



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BİLGİ VE LOJİSTİK YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DEPREM SONRASINDA ACİL SAĞLIK HİZMETLERİNDE
LOJİSTİK SÜREÇLERİN BEKLEME HATTI (KUYRUK)
MODELİ İLE OPTİMİZASYONU: BARTIN İLİ ÖRNEĞİ

DERİN DÖNMEZ TOPÇUOĞLU

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ EMİNE GENÇ

BARTIN-2023



T.C.

**BARTIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BİLGİ VE LOJİSTİK YÖNETİMİ ANABİLİM DALI**

**DEPREM SONRASINDA ACİL SAĞLIK HİZMETLERİNDE LOJİSTİK
SÜREÇLERİN BEKLEME HATTI (KUYRUK) MODELİ İLE OPTİMİZASYONU:
BARTIN İLİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Derin DÖNMEZ TOPÇUOĞLU

BARTIN-2023

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Dr. Öğr. Üyesi Emine GENÇ ve Dr. Öğr. Üyesi Bayram DÜNDAR danışmanlığında hazırlamış olduğum “DEPREM SONRASINDA ACİL SAĞLIK HİZMETLERİNDE LOJİSTİK SÜREÇLERİN BEKLEME HATTI (KUYRUK) MODELİ İLE OPTİMİZASYONU: BARTIN İLİ ÖRNEĞİ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

25.08.2023

Derin DÖNMEZ TOPÇUOĞLU

ÖNSÖZ

Tez çalışması boyunca yol gösterici, destekleyici ve değerli öneriler sunan, çalışmaya ve emeğe olan inancımı ve saygımı pekiştiren çok değerli danışmanlarım Dr. Öğretim Üyesi Bayram DÜNDAR'a ve Dr. Öğretim Üyesi Emine GENÇ'e çok teşekkür ederim.

Tezin gelişmesine katkıda bulunan ve zor zamanlarda desteğini esirgemeyen Hüseyin AYDIN'a teşekkür ederim.

Hayatımın her anında bana destek olan sevgili annem Fatma CEYLAN DÖNMEZ ve sevgili babam Ahmet DÖNMEZ'e ; varlıkları ile bana güç veren ve yine varlıkları ile kendimi şanslı hissettiğim sevgili kardeşlerim Seda ve Berkan DÖNMEZ'e ve en zorlu süreçlerimde yanımda olan, yol arkadaşım, hayattaki en büyük hediyem çok değerli eşim Erdi TOPÇUOĞLU'na teşekkür ederim.

Derin DÖNMEZ TOPÇUOĞLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DEPREM SONRASINDA ACİL SAĞLIK HİZMETLERİNDE LOJİSTİK SÜREÇLERİN BEKLEME HATTI (KUYRUK) MODELİ İLE OPTİMİZASYONU: BARTIN İLİ ÖRNEĞİ

Derin DÖNMEZ TOPÇUOĞLU

Bartın Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Bilgi ve Lojistik Yönetimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Emine GENÇ

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Bayram DÜNDAR

Bartın-2023, sayfa: 111

Afetler, halk sağlığı terimiyle, zarar gören nüfusun hayatta kalmasına yardımcı olmak ve bunu sağlamak için çok çeşitli acil durum kaynaklarına ihtiyaç duyulmasıyla sonuçlanan yıkıcı olaylardır. Afetler sonrasında toplumun bir kısmını ya da tamamını etkileyen sosyal ve ekonomik kayıplar ortaya çıkmakta, mevcut kaynaklar yetersiz kalmakta ve özellikle acil sağlık hizmetlerinin yükü artmaktadır. Kısa sürede çok sayıda insanın yaralanmasına ya da ölümüne neden olan afetlerin sonrasında acil sağlık hizmetlerinde etkili ve verimli hizmet sunumu ön plana çıkmaktadır. Bu doğrultuda bu alanda yapılan araştırmalar önem arz etmektedir. Diğer tüm afetler gibi depremler de şiddetine, yıkım gücüne ve etkilediği alandaki nüfus yoğunluğuna bağlı olmak koşuluyla pek çok insanı acil tıbbi yardıma muhtaç hale getirmektedir.

Tezin temel amacı deprem sonrası acil yardıma ihtiyaç duyan yaralıların uzun bekleme sürelerini azaltmak, yaralıların daha fazla zarar görmesini ve ölümlerini engellemek için gerekli olan acil sağlık hizmetini en kısa sürede ulaştırmak için uygulanabilir bir model oluşturmaktır. Bu amaç doğrultusunda bekleme hattı teorisinden faydalanarak karışık tam

sayılı doğrusal bir matematiksel model oluşturulmuştur. Bu modelde amaç deprem bölgesinde atanan ambulans sayısına göre minimum bekleme zamanın tespit edilmesi, potansiyel ambulans bekleme istasyonları arasında bütçe ve kapasite kısıtını göz önüne alarak minimum zaman diliminde olay yerine müdahale edecek ambulans bekleme yerlerinin tespiti ve müdahale edilen yaralıların en yakın hastaneye atanmasını oluşturmaktadır. Oluşturulan modelde sistem etkinliğini artıracak çözümler bulunmuş, bu model kullanılarak bekleme süresini azaltmayı amaçlayan senaryolar üretilmiştir. Karışık tam sayılı programlama modelin test edilmesi amacıyla Bartın ili şehir merkezi verileri CPLEX çözücüsü ile optimal değerler alınmıştır.

Acil sağlık hizmetlerinde yaralılara müdahale süresinin minimize edilmesine yönelik istasyon kapasiteleri, ambulans sayıları ve temel performans göstergeleri olmak üzere üç farklı senaryo geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda istasyon kapasitesinin arttırılmasının yaralılara müdahale etme süresini değiştirmediği, ambulans sayısının arttırılmasının ise bekleme süresini önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir. Temel performans göstergelerinin esnetilmesi senaryosunda ortalama geliş hızı (λ) sabit kalmış, ortalama hizmet oranı (μ) değeri arttırılıp azaltılmıştır. Sonuçta ortalama hizmet oranı değeri arttırıldığında bekleme müddeti azalmış, ortalama hizmet oranı değeri azaldığında ise bekleme müddeti artmıştır. Elde edilen bulgular sonucunda araştırmacılara ve karar vericilere yol gösterici nitelikte önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Acil sağlık hizmetleri, ambulans atama, bekleme hattı teorisi, lojistik yönetimi, optimizasyon.

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

OPTIMIZATION OF EMERGENCY HEALTH SERVICE LOGISTIC PROCESSES USING QUEUE MODELING AFTER AN EARTHQUAKE: A CASE STUDY OF BARTIN PROVINCE

Derin DÖNMEZ TOPÇUOĞLU

Bartın University

Graduate School

Department of Information and Logistics Management

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Emine GENÇ

Second Advisor: Assist. Prof. Dr. Bayram DÜNDAR

Bartın-2023, pp: 111

After disasters, a portion or the entirety of the society is negatively affected, leading to an increase in social and economic losses, inadequate existing resources, and a consequent rise in the burden on emergency healthcare services in developing countries. Disasters, which cause numerous injuries and deaths in a short period, result in a heightened demand for urgent medical assistance. However, the capacity of emergency healthcare services does not increase proportionally. These reasons necessitate an increase in both the quantity and quality of research in the field to ensure the effectiveness of service delivery in emergency healthcare. Like all other disasters, earthquakes, depending on their intensity, destructive power, and population density in the affected area, render many individuals in need of urgent medical aid.

This thesis primarily aims to develop a feasible model to reduce the waiting time for injured individuals in need of emergency assistance after earthquakes, and to deliver the required urgent healthcare services in the shortest possible time to prevent further harm and fatalities. The constructed model utilizes the waiting line theory, which detects real-life situations, and

generates a mathematical model that employs solutions to enhance system efficiency. The model is validated using the GAMS program and proposes scenarios to reduce waiting times. The case study is centered on the city center of Bartın. To test the developed models, the GAMS program with the CPLEX solver is employed for mixed integer programming, and the ANTIGONE solver is utilized for nonlinear constraints.

In the scenarios developed based on station capacities, ambulance numbers, and key performance indicators, it is observed that increasing station capacities does not alter the objective function of minimizing the intervention time for injured individuals. Moreover, the waiting time remains unchanged regardless of whether station capacities are decreased or increased. In the scenarios based on ambulance numbers, increasing the number of ambulances significantly reduces the waiting time. In the flexibility scenario of key performance indicators, the average arrival rate λ is kept constant while the average service rate μ is both increased and decreased. It is observed that the waiting time decreases when the average service rate μ is increased, and it increases when the average service rate μ is decreased. The findings of this thesis have a guiding value for decision-makers.

Keywords: Ambulance allocation, emergency health services, optimization, queueing theory.

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|------|
| BEYANNAME | ii |
| ÖNSÖZ..... | iii |
| ÖZET..... | iv |
| ABSTRACT | vi |
| İÇİNDEKİLER | viii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | x |
| TABLolar DİZİNİ | xi |
| EKLER DİZİNİ | xiv |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ..... | xv |
| KISALTMALAR | xv |
| 1. GİRİŞ..... | 16 |
| 1.1 Çalışmanın Arka Planı ve Sorunsalı | 16 |
| 1.2 Amaç ve Hedefler | 19 |
| 1.3 Önem ve Kapsam | 19 |
| 1.4 Tezin Yapısı | 20 |
| 2. LİTERATÜR ÖZETİ | 22 |
| 2.1 Bekleme Hattı Teorisi..... | 22 |
| 2.2.1 Bekleme Hattı Teorisinin Tarihsel Temelleri | 25 |
| 2.2.2 Bekleme Hattı Teorisinin Temel Öğeleri | 26 |
| 2.2.3 Bekleme Hattı Teorisinin Yapısı | 27 |
| 2.2.4 Bekleme Hattı Teorisi Modellerinin Analizi | 31 |
| 2.2.5 Bekleme Hattı Teorisinin Terminolojisi | 32 |
| 2.2.6 Bekleme Hattı Sistemlerinde Maliyetler | 32 |
| 2.2.7 Bekleme Hattı Modelinin Analizinde Kullanılan Dağılımlar | 35 |
| 2.3 Acil Sağlık Hizmetlerinde Lojistik Yönetimi ve Ambulans Sistemi | 38 |
| 2.3.1 Acil Sağlık Hizmetlerinin Tarihçesi | 38 |
| 2.3.2 Acil Sağlık Hizmetleri Sisteminde Ambulans Örgütlenmesi | 39 |
| 2.3.3 Acil Sağlık Hizmetlerinin Önemi | 39 |

| | |
|--|------------|
| 2.3.2 Türkiye’de Acil Sağlık Hizmetleri ve 112 Acil Çağrı Merkezi..... | 41 |
| 2.4 Afetlerin Acil Sağlık Hizmetlerine Etkisi | 46 |
| 2.5 Afet Durumlarında Acil Sağlık Hizmetlerinde Matematiksel Modellerin Kullanımı..... | 48 |
| 3. MATERYAL VE METOT | 55 |
| 3.1 Bartın İlinin Demografik Özellikleri, Mevcut Sağlık Altyapısı ve Acil Sağlık Birimleri | 55 |
| 3.2 Veri Toplama Yöntemi..... | 56 |
| 3.3 Parametrelerin Belirlenmesi ve Matematiksel Modelin Geliştirilmesi | 60 |
| 3.3.1 Geliştirilen Matematiksel Modelin Bartın İline Uygulanması | 66 |
| 3.3.2 Bekleme Hattı Teorisi Modellerini Kullanarak Değişen Ambulans Sayısına Göre Bekleme Sürelerinin (ωai) Hesaplanması | 71 |
| 3.3.3 Değişen Hizmet Oranı (μ)’na Göre Bekleme Sürelerinin Analizi..... | 80 |
| Ortalama geliş hızı sabit tutulup ($\lambda = \%12,42$), ortalama hizmet oranı arttırıldığında (μ 13’ten 13,50’a çıkarıldığında) (Şekil 3.3’te görüldüğü üzere hizmet oranı arttırıldığında yaralıların bekleme müddeti, birinci grafikte görüldüğü üzere ambulans sayısı 2 iken 86 dakikadan, 76 dakikaya inmiştir. Hizmet oranı arttırıldığında ambulans yoğunluğu da azalmış, bir ambulans %96 yoğun iken, %92 yoğun duruma gelmiştir..... | 80 |
| 3.4 Matematiksel Modelin Doğrulanması ve Senaryoların Karşılaştırılması | 88 |
| 3.4.1 İstasyon Kapasitelerinin Esnetilmesi Senaryosu | 90 |
| 3.4.2 Ambulans Sayılarının Esnetilmesi Senaryosu | 96 |
| 3.4.3 Temel Performans Göstergelerinin Esnetilmesi Senaryosu | 98 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA..... | 102 |
| 4.1 Matematiksel Modellerin Sonuçları ve Analizi | 102 |
| 4.2 Bulguların Yorumlanması ve Sonuçların Tartışılması | 108 |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER | 111 |
| 5.1 Çalışmanın Limitleri | 111 |
| 5.2 Öneriler ve Gelecek Çalışmalar | 113 |
| KAYNAKLAR | 115 |
| BİBLİYOGRAFYA | 122 |
| EKLER..... | 123 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| Şekil No | Sayfa No |
|---|-------------|
| 2.1: Tek kuyruk, tek servis sistemi | 29 |
| 2.2: Çoklu kuyruk, paralel halinde çoklu servis sistemi | 29 |
| 2.3: Tek kuyruk, paralel halinde çoklu servis sistemi | 29 |
| 2.4: Tek kuyruk, seri halinde çoklu servis sistemi | 29 |
| 2.5: Bekleme hattı modelinde optimal hizmet düzeyi | 35 |
| 2.6: Matematiksel modelleme aşamaları..... | 49 |
| 3.1: Bartın ili acil toplanma alanları | 57 |
| 3.2: Bartın ili etkilenen bölgeler ve aday istasyonlar | 58 |
| 3.3: λ sabit μ arttırılması senaryosuna göre bekleme müddeti değişimi..... | 81 |
| 3.4: λ sabit μ (13'ten 13,50'a yükseltildiğinde) arttırılması senaryosuna göre ambulans yoğunlukları..... | 82 |
| 3.5: λ sabit μ azaltılması senaryosuna göre bekleme müddeti değişimi..... | 83 |
| 3.6: λ sabit μ azaltılması senaryosuna göre ambulans yoğunlukları | 84 |
| 3.7: Senaryoların görselleştirilmesi | 95 |
| 4.1: Ambulans sayısı arttığında yaralıların bekleme süresinin değişimi | 105 |
| 4.2: Hastanelerin konumu | 106 |
| 4.3: Tüm senaryolarda açılan istasyonlar..... | 107 |
| 4.4: Açılmayan istasyonlar..... | 107 |

TABLolar DİZİNİ

| Tablo | Sayfa |
|--|---|
| No | No |
| 3.1: Bölgeler ve hastaneler arasındaki süre- σ_{ih} (dk) | 58 |
| 3.2: Etkilenen bölgelerden istasyona varış süreleri- τ_{ij} | 59 |
| 3.3: Büyüklük (Magnitüd)/Şiddet Karşılaştırması (<i>Magnitüd/Şiddet Karşılaştırması</i> , t.y.) | 68 |
| 3.4: κ 'nın %5 senaryosuna göre Bartın ili 13 bölgenin ortalama geliş ve hizmet hızı | 71 |
| 3.5: κ 'nın %5 senaryosuna göre Bölge-1'in temel performans kriterleri | 72 |
| 3.6: κ 'nın %5 senaryosuna göre Bölge-2'nin temel performans kriterleri | 73 |
| 3.7: κ 'nın %5 senaryosuna göre Bölge-3'ün temel performans kriterleri | 74 |
| 3.8: κ 'nın %5 senaryosuna göre Bölge-4'ün temel performans kriterleri | 74 |
| 3.9: κ 'nın %5 senaryosuna göre Bölge-5'in temel performans kriterleri | 75 |
| 3.10: κ 'nın %5 senaryosuna göre Bölge-6'nın temel performans kriterleri | 75 |
| 3.11: κ 'nın %5 senaryosuna göre Bölge-7'nin temel performans kriterleri | 76 |
| 3.12: κ 'nın %5 senaryosuna göre Bölge-8'in temel performans kriterleri | Hata! Yer işareti tanımlanmamış. |
| 3.13: κ 'nın %5 senaryosuna göre Bölge-9'un temel performans kriterleri..... | 77 |
| 3.14: κ 'nın %5 senaryosuna göre Bölge-10'un temel performans kriterleri..... | 78 |
| 3.15: κ 'nın %5 senaryosuna göre Bölge-11'in temel performans kriterleri | 79 |
| 3.16: κ 'nın %5 senaryosuna göre Bölge-12'nin temel performans kriterleri..... | 79 |
| 3.17: κ 'nın %5 senaryosuna göre Bölge-13'ün temel performans kriterleri..... | 80 |
| 3.18: İstasyon/Geçici Tıp Merkezi Maliyetleri | 89 |
| 3.19: Birinci senaryoya göre istasyon kapasiteleri | 90 |

| | |
|---|----|
| 3.20: Birinci senaryoya göre bölgelere atanan istasyonlar | 90 |
| 3.21: Birinci senaryoya göre açılan istasyonlara atanan toplam ambulans sayıları | 91 |
| 3.22: Birinci senaryoya göre bölgelere atanan toplam ambulans sayıları | 91 |
| 3.23: Birinci senaryoya göre bölgelerin atandıkları hastaneler | 91 |
| 3.24: Azaltılmış istasyon kapasitesi senaryosuna göre istasyon kapasiteleri..... | 92 |
| 3.25: Azaltılmış istasyon kapasitesi senaryosuna göre bölgelere atanan istasyonlar | 92 |
| 3.26: Azaltılmış istasyon kapasitesi senaryosuna göre istasyonlara atanan ambulans sayıları | 93 |
| 3.27: Azaltılmış istasyon kapasitesi senaryosuna göre bölgelere atanan ambulans sayısı .. | 93 |
| 3.28: Azaltılmış istasyon kapasitesi senaryosuna göre bölgelerin atandığı hastaneler | 93 |
| 3.29: Artırılmış istasyon kapasitesi senaryosuna göre istasyon kapasiteleri | 94 |
| 3.30: Artırılmış istasyon kapasitesi senaryosuna göre bölgelere atanan istasyonlar | 94 |
| 3.31: Artırılmış istasyon kapasitesi senaryosuna göre açılan istasyonlara atanan toplam ambulans sayıları..... | 94 |
| 3.32: Artırılmış istasyon kapasitesi senaryosuna göre bölgelere atanan ambulans sayısı ... | 95 |
| 3.33: Artırılmış istasyon kapasitesi senaryosuna göre bölgelerin atandığı hastaneler | 95 |
| 3.34: $\theta = 40$ 'a göre bölgelerin atandığı istasyonlar..... | 96 |
| 3.35: $\theta = 40$ 'a göre açılan istasyonlara atanan toplam ambulans sayıları | 97 |
| 3.36: $\theta = 40$ 'a göre bölgelere atanan ambulans sayısı | 97 |
| 3.37: $\theta = 50$ 'ye göre bölgelerin atandığı istasyonlar..... | 97 |
| 3.38: $\theta = 50$ 'ye göre açılan istasyonlara atanan toplam ambulans sayıları | 98 |
| 3.39: $\theta = 50$ 'ye göre bölgelere atanan ambulans sayısı | 98 |
| 3.40: λ sabit μ arttırılması senaryosu | 98 |
| 3.41: λ sabit μ arttırılması senaryosuna göre bölgelerin atandığı istasyonlar | 99 |

| | |
|--|-----|
| 3.42: λ sabit μ arttırılması senaryosuna göre açılan istasyonlara atanan toplam ambulans sayıları | 99 |
| 3.43: λ sabit μ arttırılması senaryosuna göre bölgelere atanan ambulans sayısı..... | 100 |
| 3.44: λ sabit μ azaltılması senaryosu | 100 |
| 3.45: λ sabit μ azaltılması senaryosuna göre bölgelerin atandığı istasyonlar | 100 |
| 3.46: λ sabit μ azaltılması senaryosuna göre açılan istasyonlara atanan toplam ambulans sayıları | 101 |
| 3.47: λ sabit μ azaltılması senaryosuna göre bölgelere atanan ambulans sayısı | 101 |

EKLER DİZİNİ

| Ek | Sayfa |
|--|--------------|
| No | No |
| EK 1. Bölgeler ve hastaneler atasındaki uzaklık (m) | 123 |
| EK 2. Etkilenen bölgelerin istasyonlara mesafesi | 124 |
| EK 3. Bölgelere ait demografik yapı..... | 125 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|----------------------|---|
| n | : sistemdeki müşteri sayısı (birim) |
| $N(t)$ | : t zamanında sistemdeki müşteri (birim) sayısı |
| $P_n(t)$ | : t zamanında tam olarak n müşteri olma olasılığı |
| P_n | : tam olarak n müşterinin sistemde olduğu kararlı durum olasılığı |
| λ_n | : sistemde n müşteri olduğunda ortalama varış oranı |
| μ_n | : sistemde n müşteri olduğunda ortalama hizmet oranı |
| λ | : tüm n için λ sabit olduğunda ortalama varış oranı |
| μ | : tüm n için μ sabit olduğunda ortalama servis hızı |
| $\rho = \lambda/\mu$ | : kullanım faktörü veya trafik yoğunluğu |
| L_s | : sistemde beklenen müşteri sayısı veya ortalama hat uzunluğu |
| L_q | : sıradaki beklenen müşteri sayısı veya ortalama kuyruk uzunluğu |
| L_w | : boş olmayan kuyruklarda beklenen müşteri sayısı |
| W_s | : sistemdeki bir müşterinin beklenen bekleme süresi |
| W_q | : sıradaki bir müşterinin beklenen bekleme süresi |

KISALTMALAR

| | |
|------|--|
| AFAD | : Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı |
| AS | : Acil Servis |
| GAMS | : The General Algebraic Modeling System |
| KBRN | : Kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer |
| MM | : Mercali Cetveli |
| TÜİK | : Türkiye İstatistik Kurumu |
| YÖK | : Yüksek Öğretim Kurumu |

1. GİRİŞ

Bu bölümde tezin arka planı ve sorunsalı açıklanarak, tezin amacı, önemi, kapsamı, yapısı ve bölümleri hakkında bilgi verilmiştir.

1.1 Çalışmanın Arka Planı ve Sorunsalı

Afetler, depremler, tsunamiler, volkan patlamaları gibi jeofiziksel felaketler, iklim ve hava ilişkili felaketler ile tarım zararlıları ve salgın hastalıklar da içeren büyük felaketlerdir. Birleşmiş Milletler tarafından ‘insan yaşamı da dahil olmak üzere, ekonomik ve çevresel kayıplara neden olarak bir toplumun işleyişini ciddi düzeyde bozan, tehlikeli olaylar’ olarak tanımlanan afetlerin yaşanma sıklığının özellikle son yirmi yılda önemli ölçüde arttığı görülmektedir. 1970 ile 2000 yılları arasında, orta ve büyük ölçekli afetlerin bildirilen sayısı yıllık ortalama olarak 90-100 arasında iken, 2001 ile 2020 yılları arasında bu olayların bildirilen sayısı yılda 350-500'e yükselmiştir (UNDRR, 2022: 17). Görülme sıklıkları her yıl artan bu gibi felaketlerden sadece 2022 yılında 185 milyon kişi etkilenmiş ve 30,704 kişinin hayatını kaybetmiştir. Afetlerin neden olduğu ekonomik kayıplar yaklaşık olarak 223.8 milyar ABD doları olarak hesaplanmıştır (EMDAT, 2022: 2).

Afetler doğal afetler ve doğal olmayan afetler olarak ikiye ayrılır (IFCR, 2023). Acil Durum Olayları Veri Tabanı göre doğal afet tipleri jeofiziksel, hidrolojik, klimatolojik, biyolojik, dünya dışı ve meteorolojik olmak üzere altı afet alt grubuna ayrılmaktadır (atıf). 1923-2023 yılları arasında Türkiye’de yaşanan tüm doğal afetlerin toplam 135.890 insanın hayatına mal olduğu, etkilenen insan sayısının 20 milyona yaklaştığı ve afetlerin neden olduğu maddi zararın 85 milyar dolar olduğu tahmin edilmektedir. Jeofiziksel afetler kategorisinde değerlendirilen deprem afetinin ise Türkiye’yi en çok etkileyen afet türü olduğu söylenebilir. Türkiye’de gerçekleşen afetlerin %51,9’u depremlerden dolayı yaşandığı bilinmektedir (atıf). Bu depremler sonucunda 132.795 kişi hayatını kaybetmiştir. Yaklaşık 17 milyon insanı doğrudan etkilediği tahmin edilen deprem afeti neticesinde oluşan toplam ekonomik kaybın 79.616.679.000 dolar olduğu hesaplanmıştır (Keçici ve Bıçakçı, 2023: 775).

Pek çok aktif fayın olduğu bir coğrafya üzerine kurulan Türkiye 1900 yılından günümüze dünya üzerinde en fazla depremin görüldüğü dördüncü ülkedir (EMDAT, 2022). Bu gerçek

en son 2023 Kahramanmaraş Depremleri ile tekrar görünür hale gelmiştir. Büyük bir alanı olumsuz bir şekilde etkileyen depremler, yıkım gücüne, şiddetine ve etkilediği alandaki nüfus yoğunluğuna bağlı olmak kaydıyla pek çok insanı acil yardıma muhtaç hale getirmektedir.

Gelecekte yaşanması çok muhtemel olan afetlere karşı ülkelerin yapabileceği en iyi savunmanın vakit kaybetmeden sistemleri dönüştürerek, felaketleri tetikleyen ve etkilerini artıran zayıflıklarını azalmalarıyla mümkün olacağı söylenebilir. (UNDRR, 2022 :8). Öte yandan pek çok problemle mücadele etmek zorunda kalan gelişmekte olan ülkeler bu problemlerini kısıtlı bütçeleri ve sınırlı kapasiteleri ile çözmeye çalışmaktadırlar. 21. yüzyılda gelişmekte olan ülkelerin karşı karşıya kaldığı en önemli problemlerden biri de sağlık hizmetleri ve bu hizmetlerin sunumudur (Razzak ve Kellermann, 2002: 900; Karaş, 2022: 514). Gelişmekte olan bir ülke olarak Türkiye'nin de benzer bir problemle karşı karşıya olduğu söylenebilir (Bener vd., 2019: 1). Türkiye'nin sağlık sistemi ve sağlık sistemi içinde çalışan personelin niceliği ve niteliği göz önüne alındığında yaşanan problemlerden biri de hastane öncesi acil bakım hizmetleridir. birinin de hastane öncesi acil bakım hizmetleri olduğu görülmektedir (Paksoy, 2016: 6).

Sağlık problemiyle karşılaşan hastaların/yaralıların daha fazla zarar görmelerinin ve/veya ölümlerinin engellenmesi için gerekli olan hızlı karar vermeyi ve hızlı müdahale etmeyi içeren sağlık hizmet bölümü (Aslan ve Güzel, 2018: 4996) olarak tanımlanabilecek acil sağlık hizmetleri, afet, hastalık ya da kaza sonucunda acil müdahaleye ihtiyaç duyan bireylerin hastane ulaşımı öncesi acil bakımının sağlanarak güvenli bir biçimde en yakın uygun sağlık kuruluşuna nakledilmesini kapsamaktadır (Ekşi, 2015: 6).

Toplumun tamamını ya da bir kısmını olumsuz etkileyen, sosyal ve ekonomik kayıplara neden olan, mevcut kaynaklarla baş edilmesi zor olan, insan kaynaklı, teknolojik ya da doğal olaylar olarak tanımlanan afet durumlarında gelişmekte olan ülkelerin kapasiteleri ve sınırlı bütçeleri göz önüne alındığında acil sağlık hizmetlerine daha fazla yük bindiği görülmektedir (Aydınbaş, 2023: 177). Afet yaşandığı anda insan hayatının saniyelere bağlı olduğu göz önüne alınırsa, acil sağlık hizmetleri altyapısının ve planlanmasının önemi daha çok artmaktadır. Çünkü bir afet durumunda acil yardıma ve müdahaleye ihtiyaç duyan insan sayısı bir anda artmakta ama acil sağlık hizmeti kapasitesi paralel bir biçimde artmamaktadır.

Afet ve Acil Durum Başkanlığı (AFAD) afeti, bir olayın kendisi değil doğurduğu sonuç olarak tanımlamaktadır (AFAD, t.y.). Acil müdahaleye ihtiyaç duyan vatandaşların bu ihtiyaçları acil bir şekilde giderilemezse afetin boyutları artacaktır. Buradan hareketle bu tezin sorunsal afet gibi olağanüstü bir durumda acil sağlık hizmetlerinin optimum düzeyde nasıl verilebileceğinin tespit edilmesidir. Acil müdahale bekleyen yaralıların bekleme sürelerini azaltmak için bu çalışmada yararlanılacak teorik model bekleme hattı teorisi/kuyruk teorisidir¹.

Endüstri devrimi işletmelerin hızla büyümesine neden olmuş, bunun sonucu olarak da bir kişinin tüm yöneticilik fonksiyonlarını tek başına yürütmesi imkansızlaşmıştır. Bu durumun sonucunda da işletmelerde yönetim; pazarlama, imalat, finansman gibi bölümlere ayrılmıştır. İşletmelerde yönetim fonksiyonunun bölümlerinin gün geçtikçe artması, işletmeler için yeni problemler yaratmıştır. Bir birim ya da bölüm için en iyi kararın bir başka bölüm için yıkıcı sonuçlar doğurması, bölümlerin karar alırken birbirlerinin hedef ve faaliyetlerini göz ardı etmemeleri gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Yöneylem araştırması bu tip problemler ve problemlere daha iyi çözüm bulabilmek amacıyla doğmuştur.

Temelde bir yöneylem araştırması teorisi olan bekleme hattı teorisi bekleyen kuyrukların (veya hatların) matematiksel çalışmasıdır. Teori, kuyruğa gelme, sırada bekleme ve bir sunucu tarafından hizmet alma gibi çeşitli ilgili süreçlerin matematiksel analizini sağlar (Bishop vd., 2018: 835). Kuyrukta beklenen sürenin en aza indirilmesi ve beklemenin neticesinde ortaya çıkan maliyetlerin minimize edilmesi bekleme hattı modellerinin amaçlarını oluşturmaktadır. Sistemin ve işleyişinin analizi, maliyetlerin en aza indirilmesi ve sistemin daha etkin çalışmasının sağlanması bekleme hattı modellerinin amaçlarındandır (Üreten, 2006: 106).

¹ Yönetim bilimi veya yöneylem araştırmasında bekleme hattı, kuyruk olarak adlandırılmaktadır. Kuyruk teorisi yöneylem araştırması metodunda en geniş uygulama alanlarından birini kapsamaktadır. Danimarkalı telefon mühendisi olan A.K Erlang tarafından 1909 senesinde yapılan çalışma kuyruk kuramında yapılan ilk çalışmadır. İsmi Erlang'dan alan Erlang olasılık dağılımı, bekleme dizisi modellerinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Çalışmanın yapıldığı 1909'dan bu yana bekleme hattı modelleri hakkında çok sayıda kitap ve binlerce makale yazılmasına rağmen bu konuda geliştirilebilir yönler ve sağlanabilecek katkılar yer almaktadır (Öztürk, 2011, s. 521). Türkçeye bekleme hattı teorisi ya da kuyruk teorisi olarak çevrilen Queuing Theory için bu tezde tercih edilen çeviri "bekleme hattı teorisi" dir.

1.2 Amaç ve Hedefler

Karşılaştığı problemleri sınırlı imkanlarla çözmeye çalışan Türkiye, gelişmekte olan ülkeler kategorisinde değerlendirilmektedir. Gelişmekte olan pek çok ülke ile benzer yapısal ya da yapısal olmayan probleme sahip olan Türkiye, bu ülkelerin pek çoğundan özellikle bir noktada olumsuz olarak ayrılmaktadır. Türkiye dünyanın aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağında yer almaktadır. Türkiye yüzölçümünün %42'si birinci derece deprem bölgesi, % 24'ü ikinci ve % 18'i ise üçüncü dereceden deprem kuşağında bulunmaktadır (Sönmez, 2011: 11; AFAD, 2021: 44). Türkiye'de kaydı yapılan en eski deprem M.Ö 411 senesinde gerçekleşmiştir. 1900'lerden bugüne dek büyüklüğü 7 üzerinde olan yirmi deprem olmuştur. 1900-2023 yılları arasında meydana gelen depremlerden 269'u can kaybı veya hasara neden olurken, can kaybı ve neden olduğu zarar bakımından en büyük depremler ise sırası ile 2023 Kahramanmaraş, 1939 Erzincan ve 1999 Gölcük merkezli Marmara Depremleridir (SBB, 2023: 6).

Dolayısıyla, bu tezde olası bir deprem afeti sonrasında acil yardıma ihtiyaç duyan yaralıların uzun bekleme sürelerini azaltmak, yaralıların daha fazla zarar görmesini ve ölümlerini engellemek için gerekli olan acil sağlık hizmetini en kısa sürede ulaştırmak için uygulanabilir bir model oluşturmak amaçlanmaktadır. Bir vaka çalışması olarak yapılandırılan çalışmada belirlenen hedefler şu şekilde sıralanabilir:

- Sistem verimliliğini artıracak çözümler bulmak,
- Gerçek dünyadaki durumu tespit edecek bir matematiksel model geliştirmek için bekleme hattı/kuyruk teorisinden faydalanmak,
- Depremden etkilenen yaralıların bekleme süresinin azaltılması hedefiyle farklı senaryolar için geliştirilen matematiksel modellerin test edilmesi.

1.3 Önem ve Kapsam

Doğal veya insan yapımı afetler kısa süre içinde çok sayıda insanın yaralanmasına neden olabilir. Bu koşullar altında, çok sayıda kişi ciddi derecede yaralanmış bir şekilde acil tıbbi yardıma ihtiyaç duyarlar ancak yaralı kişilere yardım götürecek birimler ve ilgili personel de afetin etkilediği bölgede bulunur. Afette yaralanan çok sayıda insanla karşılaşıldığında, afet bölgelerindeki acil yardım hizmeti sunacak birimlerin kaynakları yeterli olmayabilir

(Eshghi ve Larson, 2008: 68) ya da gerekli planlama yapılmamış olabilir. Böyle durumlarda mümkün olduğu kadar çok sayıda insanın hayatını kurtarmak için ya ambulanslar ve hastaneler gibi mevcut kaynaklar önceden yapılan planlar sonucu artırılmalı ya da mevcut kaynaklar çerçevesinde mümkün olan en kısa sürede en çok sayıda insana ulaşılmasını sağlayacak bir optimizasyon çalışması yapılmış olmalıdır. Dolayısıyla ambulans istasyonlarının, hastaneler ve geçici tıp merkezlerinin yeri, istasyonlara tahsis edilen ambulans sayısı ve istasyonlara tahsis edilen etkilenen alanlar dahil olmak üzere bir dizi acil sağlık hizmeti kararına mümkün olan en kısa sürede karar verilmelidir.

Türkiye’de doğal afetlerin yaşanma riski göz önüne alındığında gerekli kararların ve planların bir an önce alınması ve uygulamaya konması gerekmektedir. Bu kararların alınması ve planların yapılması ise bilimsel bir yaklaşım sonucu gerçekleştirilmelidir. Gerekli kararların alınarak bilimsel temelli planlamanın sağlanması için bu çalışma bir vaka çalışması olarak yapılandırılmış, bu tezde Bartın ili özelinde afet temelli farklı senaryolar için bekleme hattı/kuyruk teorisinden faydalanılarak oluşturulan matematiksel modeller test edilmiştir.

Çalışma için Bartın ilinin seçilmesinin nedenleri üçüncü bölümde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bununla birlikte burada Bartın ili özelinde hazırlanan afet senaryolarının hali hazırda ayrıntılı bir biçimde hazırlanmadığı, il özelinde yeterli ve verimli bir yönergeye ihtiyaç duyulduğu, olası büyük bir depremde acil sağlık hizmetleri özelinde yaşanması muhtemel bir kaos durumunun ortadan kaldırılmaya ihtiyaç duyulduğu varsayılmaktadır. Ayrıca yine üçüncü bölümde ayrıntılı bir biçimde açıklanacak olmakla birlikte ildeki acil sağlık hizmetleri ile ilgili mevcut kaynakların yetersiz olduğu, bu kaynakların hangi miktarda ve ne şekilde artırılırsa optimum düzeye erişileceği de hesaplanmıştır.

1.4 Tezin Yapısı

Tez giriş kısmı ile birlikte beş ana bölümden oluşmaktadır. Giriş kısmında tezin amacı, önemi, yapısı ve bölümleri açıklanmıştır. İkinci bölümde literatür özeti başlığı altında tez ile ilgili temel kavramlar ve tezin konusu ile ilgili literatürde yapılmış çalışmalar yer almaktadır. Materyal ve metod başlığı altında tezin üçüncü bölümünde vaka çalışmasının gerçekleştirildiği Bartın ili hakkında bilgiler ile birlikte veri toplama yöntemi yer almaktadır. Aynı zamanda bu bölümde senaryolar ve matematiksel modelin oluşturulması ve model için

belirlenen parametreler yer almaktadır. Bulgular ve tartışma isimli dördüncü bölümde ise modelin sonuçları ve analizleri açıklanarak, bulgular yorumlanarak elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Tezin son bölümü olan beşinci bölümde Sonuç ve Öneriler kısmı yer almaktadır. Bu bölümde tezde ulaşılan sonuçlar ve tezin kısıtları değerlendirilerek önerilerde bulunulmuştur.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Bu bölümde öncelikle tezde kullanılacak ana teori ve temel kavramlar kapsamında bekleme hattı teorisi, acil sağlık hizmetleri açıklanmış ve afetlerin acil sağlık hizmetlerine etkilerine değinilmiştir. Daha sonra matematiksel modellerin acil sağlık hizmetlerine etkileri ele alınarak, matematiksel modellerin acil sağlık hizmetlerinde kullanımına yönelik literatür ele alınmıştır.

2.1 Bekleme Hattı Teorisi

Günlük hayatta kuyrukta beklemekte olan insanlar ve araçlarla her daim karşılaşmaktayız. Maça gitmek için gişeden bilet satın almak isteyen kişilerin oluşturduğu bilet kuyruğu, hastanelerde hasta kuyruğu, banka hizmetlerinden faydalanmak için bankaya gelen müşterilerin, mağazalarda kasada ödeme yapmak için sıra beklemekte olan tüketici kuyruğunu, trafikteki araç kuyruklarını ve yemekhanelerdeki yemek kuyruklarını örnek olarak sıralayabiliriz. Bahsi geçen bu kuyrukların oluşmasındaki tek sebep hizmet için gelen tüketici ya da müşterilerin taleplerinin anında karşılanamamasından kaynaklanmaktadır. Böylelikle kuyruk, sınırlı bir hizmet sebebi ile geciken bir bekleme hattı (dizisi) durumuyla ortaya çıkmaktadır (Öztürk, 2011: 521).

Bir hizmet sistemine gelen tüketicilerin, müşterilerin sistemin başka bir müşteriye hizmet verdiği için oluşturdukları birikmeye bekleme hattı ya da kuyruk denir (Atan ve Altan, 2015: 16). Kuyruk teorisinde girdi ya da çıktı sürecinin bekleme hattı yapısı ve hizmet süreci ile tanımlanabilmesine kuyruk sistemi denilmektedir (Atan ve Altan, 2015: 52). Tam kapasite çalışan herhangi bir hizmet birimi geçici bir durum olarak yeni bir hizmet talebini karşılayamadığında, hizmeti talep eden müşterinin ya da tüketicinin beklemesi neticesinde oluşan problemleri açıklama düzeni ise kuyruk ya da bekleme hattı kuramı olarak tanımlanmaktadır (Atan ve Altan, 2015: 52).

Günümüzde hizmet sağlayıcıların karşılaştığı en büyük problemlerden biri, hizmet isteminde bulunanlara etkin ve verimli bir servis sistemi yönetiminin oluşturulamamasıdır. Bu yüzden kuyruk teorisi yöneticilere oldukça faydalı olabilmektedir. Hizmet isteminde bulunan müşteriler taleplerinin hızlı bir şekilde karşılanmasını istemektedirler. Fazla bekleyen müşteriler psikolojik tedirginliğe girmekte, vakitlerini boşa harcamalarının bir maliyeti söz

konusu olmaktadır. Gereğinden fazla bekletilen müşteri ise işletme açısından müşteri kaybına yol açmaktadır. Diğer taraftan karar verici, tüketici ya da müşterilere hizmet veren personel sayısını da düşünmek zorundadır. Çok sayıda personel kullanımı hizmet vericinin maliyetlerinde artışa yol açmaktadır. Karar verici servisin maliyetini düşürmeyi ve servisin niteliğini artırmayı aynı zamanda da tüketicilerin bekleme süresini minimum düzeyde tutmayı hedeflemektedir. Bu durumun sonucu olarak tüketicilerin ya da müşterilerin faydaları ile hizmet sağlayıcının faydalarını fazla çakıştırmayan bir ekonomik dengeye ulaşma problemi ortaya çıkmaktadır. Tüketicilere en verimli servis ve en iyi hizmet sağlama ise kuyruk teorisi modelleri ile gerçekleştirilmektedir (Öztürk, 2011: 522).

Yapılan araştırmalar gelişmiş toplumlarda yaşayan bireylerin yaşamları boyunca her gün ortalama olarak 30 dakika kuyrukta sıra beklediklerini ve beklenen kuyrukların gelişen ve değişen yaşamın önemli bir parçası haline geldiğini göstermektedir. En fazla sıra beklenen alanlar; hastaneler, bankalar, trafik, yemekhaneler, havaalanları, marketlerdir. İmalatta kullanılan milyarlarca parça, imalat hatlarında kuyrukta beklemekte, bir yarı mamul, mamul oluncaya kadar geçen sürenin ortalama olarak, %95'inde kuyrukta beklemektedir. Sıra beklenen yerler; hastanelerde hekime görünmek için bekleyen insanlar, laboratuvarlarda test edilmek için bekleyen kan örnekleri, bankalarda hizmet almak için bekleyen müşteriler, yemekhanelerde yemek kuyruğunda bekleyen insanlar, müşteri hizmetleri telefon hattında sırada bekleyen müşteriler, onarım bekleyen ürünler, internet hatlarında sırada bekleyen elektronik postalar, mahkemelerde yargılanmak üzere beklemekte olan davalar, trafikte kırmızı ışıkta beklemekte olan araçlar, havalanmayı bekleyen uçaklar, kaydolmak için bekleyen öğrenciler, evde yapılması gereken işlerimiz, market kasalarında bekleyen müşteriler, montaj hattında bekleyen mamuller, yükleme ve boşaltma işlemleri için bekleyen gemiler, bilgi işlem merkezlerinde şebeke yazıcısında basılmak için bekleyen dokümanlar olarak sayılabilir. Sayılan kuyruk sistemlerindeki bekleme sürelerini azaltmanın ilk akla gelen yolu servis sağlayan birimlerin sayısını artırmaktır. Marketlerdeki kasa sayısı, uçakların havalanacağı pistlerin sayısı ve bankalarda gişe sayısını arttırarak bekleme hattındaki süreleri kısaltılabilmektedir. Servis sayılarının artması ise maliyetleri arttırmaktadır. Ek olarak birimler bazı zamanlarda yoğunluk yaşarken, çoğu zaman boş da kalabilmektedir. Bir başka yönden ise servis sağlayan birimlerin sayısını arttırmaktansa kuyruk tipini değiştirmek daha verimli ve etkin çalışan bir sistem yaratabilmektedir (Ulucan, 2007: 447). Yönetici kuyruk modellerini kullanarak; müşterilerin bekleme olasılığını, kuyrukta beklemekte olan ortalama müşteri sayısını, ne kadar servis birimi kullanacağını,

müşterilerin ortalama bekleme müddetlerini ve de hizmet sağlayan birimlerin boşa kalma olasılıklarını belirleyebilecektir (Ulucan, 2007: 448).

Bekleme olayı hizmet veren araçların işleyişi bakımında ele alındığında tamamen rastgeledir. Genelde hizmetin zamanı ve de müşterilerin gelişi önceden bilinmediğinden, servis araçlarının işleyişinde beklemeyi yok edecek şekilde bir düzenleme yapılamaz. Rastgele koşullarda hizmet araçlarının işleyişine dair çalışmalar yapılırken, sistemin verimliliğini değerlendirebilecek olan niteliklerin neler olabileceğini belirlemek hedeflenmektedir. Bir müşterinin hizmeti almadan evvel ne kadar bekleyeceğinin tahmini bekleme hattı modelinin performans göstergelerinden biridir. Bekleme hattı modeliyle hizmet araçlarının kullanılma yüzdesinin belirlenmesi de hedeflenmektedir (Özkan, 2012: 313).

Bekleme hattı alanındaki çalışmalar, ortalama bekleme süresini ve ortalama bekleme hattı uzunluğunu içeren, kuyruk olayı performans kriterlerini belirlemektedir. Bu bilgiler ise hizmet yeri için hizmetin uygun seviyesine karar verme amacıyla kullanılmaktadır. Hizmet düzeyinin artması ile bekleme maliyeti azalmaktadır. Maliyet modellerinin adaptasyonunda temel sorun, özellikle bireylerin tutumu modelin çalıştırılmasını etkilerken, birim bekleme maliyetini tahmin edebilmektir (Taha, 2020: 597).

Bekleme hattı modelinde ideal yapı hiç bekleme yapılmamasının gerektiği şeklinde düşünülebilirken, bu durumun gerçekleşmesinin sonucunda servis düzeylerinin yüksek tutulması gerekecek dolayısıyla fazla personel çalıştırılması durumunda ise maliyetler artacaktır. Bekleme hattının yoğunluğunun müşteri kaybına yol açması bekleme maliyetidir (Timor, 2001: 435).

Kuyruk modeli uygulamasının üstünlükleri hizmet süresinin ve müşterilerin kuyrukta bekleme müddetlerinin azaltılmasıdır. Daha iyi servis hizmetine kavuşan müşteriler açısından model bu faydaları sağlamakta fakat işletme ise ek maliyetlere katlanmak zorunda kalmaktadır. İşletme müşterilere daha iyi hizmet sunabilmek için hizmet sunumunu hızlandıracak ek personel istihdamı sağlamalı, ek tesisler kurmalıdır. Sağlanan ek personel istihdamı ve ek tesislerin kurulması ile işletmenin maliyetleri artarken, buna rağmen işletmenin müşteri sayısı ve pazardaki payı artacaktır. Bekleme hattı teorisi daha hızlı hizmet

sunumunu sağlayan maliyet ile servisteki gelişmelerin ekonomik dengelenmesini sağlamaya çalışacaktır (Öztürk, 2011: 528).

2.2.1 Bekleme Hattı Teorisinin Tarihsel Temelleri

Medeniyetin gelişmesi, nüfusun giderek artması beraberinde kuyruk sorunlarını ortaya çıkarılmıştır ve kuyruklar günlük yaşamımızın bir parçasını oluşturmaktadır. Trafikte, mağazalarda, hastanelerde, liman ve havaalanlarında ve daha birçok yerde yaşanılan kuyrukların neticesinde birçok maddi ve manevi sorunlar ortaya çıkmaktadır (Es, 1994: 1).

Kuyruk Teorisi, gelişlerin ve hizmet sürelerinin rastsal olduğu bir sistemde sistem davranışını anlayabilmek amacı ile model geliştirme uğraşıları ile başlamıştır. A.K. Erlang 1909 yılında *Application of the Theory of Probability to Telephone Trunk Problems* isimli kitabını yayımlayarak bu konudaki ilk çalışmayı yapmıştır. Bekleme hattı modeli teorisi ile ilgili yapılan en önemli alışma Karl Erlang'a atfedilse de alanda yayınlanan ilk eser 'Bekleme Zamanları ve Telefon Etme Sayısı (Waiting Times and Number of Calls)' isimli makalesidir (Giffin, 1978: 3). A. K. Erlang'ın araştırması, telefon trafiğindeki dalgalanan isteme etkin bir şekilde cevap verme temeline dayanmaktadır (Thierauf ve Klekamp, 1975: 413). Bekleme hattı teorisi alanındaki çalışmalara etki eden ve hızlandıran ilk eser Erlang'ın 1909'da başlayan çalışmalarıdır. Daha sonrasında ise bu alandaki önemli çalışmalar, 1927'de C. Molina ve de 1928'de C. Fry'ın yayınlanan eserleridir. 1930 ve 1950 arasındaki dönemde Pollaczek, Crommelin, Kolmogorow ve Palm gibi bilim insanları bekleme hattı teorisine önemli katkılarda bulunmuşlardır. Pollaczek ve Khintchine sabit ve değişen zaman servisli tek kanallı ve poisson gelişli kuyruk sistemleri için Pollaczek-Khintchine formülünü geliştirmişlerdir. Telefon sistemlerinde hatta bekletilen telefonlarla ilgili olasılık formüllerini Crommelin geliştirmiştir. Palm ise bekleme sürelerinin momentlerini ve trafikteki yoğunlukların etkilerini incelemiştir (Saaty, 1961: 21). 1950 yılından sonra da yapılan bu kuramsal çalışmaların işletmelerde, hastanelerde, depolama ve benzeri yerlerde oluşan kuyruklarda uygulanmaya başlanmıştır. D. Kendall, 1953'te servis süresi dağılımı, çok kanallı kuyruklarda geliş dağılımı ve de sistemde bulunan paralel servis sayısını tanımlamak için farklı bir gösterim önermiştir. 1966'da A. Lee bu gösterime sistemde bulunan en fazla müşteri sayısı ve servis disiplini karakteristiklerini eklemiştir. 1968'de ise Hamdy A. Taha geliş kaynağı karakteristiğini ekleyerek teoriyi daha kapsamlı hale getirmiştir (Halaç, 2001: 238). Günümüzde bu konu ile ilgili çalışmalar devam etmekte ve

Kuyruk Teorisi veya Bekleme Hattı Teorisi isminde pek çok yayın bulunmaktadır (Aydın, 2009).

2.2.2 Bekleme Hattı Teorisinin Temel Öğeleri

Bekleme hattı modeli açısından, herhangi bir bekleme hattı durumunun işleyişi şu şekilde açıklanmaktadır: müşteri hizmet almak için gelmekte, kuyruğa ya da bekleme hattına katılmaktadır. Hizmet veren hizmete başlamak için, kuyruktan bir müşteri seçmektedir. Seçilen müşteriye hizmet verme işleminin tamamlanmasının ardından, kuyruktan yeni bir müşteri seçilmektedir fakat model kurulurken kabul edilen temel varsayım bir hizmetin tamamlanmasının ardından gelen müşteri arasında herhangi bir zaman kaybının olmadığıdır (Özkan, 2012: 317).

Servise gelen müşteri taleplerinin servisteki personellerce karşılanma sürecine bekleme hattı sistemi denmektedir. Bekleme hattı sisteminin kendine has bazı terimleri bekleme hattının belirli maliyetleri vardır. Sistemde kullanılan terimler; müşteriler, kuyruk disiplini, geliş özellikleri, servis oranı, servis olanaklarının yapısıdır.

Müşteriler: İşlerinin görülmesi için servis sistemine gelen, kişiler, araçlar, gereçler, makine ve hammaddelere müşteri denir. Müşteriler servis sistemine belirsiz ve belirli bir biçimde gelebilmektedir.

Kuyruk Disiplini: Kuyruk disiplini, müşterilerin hizmet için seçilme düzenidir. Servis disiplini, servis için gelen müşterilerin bekleme hattına girdiğinde ne zaman servise gireceğini belirler. Kuyruk disiplininde standart (ölçülü) kural, ilk gelen kişinin ilk hizmet göreceği kuralıdır. Öte yandan, rastgele seçim, önce sıra alan, son gelenin servis görmesi, hizmetin ivedilik özelliği, en kısa servis zamanı gerektiren işler için gelen hizmet görür kuralları da servis disiplininde kullanılmaktadır.

Geliş özellikleri: Müşterilerin servis sistemine gelişleri çeşitli özelliktedirler. Kontrol edilebilir müşteri gelişleri olduğu gibi kontrol edilemez yapıda olanları da mevcuttur. Ek olarak, müşteriler belirli bir zamanda gruplar halinde gelebileceği gibi tek kişi halinde de gelebilmektedir. Sabit dağılım, Poisson dağılımı, üstel dağılım ve Erlang dağılımı gelişleri

açıklamak adına yaygın olarak kullanılan dağılımlardır ve bu dağılımların kendisine has nitelikleri vardır.

Servis oranı: Servis oranı, servis için gelen müşterilerin taleplerini karşılamak için servis süresi dağılımı ile alakalıdır. Hizmet için gelen müşterilerin her birine ayrılan süre aynı miktarda ise tek biçimli (uniform) servis oranı olabilir. Üstel ve Erlang olasılık dağılımları ise karmaşık olan servis oranlarını kapsamaktadır.

Servis olanaklarının yapısı: Fiziksel olarak düzenlenen servis olanakları genellikle tek kanallı ve çok kanallı biçimde ayrılmaktadır (Öztürk, 2011: 522-523).

Yukarda açıklanan durumları içeren bekleme hattı modelleri hizmet eden ve/veya müşterinin tutumları ile ilişkilidir. Bazı müşteriler bekleme süresini azaltabileceği ümidiyle kuyruklar arasında dolaşırken, hizmet eden bazı personeller hızlı işlem yapabilmektedir. İnsan davranışları kuyruk durumlarını etkilemektedir. Kısaca herhangi bir bekleme hattı modeli;

- Hizmet zamanı dağılımı (tek veya grup)
- Gelişlerin dağılımı (tek veya grup)
- Hizmet öncelikleri ve kuyruk disiplini (LCFS, SIRO, FCFS),
- Hizmet araçlarının tasarımı (paralel, sonlu veya ağ),
- İnsan davranışları (müşteri)
- Çağırma kaynağı (sonsuz veya sonlu) gibi faktörlere bağlıdır (Özkan, 2012: 319).

2.2.3 Bekleme Hattı Teorisinin Yapısı

Bekleme hattı teorisinde stokastik faaliyetlerinin görüldüğü ve teorinin uygulama alanını oluşturan bekleme sistemlerinin dört temel niteliği bulunmaktadır.

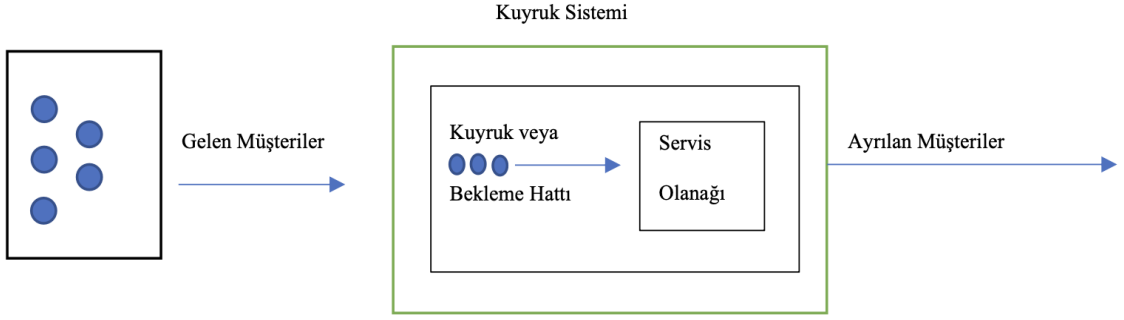
Geliş (Girdi) Süreci: Herhangi bir geliş kaynağından bir hizmet kuruluşuna müşteri geliş zamanları, müşterilerin bekleme hatlarına girişleri ve gelen müşteri sayıları bir süreç içinde gerçekleşmektedir. Belli bir hizmet biriminden hizmet isteminde bulunan müşterilerin oluşturduğu varış süreci, akış veya girdi süreci olarak adlandırılır (Sezgin ve Ada, 1991: 200). Müşteri bir insan olabileceği gibi, piste inmek üzere bekleyen bir uçak, tamir içi gelen

makine ya da bir araç ve işlem için gelen sipariş de olabilmektedir. Sistemin geliş sürecinin tespiti için, müşterilerin gelişleri arasında geçen süre yani gelişlerin zaman aralıklarının, belli bir zaman süresinde hizmet istemi için gelen müşterilerin kaynağının (sonsuz ya da sonlu) ve de sayısının bilinmesi gerekir. Sistemden sisteme göre değişen gelişlerin zaman aralıklarının dağılımı üstel, gama, normal, poisson gibi standart istatistiksel dağılımlara uymaktadır ya da sistemin kendisine özgü spesifik bir deneysel dağılımdır. Sisteme göre gelişlerin sayısı da değişir. Müşteriler tek tek gelebildiği gibi yığınsal olarak da gelebilmektedir (Sarıaslan vd., 2017: 487). Genel olarak birim zamanda veya belirli bir zaman diliminde gelen müşterilerin sayısına geliş oranı veya varış oranı denilmektedir (Sezgin ve Ada, 1991: 202). Müşterilerin geldiği ana kütle yani geliş sürecini belirleyen geliş kaynağı iki farklı şekilde sınıflandırılmaktadır. Ana kütlelerin sayısı küçük ise (genellikle 30 ya da 50'den küçük) geliş süreci *sonlu kaynaklı*, eğer daha büyük ise *sonsuz kaynaklı* olarak isimlendirilir.

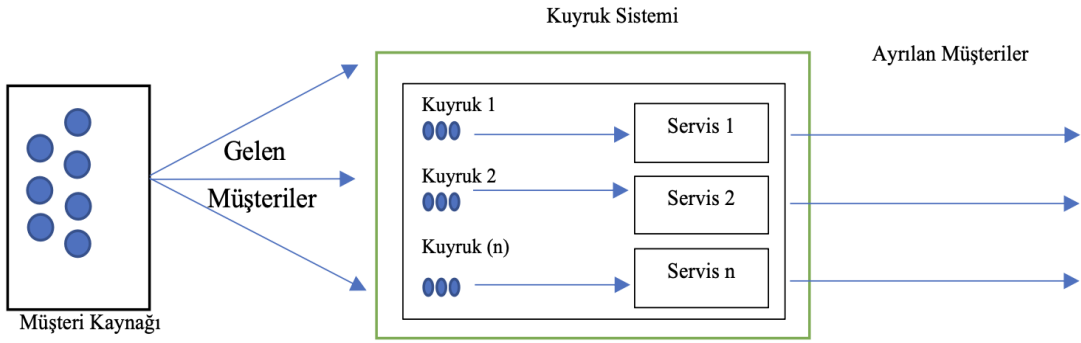
Geliş oranının ana kütleye göre oranına göre belirlenmesi geliş kaynağının belirlenmesinde ölçüdür. Ana kütlede ayrılan müşteriler gelişlerin olasılığını büyük ölçüde değiştirmiyor ya da oranın çok küçük olması durumunda, geliş kaynağı sonsuz, tersi durumda ise sonlu olarak adlandırılmalıdır (Sarıaslan, 1986: 9).

Servis Mekanizması: Özellikleri sisteme göre değişen sistem mekanizması, sıra bekleme sistemine hizmet için gelen müşterilerin talep ettikleri servisin sunum yani hizmetin karşılanma şeklini belirtmektedir. Hizmet ya da servis mekanizmasının belirlenebilmesi için müşterilere hizmet (servis) sunulan yerlerin ve noktaların yani servis kanallarının, aynı anda hizmet (servis) edilen müşteri sayısının, sunulan servis zaman sürelerinin (aralıklarının) ve de belli bir zaman birimin içinde servis edilen ya da hizmet edilen ortalama servis oranının (müşteri sayısı) bilinmesi gerekmektedir.

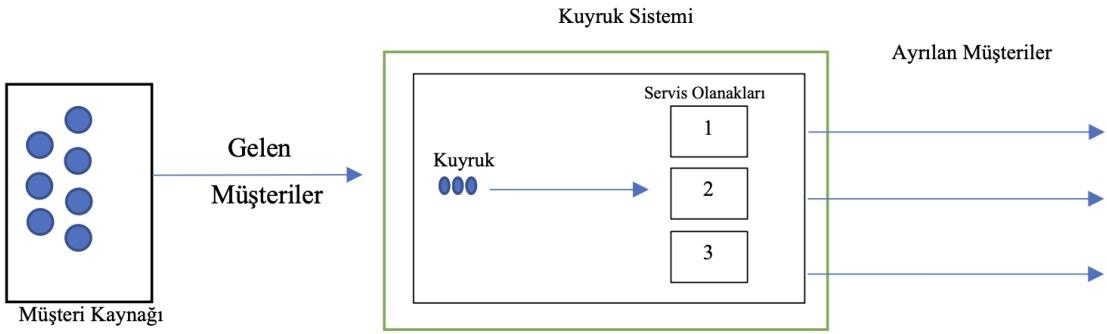
Servis kanalı; müşterilere hizmetin sunulduğu nokta ya da yerlere denilmektedir. *Tek kanallı;* bir tek kanalın bulunduğu sistemlerken, *çok kanallı* sistemler birden fazla kanalın bulunduğu sistemlerdir. Çok kanallı sistemlerde birbirini tamamlayan ve farklı hizmet sunan *seri kanallar* ya da aynı hizmeti sunan *paralel kanallar* şeklinde olabilmektedir (Sarıaslan vd., 2017: 488).



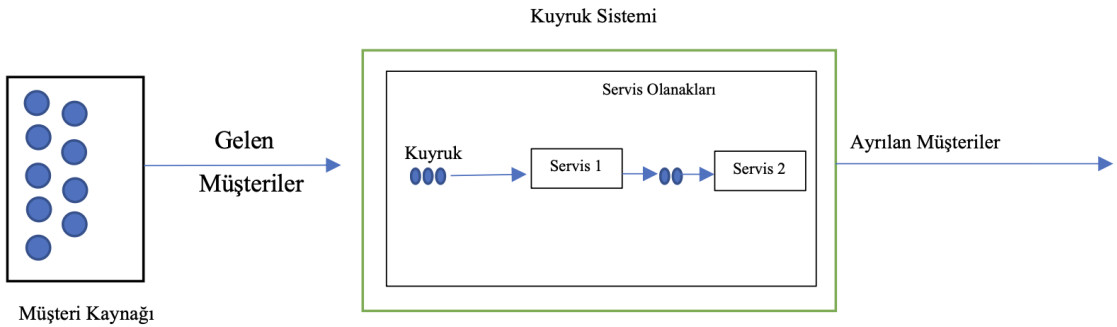
Şekil 2.1: Tek kuyruk, tek servis sistemi



Şekil 2.2: Çoklu kuyruk, paralel halinde çoklu servis sistemi



Şekil 2.3: Tek kuyruk, paralel halinde çoklu servis sistemi



Şekil 2.4: Tek kuyruk, seri halinde çoklu servis sistemi

Kuyruk (Sıra Bekleme): Kuyruk ya da sıra herhangi bir sıra bekleme sisteminde hizmet talebinin servis kapasitesini aşması durumunda ortaya çıkmaktadır. Oluşan kuyruklar kanalın düzenine göre değişiklik göstermekte; servis kanalı tek ise tek kuyruk söz konusu olmaktadır. Bu sistemler ‘tek sıralı-tek kanallı’ sistemler olarak da adlandırılmaktadır. Çok kanal olması halinde ise, kanallar eğer seri olarak düzenlenmişse, tek kuyruk oluşmaktadır. Ters durumda yani kanallar paralel olarak düzenlenmişse, müşterilerin servise alınma durumuna göre değişen kuyruk sayıları oluşmaktadır. Örneğin, müşteriler servis sunan kanallara doğrudan geliyorsa, her kanal önünde bir kuyruk oluşmakta, böyle sistemlere de ‘çok sıralı-çok kanallı’ sistemler denilmektedir.

Kanal önlerinde oluşacak sıranın, şekli ne olursa olsun, kuyrukta bekleme zamanı ve uzunluğu trafik yoğunluk oranına bağlıdır. Geliş oranının servis oranına olan oranı trafik yoğunluk oranıdır.

Trafik Yoğunluk Oranı = (Geliş Oranı/Servis Oranı) ile hesaplanmaktadır. Teorik olarak trafik yoğunluk oranının birden büyük olması durumunda sıranın sonsuz biçimde uzayacağı düşünülmektedir. Ancak bu durum gerçek yaşamda geçerli değildir. Çünkü giderek uzayan bir kuyruğa müşteri girmeyi istemeyebilmekte, kuyruğun uzaması halinde müşteri kendi isteği ile ayrılabilir. Başka bir zaman gelmek veya başka yere gitmek gibi müşterinin kuyrukta bekledikten sonra zamanın sınırlılığı sebebiyle hizmet görmeden geliş kaynağına dönmekte bu duruma ise *geri alma (reneging)* denilmektedir. Sıradan ayrılma müşteri isteği ile olabildiği gibi hizmet ünitesi ile de olabilmektedir. Kuyruğun fazla uzamadan durdurulması ise *sıranın kesilmesi (truncation)* olarak adlandırılmaktadır (Sarıoğlu vd., 2017: 488).

Servis Disiplini: Müşterilerin servis birimine hangi kurallara göre alınacağını belirlemektedir. Sıra bekleme sistemlerinde müşterilere nasıl servis yapılacağını belirleyen çeşitli kurallar vardır ve bunlardan en çok bilenenler; ilk giren ilk çıkar (FIFO- ilk gelen müşteriye hizmet verilir), rassal biçimdeki servis (SIRO- hangi müşteri gelirse ona hizmet verilir) ve son gelen ilk çıkar (LIFO- son gelen müşteriye önce hizmet verilir) ve öncelikli servis disiplini. İki farklı biçimde uygulanan öncelikli servis disiplininin ilkinde, öncelikli bir müşteri gelmekte ve kanalda hizmet verilen bir müşteri varsa kanaldaki müşteri çıkarılmakta ve yerine gelen müşteri alınmaktadır. Bu servis disiplinine ‘tam öncelikli servis’ denir. Bir diğer öncelikli servis disiplini ‘tam öncelikli olmayan servis’ ise kanaldaki

müşterinin hizmeti bitirildikten sonra öncelikli müşterinin sırada bekleyen müşterilerden önce alınması durumudur (Taha, 2020: 618).

2.2.4 Bekleme Hattı Teorisi Modellerinin Analizi

Bekleme hattı modellemeleri hizmet sektöründe faaliyet göstermekte olan firmaların sistem analizinde oldukça sık kullanılan yöntemlerdendir. Sağlık sektöründe hizmet analizinde, yiyecek-içecek firmalarının sistem analizinde, liman işletmelerinde, bankaların sistem ve performans analizinde, vergi dairelerinde ve marketlerdeki gibi sistemlerde; yoğunluk seviyesi tespitinde, hizmet kanallarının analizinde, sistemde harcanan zaman, verimlilik ve hatta bekleyen kişi sayısı gibi değişkenlerin çözümlenmesinde bekleme hattı teorisi modelleri kullanılmaktadır (Tekin, 2015: 488).

Bekleme hattı teorisi geliş ve gidişlerin rastgele olduğu kuruluşların işletilmesini çözümlmek için modeller sunar. Tamamen rastgele süreçleri temsil eden Üstel dağılım ve Poisson dağılımı kuyruk analizinde önemli bir yer tutmaktadırlar. Bekleme hattı modelleri başka dağılımlarla da analiz edilebilse de oluşturulan modeller analitik açıdan uygulamaya olanak vermemektedir. Problemleri kendi içerisinde çözmeyen kuyruk analizi, bazı karar verme modelleri çerçevesinde kullanılabilir performans göstergeleri sunmaktadır (Taha, 2020: 660).

Sistemin performansını ölçecek niteliklerin neler olabileceğini tespit edebilmek amacıyla hizmet araçlarının rastgele koşullar altında işleyişi üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bir müşterinin hizmet görmeden evvel ne kadar süre bekleyeceğinin kestirilebilmesi, modele ait performans kriterlerinden biridir. Hizmet araçlarının kullanılma yüzdesinin belirlenmesi de bir diğeridir. İlk kriter müşteriler bakımından, ikinci kriter ise hizmet araçlarının kullanım derecesini geliştirme bakımından sisteme yaklaşım biçimidir (Özkan, 2012: 312). Hillier ve Lieberman'a göre bir kuyruk sistemi tasarlamak genellikle aşağıdaki kararlardan birini veya bir kombinasyonunu almayı içermektedir: Bir hizmet tesisindeki sunucu sayısı, sunucuların verimliliği, servis tesislerinin sayısıdır (Hillier ve Lieberman, 1990: 908).

Kuyruk teorisi analizindeki amaçları şu şekilde sıralayabiliriz; karakteristik parametre dizisi ve çalışma kurallarının belirlenmesi, gecikmenin sebeplerinin ve zaman kayıplarının tespiti, gerekli çalışma süreci ve servisinden sağlanan kazanç ve maliyet arasındaki optimal

dengeinin bulunması, çözümün pratiğe uygulanabilmesi, incelenen sistemin politik alternatiflerine bağlıdır (Sevgin, 2000: 62).

2.2.5 Bekleme Hattı Teorisinin Terminolojisi

Bekleme hattı modelinde kullanılan terimler ve ifade ettikleri parametreler aşağıda sıralanmıştır (Sundarapandian, 2009: 688).

- n = Sistemdeki müşteri sayısı (birim)
- $N(t) = T$ zamanında sistemdeki müşteri (birim) sayısı
- $P_n(t) = T$ zamanında tam olarak n müşteri olma olasılığı, yani $P [N(t) = n]$
- P_n = Tam olarak n müşterinin sistemde olduğu kararlı durum olasılığı
- λ_n = Sistemde n müşteri olduğunda ortalama varış oranı
- μ_n = Sistemde n müşteri olduğunda ortalama hizmet oranı
- λ = Tüm n için λ_n sabit olduğunda ortalama varış oranı
- μ = Tüm n için μ_n sabit olduğunda ortalama servis hızı
- $\rho = \lambda/\mu$ = Kullanım faktörü veya trafik yoğunluğu
- $f_s(w)$ = Sistemdeki bekleme süresinin olasılık yoğunluk fonksiyonu
- $f_q(w)$ = Kuyrukta bekleme süresinin olasılık yoğunluk fonksiyonu
- L_s = Sistemde beklenen müşteri sayısı veya ortalama hat uzunluğu
- L_q = Sıradaki beklenen müşteri sayısı veya ortalama kuyruk uzunluğu
- L_w = Boş olmayan kuyruklarda beklenen müşteri sayısı
- W_s = Sistemdeki bir müşterinin beklenen bekleme süresi
- W_q = Sıradaki bir müşterinin beklenen bekleme süresi

2.2.6 Bekleme Hattı Sistemlerinde Maliyetler

Gelen müşterilere etkin bir hizmeti en uygun maliyetle sağlamak kuyruk veya bekleme hattı teorisi olarak bilinen modelin esasını oluşturmaktadır. Bekleme hattının yoğunluğu kuyruk sisteminin etkinliği hakkında fikir verebilmektedir. Bekleme hattı modelinde ideal yapının hiç beklememe olmaması biçiminde düşünülebilmektedir. Böyle bir durumda ise servis düzeyinin çok yüksek tutulması gerekmektedir. Çok yüksek düzeyde tutulan servis elemanı, çok yüksek servis maliyetine sebep olacaktır. Bu servis sisteminde, bir müşteriye hizmet verildikten sonra, hizmeti sağlayan elemanların çoğu âtil kalabilmektedir. Servis veren

elemanların maliyeti nedeniyle servis maliyeti ortaya çıkmaktadır. Servis düzeyi arttıkça, servis maliyeti de artacaktır. Bekleme hattının yoğun olması sebebiyle kaybedilen müşteriler nedeniyle ortaya çıkan maliyet ise bekleme maliyetidir. Servis düzeyi artırıldığında bekleme maliyeti azalacaktır. Servis ve bekleme maliyetleri arasındaki ilişki optimum servis düzeyinin belirlenmesini sağlamaktadır. Optimal servis düzeyi, servis ve bekleme maliyetlerinin toplamı olan toplam maliyeti minimize eden servis düzeyidir (Timor, 2001: 435). Şekil 2.5'te bekleme hattı modelinde optimal hizmet düzeyi grafiksel olarak gösterilmiştir.

Bekleme hattı modelinde iki maliyet bulunmaktadır, bunlardan ilki, bekleme zamanı maliyetidir ve kısaca hizmet için bekleyen müşterilerin zaman kaybı maliyetidir. Müşteri hizmetini sağlamanın maliyeti ise ikinci maliyettir. Bekleme maliyetinin azalması için servis düzeyini artırmak gereklidir bu durumun sonucunda ise hizmet sağlamanın maliyeti artacaktır. Karar vericiler, hizmet düzeyini arttırırken bekleme zamanının maliyetini minimize etmeyi amaçlamaktadırlar. Hizmet düzeyinin işletme için en iyi miktarda olduğu nokta bu iki maliyetin toplamalarının minimum olduğu noktadır (Çevik ve Yazgan, 2008: 120).

Sistemde müşterilerin bekleme zamanları, sitemin atıl kalma durumu mümkün olduğunca en aza indirildiğinde sistemin etkinliği arttırılmış olacaktır. Müşterilerin kuyrukta beklemesi ve sistemin boş beklemesi olayları birbirleriyle ters ilişkili olması kuyruk sistemlerinde karar sürecinin temel niteliğidir. Hizmet ve bekleme maliyetlerinin kayıtlardan kolaylıkla çıkarılmaması toplam maliyetin belirlenmesinde önemli güçlüklerdendir. Bu yüzden bazı maliyet öğelerinin kuyruk sürecinin detaylı analizinin yapılarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Girdi kaynağın işletme dışında olan kâr amacı taşıyan işletmelerde karar verici bakımından müşterinin bekleme maliyeti kaybedilen kârdır. Bu durumda kaybedilen kâr beklemenin alternatif maliyetidir. Bu maliyet; müşterinin kuyruk sebebiyle sistemi terk etmesi ve uzun süre bekleme sebebiyle daha sonraki hizmet talepleri için başka işletmelere gitmesi durumu gibi iki farklı biçimde ortaya çıkmaktadır. İki durumda da maliyetlerin tahmini oldukça zordur. Stok ve üretim gibi işletme faaliyetleri, girdi kaynağının işletme içinde olduğu sistemlerde görülmektedir. Bu sistemlerde müşteriler, mamul mallar, montaj parçaları, makine operatörleri ve makineler olabilmektedir. Örneğin makinelerin beklemesi durumunda, bekleme boyunca üretimi yapılmayan ve satışı gerçekleştirilemeyen ürünlerden elde edilecek karla birlikte beklemekte olan makineye bağlı olarak çalışan tüm üretim

sürecinin duraksamasının maliyetinin de eklenerek toplam bekleme maliyeti bulunabilmektedir (Sezgin ve Ada, 1991: 212).

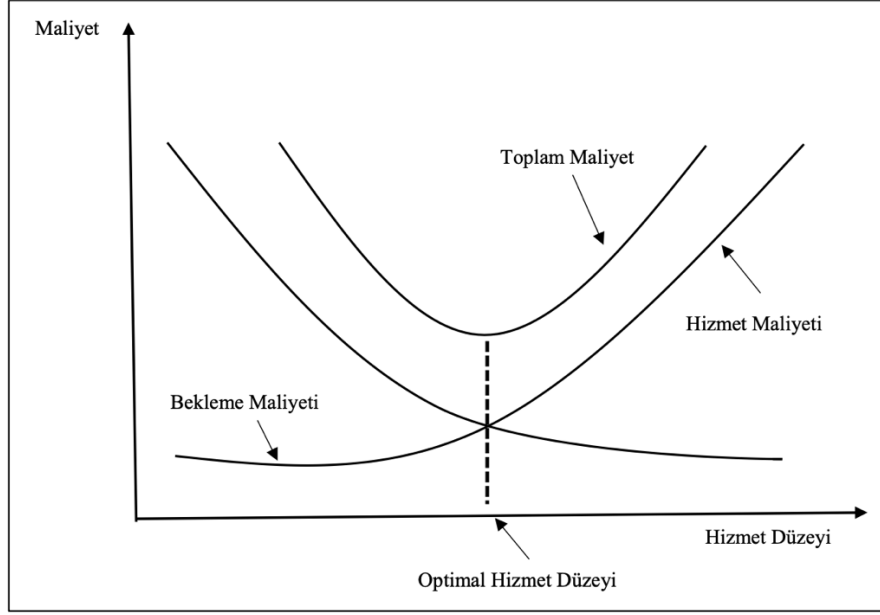
Bir maliyet analizine en basit yaklaşım, sistem maliyetlerini hesaplamayı, yani sistemdeki müşteriler için maliyetleri ve toplam kapasite maliyetini hesaplamayı içermektedir. Toplam maliyetleri en aza indirecek kapasite boyutunu belirlemek için yinelemeli bir süreç kullanılmaktadır. Kapasite bir seferde bir birim artırılırken, (örneğin, kanal sayısını bir artırmak) ve her artışta toplam maliyet hesaplanmaktadır. Toplam maliyet eğrisi U şeklinde olduğundan, genellikle toplam maliyet kapasite arttıkça başlangıçta düşecek ve sonunda artmaya başlayacaktır. Toplam maliyet bir kez artmaya başladığında, kapasitedeki ilave, toplam maliyetin artmasına neden olacaktır. Bu nedenle optimal kapasite boyutu kolaylıkla belirlenebilmektedir (Stevenson, 2007: 829).

Sıra bekleme sistemlerinin düzenlenmesi ve analizi amacıyla kullanılan modellerin ana amacı da optimal bir sıra bekleme sistemi, müşterinin sistemde beklemesi ve servis sisteminin boş beklemesinin toplam maliyetini en küçükleyen bir kuyruk sistemi düzenlemektir.

- $TC = c_w L + c_s k$

Burada;

- TC : Belli bir saat, gün v.b zaman dilimindeki toplam maliyet,
- c_w : Belli bir zaman diliminde bir müşterinin sistemde bekleme maliyeti,
- L : Belli zaman dönemi sürecince sistemde beklenen müşteri sayısı,
- c_s : Belli zaman diliminde bir servis kanalının işletme maliyeti,
- k : Servis kanallarının sayısını ifade etmektedir (Sarıaslan vd., 2017: 516).



Şekil 2.5: Bekleme hattı modelinde optimal hizmet düzeyi (Taha, 2020: 598).

Doluluk oranı servis düzeyiyle ters orantılı olan bir diğer kavramdır. Servis düzeyi azaldıkça birimlerin doluluk oranı yükselecektir. Tersini durumda ise servis düzeyinin artmasıyla doluluk oranı düşecek bunu sonucunda daha iyi hizmet, daha az bekleme maliyeti ve de daha esnek bir yapı sağlanacaktır. Diğer taraftan servis düzeyi düşüldükçe birimlerin doluluk oranı artacak bu ise daha iyi malzeme ve personel kullanımı, daha düşük servis maliyeti ve daha az atıl zaman sağlamaktadır (Ulucan, 2007: 466).

2.2.7 Bekleme Hattı Modelinin Analizinde Kullanılan Dağılımlar

Bekleme hattı teorisi modellerinde müşterilere verilen servis ve müşterilerin geliş yapısının bilinmesi önemli nitelik taşımaktadır. Müşterilerin kuyruk sistemine gelişleri tesadüfi olabildiği gibi önceden de bilinebilmektedir. Müşterilerin kuyruk sistemine gelişleri çoğunlukla tesadüfi olarak varsayılır ve gelişler ile gelişler arasındaki süreyi açıklarken olasılık dağılımlarından daha çok Üstel ve Poisson dağılımları kullanılmaktadır (Öztürk, 2011: 526).

Servis sisteminde tek veya çok sayıda personelin olması, bütün servis personellerinin aynı hızda çalışıp çalışmaması, servis personelinin hizmetlerini ihtisaslarına göre yapıp yapmadığı gibi özellikler bulunmaktadır. Servis personelinin hizmet sunmadaki hızı, servis süresi ve servis oranı ölçülerek bulunmaktadır (Gordon ve Pressman, 1997: 398).

Servis oranları ve servis sürelerinin oranları belirlenirken daha çok Erlang, sabit, üstel ve Poisson dağılımlar kullanılmaktadır (Ackoff ve Sasieni, 1970).

Poisson Dağılımı: Markete ya da bankaya gelen müşterilerden herhangi birinin gelişini tahmin etmenin bir yolu olmaması, müşterilerin hizmet yerine büsbütün rastgele bir biçimde gelmesi demektir. Poisson dağılımı belirlenmiş bir zaman aralığında böyle gelişlerin sayısını belirlemek için kullanılmaktadır (Taha, 2020: 485).

Poisson dağılım fonksiyonunun gerçek yaşamda birçok uygulamada çok sayıda varış oranlarını temsil ettiği kanıtlanmıştır. Birçok deneysel çalışma, endüstriyel operasyonlarda, trafik akışında ve çeşitli hizmet operasyonlarında poisson varış oranını doğrulamıştır. Geliş hızı dağılımlarının tümü poisson tarafından yeterince tanımlanamamaktadır, yine de geliş hızı dağılımlarının kontrol edilmesi çok basit bir analizle mümkün olabilmektedir. Poisson dağılımı tamamen rastgele varışlara karşılık gelmekte, birçok faktör varış süresini etkilediğinde, varışların poisson dağılımını takip etmesi mantıklıdır. Poisson dağılımında pratik soru, poisson dağılımının gerçeğe makul bir yaklaşım olup olmadığıdır (Buffa, 1977: 699).

Çoğunlukla varış hızı ile ilgili olan Poisson dağılımı, belirlenmiş alanda oluşan sonlu sayıdaki varışlarla veya verilen varış zaman aralığı ile ilgili olasılığı yansıtmaktadır. X rasgele değişkeninin her tamsayı değeri için tek ölçüm olasılığı bulunmaktadır (Genç, 2000: 78).

Kesikli olasılık dağılımlarından biri olan Poisson dağılımının yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

Dağılım:

$$P(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$$

- λ = Servis görmek için birim zamanda gelen müşterilerin sayısı (Ortalama geliş oranı)
- x = Olay sayısı (Ortaya çıkma olasılığına bakılan olay sayısı)
- $e=2.71828$ (Doğal logaritmanın tabanı)

Üstel Dağılım: Kuyrukların çoğunda müşterilerin gelişleri tamamen rastgele bir biçimde gerçekleşmektedir. Müşterinin gelişi veya hizmetin tamamlanması yani bir olayın oluşumunun, son olayın oluşumundan bu yana geçen sürenin uzunluğundan etkilenmemesi durumuna rastgelelik denmektedir (Taha, 2020: 600). Üstel dağılım, sabit bir doğum, ölüm, artış veya azalma olasılığı olduğunda ortaya çıkmaktadır (Dytham, 2011: 47). Belli bir zaman diliminde bir takıma atılan goller arasındaki süre veya bankamatiğe para çekmek için gelen müşteriler arasındaki süreler üstel dağılımla hesaplanabilmektedir (Uyrun, 2012: 22). Yine üstel rastgele değişken, bir araba yıkama tesisine varışlar arasındaki süreyi, bir kamyonu yüklemek için gereken süreyi, bir otoyoldaki büyük kusurlar arasındaki mesafeyi vb. tanımlamak için kullanılabilir (Anderson, 2013: 87).

Olasılık yoğunluk fonksiyonu:

$$f(x) = \frac{1}{\mu} e^{-\frac{x}{\mu}} \quad x \geq 0$$

Birikimli olasılık fonksiyonu:

$$P(x \leq x_0) = 1 - e^{-\frac{x_0}{\mu}}$$

Saf Doğum ve Ölüm Modelleri: Saf doğum yalnızca gelişlere, saf ölüm ise yalnızca gidişlere izin vermektedir. Yeni doğan bebeklerin doğum sertifikasının çıkarılması gelişlere yani saf doğuma, stok kalemlerinin rastgele çekilmesi ise gidişlere yani saf ölüme örnek olarak gösterilebilir (Taha, 2020, s. 605). Her iki model de üstel dağılımın üç aksiyomuna dayanmaktadır. Poisson dağılımı ile üstel dağılımın yakın ilişkisini gösteren bu modeller, bir dağılımın kendiliğinden diğerini tanımlaması anlamına gelmektedir. Saf doğum-ölüm modellerine tipik örnek olarak salgın hastalıklar ve telefon santraline gelen çağrılar gösterilebilir (Cooper, 1981: 11).

Herhangi bir t anında sistemin durumunun negatif olmayan bir tam sayı olduğu süreç bir doğum-ölüm sürecidir. λ_j değişkeni, j durumundaki doğum oranı olarak bilinir ve belirli bir süre boyunca meydana gelen bir geliş olasılığını, μ_j değişkeni ise j durumundaki ölüm oranı olarak bilinir ve belirli bir süre içinde hizmetin tamamlanma olasılığını sembolize eder. Bu sebeple, doğumlar ile varışlar ve ölümler ve hizmetlerin tamamlanması eş anlamlıdır.

Negatif bir duruma girmenin mümkün olmadığından sistemde $\mu_0 = 0$ olduğuna dikkat edilmelidir. Teorik olarak bir doğum-ölüm süreci sayılabilmesi için doğum ve ölümlerin birbirinden bağımsız olması gerekmektedir (Berry, t.y.).

Girişlerin birim zamanda λ müşteri hızı ile meydana geldiği ve zaman aralığı $h > 0$ için;

- $p_N'(t) = -\mu p_N(t)$
- $p_n'(t) = -\mu p_n(t) + \mu p_{n+1}(t), p_0'(t) = \mu p_1(t)$

olur. Bu denklemlerin çözümü;

- $p_n(t) = \frac{(\mu t)^{N-n} e^{-\mu t}}{(N-n)!}$
- $p_0(t) = 1 - \sum_{n=1}^N p_n(t)$
- (18) $0 < n < N$
- $n = 1, 2, \dots, N$

kesilmiş Poisson dağılımını verir (Taha, 2000: 609).

2.3 Acil Sağlık Hizmetlerinde Lojistik Yönetimi ve Ambulans Sistemi

Acil durumlarda olay yerine en kısa sürede ulaşılması, haberin erken alınması ve olaya eğitimli personellerin müdahalesi kayıpların azaltılmasında çok önemli etkenlerdir. Hızlı ulaşım, hızlı haber alma ve acil yardım hizmetinin etkinliği, yaşam şansını arttırmakta, sağlıkta kalıcı bozulma olasılığını ve de hastanede gerçekleşecek tıbbi tedavi süresini azaltmaktadır. Bütün acil yardım ekiplerinin olay yerine müdahalesinin en hızlı şekilde ulaşmasının optimize edilebilmesi için doğru bilginin doğru yönlendirme ile hızlı ulaşımın gerçekleştirilebilmektedir (Kaplan, 2006: 2).

2.3.1 Acil Sağlık Hizmetlerinin Tarihçesi

İnsanlık tarihi boyunca kazalar, afetler ve savaşlar neticesinde yaralanan, acil sağlık sorunları ile karşılaşan hasta ve yaralılar için farklı tıbbi müdahaleler yapılmıştır. Günümüzden 5000 yıl önce acil sağlık müdahalelerinin Mısır'da geliştirildiği ve uygulandığı, Roma ve Yunan medeniyetlerinde savaş meydanlarından yaralıların taşınması ile ilgili uygulama ve ilk yardım gibi çalışmalar yapıldığı bilinmektedir. St. John Şövalyeleri 11. Yüzyılda haclı seferleri esnasında savaşta yaralananların cephe gerisine taşınması ve

tedavisi için çalışmalar yapmışlardır. Tarihteki ilk ambulans benzeri araç ise 1487 yılında atlı arabalarla Malaga Kuşatması esnasında İspanyol ordusu tarafından kullanılmıştır (Milli Eğitim Bakanlığı, 2011: 4).

İlk kurtarma ekipleri 1767'de Amsterdam'da, 1768'de Hamburg'da, 1772'de ise Paris'te kurulmuştur. İlk tıbbi ordu birliği, savaş alanlarında yaralıları bulma, yaralılara buldukları yerde gereken müdahaleleri yapma ve sonrasında sahra hastanelerine sevklerini sağlama amacıyla Napolyon'un baş cerrahı Baron Dominique Jean Larey tarafından kurulmuştur (Pozner vd., 2004).

1960'lı yılların sonlarında modern acil servis hizmetlerinin temelleri ABD'de atılmıştır. 1966 yılında "Kazalara bağlı ölüm ve sakatlıklar: Modern toplumun ihmal edilmiş hastalığı" başlıklı bir raporla, hasta ve yaralılara verilen acil bakımın yetersizliğini vurgulamışlardır (Kaba ve Elçioğlu, 2013: 129).

Acil sağlık hizmetlerinin gelişimi incelendiğinde bu hizmetlerin tıbbın tarihiyle paralel gelişme gösterdiği ve hastane öncesi sağlık hizmetlerinin dünya genelinde son 30 yılda daha da önem kazanmaya ve bu alanda bilgi teknolojilerinin de gelişimi ile hızlı değişimler yaşanmaya başladığı görülmektedir (Milli Eğitim Bakanlığı, 2011: 3).

2.3.2 Acil Sağlık Hizmetleri Sisteminde Ambulans Örgütlenmesi

Ambulans hizmetlerinin başlıca amaçları; hayatı koruma, beklenmeyen tehlikelere karşı koruyucu önlemler alma, zamanı planlı ve doğru kullanma, tedaviyi hızlandırma, ilk ve acil yardım hizmetleri sayılmaktadır (Özyaral, 2005: 345).

2.3.3 Acil Sağlık Hizmetlerinin Önemi

Acil sağlık hizmetleri, beklenmedik hastalık veya kaza sonucunda ortaya çıkan sağlık sorunlarıyla karşılaşan kişilere en kısa sürede ulaşarak, olay yerinde eğitimli personel tarafından gerekli araç, gereç, tıbbi cihaz ve malzemelerle sunulan hizmetlerin tamamını kapsamaktadır. Bu hizmetler hastane acil servisleri, yoğun bakım üniteleri veya hastane dışı ambulanslar gibi farklı birimler tarafından sağlanabilmektedir (Tabak, 2008'den akt. Zengin, 2010: 3).

Acil sağlık hizmetlerinin temel amaci, hastalik ve yaralanma durumlarında doğru ve hızlı müdahalelerle ölüm ve sakatlıkları en aza indirmektir. Acil sağlık hizmetleri, ambulans hizmetleri gibi acil yardım ve kurtarma faaliyetleriyle başlar, ardından acil servis ve yataklı servisler ile devam eder ve rehabilitasyon hizmetleriyle tamamlanır. Bu hizmet zincirinin her bir halkası birbiriyle bağlantılı olduğundan, herhangi bir halkadaki zayıflık diğer halkaları da olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, hastane öncesi acil sağlık hizmetleri, bu zincirin ilk halkası olarak büyük bir öneme sahiptir. Hastane öncesi acil sağlık profesyonelleri, acil durumlarında diğer sağlık hizmeti sunucuları arasında en önde görev alan kişilerdir (Tippett vd., 2010: 20). Gelişmiş ülkelerde, insan hayatına en yüksek seviyede değer verildiği ve sağlık sistemlerinin başarılı bir şekilde uygulandığı görölmektedir (Aslan vd., 2018: 46).

Gelişmiş ülkelerde, ulusal düzeyde acil sağlık sistemleri başarılı bir şekilde faaliyet göstermekte ve insan hayatının değerine dayalı olarak güçlü uygulamalar gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle, acil sağlık hizmetlerinin sunumu sürecinde herhangi bir aksaklık yaşanması, diğer hizmet zinciri unsurlarını doğrudan etkileyebilmektedir. Bu sebeple, hastane öncesi acil sağlık hizmetleri, bu hizmet zincirinin ilk halkası olarak büyük bir öneme sahiptir. Beklenmedik hastalık, yaralanma, şiddet olayları veya doğal afetler gibi durumlarda, bireylerin hayatta kalma şansını artırmak, olası komplikasyonları önlemek ve hatta iyileşme süreçlerini hızlandırmak için hastane öncesi acil sağlık hizmetlerinin etkin bir şekilde uygulanması gerekmektedir (Aksoy ve Ergün, 2002: 161).

Araştırmalar, kazalar ve yaralanmalar sonucu ölümlerin %10'unun ilk 3-5 dakika içinde, %60'ının ise ilk 30 dakika içinde meydana geldiğini göstermektedir. Bu durum, birçok ülkede planlı bir şekilde ilk yardımın uygulanmasının hayati önem taşıdığını ortaya koymaktadır. Doğru ilk yardım ve uygun taşıma teknikleriyle olay yerinde ölüm oranlarının önemli ölçüde azalabileceği anlaşılmıştır (Akgün, 2021: 3).

Bulaşıcı hastalıkların mortalite ve morbidite nedenleri arasında ilk sırada yer aldığı eski dönemlere nazaran, günümüzde kaza, travma, kronik hastalıklar, uyuşturucu madde kullanımı ve intihar gibi nedenler öne çıktığı görölmektedir. Travma ve kronik hastalıklara bağlı ölüm ve morbiditenin azaltılmasında hastane öncesi acil sağlık hizmetlerinin etkisi belirginleşmiştir. Bu nedenle, Türkiye gibi diğer ülkeler de hastane öncesi acil sağlık hizmetlerine verilen önemi giderek artırmaktadır (Şimşek vd., 2018: 121).

Dünya genelinde, yaygın olarak kullanılan iki tür acil sağlık sistemi vardır. Birincisi Anglo-Amerikan modelidir, ikincisi ise Franko-German modelidir. Anglo-Amerikan modelinde, hastaların olay yerinden uygun sağlık kurumuna en kısa sürede taşınması esas alınır. Olay yerinde geçirilen süre minimum seviyede tutulmaya çalışılır ve kişinin tedavisi acil servis koşullarında devam ettirilir. Franko-German modelinde ise hasta bireyin olay yerinde tedavisine başlanır ve ilgili sağlık birimine taşınması sağlanır, acil servis ziyaretini içeren bir süreçtir (Paksoy, 2016: 7). Amerika Birleşik Devletleri, İngiltere ve Türkiye Anglo-Amerikan modele uyum sağlamışlardır. Almanya, Fransa, Avusturya ve Rusya ise Franko-German modelini uygulamaktadır (Paksoy, 2016: 7).

2.3.2 Türkiye’de Acil Sağlık Hizmetleri ve 112 Acil Çağrı Merkezi

Ülkemizde acil sağlık hizmetleri, bireylerin hayatlarını en iyi şekilde sürdürebilmelerini sağlama amacıyla kuruluşundan bu yana değişimler göstermiştir. İlk olarak 1964 yılında çıkarılan 224 sayılı kanunla, sağlık hizmetlerinin ülkenin en uzak köşelerine ulaştırılması ve eşitlik ilkesiyle sunulması hedeflenmiştir (Paksoy, 2016: 10). 1982 Anayasası'nın 56. maddesiyle sağlık hizmetlerinin devlet güvencesi altında sunulacağı ve bu hizmetlere eşit şekilde erişimin sağlanacağı kararı alınmıştır (Atalay ve Karan, 2023). Bu prensip bugün hala aynı şekilde uygulanmakta ve bireyler tarafından acil sağlık hizmetlerinden eşit şekilde yararlanılmaktadır.

Türkiye’de acil sağlık hizmetleri T.C. İçişleri Bakanlığı İller İdaresi Genel Müdürlüğü'nün bir birimi olan 112 Acil Çağrı Merkezi tarafından yönlendirilmektedir. 112 acil çağrı merkezi sisteminin iki ana fonksiyonu ve hedefi vardır: (1) Acil durum çağrısı yapma halinde vatandaşların birden çok numara yerine tek bir numarayı öğrenmeleri, (2) Acil yardım çağrısı alındıktan sonra en kısa zamanda olay yerine ya da acil durumdaki kişiye ulaşabilmektir (*112 Acil Çağrı Merkezi*, t.y.).

Acil durumda tek numara 112 sistemi, 2021 itibariyle 81 ilde devreye alınmıştır². 2009-2016 yılları arasında tek numara 112 sistemine geçen illerde Yeni Nesil 112 Projesi kapsamında

² 112 Acil Çağrı Merkezleri Projesi kapsamında çalışmalara ilk olarak pilot iller olarak belirlenen Antalya ve Isparta’da başlanmıştır. Bu iki ilde çağrı merkezleri 2009 yılında hizmete açılmıştır. Proje kapsamında Co-location modeli tercih edilerek ve çalışmalar buna göre düzenlenmiştir. Modele göre çağrının alınması, vakaların takip ve eşgüdümü aynı salon içerisinde bulunan görevliler tarafından yerine getirilmektedir (*112 Acil Çağrı Merkezi*, t.y.).

altyapı ve sistem yenilenmesi çalışmalarına başlanmıştır ve 2016 yılında Sağlık Bakanlığı'na bağlı 22 ilde ortak çağrı sistemine geçiş yapılmıştır (Sağlık Bakanlığı 2016 Yılı Faaliyet Raporu, 2016). Günümüzde 81 ilde de ortak çağrı sistemi kullanılmaktadır (*112 Acil Çağrı Müdürlüğü*, t.y.).

Gerçek dünyadaki durumun anlaşılması için 112 Acil Çağrı Merkezinin iş akışı ilgili tanımlar şu şekildedir.

Acil Sağlık Yardımı Çağrısı: Acil sağlık yardımı gerektirmekte olan durumlarda merkeze yapılan başvuru niteliğindeki çağrılar, hizmete ulaşmanın ilk aşamasıdır. Ücretsiz aranabilen 112 numaralı telefon vasıtasıyla yahut diğer iletişim araçları ile merkeze çağrı yapılır. Çağrı çeşitli bilgileri içermektedir, bunlar; çağrı merkezinin gerekli hizmeti değerlendirmesi ve planlama yapabilmesi için olay yeri ve özellikleri bilgileri ile birlikte yaralı ya da hasta sayısıdır.

Çağrının Değerlendirilmesi: Acil Sağlık Merkezi elde edilen bilgiler ışığında, istemin acil sağlık hizmeti gerektirip gerektirmediğini değerlendirmektedir. Değerlendirme yetkisi ise çağrıyı alan hekime aittir. Hekim, istemin acil sağlık hizmeti gerektirmediğine karar verirse, istemi reddetme yetkisini haiz olup, bu durumda istemin nasıl karşılanabileceğini bildirmekle sorumludur.

Yönlendirme: Acil Sağlık Hizmetleri Yönetmeliği'nde acil sağlık hizmeti içinde yer alan istasyonlar, destek hizmetleri ve acil servisler gerektiğinde merkez tarafından yönlendirilmektedir. Yönlendirme, yardım isteminin ulaşmasından sonra, Merkez tarafından var olan iletişim sistemi ile en kısa zamanda, istemin niteliğine en yakın ve/veya en uygun birim veya birden fazla birimin görevlendirilmesi ile yerine getirilmektedir. Ek olarak Merkez, durumun mahiyetine göre gereksinim duyduğu diğer kuruluşları da hizmetlerini yönlendirebilmeleri amacıyla bilgilendirmektedir. Ekip aracılığıyla müdahale sırasında talep edilen tıbbi danışmanlık için gün içinde kesintisiz olarak gerekli tıbbi danışman bulundurma veya tıbbi danışmanlığı yapacak Müdürlüğün teklifi ve valiliğin onayıyla yetkilendirilmiş bir uzman doktora yönlendirmek Merkezin sorumluluğundadır. İhtiyaç duyulması halinde, Üniversitelerin ve Eğitim Hastanelerinin ilgili bölümlerindeki uzman doktorlardan da bilgi desteği alınmaktadır.

İstem Yönlendirilen Birim Tarafından Karşlanması: Merkezce yönlendirilen birim en kısa zamanda olay yerine ulaşır. Yönlendirme esnasında ve olay mahallinde edinilen bilgiler ışığında olay yerine ulaşan ekip acil sağlık yardımını gerçekleştirmektedir. İlgili müdahale esnasında hizmeti gerçekleştiren ekibin yapmış olduğu değerlendirmeler neticesinde, ileri tıbbi müdahaleye gereksinimi olan hastanın ambulans ile sevkine karar verilir. Eğer hizmet olay mahallinde verilmiş ve ileri tıbbi müdahale gerekmiyorsa, ekip sunduğu hizmeti merkeze bildirmektedir.

Nakil: Ekip hastanın nakline karar verirse, nakil başlamadan önce merkezle iletişime geçmekte, ihtiyaç duyulduğunda en uygun acil servis hakkında yönlendirme talep eder. Ekip, merkez tarafından hizmet kapsamında olan acil servislerin o anki kapasitesini değerlendirerek ekibi gerekli servise yönlendirmektedir. Merkez yönlendirmenin ardından, acil servise olay hakkında bilgi verir. Nakil esnasında, ihtiyaç halinde tıbbi müdahale sürdürülmektedir. Eğer, nakil esnasında tıbbi müdahalenin yapılabilmesi için bilgi desteği gerekirse, uygun kurum ve kuruluşla Merkez üzerinden yahut iletişim olanağı var ise doğrudan temas kurulmaktadır.

Acil Servise Nakil: Hasta acil servise, tıbbî değerlendirme, müdahale ve ihtiyaç duyulması halinde stabilizasyon gerçekleştirildikten sonra gerekli bilgilendirmeyi takiben nakledilmektedir.

Sunulan Hizmet ile ilgili Bildirimlerin Yapılması: Acil sağlık hizmeti sunan tüm kamu kurum ve kuruluşları, özel hukuk tüzel ve gerçek kişiler ve bunların kurduğu sağlık kurum ve kuruluşları, Merkeze aylık olarak periyodik biçimde bildirim yapmaktadırlar (*T.C Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi*, t.y.).

Acil Çağrı: Kişi sağlığı ve güvenliği, kamu düzen ve güvenliği, toplum sağlığı, doğaya ve sulak alanlara yönelik beklenmeyen tehditler ve mala yönelik zararları içermekte olan durumlara dair her türlü çağrıyı ifade etmektedir.

Acil Çağrı Hizmeti: Acil çağrı alındıktan sonra ilgili kurum ya da kuruluşların acil çağrı hizmetini tamamlamasına kadar geçen zamanda verilen koordinasyon ve sevk hizmetini ifade eder.

Acil Çağrı Yazılımı. Merkeze gelen çağrı ve istatistiklerin, hizmeti yönetme sürecinin otomasyon sisteminde takibi ve kaydını sağlayan güvenliği sağlanmış olan yazılımdır.

Acil Yardım Hizmeti: Acil çağrı alındıktan sonra ilgili kurumların kendi mevzuatları dahilinde yürütmek zorunda oldukları her türlü yardım hizmetidir.

Araç Takip Sistemi: İlgili kurumların acil çağrının ihtiyaç duyduğu hizmeti veren araçların sayısal haritalar üzerinden takibini sağlayan sistemdir.

Çağrı Alıcı: Çağrı merkezinde çağrıyı ilk karşılayan personeldir.

Çağrı Merkezi: 112 acil çağrı hizmetlerinin yürütüldüğü 112 Acil Çağrı Merkezini ifade eder.

Çağrı Yönlendirici: Çağrı alıcılarının sistem üzerinden gönderdiği acil yardım istemlerini diğer birimlerle eşgüdüm içerisinde kendi kurumunun olanaklarını kullanarak eşgüdümleyen ve çağrı merkezinde kurumunu temsil eden personeldir.

Diğer Personel: Acil yardım hizmetini vermekte olan kurumların kendi mevzuatlarına göre acil yardım hizmetini yürütmekle görevlendirilmiş personeldir.

Genel Müdürlük: İller İdaresi Genel Müdürlüğünü ifade eder.

İlgili Birimler: İlgili kurumların çağrı merkezinde görev yapmakta olan birimleridir.

İlgili Kurumlar: Çağrı merkezinde görev alan kurumlar vardır. Bunlar; il jandarma komutanlığı, sahil güvenlik bölge veya grup komutanlığı, il emniyet müdürlüğü, büyükşehir belediyesi itfaiye daire başkanlığı ile il, ilçe ve belde belediyeleri itfaiye müdürlükleri veya birimleri, doğa koruma ve milli parklar bölge veya şube müdürlüğü, il sağlık müdürlüğü, orman bölge veya işletme müdürlüğü, il afet ve acil durum müdürlüğü ile valilik kararı ile 112 acil çağrı sistemine dâhil edilen diğer kurumlardır.

KBRN: Kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer kısıltmasıdır.

Konsol: Tüm çağrı alıcı veya yönlendiricilerinin acil çağrıları almak için kullandığı donanım ve yazılım setini ifade eder.

Müdürlük: 112 acil çağrı merkezi müdürlüğünü belirtmektedir.

Operasyon Merkezi: Sistem içerisinde yer alan kurumların bilgisayar iletişimi sağlanan harekât merkezleridir.

Valilik: Çağrı merkezinin bağlı olduğu il valiliğini belirtmektedir (*T.C Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi*, t.y.).

112 Acil Çağrı Merkezinin terminaline gelen çağrılar ilk olarak çağrı alıcı tarafından alınmakta ve çağrı yönlendiriciye sevk edilmektedir. Çağrı yönlendirici çağrıları en kısa sürede gerekli birimlere aktarmaktadır. Acil sağlık hizmeti söz konusu olduğunda ambulans ekipleriyle ilgili bilgiler paylaşılmakta ve ihtiyaç duyulan alana ambulanslar yönlendirilmektedir. 112 Acil Sağlık Merkezi çalışanlarının iş yükü oldukça fazladır (Güneri vd., 2011: 2). Ayrıca Önge ve arkadaşlarının araştırmasına göre (Onge vd., 2013: 153) ambulans çağrılarının yoğunlukları günün saatleri, haftanın günleri ve yılın aylarına göre değişmektedir. Çağrılar en çok 18:00-00:00 saatleri arasında yoğunlaşmaktadır. Bununla birlikte 112 Acil Çağrı Merkezi vaka dışı pek çok çağrı ile de uğraşmak zorunda kalmakta, bu da hem çalışanların iş yükünü ağırlaştırmakta hem de acil müdahale gereken vakalara etkin bir müdahaleyi geciktirmektedir.

Vakaya ulaşma süresinin hayati olduğu göz önüne alındığında gecikmelerin yaşanmaması elzemdir. Bu doğrultuda alan yazınında vakaya ulaşma süreleri ile ilgili çeşitli araştırmalar yapıldığı ve süreye etki eden etmenler araştırıldığı görülmektedir. Ambulansın yanıt süresini hasta ve sistem düzeyinde etkileyen etmenler şu şekilde açıklanabilir: (1) Sistemle bağlantılı faktörler: çağrı merkezlerinin dağılımı, çağrı hacimlerini ve eşzamanlı çağrılarının hacmini ele alma kapasitesi ve ambulans birimlerinin yoğunluğu ve kullanılabilirliğidir. Düşük talep yoğunluğu ile birlikte nispeten yüksek ambulans hızlarına sahip geniş bir coğrafi alan, öngörülen yanıt süresinin zayıf olmasına katkıda bulunmuştur. (2) Hastayla bağlantılı faktörler: Hastanın yaşı, etnik kökeni, cinsiyeti, sosyoekonomik durumu, hastalığın şiddeti ve acil servislere uzaklığı gibi hasta düzeyindeki faktörlerin ambulans nakil aralığı gecikmeleri ile ilişkili olduğu bulundu. Örneğin, yüksek sosyoekonomik statüye sahip

mahallelerin, göğüs ağrısı olan hastalar için hastane dışı ulaşım aralıklarının, düşük sosyoekonomik statüye sahip mahallelere göre daha kısa olduğu bulunmuştur (Do vd., 2013: 170).

2.4 Afetlerin Acil Sağlık Hizmetlerine Etkisi

Felaketler, insan hayatını etkileyen, günlük yaşamlarını ve sosyal etkinliklerini kesintiye uğratan ve fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplara neden olan doğal, teknolojik veya insana bağlı olaylardır. Felaketler, genellikle bir toplumun araç ve kaynaklarıyla aşılması mümkün olmayan, dışardan yardım gerektiren olaylardır (UN DHA, 1992). İnsanlar dünya genelinde hem insana bağlı hem de doğal felaketlerle karşı karşıya kalmışlardır. Ancak özellikle son yıllarda felaketlerin sıklığı ve bu felaketler nedeniyle mülk ve can kayıplarının hızla arttığı gözlenmektedir (Koçak vd., 2015: 180).

Felaketler ülke Gayri Safi Yurtiçi Hasıllarını daha fazla tüketmedikçe, hükümet finansmanının muhtemelen Felaket Kaynak Planlama yazılımı inşa etmek için mevcut olmayacaktır. İlk adım, hükümet felaket maliyetlerini doğru bir şekilde hesaplamak ve kaynak planlama inşasını analizini yapmaktır. Yanıt aşaması kaynak kullanımını optimize etmek için felaket kaynak planlama yazılımı ve veri tabanı küresel olarak erişilebilir olmalıdır (Özdamar ve Ertem, 2015: 20). Felaketlerin neden olduğu büyük ölçekli yıkım, hükümetleri ve uluslararası kuruluşları alternatif çözümler bulmaya yönlendirmiştir. Özellikle Birleşmiş Milletler tarafından yürütülen çalışmalar sonucunda, felaketlerin neden olduğu kayıpları önlemek amacıyla dünya genelinde benimsenen politikalar geliştirilmiş ve mümkün olduğunca uygulanmıştır (Housner, 1989: 45). Bu politikaların nihai amacı, toplumların felaketlere karşı daha dayanıklı hale gelmesini sağlamaktır. Felakete dayanıklı bir toplumun en önemli unsurlarından biri, felaketlere hazırlıklı olan bireylerdir. Her bireyin felaketlere karşı kişisel önlemler alması ve gerekli hazırlıkları yapması, felaket sonrasında ortaya çıkabilecek ölüm ve yaralanmaları azaltarak yaşamların sürdürülmesini sağlar (Kapucu, 2008: 526). Bununla birlikte, felaket ve acil durum müdahalesi alanında sorumlulukları olan insanların hazırlıklı olması daha önemlidir çünkü kendilerinin yanı sıra diğer insanların hayatlarını doğrudan etkilerler (Koçak vd., 2015: 184).

Afetler, kitlesel olaylar ve acil durumlar her geçen gün artmaktadır ve bu da acil sağlık hizmetlerine olan ihtiyacın da artmasına neden olmaktadır. Acil Sağlık Hizmetleri, sağlık

sorunu yaşıyan bireylere hızlı müdahale ve karar verme gerektiren bir hizmet olarak tanımlanır. Temel amacı, zararları en aza indirerek ölümleri ve sakatlanmaları en düşük seviyede tutmaktır (Milli Eğitim Bakanlığı, 2011: 11).

Acil tıbbi hizmetler personeli, özellikle felaket durumlarında en çok ihtiyaç duyulan kişilerden biridir. Bu kişiler, felaketlerin hemen ardından acil hizmetlerin sunulması ve ardından saha hastanelerinde bu hizmetlerin yürütülmesi konusunda önemli bir rol oynamaktadır. Acil tıbbi hizmetler personeli, diğer insanları acil durum ve felakete karşı hazırlama konusunda eğitmeli ve bilgilendirmelidir. Başka bir deyişle, acil tıbbi hizmetler personelinin hazırlık düzeyi, felaketlerin neden olduğu ölüm ve yaralanmaların sayısını etkileyen bir faktördür.

Afetler, bir toplumun işleyişinde kendi kaynaklarını kullanarak başa çıkma kapasitesini aşan ciddi aksamalardır. Afetler, doğal, insan yapımı ve teknolojik tehlikelerin yanı sıra bir topluluğun savunmasızlığını etkileyen çeşitli faktörlerden kaynaklanabilir (IFCR, 2023). Afet yönetiminde ilk 24-72 saat büyük önem arz etmektedir (Subandi vd., 2019). Altın saatler deprem olduktan sonra hayati önem arz eden ilk 72 saattir. Hayatta kalma oranı büyük ölçüde kurtarma hızına bağlıdır, araştırmalar ilk 24 saatte kurtarılan yaralıların hayatta kalma olasılığının %90, 25-48 saatler arasında %50, 49-72 saatler arasında %20, 72 saatten sonra ise %5'ten daha az olduğunu göstermektedir. Bu sebepler ilk 72 saatte acil müdahalelerin başarısı, koordinasyonun hazırlık aşamasında etkin bir biçimde planlanmasıyla mümkün olabilmektedir (Huang ve Lien, 2012: 530).

Bir felaket sonrasında büyük sayıda kurbanla başa çıkmak için genellikle kullanılan klasik bakım yaklaşımında, ilk müdahale ekipleri kurbanlara temel triyaj ve saha bakımı sağlamayı öğrenir ve daha sonra en yakın müsait sağlık tesise tahliye eder. Çok sayıda yaralının yönetimi üç ana bölüme ayrılır: olay yerinde acil bakım (arama kurtarma, ilk yardım, triyaj ve kurbanların stabilizasyonu); hastane kabul ve tedavi; gerektiğinde hastaların diğer hastanelere nakledilmesi (Pan American Health Organization, 2000: 38).

Tüm bunlarla birlikte afet durumlarında acil sağlık hizmeti sunacak personelin ve bu hizmetin sunulması için gerekli araç gereç ve yapıların da afetlerden etkileneyeceği de afet durumlarında sağlık hizmetlerinin sunumunda dikkat edilmesi gereken çok önemli bir husustur (Goyet vd., 2018: 289). Dolayısıyla afetler yaşanmadan önce ciddi bir planlama

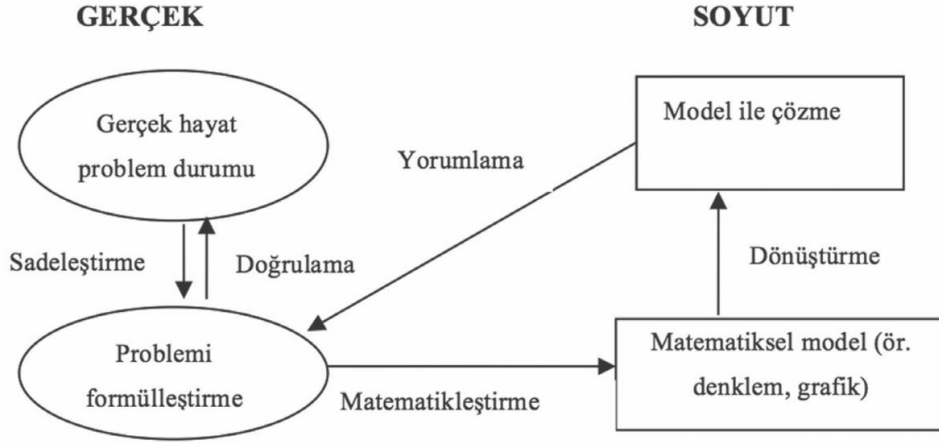
yapılmalıdır. Afet yaşanması durumunda oluşabilecek can kaybının ve yaralıların yaşayacağı travmaların minimuma indirilmesi için olası senaryolar karşısında atılacak adımlar dikkatlice hesaplanmalıdır.

2.5 Afet Durumlarında Acil Sağlık Hizmetlerinde Matematiksel Modellerin Kullanımı

Bir felaket sonrasında büyük sayıda yaralının tıbbi tedaviye ihtiyacı genellikle belirli türdeki felaketlerden sonra ortaya çıkar. Bu durumlarda yerel kaynakların hızlı bir şekilde harekete geçirilmemesi nedeniyle birçok can kaybedilmektedir. Taşıma, ilk yardım, tıbbi bakım ve malzeme temini gibi organizasyon ve teslimat yükü, ilk aşamada zaten afetten etkilenmiş olan bölgenin omuzlarındadır. Uluslararası toplumun yardımı, tepki süresi gerekliliği nedeniyle en büyük ihtiyaç döneminde yaşam kurtarmada fark yaratmamaktadır (Pan American Health Organization, 2000, s. 38). Afet durumlarında ülkenin elindeki mevcut kaynakların kısa süre içinde en optimal düzeyde kullanılması gerektiğinden pek çok çalışmanın acil sağlık hizmetleri sunumunda matematiksel modeller geliştirdikleri söylenebilir.

Matematiksel modelleme, gerçek hayattaki problemlerin soyutlanarak matematik diline aktarma, çözümlenme ve çözümün test edildiği döngüsel bir süreçtir (Blum vd., 2007: 4). Gerçek hayat durumlarının işleyiş ve yapısını tanımlamak için matematiğin sembolik diline aktarılması sürecidir (Gravemeijer ve Stephan, 2002: 145).

Tekrarlı döngüler içeren, lineer olmayan ve beş aşamadan oluşan modelleme sürecinin aşamaları şunlardır: (1) gerçek hayat problemi tanımlaması ve sadeleştirilmesi, (2) matematiksel modelin oluşturulması, (3) modelin dönüştürülmesi, geliştirilmesi ve çözümü, (4) modelin yorumlanması, (5) modelin doğrulanması ve kullanılmasıdır (Erbaş vd., 2014: 1623). Şekil 2.6'da matematiksel modelleme aşamaları gösterilmektedir.



Şekil 2.6: Matematiksel modelleme aşamaları
(National Council of Teachers of Mathematics, 1989'dan akt. Erbaş vd., 2014: 4).

Literatürde kullanılan çözüm yöntemleri incelendiğinde matematiksel programlama, istatistiksel teknikler, sezgisel yaklaşımlar, çok kriterli karar verme teknikleri gibi çok çeşitli tekniklerin kullanıldığı tespit edilmiştir. Kullanılan yöntemler karşılaştırıldığında, planlama problemlerinde istatistiksel teknikler ve çok kriterli karar verme tekniklerinin, yönetim alanında sezgisel yaklaşımların, hemen her alanda ise matematiksel programlamanın kullanıldığının söylenmesi mümkündür (Batur ve Erol, 2018: 162) .

Alan yazını incelendiğinde özellikle ambulans hizmetlerinin optimizasyonu konusunda matematiksel modellerden sıklıkla faydalandığı görülmektedir. Brotcarne ve Ark. (2003), araştırmalarında son 30 yılda önerilen ambulans konumu ve yeniden yer değiştirme modellerinin gelişimini izlemektedirler. Çalışmada modeller deterministik ve olasılık modelleri olarak iki ana kategoride sınıflandırılmaktadır. Planlama aşamasında kullanılan deterministik modeller, ambulansların mevcudiyeti ile ilgili stokastik özellikleri göz ardı etmektedir. Olasılık modellerinde ise ambulanslar bir kuyruk sisteminde sunucular gibi çalışmakta ve her zaman bir çağrıya cevap verememektedir. Ek olarak çalışmada ambulansların gün boyunca sürekli yer değiştirdiği dinamik modeller geliştirilmiştir. Özel amaçlı yöntem ve malzeme gerektirmesi nedeniyle ambulans hizmetleri acil sağlık hizmetleri içerisinde maliyeti en yüksek olan acil sağlık hizmetidir. Bunun yanında sağlanması gereken asgari ahlaki ve yasal şartların olması bu hizmetlerin planlanmasını daha da karmaşık bir hale getirmektedir. Bu çalışmada acil ambulans servis sistemleri yerleşim modelleri incelenerek günümüzde kullanımı yaygın olan hava ambulanslarının kara

ambulansları ile bütünleşik hizmet vermesinin sağlandığı sıfır-bir karma tamsayılı matematiksel bir model önerilmiştir.

Güldeş ve Çetik (2016) çalışmalarında, acil sağlık hizmetlerinde maliyeti en yüksek olan ambulans hizmetlerinin asgari ahlaki ve yasal koşulların olmasının bu hizmetleri daha da karmaşık hale getirdiğini vurgulamışlardır. Bu çalışmada acil ambulans servis sistemlerini incelemişler ve kullanımı giderek yaygınlaşan hava ambulanslarının kara ambulansları ile entegre hizmet vermesini sağlayan sıfır-bir karma tamsayılı matematiksel bir model önermişlerdir. Gülsün ve Yılmaz (2015) ise, acil servis hizmetlerinden ambulans hizmeti, vakayı yaşayan insanlara minimum sürede ulaşmayı ve gereken zamanlarda hastanelere minimum sürede ulaşmayı amaçladığından ambulans hizmetinin sunulduğu noktanın önemini vurgularken, ambulans hizmetinin daha etkin sunumu için Kocaeli ili İzmit ilçesinde uygun ambulans noktalarını Google Maps aracılığı ile hesaplayarak tesis yeri seçimi metotları olan euclidean mesafe ve sezgisel metot yöntemlerini de kullanılarak sonuca ulaşmışlardır. 112 ambulans çağrı sisteminin en önemli performans göstergelerinden birinin vakaya ulaşma süresi olduğunu, vakaya ne kadar kısa sürede müdahale edilirse o denli kaliteli hizmetin sunulacağını vurgulanmaktadır. Buradan hareketle Öztürk ve diğerleri (2013) çalışmalarında Konya-Selçuklu ilçesinde 112 istasyonlarının olaylara müdahale süresini minimize etmek için en uygun yerleşim yerinin belirlenmesi için model önermişlerdir. Hedef bölgede var olan istasyonların yerleri işaretlenerek, eklenen yeni noktalar arasındaki süreler tespit edilmiş ve küme kapsama modeli elde etmişlerdir. Modeli Gams yazılımı ile çözerek sonuçlara ilişkin iyileştirmeler önermişlerdir.

Acil çağrı merkezlerinde kapasite ve iş gücü planlaması gibi stratejik sorunlar sistemin verimsizliğine neden olmaktadır. Acil sağlık hizmetlerinde çağrıya en kısa sürede cevap verebilecek sistemi tasarlamak için alan yazınında birçok çalışma yer almaktadır. Martin Van Bruuen ve arkadaşları çalışmalarında acil çağrı merkezleri için üç farklı olay simülasyon modelini sunmakta ve karşılaştırmaktadırlar. İlk model iletişim görevlerinin paylaşıldığı iki farklı çağrı merkezi temsilcisinin olduğu durumdur. İkinci model, tüm iletişim görevleri tek bir müşteri temsilcisindedir ve her ikisinin birleşimi olan model de üçüncüsüdür. Kapasite ve iş gücü planlaması gibi stratejik sorunları ele almak için kullanılan modeller acil çağrı merkezi süreçlerine yeni bir bakış açısı sağlamaktadır (Van Buuren vd., 2017: 16).

Ambulans kullanımı açısından artan talep göz önüne alındığında, acil tıbbi hizmetlerin taleplerini etkili bir şekilde acil servislere atayabilmek, önemli bir işlev haline gelmektedir. Acuna ve diğerleri (2020) son on yılda, acil servis (AS) kalabalığı, ABD sağlık sistemi için ulusal bir krize dönüştüğünü ve bu durumun artan mortalite oranları, düşen bakım kalitesi, terk edilen hastalar nedeniyle maddi kayıplar ve ambulans yönlendirmelerine sebep olduğunu vurgulamışlardır. Araştırmacılar çalışmalarında hastaların toplam tedavi süresini, bekleme sürelerini azaltmak ve dolayısıyla AS kalabalığını azaltmak için yeni bir ambulans tahsis optimizasyon modeli sunmaktadır. Paralel şekilde Singer ve Donoso (2008) Şili'deki özel bir ambulans hizmetinin işleyişini iyileştirmek için bir ambulans hizmetini ana operasyon parametreleri ve stratejik karar değişkenleri açısından tanımlamaktadırlar. Kuyruk teorisinin yardımıyla, yöneticiyi ilgilendiren ve hastayı ilgilendiren temel performans göstergelerini hesaplamaktadırlar. Araştırmacılar ilk olarak, geçmiş performansın dağıtılan kaynaklarla tutarlı olup olmadığını değerlendirmekte ardından, döngü süresini kısaltmak veya filoyu büyütmek gibi bazı operasyonel iyileştirmelerin etkisini tahmin etmektedirler. Son olarak, üslerin coğrafi kapsamını optimize etmektedirler. Çalışmalarında basit matematiksel ifadelerin işlemi değerlendirmek ve geliştirmek için çok yararlı olduğu sonucuna varmışlardır.

Görüldüğü gibi alan yazınında yaralılara ilk müdahalenin yapılacağı ambulans hizmetlerinin optimizasyonunun nasıl sağlanması gerektiği konusunda pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların büyük bir kısmının bekleme süresinin nasıl minimize edileceğine odaklandıkları söylenebilir. Yaralılar acil servise ulaştırıldığında da bekleme süresinin azaltılmasının nasıl sağlanabileceği ile ilgili matematiksel modellerin kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Örneğin, Özdağoğlu ve diğerleri (2009) çalışmalarında, belirli bir dönemde başvuruda bulunan hastaların bilgileri baz alınarak, bir hastanenin acil servisindeki hastaların tanı ve önceliklerine göre sınıflandırılması amacıyla, çok kanallı ve çok aşamalı bir simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Hastaların acilde bekleme sürelerini en aza indirme ve hizmet sağlayıcılar hakkında çeşitli tavsiyelerde bulunmuşlardır (Özdağoğlu vd., 2009).

Afet durumlarında acil sağlık hizmetlerinin önemi artmakta ve acil sağlık hizmetini yerine getirecek tüm birimlerin yükleri artmaktadır. Bu durum da afet sonrası acil sağlık hizmetlerinin optimizasyonunun nasıl sağlanması gerektiği noktasında pek çok çalışmanın yapılmasına neden olmuştur. Örneğin, Görmez (2008) İstanbul'da beklenen deprem için afet müdahale ve yardım merkezi yer seçimi problemini ele almaktadır. Durum değerlendirmesi

yapmak, açılacak merkezlerin yerleri ve sayılarının etkilerini ortaya çıkarmak çalışmanın amaçları arasındadır. Araştırmacı yeni açılacak merkezlere ek olarak var olan kamu binalarını da kullanan iki aşamalı bir dağıtım sistemi öngörmektedir. Depremden etkilenen insanlara olan mesafeyi ve yeni açılan merkez sayısını minimize etmeyi hedefleyen bir matematiksel model geliştirmekte, farklı senaryolar için bu iki hedef arasındaki ilişki ve neticeleri incelemektedir. Macit ve Ark. (2018) ise araştırmalarında, deprem sonrası arama kurtarma birliklerinin bir planlama ufku süresince depremden etkilenen bölgelere mevcut birlik sayılarını ve buna ek olarak tiplerine göre birlik sayılarını bulmayı amaçlamışlardır. Çalışmada, oluşturulan matematiksel modelde birincil ve ikincil kapsama alanları arasında gönderilecek birlikler aynı kapsama bölgesinden gelen talepleri risk baskı faktörü büyüklüğüne göre sıralamaktadır. Matematiksel modelden elde edilen sonuçlar ise simülasyon deneyi ile test edilerek matematiksel modelin geçerliliği test edilerek ve arama kurtarma birliği gereksinimi belirlenmiştir.

Benzer şekilde, Çiftçi ve Sakallı (2022), deprem sonrası ilk saatlerin yaralıların yaralanma şiddetlerine göre, geçen zamanla hayatta kalma olasılıklarının düştüğünü dolayısıyla enkazdan çıkarılan yaralılara ilk müdahalenin yapılması ihtiyaç halinde de hastaneye sevkinin sağlanması gerektiğini, bu sebeple sağlık kaynaklarının planlanmasının depremin yıkıcı etkisini azaltacağını vurgulamışlardır. Araştırmacılar çalışmalarında, deprem sonrası hayatını kaybeden yaralı sayısının minimize edilmesini amaçlayan 0-1 karışık tam sayılı bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Modelde enkaz bölgelerine olay yeri triyajını gerçekleştirecek sağlık birimlerinin tahsisi, olay yeri triyajı görmüş yaralıların hastaneye sevk için ambulansların hangi hastanelere yönlendirilmesi gerektiği ve ambulans ataması yapılması kararları verilmek istenmektedir.

Özdamar, Küçükyazıcı ve Ekinçi (2004) ise 1999'da yaşanan Marmara depremi sonrası acil durum lojistiği planlaması için matematiksel bir model geliştirmiştir. Modelle afet sonrası hayati ihtiyaçlara olan önemin büyüklüğü, lojistik destek sağlamanın önemi vurgulanmıştır. Model, zamana bağlı arz/talep ve filo büyüklüğünü hesaba katar ve dinamik bir karar verme ortamında program güncellemelerini kolaylaştırmaktadır. Barınma, sağlık, giyim ve en önemlisi yiyecek sağlamayı kapsayan planlama lojistik destekle sağlanacaktır. Çalışmada yaşanan deprem sonrası uygulanan geleneksel lojistik planlamanın yetersiz kaldığını ve bilgisayar destekli karar destek sistemlerine başvurulması halinde planlamanın daha etkili sonuçları olduğunu göstermişlerdir. Benzer şekilde Yenice ve Samanlıoğlu (2020),

depremlerin kesin olarak tahmin edilmesinin henüz mümkün olmadığını ancak çeşitli deprem senaryolarına dayalı olarak afet operasyonları yönetiminin aşamalarını (azaltma, hazırlık, müdahale ve iyileştirme) planlamak mümkün olduğunu vurgulamışlardır. Verimsiz afet yönetimi; acil durum müdahalesi ve afet yardımı, bir depremden sonra bile açlığa, hastalıklara ve nihayetinde can kaybına neden olabilmektedir. Deprem sonrası acil tipik ihtiyaçlar, arama ve kurtarma operasyonları, tıbbi yardım, yiyecek ve su tedariki ve geçici barınakların sağlanması gerekmektedir. Bu çalışmada, İstanbul Kadıköy Belediyesinde, barınakların depolanması ve dağıtımı ile ilgili kararlarda karar vericilere yardımcı olmak için çok amaçlı bir stokastik model geliştirilmiştir.

Afet lojistiğinde etkili iletişim ve bilgi paylaşımının etkin bir biçimde gerçekleşmesi, afetlerde müdahale aşamasında kritik olan ilk iki haftada yeterli yardım malzemelerinin tedarik edilip, taşıma kapasitesinin belirlenebilmesini sağlamaktadır. Ters durumda afetlerin yönetiminde kaynakların etkin kullanılmamasına ve ölüm oranının artmasına neden olmaktadır. Bu duruma çözüm üretmek amacı ile Diedrichs ve ark. (2016) matematiksel ayrık bir dinamik sistemle bir model geliştirmişlerdir. Model afet sırasında yardım malzemelerinin yoğunlaşması ve esas gereksinim duyulan malzemelerin tedarik edilememesi gibi olumsuzluklara yol açan doğru karar verememe ve iletişim eksikliği durumuna nicelik çözümler üretmişlerdir. Aynı şekilde Soyöz ve Özyörük (2021) de çalışmalarında afet sonrası kriz alanındaki insanların sağlık merkezlerine ve barınaklara taşınması, ayrıca tedarikçilerden depolar aracılığıyla barınaklarda bulunan insanlara temel gereksinimlerini, sağlık merkezinde bulunan insanların ise temel gereksinimlerini ve sağlık malzemelerinin taşınmasını sağlamak için üç aşamalı karma tamsayılı bir matematiksel model önermişlerdir. Matematiksel model küçük veri setleri ile test edilmiştir. Paralel olarak Renkli (2013) de çalışmasında, ön-konumlama depolarının yerleşimi ve bu depolarda tutulacak ihtiyaç malzemelerinin miktarlarının belirlenmesi için bir karışık tamsayı matematiksel modeli önermektedir. Afetin gerçekleşmesi ile etkilenen bölgelere yardım gönderilmesi arasında geçen süreyi minimize etmek çalışmanın amacıdır. Matematiksel model rassal kısıtlar kullanarak, ihtiyaç malzemelerinin belirlenen süre içinde, belirli bir olasılıkla etkilenen bölgelere ulaştırılmasını sağlamak çalışmanın özgün yönüdür. Çalışmada önerilen model İstanbul'da uygulanmış ve olası bir afete karşı yerleştirilmesi gereken ön-konumlama depolarının yerleri konumlandırılmıştır. Son olarak, Yalçındağ ve diğerleri (2023) çalışmalarında depreme hazırlıklı olmanın önemli parçalarından biri de depremzedelere sevk edilmek üzere acil durum malzemelerinin ve barınak ekipmanlarının

depolandığı afet lojistiği depolarının 6nemini vurgulamışlardır., İstanbul'da b6y6k bir deprem olması durumunda yardım malzemelerinin ihtiya7 noktalarına en kısa s6rede ulaştırılması ve ihtiya7ın karşılanması i7in depoların yerlerinin belirlenmesi 7alışmanın amacıdır. İlk adımda set kaplama problemi ile a7ılacak depo sayısını belirlemek ve ikinci adımda p-medyan ile ağırlıklı mesafeyi minimize etmek i7in model iki adımda kurulmuştur. Kurulan model, GAMS kullanılarak 76z6lm6ř ve 7ıkan sonu7lara g6re optimum senaryoya karar verilmiş ve senaryolar haritalanmıştır.

Sonu7 olarak felaketler topluluklarımızı, işletmelerimizi ve ekonomilerimizi etkilemektedir ve etkilemeyi s6rd6recektir. Felaketleri nasıl etkili ve verimli bir şekilde y6netebileceğimizi anlamak, herkesin 7ıkarına olacaktır. Felaket operasyonlarının daha iyi y6netilmesi, hazırlıklılığı ve yanıt hızını artırmakta ve toparlanmayı kolaylaştırmaktadır (Altay ve Green, 2006: 487).

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde öncelikle vaka çalışmasının gerçekleştirildiği Bartın ili ile ilgili bilgiler verilmiştir. Sonrasında veri toplama yöntemleri açıklanarak geliştirilen model ve parametrelere ilişkin açıklamalar yapılmıştır.

3.1 Bartın İlinin Demografik Özellikleri, Mevcut Sağlık Altyapısı ve Acil Sağlık Birimleri

1991 yılında Zonguldak ilinden ayrılarak Türkiye'nin 74. ili olan Bartın ili, Karadeniz Bölgesinin Batı Karadeniz kısmında yer almaktadır. Doğusunda Kastamonu, batısında Zonguldak, güneyinde ise Karabük illeri bulunan Bartın ilinin kuzeyinde ise Karadeniz yer almaktadır. Bartın ili, Bartın merkez ilçe, Amasra, Kurucasıle ve Ulus olmak üzere 4 ilçeden oluşmaktadır (BUBP, 2022).

TÜİK adrese dayalı nüfus verilerine göre 2022 yılı itibariyle Bartın ilinin nüfusu 203.351'dir. Bu nüfusun 96.333'ü ilin il ve ilçe merkezlerinde ikamet etmekteyken, 107.018'i ise belde ve köylerde ikamet etmektedir (TÜİK, 2023).

T.C. Sağlık Bakanlığı, Sağlık İstatistikleri Yıllığı (2021) verilerine göre Bartın ilinde toplam 432 yatak kapasitesine sahip 3 hastane vardır. 10.000 kişiye düşen yatak sayısı ise 21,4'tür. Batı Karadeniz'de 10.000 kişiye düşen yatak sayısı ortalaması 24,9 iken, tüm Türkiye genelinde bu sayı 30,1 dir. Dolayısıyla kişi başına düşen yatak sayısı açısından Bartın ilinin hem Türkiye genelinden hem de Batı Karadeniz ortalamasından kötü bir durumda olduğu söylenebilir (Sağlık Bakanlığı, 2021). Bununla birlikte, Sağlık Bakanlığı'nın ulaşılabilir en son raporunun 2021 tarihli olduğunu belirtmekte fayda vardır. Bartın ilinde aradan geçen 2 yıllık zaman içerisinde bir özel hastane kurulmuş, bir de yeni devlet hastanesi yapımında son aşamaya gelmiştir. Ek olarak ilde bir de Özel Tıp Merkezi bulunduğu ve bu merkezin kapasitesinin de son üç yılda artırıldığı söylenmelidir.

Toplam 12 acil yardım istasyonu bulunan Bartın ilinde, acil yardım istasyonu başına düşen nüfus sayısı 16.809'dur. Bu sayı Batı Karadeniz genelinde 17.478 iken Türkiye genelinde 26.713 olarak hesaplanmaktadır. Dolayısıyla hastane yatak kapasitesinin aksine Bartın ili

acil yardım istasyonu başına düşen nüfus sayısı açısından hem Batı Karadeniz ortalamasından hem de Türkiye genelinden daha iyi bir durumdadır.

Son olarak değinilecek diğer istatistiki veri ambulans verileridir. Sağlık Bakanlığı'nın 2021 yılı istatistiklerine göre Bartın ilinde toplam acil yardım ambulans sayısı 32 olarak belirtilmiştir. Bu sayı Bartın ilinin nüfusuna oranlandığında ambulans başına düşen nüfus sayısı 6.303 olarak karşımıza çıkmaktadır. Ambulans başına düşen nüfus sayısı Batı Karadeniz ortalaması dikkate alındığında 9.241'dir. Türkiye genelinde ise 14.598 kişiye bir ambulans düştüğü görülmektedir. Dolayısıyla acil yardım istasyonu başına düşen nüfus sayısında olduğu gibi ambulans başına düşen nüfus sayısında da Bartın ili hem Batı Karadeniz bölgesinden hem de Türkiye genelinden daha iyi bir altyapıya sahiptir. 2021 yılından günümüze Bartın ilinde acil ambulans sayısı 3 adet artmış ve toplam sayı 35'e çıkmıştır. 2021 yılından günümüze Bartın ili nüfusunun 201.711'den 203.351'e yükseldiği hesaplandığında acil ambulans başına düşen nüfusun Bartın ili için 5.810'a düştüğü görülecektir.

Türkiye'nin hem coğrafi açıdan hem de nüfus açısından en küçük illerinden biri olan Bartın ili, sağlık altyapısı bakımından özgün bir duruma sahiptir. Hastane ve kişi başına düşen yatak sayısı ve oranlarına göre bölgesinin ve ülkenin ortalamasından kötü bir durumda olan Bartın ili, acil yardım istasyonu başına düşen kişi sayısı ve acil ambulans başına düşen kişi sayısı açısından hem bölge ortalamasının hem de Türkiye ortalamasının üstünde yer almaktadır. İlin taşıdığı bu özgünlük, araştırma için seçilmesinin nedenlerinden biri olarak değerlendirilmiştir.

3.2 Veri Toplama Yöntemi

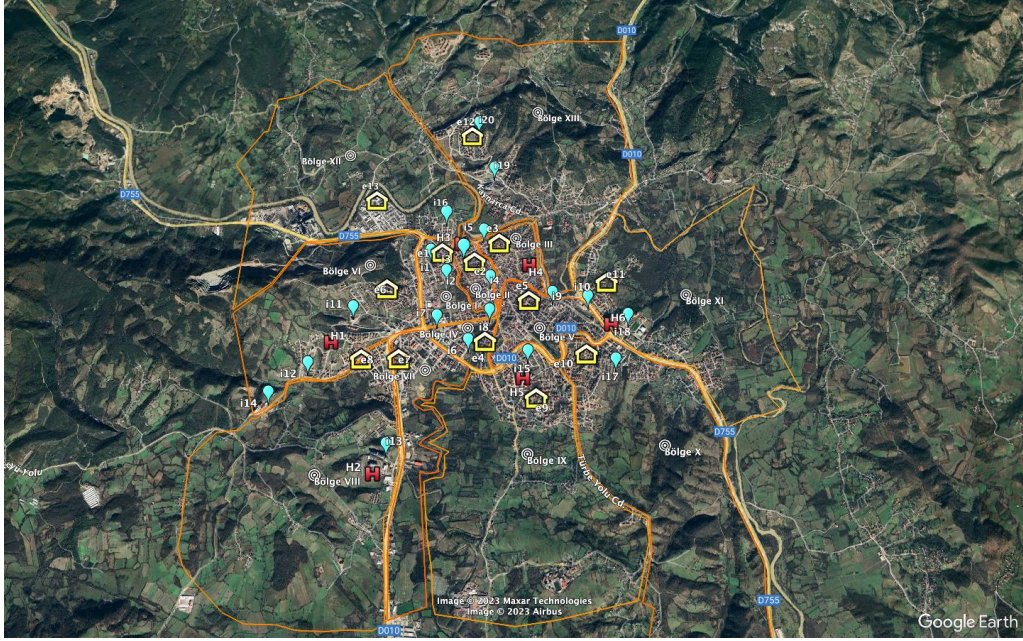
Bu araştırmada Türkiye İstatistik Kurumu açık verileri kullanılmıştır. AFAD'ın toplanma alanları bilgisi Yandex Haritalardan edinilmiştir. Bartın ili için aday 20 istasyon ile etkilenen 13 bölge belirlenmiş, 6 hastane konumu Google Earth Pro programında işaretlenerek, noktalar arasındaki uzaklık ve dakika, programdaki cetvel ve yol tarifi seçenekleri ile ikili kombinasyon biçiminde hesaplanmıştır.

Uygulama yapılırken aday istasyon/geçici tıp merkezleri nokta olarak ele alınmış ve de her açık alanda AFAD'ın toplanma alanı olarak belirledikleri alanlardan seçilen aday bölgelerde istasyon kurulacak yeterli alan ile alt yapının olduğu varsayılmıştır. AFAD'ın belirlediği

acil toplanma alanları Yandex Haritalardan edinilmiştir (YANDEX, 2022). Bartın ili acil toplanma alanları haritası ise Şekil 3.1’de yer almaktadır. Çalışmamızda Bartın ili merkezi 13 bölgeye ayrılmıştır, bu bölgelerin ayrıntılı bilgileri Ek-1’de yer almaktadır. Bu ayırım yapılırken Bartın şehir merkezinden geçen Bartın ırmağı, şehir merkezinde yaşayan nüfusun yoğunluğu ve yine şehir merkezinden geçen ana arterler dikkate alınmıştır. 13 bölgeye ayrılan Bartın ilinde etkilenen bölgeler 🏠 ile, aday istasyon/geçici sağlık merkezleri 📍 sembolü ile, hastane konumları ise 🏥 sembolü ile işaretlenmiş ve Google Earth Programı ile belirli bir felaket bölgesinden ("i" numaralı bölge) belirli bir ambulans istasyonuna ("J" numaralı istasyon) olan ortalama seyahat süresi (τ_{ij}) ve etkilenen bölgeden ("i" numaralı bölge) belirli bir hastaneye ("h" numaralı hastane) olan ortalama seyahat süresi (σ_{ih}) hesaplanmıştır. Çalışmanın Google Pro Earth görüntüsü Şekil 3.2’de yer almaktadır.



Şekil 3.1: Bartın ili acil toplanma alanları



Şekil 3.2: Bartın ili etkilenen bölgeler ve aday istasyonlar

Yine Google Earth Pro programı kullanılarak yapılan belirli bir felaket bölgesinden ("i" numaralı bölge) belirli bir ambulans istasyonuna ("J" numaralı istasyon) olan ortalama seyahat süresi (τ_{ij}) ve etkilenen bölgeden ("i" numaralı bölge) belirli bir hastaneye ("h" numaralı hastane) olan ortalama seyahat süresi (σ_{ih}) hesaplamaları ise Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de yer almaktadır. Ayrıca etkilenen bölgeler ile hastaneler arasındaki uzaklık ve etkilenen bölgeler ile istasyonlar/geçici sağlık merkezleri arasındaki mesafeler Ek-2 ve Ek-3'te sunulmuştur. Örneğin Tablo 3.1'de etkilenen birinci bölgeden üçüncü hastaneye olan ortalama seyahat süresi (σ_{ih}) 2 dk, üçüncü bölgeden dördüncü hastaneye ortalama seyahat süresi ise 3 dk'dır.

Tablo 3.1: Bölgeler ve hastaneler arasındaki süre- σ_{ih} (dk)

| Bölgeler | 1. Hastane | 2. Hastane | 3. Hastane | 4. Hastane | 5. Hastane | 6. Hastane |
|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1 | 7 | 9 | 2 | 6 | 8 | 7 |
| 2 | 8 | 10 | 3 | 6 | 7 | 8 |
| 3 | 9 | 11 | 3 | 3 | 8 | 5 |
| 4 | 6 | 8 | 6 | 6 | 3 | 4 |
| 5 | 9 | 10 | 6 | 3 | 6 | 4 |
| 6 | 4 | 5 | 6 | 10 | 7 | 8 |

| | | | | | | |
|----|----|----|---|----|----|----|
| 7 | 6 | 7 | 6 | 9 | 5 | 6 |
| 8 | 3 | 5 | 7 | 10 | 7 | 8 |
| 9 | 8 | 9 | 8 | 9 | 1 | 5 |
| 10 | 8 | 10 | 8 | 5 | 5 | 2 |
| 11 | 11 | 12 | 7 | 5 | 8 | 3 |
| 12 | 13 | 15 | 7 | 8 | 13 | 8 |
| 13 | 8 | 10 | 4 | 8 | 8 | 10 |

Tablo 3.2 ise belirli bir felaket bölgesinden ("i" numaralı bölge) belirli bir ambulans istasyonuna ("J" numaralı istasyon) olan ortalama seyahat süresi (τ_{ij})'ni vermektedir. Örneğin 2 numaralı istasyondan 4 numaralı bölgeye seyahat süresi 4 dk iken, 19 numaralı istasyondan 12 numaralı bölgeye seyahat süresi 3 dk'dır.

Tablo 3.2: Etkilenen bölgelerden istasyona varış süreleri- τ_{ij}

| Bölgeler (i)/ İstasyonlar (j) | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 | i=13 |
|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| j=1 | 2 | 4 | 4 | 5 | 7 | 4 | 5 | 5 | 7 | 7 | 9 | 9 | 4 |
| j=2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 6 | 6 | 6 | 8 | 9 | 5 |
| j=3 | 2 | 3 | 3 | 6 | 6 | 5 | 6 | 6 | 8 | 8 | 7 | 7 | 5 |
| j=4 | 3 | 3 | 4 | 7 | 7 | 6 | 7 | 7 | 9 | 9 | 9 | 9 | 6 |
| j=5 | 2 | 3 | 1 | 7 | 4 | 6 | 7 | 7 | 9 | 7 | 6 | 6 | 4 |
| j=6 | 5 | 5 | 6 | 2 | 4 | 6 | 4 | 6 | 4 | 4 | 6 | 11 | 8 |
| j=7 | 4 | 5 | 6 | 3 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 7 | 11 | 6 |
| j=8 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 6 | 5 | 6 | 6 | 6 | 8 | 10 | 7 |
| j=9 | 7 | 7 | 4 | 5 | 2 | 10 | 8 | 10 | 7 | 4 | 4 | 7 | 9 |
| j=10 | 6 | 7 | 4 | 6 | 3 | 9 | 7 | 9 | 7 | 3 | 2 | 7 | 8 |
| j=11 | 6 | 7 | 8 | 5 | 7 | 2 | 5 | 3 | 7 | 7 | 9 | 11 | 7 |
| j=12 | 7 | 8 | 9 | 6 | 9 | 4 | 6 | 2 | 8 | 9 | 11 | 14 | 8 |
| j=13 | 8 | 9 | 10 | 7 | 9 | 5 | 6 | 4 | 9 | 9 | 11 | 14 | 9 |
| j=14 | 8 | 9 | 10 | 7 | 9 | 5 | 7 | 3 | 9 | 9 | 11 | 14 | 9 |
| j=15 | 9 | 8 | 10 | 5 | 7 | 8 | 6 | 8 | 3 | 6 | 9 | 14 | 10 |
| j=16 | 3 | 4 | 3 | 7 | 6 | 6 | 7 | 7 | 9 | 8 | 7 | 8 | 4 |
| j=17 | 9 | 9 | 7 | 6 | 6 | 10 | 8 | 10 | 7 | 3 | 4 | 10 | 11 |
| j=18 | 9 | 9 | 7 | 6 | 6 | 10 | 7 | 10 | 7 | 16 | 4 | 10 | 11 |
| j=19 | 7 | 7 | 5 | 10 | 6 | 11 | 11 | 11 | 12 | 8 | 7 | 3 | 5 |

3.3 Parametrelerin Belirlenmesi ve Matematiksel Modelin Geliştirilmesi

Çalışmada karışık tamsayı programlama (MIP) kullanılarak, ambulansın afette yerleşim ve tahsis modeli sunulmaktadır. Çalışma her dönemde talep oranı olan bir dizi etkilenen alan ve ambulans istasyonları ve geçici tıp merkezlerinin potansiyel konumları göz önüne alındığında, bütçe kısıtlamaları ile eş zamanlı olarak ambulans istasyonları ve geçici tıp merkezlerinin optimum yerlerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Model ayrıca istasyon kapasitelerini göz önünde bulundurarak istasyonlara ve etkilenen bölgelere sınırlı sayıda ambulans tahsis etmektedir. Çalışmada amaç, yaralıların toplam bekleme süresini ve istasyonlardan etkilenen bölgelere ambulans müdahale süresini en aza indirmek ve sistemin kapasite kullanımını optimize etmektir.

Çalışmada istasyonların yeri tespit edildikten sonra, ambulanslar sağlık personelini ambulans istasyonlarından etkilenen bölgelere taşımaktadır, etkilenen bölgelerdeki yaralıları da geçici tıp merkezine veya hastanelere göndermektedir. Ambulanslar ise kesintisiz hastanelerden ayrılarak yaralıları hastanelere götürmektedir. Ambulans olmadığı takdirde yaralılar kuyrukta beklemektedir. Ambulansın sınırlı olması dolayısıyla ambulansların sunucu olarak modellendiği bir M/M/s modeli sunulmaktadır.

Etkilenen tüm bölgelerdeki talep hızı ve hizmet oranı ve etkilenen bölgeye tahsis edilen ambulans sayısı ile yaralıların bekleme süresi kuyruk teorisi ile hesaplanmaktadır. Afet meydana geldikten sonra etkilenen bölgeye ulaşma süreleri, Google Earth Pro programı kullanılarak hesaplama yapılmıştır. Talep oranı ve hizmet oranı bölgenin nüfusu baz alınarak hesaplanmıştır. Etkilenen bölgede yaralı bekleme sürelerini azaltmak için geçici tıp merkezleri açılmaktadır. Tüm talep noktalarında yaralı bekleme süresi tatmin edici düzeye ulaşana dek geçici tıp merkezi açılmaktadır.

Model formülasyonumuz aşağıdaki varsayımlara dayanmaktadır.

Genel Varsayımlar

Varsayım 1: Deprem sonrası bölgede bulunan hastaneler ve geçici tıp merkezleri deprem sonrasında kullanılabilir durumdadır.

Varsayım 2: Deprem sonrası etkilenen bölgeler ile hastane veya geçici tıp merkezi arasındaki güzergâhlar hasar almamıştır.

Varsayım 3: Hastanelerde ve geçici tıp merkezlerinde yaralılara müdahale için yeterli sayıda sağlık ekibi bulunmaktadır.

Varsayım 4: Hastane ya da geçici tıp merkezlerine sevk için kullanılan ambulanslar homojendir ve bir yaralıya hizmet vermektedir.

Varsayım 5: İkinci bir deprem meydana gelmeyecektir.

Özel Varsayımlar

Varsayım 1: Talep noktaları bilinmektedir ve her talep noktasının talebi sadece bir istasyon tarafından karşılanmaktadır.

Varsayım 2: Ambulans istasyonu konumlarının potansiyel noktaları bilinmektedir. Bütün istasyonların kendi kapasitesi vardır.

Varsayım 3: Geçici tıp merkezlerinin potansiyel konumu bilinmektedir.

Varsayım 4: Tüm araçlar sadece bir yaralı taşıyabilmektedir. Çalışmamızda hastanelere gönderilmesi gereken ağır ve orta derece yaralılara odaklanılmaktadır.

Varsayım 5: Ambulans istasyonlarının yerleri ve istasyonlardaki ambulans sayısı belirlenmektedir.

Varsayım 6: Her dönemde, ambulans istasyonlarından sağlık personeli taşıyan ambulanslar, etkilenen bölgelere ulaşır, yaralıları geçici tıp merkezlerine ya da hastanelere ulaştırır. Eğer ambulans yoksa yaralılar kuyrukta bekleyecektir.

Varsayım 7: Yaralılar tedavi için en yakın hastanelere gönderilmektedir, en yakın hastanenin dolu olması durumunda en yakın ikinci hastaneye sevk edilecektir.

Varsayım 8: Talep oranı, Poisson dağılımını takip eder, hizmet oranı ise üstel dağılım izler (Larson, 1974).

Wang ve arkadaşlarının (2022) afet planlama ufkunda ambulans yeri sorununu ele alan ve optimizasyonunu amaçlayan çalışmalarında literatüre en büyük katkı geçici sağlık merkezi yeri ile ambulans istasyonlarının yeri ve tahsisi probleminin birleştirilmesidir. Talebin

zamana bağılı değişmesi ve geçici tıp merkezlerinin konumu gibi daha önceki problemlerden daha gerçekçi olan çalışmanın amaç fonksiyonu, yaralılara en kısa sürede cevap vermeyi amaçlayan doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Çalışmamızda Wang ve arkadaşlarının geliştirdiği yaralıların ortalama bekleme süresi ve ambulansın kullanılamazlığını hesaplayan M/M/s kuyruk modelini içeren amaç fonksiyonu ve kısıtı doğrusallaştırılmıştır.

Geliştirdiğimiz modelin amacı, Bartın’da olası bir deprem sonrasında olay yerine müdahale süresini en aza indirmektir. Çalışma kapsamında Bartın ili (merkez) 13 bölgeye ayrılmış, 20 aday istasyon noktasının konumları ve istasyonların ambulans kapasitesi belirlenmiş, etkilenen bölgelerdeki taleplere en kısa sürede cevap verecek yeterli sayıda ambulanslar istasyonlara atanmıştır, ayrıca etkilenen bölgelerdeki yaralıların istasyonlardan hastanelere en kısa sürede sevki gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır.

Setler ve İndeksler

- i : Afet bölgesi konumlarının indeksi, $i \in I$.
- j : Potansiyel istasyon konumlarının indeksi, $j \in J$.
- a : Atanacak ambulans sayısı, $a \in A$.
- h : Hastane veya geçici tıp merkezi konumlarının seti ve dizini, $h \in H$.
- t : Zaman periyodu, $t = 1, 2, 3, \dots, T$.

Parametreler

- Θ : Toplam ambulans sayısı.
- B_t : t zaman diliminde bir ambulans istasyonu açmak için toplam bütçe, $t=1,2,3,\dots,T$.
- C_j : j potansiyel ambulans istasyonlarının kapasitesi, $j \in J$.
- v_j : ifadesi, j ‘de bir ambulans istasyonunun açılması için gerekli olan maliyet, $j \in J$.
- ω_{ai} : " a " ambulans sayısı miktarınca belirli bir bölgeye (" i " numaralı bölge) tahsis edildiği durumda bekleyen süreyi temsil eder. Burada " a ", mevcut olan ambulansların sayısını belirtir ve " i ", belirli bir bölgeyi tanımlayan bir indekstir. " a " ambulans sayısının " i " de beklemek için harcadığı zamanı içeren tablodur.

- τ_{ij} : ifadesi, belirli bir felaket bölgesinden (" i " numaralı bölge) belirli bir ambulans istasyonuna (" j " numaralı istasyon) olan ortalama seyahat süresini ifade eder.
- σ_{ih} : Etkilenen: etkilenen bölgeden (" i " numaralı bölge) belirli bir hastaneye (" h " numaralı hastane) olan ortalama seyahat süresini ifade eder.

Karar Değişkenleri

- z_{jt} : belirli bir zamanda (" t " dönemi) belirli bir ambulans istasyonuna (" j " numaralı istasyon) tahsis edilen ambulans sayısı, $j \in J, t=1, 2, 3, \dots, T$.
- x_{it} : belirli bir zamanda (" t " dönemi) belirli bir etkilenen bölgeye (" i " numaralı bölge) tahsis edilen ambulans sayısı, $i \in I, t=1, 2, 3, \dots, T$.
- \mathcal{L}_{ijt} : linearizasyon amaçlı kullanılan yardımcı değişkenler.
- y_{jt} : " j " numaralı istasyonun " t " döneminde açık olup olmadığını ifade eder. Eğer istasyon açıksa, değeri 1'dir, aksi takdirde 0'dır.
- κ_{ijt} : " i " numaralı bölgenin " j " numaralı istasyona " t " zaman diliminde tahsis edilip edilmediğini ifade eden ikili değişkendir. Eğer bölge ilgili istasyona tahsis edilmişse, değeri 1'dir, aksi takdirde 0'dır.
- ϑ_{ih} : " i " numaralı bölgeden yaralı kişilerin " h " numaralı hastaneye gönderilip gönderilmediğini ifade eder. Eğer yaralılar ilgili h hastaneye i bölgesinden gönderilmişse, değeri 1'dir, aksi takdirde 0'dır.
- φ_{ai} : " a " sayısında ambulansın " i " numaralı bölgeye tahsis edilip edilmediğini ifade eder. Eğer a sayısınca ambulans ilgili bölgeye tahsis edilmişse, değeri 1'dir, aksi takdirde 0'dır.

Amaç Fonksiyonu

Geliştirdiğimiz modelin amaç fonksiyonu (1) Bartın'da olası bir deprem sonrası yararlılara en kısa sürede müdahale etmektir.

$$\bullet \quad \text{Min} \quad \sum_{ai} \omega_{ai} * \varphi_{ai} + \sum_{ijt} \kappa_{ijt} * \tau_{ij} + \sum_{ih} \sigma_{ih} * \vartheta_{ih} \quad (1)$$

Geliştirilen tam sayılı doğrusal programa modelinde aşağıda sıralanan kısıtlar mevcuttur.

- $\sum_{i \in I} x_{it} = \theta, \forall t = 1, \dots, T$ (2)

- $\sum_{j \in J} z_{jt} = \theta, \forall t = 1, \dots, T$ (3)

- $\sum_{j \in J} \kappa_{ijt} = 1 \forall i \in I, \forall t = 1, \dots, T$ (4)

- $\sum_{h \in H} \vartheta_{ih} = 1, \forall i \in I, \forall t = 1, \dots, T$ (5)

- $z_{jt} \leq C_j \quad \forall j \in J, \forall t = 1, \dots, T$ (6)

- $z_{jt} \leq \text{BigM} * y_{jt}, \forall j \in J, \forall t = 1, \dots, T$ (7)

- $\sum_{a \in A} \varphi_{ai} = 1, \forall i \in I$

(8)

- $\sum_{j \in J} v_j * y_{jt} \leq B_t$ (9)

- $\sum_{a \in A} \varphi_{ai} * |a| = x_{it}$ (10)

- $\sum_{i \in I} \mathcal{L}_{ijt} = z_{jt} \quad \forall j \in J, \forall t = 1, \dots, T$

(11)

- $\sum_{i \in I} C_j * \kappa_{ijt} \geq \mathcal{L}_{ijt} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T$

(12)

$$\bullet \quad \sum_{i \in I} x_{it} \geq \mathcal{L}_{ijt} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T$$

(13)

$$\bullet \quad \sum_{i \in I} x_{it} - (1 - \kappa_{ijt}) * C_j \leq \mathcal{L}_{ijt} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T$$

(14)

Amaç fonksiyonu (1) Bartın'da olası bir deprem sonrası yaralılara en kısa sürede cevap vermektir. Amaç fonksiyonunda ilk terim; ambulans sayısına göre bekleme sürelerini, ikinci terim etkilenen bölgeler ile istasyonlar arasındaki ortalama seyahat süresini, üçüncü terim ise etkilenen bölgeler ile hastaneler arasındaki ortalama seyahat süresini hesaplamaktadır. Kısıt (2) de t zaman diliminde etkilenen bölge i 'ye tahsis edilen ambulans sayısı, toplam ambulans araç sayısını aşamaz. Kısıt (3)'te t zaman diliminde j istasyonuna tahsis edilen ambulans sayısı toplam ambulans sayısını aşamaz. Kısıt (4) etkilenen her alan tam olarak bir istasyona atanmalıdır. (5) Bu kısıtlama, her bölgenin sadece bir hastaneye atanabileceğini belirtmektedir. Kısıt (6) t döneminde j istasyonuna atanan ambulans sayısı, j istasyonundaki istasyon kapasitesini aşamaz. Kısıt (7), istasyon açılmazsa ambulansı bir istasyona tahsis edemememizi sağlamaktadır yani bu kısıtlama ile ambulansın sadece açık olan istasyonlara atanabileceği belirtilmektedir. Kısıt (8) kuyruk teoreminde kullanılan ambulans sayılarından sadece bir ambulans sayısının o bölgeye atanması sağlanmaktadır. Kısıt (9), belirli bir zaman aralığı için bütçe sınırı dahilinde tüm istasyonlara maksimum araç sayısı tahsis edilmesini sağlamaktadır. Kısıt (10), $ord(a)$ ifadesi a değişkeninin sırasını temsil etmektedir, " a " sayısında ambulansın " i " numaralı bölgeye atanıp atanmadığını belirtmektedir. Kısıt (11) lineleştirme tekniği kullanmakta, istasyonlara tahsis edilen ambulans sayısını temsil eden z_{jt} değişkenini \mathcal{L}_{ijt} ile eşitlemektedir. Kısıt (12), " i " numaralı bölgenin " j " numaralı istasyona " t " zaman diliminde tahsis edilip edilmediğini ifade eden ikili değişken ile istasyon kapasitesini temsil eden C_j parametresini kullanarak \mathcal{L}_{ijt} değişkenini belirlemektedir. Kısıt (13)'teki denklem etkilenen bölge i deki ambulans sayısı x_{it} değişkeni \mathcal{L}_{ijt} değişkeni ile ilişkilendirmektedir. Kısıt (14)'teki denklem ile istasyonlara atanmamış ambulanslar için potansiyel ambulans istasyonlarının kapasitesi C_j ile çarpmakta ve \mathcal{L}_{ijt} değişkenine ek bir kısıtlama getirmektedir. Kısıtlama 13 ve 14 ile var olan doğrusal olmayan kısıt doğrusal durumuna getirilmiştir.

Modele göre, herhangi bir deprem durumunda şehir merkezi 13 bölgeye ayrılmıştır ve bu bölgelerin her biri için optimum ambulans sayısını tahsis edilmesi sağlanmaktadır, bunun yanı sıra bütçe kısıtını göz önüne alarak optimum istasyon noktaları belirlemektedir. 20 olası ambulans istasyonu yeri vardır. Ayrıca, belirli bir zaman diliminde (t) bir ambulans istasyonu açmanın maliyeti 40 m^2 'lik bir çadır ve ekipmanının bugünkü maliyeti 144,250,00 TL ve her istasyonun bir kapasitesi (C_j) vardır ve 13 olarak belirlenmiştir. Modelde her istasyona tahsis edilen ambulans sayısı (z_{jt}), her bölgeye tahsis edilen ambulans sayısı (x_{it}) ve açık veya kapalı olup olmadığına (y_{jt}) karar vermek için değişkenler belirtilmektedir. Tahsis edilen ambulansların her birinin, belirli bir bölgeye ulaşmak için beklemesi gereken ortalama süre (ω_{ai}) ve bölgeden istasyona olan ortalama seyahat süresi (τ_{ij}) gibi parametreler vardır. Ayrıca, ambulansların hastanelere olan ortalama seyahat süresini ölçmek için (σ_{ih}) bir parametre belirtilmektedir. Bu model, belirli bir bölgedeki yaralıların hangi hastaneye götürüleceğini ve her bir bölgedeki tahsis edilen ambulans sayısını da hesaba katarak, acil durum halinde en iyi ambulans tahsis planını belirlemek için kullanılmaktadır. Modelde istasyon konumları belirlenirken AFAD'ın belirlediği Yandex Haritalarda yer alan Bartın acil toplanma alanları konumları göz önüne alınmıştır.

3.3.1 Geliştirilen Matematiksel Modelin Bartın İline Uygulanması

Geliştirilen matematiksel modeldeki ω_{ai} parametresi etkilenen bölgeye a sayıda ambulans atandığında yaralının bekleme süresini ifade ettiği bir önceki bölümde belirtilmişti. ω_{ai} parametresini tespit edebilmek için ve dolayısıyla Wang (2022) modelinin amaç fonksiyonundaki doğrusal olmayan terimleri doğrusallaştırmak için de her bir ambulans sayısı senaryosu için beklenen bekleme süresini M/M/s kuyruk modeli yaklaşımı ile belirlenmiştir.

$$P_0 = 1 / \left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\frac{\lambda}{\mu})^n}{n!} + \frac{(\frac{\lambda}{\mu})^s}{s!} \frac{1}{1 - \frac{\lambda}{s\mu}} \right] \quad (1)$$

$$L_q = \frac{P_0 (\lambda/\mu)^s \rho}{s!(1-\rho)^2} \quad (2)$$

$$L = L_q + \frac{\lambda}{\mu} = P_0 \cdot \frac{(\frac{\lambda}{\mu})^{s+1}}{(s-1)!(s-\frac{\lambda}{\mu})^2} + \frac{\lambda}{\mu} \quad (3)$$

$$W_q = \frac{Lq}{\lambda} \quad (4)$$

$$W = \frac{L}{\lambda} \quad (5)$$

$$\rho = \frac{\lambda}{s \cdot \mu} \quad (6)$$

Oluşturulan modelde M/M/s/∞/∞/FIFO’da temel performans kriterlerini hesapladığımız formüllerden (1)’de sistemde hiç müşteri bulunmama olasılığı hesaplanmaktadır. (2)’de kuyrukta bekleyen ortalama yaralı sayısını, (3)’te sistemde bekleyen ortalama yaralı sayısını, (4)’te kuyrukta harcanan ortalama süre, (5)’te sistemde harcanan ortalama süre hesaplanmakta son olarak (6)’da servis birimlerinin doluluk oranı yani zamanlarının dolu geçme yüzdesi hesaplanmaktadır. Bölgelerdeki temel performans göstergeleri Microsoft Excel programı kullanılarak hesaplanmıştır.

Yerkabuğu içindeki kırılmaların sonucu olarak aniden ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılması neticesinde geçtikleri ortamı sarsma durumuna ‘deprem’ denir (Göker ve Karaşin, 2015: 32). Yerkürenin herhangi bir noktasında meydana gelen bir depremin yorumlanabilmesi ancak belirli kriterlere göre ölçeklendirilerek sınıflandırılabilmesiyle mümkündür (Kaypak, 2023: 1). Doğası gereği kaçınılmaz olan depremler yüzünden dünya genelinde her yıl ortalama 20000 insanın öldüğü tahmin edilmektedir (Brueck ve Kotecki, 2018: 1). Yıkıcı etkileri ve insan hayatı üzerinde ölümcül sonuçları olan depremlerin ölçülmesine yönelik ilk girişimin M.S. 132 yılında Çinli filozof Chang Heng tarafından icat edilen bir çeşit alet ile başladığı bilinmektedir (İşçi, 2008: 964). Günümüzde bu ölçümler hassas sismograf cihazlarıyla gerçekleştirilmektedir.

Depremlerin ölçümünde ve etkilerini anlamlandırmada iki kritere dikkat edildiği görülmektedir. Bunlardan birincisi depremin büyüklüğünü ölçmektedir. Depremin büyüklüğünün anlaşılması için kullanılan en yaygın ölçeğin Richter Ölçeği olduğu söylenebilir (Ocak, 2016). 1935 yılında Charles Francis Richter tarafından geliştirilen bu ölçeğe göre depremin büyüklüğü $M_L = \log(A/A_0(\delta))$ formülü ile hesaplanmaktadır. Depremlerin aletsel büyüklüğü olarak da ifade edilen bu ölçek günümüzde adını en fazla duyduğumuz ölçektir. Diğer kriter ise depremin şiddeti olarak ifade edilmektedir. Mercali Cetveli (MM) ya da Değiştirilmiş Mercali Şiddet Ölçeği olarak ifade edilen depremin şiddeti

depremin yeryüzündeki etkileri olarak tanımlanmaktadır. Depremlerin gözlenen etkileri sonucunda deneyimlere dayanılarak hazırlanmış olan “Şiddet Cetvelleri”ne göre depremlerin şiddetleri değerlendirilmektedir. Matematiksel temeli olmayan tümüyle gözlemsel bilgilere dayanan bu ölçek romen rakamları ile belirlenmiş 12 düzeyden oluşmaktadır (Eiby, 1966: 123-127).

Depremin büyüklüğü ve şiddetinin karşılaştırılması aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3.3: Büyüklük (Magnitüd)/ Şiddet Karşılaştırması (*Magnitüd / Şiddet Karşılaştırması, t.y.*)

| Magnitüd | Şiddet | Sözel İfade | Açıklama |
|-----------|--------|-------------------------|--|
| 1.0 - 3.0 | I | Aletsel Deprem | Hemen hemen hiç hissedilmez. |
| 3.0 - 3.9 | II | Çok Hafif Deprem | Özellikle üst katlardaki bazı insanlar tarafından hissedilebilir. |
| | III | Hafif Deprem | Binalarda bulunanlar, özellikle üst katlarda yaşayanlar açıkça hissederler. Birçok insan sarsıntının deprem olduğunu fark edemez. Duran araçlar hafifçe sallanır. Sarsıntı, büyükçe bir kamyonun geçişi sırasındaki sarsıntıyı andırır. Başlama ve bitişi insanlar tarafından hissedilebilir. |
| 4.0 - 4.9 | IV | Orta Şiddetli Deprem | Gündüz vakti binalarda bulunan hemen herkes tarafından hissedilir, dışarda bulunanların çok azı sarsıntıyı hisseder. Gece vakti bazılarını uykudan uyandırır. Tabaklar, pencereler ve kapılar sarsıntının etkisi ile titreşime geçer; duvarlardan çatlıyormuşçasına sesler gelir. Büyük bir tırın binaya çarpmasına benzer bir etki uyandırır. Duran araçlar görünür bir şekilde sallanır. |
| | V | Oldukça Şiddetli Deprem | Hemen hemen herkes tarafından hissedilir ve gece vakti çoğu insanı uykusundan uyandırır. Bazı pencereler ve tabaklar kırılır. Dengesiz nesnelere devrilir. Sarkaçlı saatler durabilir |

| | | | |
|---------------------|------|---------------------|--|
| 5.0 - 5.9 | VI | Şiddetli Deprem | Herkes tarafından hissedilir ve korku verir. Bazı ağır mobilyalar hareket eder; sıvalarda dökülmeler gözlenir. Genel olarak hafif hasarla sonuçlanır. |
| | VII | Çok Şiddetli Deprem | Dizaynı ve inşaatı çok iyi olan yapılarda gözardı edilebilecek bir hasarlara yol açarken; iyi inşa edilmiş sıradan binalarda hafif ya da orta ölçüde hasar gözlenir; kötü malzeme kullanılmış ya da kötü dizayn edilmiş binalarda önemli ölçüde hasara neden olur. Bazı bacalar yıkılır. |
| 6.0 - 6.9 | VIII | Yıkıcı Deprem | Özel olarak dizayn edilmiş binalarda hafif hasar; normal yapılarda orta hasar zayıf binalarda ise oldukça büyük hasara yol açar. Bacalar devrilir, üst üste yerleştirilmiş malzemeler devrilir, duvar ve kolonlar yıkılır. Ağır mobilyalar devrilir. |
| | IX | Çok Yıkıcı Deprem | Özel olarak dizayn edilmiş binalarda orta ölçekte hasar oluşurken; iyi dizayn edilmiş kafes yapılar ekseninden kayar. Normal binalarda büyük hasar oluşur ve yer yer yıkılmalar gözlenir. Binalar temellerinden kayarlar. |
| 7.0 veya daha büyük | X | Yok Edici Deprem | İyi inşa edilmiş ahşap yapılardan bazıları yıkılırken; taş ve kafes yapıların büyük bir çoğunluğu temelleriyle birlikte yıkılır. Demiryolları eğilir. |
| | XI | Afet Deprem | Birkaç yapı (özellikle taş) dışında tüm binalar ve köprüler yıkılır. Demiryolları büyük oranda eğilir ve bükülür. |
| | XII | Büyük Deprem | Bütün binalar yerle bir olur. Ufuk çizgisi oynak bir yüzeye dönüşür. Nesnelere havada uçar. |

Yukarıdaki Tablo 3.3'te her ne kadar iki farklı ölçeği birbirlerine referansla eşler gibi görünse de bu iki ölçeğin farklı anlamlara gelmektedir. Örneğin Richter Ölçeğine göre 7.0 veya daha büyük bir deprem X, XI, XII boyutlarındaki şiddete neden olsa da yer kürede depremin meydana geldiği yer olası sonuçları etkileyecektir. Dolayısıyla herhangi bir binanın inşa edilmediği ıssız bir bölgede meydana gelen büyük bir deprem bir binanın yıkılmasına yol açmaz. Bu nedenle depremin boyutu ve yaşanan yıkım ve can kaybı arasında doğrudan ve sürekli bir nesnel ilişkiden söz edemeyiz. Bununla birlikte MM deprem sonrası gözlemler üzerinden bir tasnif yaptığı için ölçekte yer alan son 5 düzeyin ciddi şekilde can kaybına neden olan depremleri ifade ettiği söylenebilir.

Depremın yerküreye yakınlığı (Ouchi, 1993: 17-18), depremin etkilediği alanın jeolojik yapısı (Yoder vd., 2015: 1588), bu alandaki insan yerleşimi depremin yıkıcı sonuçlarını etkileyen faktörlerdir. Jeolojik ve coğrafi faktörlerin yanında insan faktörü de depremlerin yıkıcılığını doğrudan etkilemektedir (Zhou vd., 2021). Örneğin, benzer büyüklüğe sahip bir deprem, şiddetli bir sarsıntı anında binaların yıkılmaması için gerekli tedbirlerin alındığı ve insanların eğitildiği bir bölgede, gerekli önlemlerin alınmadığı, binaların zemine ve deprem riskine uygun inşa edilmediği ve insanların yeterli bir biçimde bilinlendirilmediği bir bölgeye nazaran daha az can kaybına neden olacaktır. Ayrıca alan yazınında yapılan çalışmalar ve deprem senaryoları, depremin meydana geldiği saatin (Ara, 2014: 296) (zellikle gündüz ya da gece olması), bina stokunun durumunun (Dolce vd., 2006: 358), o yerleşim biriminde yaşayan insan sayısının (aynı zamanda nüfus yoğunluğunun), depremlerin insan yaşamına vereceği zararı etkileyeceğini belirtmektedir. Yapılan bir çalışma nüfusunun yoğun olarak Müslüman olduğu bir yerleşim birimde depremin ramazan ayında meydana gelmiş olup olmamasının bile depremin olası sonuçlarını etkileyeceğini belirtmektedir (Ara, 2014: 297).

Bartın ili üzerinde gerçekleştirilen bu çalışma için depremin meydana geldiği saat, fayın yer kabuğuna yakınlığı ve bina stok durumu parametre olarak alınmamaktadır. Bununla birlikte yukarıda değinilen çalışmalar ve bu çalışmanın sonuçları, Türkiye depremleri tarihi (BDTİM, 2023) ve ayrıca AFAD tarafından güncelleştirilen Türkiye Deprem Tehlike haritası çerçevesinde oluşturulan senaryoda etkilenen alanda VII ve VIII. düzeylerde bir yıkıma yol açabilecek ve nüfusun %5'inin acil sağlık hizmetlerine ihtiyaç duyacağı bir durum üzerinden kurgulanmıştır. Çalışmamızda Bartın ilinde olası bir depremde 13 bölgenin nüfusu dikkate alınmış bölge nüfusunun %5'inin etkilendiği varsayılarak, ortalama geliş hızı ve ortalama hizmet hızları hesaplanmıştır. Geliş oranı 4, ayrılan 13 bölgenin nüfusu baz alınarak nüfusun %5'inin etkilendiği varsayılarak üretilmiştir. Ambulans hizmetlerinde "birim zamanda servis süresi" olan ortalama hizmet hızı (μ), bir ambulans ekibinin belirli bir zaman diliminde hasta taşıma veya acil tıbbi hizmet sunma süresini ifade etmektedir. Bu süre, bir ambulansın o dönemde kaç hasta taşıdığını veya kaç acil tıbbi müdahale gerçekleştirdiğini göstermektedir.

Özellikle acil durum tıbbi hizmetler için bu tür bir ölçüm, acil tıbbi yardımın hızlı ve etkili bir şekilde sağlanması açısından önemlidir. Ambulans hizmetlerinin yanı sıra hastaneler ve

acil servisler de birim zamanda servis süresini değerlendirebilmektedirler. Ortalama hizmet hızı (μ), acil durum hizmetlerinin verimliliğini ve performansını izlemek için kullanılmakta ve hizmetlerin ihtiyaca uygun şekilde sunulup sunulmadığını değerlendirmeye yardımcı olmaktadır. Çalışmada verilerin sınırlı olması nedeniyle bölge nüfuslarının %5'inin etkilendiği varsayılarak oluşturulan geliş oranı (λ) değerlerini karşılayabilecek, ortalama hizmet hızları (μ) belirlenmiştir.

3.3.2 Bekleme Hattı Teorisi Modellerini Kullanarak Değişen Ambulans Sayısına Göre Bekleme Sürelerinin (ω_{ai}) Hesaplanması

Ambulans sayısı arttıkça yaralıların bekleme müddeti de azalacaktır. Bartın iline uygulanan bekleme hattı teorisi sonuçları aşağıda yer almaktadır. Geliştirilen kuyruk teoremi modeline göre 13 ambulandan sonra yaralıların ambulans bekleme müddeti sabit kalmıştır.

Tablo 3.4: λ 'nın %5 senaryosuna göre Bartın ili 13 bölgenin ortalama geliş ve hizmet hızı

| Bölgeler | Toplam Talep | Ortalama Geliş Hızı (λ) | Ortalama Hizmet Hızı(μ) |
|----------|--------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 298 | 12,42 | 13 |
| 2 | 178 | 7,42 | 7,5 |
| 3 | 232 | 9,67 | 9,8 |
| 4 | 142 | 5,92 | 6 |
| 5 | 573 | 23,88 | 24 |
| 6 | 408 | 17,00 | 17,5 |
| 7 | 245 | 10,21 | 10,25 |
| 8 | 192 | 8,00 | 8,2 |
| 9 | 520 | 21,67 | 21,75 |
| 10 | 404 | 16,83 | 16,85 |
| 11 | 260 | 10,83 | 11 |
| 12 | 60 | 2,50 | 3 |
| 13 | 598 | 24,92 | 24,95 |

Örneğin Tablo 3.4'te verildiği üzere Bölge 1'in ortalama geliş hızı $\lambda = 12,42$ yaralı / saat hesaplanmış, ortalama hizmet hızı $\mu = 13$ yaralı / saat olarak varsayılmıştır.

Buna göre sistem kullanım yoğunluğu $\rho = \frac{\lambda}{s \cdot \mu}$; ambulans sayısı 1 olduğunda $\rho = \frac{12,42}{1 \cdot 13} = 0,9554$; ambulans sayısı 13 olduğunda ise; $\rho = \frac{12,42}{13 \cdot 13} = 0,0735$ 'e eşit olmaktadır.

Sistemin boş kalma olasılığı $P_0 = 1 / \left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\frac{\lambda}{\mu})^n}{n!} + \frac{(\frac{\lambda}{\mu})^s}{s!} \frac{1}{1 - \frac{\lambda}{s\mu}} \right]$ formülünden yola çıkarak

ambulans sayısı 1 olduğunda $P_0 = 1 / \left[\sum_{n=0}^{1-1} \frac{(\frac{12,42}{13})^0}{0!} + \frac{(\frac{12,42}{13})^1}{1!} * \frac{1}{1 - \frac{12,42}{1*13}} \right] = 0,0446$ olarak

bulunmaktadır.

Kuyruk uzunluğu $L_q = \frac{P_0(\lambda/\mu)^s \rho}{s!(1-\rho)^2}$ formülü kullanıldığında ambulans sayısı 1 iken; $L_q = \frac{0,0446(12,42/13)^1 0,9554}{1!(1-0,9554)^2} = 19,28474$ olarak hesaplanır.

Sistem uzunluğu $L = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$ ise, $L = L_q + \rho$ formülünden, $L = 19,28474 + 0,9554 = 20,24$ hesaplanır.

Kuyrukta bekleme süresi $W_q = \frac{L_q}{\lambda}$; $W_q = \frac{19,28474}{12,42} * 60 = 93,16301$ olarak hesaplanır.

Sistemde bekleme süresi $W = W_q + \frac{1}{\mu}$; $W = 93,16301 + \frac{1}{13} * 60 = 5594,396$ olarak hesaplanır.

Tablo 3.5'te Bölge 1'in 13 ambulansa kadar, sistem uzunluğu L , kuyruk uzunluğu L_q , Kuyrukta bekleme süresi W_q , Sistemde bekleme süresi W ve sistem kullanım yoğunluğu ρ temel performans göstergeleri hesaplanmıştır.

Tablo 3.5: λ 'nın %5 senaryosuna göre Bölge-1'in temel performans kriterleri

| 1. Bölge | | | | | |
|-----------------|-------|----------|-----------|----------|--------|
| Ambulans Sayısı | L | L_q | $W_q(dk)$ | $W(dk)$ | ρ |
| 1 | 20,24 | 19,28474 | 93,16301 | 5594,396 | 0,9554 |
| 2 | 1,24 | 0,282465 | 1,364564 | 86,48923 | 0,4777 |
| 3 | 0,99 | 0,03796 | 0,183382 | 15,61832 | 0,3185 |
| 4 | 0,96 | 0,005499 | 0,026563 | 6,209171 | 0,2388 |
| 5 | 0,96 | 0,000745 | 0,003599 | 4,831312 | 0,1911 |
| 6 | 0,96 | 0 | 0,000442 | 4,64191 | 0,1592 |
| 7 | 0,96 | 0 | 0 | 4,618326 | 0,1365 |

| | | | | | |
|----|------|---|---|----------|--------|
| 8 | 0,96 | 0 | 0 | 4,61568 | 0,1194 |
| 9 | 0,96 | 0 | 0 | 4,615412 | 0,1062 |
| 10 | 0,96 | 0 | 0 | 4,615387 | 0,0955 |
| 11 | 0,96 | 0 | 0 | 4,615385 | 0,0869 |
| 12 | 0,96 | 0 | 0 | 4,615385 | 0,796 |
| 13 | 0,96 | 0 | 0 | 4,615385 | 0,0735 |

Tablo 3.6’da Bölge 2’nin λ ’nın %5 senaryosuna göre; sistem uzunluğu L , kuyruk uzunluğu L_q , Kuyrukta bekleme süresi W_q , Sistemde bekleme süresi W ve sistem kullanım yoğunluğu ρ temel performans göstergeleri hesaplanmıştır. Örneğin Bölge 2’de ambulans sayısı 4 iken, sistem uzunluğu $L=1$ kuyruk uzunluğu $L_q=0,006471$, kuyrukta bekleme süresi $W_q=0,52327$, Sistemde bekleme süresi $W=11,1396$ ve sistem kullanım yoğunluğu ρ ise 0,2473 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.6: λ ’nın %5 senaryosuna göre Bölge-2’nin temel performans kriterleri

| 2. Bölge | | | | | |
|-----------------|-------|----------|-----------|----------|--------|
| Ambulans Sayısı | L | L_q | $W_q(dk)$ | $W(dk)$ | ρ |
| 1 | 27,52 | 26,53374 | 214,5585 | 12881,51 | 0,9893 |
| 2 | 1,31 | 0,320513 | 2,591749 | 163,505 | 0,4947 |
| 3 | 1,03 | 0,043568 | 0,352302 | 29,13811 | 0,3298 |
| 4 | 1 | 0,006471 | 0,52327 | 11,1396 | 0,2473 |
| 5 | 0,99 | 0,000903 | 0,007302 | 8,438104 | 0,1979 |
| 6 | 0,99 | 0,000114 | 0,000926 | 8,055546 | 0,1649 |
| 7 | 0,99 | 0 | 0,000106 | 8,006365 | 0,1413 |
| 8 | 0,99 | 0 | 0 | 8,000661 | 0,1237 |
| 9 | 0,99 | 0 | 0 | 8,000063 | 0,1099 |
| 10 | 0,99 | 0 | 0 | 8,000005 | 0,0989 |
| 11 | 0,99 | 0 | 0 | 8 | 0,899 |
| 12 | 0,99 | 0 | 0 | 8 | 0,824 |
| 13 | 0,99 | 0 | 0 | 8 | 0,0761 |

Bölge 3’ün λ ’nın %5 senaryosuna göre; sistem uzunluğu L , kuyruk uzunluğu L_q , Kuyrukta bekleme süresi W_q , Sistemde bekleme süresi W ve sistem kullanım yoğunluğu ρ temel performans göstergeleri hesaplanmış, Tablo 3.7’de gösterilmiştir. Örneğin Bölge 3’te ambulans sayısı 6 iken, sistem uzunluğu $L=0,99$ kuyruk uzunluğu $L_q=0,000113$, kuyrukta bekleme süresi $W_q=0,000698$, sistemde bekleme süresi $W=0,6164359$ ve sistem kullanım yoğunluğu ρ ise 0,1645 olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.7’de de görüldüğü üzere, sistemde bekleme süresi 11. Ambulans sonrasında sabitlenmiştir.

Tablo 3.7: λ 'nın %5 senaryosuna göre Bölge-3'ün temel performans kriterleri

| 3. Bölge | | | | | |
|-----------------|-------|----------|-----------|----------|--------|
| Ambulans Sayısı | L | L_q | $W_q(dk)$ | $W(dk)$ | ρ |
| 1 | 29,21 | 28,22255 | 175,1141 | 10512,97 | 0,9867 |
| 2 | 1,3 | 0,317454 | 1,969728 | 124,3061 | 0,4934 |
| 3 | 1,03 | 0,043118 | 0,267534 | 22,17451 | 0,3289 |
| 4 | 0,99 | 0,006392 | 0,039662 | 8,502179 | 0,2467 |
| 5 | 0,99 | 0,00089 | 0,005522 | 6,453785 | 0,1973 |
| 6 | 0,99 | 0,000113 | 0,000698 | 6,164359 | 0,1645 |
| 7 | 0,99 | 0 | 0 | 6,12724 | 0,141 |
| 8 | 0,99 | 0 | 0 | 6,122945 | 0,1233 |
| 9 | 0,99 | 0 | 0 | 6,122496 | 0,1096 |
| 10 | 0,99 | 0 | 0 | 6,122453 | 0,0987 |
| 11 | 0,99 | 0 | 0 | 6,122449 | 0,0897 |
| 12 | 0,99 | 0 | 0 | 6,122449 | 0,0822 |
| 13 | 0,99 | 0 | 0 | 6,122449 | 0,759 |

Bölge 4'ün λ 'nın %5 senaryosuna göre; sistem uzunluğu L , kuyruk uzunluğu L_q , Kuyrukta bekleme süresi W_q , Sistemde bekleme süresi W ve sistem kullanım yoğunluğu ρ temel performans göstergeleri hesaplanmış, Tablo 3.8'de gösterilmiştir. Örneğin Bölge 4'te ambulans sayısı 3 iken, sistem uzunluğu $L=1,33$ kuyruk uzunluğu $L_q=0,043106$, kuyrukta bekleme süresi $W_q=0,436884$, sistemde bekleme süresi $W=36,21303$ ve sistem kullanım yoğunluğu ρ ise 0,3289 olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.8'de de görüldüğü üzere, sistemde bekleme süresi 11. Ambulans sonrasında sabitlenmiştir.

Tablo 3.8: λ 'nın %5 senaryosuna göre Bölge-4'ün temel performans kriterleri

| 4. Bölge | | | | | |
|-----------------|-------|----------|-----------|----------|--------|
| Ambulans Sayısı | L | L_q | $W_q(dk)$ | $W(dk)$ | ρ |
| 1 | 29,24 | 28,25239 | 286,3418 | 17190,51 | 0,9867 |
| 2 | 1,3 | 0,317375 | 3,216635 | 202,9981 | 0,4933 |
| 3 | 1,03 | 0,043106 | 0,436884 | 36,21303 | 0,3289 |
| 4 | 0,99 | 0,000639 | 0,64765 | 13,88591 | 0,2467 |
| 5 | 0,99 | 0,00089 | 0,009017 | 10,54101 | 0,1973 |
| 6 | 0,99 | 0,000113 | 0,00114 | 10,06843 | 0,1644 |
| 7 | 0,99 | 0 | 0,00013 | 10,00782 | 0,141 |
| 8 | 0,99 | 0 | 0 | 10,00081 | 0,1233 |
| 9 | 0,99 | 0 | 0 | 10,00008 | 0,1096 |
| 10 | 0,99 | 0 | 0 | 10,00001 | 0,0987 |
| 11 | 0,99 | 0 | 0 | 10 | 0,897 |

| | | | | | |
|----|------|---|---|----|--------|
| 12 | 0,99 | 0 | 0 | 10 | 0,0822 |
| 13 | 0,99 | 0 | 0 | 10 | 0,0759 |

Tablo 3.9’da Bölge 5’in λ ’nın %5 senaryosuna göre; sistem uzunluğu L , kuyruk uzunluğu L_q , Kuyrukta bekleme süresi W_q , sistemde bekleme süresi W ve sistem kullanım yoğunluğu ρ temel performans göstergeleri hesaplanmış, bölgede ambulans sayısı 1 iken, sistem uzunluğu $L=18,48$ kuyruk uzunluğu $L_q=17,48691$, kuyrukta bekleme süresi $W_q=43,93696$, Sistemde bekleme süresi $W=2638,717$ ve sistem kullanım yoğunluğu ρ ise 0,995 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.9: λ ’nın %5 senaryosuna göre Bölge-5’in temel performans kriterleri

| 5. Bölge | | | | | |
|-----------------|-------|----------|-----------|----------|--------|
| Ambulans Sayısı | L | L_q | $W_q(dk)$ | $W(dk)$ | ρ |
| 1 | 18,48 | 17,48691 | 43,93696 | 2638,717 | 0,995 |
| 2 | 1,32 | 0,32727 | 0,822287 | 51,8372 | 0,4975 |
| 3 | 1,04 | 0,044563 | 0,111966 | 9,217977 | 0,3317 |
| 4 | 1 | 0,006646 | 0,16698 | 3,501857 | 0,2488 |
| 5 | 1 | 0,000932 | 0,002341 | 2,640474 | 0,199 |
| 6 | 1 | 0,000119 | 0,000298 | 2,517902 | 0,1658 |
| 7 | 1 | 0 | 0 | 2,502062 | 0,1421 |
| 8 | 1 | 0 | 0 | 2,500215 | 0,1244 |
| 9 | 1 | 0 | 0 | 2,500021 | 0,1106 |
| 10 | 1 | 0 | 0 | 2,500002 | 0,0955 |
| 11 | 1 | 0 | 0 | 2,5 | 0,0905 |
| 12 | 1 | 0 | 0 | 2,5 | 0,829 |
| 13 | 1 | 0 | 0 | 2,5 | 0,0765 |

Tablo 3.10’da yer alan Bölge 6’nın λ değeri 17, μ değeri 17,50 iken; temel performans göstergeleri hesaplanmış, bölgede ambulans sayısı 2 iken, sistem uzunluğu $L=1,27$ kuyruk uzunluğu $L_q=0,299939$, kuyrukta bekleme süresi $W_q=66,94505$, sistemde bekleme süresi $W=66,94505$ ve sistem kullanım yoğunluğu ρ ise 0,4857 değerini vermiştir. Bölgede ambulans sayısı 12 olduğunda sistemde bekleme süresi sabitlenmiş, sonraki ambulanslarda da sistemde bekleme süresi 3,428571 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.10: λ ’nın %5 senaryosuna göre Bölge-6’nın temel performans kriterleri

| 6. Bölge | | | | | |
|----------|--|--|--|--|--|
|----------|--|--|--|--|--|

| Ambulans Sayısı | L | L_q | $W_q(dk)$ | $W(dk)$ | ρ |
|-----------------|-------|----------|-----------|----------|--------|
| 1 | 26,93 | 25,95811 | 91,61685 | 5500,44 | 0,9714 |
| 2 | 1,27 | 0,299939 | 1,058608 | 66,94505 | 0,4857 |
| 3 | 1,01 | 0,040537 | 0,143071 | 12,01283 | 0,3238 |
| 4 | 0,98 | 0,005943 | 0,020975 | 4,687051 | 0,2429 |
| 5 | 0,97 | 0,000817 | 0,002882 | 3,601496 | 0,1943 |
| 6 | 0,97 | 0,000102 | 0,000359 | 3,450137 | 0,1619 |
| 7 | 0,97 | 0 | 0 | 3,431001 | 0,1388 |
| 8 | 0,97 | 0 | 0 | 3,42882 | 0,1214 |
| 9 | 0,97 | 0 | 0 | 3,428595 | 0,1079 |
| 10 | 0,97 | 0 | 0 | 3,428573 | 0,0971 |
| 11 | 0,97 | 0 | 0 | 3,428572 | 0,0883 |
| 12 | 0,97 | 0 | 0 | 3,428571 | 0,0810 |
| 13 | 0,97 | 0 | 0 | 3,428571 | 0,0747 |

Bölge 7’de λ ’nın %5 senaryosuna göre; sistem uzunluğu L , kuyruk uzunluğu L_q , Kuyrukta bekleme süresi W_q , Sistemde bekleme süresi W ve sistem kullanım yoğunluğu ρ temel performans göstergeleri hesaplanmış, Tablo 3.11’de gösterilmiştir. Örneğin bölgede ambulans sayısı 3 iken, sistem uzunluğu $L=1,04$ kuyruk uzunluğu $L_q=0,044757$, kuyrukta bekleme süresi $W_q=0,26302$ sistemde bekleme süresi $W=21,63485$ ve sistem kullanım yoğunluğu ρ ise 0,332 olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.11’de de görüldüğü üzere, sistemde bekleme süresi 11. Ambulans sonrasında sabitlemiştir.

Tablo 3.11: λ ’nın %5 senaryosuna göre Bölge-7’nin temel performans kriterleri

| Ambulans Sayısı | | | | | |
|-----------------|------|----------|-----------|----------|--------|
| Ambulans Sayısı | L | L_q | $W_q(dk)$ | $W(dk)$ | ρ |
| 1 | 15,5 | 14,50112 | 85,21715 | 5118,882 | 0,9961 |
| 2 | 1,32 | 0,328593 | 1,931006 | 121,714 | 0,498 |
| 3 | 1,04 | 0,044757 | 0,26302 | 21,63485 | 0,332 |
| 4 | 1 | 0,00668 | 0,039255 | 8,208957 | 0,249 |
| 5 | 1 | 0,000938 | 0,005509 | 6,184208 | 0,1992 |
| 6 | 1 | 0,00012 | 0,000703 | 5,895827 | 0,1660 |
| 7 | 1 | 0 | 0 | 5,858521 | 0,1423 |
| 8 | 1 | 0 | 0 | 5,854167 | 0,1245 |
| 9 | 1 | 0 | 0 | 5,853707 | 0,1107 |
| 10 | 1 | 0 | 0 | 5,853663 | 0,0996 |
| 11 | 1 | 0 | 0 | 5,853659 | 0,0906 |
| 12 | 1 | 0 | 0 | 5,853659 | 0,0830 |

| | | | | | |
|----|---|---|---|----------|--------|
| 13 | 1 | 0 | 0 | 5,853659 | 0,0766 |
|----|---|---|---|----------|--------|

Bölge 8'in λ 'nın %5 senaryosuna göre temel performans göstergeleri hesaplanmış, sonuçlar Tablo 3.12'de sunulmuştur. Bölgede ambulans sayısı 5 iken, sistem uzunluğu $L=0,98$, kuyruk uzunluğu $L_q=0,000836$, kuyrukta bekleme süresi $W_q=0,006271$, sistemde bekleme süresi $W=7,693336$ ve sistem kullanım yoğunluğu ρ ise 0,1951 değerini vermiştir. Bölgede ambulans sayısı 12 olduğunda sistemde bekleme süresi sabitlenmiş, sonraki ambulanslarda da sistemde bekleme süresi 7,317073 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.12: λ 'nın %5 senaryosuna göre Bölge-8'in temel performans kriterler

| 8. Bölge | | | | | |
|-----------------|-------|----------|-----------|----------|--------|
| Ambulans Sayısı | L | L_q | $W_q(dk)$ | $W(dk)$ | ρ |
| 1 | 28,56 | 27,58365 | 206,8774 | 12419,96 | 0,9756 |
| 2 | 1,28 | 0,30464 | 2,2848 | 144,4051 | 0,4878 |
| 3 | 1,02 | 0,04123 | 0,309223 | 28,87045 | 0,3252 |
| 4 | 0,98 | 0,006063 | 0,454729 | 10,04545 | 0,2439 |
| 5 | 0,98 | 0,000836 | 0,006271 | 7,693336 | 0,1951 |
| 6 | 0,98 | 0,000105 | 0,000785 | 7,364181 | 0,1626 |
| 7 | 0,98 | 0 | 0 | 7,322401 | 0,1394 |
| 8 | 0,98 | 0 | 0 | 7,317619 | 0,1220 |
| 9 | 0,98 | 0 | 0 | 7,317124 | 0,1084 |
| 10 | 0,98 | 0 | 0 | 7,317078 | 0,0976 |
| 11 | 0,98 | 0 | 0 | 7,317074 | 0,0887 |
| 12 | 0,98 | 0 | 0 | 7,317073 | 0,0813 |
| 13 | 0,98 | 0 | 0 | 7,317073 | 0,0750 |

Bölge 9'da λ 'nın %5 senaryosuna göre; sistem uzunluğu L , kuyruk uzunluğu L_q , Kuyrukta bekleme süresi W_q , Sistemde bekleme süresi W ve sistem kullanım yoğunluğu ρ temel performans göstergeleri hesaplanmış, Tablo 3.13'te gösterilmiştir. Bölgede ambulans sayısı 3 iken, sistem uzunluğu $L=1,04$ kuyruk uzunluğu $L_q=0,044712$, kuyrukta bekleme süresi $W_q=10,123865$, sistemde bekleme süresi $W=10,19054$ ve sistem kullanım yoğunluğu ρ ise 0,332 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.13: λ 'nın %5 senaryosuna göre Bölge-9'un temel performans kriterleri

| 9. Bölge | | | | | |
|-----------------|-------|----------|-----------|----------|--------|
| Ambulans Sayısı | L | L_q | $W_q(dk)$ | $W(dk)$ | ρ |
| 1 | 16,18 | 15,18476 | 42,06306 | 2526,542 | 0,9959 |

| | | | | | |
|----|------|----------|----------|----------|--------|
| 2 | 1,32 | 0,328309 | 0,909442 | 57,32516 | 0,4979 |
| 3 | 1,04 | 0,044712 | 0,123865 | 10,19054 | 0,332 |
| 4 | 1 | 0,006673 | 0,018484 | 3,867629 | 0,249 |
| 5 | 1 | 0,000936 | 0,002594 | 2,914231 | 0,1992 |
| 6 | 1 | 0,000119 | 0,000331 | 2,778468 | 0,166 |
| 7 | 1 | 0 | 0 | 2,760909 | 0,1423 |
| 8 | 1 | 0 | 0 | 2,75886 | 0,1245 |
| 9 | 1 | 0 | 0 | 2,758644 | 0,1107 |
| 10 | 1 | 0 | 0 | 2,758623 | 0,0996 |
| 11 | 1 | 0 | 0 | 2,758621 | 0,0905 |
| 12 | 1 | 0 | 0 | 2,758621 | 0,083 |
| 13 | 1 | 0 | 0 | 2,758621 | 0,0766 |

Tablo 3.14'te yer alan Bölge 10'un λ değeri 16,83 μ değeri 16,85 iken; temel performans göstergeleri hesaplanmış, bölgede ambulans sayısı 2 iken, sistem uzunluğu $L=1,33$ kuyruk uzunluğu $L_q=0,331885$, kuyrukta bekleme süresi $W_q=0,161289$, sistemde bekleme süresi $W=13,23817$ ve sistem kullanım yoğunluğu ρ ise 0,3329 değerini vermiştir. Bölgede ambulans sayısı 11 olduğunda sistemde bekleme süresi sabitlenmiş, sonraki ambulanslarda da sistemde bekleme süresi 3,560831 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.14: λ 'nın %5 senaryosuna göre Bölge-10'un temel performans kriterleri

| 10. Bölge | | | | | |
|-----------------|------|----------|-----------|----------|--------|
| Ambulans Sayısı | L | L_q | $W_q(dk)$ | $W(dk)$ | ρ |
| 1 | 5,64 | 4,645305 | 16,5608 | 997,209 | 0,9988 |
| 2 | 1,33 | 0,331885 | 1,183192 | 74,55235 | 0,4994 |
| 3 | 1,04 | 0,045242 | 0,161289 | 13,23817 | 0,3329 |
| 4 | 1,01 | 0,006765 | 0,024118 | 5,007927 | 0,2497 |
| 5 | 1 | 0,000952 | 0,003393 | 3,764386 | 0,1998 |
| 6 | 1 | 0,000121 | 0,000434 | 3,586862 | 0,1665 |
| 7 | 1 | 0 | 0 | 3,56384 | 0,1427 |
| 8 | 1 | 0 | 0 | 3,561146 | 0,1249 |
| 9 | 1 | 0 | 0 | 3,560861 | 0,111 |
| 10 | 1 | 0 | 0 | 3,560834 | 0,0999 |
| 11 | 1 | 0 | 0 | 3,560831 | 0,0908 |
| 12 | 1 | 0 | 0 | 3,560831 | 0,0832 |
| 13 | 1 | 0 | 0 | 3,560831 | 0,0768 |

Tablo 3.15'te Bölge 11'in λ 'nın %5 senaryosuna göre; sistem uzunluğu L , kuyruk uzunluğu L_q , Kuyrukta bekleme süresi W_q , Sistemde bekleme süresi W ve sistem kullanım yoğunluğu

ρ temel performans göstergeleri hesaplanmıştır. Bölgede ambulans sayısı 4 iken, sistem uzunluğu $L=0,99$ kuyruk uzunluğu $L_q=0,006326$, kuyrukta bekleme süresi $W_q=0,350491$, sistemde bekleme süresi $W=7,557494$ ve sistem kullanım yoğunluğu ρ ise 0,2461 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.15: κ 'nın %5 senaryosuna göre Bölge-11'in temel performans kriterleri

| 11. Bölge | | | | | |
|-----------------|-------|----------|-----------|----------|--------|
| Ambulans Sayısı | L | L_q | $W_q(dk)$ | $W(dk)$ | ρ |
| 1 | 29,87 | 28,88475 | 160,02629 | 9607,032 | 0,9845 |
| 2 | 1,3 | 0,314897 | 107445821 | 110,1295 | 0,4923 |
| 3 | 1,03 | 0,042741 | 0,2367921 | 19,66207 | 0,3282 |
| 4 | 0,99 | 0,006326 | 0,0350491 | 7,557494 | 0,2461 |
| 5 | 0,99 | 0,000879 | 0,0048709 | 5,746797 | 0,1969 |
| 6 | 0,98 | 0,000111 | 0,0006149 | 5,491438 | 0,1641 |
| 7 | 0,98 | 0 | 0 | 5,458754 | 0,1406 |
| 8 | 0,98 | 0 | 0 | 5,454981 | 0,1231 |
| 9 | 0,98 | 0 | 0 | 5,454587 | 0,1094 |
| 10 | 0,98 | 0 | 0 | 5,454549 | 0,0985 |
| 11 | 0,98 | 0 | 0 | 5,454546 | 0,0895 |
| 12 | 0,98 | 0 | 0 | 5,454546 | 0,082 |
| 13 | 0,98 | 0 | 0 | 5,454546 | 0,0757 |

Bölge 12'nin κ 'nın %5 senaryosuna göre; sistem uzunluğu L , kuyruk uzunluğu L_q , Kuyrukta bekleme süresi W_q , Sistemde bekleme süresi W ve sistem kullanım yoğunluğu ρ temel performans göstergeleri hesaplanmış, Tablo 3.16'da sunulmuştur. Örneğin Bölge 12'de ambulans sayısı 3 iken, sistem uzunluğu $L=0,86$ kuyruk uzunluğu $L_q=0,0022196$, kuyrukta bekleme süresi $W_q=0,5327082$, sistemde bekleme süresi $W=51,9625$ ve sistem kullanım yoğunluğu ρ ise 0,2778 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.16: κ 'nın %5 senaryosuna göre Bölge-12'nin temel performans kriterleri

| 12. Bölge | | | | | |
|-----------------|------|----------|-----------|----------|--------|
| Ambulans Sayısı | L | L_q | $W_q(dk)$ | $W(dk)$ | ρ |
| 1 | 5 | 4,166666 | 99,999978 | 6019,999 | 0,8333 |
| 2 | 1,01 | 0,17507 | 4,2016807 | 272,1008 | 0,4167 |
| 3 | 0,86 | 0,022196 | 0,5327082 | 51,9625 | 0,2778 |
| 4 | 0,84 | 0,002901 | 0,0696259 | 24,17755 | 0,2083 |
| 5 | 0,83 | 0,000349 | 0,0083829 | 20,50298 | 0,1667 |
| 6 | 0,83 | 0 | 0,0009087 | 20,05452 | 0,1389 |

| | | | | | |
|----|------|---|---|----------|--------|
| 7 | 0,83 | 0 | 0 | 20,00532 | 0,119 |
| 8 | 0,83 | 0 | 0 | 20,00047 | 0,1042 |
| 9 | 0,83 | 0 | 0 | 20,00004 | 0,0926 |
| 10 | 0,83 | 0 | 0 | 20 | 0,0833 |
| 11 | 0,83 | 0 | 0 | 20 | 0,0758 |
| 12 | 0,83 | 0 | 0 | 20 | 0,0694 |
| 13 | 0,83 | 0 | 0 | 20 | 0,0641 |

Son olarak Tablo 3.17’de Bölge 13’ün λ ’nın %5 senaryosuna göre; sistem uzunluğu L , kuyruk uzunluğu L_q , Kuyrukta bekleme süresi W_q , Sistemde bekleme süresi W ve sistem kullanım yoğunluğu ρ temel performans göstergeleri hesaplanmıştır. Bölgede ambulans sayısı 4 iken, sistem uzunluğu $L=1,01$, kuyruk uzunluğu $L_q=0,006765$, kuyrukta bekleme süresi $W_q=0,1089217$, sistemde bekleme süresi $W=3,382052$ ve sistem kullanım yoğunluğu ρ ise 0,22497 olarak hesaplanmıştır.

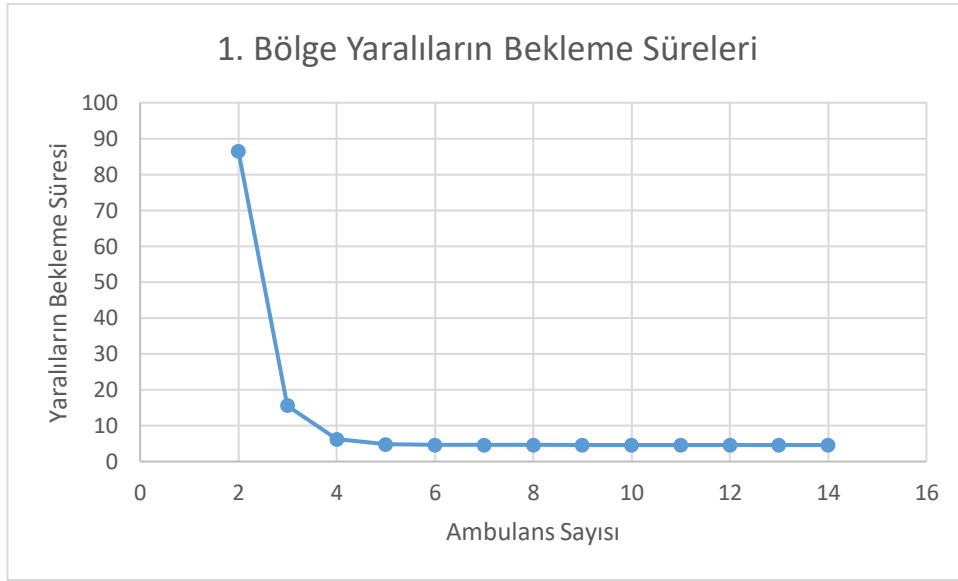
Tablo 3.17: λ ’nın %5 senaryosuna göre Bölge-13’ün temel performans kriterleri

| 13. Bölge | | | | | |
|-----------------|------|----------|-----------|----------|---------|
| Ambulans Sayısı | L | L_q | $W_q(dk)$ | $W(dk)$ | ρ |
| 1 | 5,71 | 4,712916 | 11,34731 | 683,2434 | 0,9988 |
| 2 | 1,33 | 0,331867 | 0,7990365 | 50,347 | 0,4994 |
| 3 | 1,04 | 0,045239 | 0,1089217 | 8,940111 | 0,3329 |
| 4 | 1,01 | 0,006765 | 0,0162874 | 3,382052 | 0,22497 |
| 5 | 1 | 0,000952 | 0,002291 | 2,542271 | 0,1998 |
| 6 | 1 | 0,000122 | 0,000293 | 2,422388 | 0,1665 |
| 7 | 1 | 0 | 0 | 2,406842 | 0,1427 |
| 8 | 1 | 0 | 0 | 2,405023 | 0,1248 |
| 9 | 1 | 0 | 0 | 2,40483 | 0,111 |
| 10 | 1 | 0 | 0 | 2,404811 | 0,0999 |
| 11 | 1 | 0 | 0 | 2,40481 | 0,0908 |
| 12 | 1 | 0 | 0 | 2,40481 | 0,0832 |
| 13 | 1 | 0 | 0 | 2,40481 | 0,0768 |

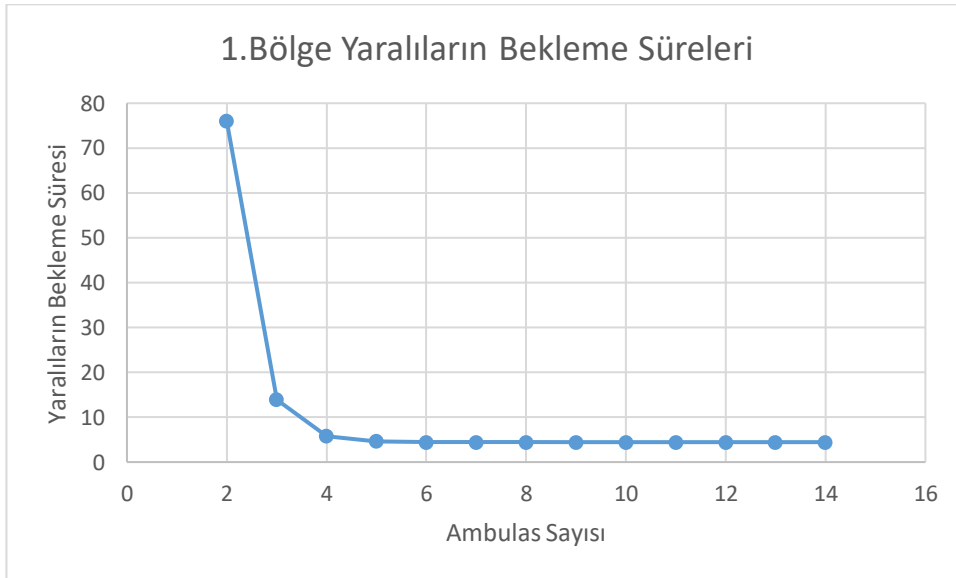
3.3.3 Değişen Hizmet Oranı (μ)’na Göre Bekleme Sürelerinin Analizi

Ortalama geliş hızı sabit tutulup ($\lambda=0,1242$), ortalama hizmet oranı arttırıldığında (μ 13’ten 13,50’a çıkarıldığında) (Şekil 3.3’te görüldüğü üzere hizmet oranı arttırıldığında yaralıların bekleme müddeti, birinci grafikte görüldüğü üzere ambulans sayısı 2 iken 86 dakikadan, 76

dakikaya inmiştir. Hizmet oranı artırıldığında ambulans yoğunluğu da azalmış, bir ambulans %96 yoğun iken, %92 yoğun duruma gelmiştir.

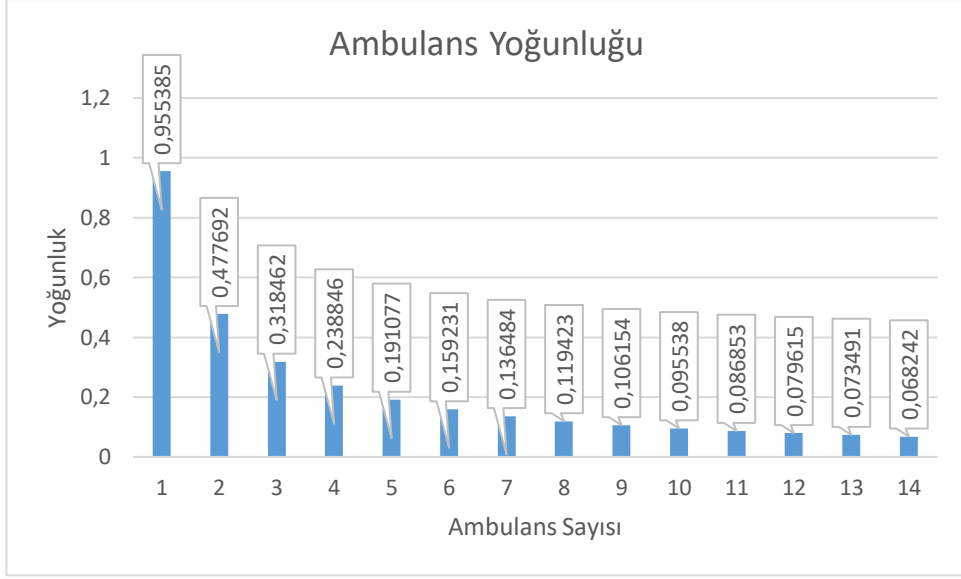


(a)

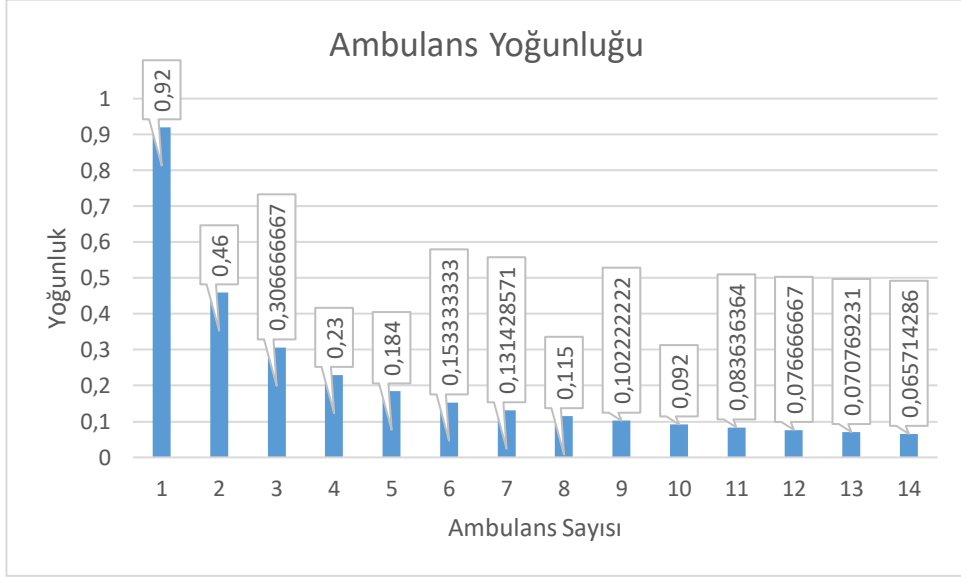


(b)

Şekil 3.3: λ sabit μ artırılması senaryosuna göre bekleme müddeti değişimi



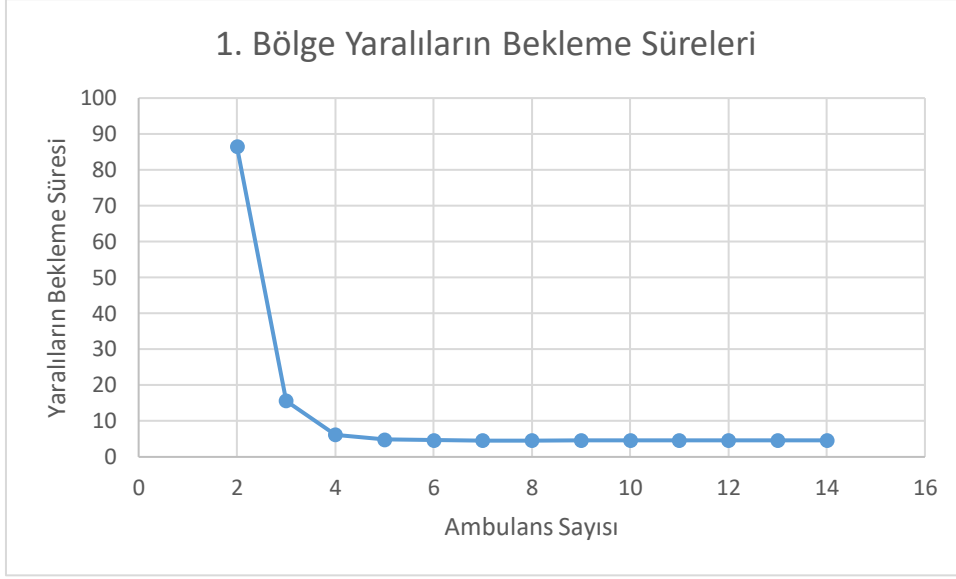
(a)



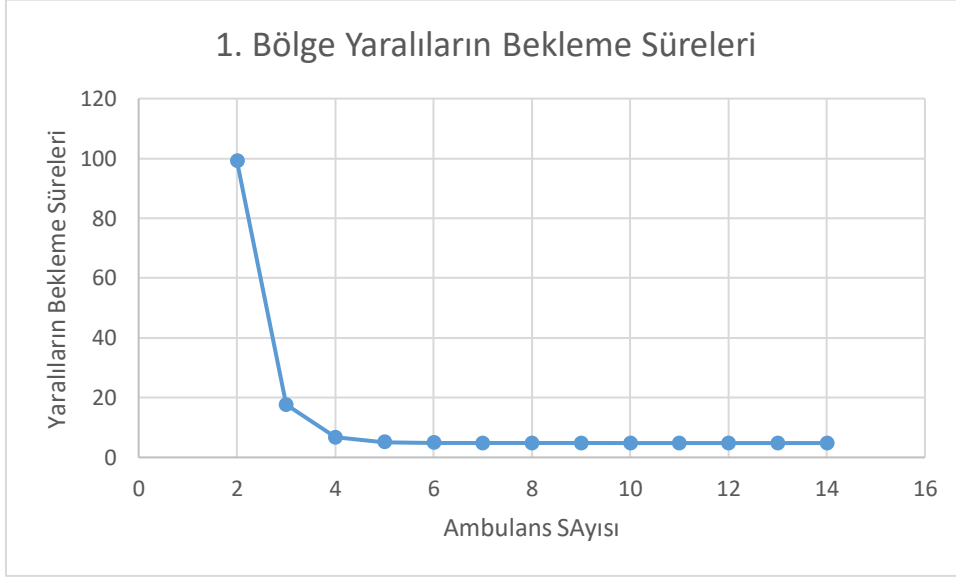
(b)

Şekil 3.4: λ sabit μ (13'ten 13,50'a yükseltildiğinde) arttırılması senaryosuna göre ambulans yoğunlukları

Birinci bölge için ortalama geliş hızı $\lambda=12,42$ sabit tutulup, ortalama hizmet oranı (13'ten 12,50'ye) düşürüldüğünde Şekil 3.4'te görüldüğü üzere hizmet oranı azaltıldığında yaralıların bekleme müddeti, birinci grafikte görüldüğü üzere ambulans sayısı 2 iken 86 dakikadan, 99 dakikaya yükselmiştir. Hizmet oranı azaltıldığında ambulans yoğunluğu artmış, Şekil 3.5'te görüldüğü üzere bir ambulans %96 yoğun iken, %99 yoğun duruma gelmiştir.

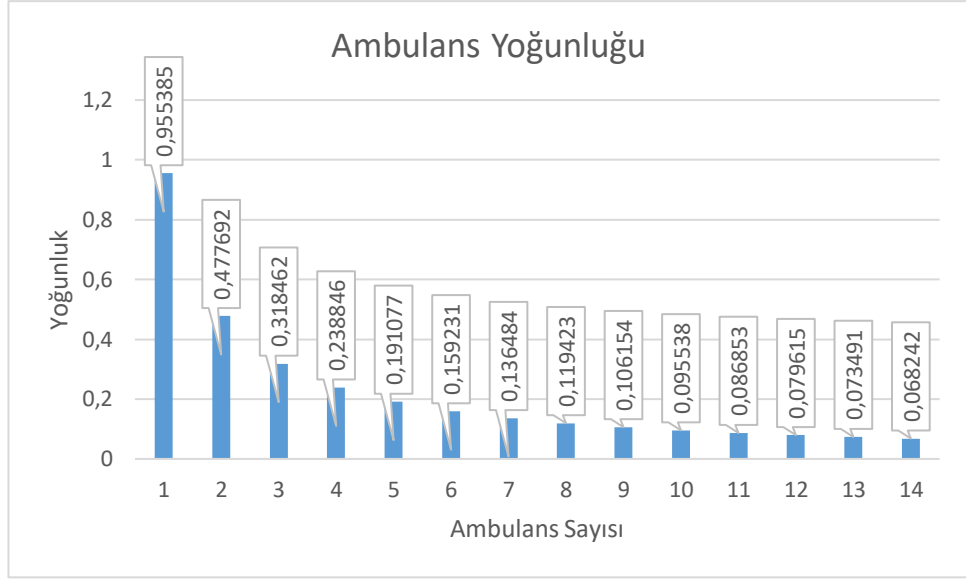


(a)

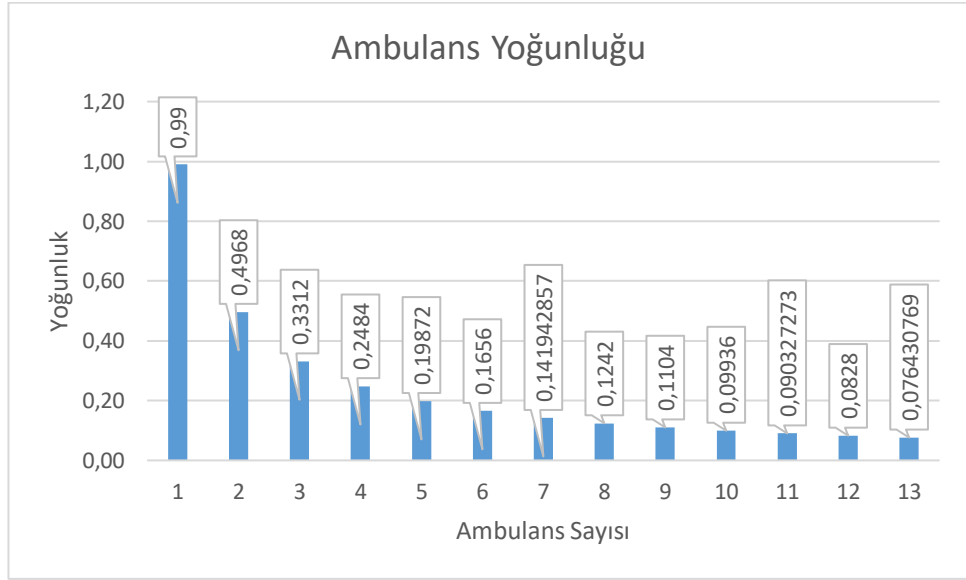


(b)

Şekil 3.5: λ sabit μ azaltılması senaryosuna göre bekleme müddeti değişimi



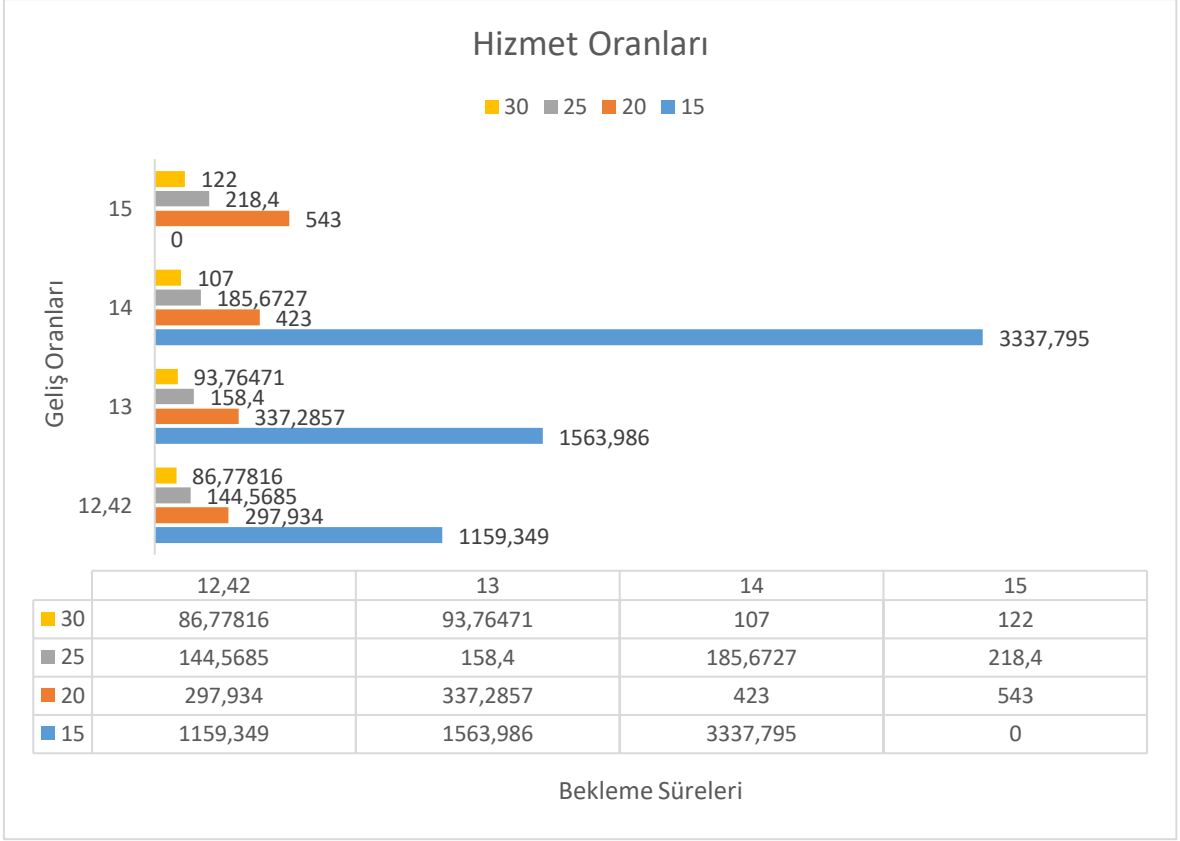
(a)



(b)

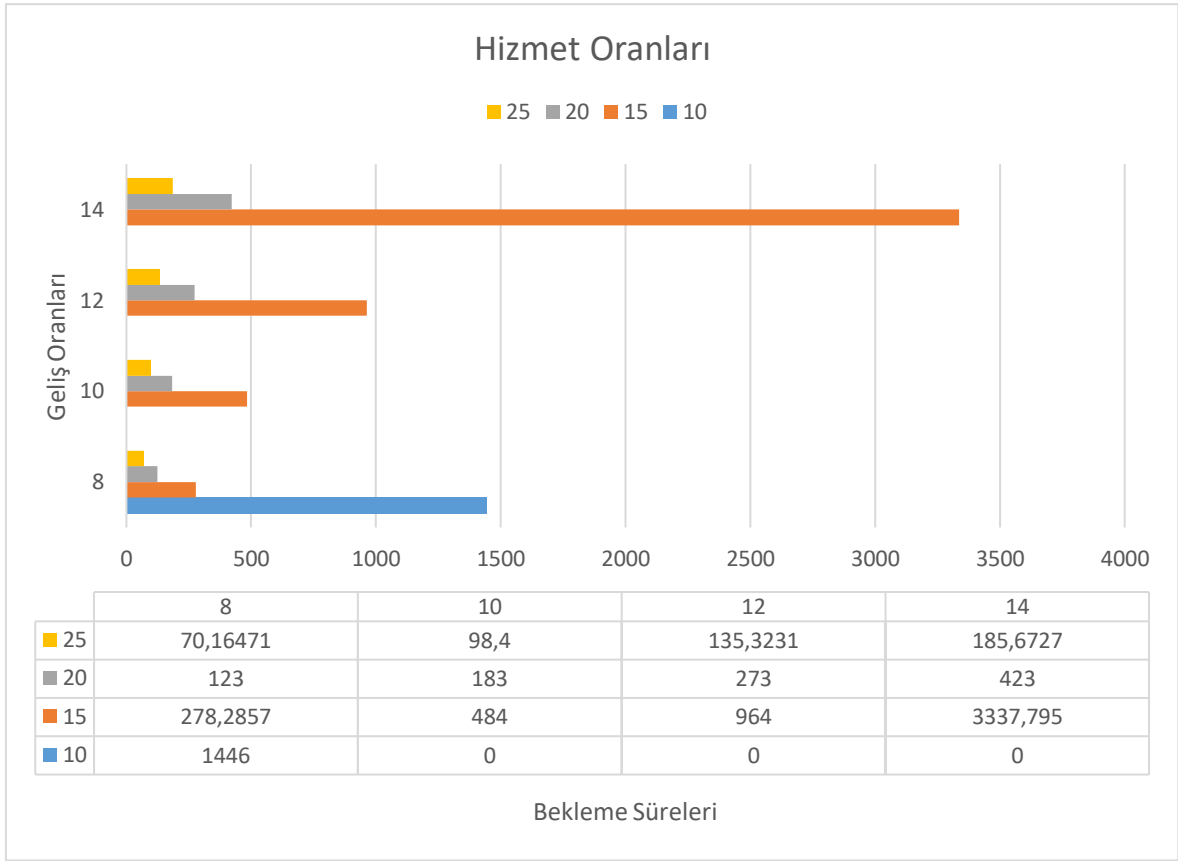
Şekil 3.6: λ sabit μ azaltılması senaryosuna göre ambulans yoğunlukları

Birinci bölgede 12,42 olan geliş oranı, hizmet oranı 15 iken bekleme süresi 1159,349 dk, hizmet oranı 20 iken; 297,934 dk, hizmet oranı 30'a yükseldiğinde ise yaralıların bekleme süresi 86,77816 dakikaya inmektedir. Yine birinci bölgede geliş oranı 12,42'den 13'e yükseldiğinde, hizmet oranı iki durumda da 15 iken; yaralıların bekleme süresi 1159,349'dan 1563,986 dakikaya yükselmektedir. Şekil 3.7'de Birinci bölge için geliş oranları ve hizmet oranlarının değişimi ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



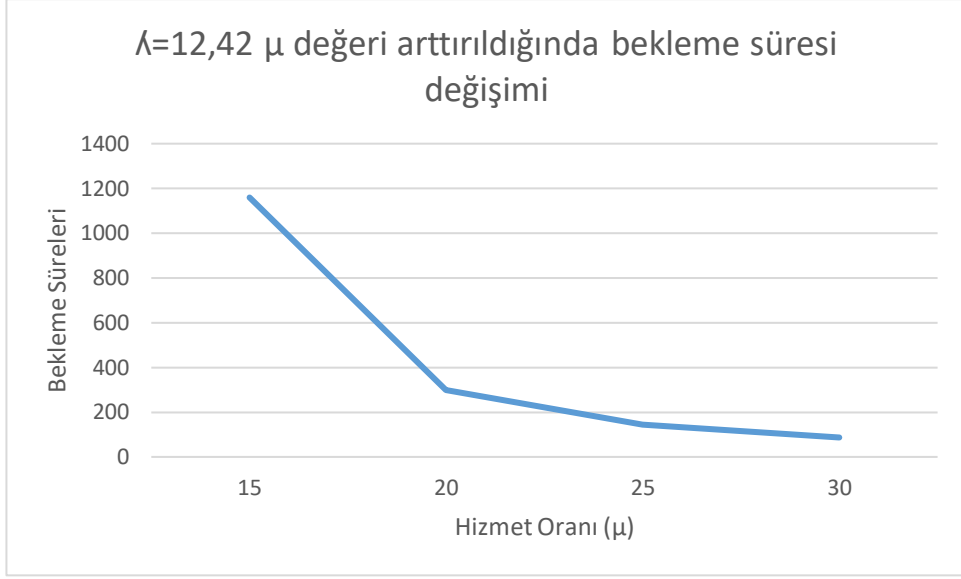
Şekil 3.7: Birinci bölge değişen λ ve μ değerlerine göre bekleme süreleri değişimi

Örneğin sekizinci bölge geliş oranı λ değeri 8'dir. Hizmet oranı μ değeri 10 iken yaralıların bekleme süresi 1446, μ 15'e yükseldiğinde bekleme süresi 278,2857 dakikaya, μ değeri 20 iken 123 dakikaya, μ değeri 25'e yükseldiğinde 70,16471 dakikaya inmektedir. Geliş oranı λ değeri 8 iken hizmet oranı 15 iken yaralıların bekleme süresi 278,2857 dakika iken λ değeri 10'a yükseltildiğinde hizmet oranı μ değeri 15 iken bekleme süresi 484 dakikaya yükselmektedir. Şekil 3.8'de sekizinci bölgenin değişen geliş oranı ve hizmet oranlarına göre bekleme süreleri gösterilmektedir.



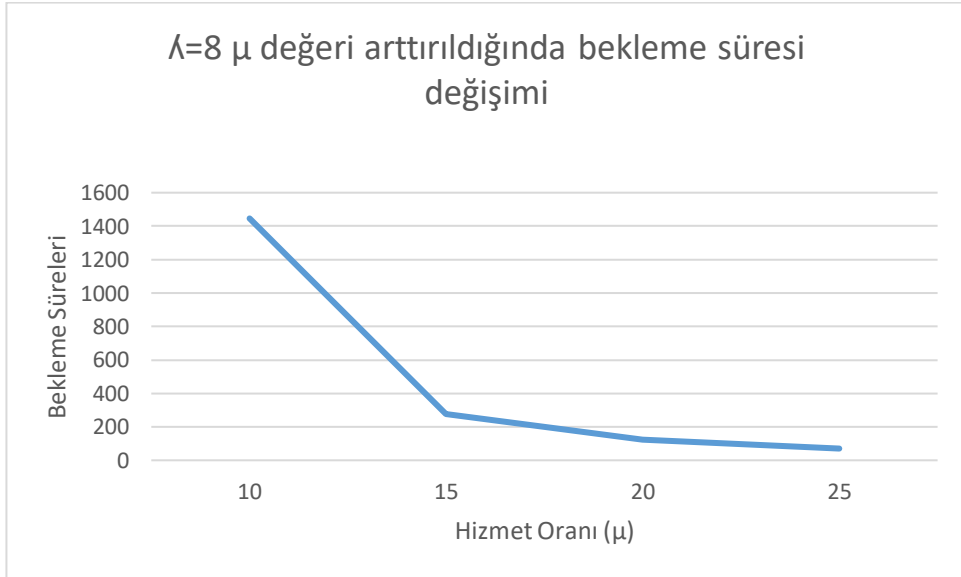
Şekil 3.8: Sekizinci bölge değişen λ ve μ değerlerine göre bekleme süreleri değişimi

Birinci bölge geliş oranı $\lambda=12,42$ iken μ değeri arttırıldığında bekleme süresi değişimi Şekil 3.9’da gösterilmiştir. 12,42 olan geliş oranı (λ), hizmet oranı (μ) 15 iken bekleme süresi 1159,349 dk, hizmet oranı 20 iken; 297,934 dk, hizmet oranı 25 iken, 144,5685 hizmet oranı 30’a yükseldiğinde ise yaralıların bekleme süresi 86,77816 dakikaya inmektedir.



Şekil 3.9: $\lambda=12,42$ iken μ değeri arttırıldığında bekleme süresi değişimi

Sekizinci bölge geliş oranı λ değeri 8'dir. Hizmet oranı μ değeri 10 iken yaralıların bekleme süresi 1446, μ 15'e yükseldiğinde bekleme süresi 278,2857 dakikaya, μ değeri 20 iken 123 dakikaya, μ değeri 25'e yükseldiğinde 70,16471 dakikaya inmektedir. Şekil 3.10'da bekleme süresi değişimi gösterilmiştir.



Şekil 3.10: $\lambda=8$ iken μ değeri arttırıldığında bekleme süresi değişimi

3.4 Matematiksel Modelin Doğrulanması ve Senaryoların Karşılaştırılması

Arama kurtarma ve ilk yardım deprem felaketi sonrası aşamalarından ilkidir. Canlıların kurtarılması, acil gereksinimlerin karşılanması ve zararın azaltılması faaliyetleri bu aşamanın ana hedefleri arasındadır. Bu aşamanın süresi ise birkaç gün ile birkaç hafta arasında değişim göstermektedir (Sey, 1999). Bu yüzden acil sağlık hizmetleri, ilk müdahale anı, acil servis, sahra hastanelerinde ve halk sağlığı hizmetlerinin verilmesi ve toplumun sağlık düzeyinin arttırılmasında önemli bir rol oynamaktadır (Koçak vd., 2012: 871).

Büyük çaplı felaketler sonrasında var olan kaynaklar afetlerin etkilerine cevap vermekte zorlanmaktadır. Afet döneminde ilk ve en önemli talep ölüm ve yaralanmaları minimize eden tutarlı, koordineli ve erişilebilir sağlık hizmeti alabilmektir (Yousefian vd., 2021: 102146). Depremlerin öngörülemeyen doğası ve yıkıcı etkisi, afete eğilimli bölgelerdeki hükümetleri, depremlerden kaynaklanan hasar ve kayıpları en aza indirmek için pratik müdahale planları sağlamaya zorlamaktadır. Lojistik yönetimi ise uygun bir müdahale için, özellikle müdahale sırasında gerekli olan malların taşınmasının planlanması ve yaralıların tahliyesi için dikkate alınması gereken kilit konulardan biridir (Najafi vd., 2014: 324). Öte yandan kaynakların kısıtlı olması dolayısıyla yerleşim yerinde var olan hastane kapasitesinin yeterli gelmediği durumlarda çevre ildeki hastaneler ya da sahra hastaneleri değerlendirilebilir (Bayraktar ve Hossin, 2021: 184).

Mimarlık ve mühendislik hizmet bedellerinin hesabında kullanılacak 2023 yılı yapı yaklaşık birim maliyetleri hakkında tebliğe göre sağlık ocakları, kamu sağlık dispanserlerinin KDV hariç metrekaşe cinsinden birim maliyeti 6.350,00 TL'dir (Mimarlık ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak 2023 Yılı Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğ, 2023).

Potansiyel geçici sağlık merkezleri: Kömürcü (Kömürcü, 2020) çalışmasında, Sağlık Bakanlığı'nın 112 Ulusal Medikal Kurtarma Ekibi (UMKE) bünyesinde farklı illerde 520 m² büyüklüğünde Sahra Hastaneleri kurduğunu ve kurulan bu potansiyel Sahra Hastanelerinin büyüklüğünün 520 m² olarak kabul edildiğini belirtmiştir.

Yine aynı çalışmada Sahra Hastanesi kurulum maliyeti ise Sahra Hastanesi çadırı, motoru, izolasyon malzemesi satışı yapan bir işletmeden alınan bilgiye göre 40 m² bir çadır ve

ekipmanları yaklaşık 50.000 TL'dir. Sahra Hastanelerinin kapasitesi ise 208 kişi olarak belirlenmiştir. Bu durumda 520 m² için 13 adet çadır ve ekipman gerekmekte ve bunun maliyeti yaklaşık 650.000 TL'dir. 2023 Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) hesapladığı tüketici fiyat endeksine (TÜFE) göre hesaplandığında 40 m² lik bir çadır ve ekipmanının bugünkü maliyeti 144,250,00 TL, 13 çadır 520 m² çadır ve ekipman maliyeti ise 1,875,000.00 TL'dir.

Modelde geçici sağlık merkezleri maliyeti ise, buldukları konumdaki nüfus yoğunluğuna göre hesaplanmıştır. Bu bilgilerden faydalanılarak bölgelerdeki istasyonlara bu maliyetlerle yaklaşık geçici tıp merkezi maliyetleri belirlenmiştir.

Tablo 3.18: İstasyon/Geçici Tıp Merkezi Maliyetleri

| İstasyonlar | Atanan Birim | Toplam Maliyet |
|-------------|--------------|----------------|
| j=1 | 21 | ₺3.029.250,00 |
| j=2 | 23 | ₺3.317.750,00 |
| j=3 | 25 | ₺3.606.250,00 |
| j=4 | 24 | ₺3.462.000,00 |
| j=5 | 25 | ₺3.606.250,00 |
| j=6 | 14 | ₺2.019.500,00 |
| j=7 | 16 | ₺2.308.000,00 |
| j=8 | 15 | ₺2.163.750,00 |
| j=9 | 25 | ₺3.606.250,00 |
| j=10 | 24 | ₺3.462.000,00 |
| j=11 | 15 | ₺2.163.750,00 |
| j=12 | 16 | ₺2.308.000,00 |
| j=13 | 13 | ₺1.875.250,00 |
| j=14 | 17 | ₺2.452.250,00 |
| j=15 | 14 | ₺2.019.500,00 |
| j=16 | 13 | ₺1.875.250,00 |
| j=17 | 15 | ₺2.163.750,00 |
| j=18 | 13 | ₺1.875.250,00 |
| j=19 | 15 | ₺2.163.750,00 |
| j=20 | 16 | ₺2.308.000,00 |

Çalışmada deprem sonrası acil yardıma ihtiyaç duyan yaralıların uzun bekleme sürelerini azaltmak, yaralıların daha fazla zarar görmesini ve ölümlerini engellemek için gerekli olan acil sağlık hizmetini en kısa sürede ulaştırmak için bekleme hattı teorisinden faydalanarak matematiksel bir model oluşturulmuştur. Modelde Bartın ili şehir merkezinde olası bir

deprem sonrasında ilk 24 saat için senaryolar üretilmiştir. Oluşturulan modelde GAMS programı CPLEX çözücüsü ile karışık tam sayılı programlama modeli olarak ve non-lineer kısıtlar için ise ANTIGONE çözücüsü kullanılmış, INTEL(R) Core (TM) i5-11400H ve 8 GB belleğe sahip bir bilgisayarda çalıştırılmıştır. Bekleme hattı teorisi formülleri Microsoft Excel yardımı ile çözülmüştür.

3.4.1 İstasyon Kapasitelerinin Esnetilmesi Senaryosu

Modelde her istasyonun bir kapasitesi vardır, birinci senaryoya göre istasyonların kapasitesi Tablo 3.19’da gösterilmiştir. Tablo 3.4’te yer alan Λ ’nın %5 senaryosuna göre Bartın ili 13 bölgenin ortalama geliş ve hizmet hızı hesaplamaları Bölüm 3.3.1 Geliştirilen Matematiksel Modelin Bartın İline Uygulanması başlığında ayrıntılı bir biçimde hesaplanmıştır. İstasyon kapasitelerinin esnetilmesi başlığında referans alınan Tablo 3.4 verileri birinci senaryoyu oluşturmaktadır.

Tablo 3.19: Birinci senaryoya göre istasyon kapasiteleri

| | | İstasyonlar (j) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|--|-----------------|----|---|----|----|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| İstasyon kapasitesi (c) | | 10 | 13 | 5 | 10 | 10 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 5 | 6 | 7 | 10 | 11 | 12 | 8 | 7 | 6 |

Modelde amaç yaralıları en kısa sürede müdahale etmektir, birinci senaryoda ilk duruma göre amaç fonksiyonunun sonucu 541 dakikadır ve açılan istasyonlar; J3, J4, J5, J6, J7, J9, J10, J11, J12, J15, J17 ve J20’dir. İstasyonlara atanan bölgeler ise Tablo 3.20’de gösterilmiştir.

Tablo 3.20: Birinci senaryoya göre bölgelere atanan istasyonlar

| | | Bölgeler (i) | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|----|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| İstasyonlar (j) | J3 | ✓ | | | | | | | | | | | | |
| | J4 | | ✓ | | | | | | | | | | | |
| | J5 | | | ✓ | | | | | | | | | | ✓ |
| | J6 | | | | ✓ | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--|--|--|---|---|---|---|---|---|--|--|---|--|
| J7 | | | | | | ✓ | | | | | | | |
| J9 | | | | ✓ | | | | | | | | | |
| J10 | | | | | | | | | ✓ | | | | |
| J11 | | | | | ✓ | | | | | | | | |
| J12 | | | | | | | ✓ | | | | | | |
| J15 | | | | | | | | ✓ | | | | | |
| J17 | | | | | | | | | ✓ | | | | |
| J20 | | | | | | | | | | | | ✓ | |

Modelde her istasyona tahsis edilen ambulans sayısı (z), toplam ambulans sayısı 35'e eşit olacak biçimde atanmış, istasyonlara atanan toplam ambulans sayısı Tablo 3.21'de verilmiştir.

Tablo 3.21: Birinci senaryoya göre açılan istasyonlara atanan toplam ambulans sayıları

| | İstasyonlar(j) | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|----------------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | J3 | J4 | J5 | J6 | J7 | J9 | J10 | J11 | J12 | J15 | J17 | J20 |
| Atanan ambulans sayısı(z) | 3 | 3 | 5 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 |

Her bölgeye tahsis edilen ambulans sayısı (x), yine toplam ambulans sayısını aşmayacak şekilde atanmış, bölgelere atanan toplam ambulans sayısı ise Tablo 3.22'de gösterilmiştir.

Tablo 3.22: Birinci senaryoya göre bölgelere atanan toplam ambulans sayıları

| | Bölgeler (i) | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| | I1 | I2 | I3 | I4 | I5 | I6 | I7 | I8 | I9 | I10 | I11 | I12 | I13 |
| Atanan ambulans Sayısı (z) | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 |

Model, belirli bir bölgedeki yaralıların hangi hastaneye götürüleceğini (ϑ_{ih}) hesaplamış, örneğin modelde her bir bölgedeki tahsis edilen ambulans sayısı (φ_{ai}) de göz önünde bulundurarak hesaplandığından, Hastane 2'ye yaralı sevki gerçekleşmemiştir. Tablo 3.23'te hangi bölgenin hangi hastaneye atandığı gösterilmektedir.

Tablo 3.23: Birinci senaryoya göre bölgelerin atandıkları hastaneler

| Hastaneler | Bölgeler (i) | | | | | | | | | | | | |
|------------|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 1 | | | | | | ✓ | | ✓ | | | | | |

Modelde ikinci senaryoda birinci senaryodaki gibi yine her istasyona tahsis edilen ambulans sayısı (z), toplam ambulans sayısı 35'e eşit olacak biçimde atanmış, istasyonlara atanan toplam ambulans sayısı Tablo 3.26'da verilmiştir.

Tablo 3.26: Azaltılmış istasyon kapasitesi senaryosuna göre istasyonlara atanan ambulans sayıları

| | İstasyonlar(j) | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|----------------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | J1 | J3 | J4 | J5 | J6 | J7 | J9 | J10 | J11 | J12 | J15 | J17 | J20 |
| Atanan ambulans sayısı (z) | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 |

İkinci senaryoda da her bölgeye tahsis edilen ambulans sayısı (x), yine toplam ambulans sayısını aşmayacak şekilde atanmış, bölgelere atanan toplam ambulans sayısı ise Tablo 3.27'de gösterilmiştir. Birinci senaryo ile karşılaştırıldığında bölgelere atanan ambulans sayılarında bir değişiklik olmamıştır.

Tablo 3.27: Azaltılmış istasyon kapasitesi senaryosuna göre bölgelere atanan ambulans sayısı

| | Bölgeler (i) | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| | I1 | I2 | I3 | I4 | I5 | I6 | I7 | I8 | I9 | I10 | I11 | I12 | I13 |
| Atanan ambulans sayısı (z) | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 |

İkinci senaryoda modelle belirli bir bölgedeki yaralıların hangi hastaneye götürüleceği hesaplanmış, örneğin modelde her bir bölgedeki tahsis edilen ambulans sayısı da hesaba katarak hesaplandığından, Hastane 2'ye birinci senaryoda olduğu gibi yaralı sevki gerçekleşmemiş ve bölgeler aynı hastanelere sevk edilmiştir. Tablo 3.28'de hangi bölgenin hangi hastaneye atandığı gösterilmektedir.

Tablo 3.28: Azaltılmış istasyon kapasitesi senaryosuna göre bölgelerin atandığı hastaneler

| Hastaneler | Bölgeler (i) | | | | | | | | | | | | |
|------------|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 1 | | | | | | ✓ | | ✓ | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | ✓ | ✓ |
| 4 | | | ✓ | | ✓ | | | | | | | | |
| 5 | | | | ✓ | | | ✓ | | ✓ | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | ✓ | ✓ | | |

Üçüncü senaryoda ise yine diğer tüm parametreler sabitken istasyonların ambulans kapasite sayıları arttırılmıştır. Tablo 3.29’da istasyon kapasiteleri verilmiştir.

Tablo 3.29: Artırılmış istasyon kapasitesi senaryosuna göre istasyon kapasiteleri

| | | İstasyonlar (j) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|--|-----------------|----|---|----|----|----|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| İstasyon kapasitesi (c) | | 12 | 13 | 8 | 12 | 12 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 7 | 10 | 8 | 11 | 11 | 12 | 13 | 10 | 11 | 9 |

İstasyon kapasiteleri arttırılan bu senaryoda açılan istasyonlar; J1, J2, J5, J6, J7, J9, J10, J11, J12, J15, J16, J17 ve J20’dir ve modelin amaç fonksiyonunun sonucu 541 dakikadır. Tablo 3.30 hangi bölgenin hangi istasyona atandığını göstermektedir.

Tablo 3.30: Artırılmış istasyon kapasitesi senaryosuna göre bölgelere atanan istasyonlar

| | | Bölgeler (i) | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| İstasyonlar | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| J1 | ✓ | | | | | | | | | | | | | |
| J2 | | ✓ | | | | | | | | | | | | |
| J5 | | | ✓ | | | | | | | | | | | |
| J6 | | | | ✓ | | | | | | | | | | |
| J7 | | | | | | | | ✓ | | | | | | |
| J9 | | | | | ✓ | | | | | | | | | |
| J10 | | | | | | | | | | | | ✓ | | |
| J11 | | | | | | ✓ | | | | | | | | |
| J12 | | | | | | | | | ✓ | | | | | |
| J15 | | | | | | | | | | ✓ | | | | |
| J16 | | | | | | | | | | | | | | ✓ |
| J17 | | | | | | | | | | | ✓ | | | |
| J20 | | | | | | | | | | | | | ✓ | |

Tüm istasyonlara tahsis edilen ambulans sayısı (z), toplam ambulans sayısı 35’e eşit olacak biçimde atanmış, istasyonlara atanan toplam ambulans sayısı Tablo 3.31’de verilmiştir.

Tablo 3.31: Artırılmış istasyon kapasitesi senaryosuna göre açılan istasyonlara atanan toplam ambulans sayıları

İstasyonlar (j)

| | J1 | J2 | J5 | J6 | J7 | J9 | J10 | J11 | J12 | J15 | J16 | J17 | J20 |
|----------------------------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Atanan ambulans sayısı (z) | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 |

Üçüncü senaryoda da bölgeye tahsis edilen ambulans sayısı (x), yine toplam ambulans sayısını aşmayacak şekilde atanmış, bölgelere atanan toplam ambulans sayısı ise Tablo 3.32’de gösterilmiştir.

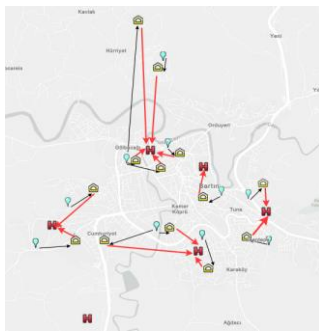
Tablo 3.32: Artırılmış istasyon kapasitesi senaryosuna göre bölgelere atanan ambulans sayısı

| | Bölgeler (i) | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| | I1 | I2 | I3 | I4 | I5 | I6 | I7 | I8 | I9 | I10 | I11 | I12 | I13 |
| Atanan ambulans Sayısı (z) | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 |

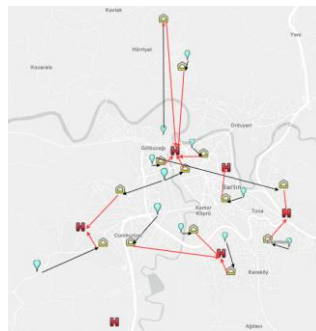
İstasyon kapasitelerinin esnetilmesi senaryosu başlığı altında yer alan üç senaryoda da bölgelerin atandıkları hastaneler değişmemiştir. Tablo 3.33’te üçüncü senaryo bölgelerin atandıkları hastaneler yer almaktadır.

Tablo 3.33: Artırılmış istasyon kapasitesi senaryosuna göre bölgelerin atandığı hastaneler

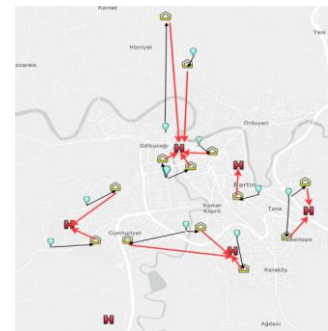
| Hastaneler | Bölgeler (i) | | | | | | | | | | | | |
|------------|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 1 | | | | | | ✓ | | ✓ | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | ✓ | ✓ |
| 4 | | | ✓ | | ✓ | | | | | | | | |
| 5 | | | | ✓ | | | ✓ | | ✓ | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | ✓ | ✓ | | |



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.7: Senaryoların görselleştirilmesi

Birinci ve üçüncü senaryoda 10, ikinci senaryoda 11 istasyon açılmıştır. Yaralılara müdahale süresini minimize etmek olan amaç fonksiyonu sonuçları hepsinde 541 dakikadır. Her bir bölgeye atanan ambulans sayısı ve bölgelerin atandıkları hastaneler her üç senaryoda da aynıdır. İstasyonların kapasitesine göre açılan istasyonlar değişiklik göstermiştir.

3.4.2 Ambulans Sayılarının Esnetilmesi Senaryosu

Bartın'da toplam ambulans sayısı 35'tir ve model de bu verilere göre kurulmuştur. Bu bölümde birinci senaryoda ambulans sayısı 35'ten 40'a çıkarılmış, diğer tüm veriler sabit kalmıştır. Ambulans sayısı 5 birim arttığında modelin amaç fonksiyonu olan yaralılara müdahale etme süresi 35 ambulans olduğu durumda 541 iken 327 dakikaya inmiştir. Yukardaki başlıkta yer alan istasyon kapasitelerinin esnetilmesine ait olan üç senaryodaki aynı hastaneye atanma durumu bu senaryoda da devam etmektedir. Senaryo bire göre açılan istasyonlar; J2, J3, J5, J6, J9, J10, J11, J12, J15 ve J20'dir. Bölgelerin atandığı istasyonlar Tablo 3.34'te gösterilmiştir.

Tablo 3.34: $\theta=40$ 'a göre bölgelerin atandığı istasyonlar

| İstasyonlar(j) | Bölgeler(i) | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| J2 | | ✓ | | | | | | | | | | | |
| J3 | ✓ | | | | | | | | | | | | |
| J5 | | | ✓ | | | | | | | | | | ✓ |
| J6 | | | | ✓ | | | ✓ | | | | | | |
| J9 | | | | | ✓ | | | | | | | | |
| J10 | | | | | | | | | | ✓ | ✓ | | |
| J11 | | | | | | ✓ | | | | | | | |
| J12 | | | | | | | | ✓ | | | | | |
| J15 | | | | | | | | | ✓ | | | | |
| J20 | | | | | | | | | | | | ✓ | |

Modelde her istasyona tahsis edilen ambulans sayısı (z), toplam ambulans sayısı 40'a eşit olacak biçimde atanmış, istasyonlara atanan toplam ambulans sayısı Tablo 3.35'te verilmiştir.

Tablo 3.35: $\theta=40$ 'a göre açılan istasyonlara atanan toplam ambulans sayıları

| | İstasyonlar(j) | | | | | | | | | |
|----------------------------|----------------|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | J2 | J3 | J5 | J6 | J9 | J10 | J11 | J12 | J15 | J20 |
| Atanan ambulans sayısı (z) | 3 | 3 | 6 | 6 | 3 | 6 | 3 | 3 | 3 | 4 |

Bu senaryoda her bölgeye tahsis edilen ambulans sayısı (x), toplam ambulans sayısı 40'ı aşmayacak şekilde atanmış, bölgelere atanan toplam ambulans sayısı ise Tablo 3.36'da gösterilmiştir.

Tablo 3.36: $\theta=40$ 'a göre bölgelere atanan ambulans sayısı

| | Bölgeler (i) | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| | I1 | I2 | I3 | I4 | I5 | I6 | I7 | I8 | I9 | I10 | I11 | I12 | I13 |
| Atanan ambulans sayısı (z) | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 |

Modelimizde ikinci senaryo halihazırda 35 ambulans olan durumu 50 ambulansa çıkarılmıştır. İkinci senaryoda ambulans sayısı 15 birim arttığında amaç fonksiyonu sonucu 541 dakikadan 200 dakikaya inmiştir. Açılan istasyonlar; J1, J3, J5, J6, J7, J9, J10, J11, J12, J15, J17, J20 olmak üzere toplamda 12'dir. Bölgelerin atandıkları istasyonlar ise Tablo 3.37'de gösterilmiştir.

Tablo 3.37: $\theta=50$ 'ye göre bölgelerin atandığı istasyonlar

| İstasyonlar(j) | Bölgeler (i) | | | | | | | | | | | | |
|----------------|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| J1 | | | | | | | | | | | | | ✓ |
| J3 | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | | |
| J5 | | | ✓ | | | | | | | | | | |
| J6 | | | | ✓ | | | | | | | | | |
| J7 | | | | | | | ✓ | | | | | | |
| J9 | | | | | ✓ | | | | | | | | |
| J10 | | | | | | | | | | | ✓ | | |
| J11 | | | | | | ✓ | | | | | | | |
| J12 | | | | | | | | ✓ | | | | | |
| J15 | | | | | | | | | ✓ | | | | |
| J17 | | | | | | | | | | ✓ | | | |
| J20 | | | | | | | | | | | | ✓ | |

Modelde her istasyona tahsis edilen ambulans sayısı (z), toplam ambulans sayısı 50 ambulansa eşit olacak biçimde atanmış, istasyonlara atanan toplam ambulans sayısı Tablo 3.38’de verilmiştir.

Tablo 3.38: $\theta=50$ 'ye göre açılan istasyonlara atanan toplam ambulans sayıları

| | İstasyonlar(j) | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|----------------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | J1 | J3 | J5 | J6 | J7 | J9 | J10 | J11 | J12 | J15 | J17 | J20 |
| Atanan ambulans sayısı (z) | 3 | 8 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |

İkinci senaryoda her bölgeye tahsis edilen ambulans sayısı (x), toplam ambulans sayısı 50’yi aşmayacak şekilde atanmış, bölgelere atanan toplam ambulans sayısı ise Tablo 3.39’da gösterilmiştir.

Tablo 3.39: $\theta=50$ 'ye göre bölgelere atanan ambulans sayısı

| | Bölgeler(i) | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| | I1 | I2 | I3 | I4 | I5 | I6 | I7 | I8 | I9 | I10 | I11 | I12 | I13 |
| Atanan ambulans sayısı (z) | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 |

İkinci senaryoda da bölgelerin atandığı hastaneler değişmemiştir.

3.4.3 Temel Performans Göstergelerinin Esnetilmesi Senaryosu

Birinci senaryoda modelimizdeki ortalama geliş hızı (λ) sabit tutulmuş, hizmet oranı (μ) arttırılmıştır. Veriler Tablo 3.40’ta sunulmuştur.

Tablo 3.40: λ sabit μ arttırılması senaryosu

| Bölgeler | Toplam Talep | Ortalama Geliş Hızı (λ) | Ortalama Hizmet Hızı(μ) |
|----------|--------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 298 | 12,42 | 13,50 |
| 2 | 178 | 7,42 | 8 |
| 3 | 232 | 9,67 | 10 |
| 4 | 142 | 5,92 | 7 |
| 5 | 573 | 23,88 | 25 |
| 6 | 408 | 17,00 | 18 |
| 7 | 245 | 10,21 | 12 |
| 8 | 192 | 8,00 | 9 |
| 9 | 520 | 21,67 | 23 |
| 10 | 404 | 16,83 | 18 |

| | | | |
|----|-----|-------|----|
| 11 | 260 | 10,83 | 12 |
| 12 | 60 | 2,50 | 4 |
| 13 | 598 | 24,92 | 25 |

Birinci senaryoya göre bekleme müddetini minimize etmeye çalışan amaç fonksiyonu sonucu 446 dakikadır, açılan istasyonlar; J3, J4, J5, J6, J7, J9, J10, J11, J12, J15, J17 ve J20 olmak üzere toplam 12'dir. Bölgelerin atandıkları istasyonlar, Tablo 3.41'de gösterilmiştir.

Tablo 3.41: λ sabit μ artırılması senaryosuna göre bölgelerin atandığı istasyonlar

| İstasyonlar (j) | Bölgeler (i) | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| J3 | ✓ | | | | | | | | | | | | |
| J4 | | ✓ | | | | | | | | | | | |
| J5 | | | ✓ | | | | | | | | | | ✓ |
| J6 | | | | ✓ | | | | | | | | | |
| J7 | | | | | | | ✓ | | | | | | |
| J9 | | | | | ✓ | | | | | | | | |
| J10 | | | | | | | | | | | ✓ | | |
| J11 | | | | | | ✓ | | | | | | | |
| J12 | | | | | | | | ✓ | | | | | |
| J15 | | | | | | | | | ✓ | | | | |
| J17 | | | | | | | | | | ✓ | | | |
| J20 | | | | | | | | | | | | ✓ | |

Senaryoda her istasyona tahsis edilen ambulans sayısı (z), toplam ambulans sayısı 35'e eşit olacak biçimde atanmış, istasyonlara atanan toplam ambulans sayısı Tablo 3.42'de verilmiştir.

Tablo 3.42: λ sabit μ artırılması senaryosuna göre açılan istasyonlara atanan toplam ambulans sayıları

| Atanan ambulans sayısı (z) | İstasyonlar (j) | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-----------------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| | J3 | J4 | J5 | J6 | J7 | J9 | J10 | J11 | J12 | J15 | J17 | J20 | |
| | 3 | 3 | 5 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | |

Bölgelere atanan ambulans sayısı toplam ambulans sayısı 35'i aşmayacak biçimde atanmış, senaryonun sonucu Tablo 3.43'te gösterilmiştir.

Tablo 3.43: λ sabit μ artırılması senaryosuna göre bölgelere atanan ambulans sayısı

| | Bölgeler (i) | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| | I1 | I2 | I3 | I4 | I5 | I6 | I7 | I8 | I9 | I10 | I11 | I12 | I13 |
| Atanan ambulans Sayısı (z) | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 |

İkinci senaryoda ortalama geliş hızı sabit tutulmuş ortalama hizmet hızı ise ilk duruma göre azaltılmıştır. Tablo 3.44'te bölgelerin verileri paylaşılmıştır.

Tablo 3.44: λ sabit μ azaltılması senaryosu

| Bölgeler | Toplam Talep | Ortalama Geliş Hızı (λ) | Ortalama Hizmet Hızı (μ) |
|----------|--------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 298 | 12,42 | 12,50 |
| 2 | 178 | 7,42 | 7,45 |
| 3 | 232 | 9,67 | 9,70 |
| 4 | 142 | 5,92 | 5,95 |
| 5 | 573 | 23,88 | 23,90 |
| 6 | 408 | 17,00 | 17,25 |
| 7 | 245 | 10,21 | 10,23 |
| 8 | 192 | 8,00 | 8,10 |
| 9 | 520 | 21,67 | 21,70 |
| 10 | 404 | 16,83 | 16,84 |
| 11 | 260 | 10,83 | 10,85 |
| 12 | 60 | 2,50 | 2,55 |
| 13 | 598 | 24,92 | 24,94 |

İkinci senaryoya göre bekleme müddetini minimize etmeye çalışan amaç fonksiyonu sonucu 585 dakikadır, açılan istasyonlar; J3, J4, J5, J6, J7, J9, J10, J11, J12, J15, J17 ve J20 olmak üzere toplam 12'dir. Bölgelerin atandıkları istasyonlar, Tablo 3.45'te gösterilmiştir. Tablo 3.45: λ sabit μ artırılması senaryosuna göre bölgelerin atandığı istasyonlar aynıdır.

Tablo 3.45: λ sabit μ azaltılması senaryosuna göre bölgelerin atandığı istasyonlar

| İstasyonlar (j) | Bölgeler (i) | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| J3 | ✓ | | | | | | | | | | | | |
| J4 | | ✓ | | | | | | | | | | | |
| J5 | | | ✓ | | | | | | | | | | ✓ |
| J6 | | | | ✓ | | | | | | | | | |
| J7 | | | | | | | ✓ | | | | | | |
| J9 | | | | | ✓ | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--|--|--|--|---|--|---|---|---|--|---|--|--|
| J10 | | | | | | | | | | | ✓ | | |
| J11 | | | | | ✓ | | | | | | | | |
| J12 | | | | | | | ✓ | | | | | | |
| J15 | | | | | | | | ✓ | | | | | |
| J17 | | | | | | | | | ✓ | | | | |
| J20 | | | | | | | | | | | ✓ | | |

İkinci senaryoda da her istasyona tahsis edilen ambulans sayısı (z), toplam ambulans sayısı 35'e eşit olacak biçimde atanmış, istasyonlara atanan toplam ambulans sayısı Tablo 3.46'da verilmiştir.

Tablo 3.46: λ sabit μ azaltılması senaryosuna göre açılan istasyonlara atanan toplam ambulans sayıları

| | İstasyonlar (j) | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-----------------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | J3 | J4 | J5 | J6 | J7 | J9 | J10 | J11 | J12 | J15 | J17 | J20 |
| Atanan ambulans sayısı (z) | 3 | 3 | 5 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 |

Bölgelere atanan ambulans sayısı toplam ambulans sayısı 35'i aşmayacak biçimde atanmış, senaryonun sonucu Tablo 3.47'de gösterilmiştir.

Tablo 3.47: λ sabit μ azaltılması senaryosuna göre bölgelere atanan ambulans sayısı

| | Bölgeler (i) | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| | I1 | I2 | I3 | I4 | I5 | I6 | I7 | I8 | I9 | I10 | I11 | I12 | I13 |
| Atanan ambulans sayısı (z) | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 |

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

“Bu araştırmada yeni olarak neler bulundu ve yeni bulguların önemi, değeri, bilime ve uygulamaya katkısı nedir?” sorularına cevap verilmesi için, bu bölümde çalışmanın kullandığı matematiksel modelin bulguları yorumlanmış ve sonuçları paylaşılmıştır. Daha sonra araştırmada elde edilen bulgular yorumlanmış ve sonuçları tartışılmıştır. Bununla birlikte bu bölüm materyal ve metod bölümünün son ana başlığı olan matematiksel modelin doğrulanması ve senaryoların karşılaştırılması başlığının bir özeti olarak da değerlendirilebilir. Ayrıca bulgular hem kendi içinde tartışılmış hem de bulguların bilime ve uygulamaya katkısı ifade edilmiştir.

4.1 Matematiksel Modellerin Sonuçları ve Analizi

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, afet sonrası yaralıların bekleme müddetini minimize etmeyi amaçlayan ya da belirli bir bütçe dahilinde acil sağlık hizmetlerinde ambulans tahsis problemini konu alan çalışmalar oldukça fazladır. Ambulanslar, özellikle kalp ile ilgili tıbbi vakalarda hastanın hayatta kalma şansını artırmak için çağrıldıklarında hastalara her zaman mümkün olan en kısa sürede ulaşmalıdır. Ambulansların yerleşimi, ambulansların hastalara ulaşma süresini doğrudan etkilemektedir. Swalehe ve Aktas, (2016) çalışmalarında, ambulansların tahsisi için en uygun istasyonları bularak ambulansların müdahale sürelerini azaltmak ve sonuç olarak hastaların hayatta kalma şansını artırmayı amaçlamışlardır. Çalışma, Odunpazarı bölgesi Acil Sağlık Hizmetleri için ambulans yanıt süresini azaltmak üzere talep ve coğrafi zaman tabanlı dinamik bir ambulans dağıtım stratejisi modellemiştir. Bu ambulans yerleşim problemi sonucunda ambulans talep alanlarının %77,6'sı için ortalama ambulans yanıt süresinin 10 dakikadan 5 dakikaya düşürülmesini sağlamışlardır. Ambulansların daha yüksek ambulans taleplerinin beklendiği bölgelere daha yakın yerde tahsis edilmesi, bir acil sağlık hizmetleri performansının değerlendirilmesinde kilit bir temel olan ambulans yanıt süresini azaltmaktadır. Dolayısıyla ambulansların doğru konumlandırılması hayat kurtarmak ve yaralanmaları azaltmak için çok önemlidir. Verimli ve etkili konumları belirlemek için talebin hem mekânsal hem de zamansal dağılımını değerlendirmek gerekmektedir. Ambulans müdahalesi ve taşıma faaliyetlerinin karmaşık doğası nedeniyle, Berlin ve Liebman (1974) çalışmalarında problem bir tesis yeri problemi ve bir araç tahsisi problemi olarak alt bölümlere ayırmışlar, konum problemini çözmek için bir küme kaplama modeli modifiye edilirken, tahsis problemini

çözmek için bir simülasyon kullanmışlardır. Bu iki modelin birleştirilmesi, ambulans yer seçimi problemine sistematik olarak tatmin edici bir çözüm bulmak için güçlü bir metodoloji sağlamaktadır.

Acil sağlık hizmetlerinde ambulansın önemli bir özelliği, herhangi bir birimin meşgul olma olasılığının diğer birimlerin hangilerinin meşgul olduğuna bağlı olmasıdır. Fitzsimmons (1973), bu özelliği içeren analitik bir model geliştirilmiş ve gerçek bir işletim sistemi için tüm yanıt süresi dağılımını tahmin etmede güvenilir olduğunu bulmuştur. Modelin bir bilgisayar versiyonu, bir model arama rutini ile birleştğinde CALL (Bilgisayarlı Ambulans Konum Mantığı) olarak adlandırılan ambulans dağıtım metodolojisini oluşturmaktadır. Bu metodoloji, Los Angeles Şehri için yapılan bir uygulamada gösterildiği gibi, ortalama yanıt süresini en aza indiren ambulansların konuşlandırılmasını bulmak için kullanılabilir. CALL, acil durum ambulanslarının yerleştirilmesi için 34 itfaiye binasından oluşan olası bir set arasından seçim yapmak için kullanılmıştır. Amaç ortalama müdahale süresinin en aza indirilmesi olmasına rağmen, nihai konuşlandırma aşırı müdahale süreleri olasılığını da önemli ölçüde azaltmıştır. CALL kullanımının bir diğer yan faydası da 14 ambulans ekibi arasındaki iş yükünün önemli ölçüde hafifletilmesi olmuştur.

Marianov ve ReVelle (1996) ise çalışmalarında Maksimal Kullanılabilirlik Konum Problemi (MALP) yakın zamanda maksimal kaplama konum probleminin olasılıksal bir versiyonu olarak formüle etmişlerdir. Çalışmada MALP'ye eklenen özellik, sunucuların kullanılabilirliğine ilişkin rastgeleliğin dikkate alınmasıdır. Ancak MALP'de farklı sunucuların meşgul olma olasılıklarının bağımsız olduğu varsayılmaktadır. Makalede, bu varsayımı gevşetmek için kuyruk teorisinden elde edilen sonuçları kullanarak acil durum sistemleri için daha gerçekçi bir model elde etmektedirler. Burada, ambulanslar gibi sınırlı sayıda acil durum aracının, sunucu kullanılabilirliği için bir kuyruk teorisi modeli kullanarak, güvenilirlik α ile bir zaman veya mesafe standardı içinde bir ambulansın mevcut olduğu hizmet çağrılarını en üst düzeye çıkaracak şekilde nasıl yerleştirileceğini göstermektedirler.

Mendonça ve Morabito (2001), Brezilya'nın São Paulo ve Rio de Janeiro şehirlerini birbirine bağlayan bir otoyol üzerindeki acil sağlık sisteminin ambulans konuşlandırmasını analiz etmektedirler. Kullanıcı hizmetinin önemli bir bileşeni olarak görülen sistemin acil bir çağrıya verdiği ortalama yanıt süresi çalışmanın odak noktasıdır. Sistem performansını

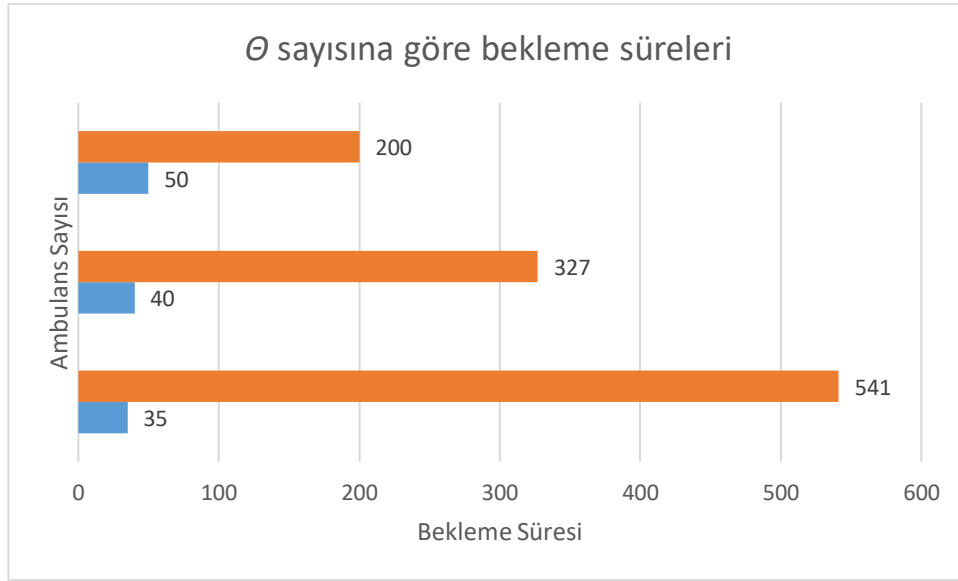
değerlendirmek için, sunucudan müşteriye sistemleri planlamak için iyi bilinen bir araç olan ve mekansal olarak dağıtılmış kuyruk teorisine dayanan hiperküp modelini uygulanmış ve sonuçlar, modelin tasarım ve operasyonel kararların desteklenmesinde, özellikle de ambulanslar arasındaki iş yükü dengesizliğinin azaltılmasında etkili olabileceğini göstermiştir.

Hesaplamalar sonucunda, yaralıların bekleme süreleri Bartın ili şehir merkezinde belirlenen bölgelere atanan ambulans sayısı 13'e ulaştığında optimum seviyeye ulaşmıştır. Bir yaralının 13. Ambulanstan sonra bekleme süresi λ ve μ değişmemek kaydıyla sabit kalmıştır. Bu yüzden modelde bölgelere atanacak maksimum ambulans sayısını 13 olarak belirledik. Yine bekleme hattı teorisi kullanarak λ yani ortalama geliş hızı sabit tutularak μ hizmet oranını artırıp azalttık, hizmet oranı arttığında ambulans sayısı 1 iken 5900 dakikadan, 3060 dakikaya inmiştir. Hizmet oranı arttırıldığında ambulans yoğunluğu da azalmış, bir ambulans %96 yoğun iken, %92 yoğun duruma gelmiştir. Ortalama geliş hızı sabit tutulup, ortalama hizmet oranı düşürüldüğünde hizmet oranı azaltıldığında ise yaralıların bekleme müddeti, ambulans sayısı 1 iken 5590 dakikadan, 5980 dakikaya yükselmiştir. Hizmet oranı azaltıldığında ambulans yoğunluğu artmış, bir ambulans %96 yoğun iken, %99 yoğun duruma gelmiştir. Hizmet oranının artması yaralıların bekleme müddetini azaltmakta ve amaç fonksiyonunun optimum sonuca ulaşmasına katkıda bulunmaktadır.

Matematiksel model doğrulanırken üç ana başlıkta senaryo oluşturulmuştur. İlk başlık istasyon kapasitelerinin esnetilmesi senaryosunda oluşturduğumuz matematiksel modelde aday istasyonlara atadığımız ambulans sayıları artırılıp azaltıldığında, açılan istasyonlar değişmiş, amaç fonksiyonu olan bekleme müddeti 3 senaryoda ambulans sayısı 35 iken yaralıların bekleme süresi 541, açılan istasyon sayısı senaryo sırasına göre; 12, 13 ve 13'tür. Bölgelerin atandığı hastaneler ve bölgelere atanan ambulans sayıları da üç durumda da değişmemiştir.

İkinci başlıkta ambulans sayıları arttırılmıştır, ambulans sayısı 35 iken yaralıların bekleme süresi 541 iken ambulans sayısı 40'a çıkarıldığında bekleme müddeti 327 dakikaya düşmüştür. Açılan istasyon sayısı ise 10'dur. Ambulans sayısı 50 olarak karar verildiğinde ise yaralıların bekleme süresi 200 dakikaya inmiştir ve 12 istasyon açılmıştır. Her iki

durumda da bölgelerin atandığı hastane aynıdır. Bekleme sürelerinin değişimi Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1: Ambulans sayısı arttığında yaralıların bekleme süresinin değişimi

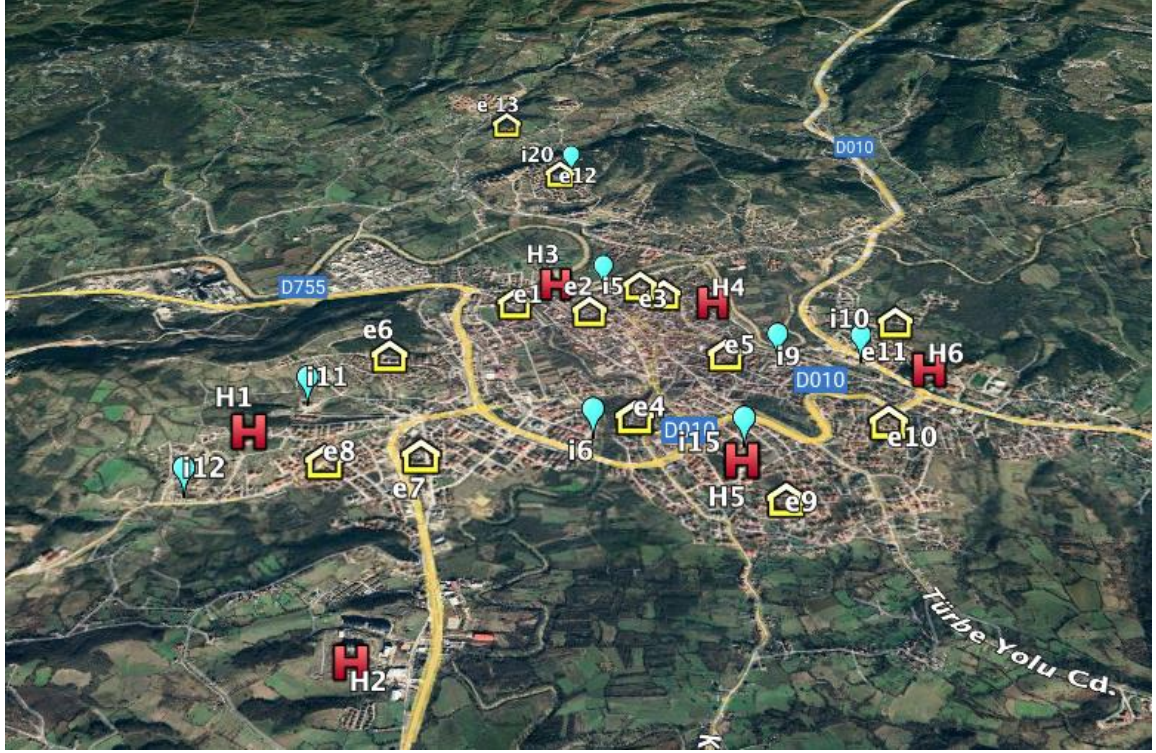
Temel performans göstergelerinin esnetilmesi senaryosunda ise λ sabit kalmış μ değeri artırılıp azaltılmıştır. μ değeri artırıldığında bekleme müddeti 446 dakikaya inmiş, μ değeri azaltıldığında ise yaralıların bekleme müddeti 585 dakikaya yükselmiştir. Açılan istasyon sayıları her iki durumda da 12’dir. Bölgelere atanan ambulans sayısı farklılaşmıştır.

Tüm senaryolar karşılaştırıldığında ise hepsinin sonucunda bölgeler aynı hastanelere atanmıştır ve Şekil 4.2 hastanelerin konumunu gösteren işaretli olan hastane ise hiç atama yapılmayan 2 numaralı hastanedir.

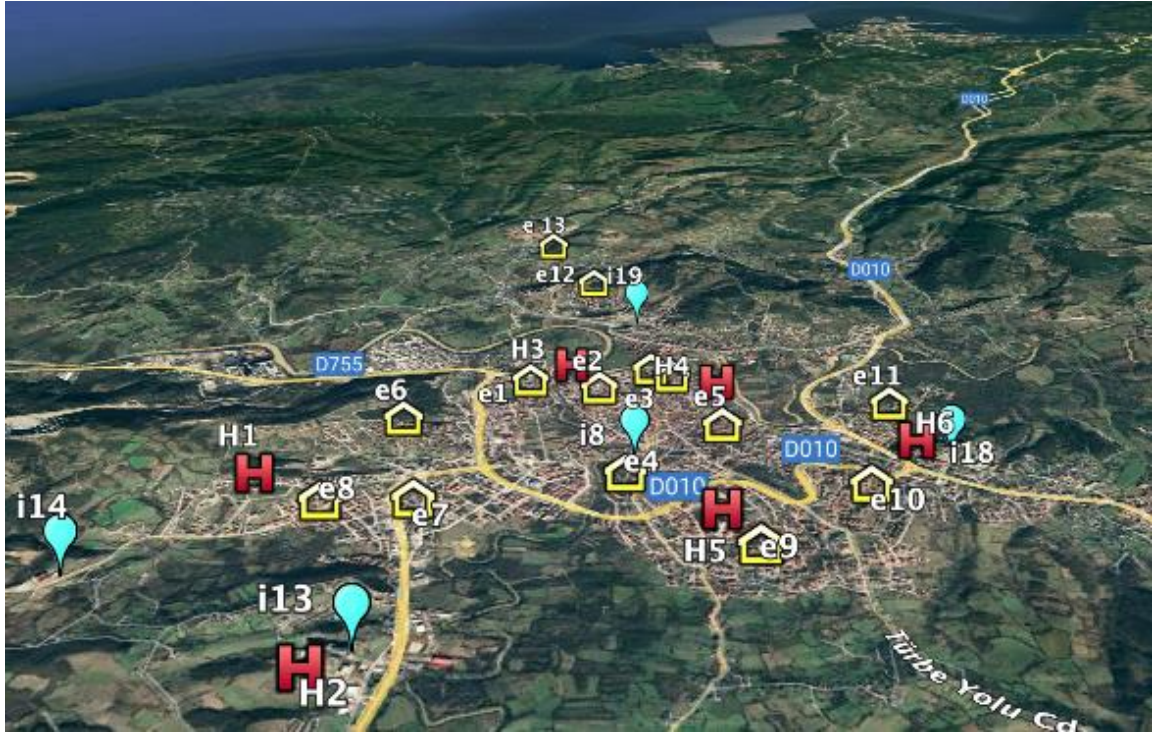


Şekil 4.2: Hastanelerin konumu

Tüm durumlar değerlendirildiğinde J5, J6, J9, J10, J11, J12, J15 ve J20 numaralı istasyonlar tüm senaryolarda açılmıştır. İstasyonların konumları Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Öte yandan J8, J13, J14, J18 ve J19 istasyonları hiçbir senaryoda aktif olmamış bu istasyonlara atama yapılmamıştır. Şekil 4.4'te istasyonların konumları gösterilmektedir.



Şekil 4.3: Tüm senaryolarda açılan istasyonlar



Şekil 4.4: Açılmayan istasyonlar

4.2 Bulguların Yorumlanması ve Sonuçların Tartışılması

Mümkün olduğunca çok sayıda insanın hayatını kurtarmak için ambulans ve ek hastane sayılarının artırılması gerekmektedir. Bu nedenle ambulans istasyonlarının ve geçici tıp merkezlerinin konumu, istasyonlara tahsis edilen ambulans sayısı ve istasyonlara tahsis edilen etkilenen alanlar da dahil olmak üzere bir dizi acil sağlık hizmetleri kararlarının mümkün olan en kısa sürede verilmesi gerekmektedir (Wang vd., 2022: 910).

Salman ve Gül, (2014) çalışmalarında afetten hemen sonra tahsis edilecek ek acil tıbbi hizmet kapasitesinin konumunu ve boyutunu belirlemek için optimizasyon modeli tabanlı bir analiz çerçevesi sunmuşlardır. Analiz çerçevesinde üretilen senaryolarda model çözümlerinin analizi ve parametreler üzerindeki duyarlılık analizleri, mevcut kapasitenin olası bir deprem senaryosunda beklenen talep artışıyla başa çıkmak için yeterli olmayacağını göstermektedir. Çalışmada ek kapasiteye en acil ihtiyaç duyan yerleri belirlenmiş ve sonuçlar, hizmet kalitesinin düşük olduğu ve yeni sahra hastanelerinin kurulmasında öncelikli olması gereken ilçeleri ortaya çıkarmıştır. Alan, ekipman ve personel atama hazırlıkları ile sahra hastanelerinin kurulması ile afetten hemen sonra, gerçek hasar bilgileri henüz tamamlanmamışken kurulabilir ve böylece kritik müdahale süresi tasarrufları gerçekleştirilebilir sonucuna ulaşmışlardır.

Geliştirilen senaryolarda istasyonların kapasitesinin artırılması modelin yaralılara müdahale etme süresini minimize etme amaç fonksiyonunu değiştirmemiş, istasyon kapasitesi azaltılması ya da artırılması fark etmeksizin 541 dakika olarak sonuçlanmıştır. Ambulans sayısının artırılması senaryosu ile ambulans sayısı 35 iken 541 dakika olan bekleme süresi, ambulans sayısı 40 iken 327 dakikaya, ambulans sayısı 50 olduğunda ise 200 dakikaya inmiştir. Temel performans göstergelerinin esnetilmesi senaryosunda ise ortalama geliş hızı λ sabit kalmış ortalama hizmet oranı μ değeri artırılıp azaltılmıştır. Ortalama hizmet oranı μ değeri artırıldığında bekleme müddeti 446 dakikaya inmiş, Ortalama hizmet oranı μ değeri azaltıldığında ise yaralıların bekleme müddeti 585 dakikaya yükselmiştir. Ambulans maliyeti tıbbi malzemelerle birlikte yaklaşık olarak 1.200.000,00 TL'dir. Acil sağlık hizmeti sadece ambulansı değil, ambulans ekiplerini de kapsadığından maliyet artacaktır, geçici sağlık merkezlerinin de maliyetleri göz önüne alındığında; 13 çadır 520 m² çadır ve ekipman maliyeti ise 1,875,000.00 TL olduğu ve yeterli sağlık ekibinin burada da ihtiyaç olduğu göz önüne alınarak, ürettiğimiz modelde olası deprem sonrası ambulans sayısını arttırmak hem

yaralıların bekleme süresini azaltacak hem de daha az maliyetli olacaktır. Bir kriz bölgesinin desteklenmesi, diğer bölgelerdeki acil durum hastalarının yetersiz şekilde karşılanmasına yol açabilmektedir, bu nedenle karar vericilerin, araçların kriz bölgesine ve kapsam dışı alanlara taşınması da dahil olmak üzere faydalı yer değiştirme bilgileriyle yardıma ihtiyaç duymaktadır (Schneeberger vd., 2016: 1). Dolayısıyla hem geçici tıp merkezlerinin konumu hem de etkilenen bölgelere tahsis edilen ambulans sayısı bekleme müddetini minimize etmekle kalmayacak bölgeler arasındaki dengesizlikleri de ortadan kaldıracaktır.

Modelin sonuçları göz önüne alındığında 2 numaralı hastaneye hiç atama yapılmamıştır. Modelimizin kısıtlarında yatak kapasitesinin yer almaması bir etken olmakla birlikte yaralıların bekleme süresini minimize eden modelimizde Hastane 2 yani Bartın'da inşa halinde olan devlet hastanesi etkilenen alanlar ve belirlediğimiz aday istasyonlara uzak mesafededir. Bununla birlikte Bartın, gelişmeye açık bir şehirdir ayrıca yeni üniversite kampüsünün de konumu da göz önüne alındığında şehrin üniversiteye yakın alanlara doğru genişlediği görülmektedir. Filyos Vadisi Projesi Adapazarı-Karasu-Ereğli-Bartın Demiryolu Projesi Filyos'u Marmara Bölgesi'ne bağlayacak önemli bir proje olup, Bartın nüfusunun artmasına neden olacağı söylenebilir. Dolayısıyla sağlık acil sağlık hizmetlerine yatırım artacak, hastanelerin kapasiteleri de beraberinde arttırılacaktır.

Üretilen model sonrası amaçlanan (1) Acil tıbbi hizmetlere erişimi en üst düzeye çıkarmak: Ambulansların doğru noktalarda ve doğru sayıda tahsis edilmesi, acil tıbbi hizmetlere ulaşımı hızlandırarak acil durumlarda hayat kurtarma potansiyelini artırmaktadır. (2) Servis sürelerini minimize etmek: Ambulansların acil olay yerlerine ulaşma süreleri, yaralılara müdahale süresini azaltır ve tedaviye başlama zamanını iyileştirir, dolayısıyla afet sonrası zarar gören sayısı da azalmış olacaktır. (3) Ambulans kullanımını optimize etmek: Sınırlı sayıda ambulansın etkin bir şekilde kullanılması, kaynakların verimli bir şekilde yönetilmesini sağlar. (4) Ambulansların dağıtım maliyetlerini minimize etmek: Ambulansların yerleşimi ve tahsisi için yapılan harcamaları en aza indirerek, acil durum yönetimine ekonomik bir yaklaşım sunmaktır. Üretilen senaryolar sonrasında ise istasyonların kapasitelerinin esnetilmesi yaralılara müdahale süresini değiştirmemekte, ambulans sayısının artması senaryosunda bu durum maliyeti de artırmakla birlikte olaya müdahale süresini azaltmaktadır. Bartın ili acil yardım istasyonu başına düşen nüfus sayısı açısından hem Batı Karadeniz ortalamasından hem de Türkiye genelinden daha iyi bir

durumda olmasına rağmen herhangi bir afet durumunda mevcut durumdaki ambulans sayısını artırmak amaç fonksiyonumuz olan yaralılara müdahale süresini azaltacaktır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Pek çok aktif fayın bulunduğu bir coğrafya üzerine kurulmuş olan Türkiye deprem riski ve tehdidi ile karşı karşıyadır. Bu durum 2023 Kahramanmaraş Depremleri ile tekrar görünür hale gelmiştir. İnsan hayatını tehdit eden doğal afetlerin başında gelen depremler büyüklüğüne ve şiddetine göre değişmekle birlikte pek çok insanı acil yardıma muhtaç hale getirmektedir.

Depremin bir sonucu olarak acil yardıma muhtaç olan yaralıların uzun bekleme sürelerini azaltarak olası ölümleri azaltmak ve yaralıların mümkün olan en kısa sürede sağlıklarına kavuşturmak deprem sonrası sağlık hizmetlerinin birincil görevidir. Bu tezde temel olarak acil yardıma ihtiyaç duyan yaralıların uzun bekleme sürelerini azaltmak ve böylece yaralıların daha fazla zarar görmesini ve ölümlerini engellemek için gerekli olan acil sağlık hizmetini en kısa sürede ulaştırmak için uygulanabilir bir model oluşturulmuştur. Bir vaka çalışması olarak yapılandırılan çalışmada (i) sistem verimliliğini artıracak çözümler tespit edilmiş, (ii) bu çerçevede matematiksel bir model geliştirilerek bekleme hattı/kuyruk teorisinden faydalanılmıştır. (iii) Geliştirilen model GAMS yazılımı kullanılarak doğrulanmış, son olarak (iv) bekleme süresinin hangi durumlarda ne oranda ve hangi miktarda azaltılacağı belirlenen parametreler çerçevesinde analiz edilmiştir.

5.1 Çalışmanın Limitleri

Kısa süre içerisinde meydana gelen ama çok sayıda insanın ciddi şekilde yaralanmasına ve hatta ölümüne neden olan depremler sonucu, depremin etkilediği bölgede bulunan pek çok kişi acil yardım hizmetlerine ihtiyaç duymaktadır. Yaşanması muhtemel bir depremin olası etkilerini pek çok faktör değiştirebilir. Üçüncü bölümün üçüncü ana başlığında belirtildiği üzere depremin büyüklüğü ve şiddeti kadar, meydana geldiği alanın jeolojik durumundan depremin yaşandığı saate, depreme neden olan fay hattının yer kabuğuna yakınlığından depremden etkilenen bölgede yaşayan insanların yoğunluğuna kadar pek çok faktör olası bir depremin sonuçlarını etkilemektedir. Ayrıca depremden etkilenen alandaki yapı stokunun durumu da deprem sonucu oluşacak yaralı ve ölü sayısını doğrudan etkilemektedir.

Bununla birlikte deprem anı sonrasında acil sağlık hizmetlerinin optimizasyonu üzerinden bir analiz yapmayı hedefleyen çalışmada yukarıda sayılan parametrelerin bir kısıt olarak

değerlendirilmesi gerektiği belirtilmelidir. Bu durumun iki ana nedeni olduğu söylenebilir. Birinci neden pek çok verinin mevcut olmaması ya da bu verilere ulaşılamamasıdır. Bu gerekçe örneğin etkilenmesi muhtemel alandaki yapı stokunun durumunun tespit edilememesine neden olmuştur. İkinci neden depremin büyüklüğü temelli bir parametrenin çalışmanın hedefleri dışında olacağı düşünülmesidir. Bu durum neticesinde depremin şiddeti ya da büyüklüğü üzerinden bir senaryo oluşturulmamış, bunun yerine deprem sonucu acil sağlık hizmetlerine ihtiyaç duyması muhtemel yaralı sayısı üzerinden model geliştirilmiştir. Ayrıca depremin yaşanması muhtemel zamana (gündüz ya da gece olması, hafta sonu ya da hafta içi olması, yazın ya da kışın olması) ait parametreler de modelde yer almamıştır. Bununla birlikte verilerin kısıtlılığı, araştırmacının sınırlı zaman ve bütçe kaynakları göz önüne alındığında ulaşılabilir verilerin tümünün parametre olarak modele dahil edildiği söylenebilir.

Yaşanacak bir deprem sonucu etkilenmesi muhtemel insanların sayısı temelinde geliştirilen model mümkün olan en çok insanın hayatını kurtarmak için kullandığı parametreler temelinde farklı senaryoların geliştirildiği bir optimizasyon çalışmasını ortaya koymuştur.

Çalışmanın limitleri ile ilgili değinilmesi gereken bir diğer nokta çalışma için geliştirilen varsayımlardır. Her bilimsel araştırma temel varsayımlardan hareket etmek zorundadır. Üçüncü bölümde kapsamlı bir biçimde açıklanmış olmakla birlikte bu çalışma için beş genel sekiz özel olmak üzere toplam 13 varsayım geliştirilmiştir.

Depremin etkili olduğu alanlarda hasar görebilirliğin değerlendirilmesi ve etkilenen alanların birbirleriyle karşılaştırılması ekonomik kalkınma, nüfus yoğunluğu ve yaşamsal sistemleri içeren karmaşık bir sorundur (Güler vd., 2021, s. 415). Bu yüzden çalışmamızda Bartın il merkezine odaklanılmıştır. Kentten uzak olma, fiziksel özellikler ve dağınık yerleşim gibi kırsal alana özgü özellikler dolayısıyla bu alanların sosyo-ekonomik açıdan gelişimleri olumsuz yönde etkilenmektedir (Görmüş ve Oğuz, 2013: 312). Bu olumsuzlukların yanı sıra köyler ve köyleri oluşturan mahalleler yeteri kadar düz arazi olmamasından kaynaklı ormanlık, dağlık ve dağlık arazilerde kuruludurlar (Davulcu, 2016: 98). Şehir merkezlerinde nüfus yoğunluğunun daha fazla olması, bina yapılarının daha yüksek katlı inşa edilmesi ve yine inşa edilen binaların birbirine yakınlığı göz önünde bulundurulduğunda Bartın merkez ilçesinin olası bir afet sonrasında daha fazla talep olacağı öngörüsüyle çalışmamız bu bölgede modellenmiştir.

Son olarak, gerekli kararların alınarak bilimsel temelli planlamanın sağlanması için bu çalışma bir vaka çalışması olarak gerçekleştirilen bu tezde Bartın ili özelinde afet temelli farklı senaryolar için bekleme hattı/kuyruk teorisinden faydalanılarak oluşturulan matematiksel modeller test edilmiştir. Dolayısıyla çalışmanın Bartın ili özelinde gerçekleştirildiğine dikkat etmek gereklidir. Deprem sonucu etkilenecek nüfusun Türkiye Deprem tehlike Haritası temelinde analiz edildiği düşünülse de Türkiye'deki her ilin kendine özgü koşulları da dikkate alınmalıdır.

5.2 Öneriler ve Gelecek Çalışmalar

Ciddi aksamalara sebep olan afetler, bir toplumun işleyişinde kendi kaynaklarını kullanarak başa çıkma kapasitesini aşmaktadır. Türkiye'de doğal afetlerin yaşanma riski göz önüne alındığında gerekli kararların ve planların bir an önce alınması ve uygulamaya konması gerekmektedir. Bu kararların alınması ve planların yapılması ise bilimsel bir yaklaşım sonucu gerçekleştirilmelidir.

Türkiye özelinde afet yönetimi ilgili son yıllarda olumlu gelişmeler yaşandığı söylenebilir. Bununla birlikte 2023 Kahramanmaraş depremleri çalışmaların artırılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Ülkenin genel bir afet planı olsa da afetten etkilenmesi muhtemel alanın özelinde farklı senaryolar geliştirilerek, özellikle yaralılara en hızlı şekilde ulaşıp acil sağlık hizmetlerinin sunumuna yönelik spesifik çalışmaların eksikliği göze çarpmaktadır.

Bartın ili özelinde geliştirilen ve deprem sonrası acil yardıma ihtiyaç duyan yaralılara acil yardımın en kısa sürede ve optimal bir biçimde ulaştırılması için senaryoların geliştirildiği bu çalışma hedeflerine ulaşmış olmakla birlikte, sonunda pek çok yeni soru da ortaya çıkarmıştır. Bu soruları üç başlık altında özetleyebiliriz. İlk olarak Türkiye'de il, ilçe bucak temelli kapsamlı bir yapı stoku bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Yukarıda görüldüğü üzere depremin büyüklüğü yıkılacak binaları etkilemekte yaşanması muhtemel depremin şiddeti ise binaların durumuna göre değişmektedir. Örneğin VII. Düzeydeki bir deprem ahşap binalara pek zarar vermezken çok iyi tasarlanmamış beton yapılara zarar vermektedir. Dolayısıyla depremin yol açacağı felaketi minimum düzeye indirebilmek için kamu kurumları tarafından yapılması gereken ilk adım il, ilçe düzeyinde bina stok bilgisine erişmelidir. İkinci olarak çalışmanın bir diğer limiti olan zaman kısıtı çerçevesinde farklı

senaryolar üretilebilir. Ayrıca tezde kullanılan model diğer yerleşim birimleri için de uygulanmalı ve sınanmalıdır.

Sorunsalın boyutu (etkilenen bölge, aday istasyon ve hastane sayılarında artış, zaman periyodunun eklenmesi vb.) büyüdüğünde, problemi çözmek uzun zaman almaktadır. Bu yüzden büyük boyutlu problemlerin çok kısa zamanda sonuçlanmasını sağlayan meta-sezgisel algoritmaların çözüm yöntemi olarak kullanılması gerekli olabilmektedir. Gelecek çalışmalar için genel olarak deprem sonrası acil sağlık hizmetlerinin planlanması ve etkilenen bölgelere ambulans tahsis edilmesi konusu farklı disiplinleri kapsayan geliştirilmeye açık bir konudur. Gelecekteki çalışmalar için ise uygulama alanı olarak daha büyük ve/veya birleşik bölgeler seçilebilir.

KAYNAKLAR

- 112 Acil Çağrı Merkezi. (t.y), <https://www.112.gov.tr/cagri-merkezleri>, (02.03.2022).
- 112 Acil Çağrı Müdürlüğü. (t.y.), <https://www.112.gov.tr/tum-acil-numaralar-112de-toplandi-merkezicerik>, (29.05.2022).
- Ackoff, R. L. ve Sasieni, M. W. (1970). *Fundamentals of operations research*. John Wiley.
- AFAD. (t.y.). *Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü* (Afet), <https://www.afad.gov.tr/aciklamali-afet-yonetimi-terimleri-sozlugu>, (08.06.2023)
- AFAD. (2021). *İl Afet Risk Azaltma Planı* (s. 229). Mersin Valiliği.
- Akgün, H. (2021). Acil Sağlık Hizmetlerinde Çağrı Merkezlerinin Yönetimi: Özel Bir Kuruluş Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Acıbadem Mehmet Ali Aydınlar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Sağlık Yönetimi Anabilim Dalı, İstanbul, 93 s.
- Aksoy, F. ve Ergün, A. (2002). Acil sağlık hizmetlerinde ambulansın yeri. *Ulusal Travma Dergisi*, 8(3): 160-163.
- Altay, N., ve Green, W. G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 175(1): 475-493. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.05.016>
- Anderson, D. R. (2013). *Quantitative methods for business*. 12. Session South-Western, Cengage Learning.
- Aslan, Ş. ve Güzel, Ş. (2018). Türkiye'deki hastane öncesi acil sağlık hizmetleri. *Journal of Social and Humanities Sciences Research*, 5 (31): 4995-5002.
- Aslan, Ş., Uyar, S., ve Güzel, Ş. (2018). Evde sağlık hizmetleri uygulamasında Türkiye. *Sosyal Araştırmalar ve Yönetim Dergisi*, 1: 45-56. <https://doi.org/10.35375/sayod.520957>
- Atalay, C., & Karan, U. (t.y.). *Sağlık Hakkı Nedir?*, <http://www.saglikhakki.org/saglikhak-ic.html>, (05.09.2022).
- Atan, M. ve Altan, Ş. (2015). *Açıklamalı Yöneylem Araştırması Terimleri Sözlüğü*. Türk Dil Kurumu Yayınları.
- Aydın, Y. (2009). Stokastik Süreç Olarak Kuyruk Sistemleri Teorisi. Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilişim Sistemleri Bölümü, Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, 77 s.
- Bener, A., Alayoğlu, N., Çatan, F., Torun, P. ve Yılmaz, E. (2019). Health services management in Turkey: Failure or success? *International Journal of Preventive Medicine*, 10 (1): 30. https://doi.org/10.4103/ijpvm.IJPVM_422_17
- Berlin, G. N., ve Liebman, J. C. (1974). Mathematical analysis of emergency ambulance

- location. *Socio-Economic Planning Sciences*, 8(6): 323-328.
[https://doi.org/10.1016/0038-0121\(74\)90036-6](https://doi.org/10.1016/0038-0121(74)90036-6)
- Berry, R. (t.y.). *QUEUEING THEORY*. 1-14.
<https://www.whitman.edu/documents/academics/mathematics/berryrm.pdf>,
 (06.07.2022).
- Bishop, S. A., Okagbue, H. I., Oguntunde, P. E., Opanuga, A. A. ve Odetunmibi, O. A. (2018). Survey dataset on analysis of queues in some selected banks in Ogun State, Nigeria. *Data in Brief*, 19: 835-841. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.05.101>
- Blum, W., Galbraith, P. L., Henn, H.-W., ve Niss, M. (2007). Modelling and Applications in Mathematics Education: The 14th ICMI Study (C. 10). Ed.; Greer, B., Verschaffel, L., ve Mukhopadhyay, S. Springer US, s. 89-94.
<https://doi.org/10.1007/978-0-387-29822-1>
- Buffa, E. S. (1977). *Modern production management: Managing the operations function*. 5th ed, Wiley/Hamilton.
- Cooper, R. B. (1981). *Introduction to queueing theory*. 2. ed, North Holland.
- Do, Y. K., Foo, K., Ng, Y. Y. ve Ong, M. E. H. (2013). A quantile regression analysis of ambulance response time. *prehospital emergency care*, 17 (2): 170-176.
<https://doi.org/10.3109/10903127.2012.729127>
- Dytham, C. (2011). *Choosing and using statistics: A biologist's guide*. 3rd ed, Wiley-Blackwell.
- Ekşi, A. (2015). *Kitlesel Olaylarda Hastane Öncesi Acil Sağlık Hizmetleri Yönetimi*. Kitapana Yayınevi, 1.Baskı, İzmir.
- EMDAT. (2022). *Disasters in Numbers*. 1-8
https://www.preventionweb.net/publication/2022disastersnumbers?utm_source=PreventionWeb&utm_campaign=8d268f2c6fPreventionWeb+daily&utm_medium=email&utm_term=0_b73053c1c6-8d268f2c6f-485859101 (06.10.2022).
- Erbaş, A. K., Çetinkaya, B., Çakiroğlu, E., Alacaci, C. ve Baş, S. (2014). Mathematical modeling in mathematics education: basic concepts and approaches. *educational sciences: theory & practice*, 14 (4): 1621-1627.
<https://doi.org/10.12738/estp.2014.4.2039>
- Es, S. (1994). Bekleme Hattı Problemlerinin Siman Simülasyon Dili Kullanılarak Çözümü ve Haydarpaşa Limanı İçin Bir Uygulama. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 257 s.
- Eshghi, K. ve Larson, R. C. (2008). Disasters: Lessons from the past 105 years. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 17 (1): 62-82.
<https://doi.org/10.1108/09653560810855883>
- Fitzsimmons, J. A. (1973). A Methodology for Emergency Ambulance Deployment.

Management Science, 19(6): 627-636. <https://doi.org/10.1287/mnsc.19.6.627>

- Gao, X., Nayeem, M. K. ve Hezam, I. M. (2019). A robust two-stage transit-based evacuation model for large-scale disaster response. *Measurement*, 145: 713-723. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.05.067>
- Genç, T. (2000). Bekleme Hattı ve Simülasyon Modelleri ile Türk Silahlı Kuvvetlerinde Örnek Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Anabilim Dalı, İstanbul, 139 s. <http://openaccess.marmara.edu.tr/handle/11424/32151>
- Giffin, W. C. (1978). *Queueing: Basic Theory and Applications*. Grid Incb.
- Gordon, G. ve Pressman, I. (1997). *Quantitative decision making for business* (1998 ed). Simon & Schuster Custom Pub.
- Goyet, S., Rayamajhi, R., Gyawali, B. N., Shrestha, B. R., Lohani, G. R., Adhikari, D., Salvador, E., Ofrin, R., Vandelaer, J. ve Samuel, R. (2018). Post-earthquake health-service support, Nepal. *Bulletin of the World Health Organization*, 96 (4): 286-291. <https://doi.org/10.2471/BLT.17.205666>
- Gravemeijer, K., ve Stephan, M. (2002). Emergent Models as an Instructional Design Heuristic, *Symbolizing, Modeling and Tool Use in Mathematics Education*, Ed.; K. Gravemeijer, R. Lehrer, B. Van Oers ve L. Verschaffel; Springer Netherlands, s. 145-169. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3194-2_10
- Güneri, S., İlhan, M. ve Avcı, E. (2011). Ankara 112 acil sağlık hizmeti çalışanlarının çalışma koşulları ve iş memnuniyetinin değerlendirilmesi. *Gazi Medical Journal*, 22 (1): 1-5.
- Halaç, O. (2001). *Kantitatif Karar Verme Teknikleri (Yöneylem Araştırmasına Giriş)*. Alfa Basım Yayım Dağıtım.
- Hillier, F. S. ve Lieberman, G. J. (1990). *Introduction to stochastic models in operations research*. McGraw-Hill Companies.
- Housner, G. (1989). An international decade of natural disaster reduction: 1990-2000. *Natural Hazards*, 2 (1): 45-75. <https://doi.org/10.1007/BF00124757>
- Huang, J.-S. ve Lien, Y.-N. (2012). Challenges of emergency communication network for disaster response. *2012 IEEE International Conference on Communication Systems (ICCS)*, 528-532. <https://doi.org/10.1109/ICCS.2012.6406204>
- IFCR. (2023). *What is a disaster?* <https://www.ifrc.org/our-work/disasters-climate-and-crises/what-disaster>, (03.04.2022).
- Kaplan, O. (2006). GPS, GPRS ve GIS Teknolojileri Kullanılarak 112 Acil Yardım Merkezi Otomasyon Sistemi Tasarımı. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kayseri, 97 s.

- Karaş, E. (2022). Sağlık Harcamalarına Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi: Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkeler Örneği. *International Journal of Public Finance*, 7 (2): 509-538. <https://doi.org/10.30927/ijpf.1135323>
- Kapucu, N. (2008). Culture of preparedness: household disaster preparedness. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 17 (4): 526-535. <https://doi.org/10.1108/09653560810901773>
- Keçici, K., ve Bıçakçı, N. (2023). Afet Veri Tabanları ve EM-DAT Türkiye İstatistikleri. *Sosyal, İnsan ve İdari Bilimlerde Öncü ve Çağdaş Çalışmalar*, 741-784.
- Koçak, H., Çaliskan, C., Kaya, E., Yavuz, Ö. ve Altintas, K. H. (2015). Determination of individual preparation behaviors of emergency health services personnel towards disasters. *Journal of Acute Disease*, 4 (3): 180-185. <https://doi.org/10.1016/j.joad.2015.04.004>
- Larson, R. C. (1974). A hypercube queuing model for facility location and redistricting in urban emergency services. *Computers & Operations Research*, 1(1): 67-95. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(74\)90076-8](https://doi.org/10.1016/0305-0548(74)90076-8)
- Lee, A. M. (1966). Models of Queueing Processes, *Applied Queueing Theory*, Macmillan Education UK, s. 6-21. https://doi.org/10.1007/978-1-349-00273-3_2
- Mendonça, F. C., ve Morabito, R. (2001). Analysing emergency medical service ambulance deployment on a Brazilian highway using the hypercube model. *Journal of the Operational Research Society*, 52(3): 261-270. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601097>
- Milli Eğitim Bakanlığı. (2011). *Acil Sağlık Hizmetleri*. http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Ambulanslar.pdf
- Önge, T., Satar, S., Kozacı, N., Açıklın, A., Köseoğlu, Z., Gülen, M. ve Karakurt, U. (2013). Analysis of patients admitted to the emergency medicine department by the 112 emergency service. *Journal of Academic Emergency Medicine*, 12 (3): 150-154. <https://doi.org/10.5152/jaem.2013.020>
- Özdamar, L., ve Ertem, M. A. (2015). Models, solutions and enabling technologies in humanitarian logistics. *European Journal of Operational Research*, 244(1): 55-65. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.11.030>
- Özkan, Ş. (2012). *Yöneylem araştırması-Nicel Karar Teknikleri*. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti, Ankara.
- Öztürk, A. (2011). *Yöneylem Araştırmasına Giriş*. Ekin Yayınevi, Ankara.
- Paksoy, V. M. (2016). Acil sağlık hizmetlerinde uluslararası uygulama modellerinin karşılaştırması: Anglo-Amerikan ve Franko-German Modeli. *İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 4 (1): 6-24.

- Pan American Health Organization. (2000). *Natural disasters: Protecting the public's health*. Pan American Health Organization.
- Razzak, J. A. ve Kellermann, A. L. (2002). Emergency medical care in developing countries: is it worthwhile? *Bullet in of the World Health Organization*, 80 (11): 900-905.
- Saaty, T. L. (1961). *Elements of Queuing Theory With Applications*. McGraw-Hill BookCompany.
- Sağlık Bakanlığı, (2022). *Sağlık Bakanlığı 2022 Yılı Faaliyet Raporu*. Ankara.
- Salman, F. S., ve Gül, S. (2014). Deployment of field hospitals in mass casualty incidents. *Computers & Industrial Engineering*, 74: 37-51.
- Sarıaslan, H. (1986). *Sıra Bekleme Sistemlerinde Simulasyon Tekniği*. Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Yayınları, Ankara.
- Sarıaslan, H., Karacabey, A. A. ve Gökgöz, F. (2017). *Nicel Karar Yöntemleri*. Siyasal Kitabevi, Ankara.
- SBB. (2023). *Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri Raporu*. T.C Cumhurbaşkanlığı-Strateji ve Bütçe Başkanlığı.
- Schneeberger, K., Doerner, K. F., Kurz, A., ve Schilde, M. (2016). Ambulance location and relocation models in a crisis. *Central European Journal of Operations Research*, 24(1): 1-27. <https://doi.org/10.1007/s10100-014-0358-3>
- Sevgin, G. (2000). Sıra Bekleme Sistemlerine Benzetim Tekniği Yaklaşımı ve Bir Hastane Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Ana Bilim Dalı, Yöneylem Araştırması Bilim Dalı, İstanbul, 182 s.
- Sezgin, A. ve Ada, E. (1991). *İşletmeciler İçin Yöneylem Araştırması*. Türkiye Kalkınma Bankası, Ankara.
- Sönmez, M. E. (2011). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Tabanlı Deprem Hasar Riski Analizi: Zeytinburnu (İstanbul) Örneği. *Türk Coğrafya Dergisi*, 56: 11-22.
- Stevenson, W. J. (2007). *Operations Management*. Mc Graw Hill.
- Subandi, A., Alim, S., Haryanti, F. ve Prabandari, Y. S. (2019). Training on modified model of programme for enhancement of emergency response flood preparedness based on the local wisdom of Jambi community. *Jambá Journal of Disaster Risk Studies*, 11 (1): 801. <https://doi.org/10.4102/jamba.v11i1.801>
- Sundarapandian, V. (2009). *Probability, Statistics and Queuing Theory*. PHI Learning.
- Swalehe, M. ve Aktas, S. G. (2016). Dynamic Ambulance Deployment to Reduce Ambulance Response Times Using Geographic Information Systems: A Case Study of Odunpazari District of Eskisehir Province, Turkey. *Procedia*

- Şimşek, P., Günaydın, M. ve Gündüz, A. (2018). Hastane öncesi acil sağlık hizmetleri: Türkiye örneği. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 8 (1): 120-127.
- Taha, H. A. (2020). *Yöneylem Araştırması* (Ş. A. Baray ve Ş. Esnaf, Ed.). Literatür Yayınları, İstanbul.
- Taylor, P. E. ve Huxley, S. J. (1989). A break from tradition for the San Francisco police: patrol officer scheduling using an optimization-based decision support system. *Interfaces*, 19 (1): 4-24. <https://doi.org/10.1287/inte.19.1.4>
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi. (t.y.-a), <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=4798&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>, (08.06.2022).
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi. (t.y.-b), <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=4798&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>, (08.06.2022)
- Tekin, B. (2015). Sağlık hizmeti sistemlerinin etkinliği: bir kamu hastanesi ve özel hastane karşılaştırması. *Çankırı Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6 (1): 483-506.
- Thierauf, R. J. ve Klekamp, R. C. (1975). *Decision Making Through Operations Research*. John Wiley&Sons, Inc.
- Timor, M. (2001). *Yöneylem Araştırması ve İşletmecilik Uygulamaları*. İ.Ü Basımevi, İstanbul.
- Tippett, V. C., Watt, K., Raven, S. G., Kelly, H. A., Coory, M., Archer, F. ve Jamrozik, K. (2010). Anticipated behaviors of emergency prehospital medical care providers during an influenza pandemic. *Prehospital and Disaster Medicine*, 25 (1): 20-25. <https://doi.org/10.1017/S1049023X00007603>
- Ulucan, Aydın. (2007). *Yöneylem araştırması: İşletmecilik uygulamalı bilgisayar destekli modelleme*. Siyasal Kitabevi, 2.baskı, Siyasal Kitabevi, Ankara.
- UN DHA. (1992). *Internationally Agreed Glossary of Basic Terms Related to Disaster Management*. <https://reliefweb.int/report/world/internationally-agreed-glossary-basic-terms-related-disaster-management>
- UNDRR. (2022). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2022—Our World at Risk: Transforming Governance for a Resilient Future*. <https://www.undrr.org/gar/gar2022-our-world-risk-gar#container-downloads>
- Uyrun, A. (2012). Bekleme Hattı (Kuyruk) Modeliyle Servis Sisteminin Analizi: Hızlı Yiyecek İçecek İşletmesinde Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Turizm İşletmeciliği ve Otelcilik Ana Bilim

Dalı, Düzce, 117 s.

Üreten, S. (2006). *Üretim/ İşlemler Yönetimi Stratejik Kararlar ve Karar Modelleri*. Gazi Kitabevi, Ankara.

van Buuren, M., Kommer, G. J., van der Mei, R. ve Bhulai, S. (2017). EMS call center models with and without function differentiation: a comparison. *Operations Research for Health Care*, 12: 16-28. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2016.12.001>

Wang, J., Wang, Y., ve Yu, M. (2022). A multi-period ambulance location and allocation problem in the disaster. *Journal of Combinatorial Optimization*, 43(5): 909-932. <https://doi.org/10.1007/s10878-020-00610-3>

Zengin, S. (2010). İstanbul 112 Komuta Kontrol Merkezine Bağlı Ambulansların Bir Yıl İçerisinde Taşıdıkları Acil ve Elektif Cerrahi Vakaların Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Hemşirelik Anabilim Dalı, İstanbul, 79 s.

BİBLİYOGRAFYA

Erbaş, A. K., Çetinkaya, B., Çakiroğlu, E., Alacaci, C., ve Baş, S. (2014). Mathematical Modeling in Mathematics Education: Basic Concepts and Approaches. *Educational Sciences: Theory & Practice*. <https://doi.org/10.12738/estp.2014.4.2039>

Tabak, R. S. (2008). *Temel ilk yardım ve acil bakım: Hemşireler için*. Palme Yayıncılık.

EKLER

EK 1: Bölgeler ve hastaneler arasındaki uzaklık (m)

| Bölgeler | 1. Hastane | 2. Hastane | 3. Hastane | 4. Hastane | 5. Hastane | 6. Hastane |
|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1 | 2600 | 3900 | 650 | 2100 | 3100 | 3600 |
| 2 | 3000 | 4300 | 900 | 1700 | 2300 | 4000 |
| 3 | 3700 | 4900 | 850 | 1100 | 2300 | 2300 |
| 4 | 2600 | 3700 | 2700 | 1700 | 850 | 2500 |
| 5 | 4200 | 5400 | 1900 | 750 | 2500 | 1500 |
| 6 | 1600 | 2700 | 2000 | 3400 | 3000 | 4700 |
| 7 | 2200 | 3300 | 2300 | 2800 | 2100 | 3800 |
| 8 | 1000 | 2200 | 2400 | 3100 | 2800 | 4500 |
| 9 | 3400 | 4500 | 3500 | 4700 | 400 | 3200 |
| 10 | 4000 | 5100 | 3800 | 2200 | 2200 | 700 |
| 11 | 5800 | 7000 | 3100 | 1700 | 4000 | 1300 |
| 12 | 6100 | 7400 | 2900 | 3300 | 6700 | 4000 |
| 13 | 3300 | 4600 | 1700 | 3000 | 3800 | 5500 |

EK 2: Etkilenen bölgelerin istasyonlara mesafesi

| Bölgeler (i)/ İstasyonlar (j) | i=1 | i=2 | i=3 | i=4 | i=5 | i=6 | i=7 | i=8 | i=9 | i=10 | i=11 | i=12 | i=13 |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| j=1 | 550 | 1200 | 1200 | 2200 | 2200 | 1600 | 1900 | 2000 | 3100 | 3700 | 4000 | 4200 | 1400 |
| j=2 | 700 | 1000 | 1100 | 1900 | 1800 | 1600 | 1700 | 2100 | 2700 | 3300 | 3800 | 3600 | 1800 |
| j=3 | 500 | 750 | 650 | 2500 | 2000 | 1900 | 2200 | 2300 | 3400 | 3900 | 3100 | 3000 | 1800 |
| j=4 | 1000 | 650 | 800 | 3000 | 1500 | 2300 | 2700 | 2800 | 3800 | 4400 | 3800 | 3600 | 2200 |
| j=5 | 850 | 700 | 400 | 3300 | 1500 | 2600 | 2900 | 3100 | 4100 | 2900 | 2700 | 2600 | 1800 |
| j=6 | 1700 | 1800 | 2200 | 750 | 2400 | 2300 | 2200 | 2100 | 1600 | 2200 | 4000 | 4700 | 3100 |
| j=7 | 1400 | 1800 | 1900 | 1300 | 1500 | 1700 | 1100 | 1500 | 2100 | 2700 | 4500 | 5300 | 2500 |
| j=8 | 1400 | 1100 | 1200 | 850 | 900 | 2300 | 1700 | 2000 | 2400 | 1900 | 4000 | 4000 | 3100 |
| j=9 | 2800 | 2000 | 1400 | 1300 | 500 | 5700 | 4800 | 5400 | 2400 | 1700 | 1300 | 3200 | 3800 |
| j=10 | 3000 | 2900 | 1800 | 3400 | 1200 | 5500 | 4600 | 5300 | 4000 | 1500 | 800 | 3500 | 4000 |
| j=11 | 2300 | 2700 | 3400 | 2300 | 4000 | 700 | 1900 | 1400 | 3100 | 3700 | 5500 | 5800 | 3000 |
| j=12 | 3200 | 3600 | 4200 | 3100 | 4800 | 2000 | 2700 | 1000 | 3900 | 4500 | 6300 | 7200 | 3900 |
| j=13 | 3700 | 4100 | 4700 | 3500 | 5200 | 2500 | 3100 | 2000 | 4300 | 4900 | 6700 | 7200 | 4400 |
| j=14 | 3600 | 4000 | 4600 | 3500 | 5200 | 2500 | 3200 | 1400 | 4400 | 5000 | 6800 | 7100 | 4300 |
| j=15 | 3500 | 2700 | 2800 | 1300 | 2900 | 3400 | 2500 | 3200 | 850 | 2600 | 4400 | 7100 | 4200 |
| j=16 | 800 | 1300 | 1200 | 2900 | 2300 | 2300 | 2600 | 2700 | 3800 | 4200 | 3500 | 3300 | 1500 |
| j=17 | 4100 | 4000 | 2900 | 3100 | 2000 | 5300 | 4400 | 5000 | 3800 | 850 | 1900 | 4500 | 6100 |
| j=18 | 4100 | 4000 | 2900 | 3100 | 2000 | 5300 | 4400 | 5000 | 3800 | 1200 | 1900 | 1600 | 6100 |
| j=19 | 2500 | 2400 | 1700 | 5700 | 2500 | 5500 | 4600 | 5900 | 6400 | 3800 | 3900 | 1100 | 2800 |
| j=20 | 3400 | 3300 | 2600 | 6500 | 3300 | 5900 | 6200 | 6300 | 7200 | 4700 | 4700 | 350 | 3200 |

EK 3: Bölgelere ait demografik yapı

| BÖLGE ADI | 1. Bölge | 2. Bölge | 3. Bölge | 4. Bölge | 5. Bölge | 6. Bölge | 7. Bölge | 8. Bölge | 9. Bölge | 10. Bölge | 11. Bölge | 12. Bölge | 13. Bölge |
|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ADRES&DEMOGRAFI | | | | | | | | | | | | | |
| Bebek (2 yaş altı) | 88 | 31 | 45 | 44 | 152 | 163 | 80 | 62 | 214 | 177 | 97 | 23 | 218 |
| Çocuk (18 yaş Altı) | 1251 | 745 | 803 | 667 | 2611 | 1929 | 1191 | 799 | 2937 | 2008 | 1312 | 269 | 3055 |
| Yaşlı (65 Yaş üzeri) | 561 | 507 | 809 | 212 | 1235 | 676 | 278 | 269 | 637 | 523 | 381 | 139 | 966 |
| Kadın | 2941 | 1883 | 2433 | 1446 | 5935 | 4066 | 2492 | 1831 | 5341 | 4027 | 2615 | 629 | 6102 |
| Erkek | 2855 | 1694 | 2217 | 1380 | 5537 | 4088 | 2393 | 2010 | 5044 | 4060 | 2577 | 554 | 5851 |
| Engelli Birey | 19 | 12 | 24 | 6 | 58 | 48 | 18 | 7 | 43 | 33 | 23 | 5 | 36 |
| Toplam Yapı Sayısı | 708 | 755 | 1750 | 340 | 2110 | 1187 | 431 | 704 | 1174 | 1120 | 1056 | 851 | 1506 |
| Oturan Nüfus | 5976 | 3577 | 4650 | 2826 | 11472 | 8154 | 4885 | 3841 | 10385 | 8087 | 5192 | 1183 | 11953 |
| EĞİTİM | | | | | | | | | | | | | |
| Anaokulu | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| İlkokul | 2 | 2 | 0 | 0 | 4 | 2 | 0 | 2 | 6 | 2 | 2 | 1 | 4 |
| Ortaokul | 2 | 2 | 0 | 3 | 2 | 0 | 2 | 0 | 6 | 1 | 5 | 2 | 4 |
| Lise | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 4 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| Diğer | 7 | 5 | 0 | 6 | 7 | 3 | 3 | 4 | 20 | 3 | 14 | 3 | 9 |
| Öğrenci Sayısı | 1900 | 1128 | 0 | 557 | 1942 | 774 | 1268 | 820 | 2891 | 384 | 1392 | 203 | 1912 |
| KAMU HİZMETLERİ | | | | | | | | | | | | | |
| Resmi Kurum | 3 | 8 | 9 | 4 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 3 | 1 |
| BARINMA VE KONAKLAMA | | | | | | | | | | | | | |
| Yurt/Pansiyon | 2 | 5 | 7 | 6 | 4 | 1 | 2 | 7 | 8 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| Diğer | 4 | 1 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 3 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| ETKİLENEN YERLEŞİM | | | | | | | | | | | | | |
| Yapı | 477 | 617 | 1305 | 240 | 1470 | 860 | 342 | 465 | 773 | 798 | 712 | 662 | 1014 |
| Diğer Yapı | 231 | 138 | 445 | 100 | 640 | 327 | 89 | 239 | 401 | 322 | 344 | 189 | 492 |
| Bağımsız Bölüm | 3112 | 3022 | 4869 | 1589 | 7128 | 4482 | 3125 | 2308 | 5284 | 4444 | 3292 | 1214 | 5904 |
| Nüfus | 5976 | 3577 | 4650 | 2826 | 11472 | 8154 | 4885 | 3841 | 10385 | 8087 | 5192 | 1183 | 11953 |
| Etkilenen Bölge (km ²) | 0,64 | 0,35 | 0,53 | 0,37 | 0,94 | 1,89 | 0,78 | 3,59 | 4,42 | 1,82 | 4,34 | 3,49 | 4,94 |
| Hastane Sayısı | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 | 0 | 0 |
| Kritik Tesis (köprü/Geçit) | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 1 | 5 |