektedir.
- Hastalara kayıt birimine vardıklarında müsait kayıt personeli olması durumunda kayıt işlemi yapılmaktadır.
- Kayıt biriminde tüm kayıt personellerinin meşgul olması durumunda hastalar bekleme salonunda bekletilmekte ve *kayıt bekleme süresi* oluşmaktadır. Müsait kayıt personeli olana kadar bekleme süresi devam etmektedir.

- Kayıt işlemleri tamamlanan hastalar, triyaj kategorilerine göre öncelik sırası ile muayeneye alınmaktadır.
- Muayene odasında müsait doktor bulunması durumunda, hastalar hemşire yönlendirmesi ile muayene odasına geçmekte ve muayene işlemi gerçekleştirilmektedir.
- Muayene odalarındaki tüm doktorlar meşgul ise hastalar triyaj kategorilerine uygun sürelerde bekleme salonunda bekletilmekte ve *muayene bekleme süresi* oluşmaktadır. Müsait doktor olana kadar bekleme süresi devam etmektedir.
- Muayene sonrası doktor, hastalardan laboratuvar testi, radyoloji tetkiki veya her ikisini birlikte isteyebilir. Herhangi bir test/tetkik istenmeden hastalar müşahede altında tutulabilir. Hastaların ilgili alan doktoru tarafından değerlendirilmesi amacıyla konsültasyon isteği yapılabilir. Muayene sonrası hasta için herhangi bir test/tetkik, müşahede ve konsültasyon isteği olmadan hasta acil servisten taburcu edilebilir.
- Laboratuvar testi istenen hastalar laboratuvar teknisyeninin müsait olması durumunda laboratuvar testi için numune vermektedir.
- Laboratuvar teknisyeninin meşgul olması durumunda hastalar için *laboratuvar testi bekleme süresi* oluşmaktadır. Teknisyen müsait olana kadar bekleme süresi devam etmektedir.
- Radyoloji tetkik istemi olan hastalar radyoloji teknisyeninin müsait olması durumunda laboratuvar testi vermektedir.
- Radyoloji teknisyeninin meşgul olması durumunda hastalar için *radyoloji tetkiki bekleme süresi* oluşmaktadır. Teknisyen müsait olana kadar bekleme süresi devam etmektedir.
- Laboratuvar testi ve radyoloji tetkik istemi olan hastalar için sonuçlar çıkana kadar *sonuç bekleme süresi* oluşmaktadır.
- Sonuç çıktıktan sonra doktorun müsait olması durumunda, sonuçlar doktora gösterilmekte ve doktor tarafından uygun tedavi yöntemi belirlenmektedir.
- Doktorun meşgul olması durumunda sonuç göstermek için *sonuç gösterme bekleme süresi* oluşmaktadır. Doktor müsait olana kadar bekleme süresi devam etmektedir.

- Laboratuvar testi veya radyoloji tetkiki sonucuna göre müşahede isteği veya konsültasyon isteği olmayan hastalar hastaneden taburcu edilerek acil servisten çıkış işlemleri yapılmaktadır.
- Müşahede isteği olan hastalar gözlem odasında boş yatak olması durumunda gözlem altına alınırlar. Boş yatak olmaması durumunda ise hastalar için *müşahede bekleme süresi* oluşmakta ve gözlem odasında boş yatak olana kadar bekleme süresi devam etmektedir.
- Kırmızı kategori hastaları için laboratuvar, radyoloji ve müşahede için herhangi bir bekleme süresi bulunmamaktadır. Hastalar için test, tetkik veya müşahede istemi olması durumunda hastalar direkt olarak ilgili alana sağlık personeli eşliğinde alınmaktadır.
- Müşahede süresi biten hastalardan konsültasyon isteği olmayan hastalar hastaneden taburcu edilerek acil servisten çıkış işlemleri yapılmaktadır.
- Konsültasyon isteği olan hastalar için, konsültasyon doktoru müsaitse konsültasyon işlemi yapılmaktadır. Konsültasyon doktoru meşgulse doktor müsait olana kadar hastalar için *konsültasyon bekleme süresi* oluşmaktadır. Konsültasyon doktoru müsait olana kadar bu süre devam etmektedir.
- Konsültasyon sırasında yatış kararı verilmeyen hastalar uygun tedavi ile taburcu olarak acil servisten çıkış işlemleri yapılmaktadır.
- Yatış kararı verilen hastalar için ilgili poliklinikte boş yatak olması durumunda yatış işlemleri yapılmakta ve acil servisten çıkış işlemleri yapılmaktadır.
- İlgili poliklinikte boş yatak olmaması durumunda hastalar başka hastaneye sevk edilerek acil servisten çıkış işlemleri yapılmaktadır.

Oluşan bekleme sürelerinin yalnızca belirtilen personel veya fiziki kaynaklarla alakalı olmadığı, o anki hasta yoğunluğuyla da doğrudan ilişkili olduğu bilinmektedir.

4.5.2. Etki Diyagramı

Sistem dinamiği yönteminin nitel modelleme aşamasında hazırlanan etki diyagramında; sistem değişkenleri arasında oluşan pozitif ve negatif ilişkiler, değişkenlerin birbirlerine yaptıkları etkiler ve geri besleme döngüleri yer

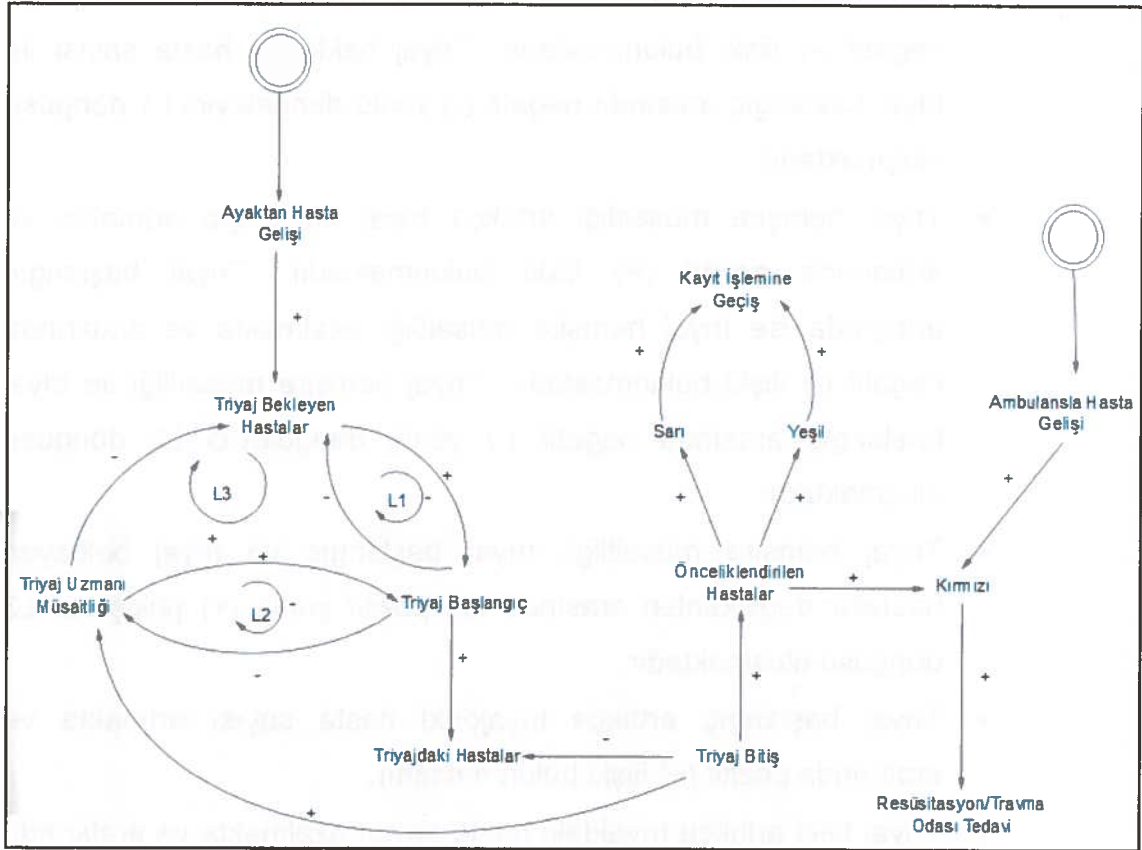
almaktadır [29]. Etki diyagramı, 5. Bölümde ayrıntılı bir şekilde anlatılan simülasyon modeli için sistemi etkileyen değişkenleri temel alan mantıksal modeldir.

Etki diyagramı Anylogic simülasyon modelleme yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Java programlama dilini ve nesne yönelimli programlama mantığını kullanan Anylogic, simülasyon modelleme yazılım aracıdır. Windows, MacOS ve Linux işletim sistemleri üzerinde sorunsuz çalışmaktadır. Ajan-tabanlı, kesikli olay ve sistem dinamiği simülasyon metodolojilerini destekleyen Anylogic yazılımının sahip olduğu bazı özellikler ve sağladığı avantajlar aşağıda listelenmiştir [53].

- Hem basit kavramsal modellerin oluşturulmasına hem de büyük ve karmaşık sistemlerin modellenmesine çözüm sunmaktadır.
- Farklı ancak birbirini tamamlayan modelleme yaklaşımlarının (kesikli olay, sistem dinamiği, ajan tabanlı modelleme gibi) birlikte etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır.
- Farklı platformlar (Excel, DP, ERP, CRM gibi) ile kolayca bağlantı kurulabilmektedir.
- Model, geliştirme ortamından tamamen ayrılabilen ve bağımsız Java uygulaması olarak kullanılabilir.
- Java ortamı ile özel Java kodu, dış kütüphaneler ve dış veri kaynakları dâhil olmak üzere sınırsız genişletilebilirliği desteklemektedir.
- Nesne tabanlı yapısı sayesinde önceden oluşturulmuş hazır kütüphaneler ve nesnelere rahatlıkla tekrar kullanılabilir.
- Kavramsal modeli tanımlamak için kullanıma hazır yapılar sayesinde zengin görselleştirme yeteneklerine sahiptir.
- Modelin çalışması sırasında dinamik olarak gelişen tüm durumlar modele dâhil edilebilir.
- Kapsamlı bir istatistiksel dağılım fonksiyonu ile sonuçlar ve istatistikler görsel bir şekilde ayrıntılı sunulmaktadır.
- Esnek veri tanımını sağlamaktadır.

4.5.2.1. Triyaj Süreci

Triyaj sürecindeki değişkenleri, değişkenlerin birbirleriyle olan ilişkilerini, ilişkilerin yönlerini ve geri bildirim döngülerini içeren triyaj süreci etki diyagramı Şekil 4.3'te gösterilmektedir.



Şekil 4.3 Triyaj Süreci Etki Diyagramı

Etki diyagramında yer alan değişkenlerin, ilişkilerin ve döngülerin detaylarına aşağıda yer verilmektedir:

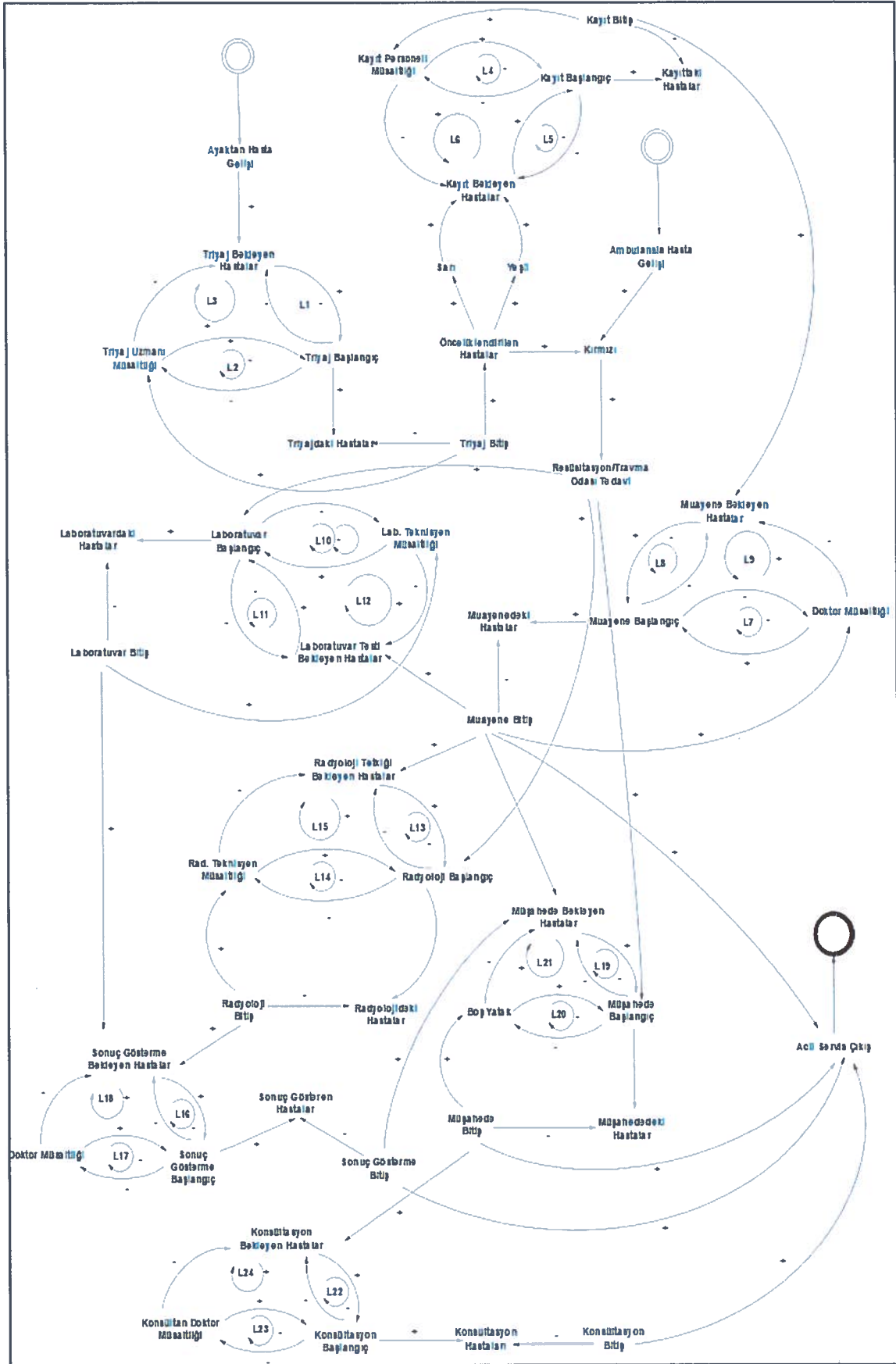
- Değişkenler: Ayaktan gelen hastalar, ambulansla gelen hastalar, triyaj bekleyen hastalar, triyaj hemşire müsaitliği, triyaj başlangıç, triyajdaki hastalar, triyaj bitiş, önceliklendirilen hastalar, kırmızı, sarı ve yeşil kategori hastaları, resüsitasyon/travma odasında tedavi altına alınan hastalardır.
- İlişkiler ve Döngüler:
 - Ayaktan gelen hasta sayısı arttıkça triyaj alanında triyaj bekleyen hasta sayısı artmakta ve aralarında pozitif (+) ilişki bulunmaktadır.

- Triyaj hemşire müsaitliği arttıkça triyaj bekleyen hasta sayısı azalmakta ve aralarında negatif (-) ilişki bulunmaktadır.
- Triyaj bekleyen hasta sayısı arttıkça triyaj başlangıç artmakta ve aralarında pozitif (+) ilişki bulunmaktadır. Triyaj başlangıç arttığında ise triyaj bekleyen hasta sayısı azalmakta ve aralarında negatif (-) ilişki bulunmaktadır. Triyaj bekleyen hasta sayısı ile triyaj başlangıç arasında negatif (-) yönlü dengeleyici L1 döngüsü oluşmaktadır.
- Triyaj hemşire müsaitliği arttıkça triyaj başlangıç artmakta ve aralarında pozitif (+) ilişki bulunmaktadır. Triyaj başlangıç arttığında ise triyaj hemşire müsaitliği azalmakta ve aralarında negatif (-) ilişki bulunmaktadır. Triyaj hemşire müsaitliği ile triyaj başlangıç arasında negatif (-) yönlü dengeleyici L2 döngüsü oluşmaktadır.
- Triyaj hemşire müsaitliği, triyaj başlangıç ve triyaj bekleyen hastalar değişkenleri arasında ise pozitif yönlü (+) pekiştirici L3 döngüsü oluşmaktadır.
- Triyaj başlangıç arttıkça triyajdaki hasta sayısı artmakta ve aralarında pozitif (+) ilişki bulunmaktadır.
- Triyaj bitiş arttıkça triyajdaki hasta sayısı azalmakta ve aralarında negatif (-) ilişki bulunmaktadır.
- Triyaj bitiş arttıkça triyaj hemşire müsaitliği artmakta ve aralarında pozitif (+) ilişki bulunmaktadır.
- Triyaj bitiş arttıkça önceliklendirilen hasta sayısı artmakta ve aralarında pozitif (+) ilişki bulunmaktadır.
- Önceliklendirilen hasta sayısı arttıkça kırmızı, sarı ve yeşil kategori hastalarının sayıları artmakta ve önceliklendirilen hasta sayısı ile üç kategori hasta sayısının her biri ile arasında pozitif (+) ilişki bulunmaktadır.
- Ambulansla gelen hasta sayısı arttıkça kırmızı kategori hasta sayısı artmakta ve aralarında pozitif (+) ilişki bulunmaktadır.

- Kırmızı kategori hasta sayısı arttıkça resüsitasyon/travma odasında tedavi altına alınan hasta sayısı artmakta ve aralarında pozitif (+) ilişki bulunmaktadır.

4.5.2.2. Acil Servis Süreci

Acil servis sürecindeki değişkenleri, değişkenlerin birbirleriyle olan ilişkilerini, ilişkilerin yönlerini ve geri bildirim döngülerini içeren acil servis süreci etki diyagramı Şekil 4.4'te gösterilmektedir.



Şekil 4.4 Acil Servis Süreci Etki Diyagramı

Etki diyagramına göre, acil servis sürecinde birçok alt model bulunmaktadır. Bunlar; triyaj işlemi, kayıt işlemi, muayene, laboratuvar testi, radyoloji tetkiki, sonuç gösterme, müşahede ve konsültasyondur.

Trijaj sürecine ait etki diyagramı ve açıklamaları Bölüm 4.5.2.1’de verildiği için kayıt işlemi ile başlanarak her bir alt modele ait değişkenlerin, ilişkilerin ve döngülerin detaylarına aşağıda yer verilmektedir. Çizelge 4.3 kayıt işlemine, Çizelge 4.4 muayene işlemine, Çizelge 4.5 laboratuvar testine, Çizelge 4.6 radyoloji tetkikine, Çizelge 4.7 sonuç göstermeye, Çizelge 4.8 müşahedeye ve Çizelge 4.9 konsültasyon işlemine aittir.

Çizelge 4.3 Kayıt İşlemine Ait Değişkenler, İlişkiler ve Döngüler

Kayıt İşlemi	
Değişkenler	Kayıt bekleyen hastalar, kayıt personeli müsaitliği, kayıt giriş, kayıttaki hastalar ve kayıt çıkış
İlişkiler	<ul style="list-style-type: none">• Triyaj işleminde önceliklendirilen sarı ve yeşil kategori hasta sayısı ile kayıt bekleyen hasta sayısı arasında pozitif (+) ilişki,• Kayıt personeli müsaitliği ile kayıt bekleyen hasta sayısı arasında negatif (-) ilişki,• Kayıt bekleyen hasta sayısı ile kayıt giriş arasında pozitif (+) ilişki,• Kayıt giriş ile kayıt bekleyen hasta sayısı arasında negatif (-) ilişki,• Kayıt personeli müsaitliği ile kayıt giriş arasında pozitif (+) ilişki,• Kayıt giriş ile kayıt personeli müsaitliği arasında negatif (-) ilişki,• Kayıt giriş ile kayıttaki hasta sayısı arasında pozitif (+) ilişki,• Kayıttan çıkış ile kayıttaki hasta sayısı arasında negatif (-) ilişki,• Kayıttan çıkış ile kayıt personeli müsaitliği arasında pozitif (+) ilişki bulunmaktadır.
Döngüler	<ul style="list-style-type: none">• Kayıt bekleyen hasta sayısı ile kayıt giriş arasında negatif (-) yönlü dengeleyici L5 döngüsü,• Kayıt personeli müsaitliği ile kayıt giriş arasında negatif (-) yönlü dengeleyici L4 döngüsü,• Kayıt personeli müsaitliği, kayıt giriş ve kayıt bekleyen hasta sayısı değişkenleri arasında pozitif (+) yönlü pekiştirici L6 döngüsü oluşmaktadır.

Çizelge 4.4 Muayene İşlemine Ait Değişkenler, İlişkiler ve Döngüler

Muayene	
Değişkenler	Muayene bekleyen hastalar, doktor müsaitliği, muayene giriş, muayenedeki hastalar ve muayene çıkış
İlişkiler	<ul style="list-style-type: none"> • Kayıt işleminden çıkan hasta sayısı (sarı ve yeşil kategori) ile muayene bekleyen hasta sayısı arasında pozitif (+) ilişki, • Doktor müsaitliği ile muayene bekleyen hasta sayısı arasında negatif (-) ilişki, • Muayene bekleyen hasta sayısı ile muayene giriş arasında pozitif (+) ilişki, • Muayene giriş ile muayene bekleyen hasta sayısı arasında negatif (-) ilişki, • Doktor müsaitliği ile muayene giriş arasında pozitif (+) ilişki, • Muayene giriş ile doktor müsaitliği arasında negatif (-) ilişki, • Muayene giriş ile muayenedeki hasta sayısı arasında pozitif (+) ilişki, • Muayeneden çıkış ile muayenedeki hasta sayısı arasında negatif (-) ilişki, • Muayeneden çıkış ile doktor müsaitliği arasında pozitif (+) ilişki, • Muayene sonrası hakkında taburcu kararı verilen hasta sayısı ile acil servis çıkış arasında pozitif (+) ilişki bulunmaktadır.
Döngüler	<ul style="list-style-type: none"> • Muayene bekleyen hasta sayısı ile muayene giriş arasında negatif (-) yönlü dengeleyici L8 döngüsü, • Doktor müsaitliği ile muayene giriş arasında negatif (-) yönlü dengeleyici L7 döngüsü, • Doktor müsaitliği, muayene giriş ve muayene bekleyen hasta sayısı değişkenleri arasında pozitif (+) yönlü pekiştirici L9 döngüsü oluşmaktadır.

Çizelge 4.5 Laboratuvar Testine Ait Değişkenler, İlişkiler ve Döngüler

Laboratuvar Testi	
Değişkenler	Laboratuvar testi bekleyen hastalar, Laboratuvar teknisyeni müsaitliği, laboratuvar giriş, laboratuvardaki hastalar ve laboratuvar çıkış
İlişkiler	<ul style="list-style-type: none"> • Muayeneden çıkan ve laboratuvar testi istenen hasta sayısı ile laboratuvar testi bekleyen hasta sayısı arasında pozitif (+) ilişki, • Laboratuvar teknisyeni müsaitliği ile laboratuvar testi bekleyen hasta sayısı arasında negatif (-) ilişki, • Laboratuvar testi bekleyen hasta sayısı ile laboratuvar giriş arasında pozitif (+) ilişki, • Laboratuvar giriş ile laboratuvar testi bekleyen hasta sayısı arasında negatif (-) ilişki, • Laboratuvar teknisyeni müsaitliği ile laboratuvar giriş arasında pozitif (+) ilişki, • Laboratuvara giriş ile laboratuvar teknisyeni müsaitliği arasında negatif (-) ilişki, • Laboratuvara giriş ile laboratuvardaki hasta sayısı arasında pozitif (+) ilişki, • Laboratuvardan çıkış ile laboratuvardaki hasta sayısı arasında negatif (-) ilişki, • Laboratuvardan çıkış ile laboratuvar teknisyeni müsaitliği arasında pozitif (+) ilişki, • Kırmızı kategori hastalardan laboratuvar testi istemi olan hasta sayısı ile laboratuvar giriş arasında pozitif (+) ilişki bulunmaktadır.
Döngüler	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratuvar testi bekleyen hasta sayısı ile laboratuvar giriş arasında negatif (-) yönlü dengeleyici L11 döngüsü, • Laboratuvar teknisyeni müsaitliği ile laboratuvar giriş arasında negatif (-) yönlü dengeleyici L10 döngüsü, • Laboratuvar teknisyeni, laboratuvar giriş ve laboratuvar testi bekleyen hasta sayısı değişkenleri arasında pozitif (+) yönlü pekiştirici L12 döngüsü oluşmaktadır.

Çizelge 4.6 Radyoloji Tetkikine Ait Değişkenler, İlişkiler ve Döngüler

Radyoloji Tetkiki	
Değişkenler	Radyoloji tetkiki bekleyen hastalar, radyoloji teknisyeni müsaitliği, radyoloji giriş, radyolojideki hastalar ve radyoloji çıkış
İlişkiler	<ul style="list-style-type: none"> • Muayeneden çıkan ve radyoloji tetkiki istenen hasta sayısı ile radyoloji tetkiki bekleyen hasta sayısı arasında pozitif (+) ilişki, • Radyoloji teknisyeni müsaitliği ile radyoloji tetkiki bekleyen hasta sayısı arasında negatif (-) ilişki, • Radyoloji tetkiki bekleyen hasta sayısı ile radyoloji giriş arasında pozitif (+) ilişki, • Radyoloji giriş ile radyoloji tetkiki bekleyen hasta sayısı arasında negatif (-) ilişki, • Radyoloji teknisyeni müsaitliği ile radyoloji giriş arasında pozitif (+) ilişki, • Radyolojiye giriş ile radyoloji teknisyeni müsaitliği arasında negatif (-) ilişki, • Radyolojiye giriş ile radyolojideki hasta sayısı arasında pozitif (+) ilişki, • Radyolojiden çıkış ile radyolojideki hasta sayısı arasında negatif (-) ilişki, • Radyolojiden çıkış ile radyoloji teknisyeni müsaitliği arasında pozitif (+) ilişki, • Kırmızı kategori hastalardan radyoloji tetkik istemi olan hasta sayısı ile radyoloji giriş arasında pozitif (+) ilişki bulunmaktadır.
Döngüler	<ul style="list-style-type: none"> • Radyoloji tetkiki bekleyen hasta sayısı ile radyoloji giriş arasında negatif (-) yönlü dengeleyici L13 döngüsü, • Radyoloji teknisyeni müsaitliği ile radyoloji giriş arasında negatif (-) yönlü dengeleyici L14 döngüsü, • Radyoloji teknisyeni, radyoloji giriş ve radyoloji tetkiki bekleyen hasta sayısı değişkenleri arasında ise pozitif (+) yönlü pekiştirici L15 döngüsü oluşmaktadır.

Çizelge 4.7 Sonuç Göstermeye Ait Değişkenler, İlişkiler ve Döngüler

Sonuç Gösterme	
Değişkenler	Sonuç gösterme bekleyen hastalar, doktor müsaitliği, sonuç gösterme giriş, sonuç göstermedeki hastalar ve sonuç gösterme çıkış
İlişkiler	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratuvar testinden ve radyoloji tetkikinden çıkan hasta sayısı ile sonuç gösterme bekleyen hasta sayısı arasında pozitif (+) ilişki, • Doktor müsaitliği ile sonuç gösterme bekleyen hasta sayısı arasında negatif (-) ilişki, • Sonuç gösterme bekleyen hasta sayısı ile sonuç gösterme giriş arasında pozitif (+) ilişki, • Sonuç gösterme giriş ile sonuç gösterme bekleyen hasta sayısı arasında negatif (-) ilişki, • Doktor müsaitliği ile sonuç gösterme giriş arasında pozitif (+) ilişki, • Sonuç gösterme giriş ile doktor müsaitliği arasında negatif (-) ilişki, • Sonuç gösterme giriş ile sonuç gösteren hasta sayısı arasında pozitif (+) ilişki, • Sonuç gösterme çıkış ile sonuç gösteren hasta sayısı arasında negatif (-) ilişki, • Sonuç gösterme çıkış ile doktor müsaitliği arasında pozitif (+) ilişki, • Sonuç gösterme sonrası hakkında taburcu kararı verilen hasta sayısı ile acil servis çıkış arasında pozitif (+) ilişki bulunmaktadır.
Döngüler	<ul style="list-style-type: none"> • Sonuç gösterme bekleyen hasta sayısı ile sonuç gösterme giriş arasında negatif (-) yönlü dengeleyici L16 döngüsü, • Doktor müsaitliği ile sonuç gösterme giriş arasında negatif (-) yönlü dengeleyici L17 döngüsü, • Doktor müsaitliği, sonuç gösterme giriş ve sonuç gösterme bekleyen hasta sayısı değişkenleri arasında pozitif (+) yönlü pekiştirici L18 döngüsü oluşmaktadır.

Çizelge 4.8 Müşahedeye Ait Değişkenler, İlişkiler ve Döngüler

Müşahede	
Değişkenler	Müşahede bekleyen hastalar, boş yatak, müşahede giriş, müşahededeki hastalar ve müşahede çıkış
İlişkiler	<ul style="list-style-type: none"> • Muayeneden çıkan, doktor tarafından müşahede kararı verilen hasta sayısı ve doktor tarafından test/tetkik istemi olan ve sonuç gösterdikten sonra doktor tarafından müşahede kararı alınan hasta sayısı ile müşahede bekleyen hasta sayısı arasında pozitif (+) ilişki, • Boş yatak sayısı ile müşahede bekleyen hasta sayısı arasında negatif (-) ilişki, • Müşahede bekleyen hasta sayısı ile müşahede giriş arasında pozitif (+) ilişki, • Müşahede giriş ile müşahede bekleyen hasta sayısı arasında negatif (-) ilişki, • Boş yatak sayısı ile müşahede giriş arasında pozitif (+) ilişki, • Müşahede giriş ile boş yatak sayısı arasında negatif (-) ilişki, • Müşahede giriş ile müşahededeki hasta sayısı arasında pozitif (+) ilişki, • Müşahede çıkış ile müşahededeki hasta sayısı arasında negatif (-) ilişki, • Müşahede çıkış ile boş yatak sayısı arasında pozitif (+) ilişki, • Kırmızı kategori hastalardan müşahede istemi olan hasta sayısı ile müşahedeye giriş arasında pozitif (+) ilişki, • Müşahede sonrası hakkında taburcu kararı verilen hasta sayısı ile acil servis çıkış arasında pozitif (+) ilişki bulunmaktadır.
Döngüler	<ul style="list-style-type: none"> • Müşahede bekleyen hasta sayısı ile müşahede giriş arasında negatif (-) yönlü dengeleyici L19 döngüsü, • Boş yatak sayısı ile müşahedeye giriş arasında negatif (-) yönlü dengeleyici L20 döngüsü, • Boş yatak sayısı, müşahedeye giriş ve müşahede bekleyen hasta sayısı değişkenleri arasında pozitif (+) yönlü pekiştirici L21 döngüsü oluşmaktadır.

Çizelge 4.9 Konsültasyona Ait Değişkenler, İlişkiler ve Döngüler

Müşahede	
Değişkenler	Konsültasyon bekleyen hastalar, doktor müsaitliği, konsültasyon giriş, konsültasyondaki hastalar ve konsültasyon çıkış
İlişkiler	<ul style="list-style-type: none"> • Kayıt işleminden çıkan hasta sayısı (sarı ve yeşil kategori) ile konsültasyon bekleyen hasta sayısı arasında pozitif (+) ilişki, • Doktor müsaitliği ile konsültasyon bekleyen hasta sayısı arasında negatif (-) ilişki, • Konsültasyon bekleyen hasta sayısı ile konsültasyon giriş arasında pozitif (+) ilişki, • Konsültasyon giriş ile konsültasyon bekleyen hasta sayısı arasında negatif (-) ilişki, • Doktor müsaitliği ile konsültasyon giriş arasında pozitif (+) ilişki, • Konsültasyon giriş ile doktor müsaitliği arasında negatif (-) ilişki, • Konsültasyon giriş ile konsültasyondaki hasta sayısı arasında pozitif (+) ilişki, • Konsültasyondan çıkış ile konsültasyondaki hasta sayısı arasında negatif (-) ilişki, • Konsültasyondan çıkış ile doktor müsaitliği arasında pozitif (+) ilişki, • Konsültasyon sonrası hakkında taburcu kararı verilen, başka hastaneye sevk edilen veya hastanede ilgili polikliniğe yatırılıp yapılan hasta sayısı ile acil servis çıkış artmakta ve aralarında pozitif (+) ilişki bulunmaktadır.
Döngüler	<ul style="list-style-type: none"> • Konsültasyon bekleyen hasta sayısı ile konsültasyon giriş arasında negatif (-) yönlü dengeleyici L22 döngüsü, • Doktor müsaitliği ile konsültasyon giriş arasında negatif (-) yönlü dengeleyici L23 döngüsü, • Doktor müsaitliği, konsültasyon giriş ve konsültasyon bekleyen hasta sayısı değişkenleri arasında pozitif (+) yönlü pekiştirici L24 döngüsü oluşmaktadır.

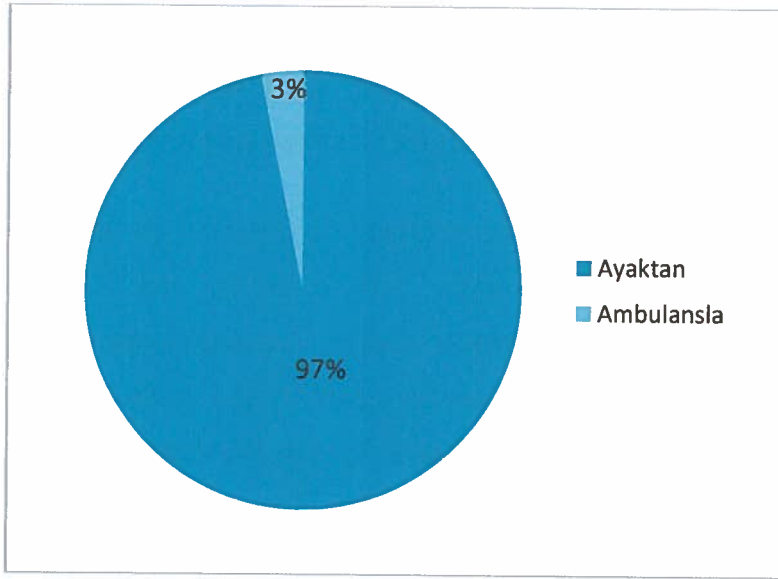
4.6. Veri Analizi

Veri analizi, çalışmanın yapıldığı hastanenin acil servis bölümüne başvuran 18 yaş ve üstü yetişkinler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Hastane veri tabanından

elde edilen veriler incelenip, SPSS yazılımı kullanılarak analiz yapılmıştır. Çalışmada, 2018 yılında hastanenin acil servis bölümüne gelen hastalara ilişkin aşağıdaki veriler kullanılmıştır:

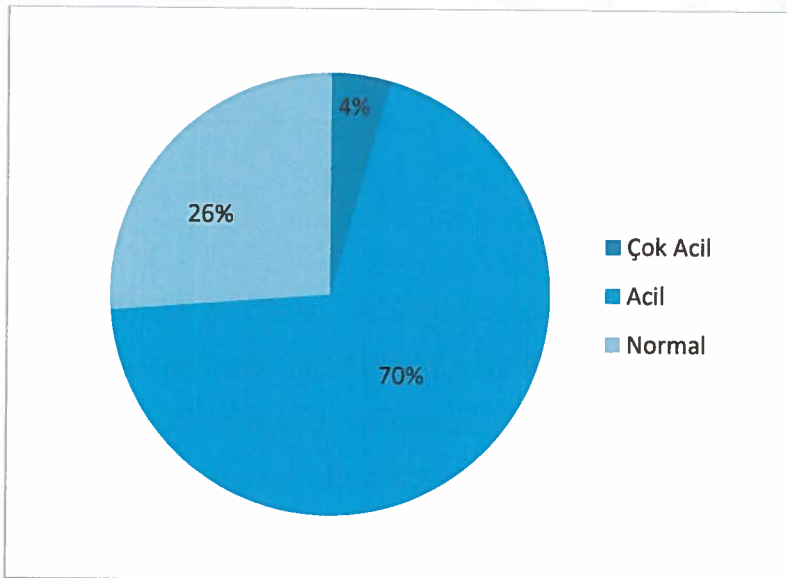
1. Hastaların acil servise geliş şekli (ambulans ile hasta gelişi, ayakta hasta gelişi) ile ilgili bilgiler,
2. Hastaların acil durumlarına (çok acil, acil, acil olmayan) ilişkin bilgiler,
3. Acil servisteki işlemlere ait zaman (saat/dakika/saniye) bilgileri,
 - Acil servise giriş – Acil servisten çıkış
 - Kayıt giriş – Kayıt çıkış
 - Triyaja giriş – Triyajdan çıkış
 - Sonuç gösterme giriş – Sonuç gösterme çıkış
 - Müşahede giriş - Müşahede çıkış
 - Acil serviste geçirilen toplam süre
4. Hastadan radyoloji tetkiki istenme durumu,
5. Hastadan radyolojik tetkik istenme durumu,
6. Konsültasyon istenme durumu.

Hastaların acil servis bölümüne geliş şekline göre yüzde dağılımı Şekil 4.5'te yer alan grafikte gösterilmiştir. Grafığe göre, acil servise başvuran hastaların %3'lük kısmı ambulansla hastaneye gelirken, %97'lik çok büyük bir kısmı acil servise ayakta gelmektedir.



Şekil 4.5 Hastaların Acil Servise Geliş Şekline Göre Dağılımı

Acil servisin giriş bölümünde triyaj hemşireleri tarafından yapılan triyaj değerlendirilmesi sonucunda, hastaların acil durumlarına göre (çok acil, acil, acil olmayan) yüzde dağılımları Şekil 4.6'daki grafikte yer almaktadır. Yüzelere göre; hastaların %70'lik bölümünü durumu acil olan sarı triyaj kodlu hastalar, %26'lık bölümünü durumu acil olmayan yeşil triyaj kodlu hastalar ve %4'lük bölümünü durumu çok acil olan kırmızı triyaj kodlu hastalar oluşturmaktadır.

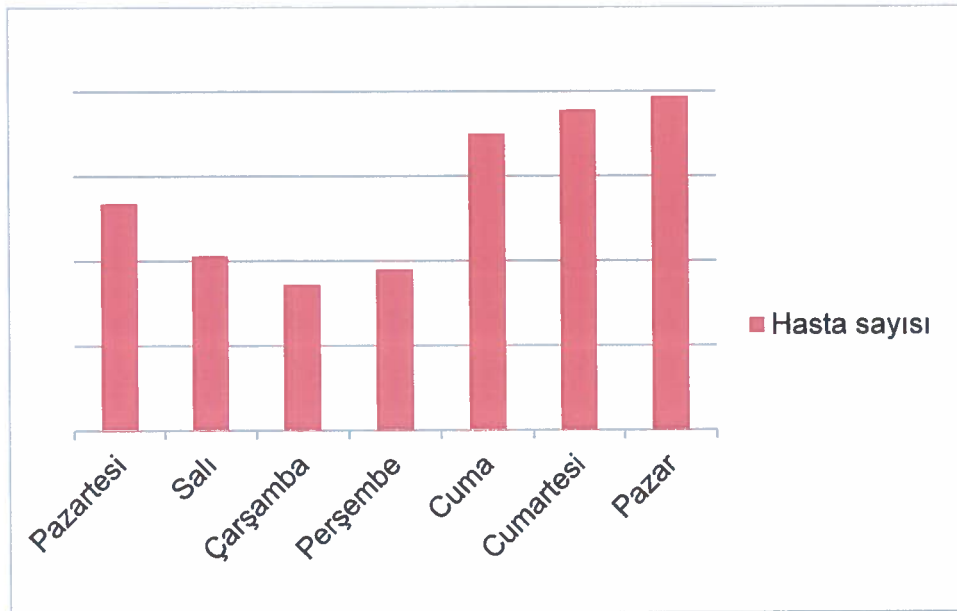


Şekil 4.6 Hastaların Acil Durumuna Göre Dağılımı

Ayrıca, 4.5.1.1. Bölümde triyaj sürecinde, ambulansla gelen hastaların direkt olarak çok acil kırmızı triyaj kodlu kategoride sınıflandırıldığı belirtilmiştir. Buna

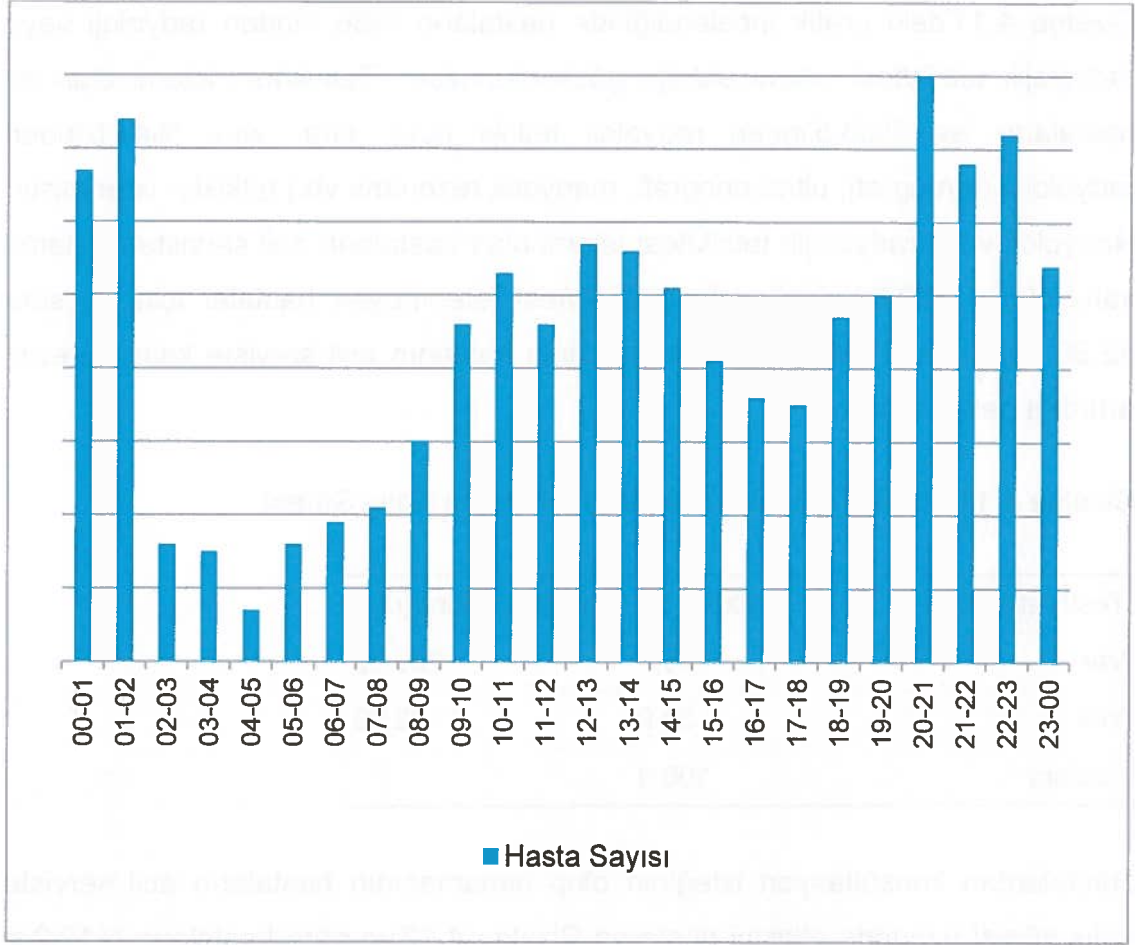
göre, Şekil 4.6'da durumu çok acil olan kırmızı triyaj kodlu hastaların %4'lük kısmının; %3'ünü Şekil 4.5'te ambulansla gelen hastaların, yüzde %1'lik kısmını ise ayaktan gelen durumu çok acil olan hastaların oluşturduğu tespit edilmiştir.

Acil servise başvuran hasta sayısının gün bazında dağılımı Şekil 4.7'de yer alan grafikte gösterilmiştir. Haftanın yedi gününde, gün bazında, acil servise başvuran ortalama hasta sayısı analiz edilmiştir. Grafik incelendiğinde, hasta sayısının hafta sonu günlerinde hafta içi günlerine oranla daha fazla olduğu, hafta içi günlerinin ve hafta sonu günlerinin kendi içinde ise fazla bir farkı olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.7 Gün Bazlı Ortalama Hasta Sayısı

Saat aralıklarına göre acil servis bölümüne başvuran ortalama hasta sayısı değerlendirirken elde edilen grafik Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Grafığe göre, saat aralıklarında acil servise gelen hasta sayısı değişiklik göstermektedir. Hasta yoğunluğu özellikle akşam 20:00 – 02:00 saatleri arasında artış göstermektedir. Gün içinde ise 12:00 – 15:00 saatleri arasında hasta sayısının arttığı gözlenmiştir. Yoğunluğun en az olduğu saat aralığı ise 02:00-06:00 saatleri arasındır.



Şekil 4.8 Saat Aralığı Bazında Ortalama Hasta Sayısı

Hastaların triyaj kategorilerine göre acil serviste ortalama kalış sürelerinin yer aldığı Çizelge 4.10'a göre; triyaj kategorisi çok acil (kırmızı) olan hastalar için ortalama süre 345,78 dakika ile en yüksek, triyaj kategorisi acil (sarı) olan hastalar için ortalama süre 281,36 dakika ve son olarak triyaj kategorisi acil olmayan (yeşil) olan hastalar için ortalama süre 90,86 dakika olarak saptanmıştır.

Çizelge 4.10 Triage Kategorilerine Göre Acil Serviste Ortalama Kalış Süreleri

Triage Kategorisi	Ortalama Süre (dk)
Çok Acil	345,78
Acil	281,36
Acil Olmayan	90,36

Çizelge 4.11'deki grafik incelendiğinde hastaların %66,1'inden radyoloji veya radyolojik tetkik/test istemi olduğu gözlemlenmiştir. Tetkik/test istemi olan bu hastaların ise %58,5'inden radyoloji tetkiki (kan, idrar vb.), %41,5'inden radyolojik (tomografi, ultrasonografi, manyetik rezonans vb.) tetkikler istenmiştir. Radyoloji veya radyolojik tetkik/test istemi olan hastaların acil serviste ortalama kalış süresi 299,62 dakika iken tetkik/test istenmeyen hastalar için bu süre 82,90 dakikadır. Hastadan tetkik isteminin hastanın acil serviste kalış süresini artırdığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.11 Tetkik/Test İstemine Göre Ortalama Kalış Süresi

Test/Tetkik İstemi	Yüzde (%)	Ortalama Süre (dk.)
Var	66,1	299,62
Yok	33,9	82,90
Toplam	100,0	

Hastalardan konsültasyon isteğinin olup olmasının hastaların acil serviste kalış süresi üzerinde etkisini gösteren Çizelge 4.12'ye göre hastaların %12,2'si için konsültasyon isteği olmakta ve konsültasyon isteği olan hastalar için acil serviste ortalama kalış süresi 432,45 dakikadır. Konsültasyon isteği olmayan %87,8'lik hastalar için ise bu süre 214,74 dakikadır.

Çizelge 4.12 Konsültasyon İsteğine Göre Ortalama Kalış Süresi

Konsültasyon İsteği	Yüzde (%)	Ortalama Süre (dk.)
Var	12,2	432,45
Yok	87,8	214,74
Toplam	100,0	

5. ACİL SERVİS SÜRECİNİN SİMÜLASYONU

Bu bölümde, 4. Bölümde akış ve etki diyagramı verilen sisteme ait simülasyon modelinin oluşturulması, simülasyon modelini doğrulama ve onaylama adımları, çıktı analizi ve oluşturulan senaryolar anlatılmıştır. Bu doğrultuda, stok ve akış diyagramı oluşturularak hastaneden elde edilen verilerle model çalıştırılmıştır. Doğrulama ve onaylama adımlarında modelden elde edilen değerler ile gerçek sistem değerleri karşılaştırılmıştır. Acil servis sürecini iyileştirmeye yönelik üretilen alternatif senaryolar performans ölçütleri ile değerlendirilmiştir.

5.1. Modelin Oluşturulması

5.1.1. Stok ve Akış Diyagramı

Sistem dinamiği yönteminin nicel modelleme aşaması, kavramsal model adımında oluşturulan etki diyagramının stok ve akış diyagramına dönüştürülmesi ve model elemanları için oluşturulan matematiksel denklemlerin çözülmesiyle ilgilidir. Stok ve akış diyagramı ile matematiksel ilişkiler model içinde birleştirilerek sistemin dinamik davranışları gözlemlenmektedir [23]. Bu çalışmada, stok ve akış diyagramı, java tabanlı Anylogic simülasyon modelleme yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır.

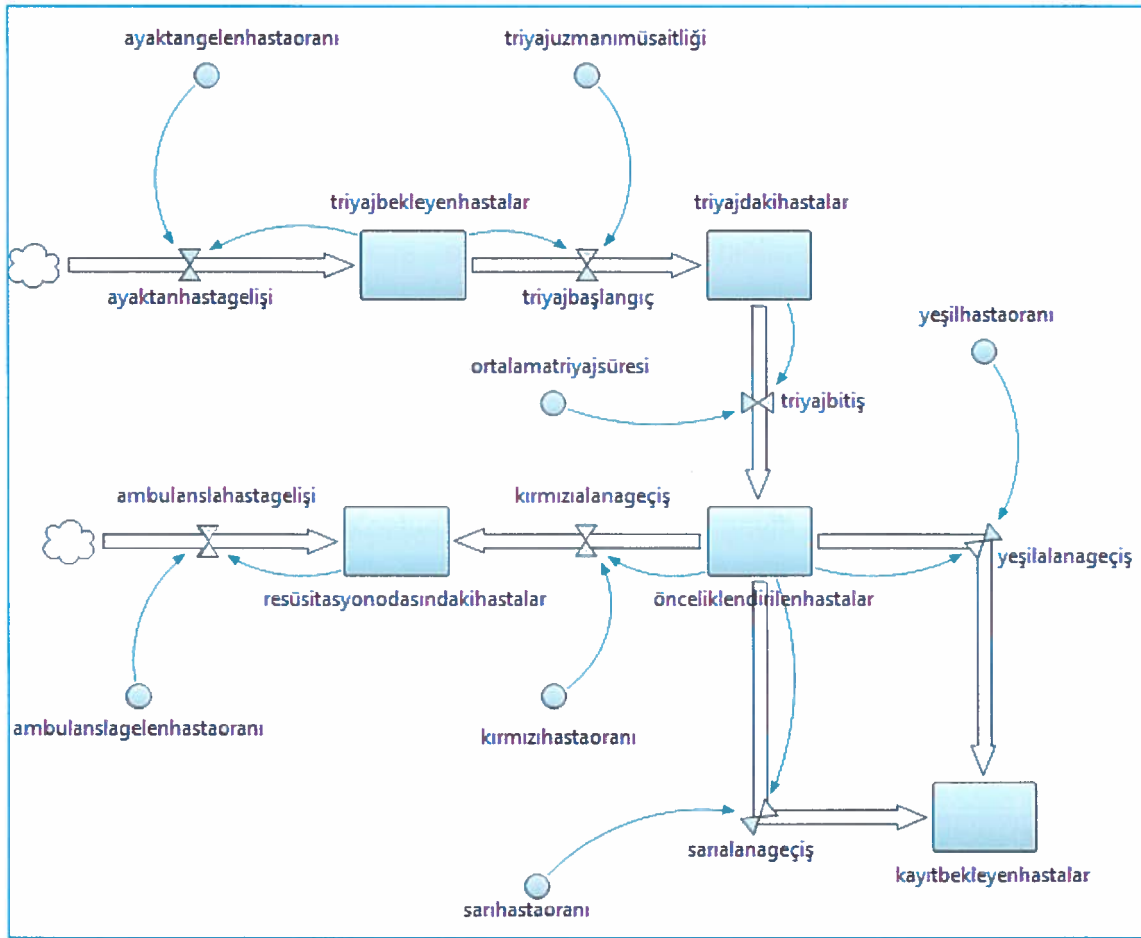
Modelleme öncesi sistemle ilgili birtakım varsayımlarda bulunulmuştur:

- Acil servise gelen hastalar muayene olmadan hastaneden çıkmamaktadır.
- Müsait doktor olmadığı sürece muayene odası müsaitliği önemsiz olduğu için, muayene bekleme süresi sadece doktor müsaitliği ile ilgilidir.
- Zaman gecikmeleri ve bekleme süreleri hastane kaynaklarından sadece triyaj hemşiresi, kayıt personeli, doktor ve müşahede oda sayısı ile ilgilidir.
- İdari ve tıbbi personellerin yorgunluk durumları ve farklı personellerin farklı işlem hızları dikkate alınmamaktadır.
- Kırmızı kategori hastalarının hepsi resüsitasyon/travma odasında tedavi altına alınmaktadır.

- Kırmızı kategorideki hastalar için sadece konsültasyon bekleme süresi oluşmaktadır.
- Birimler arası uzaklıklar çok kısa olduğu için (örneğin muayene odası laboratuvar arası gibi) bu mesafeler önemsenmemektedir.

5.1.1.1. Triyaj Süreci

Acil servis bölümünde uygulanan triyaj sürecine ait stok ve akış diyagramı Şekil 5.1'de gösterilmektedir.



Şekil 5.1 Triyaj Süreci Stok ve Akış Diyagramı

Stok ve akış diyagramına göre modele ait stoklar, akışlar ve akışları etkileyen dinamik değişkenler Çizelge 5.1'de gösterilmektedir. Stoklar için çözülen diferansiyel denklemler, akış hesapları ve dinamik değişken değerleri ise 5.1.2. Bölümde ele alınmıştır.

Çizelge 5.1 Triyaj Süreci Stok ve Akış Diyagramı Elemanları

Stoklar	• triyajbekleyen hastalar
	• triyajdaki hastalar
	• önceliklendirilen hastalar
	• resüsitasyon odasındaki hastalar
Akışlar	• ayakta hastagelişi
	• ambulansla hastagelişi
	• triyaj başlangıç
	• triyaj bitiş
	• kırmızı alan geçiş
	• yeşil alan geçiş
	• sarı alan geçiş
Dinamik Değişkenler	• ayakta gelen hasta oranı
	• ambulansla gelen hasta oranı
	• triyaj uzmanı müsaitliği
	• ortalama triyaj süresi
	• kırmızı hasta oranı
	• yeşil hasta oranı
	• sarı hasta oranı

Şekil 5.1’de yer alan stok ve akış diyagramına göre stoklar için tanımlanan akışlar aşağıda belirtilmektedir.

- triyaj bekleyen hastalar stoku için; ayakta hastagelişi stoku artırıcı yönde içeri akış ve triyaj başlangıç stoku azaltıcı yönde dışarı akış,
- triyajdaki hastalar stoku için; triyaj başlangıç stoku artırıcı yönde içeri akış ve triyaj bitiş stoku azaltıcı yönde dışarı akış,
- önceliklendirilen hastalar stoku için; triyaj bitiş stoku artırıcı yönde içeri akış, kırmızı alan geçiş, sarı alan geçiş ve yeşil alan geçiş ise stoku azaltıcı yönde dışarı akışlar,
- resüsitasyon odasındaki hastalar stoku için, kırmızı alan geçiş ve ambulansla hastagelişi stoku artırıcı yönde içeri akışlar.

Akışlar ile dinamik değişkenler arasındaki ilişkiler aşağıda verilmektedir.

- ayaktan hastagelişi akışı; ayaktan gelen hasta oranı değişkenine,
- ambulansla hastagelişi akışı; ambulansla gelen hasta oranı değişkenine,
- triyaj başlangıç akışı; triyaj bekleyen hastalar stokuna ve triyaj uzmanı müsaitliği değişkenine,
- triyaj bitiş akışı; triyajdaki hastalar stokuna ve ortalama triyaj süresi değişkenine,
- kırmızı alana geçiş akışı; önceliklendirilen hastalar stokuna ve kırmızı hasta oranı değişkenine,
- yeşil alana geçiş; önceliklendirilen hastalar stokuna ve kırmızı hasta oranı değişkenine,
- sarı alana geçiş; önceliklendirilen hastalar stokuna ve kırmızı hasta oranı değişkenine

bağlı olarak değişmektedir.

5.1.1.2. Acil Servis Süreci

Acil servisin tüm süreci için oluşturulan stok ve akış diyagramı Şekil 5.2'de yer almaktadır.

Triyaj sürecine ait stok ve akış diyagramı açıklamaları ile birlikte Bölüm 4.5.2.1'de verildiği için, kayıt işleminden başlayarak modele ait tüm stoklar, akışlar ve akışları etkileyen dinamik değişkenler Çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2 Acil Servis Süreci Stok ve Akış Diyagramı Elemanları

Stoklar	• kayıt bekleyen hastalar
	• kayıttaki hastalar
	• muayene bekleyen hastalar
	• muayenedeki hastalar
	• muayeneden çıkan hastalar
	• müşahede yatağı bekleyen hastalar
	• müşahededeki hastalar
	• müşahededen çıkan hastalar
	• konsültasyon bekleyen hastalar
	• konsültasyondaki hastalar
	• taburcu olan hastalar
Akışlar	• kayıt başlangıç
	• kayıt bitiş
	• muayene başlangıç
	• muayene bitiş
	• müşahede geçiş
	• müşahede başlangıç
	• müşahede geçiş kırmızı
	• müşahede bitiş
	• müşahede sonras taburcu
	• konsültasyon geçiş
	• konsültasyon başlangıç
	• konsültasyon bitiş
	• muayene sonras taburcu
Dinamik Değişkenler	• ortalamakayıtsüresi
	• kayıt personelimüsaitliği
	• doktormüsaitliği
	• ortalamamuayenesüresi
	• müşahede istemisoranı
	• müşahede istemi yeşil oranı
	• müşahede istemi kırmızı oranı
	• yatak müsaitliği
	• ortalamamüşahedesüresi
	• müşahede sonras taburcu oranı
	• muayene sonras taburcu oranı
	• konsültasyon isteğ oranı
	• ortalamakonsültandoktorgelmesüresi
	• ortalamakonsültasyonsüresi

Şekil 5.2'de yer alan stok ve akış diyagramına göre, diyagramda yer alan stoklar ve stokların miktarında artırıcı yönde içeri akış, azaltıcı yönde dışarı akış etkisi yapan akışlar Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3 Stokları Etkileyen Akışlar

Stoklar	İçe Akış (Inflow)	Dışa Akış (Outflow)
kayıtbekleyen hastalar	yeşilalanageçiş sarıalanageçiş	kayıtbaşlangıç
kayıttaki hastalar	kayıtbaşlangıç	kayıtbitiş
muayenebekleyen hastalar	kayıtbitiş	muayenebaşlangıç
muayenedeki hastalar	muayenebaşlangıç	muayenebitiş
muayenedençıkıan hastalar	muayenebitiş	müşahedegeçiş muayenesonrasıtaburcu
müşahedeyatağı bekleyen hastalar	müşahedegeçiş	müşahedebaşlangıç
müşahededeki hastalar	müşahedebaşlangıç müşahedegeçişkırmızı	müşahedebitiş
müşahededençıkıan hastalar	müşahedebitiş	Müşahedesonrasıtaburcu konsültasyongeçiş
konsültasyonbekleyen hastalar	konsültasyongeçiş	konsültasyonbaşlanıç
konsültasyondaki hastalar	konsültasyonbaşlangıç	konsültasyonbitiş
taburcuolan hastalar	müşahedesonrasıtaburcu muayenesonrasıtaburcu konsültasyonbitiş	

Şekil 5.2'de yer alan stok ve akış diyagramına göre, diyagramda yer alan akışlar ve akışların etkilendiği, akış değerinde değişiklik yapan stoklar ve dinamik değişkenler Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4 Akışları Etkileyen Dinamik Değişkenler ve Stoklar

Akışlar	Stoklar	Dinamik Değişkenler
kayıtbaşlangıç	kayıtbekleyen hastalar	kayıt personeli müsaitliği
kayıtbitiş	kayıttaki hastalar	ortalama kayıt süresi
muayenebaşlangıç	muayenebekleyen hastalar	doktor müsaitliği
muayenebitiş	muayenedeki hastalar	ortalama muayene süresi
müşahedegeçiş	muayenedençık hastalar	müşahede istemisi oranı müşahede istemiyeşiloranı
müşahedebaşlangıç	müşahedeyatağı bekleyen hastalar	yatak müsaitliği
müşahedegeçişkırmızı	resüsitasyon odasındaki hastalar	müşahede istemisi kırmızı hastalar
müşahede bitiş	müşahededeki hastalar	ortalama müşahede süresi
müşahedesonrasıtaborcu	müşahededençık hastalar	müşahedesonrasıtaborcu
konsültasyongeçiş	müşahededençık hastalar	konsültasyon isteği oranı
konsültasyonbaşlangıç	konsültasyonbekleyen hastalar	ortalama doktor bekleme süresi
konsültasyonbitiş	konsültasyondaki hastalar	ortalama konsültasyon süresi
muayenesonrasıtaborcu	muayenedençık hastalar	muayenesonrasıtaborcu oranı

Çizelge 5.3'te yer alan stok ve akışlara ait diferansiyel denklemlere, Çizelge 5.4'te yer alan akışların stoklara ve dinamik değişkenlere bağlı denklemlerine ve modelde kullanılan dinamik değişkenlerin değerlerine bir sonraki bölümde yer verilmiştir.

5.1.2. Matematiksel Formülasyon

Stok ve akış diyagramında yer alan model elemanları için, matematiksel formüllerin yazılarak çözülmesi, sistemdeki dinamik davranışları ve etkileri tanımlamak adına sistem dinamiği yaklaşımının önemli bir özelliğidir. Modeldeki akışların stoklara etkileri diferansiyel denklemler kurularak ilişkilendirilmektedir [32].

Matematiksel formülasyon adımı; modelde kullanılan sistem kaynakları, akışların dinamik değişkenlere ve stoklara bağlı hesaplaması, stoklara ait diferansiyel denklemler ve akışları etkileyen dinamik değişkenler anlatılmıştır.

5.1.2.1. Triyaj Süreci

5.1.1.1. Bölümde stok ve akış diyagramı verilen triyaj süreci modelinde kullanılan elemanlara ait matematiksel formülasyon bilgileri aşağıda yer almaktadır.

- Triyaj işleminde kullanılan ve triyaj sürecini etkileyen sistem kaynağı, triyaj hemşire sayısıdır. Model çalıştırılırken kullanılan triyaj hemşire sayısı 2'dir.

- ayaktangelenhastaoranı=0,97
ambulanslagelenhastaoranı=0,03
sarihastaoranı=0,70
kırmızıhastaoranı=0,04
yeşilhastaoranı=0,26
ortalamatriyajsüresi=15 dakika
değişkenleri için kullanılan oran ve süre bilgileri hastaneden alınan veriler üzerinde yapılan analizden çıkarılmıştır.

- Stok ve akışların hesaplandığı denklemler aşağıda verilmiştir:

$$\mathbf{ayaktanhastagelişi} = \mathbf{ayaktangelenhastaoranı} * \mathbf{triyajbekleyen hastalar}$$

$$\mathbf{triyajbekleyen hastalar} = d(\mathbf{triyajbekleyen hastalar})/dt =$$

$$\mathbf{ayaktanhastagelişi} - \mathbf{triyajbaşlangıç}$$

$$\mathbf{triyajbaşlangıç} = \mathbf{triyajbekleyen hastalar} * \mathbf{triyajuzmanımüsaitliği}$$

$$\mathbf{triyajdaki hastalar} = d(\mathbf{triyajdaki hastalar})/dt = \mathbf{triyajbaşlangıç} - \mathbf{triyajbitiş}$$

$$\mathbf{triyajbitiş} = \mathbf{triyajdaki hastalar} / \mathbf{ortalamatriyajsüresi}$$

$$\mathbf{önceliklendirilen hastalar} = d(\mathbf{önceliklendirilen hastalar})/dt =$$

$$\mathbf{triyajbitiş} - \mathbf{sari alana geçiş} - \mathbf{kırmızı alana geçiş} - \mathbf{yeşil alana geçiş}$$

$$\mathbf{kırmızı alana geçiş} = \mathbf{önceliklendirilen hastalar} * \mathbf{kırmızı hasta oranı}$$

$$\mathbf{sari alana geçiş} = \mathbf{önceliklendirilen hastalar} * \mathbf{sari hasta oranı}$$

$$\mathbf{yeşil alana geçiş} = \mathbf{önceliklendirilen hastalar} * \mathbf{yeşil hasta oranı}$$

$$\mathbf{ambulansla hastagelişi} = \mathbf{ambulanslagelen hasta oranı} * \mathbf{resüsitasyon odasındaki hastalar}$$

$$\text{resüsitasyonodasındaki hastalar} = d(\text{resüsitasyonodasındaki hastalar})/dt = \text{kırmızıalanageçiş} + \text{resüsitasyonodasındaki hastalar}$$

5.1.2.2. Acil Servis Süreci

5.1.1.2. Bölümde stok ve akış diyagramı verilen acil servis süreci modelinde kullanılan elemanlara ait matematiksel formülasyon bilgileri aşağıda yer almaktadır.

- Kayıt sürecini etkileyen kaynak, kayıt personeli sayısıdır. Model çalıştırılırken kullanılan kayıt personel sayısı 2'dir. Muayene sürecini etkileyen kaynak, doktor sayısıdır. Model çalıştırılırken kullanılan doktor sayısı 6'dır. Müşahede sürecini etkileyen kaynak, müşahede yatak sayısıdır. Model çalıştırılırken kullanılan yatak sayısı ise 19'dur.

- ortalamakayıtsüresi=8 dakika
ortalamamuayenesüresi=24 dakika
ortalamamüşahedesüresi=872 dakika
ortalamakonsültasyonsüresi=144 dakika
müşahedeistemisarıoranı=0,79
müşahedeistemiyeşiloranı=0,55
müşahedeistemikırmızıhastaooranı=0,90
müşahedesonrasıtaburcuoranı=0,88
konsültasyonisteğioranı=0,12
muayenesonrasıtaburcuoranı=0,37
değişkenleri için kullanılan oran ve süre bilgileri hastaneden alınan veriler üzerinde yapılan analizden çıkarılmıştır.

- Stok ve akışların hesaplandığı denklemler aşağıda verilmiştir:

$$\text{kayıtbekleyen hastalar} = d(\text{kayıtbekleyen hastalar})/dt = \text{sarıalanageçiş} + \text{yeşilalanageçiş} - \text{kayıtbaşlangıç}$$

$$\text{kayıtbaşlangıç} = \text{kayıtbekleyen hastalar} * \text{kayıt personeli müsaitliği}$$

$$\text{kayıttaki hastalar} = d(\text{kayıttaki hastalar})/dt = \text{kayıtbaşlangıç} - \text{kayıtbitiş}$$

$$\text{kayıtbitiş} = \text{kayıttaki hastalar} / \text{ortalamakayıtsüresi}$$

muayenebekleyen hastalar = $d(\text{muayenebekleyen hastalar})/dt =$
kayıtbitiş-muayenebaşlangıç

muayenebaşlangıç = muayenebekleyen hastalar * doktormüsaitliği

muayenedekihastalar = $d(\text{muayenedekihastalar})/dt =$
muayenebaşlangıç-muayenebitiş

muayenebitiş = muayenedekihastalar / ortalamamuayenesüresi

muayenedençikanhastalar = $d(\text{muayenedençikanhastalar})/dt =$ muayenebitiş-
müşahedegeçiş-muayenesonrasıtaburcu

müşahedegeçiş = muayenedençikanhastalar * müşahedeistemisarı oranı * müşahedeistemiyeshı oranı

müşahedeyatağibekleyen hastalar = $d(\text{müşahedeyatağibekleyen hastalar})/dt =$
müşahedegeçiş-müşahedebaşlangıç

müşahedebaşlangıç = müşahedeyatağibekleyen hastalar * yatakmüsaitliği

müşahedegeçişkırmızı = resüsitasyonodasındakihastalar * müşahedeistemikırmızı
zihasta oranı

müşahededekihastalar = $d(\text{müşahededekihastalar})/dt =$
müşahedebaşlangıç + müşahedegeçişkırmızı - müşahedebitiş

müşahedebitiş = müşahededekihastalar / ortalamamüşahedesüresi

müşahededençikanhastalar = $d(\text{müşahededençikanhastalar})/dt =$
müşahedebitiş - müşahedesonrasıtaburcu - konsültasyongeçiş

müşahedesonrasıtaburcu = müşahededençikanhastalar * müşahedesonrasıtabu
rcu oranı

konsültasyongeçiş = müşahededençikanhastalar * konsültasyonisteğioranı

konsültasyonbekleyen hastalar = $d(\text{konsültasyonbekleyen hastalar})/dt =$
konsültasyongeçiş - konsültasyonbaşlangıç

konsültasyonbaşlangıç = konsültasyonbekleyen hastalar / ortalamadoktorbeklem
esüresi

konsültasyondakihastalar = $d(\text{konsültasyondakihastalar})/dt =$
konsültasyonbaşlangıç - konsültasyonbitiş

konsültasyonbitiş = konsültasyondakihastalar / ortalamakonsültasyonsüresi

muayenesonrasıtaburcu = muayenedençikanhastalar * muayenesonrasıtaburcu
oranı

$taburcuolan hastalar = d(taburcuolan hastalar) / dt =$
 $müşahedesonrasitaburcu + muayenesonrasitaburcu + konsültasyonbitiş$

5.2. Modeli Doğrulama ve Onaylama

Oluşturulan simülasyon modelinin; gerçek sistem, kavramsal model ve mantıksal model ile uyumunu kontrol etmek için doğrulama ve onaylama adımları uygulanmıştır.

Model oluşturulurken sistem ile ilgili bazı kısıtlar gözlemlenmiştir.

- Hastaneden elde edilen verilerde laboratuvar testi ve radyoloji tetkiki süreçlerine ait süre bilgileri (bekleme süresi, işlem süresi vb.) tutulmadığı için, simülasyon modelinde girdi olarak verilememesi sebebiyle stok ve akış diyagramından ilgili süreçlere ait bölümler çıkarılmıştır. Ayrıca, ilgili süreçlerin birçok bağımsız değişkenden etkilenmesi de modelde ele alınamama sebeplerindedir. Örneğin, her hastadan aynı tür laboratuvar testi/radyoloji tetkiki istenmemesi, her hastadan aynı sayıda laboratuvar testi/radyoloji tetkiki istenmemesi, farklı testlerin farklı sürelerde tamamlanması gibi.
- Laboratuvar testi ve radyoloji tetkiki süreçleri modelde ele alınmadığından laboratuvar teknisyeni, radyoloji teknisyeni veya X-Ray cihazı sayısı gibi bu süreçleri ilgilendiren personel ve fiziksel hastane kaynakları modele eklenmemiştir.
- Birden fazla farklı süreçte (muayene sırasında doktora yardımcı olmak, müşahede sırasında hastayı gözlemlmek ve doktoru bilgilendirmek, hastalara birtakım fiziksel işlemlerde bulunmak tansiyon ölçmek, iğne yapmak gibi) görev alan hemşireler için işlem önceliği bilinmemesi ve farklı işlemlere ait farklı süreler oluşması sebebiyle hemşire sayısı modelde ele alınmamıştır.
- Sonuç gösterme sürecine ait süre bilgileri (bekleme süresi, işlem süresi vb.) de hastanede tutulmaması ve sonuç gösterme ve muayene

işlemlerinde doktorun işlem önceliğinin bilinmemesi nedeniyle sonuç gösterme süreci modelde ele alınmamıştır.

- Gün içinde personel sayılarındaki değişiklikler modelde ele alınmamıştır. Örneğin, model çalıştırırken 24 saatlik zaman diliminin tamamı için modelde doktor sayısı 6 adet olarak tanımlanmaktadır. Ancak gece-gündüz saat farklılıklarında vardiyadan kaynaklı değişiklik oluşması durumunda (doktor sayısının 5 e düşmesi veya 7 ye çıkması gibi) sayı farklılığı modele yansımamaktadır.
- Model, hastane kaynağı olarak doktor, triyaj hemşire, kayıt personeli ve müşahede yatağı sayıları üzerinden çalıştırılmıştır.

Doğrulama adımında, simülasyon modelinin kavramsal model aşamasında oluşturulan akış diyagramını ve etki diyagramını doğru yansıtip yansıtmadığı kontrol edilmiştir. Simülasyon modeli çalıştırılarak hastaların sistemdeki davranışları incelenmiştir. Örneğin;

- Kırmızı kategori hastalarının muayene odası için beklememesi,
- Müsait doktor olmaması durumunda sarı veya yeşil kategori hastalarının muayene için beklemesi,
- Boş müşahede yatağının olmaması durumunda hastaların dolu yataklara gitmemesi,
- Müsait kayıt personeli olmaması durumunda hastaların kayıt için beklemesi gibi.

Yapılan incelemeler sonucunda modelin, sistem davranışlarını başarılı bir şekilde temsil ettiği gözlemlenmiş ve model doğrulanmıştır.

Onaylama adımında ise simülasyon modelinin gerçek sistemi temsil edip etmediği kontrol edilmiştir. Birtakım performans ölçütleri üzerinde testler yapılarak modelden elde edilen çıktı değerleri ile gerçek sisteminden toplanan veriler karşılaştırılmıştır. Gerçek sistem verileri, yukarıda bahsedilen sistem kısıtları göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Gerçek sistemde hastalar için hesaplanan;

- Acil serviste geçirilen ortalama süre,
- Konsültasyon istenme durumuna göre değişen acil serviste geçirilen ortalama süre,
- Müşahede istenme durumuna göre değişen acil serviste geçirilen ortalama süre

modelden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. 24 saatlik simülasyon çalışması sonucunda elde edilen veriler Çizelge 5.5'te gösterilmektedir.

Çizelge 5.5 Gerçek Sistem-Simülasyon Modeli Süre Bilgileri

Süre Bilgisi		Gerçek Sistem Değeri (dk.)	Simülasyon Modeli Değeri (dk.)
Acil serviste geçirilen ortalama süre		240,81	225,6
Acil serviste geçirilen ortalama süre	Konsültasyon var	432,45	382,8
	Konsültasyon yok	214,74	193,93
	Müşahede var	337,76	292,3
	Müşahede yok	84,58	74,12

Çizelge 5.5'te yer alan, gerçek sistem değerleri ile simülasyon modelinden elde edilen değerlerin geçerliliğini incelemek için iki örneklem t-testi (two sample t-test) kullanılmıştır. İki örneklem t-testi, bilinen iki ortalama arasındaki farkın önemlilik testi olarak bilinmektedir. Ortalamaların birbirinden önemli derecede farklı olup olmadığı test edilmektedir. İki örneklem t-testinde takip edilen adımlar sırasıyla aşağıda verilmiştir [54]:

- Hipotezlerin kurulması: Bu adımda parametrenin belirli bir değere eşit olduğu şeklindeki hipotez H_0 ile parametrenin belirli bir değerden farklı olduğu şeklindeki alternatif hipotez H_1 'in hangisinin örnekle daha iyi bağdaştığı gösterilmektedir. Bu çalışma için kurulan hipotezler;

μ : Gerçek sistem için hesaplanan ortalama süre,

μ_0 : Simülasyon sonucu elde edilen ortalama süre olmak üzere

H_0 : Sistem değeri ile simülasyon sonucunda elde eden değer arasında anlamlı bir fark bulunmaması üzerine kurulan hipotez $H_0 : \mu = \mu_0$,

H_1 : Sistem değeri ile simülasyon sonucunda elde eden değeri arasında anlamlı bir fark olması üzerine kurulan hipotez $H_1 = \mu \neq \mu_0$.

- Hipotezler kurulduktan sonra test değerinin hesaplanması gerekmektedir.

X_1 : Birinci grubun ortalaması,

S_1 : Birinci grubun standart sapması,

N_1 : Birinci grup için örnekleme sayısı,

X_2 : İkinci grubun ortalaması,

S_2 : İkinci grubun standart sapması,

N_2 : İkinci grup için örnekleme sayısı

parametreleri kullanılarak test değerinin hesaplandığı Denklem 1 aşağıda gösterilmiştir.

$$\frac{X_1 - X_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{N_1} + \frac{S_2^2}{N_2}}} \quad (1)$$

Bu çalışma için test değerleri hesaplanırken kullanılan değerler:

X_1 : Gerçek sistem değerinin ortalaması,

S_1 : Gerçek sistem değerinin standart sapması,

N_1 : Gerçek sistem örnekleme sayısı,

X_2 : Simülasyon değerinin ortalaması ,

S_2 : Simülasyon değerinin standart sapması,

N_2 : Simülasyon örnekleme sayısıdır.

- Test değeri hesaplandıktan sonra karşılaştırma yapılarak sonucun yorumlanması amacıyla %95 güven aralığı için kullanılan α değeri 0,05

seçilmektedir. p-değeri (p-value) ile α değerinin karşılaştırılması sonucunda:

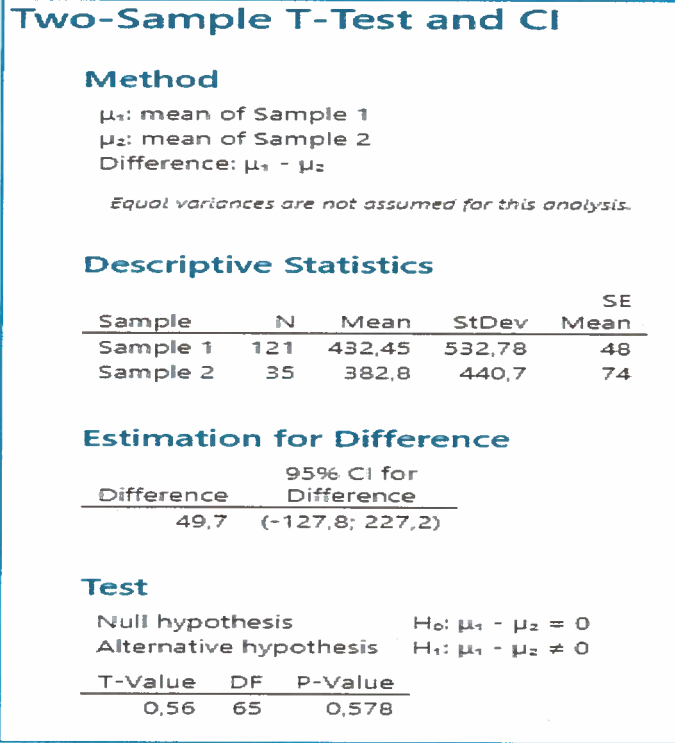
1. p-değeri $< \alpha$ için H_0 hipotezi reddedilir ve %5 hatayla birinci grubun değeri ikinci grubun değerinden farklıdır,
2. p-değeri $> \alpha$ değeri için H_0 hipotezi reddedilemez ve %95 güvenle birinci grubun değeri ikinci grubun değerine benzerdir

yorumları yapılmaktadır.

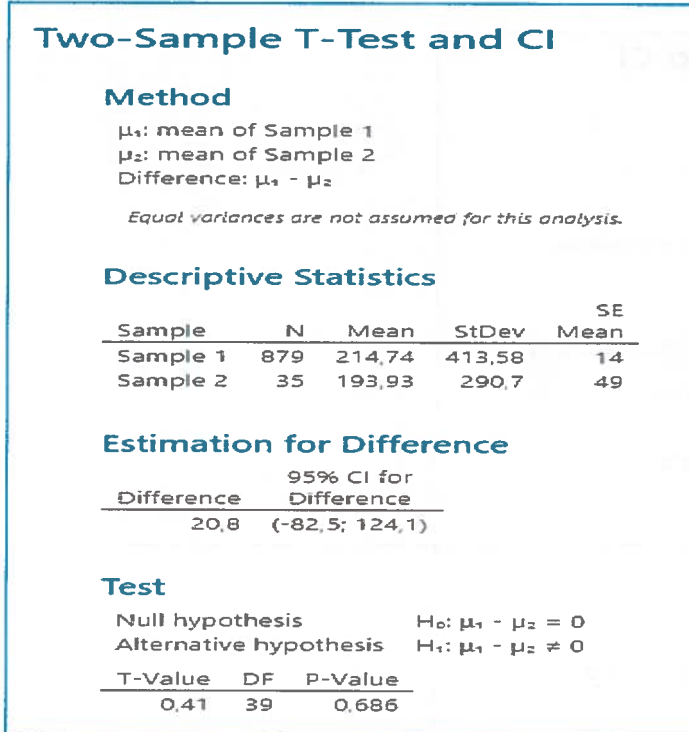
Çizelge 5.5'te yer alan ortalama sürelerinin her biri için iki örneklem t-testi yapılmıştır. Her bir süre türü için Minitab istatistik yazılımı kullanılarak p-değeri hesaplanmıştır. p-değerleri hesaplandıktan sonra, %95 güven aralığı için tanımlanan $\alpha=0,05$ değeriyle p-değerleri karşılaştırılarak sonuçlar yorumlanmıştır.

Two-Sample T-Test and CI				
Method				
μ_1 : mean of Sample 1				
μ_2 : mean of Sample 2				
Difference: $\mu_1 - \mu_2$				
<i>Equal variances are not assumed for this analysis.</i>				
Descriptive Statistics				
Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
Sample 1	867	240,81	470,03	16
Sample 2	35	225,6	260,89	44
Estimation for Difference				
Difference	95% CI for Difference			
15,2	(-79,1; 109,5)			
Test				
Null hypothesis		$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$		
Alternative hypothesis		$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$		
T-Value	DF	P-Value		
0,33	43	0,747		

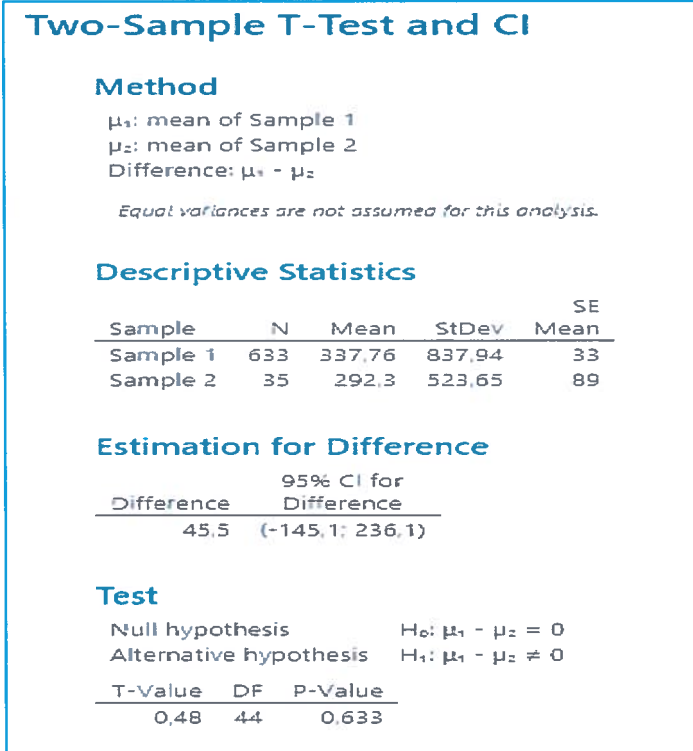
Şekil 5.3 Acil serviste Geçirilen Ortalama Süre için T-Testi Sonucu



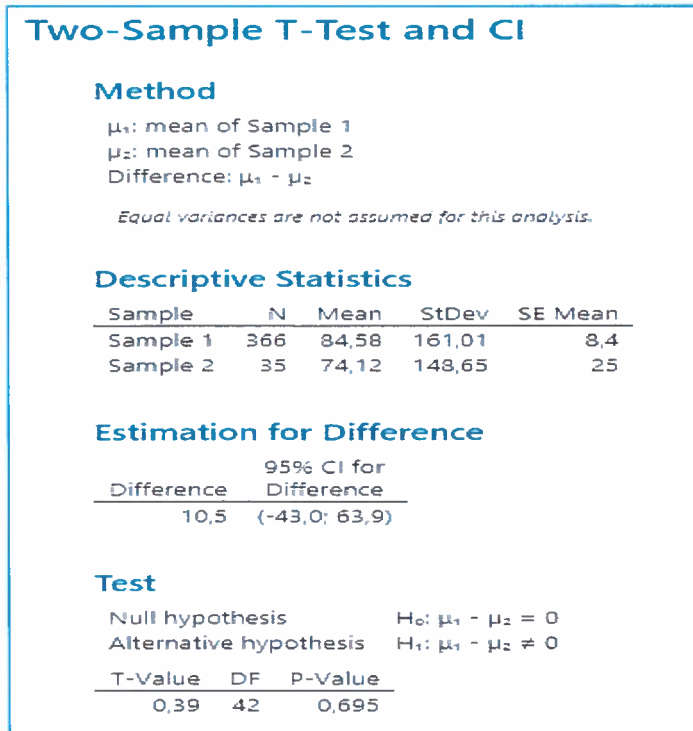
Şekil 5.4 Konsültasyon İstenme Durumunda T-Testi Sonucu



Şekil 5.5 Konsültasyon İstenmeme Durumunda T-Testi Sonucu



Şekil 5.6 Müşahede İstenme Durumunda T-Testi Sonucu



Şekil 5.7 Müşahede İstenmeme Durumunda T-Testi Sonucu

T-testi sonuçları yorumlandığında; Şekil 5.3'te acil serviste geçirilen ortalama süreler için hesaplanan p-değeri **0,747**, Şekil 5.4'de konsültasyon istenme durumunda acil serviste geçirilen ortalama süreler için hesaplanan p-değeri **0,578**, Şekil 5.5'te konsültasyon istenmeme durumunda acil serviste geçirilen ortalama süreler için hesaplanan p-değeri **0,686**, Şekil 5.6'da müşahede istenme durumunda acil serviste geçirilen ortalama süreler için hesaplanan p-değeri **0,633** ve Şekil 5.7'de müşahede istenmeme durumunda acil serviste geçirilen ortalama süreler için hesaplanan p-değeri **0,695** %95 güven aralığı için belirlenen **0,05** ten büyük olduğu için, tüm süre türleri için %95 güvenle H_0 her iki ortalamanın eşit olduğu (aralarında anlamlı bir fark olmadığı) hipotezi reddedilememektedir. Simülasyon modelinden elde edilen ortalama süre değerleri gerçek sistem ortalama değerlerine benzerdir. Bu nedenle, önerilen model bu açıdan onaylanmıştır.

5.3. Alternatif Senaryoların Değerlendirilmesi

Modelden başarılı sonuç elde edilmesinin ardından, acil servis süreç akışını ve mevcut durumu iyileştirmek ve hastaların bekleme sürelerini azaltmak amacıyla sistem kaynakları (doktor, triyaj hemşiresi, kayıt personeli ve müşahede yatak sayısı) üzerinden alternatif senaryolar üretilmiştir. Senaryolara aşağıda yer verilmiştir:

- Mevcut durum: Sistemin mevcut kaynakları üzerinden model çalıştırılmıştır.
- Senaryo 1: Bu senaryoda sadece doktor sayısı 1 artırılmış ve diğer kaynakların sayısı aynı kalmıştır.
- Senaryo 2: Bu senaryoda sadece triyaj hemşire sayısı 1 artırılmış ve diğer kaynakların sayısı aynı kalmıştır.
- Senaryo 3: Bu senaryoda müşahede yatak sayısı 1 artırılmış ve diğer kaynakların sayısı aynı kalmıştır.
- Senaryo 4: Bu senaryoda sadece kayıt personeli sayısı 1 artırılmış ve diğer kaynakların sayısı aynı kalmıştır.
- Senaryo 5: Bu senaryoda doktor ve yatak sayısı 2 şer artırılmış ve diğer kaynakların sayısı aynı kalmıştır.

- Senaryo 6: Bu senaryoda doktor sayısı ve triyaj hemşire sayısı 1 er artırılmış ve diğer kaynakların sayısı aynı kalmıştır.
- Senaryo 7: Bu senaryoda triyaj hemşire sayısı 1, yatak sayısı 2 artırılmış ve diğer kaynakların sayısı aynı kalmıştır.
- Senaryo 8: Bu senaryoda doktor sayısı, triyaj hemşire sayısı ve kayıt personeli sayısı 1 er artırılmış ve yatak sayısı aynı kalmıştır.
- Senaryo 9: Bu senaryoda triyaj hemşire sayısı, kayıt personeli sayısı 1 er artırılmış ve diğer kaynakların sayısı aynı kalmıştır.
- Senaryo 10: Bu senaryoda doktor sayısı, triyaj hemşire sayısı ve kayıt personeli sayısı 1 er, yatak sayısı 2 artırılmıştır.

Senaryoların test edilmesinde kullanılan kaynaklar için girdi değerleri ve modelden elde edilen çıktı değerleri Çizelge 5.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6 Alternatif Senaryolar için Girdi ve Çıktı Değerleri

Senaryolar	Girdiler				Çıktı
	Doktor Sayısı	Trijaj Hemşire Sayısı	Yatak Sayısı	Kayıt Personeli Sayısı	Sistemde Geçirilen Ortalama Süre (dk.)
Mevcut Durum	6	2	19	2	225,6
Senaryo 1	7	2	19	2	199,6
Senaryo 2	6	3	19	2	213,8
Senaryo 3	6	2	20	2	215,9
Senaryo 4	6	2	19	3	219,2
Senaryo 5	8	2	21	2	186,5
Senaryo 6	7	3	19	2	201,7
Senaryo 7	6	3	21	2	196,1
Senaryo 8	7	3	19	3	185,4
Senaryo 9	6	3	19	3	208,3
Senaryo 10	7	3	21	3	171,3

Mevcut durumda 6 adet doktor, 2 adet triyaj hemşiresi, 19 adet müşahede yatağı ve 2 adet kayıt personeli sayısı üzerinden model çalıştırıldığında

hastaların acil serviste kalış süresi 225,6 dakikadır. Senaryo 1'de sadece doktor sayısının 1 artırılması ile acil serviste kalış süresi 26 dakika ile önemli bir azalış göstermektedir. Acil serviste kalış süresi; senaryo 2'de sadece triyaj personel sayısının 1 artırılması ile 11,8 dakika, senaryo 3'de sadece yatak sayısının 1 artırılması ile 9,7 dakika, senaryo 4'de sadece kayıt personeli sayısının 1 artırılması ile 6,4 dakika azalış göstermektedir.

Senaryolar değerlendirildiğinde, hastaların acil serviste geçirdikleri ortalama süre üzerinde; doktor sayısının artırılmasının önemli bir iyileşme sağladığı, tek başına kayıt personeli sayısının artırılmasının ise önemli bir iyileşme sağlamadığı gözlemlenmiştir.

İlk 4 senaryoda tek kaynak türünün 1'er artırılmasıyla elde edilen sonuçlara bakıldığında, kaynak sayılarının daha fazla sayıda artırılmasının ve sadece bir kaynak değil de kaynakların farklı kombinasyonları simüle edildiğinde, acil serviste geçirilen sürede büyük azalmanın görüleceği düşünülmüştür. Bu bağlamda üretilen örnek senaryo 5'te, doktor sayısı ve yatak sayısı birlikte 2 şer adet artırılınca acil serviste kalış süresinde 39,1 dakikalık azalma görülmüştür. Senaryo 6'da doktor sayısı ve triyaj hemşire sayısı 1 er artırıldığında acil serviste kalış süresinde 23,9 dakika, senaryo 7'de triyaj hemşire sayısının 1 ve yatak sayısının 2 artırılmasıyla 29,5 dakika, senaryo 8'de doktor sayısının, triyaj hemşire sayısının ve kayıt personeli sayısının 1 er artırılmasıyla 40,2 dakika, senaryo 9'da triyaj hemşire sayısının ve kayıt personeli sayısının 1 er artırılmasıyla 17,3 dakika ve senaryo 10'da doktor sayısının, triyaj hemşire sayısının ve kayıt personeli sayısının 1 er, yatak sayısının 2 artırılmasıyla 54,3 dakika gibi büyük azalma görülmüştür.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Hastanelerin acil servis bölümlerinde, hasta süreç akışının işleyişi ve performansı büyük önem taşımaktadır. Belirsizliğin ve karmaşıklığın fazla olduğu, çok büyük ve karmaşık sistemler olan acil servislerde hasta süreç akışında birtakım zorluklar yaşanmaktadır. Bu zorlukların birçoğu, hastaların acil serviste geçirdikleri sürenin fazla olmasıyla ve yaşadıkları uzun bekleme süreleriyle ilişkilidir. Bu nedenle, acil servis bölümleri için yapılan süreç ve kaynak planlamasının önemi gün geçtikçe artmaktadır.

Bu tez çalışmasında, simülasyon yöntemi olarak karmaşık ve büyük sistemleri temsil etme yeteneği sebebiyle sistem dinamiği yaklaşımı kullanılmıştır. Çalışmanın temel amacı, sistem dinamiği simülasyon yöntemiyle, çalışmanın gerçekleştirildiği hastanenin acil servis bölümünde oluşan hasta süreç akışının iyileştirilmesi ve hastalar için acil servis bölümünde oluşan uzun bekleme sürelerini azaltmak için analiz yapılarak alternatif senaryoların üretilmesidir.

Bu kapsamda, öncelikle hastanenin acil servis bölümü için Bizagi Modeller kullanılarak süreç akış diyagramı hazırlanmıştır. Daha sonra sistem dinamiği yönteminin kavramsal model adımında Anylogic yazılımı kullanılarak etki diyagramı oluşturulmuştur. Etki diyagramı üzerinden sisteme ait değişkenler, değişkenler arasındaki pozitif ve negatif ilişkiler ve oluşan pekiştirici ve dengeleyici döngüler verilmiştir. Kavramsal modelin oluşturulmasının ardından hastaneden alınan ve modellemede kullanılacak veriler üzerinde SPSS yazılımı kullanılarak gerekli analizler yapılmıştır. Son olarak kavramsal model adımında oluşturulan etki diyagramı, Anylogic yazılımı ile model elemanları için matematiksel denklemleri içeren stok ve akış diyagramına dönüştürülerek benzersiz bir simülasyon modeli oluşturulmuştur.

Önerilen model, hastaların acil servise girdikleri andan acil servisten çıktıkları ana kadar geçen süre içinde oluşan hasta süreç akışını içermektedir. Simülasyon modeli, sisteme ait bazı kısıtlar ele alınarak hastaneden alınan gerçek verilerle çalıştırılmıştır. Doğrulama ve onaylama adımlarında modelden elde edilen çıktılar kullanılarak, simülasyon modelinin kavramsal modeli ve gerçek sistemi temsil edip etmediği kontrol edilmiştir. Doğrulama adımında,

simülasyon modelinin kavramsal modeli temsil etmesiyle birlikte bazı kısıtlar sebebiyle birtakım farklılıklar tespit edilmiş ve simülasyon modeli üzerinde gerekli değişiklikler yapılmıştır. Onaylama adımında ise sistem için bazı önemli performans ölçütleri üzerinden, modelden elde edilen çıktılar ile gerçek sistem verileri, Minitab istatistik yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen iki örneklem t-testi ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, önerilen modelin %95 güvenle gerçek sistemi temsil ettiği görülmüştür.

Doğrulama ve onaylama adımlarında başarılı sonuç alınmasının ardından, mevcut durumu iyileştirerek hastalar için oluşan uzun bekleme sürelerini azaltmak amacıyla, sistemin kaynak sayılarında (doktor, triyaj hemşiresi, kayıt personeli ve yatak sayısı) değişiklikler yapılarak alternatif senaryolar oluşturulmuştur. Senaryolar için oluşturulan girdilerle model çalıştırıldıktan sonra elde edilen sonuçlar incelendiğinde, sürelerinin azalması üzerinde doktor sayısının artırılmasının en fazla etkiye, kayıt personeli sayısının artırılmasının ise en az etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Hastanenin, alternatif senaryolara ait sonuçları göz önünde bulundurarak kaynaklar üzerinde değişiklik yapmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

Çalışma gerçekleştirilirken, hasta süreçlerine ait tüm kayıtların tutulmaması (laboratuvarda geçirilen süre, sonuç gösterme süresi vb.) sebebiyle veri konusunda birtakım sorunlar yaşanmıştır. Bu nedenle, oluşturulan modellerden daha sağlıklı sonuçların alınabilmesi için, hastanelerde hasta süreçlerine ait tüm verilerin anlık, detaylı bir şekilde tutulmasına ihtiyaç olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca, hastanenin diğer kaynaklarının da (X-Ray cihaz sayısı vb.) dâhil edilmesiyle yapılacak ayrıntılı bir çalışma ile hastaların acil serviste geçirdikleri ortalama sürenin ve hasta bekleme sürelerinin daha fazla azalacağı ön görülmektedir.

Acil servis bölümünde oluşan uçtan uca hasta süreç akışını iyileştirmek amacıyla, sistem dinamiği simülasyon yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışma, literatürde nadir bulunan çalışmalardan biridir. Bu nedenle, tez çalışmasının, gelecekte bu alanda yapılacak olan çalışmalar için örnek teşkil etmesi ve geliştirilerek sadece acil servis bölümünde değil sağlık hizmetlerinin farklı birimlerinde de kullanılması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] C. A. Arboleda, D. M. Abraham and A. R. Lubitz, Simulation As a Tool to Assess the Vulnerability of the Operation of a Health Care Facility, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, vol. 21, no. 4, pp. 302-312, **2007**.
- [2] W. Abo-Hamad and A. Arisha, Simulation-Based Framework to Improve Patient Experience in an Emergency Department, *European Journal of Operational Research*, vol.224, no. 1, pp. 154-166, **2013**.
- [3] T. R. Rohleder, D. P. Bischak and L. B. Baskin, Modeling Patient Service Centers with Simulation and System Dynamics, *Health Care Manage Science*, vol.10, no. 1, pp. 1-12, **2007**.
- [4] G. Guizzi, D. Chiocca and E. Romano, A Model of Process Improvement in the Hospital Emergency Department: Solutions According to the Logic of System Dynamics, *12th International Conference on System Science and Simulation in Engineering (ICOSSSE)*, Morioka, **2013**.
- [5] G. Royston, A. Dost, J. Townshend and H. Turner, Using System Dynamics to Help Develop and Implement Policies and Programmes in Health Care in England, *System Dynamics Review*, vol.15, pp. 293-313, **1999**.
- [6] S. C. Brailsford, System Dynamics: What's in it for Healthcare Simulation Modelers, *Winter Simulation Conference*, Miami, **2008**.
- [7] J. B. Homer and G. B. Hirsch, System Dynamics Modeling for Public Health: Background and Opportunities, *American Journal of Public Health*, vol.96, pp. 452-458, **2006**.
- [8] W. Rashwan, W. Abo-Hamad and A.Arisha, A System Dynamics View of the Acute Bed Blockage Problem in the Irish Healthcare System, *European Journal of Operational Research*, vol.247, no. 1, pp. 276-293, **2015**.
- [9] J. Banks, J. S. Carson, B. L. Nelson and D. Nicol, *Discrete Event System Simulation*, Prentice Hall, Upper Saddle River, **2010**.
- [10] A. M. Law, *Simulation Modeling and Analysis*, McGraw-Hill, New York **2000**.
- [11] A. Maria, *Introduction to Modeling and Simulation*, Winter Simulation Conference, Atlanta, **1997**.
- [12] C. A. Chung, *Simulation Modeling Handbook*, CRC Press LLC, Salt Lake City, **2004**.
- [13] C. D. Pegden, R. E. Shannon and R. P. Sadowski, *Introduction to Simulation Using SIMAN*, McGraw-Hill, New York, **1995**.

- [14] F. S. Hillier and G. J. Lieberman, Introduction to Operations Research, McGraw Hill, Singapore, **2009**.
- [15] J. S. Carson, Introduction to Modeling and Simulation, 37th Conference on Winter Simulation, Orlando, **2005**.
- [16] D. Gianni, A. Tolk and A. D'Ambrogio, Modeling and Simulation-Based Systems Engineering Handbook, CRC Press, New York, **2017**.
- [17] R. G. Sargent, An Overview of Verification and Validation of Simulation Models, Winter Simulation Conference, Atlanta, **1987**.
- [18] P. K. Davis, Generalizing Concepts and Methods of Verification, Validation and Accreditation (VV&A) for Military Simulations, RAND, Santa Monica, **1992**.
- [19] N. A. Karagöz ve O. Demirörs, Simülasyon Sistemleri İçin Kavramsal Model Geliştirmeye Model Tabanlı Bir Yaklaşım, USMOS05, Ankara, **2005**.
- [20] G. Linnéusson, On System Dynamics as an Approach for Manufacturing Systems Development, Thesis for the Degree of Licentiate of Engineering Sweden, Chalmers University Of Technology, Sweden, **2009**.
- [21] J. W. Forrester, System Dynamics, Systems Thinking, and Soft OR, System Dynamics Review, vol.10, pp. 245-256, **1994**.
- [22] J. Sterman, Learning in and About Complex Systems, System Dynamics Review, vol.10, pp. 291-330, **1994**.
- [23] S. Simonovic, Managing Water Resources: Methods and Tools for a Systems Approach, UNESCO Publishing, Paris, **2009**.
- [24] P. Holmström, Bringing System Dynamics into Action Research, Sweden: Thesis For The Degree Of Licentiate Of Philosophy, Chalmers University Of Technology, **2017**.
- [25] S. Ahmad and S. P. Simonovic, Spatial System Dynamics: New Approach For Simulation Of Water Resources Systems. Simulation of Water Resources Systems, Journal of Computing in Civil Engineering, vol.18, no. 1, pp. 331-340, **2004**.
- [26] I. Winz, G. Brierley and S. Trowsdale, The Use of System Dynamic Simulation in Water Resources Management, Water Resource Management , vol.23, pp. 1301-1323, **2009**.
- [27] Y. Barlas, Formal Aspects of Model Validity and Validation in System Dynamics, System Dynamics Review, vol.12, pp. 183-210, **1996**.
- [28] J. Randers, Elements of the System Dynamics Method, Journal of the

- Operational Research Society, vol.48, no. 11, p. 1144–1145, **1997**.
- [29] J. D. W. Morecroft, Strategic Modelling and Business Dynamics: A Feedback Systems Approach, Wiley, United Kingdom, **2015**.
- [30] G. Richardson ve A. J. Pugh, Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO, Journal of the Operational Research Society, vol.48, no. 11, p. 1146, **1997**.
- [31] D. Kim, Toolbox: Guide for Drawing Causal Loop Diagrams, The Systems Thinker, vol.122, pp. 5-6, **1992**.
- [32] S. Brailsford ve N. Hilton, A Comparison of Discrete Event Simulation and System Dynamics for Modelling Health Care Systems, Operational Research Applied to Health Services (ORAHS), **2001**.
- [33] J. Sterman, Business Dynamics: Systems Thinking and Modelling for a Complex World, Mcgraw-Hill, Boston, **2000**.
- [34] C. W. Kirkwood, System Dynamics Methods: A Quick Introduction, <https://www.public.asu.edu/~kirkwood/sysdyn/SDIntro/SDIntro.htm> (Erişim tarihi tarihi **3 Kasım 2018**).
- [35] Sistem Düşüncesi Derneği, Sistem Dinamikleri, <http://www.sistemdynamikleri.net/> (Erişim tarihi tarihi **11 Kasım 2018**).
- [36] D. Woodlock, Intro to System Dynamics Video - Delays and Oscillation, <https://www.youtube.com/watch?v=hyH1HfQ98N4> (Erişim tarihi tarihi **6 Aralık 2018**).
- [37] B. Kitchenham, O. Brereton, D. Budgen, M. Turner, J. Bailey and S. Linkman, Systematic Literature Reviews in Software Engineering – A Systematic Literature Review, Information and Software Technology, vol.51, no. 1, pp. 7-15, **2009**.
- [38] E. Cabreraa, M. Taboadab, M. L. Iglesiasc, F. Epeldec, E. Luquea, Simulation Optimization for Healthcare Emergency Departments, Procedia Computer Science , vol.9, p.p. 1464 – 1473, **2012**.
- [39] A. G. Uriarte, E. R. Zúñiga, M. U. Moris and A. H. C. Ng, System Design and Improvement of an Emergency Department Using Simulation-Based Multi-Objective Optimization, Journal of Physics: Conference Series, Mexico City, **2015**.
- [40] F. Chetouane and C. Duguay, Modeling and Improving Emergency Department Systems Using Discrete Event Simulation, SIMULATION, vol.88, pp. 311-320, **2007**.
- [41] F. McGuire, Using Simulation to Reduce Length of Stay in Emergency

Departments, Winter Simulation Conference, Florida, **1994**.

- [42] M. Laskowski, R. D. McLeod, M. R. Friesen, B. W. Podaima and A. S. Alfa, Models of Emergency Departments for Reducing Patient Waiting Times, PLoS One, vol.4, no. 7, pp. 1-12, **2009**.
- [43] A. Kolker, Process Modeling of Emergency Department Patient Flow: Effect of Patient Length of Stay on ED Diversion, J Med Syst, vol.32, pp. 389-401, **2008**.
- [44] L. Keshtkar, K. Salimifard, N. Faghih, A Simulation Optimization Approach for Resource Allocation in an Emergency Department, QScience Connect, vol.8, **2015**.
- [45] L. Luo, Y. Zhang, F. Qing, H. Ding, Y. Shi, and H. Guo, A Discrete Event Simulation Approach for Reserving Capacity for Emergency Patients in the Radiology Department, BMC Health Services Research, vol.18, **2018**.
- [46] D. A. Marshall, L. Burgos-Liz, M. J. IJzerman, W. Crown, W. V. Padula, P. K. Wong, K. S. Pasupathy, M. K. Higashi and N. D. Osgood, Selecting A Dynamic Simulation Modeling Method for Health Care Delivery Research- Part 2: Report of the ISPOR Dynamic Simulation Modeling Emerging Good Practices Task Force, Value In Health, vol.18, pp. 147-160, **2015**.
- [47] D. A. Marshall, L. Burgos-Liz, M. J. IJzerman, W. Crown, W. V. Padula, P. K. Wong, K. S. Pasupathy, M. K. Higashi and N. D. Osgood, Applying Dynamic Simulation Modeling Methods in Health Care Delivery Research- The SIMULATE Checklist: Report of the ISPOR Simulation Modeling Emerging Good Practices Task Force, Value in Health Volume, vol.18, pp. 5-16, **2015**.
- [48] D. Kollek, Emergency Department Overcrowding, JAMC, vol.167, no. 6, pp. 626-627, **2002**.
- [49] A. P. Sharoda and C. R. Madhu, A Systematic Review of Simulation Studies Investigating Emergency Department Overcrowding, SIMULATION, vol.86, no. 8, p. 559-571, **2010**.
- [50] V. A. Lattimer, P. Tarnaras, J. C. Turnbull and S.C. Brailsford, Emergency and On-Demand Health Care: Modelling A Large Complex System, Journal of the Operational Research Society, vol.55, pp. 34-42, **2004**.
- [51] D. Ö. Şimşek, Triaj Sistemlerine Genel Bakış ve Türkiye’de Acilservis Başvurularını Etkileyen Faktörlerin Lojistik Regresyon İle Belirlenmesi, Sosyal Güvence Dergisi, vol.7, no. 13, pp. 84-115, **2018**.
- [52] Sağlık Bakanlığı, Yataklı Sağlık Tesislerinde Acil Servis Hizmetlerinin Uygulama Usul ve Esasları Hakkında Tebliğ, **2009**.

[53] AnyLogic: Simulation Modeling Software Tools & Solutions for Business, <https://www.anylogic.com/> (Erişim tarihi **6 Ocak 2019**).

[54] D. C. Montgomery and G. C. Runger, Applied Statistics and Probability for Engineers, Wiley, United States of America, **2002**

EKLER

EK 1 - Tezden Türetilmiş Bildiriler

K.Karakurt, B.Yüksel ve A.Tarhan, "Sağlık Hizmetlerinde Hasta Triage Süreçlerinin Optimizasyonu İçin Dinamik Sistem Simülasyon Modeli (Dynamic System Simulation Model for Optimization of Patient Triage Processes in Healthcare)", Sağlık İçin Yazılım Mühendisliği Alt Alanı, XII. Ulusal Yazılım Mühendisliği Sempozyumu, 10-12 Eylül 2018, İstanbul (in CEUR Proceedings, Vol. 2201, Paper31).

K.Karakurt and A.Tarhan, "Optimization of Patient Triage Process in Healthcare via Dynamic System Simulation: A Literature Review", The 11th International Congress On Quality in Healthcare Accreditation And Patient-Employee Safety, 26-29 April 2017, Belek, Antalya.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Kevser KARAKURT
Doğum yeri :Erzurum
Doğum tarihi :03.05.1987
Medeni hali :Bekar
Yazışma adresi :Eymir Mah. Toki Konutları L5-20 Blok No:12
Gölbaşı/ANKARA
Telefon :0554 701 4690
Elektronik posta adresi :kevser.karakurt@gmail.com
Yabancı dili :İngilizce – İyi Seviyede

EĞİTİM BİLGİLERİ

Lisans :Çankaya Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği (Tam Burslu), 2011, 3.53/4.00
Yüksek Lisans :Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 2019, 3.08/4.00

İŞ TECRÜBESİ

2011 Ekim – 2013 Ağustos :Yazılım Uzmanı, INNOVA IT Solutions
2013 Ağustos – 2014 Nisan :Bilgisayar Mühendisi, DMO (Devlet Malzeme Ofisi Genel Müdürlüğü) Bilgi İşlem Daire Başkanlığı
2014 Nisan – Halen :Uzman, Kültür ve Turizm Bakanlığı Bilgi Sistemleri Daire Başkanlığı

YAYINLAR

K.Karakurt, B.Yüksel ve A.Tarhan, "Sağlık Hizmetlerinde Hasta Triaj Süreçlerinin Optimizasyonu İçin Dinamik Sistem Simülasyon Modeli (Dynamic System Simulation Model for Optimization of Patient Triage Processes in Healthcare)", Sağlık İçin Yazılım Mühendisliği Alt Alanı, XII. Ulusal Yazılım Mühendisliği Sempozyumu, 10-12 Eylül 2018, İstanbul (in CEUR Proceedings, Vol. 2201, Paper31).

K.Karakurt and A.Tarhan, "Optimization of Patient Triage Process in Healthcare via Dynamic System Simulation: A Literature Review", The 11th International Congress On Quality in Healthcare Accreditation And Patient-Employee Safety, 26-29 April 2017, Belek, Antalya.



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 14/06/2019

Tez Başlığı: ACİL SERVİS SÜRECİNİN SİSTEM DİNAMİĞİ SİMÜLASYON YÖNTEMİYLE ANALİZİ

Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 114 sayfalık kısmına ilişkin, 27/05/2019 tarihinde tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 1'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/~~dahil~~
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.


14/06/2019

Adı Soyadı: KEVSER KARAKURT

Öğrenci No: N12226963

Anabilim Dalı: Bilgisayar Mühendisliği

Programı: Tezli Yüksek Lisans Programı

Statüsü: Y.Lisans Doktora Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.



Dr. Öğr. Üyesi Ayça TARHAN

