

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME (İKTİSAT) ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

AFET LOJİSTİĞİ AĞ TASARIMI OPTİMİZASYONU:
TUZLA İLÇESİ ÖRNEĞİ

Salih ÖZÇELİK

2502150155

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Halim KAZAN

İSTANBUL - 2021

ÖZ

AFET LOJİSTİĞİ AĞ TASARIMI OPTİMİZASYONU: TUZLA İLÇESİ ÖRNEĞİ

Salih ÖZÇELİK

Afetler, insanlık tarihi boyunca doğa ile verdiği yaşam mücadelesinde maruz kaldığı en önemli sorunlardan biridir. Teknolojik gelişmeler ve bilimsel çalışmalar sayesinde nedenleri ve sonuçları hakkında daha çok bilgi sahibi olsak da, doğal afetlerin tamamen engellenmesi mümkün değildir. Buna rağmen, afetlerin şiddetinin zayıflatılması ve etkilerinin azaltılması için birçok çalışma yürütülmektedir.

Bu çalışma, günümüzde insanları en çok etkileyen afet türlerinin başında gelen deprem sonrası sürecin optimizasyonuna yönelik yürütülmüştür. Deprem sonrası müdahale aşamasında yapılması gerekenlerin planlandığı bu çalışmada amaçlanan; depremden ağır yaralı olarak kurtulan hastaların en kısa sürede tedavi altına alınmasını sağlayacak lojistik ağı tasarlamaktır. Bu doğrultuda problemin çözümü için iki aşamalı bir çözüm modeli önerilmiştir. Birinci aşama yeni bir matematiksel karışık tamsayılı programlama modeli önerilmiştir. İkinci aşamada ise, matematiksel modelin çıktıları yeni hasta seçim yöntemiyle periyot bazında simüle edilmiştir. Önerilen model sayesinde hastaların hangi ambulans ile hangi hastaneye taşınması gerektiği tespit edilmiş, toplam süreyi minimum yapacak olan tercihler oluşturulmuştur.

Son olarak, geliştirilen yeni matematiksel model ve hasta seçim yöntemi İstanbul İli Tuzla İlçesi için yapılan deprem tahmin bilgileri ile sınanmıştır. Birinci durum senaryosu ile mevcut durum analizi yapılmış, ikinci ve üçüncü durum senaryolarında parametre ve kısıtlardaki değişimle beraber modelin duyarlılığı test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Afet Lojistiği, Lojistik Ağ Tasarımı, Ağ Optimizasyonu, Afet Yönetimi, Depreme Müdahale, Karışık Tamsayılı Programlama, Yaralı Taşıma

ABSTRACT

DISASTER LOGISTICS NETWORK DESIGN OPTIMIZATION: TUZLA DISTRICT CASE

Salih ÖZÇELİK

Disasters are one of the most important problems that humankind has been exposed to throughout history in its struggle to survive with nature. Although we have more information about the causes and consequences of natural disasters thanks to technological developments and scientific studies, it is not possible to completely prevent them. However, many studies are carried out in order to weaken the severity of disasters and minimize their effects afterwards.

This study was carried out for the optimization of the post-earthquake process since earthquake is one of the most destructive natural disaster types today. The aim of this study, in which things to do in the post-earthquake intervention phase is planned; is to design a logistics network that will ensure that patients who survived the earthquake with severe injuries are treated as soon as possible. In this direction, a two-stage solution model is proposed for the solution of the problem. In the first stage, a new mathematical mixed integer programming model is proposed. In the second stage, the outputs of the mathematical model were simulated on a period-by-period basis with the new patient selection method. With the proposed model, which ambulance should transport patients to which hospital was determined and preferences that would minimize the total time were formed. Thanks to mixed integer programming, ambulances were directed to transport specified patients.

Finally, the developed new mathematical model and patient selection method were tested with earthquake forecast data for Tuzla District of Istanbul Province. Baseline analysis was made with the first case scenario, and the sensitivity of the model was tested with the change in parameters and constraints in the second and third case scenarios.

Keywords: Disaster Logistics, Logistics Network Design, Network Optimization, Disaster Management, Earthquake Response, Mixed Integer Programming, Casualty Transport

ÖNSÖZ

Küresel ve ulusal ölçekte şiddetli afetlerle yüzleştığımız son zamanlarda afet yönetiminin ehemmiyeti bir kez daha anlaşılmıştır. Bu sebeple, ülkemizde en etkili afet türlerinden bir olan deprem sonrası afet yönetimine katkı sağlamak amacıyla bu çalışma yürütülmüştür. Çalışmaya ait bulguların ve çalışma metodolojisinin deprem sonrası süreç yönetiminin etkinliğine faydalı olacağı kanaatindeyim.

Bu alanda çalışmam hususunda beni cesaretlendiren, değerli öneri ve tavsiyeleriyle lisansüstü eğitimime yön veren, kendisinden çok şey öğrendiğim danışman hocam Prof. Dr. Halim Kazan'a, teşekkürlerimi arz ederim.

Bu süreçte büyük desteğini gördüğüm, bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren kıymetli hocam Prof. Dr. Abdullah Okumuş'a şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım boyunca çok ihmal ettiğim, uzun süre beraber mücadele edip çabaladığımız, her daim beni destekleyen eşime ve hayat enerjim olan çocuklarıma minnettarım.

Her mücadelede benimle beraber olan, aldığım kararlarda beni cesaretlendiren, eğitime önem veren, en büyük destekçim babama, büyük fedakârlıklarla beni yetiştiren anneme ve hep yanımda duran, kendisinden güç aldığım kardeşime şükranlarımı sunarım.

Çalışmanın önemli noktalarına katkılar sunan Doç. Dr. Erkan Çelik'e, araştırma ve uygulama esnasında bilgi ve birikimlerinden istifade ettiğim arkadaşlarım Cihan Çiftçi, Akif Fidanoğlu, Hüseyin Korkmaz ve Sezgin Doruk'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasına gösterdikleri ilgi, alaka ve bilgi paylaşımlardan dolayı İl Sağlık Müdürlüğüne ve UMKE'ye, ayrıca beni cesaretlendiren, kıymetli bilgi ve tecrübeleriyle yardımcı olan Ahmet Akhoroz ve Osman Türk'e teşekkürü borç biliyorum.

Salih ÖZÇELİK
İSTANBUL, 2021

İÇİNDEKİLER

ÖZ.....	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
GRAFİKLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xiii
GİRİŞ.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM LOJİSTİK AĞ TASARIMI

1.1	Lojistik Kavramı.....	7
1.1.1	Lojistiğin Temel Faaliyetleri.....	10
1.2	Lojistik Ağ Tasarımı	13
1.2.1	Lojistik Ağ Tasarımının Temelleri.....	15
1.2.2	Lojistik Ağ Tasarımı Aşamaları.....	18
1.2.3	Lojistik Ağ Türleri	19
1.2.3.1	İleri Lojistik Ağ Tasarımı.....	20
1.2.3.2	Tersine Lojistik Ağ Tasarımı	20
1.2.3.3	Bütünleşik Lojistik Ağ Tasarımı	23

İKİNCİ BÖLÜM AFET LOJİSTİĞİ

2.1	Afet Türleri ve Sınıflaması.....	27
2.1.1	Deprem	30
2.1.1.1	İstanbul ve Beklenen Deprem	32
2.2	Afet ve Acil Durum Yönetimi.....	33
2.2.1	İlgili Kurum ve Kuruluşlar.....	37
2.3	Afet Lojistiği	44

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

3.1	Lojistik Ağ Tasarımına Yönelik Çalışmalar.....	49
3.2	Afet Lojistiği ve Yaralı Taşımaya İlişkin Çalışmalar	56

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

PROBLEM TANIMLAMA VE MATEMATİKSEL ÇERÇEVE

4.1	Araştırma Problemi	66
4.1.1	Problemin Parametreleri	68
4.1.2	Problemin Varsayımları.....	69
4.1.3	Araştırmanın Amacı.....	71
4.1.4	Araştırmanın Kapsamı ve Kısıtları	71
4.1.5	Araştırmanın Önemi ve Özgün Değeri.....	72
4.2	Araştırmanın Modeli ve Yöntemi.....	74
4.2.1	Grafik Model.....	76
4.2.2	Matematiksel Model	77
4.2.3	Notasyon	77
4.3	Veri Toplama.....	81
4.4	Veri Analizi ve Uygulama Adımları	90
4.5	Uygulamada Kullanılacak Teknikler.....	91
4.5.1	Doğrusal Programlama	92
4.5.1.1	Karışık Tamsayılı Programlama (Mixed Integer Linear Programming)	92
4.5.2	Duyarlılık Analizi	93
4.5.3	Dijkstra's En Kısa Yol Algoritması	94

BEŞİNCİ BÖLÜM

UYGULAMA

5.1	Veri Analizi	96
5.2	Python İle Veri Toplama	96
5.3	Deprem Tahmin Senaryoları	99
5.4	Örnek Hastaların ve Konumlarının Belirlenmesi	106
5.5	Seçilen Hastaların Periyotlara Göre Dağılımı	107
5.6	Senaryo 1	110
5.6.1	K-Means Kümeleme Analizi, Senaryo 1	110
5.6.2	Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama, Senaryo 1	112
5.6.3	Hasta Seçim Yöntemi	117
5.6.4	Simülasyon, Senaryo 1	118
5.7	Senaryo 2	131
5.7.1	K-Means Kümeleme Analizi, Senaryo 2	131
5.7.2	Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama, Senaryo 2	133
5.7.3	Simülasyon, Senaryo 2	136
5.8	Senaryo 3	144
5.8.1	K-Means Kümeleme Analizi, Senaryo 3	144
5.8.2	Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama, Senaryo 3	147
5.8.3	Simülasyon, Senaryo 3	150
5.9	Duyarlılık Analizi	165
SONUÇ		168
KAYNAKÇA		173
EKLER		186
ÖZGEÇMİŞ		196

GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 1: Araştırmaların, Afet Operasyonlarında Yaşam Döngüsü Aşamalarına Göre Dağılımları	62
Grafik 2: Grafik Model	76
Grafik 3: Periyotlara Göre Ağır Yaralı Sayısı	109
Grafik 4: Hastaların Coğrafi Dağılımları ve Kümelenmeleri, Senaryo 1	112
Grafik 5: Periyot Bazında Yeni Atanan ve Taşınan Hastalar, Senaryo 1	122
Grafik 6: Periyotlar Bazında Atananlar-Taşınanlar (Kümülatif), Senaryo1	123
Grafik 7: Toplam Hasta Sayısı - Taşınan Hasta Sayısı, Senaryo 1	124
Grafik 8: Toplam Talebin Karşılama Oranı - Yeni Atananlara Göre Taşınma Oranı, Senaryo1.....	126
Grafik 9: Hastaların Coğrafi Dağılımları ve Kümelenmeleri, Senaryo 2	132
Grafik 10: Periyot Bazında Yeni Atanan ve Taşınan Hastalar, Senaryo 2	140
Grafik 11: Periyotlar Bazında Atananlar-Taşınanlar (Kümülatif), Senaryo2	141
Grafik 12: Toplam Hasta Sayısı - Taşınan Hasta Sayısı, Senaryo 2.....	142
Grafik 13: Hastaların Coğrafi Dağılımları ve Kümelenmeleri, Senaryo 3	145
Grafik 14: Periyot Bazında Yeni Atanan ve Taşınan Hastalar, Senaryo 3	155
Grafik 15: Periyotlar Bazında Atananlar-Taşınanlar (Kümülatif), Senaryo3	156
Grafik 16: Toplam Hasta Sayısı - Taşınan Hasta Sayısı, Senaryo 3.....	157
Grafik 17: Toplam Talebin Karşılama Oranı - Yeni Atananlara Göre Taşınma Oranı, Senaryo3.....	159
Grafik 18: Yeni Atanan ve Taşınan Hasta Sayıları, Senaryo1-2-3	170
Grafik 19: Toplam Hasta ve Taşınan Hasta Sayıları, Senaryo 1-2-3.....	171

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1: İleri ve Tersine Lojistik Arasındaki Farklar.....	22
Tablo 2: Afet Türleri Sınıflaması	28
Tablo 3: Gerçekleşme Zamanlarına Göre Afetler	29
Tablo 4: Afet Yönetim Sürecinin Aşamaları.....	36
Tablo 5: Farklı Trafik Yoğunluğunda Araçların Hız Sınırları	41
Tablo 6: Afet Lojistiği ve İşletme Lojistiği Arasındaki Farklar.....	46
Tablo 7: Afet Lojistiği Literatür Tarama Özeti	64
Tablo 8: İstanbul'daki Hastane ve Yatakların Dağılımı, 2002-2019	82
Tablo 9: İstanbul'da Görev Yapan Sağlık Personellerinin Dağılımı, 2008-2019.....	83
Tablo 10: İstanbul'daki Devlete Hastanelerin Roller, Yatak Sayıları, Personel Sayıları	85
Tablo 11: Ambulans İstasyonları Sayısı:	87
Tablo 12: Ambulans Sayıları	87
Tablo 13: Tuzla İlçesi Ambulans İstasyonları.....	88
Tablo 14: Tuzla İlçesindeki Hastanelere Göre Ambulansların Dağılımı, Senaryo1 .	88
Tablo 15: Tuzla İlçesindeki Hastanelere Göre Ambulansların Dağılımı, Senaryo 2	89
Tablo 16: Tuzla İlçesindeki Hastanelere Göre Ambulansların Dağılımı, Senaryo 3	89
Tablo 17: Osmnx Coğrafi Bilgi Türleri.....	90
Tablo 18: Tuzla İlçesine Ait Node'lar	98
Tablo 19: Tuzla İlçesine ait Edge'ler.....	98
Tablo 20: İstanbul'da Beklenen Can Kaybı Ve Ağır Yaralı Sayıları, İlçelere Göre (2002).....	100
Tablo 21: Ortalama Can Kaybı Yaralı Tahmini	101
Tablo 22: İBB-BOUN raporuna göre beklenen can kaybı ve yaralı sayısı tahminleri	102
Tablo 23: İstanbul'da İlçe Bazında Binaların Hasar Durumu Tahmini, 2019	103
Tablo 24: İstanbul'da İlçe Bazında Tahmini Yaralı/Can Kaybı ve Hasarlı/Yıkık Bina İstatistikleri.....	104

Tablo 25: Periyotlara Göre Hasta Sayıları Dağılımı	108
Tablo 26: Hastaneler ve Konum Bilgileri, Senaryo 1	111
Tablo 27: Hastane Kapasiteleri ve Atanan Hasta Sayıları, Senaryo 1	111
Tablo 28: Hastanelere Atanan Hasta Sayıları, Senaryo 1.....	114
Tablo 29: Hastanelerin Toplam Yatak Kapasiteleri ve Oranları	115
Tablo 30: Tam Sayılı Programlamada Yapılan Atamalar, Senaryo 1	116
Tablo 31: 1.-9. Periyotlarda Taşınan Hastalar, Simülasyon 1	118
Tablo 32: 10. Periyotta Taşınan Hastalar, Simülasyon 1	119
Tablo 33: 11. Periyotta Taşınan Hastalar, Simülasyon 1	120
Tablo 34: 12.-13. Periyotlarda Göre Taşınan Hastalar, Simülasyon 1	120
Tablo 35: 14.-72. Periyotlarda Taşınan Hastalar, Simülasyon 1.....	121
Tablo 36: Periyotların Özet Durumu, Senaryo 1	125
Tablo 37: 1.-9. Periyotlarda Hastane Bazında Taşınan Hastalar, Simülasyon 1	127
Tablo 38: 10. Periyotta Hastane Bazında Taşınan Hastalar, Simülasyon 1	127
Tablo 39: 11. Periyotta Hastane Bazında Taşınan Hastalar, Simülasyon 1	128
Tablo 40: 12. ve 13. Periyotlarda Hastane Bazında Taşınan Hastalar, Simülasyon 1	128
Tablo 41: 14.-72. Periyotlarda Hastane Bazında Taşınan Hastalar, Simülasyon 1	129
Tablo 42: Hastanelere Taşınan Toplam Hasta Sayıları, Senaryo 1	130
Tablo 43: Hastaneler ve Konum Bilgileri, Senaryo 2	131
Tablo 44: Hastanelerin Yatak Kapasiteleri, Senaryo 2	132
Tablo 45: Karışık Tam Sayılı Programlamada Yapılan Atamalar, Senaryo 2	134
Tablo 46: 1.-9. Periyotlarda Taşınan Hastalar, Simülasyon 2	136
Tablo 47: 10.-18. Periyotlarda Taşınan Hastalar, Simülasyon 2	137
Tablo 48: 19. Periyotlarda Taşınan Hastalar, Simülasyon 2	137
Tablo 49: 20. Periyotlarda Taşınan Hastalar, Simülasyon 2	138
Tablo 50: 21.-26. Periyotlarda Taşınan Hastalar, Simülasyon 2	138
Tablo 51: 27.-72. Periyotlarda Taşınan Hastalar, Simülasyon 2	139
Tablo 52: Periyotların Özet Durumu, Senaryo 2.....	143
Tablo 53: Hastanelere Taşınan Toplam Hasta Sayıları, Senaryo 2	144
Tablo 54: Hastaneler ve Konum Bilgileri, Senaryo 3	145
Tablo 55: Hastanelerin Yatak Kapasiteleri, Senaryo 3	146

Tablo 56: Karışık Tam Sayılı Programlamada Yapılan Atamalar, Senaryo 3	148
Tablo 57: 1.-9. Periyotlarda Taşınan Hastalar, Simülasyon 3	150
Tablo 58: 10.-17. Periyotlarda Taşınan Hastalar, Simülasyon 3	151
Tablo 59: 18. Periyotta Taşınan Hastalar, Simülasyon 3	151
Tablo 60: 19. Periyotta Taşınan Hastalar, Simülasyon 3	152
Tablo 61: 20. Periyotlarda Taşınan Hastalar, Simülasyon 3	152
Tablo 62: 21.-25. Periyotlarda Taşınan Hastalar, Simülasyon 3	153
Tablo 63: 25.-72. Periyotlarda Taşınan Hastalar, Simülasyon 3	154
Tablo 64: Periyotların Özet Durumu, Senaryo 3	158
Tablo 65: 1.-9. Periyotlarda Hastane Bazında Taşınan Hastalar, Simülasyon 3	160
Tablo 66: 10.-17. Periyotlarda Hastane Bazında Taşınan Hastalar, Simülasyon 3	160
Tablo 67: 18. Periyotta Hastane Bazında Taşınan Hastalar, Simülasyon 3	161
Tablo 68: 19. Periyotta Hastane Bazında Taşınan Hastalar, Simülasyon 3	161
Tablo 69: 20. Periyotta Hastane Bazında Taşınan Hastalar, Simülasyon 3	161
Tablo 70: 21.-25. Periyotlarda Hastane Bazında Taşınan Hastalar, Simülasyon 3	162
Tablo 71: 25.-72. Periyotlarda Hastane Bazında Taşınan Hastalar, Simülasyon 3	163
Tablo 72: Hastanelere Taşınan Toplam Hasta Sayıları, Senaryo 3	164
Tablo 73: Duyarlılık Analizi Sonuçları	166

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: İşletmelerde Lojistiğin Rolü.....	12
Şekil 2: Lojistik Ağ Tasarımında Karar Aşamaları ve Etkileşimler.....	15
Şekil 3: İleri Lojistik Ürün ve Bilgi Akışı	20
Şekil 4: Tersine Lojistik Ürün ve Bilgi Akışı.....	21
Şekil 5: Lojistik Ağ Tasarımı Süreci	22
Şekil 6: Bütünleşik Lojistik Ağ Tasarımı	24
Şekil 7: Problemin Gösterimi	66
Şekil 8: Tuzla İlçesi Geometrik Haritası.....	97
Şekil 9: Simülasyon Adımları.....	118

KISALTMALAR LİSTESİ

TZY	:	Tedarik Zinciri Yönetimi
IFRC	:	Uluslararası Kızılhaç ve Kızılay Dernekleri Federasyonu
CSCMP	:	Council of Supply Chain Management Professionals
AFAD	:	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
IOT	:	Internet of Things
NSHA	:	Nova Scotia Health Authority
GSMH	:	Gayri Safi Milli Hasıla
T.B.M.M.	:	Türkiye Büyük Millet Meclisi
TÜİK	:	Türkiye İstatistik Kurumu
İBB	:	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
BOUN	:	Boğaziçi Üniversitesi
DPT	:	Devlet Planlama Teşkilatı
UMKE	:	Ulusal Medikal Kurtarma Ekibi
DAK	:	TSK Doğal Afetler Arama Kurtarma Tabur Komutanlığı
JAK	:	Jandarma Arama Kurtarma
AKOM	:	İBB Afet Koordinasyon Merkezi
ACAT	:	Acil ve Afet Derneği
AKUT	:	Arama Kurtarma Derneği
AYADER	:	Acil Yardım ve Afet Yöneticileri Derneği
İHH	:	İnsan Hak ve Hürriyetleri İnsani Yardım Vakfı
MSF	:	Sınır Tanımayan Doktorlar
TAMP	:	Türkiye Afet Müdahale Planı
AYDES	:	Afet Yönetim ve Karar Destek Sistemi
CBS	:	Coğrafi Bilgi Sistemleri
ASH	:	Acil Sağlık Hizmetleri
KBRN	:	Kimyasal Biyolojik Radyolojik ve Nükleer
MILP	:	Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama
TS	:	Tabu Arama
AHP	:	Analytic Hierarchy Process
ANP	:	Analytic Network Process

LAT	:	Lojistik Ağ Tasarımı
KHGM	:	Kamu Hastaneleri Genel Müdürlüğü
DSÖ	:	Dünya Sağlık Örgütü
WHO	:	World Health Organization
TSK	:	Türk Silahlı Kuvvetleri
SSGM	:	İçişleri Bakanlığı Sivil Savunma Genel Müdürlüğü
TAY	:	Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Genel Müdürlüğü
ASHGM	:	Sağlık Bakanlığı Acil Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü
JICA	:	Japan International Cooperation Agency
DK	:	Dakika

GİRİŞ

Nitelikleri ve nicelikleri hızla değişen tüketici taleplerini, ihtiyaçlarını karşılarken lokal ve küresel ölçekte rekabet edebilmek için geliştirilen Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY) yaklaşımı; mal ve hizmetlerin tedarikçiler, üreticiler, dağıtımıcılar, toptancılar ve nihai kullanıcılar arasındaki dijital, fiziksel ve bilgisel hareketliliği sağlayan ilişkiler bütünüdür.

TZY'nin birçok unsuru ve aşaması olmakla birlikte lojistik operasyonları en önemli faaliyetler olarak ön plana çıkmaktadır. Lojistik faaliyetler, TZY içerisindeki anahtar konumu ile üreticinin maliyet, kalite ve rekabet gibi birçok faaliyet unsuruna olumlu veya olumsuz katkı yapma gücüne sahiptir. Bu bağlamda nihai tüketici açısından da memnuniyet seviyesi, maliyet ve kalite gibi birçok faktörü etkilemektedir.

Lojistik kavramı; tüketici ihtiyacı olan her türlü ürün, madde, hammadde, yarı mamul, hizmet ve ilgili bilgi akışının başlangıç noktasından son tüketim noktasına kadar iletilmesini ve depolanmasını sağlamak için gerçekleştirilen etkin, planlama, uygulama ve kontrol süreçlerinin tümünü tanımlamak için verilen isimdir (CSCMP, 2013).

TZY ve Lojistik kavramlarının tanımlarından da anlaşıldığı üzere Lojistik operasyonları, TZY'nin temel fonksiyonlarının devamlılığını sağlayan en önemli faaliyetlerden biridir. Bu yüzden lojistik etkinliğinin ve verimliliğinin sağlanabilmesi, taleplerin karşılanmasında ve rekabet edilebilirlikte büyük önem arz etmektedir.

Lojistik faaliyetlerin, iş dünyası ile ilişkisini yukarıdaki ifadelerle tanımlamak ve bu haliyle genel bir çerçeve çizmek mümkündür. Lojistik faaliyetlerin iş dünyası ve ticari faaliyetler dışında çok yoğun olarak kullanıldığı alanlardan biri de afet ve acil durum yönetim süreçleridir. Afet öncesi ve sonrasında yürütülmesi gereken lojistik operasyonlar, amaçları, kısıtları ve kriterleri ile iş lojistiğinden ayrılmaktadır. Temelde yapılan lojistik işlemleri süreçler, aşamalar açısından benzerlik gösterse de

amaçların ve ilgili parametrelerin değişmesi operasyonel anlayışı ve yaklaşımı değiştirmektedir.

İş lojistiğinde kârlılık ve maliyet en önemli faktörlerden biri (Kazan vd., 2015) iken afet durumlarında maliyet unsurları hesaba katılmadan daha çok afetzedeye kısa sürede ulaşabilmek gibi insani hedefler konulmaktadır.

Amaçları ne olursa olsun tüm organizasyonlar için lojistik faaliyetlerini optimize etmek; etkinliğin, üretkenliğin ve verimliliğin sağlanması için kaçınılmaz bir gerekliliktir. İşletmeler maliyet minimizasyonu, kâr maksimizasyonu, müşteri tatmini ve müşteri sadakati gibi amaçlar için bu optimizasyona ihtiyaç duyarken kâr amacı gütmeyen insani yardım operasyonlarında, acil durumlarda ve faaliyetlerinde yoğun lojistik operasyonlar barındıran kamu hizmetlerinin yürütülmesinde de lojistik faaliyetlerin optimizasyonu büyük bir öneme sahiptir.

İnsanların kurmuş oldukları sosyal ve ekonomik düzene zarar veren, toplumların ilerlemesinin önünde engel olan doğa veya insan kaynaklı afetler tüm boyutları ile ele alınmalıdır. Sebepleri, topluma ve çevreye zararları bir bütün olarak ele alınıp etkilerini azaltacak çözümler üretilmelidir (Sarp, 1999).

Gerek iş lojistiğinde gerek afet lojistiğinde, başarılı tedarik zinciri oluşturmanın ve lojistik operasyonları yürütmenin en kritik unsurlardan biri ağ tasarımıdır. Afet öncesi (hazırlık aşaması) ve afet sonrası (müdahale aşaması) operasyonlar ilgili kurum ve kuruluşlar tarafından iyi planlanmalıdır. Afet sonrası müdahale aşaması, afet öncesi hazırlıklara göre zaman açısından daha kritik olduğundan etkin, dinamik, uyarlanabilir ve yerel altyapıya bağlı bir ağ tasarlanmalıdır (Altay, 2008).

Lojistik faaliyetler, birçok alana dahil olan etkin konumuyla optimizasyon çalışmalarının sürekli merkezinde yer almıştır. Afet operasyonları yönetimi alanında yapılan yöneylem araştırmalarını inceleyen Altay ve Green'e göre, bu alanda yapılacak araştırmalara olan ihtiyacın giderek arttığı kabul edilmelidir (Altay ve Green, 2006).

Uluslararası Kızılhaç ve Kızılay Dernekleri Federasyonu'nun (IFRC) tahminlerine göre, gelecekte insani yardımı şekillendirecek olan iklim değişikliği, küresel ısınma, plansız kentleşme, yetersiz gelişme/yoksulluk ve salgın hastalıklar gibi bir dizi zorluk var. Bu ağırlaştırıcı faktörlerin, afetlerin sıklığını, karışıklığını ve şiddetini artmasına neden olması beklenmektedir (IFRC, 2020a). Bu tahmin ve beklentilerin, Altay ve Green'in (2006) bilimsel araştırmalara olan ihtiyacının arttığı tespiti ile aynı doğrultuda oldukları görülmektedir (Altay ve Green, 2006).

Afet öncesine ve afet sonrasına yönelik birçok bilimsel araştırmanın yapılması önemli bir gerekliliktir. Afet sonrasında en kritik operasyonlardan biri, afetten etkilenen insanlar arasında kaynakların etkin bir biçimde tahsis edilmesi ve dağıtılmasıdır. Çok sayıda hayatın kurtarılması, afetzedelerin temel insani gereksinimlerinin karşılanması ancak iyi bir planlama ile mümkündür. Bu çalışmada konu edinen, deprem sonrası ağır yaralı hastaların tahliyesi/taşınması problemi kısıtlı kaynakların etkin kullanılmasını hedefleyen, bu doğrultuda yürütülen bir araştırmadır.

Deprem ve sel gibi büyük etkiye sahip afetler sonrasında, mağdurların tahliyesi, yaralıların taşınması ve insani yardım malzemelerinin ulaştırılması gibi faaliyetler önemli lojistik dağıtım ağ tasarımı gerektirir (Berkoune vd., 2012).

Deprem gibi doğal afetlere müdahale aşamasında yürütülen kritik faaliyetlerin en önemlilerinden biri, afet sonrası yaralı taşıma lojistiği, yardım türlerinden "tıbbi ilk yardım, tedavi ve hastaneye nakil" kategorisinde yer almaktadır (Deniz, 2012).

Bu çalışmada konu edinilen lojistik faaliyetin türü deprem sonrası yaralı lojistiği için bir ağ tasarımıdır. Doğal afetler gibi bilinmezliğin, değişkenliğin çok olduğu, öngörülemeyen durumlarda lojistik faaliyetlerin sorunsuz yürütülebilmesi önemlidir. Deprem gibi doğal afetlerde insan kontrolü dışında birçok faktör etkili olduğundan, afet anında ve sonrasında birçok parametre normalin dışında seyretmektedir. Afet sonrasında afetzedelerin ihtiyaç duydukları insani yardımların, araç gereçlerin, tıbbi hizmetlerin ve arama kurtarma faaliyetlerinin hepsi iyi tasarlanmış bir lojistik ağın gereklerindendir. Bu sürecin en kritik aşamaları kuşkusuz

deprem sonrası kurtarma faaliyetleri ve kurtarılan yaralıların tedavi altına alınma aşamalarıdır.

Bu çalışmada amaçlanan depremde ağır yaralı olarak kurtulan hastaların en kısa sürede tedavi altına alınmasını sağlayacak lojistik ağı tasarlamaktır. Bu doğrultuda matematiksel bir model geliştirilmiş ve yeni hasta seçim stratejisi önerilmiştir. Bu yeni modelin ve stratejinin testi için mevcut durum (senaryo1) analizi yapılmış ayrıca, yeni hastane kurulumu ve ambulans ilaveleri ile oluşan yeni durumlar senaryo 2 ve senaryo 3 ile duyarlılık analizleri yapılmıştır.

Bu amaç doğrultusunda hastaların hangi ambulans ile hangi hastaneye taşınması gerektiği tespit edilmiş, toplam süreyi minimum yapacak olan tercihler oluşturulmuştur. Karışık tamsayı programlama ile ambulansların hangi hastaları taşıyacağı belirlenmiştir.

Deprem anında, yardım talepleri, makine teçhizat envanteri, kapasite ve yeterlilik gibi bilgilerin doğru bir şekilde iletilmesini sağlamak birçok hayat kurtarabilir. Yaralılara ait konum, triyaj ve sayı bilgilerinin doğru şekilde belirlendiği bir durumda sağlık ekiplerinin yönlendirilmesinde optimum fayda sağlanabilir. Deprem sonrası müdahalelere yönelik çalışmalarda, ilgili parametrelerin gerçeğe uygun tahminleri üzerinden model kurmak ve modeli simüle etmek afet sonrasında karşılaşılabilecek tabloyu özetlemesi açısından büyük önem ifade etmektedir (Adrang vd., 2020).

İstanbul, hazırlanan birçok deprem raporuna göre büyük bir deprem tehlikesi ile karşı karşıyadır. Deprem şiddeti ve tarihi ile alakalı değişik tahminler yapılıyor olmakla birlikte kesin rakamlar vermek mümkün değildir. Yapılan tahminlerin ortak özelliği yüksek şiddetli bir deprem beklenmesi ve İstanbul için yıkıcı sonuçlar doğuracak olmasıdır (İBB, 2009; JICA ve İBB, 2002).

Bu çalışmanın amacı, deprem sonrası müdahale aşamasında çoklu periyotlarda, ağır yaralı olarak kurtarılan insanların toplam süreyi en aza indirecek şekilde ambulanslarla hastanelere taşınması için bir ağ tasarlamaktır. Her periyotta, ağır yaralıların için oluşan hizmet talebi sayısı değişkenlik arz etmekte, hastane kapasiteleri de gittikçe azalmaktadır. Bu problemde iki aşamalı bir çözüm modeli

önerilmiştir. Birinci aşamada önerilen matematiksel model karışık tamsayılı programlama modelidir. İkinci aşama ise, matematiksel modelin çıktılarının periyot bazında simüle edildiği aşamadır.

Önerilen modelin testi için İstanbul'un risk haritasına göre en riskli ilçeler arasında, 1. Grup içerisinde yer alan (Kaya, 2000) Tuzla İlçesi seçilmiştir. Modelde, İstanbul İli için yapılan deprem projeksiyonlarında yer alan Tuzla İlçesine ait tahmin verileri ve ilçenin hastane, ambulans, konum bilgileri ile kullanılmıştır.

Depremin gerçekleştiği andan itibaren ilk 72 saatlik süreç yaralıların hayatını kurtarmak adına kritik öneme sahiptir (Öner, 2010; Tanrıöven, 2010). Saatler ilerledikçe insanların kurtulma olasılıkları azalmaktadır. Bu sebeplerle çalışmada, 72 saatlik süre boyunca insanların yaralı olarak kurtarıldıkları varsayılmıştır. Çalışma 72 periyot bazında kurgulanmış, her periyot için matematiksel model ve simülasyon ayrı ayrı çalıştırılmıştır.

Oluşturulan üç farklı senaryo kurgusundan birincisinde, ilçenin mevcut hastane ve ambulans kapasitesine göre model çalıştırılmıştır. İkinci ve üçüncü senaryolarda ise k-means kümeleme analizine göre tespit edilen konumlarda kurulan sahra hastanelerinin ve yedek ambulansların devreye alınmasıyla artan kapasiteye göre modelin duyarlılığı test edilmiştir.

Bu tez, afet sonrası insani yardım çalışmalarının en kritik olduğu, yaralıların sağlık kuruluşlarına taşınması aşamasını optimize etmeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, kurulan matematiksel model ve önerilen hasta seçim yöntemi ile sahadan elde edilen verilerle sağlanan bilgi akışı ulaşım ağıyla bütünleşik bir çerçeve oluşturmuştur. Oluşturulan çerçeve sahadan gelen bilgileri talep, eldeki imkân ve kapasiteleri arz olarak ele almakta, bu sayede ağı optimize etmektedir.

Bu tezin kurgusu, aşağıdaki detayları anlatılan bölümler halinde planlanmıştır:

Birinci bölüm; lojistik ağ tasarımı ve bileşenlerinin anlatıldığı, Tedarik Zinciri Yönetiminden (TZY) lojistiğe geçiş süreçlerinin irdelendiği, lojistiğin TZY içindeki konumunun vurgulandığı bölümdür.

İkinci bölümde, afet olayları ve afet lojistiği kavramları detaylı olarak tanımlanmıştır. Afet lojistiği çerçevesinin sınırlarının çizildiği, sürecin yerel ve lokal paydaşlarının tanımlandığı bölümdür.

Üçüncü bölüm, lojistik ağ tasarımına ve afet lojistiğine yönelik literatürün incelendiği bölümdür. Bu çalışmanın literatürün neresinde durduğunun anlaşıldığı ve yapılan çalışmaların mevcut durumunun, eğilimlerin tespit edildiği bölümdür. Bu kısımda, örnek çalışmaların içerikleri, yöntemleri ve bulguları kısaca anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde; problemin ve probleme ait parametrelerin, kümelerin tanımlandığı bölümdür. Önerilen çözümün matematiksel ve grafiksel modelinin tanımlandığı bölümde kullanılan yöntemler de tanıtılmıştır. Modelin uygulamasında kullanılacak verilerin toplanması ve uygulamaya hazır hale getirilmesi işlemleri bu bölümde yapılmıştır.

Beşinci bölümde, önerilen matematiksel modelin ve seçim yönteminin, mevcut durum dahil olmak üzere toplam üç farklı senaryoya göre duyarlılık analizleri yapılmıştır.

Sonuç bölümünde ise, uygulama sonucunda elde edilen önemli bulgulara dikkat çekilmiş, karşılaştırmalar yapılmış ve gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

BİRİNCİ BÖLÜM

LOJİSTİK AĞ TASARIMI

1.1 Lojistik Kavramı

Lojistik kavramı, Council of Supply Chain Management Professionals'ın (CSCMP) tanımlamasına göre: “Müşteri gereksinimlerini karşılamak üzere; üretim noktası ve tüketim noktaları arasındaki mal, hizmet ve ilgili bilgilerin ileri ve geri yöndeki akışları ile depolanmalarının etkin ve verimli bir şekilde planlanması, uygulanması ve kontrolünü içeren tedarik zinciri sürecinin aşamasıdır” (CSCMP, 2013).

Köken olarak Yunanca “logistikos” kelimesinden türemiş olan “Lojistik” kelimesi, “hesap bilimi”, “hesapta beceri” anlamlarını ifade etmektedir. Literatüre ilk olarak askeri terminolojide giriş yapmış olan “Lojistik” kelimesi, askeri birliklerin, araç ve gereçlerin, ihtiyaç malzemelerinin hareketlerini planlayıp organize etmek olarak kullanılmıştır. Bu bağlamda asker ve ekipmanların taşınmasının yanı sıra askerlerin yiyecek ve ihtiyaçlarının taşınmasını da içermektedir (Özdemir, 2018).

Türk Dil Kurumunun Lojistik kavramını; “Kişilerin ihtiyaçlarını karşılamak üzere her türlü ürünün, hizmetin ve bilgi akışının çıkış noktasından varış noktasına kadar taşınmasının etkili ve verimli bir biçimde planlanması ve uygulanması.” olarak tanımlanmaktadır (TDK, 2021).

AFAD'ın, Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğüne göre ise Lojistik; “İhtiyaçları karşılamak üzere her tür ürün, hizmet ve bilginin kaynağından itibaren tüketileceği son noktaya kadar tedarik zinciri içindeki hareketine verilen genel ad.” ifadeleriyle tanımlanmaktadır (AFAD, 2020a).

Değişik lojistik tanımlarını inceledikten sonra, lojistik faaliyetlerin günümüzdeki durumuna gelene kadar geçirdiği konsept, teknoloji ve anlayış dönüşümlerini kısaca aşağıda yapılan incelemede bulmak mümkündür:

Askeri literatürde çok eski zamanlardan beri kullanılıyor olsa da iş dünyasının lojistik kavramı ile tanışması ilk olarak 1900'lü yılların başlarında olmuştur.

Akabinde ikinci dünya savaşında yürütülen başarılı lojistik operasyonlar sayesinde 1950’li yıllarda lojistiğe verilen önem daha da artmıştır (Özdemir, 2018).

1950’li yıllara gelen kadar işletmeler, işletme içi birimlerin dengesini bozabilecek mahiyette, entegre edilmemiş bağımsız lojistik faaliyetlerde bulunmaktaydılar. Organizasyonel ve maliyet güçlüklerine sebep olan bu anlayış zamanla yerini bütüncül yaklaşımlara bırakmıştır. Tedarik yönetimi, fiziksel dağıtım, malzeme yönetimi ve dağıtım yönetimi gibi kavramlar ilk kez 1950’li yıllarda ortaya atılmıştır (Akandere, 2013). Bu sayede kurum içi lojistik faaliyetlerin entegrasyonu sağlanmıştır.

1960’lı yıllara gelindiğinde müşteri sadakatinin önem kazandığı, kitle üretiminden vazgeçildiği, çeşitli ve küçük miktardaki üretime yönelişle beraber iş lojistiği kavramı ortaya çıkmıştır. Lojistik, bu dönemde uzman kişilerin yürüttüğü ayrı faaliyetler olmuştur (Özdemir, 2018).

1970’li yıllar, lojistik faaliyetlerin kurumsallaştığı, perakende zincirlerinin piyasaya girdiği dönemdir (Akandere, 2013). Ayrıca bu dönem, dağıtım kavramının geliştiği, fonksiyonel yönetim yapısına dahil edilmesi gerektiğinin belirlendiği dönem olmuştur. 1980’lerde bilgi sistemleri ve iletişim teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak lojistiğin birleştirilebilir fonksiyonları üzerinde durulduğu bir dönem olmuştur. 1990’lara gelindiğinde lojistik, işletme içinde başlayan müşteriye ürün teslimine kadar geçen süreçlere katkı sunan eylemleri de bünyesine katacak biçimde gelişmiştir. 2000’li yıllarda internetin gelişimi ve artan küreselleşme ile lojistik işletmeler için tam bir rekabet unsuru haline gelmiştir. Gerek müşteri tatmini gerekse maliyetler açısından stratejik bir unsur haline gelmiştir (Özdemir, 2018).

Günümüzde; IOT (Internet of Things), akıllı telefonlar, otonom sistemler, yapay zekâ gibi teknolojilerin yaygın kullanıma sahip olmasıyla birlikte lojistik faaliyetler de ciddi dönüşüm geçirmektedirler. Gelişen teknolojiler, tarihte hiç olmadığı kadar tüm paydaşlara bilgi akışının sağlandığı, tüm paydaşlar için maliyetlerin düştüğü bir ekonomik sistem sunmaktadır. Kuşkusuz bu sistemin en önemli parçası lojistik faaliyetlerdir.

Tedarik Zinciri Yönetimi ise, şirket içi ve şirket dışı arz talep yönetimi sürecinde kaynak temini, satın alma, tedarik gibi faaliyetlere yönelik tüm işlemlerin fiziki ve bilgisel hareketliliğini organize edilmesini düzenleyen yönetim sürecidir (CSCMP, 2013).

TZY yaklaşımına göre bir ürün veya hizmet üretiminin başlangıcı olan, sipariş aşamasından nihai tüketim aşamasına kadar geçen sürecin hemen hemen her aşamasında lojistik faaliyetler yürütülmektedir. TZY'nin lojistiğe karşı olan kapsayıcı durumuna karşın Lojistik faaliyetler TZY'nin temelini oluşturmaktadır.

TZY, bir ürün ya da hizmetin üretiminden teslimine kadarki iş akışlarını tümünü birden kapsayan süreçlerin tanımıdır. Hammaddenin teminiyle başlayan iş akışları nihai ürünün müşteriye teslim edilmesine kadar olan tüm içeren bir kavramdır. Kullanılan tesisler; ofisler, fabrikalar, işlem merkezleri, aktarma merkezleri, dağıtım merkezleri, perakendecilerin satış yerleri ve depo gibi yerlerdir. TZY'nin paydaşları arasında gerçekleşen akışlar; zincirin başından sonuna doğru olan fiziksel akış, zincirin sonundan başına doğru akan para akışı ve her ikisiyle beraber tüm yönlerde doğru akan bilgi akışı şeklinde üç türlü, iki yönlü akışlardan oluşmaktadır (Stevenson, 1993).

TZY ile lojistik arasındaki ilişkiyi tanımlarken; lojistik, ürünlerin istenilen yere zamanında götürülmesi ile sorumlu iken, TZY bu süreci genel işletme faaliyetlerinin süregelen işleyişleri esnasında diğer işlerle beraber organize edilmesi faaliyetlerinden sorumludur.

Lojistik süreçlerin planlanması, yönetsel kararlar alınması işletme faaliyetleri için büyük önem arz etmektedir. Stok yönetimi, depo yeri seçimi, tesisi kurulum yeri belirleme, envanter yönetimi, otomasyon sistemleri, personel seçimi, otomasyon-personel dengesinin ayarlanması, hangi ürünlere yatırım yapılacağı, nereden temin edilip nereye dağıtılacağı gibi çok önemli kararlar lojistik yöneticilerinin almak zorunda oldukları önemli kararlardır. Lojistik, bu kararları alırken, TZY tüm bu süreci, diğer işletme faaliyetleri ile, işletme içi ve dışı aktörlerle organize etmektedir (Çekerol, 2013).

Amaçları ne olursa olsun her işletme, kurum ve kuruluş için lojistik faaliyetler kaçınılmaz bir gerekliliktir. Kâr amaçlı işletmelerde, faaliyet türüne göre farklılıklar arz etse de genel olarak toplam maliyetin %15-20'si lojistik maliyetlerden oluşmaktadır. Buna ilaveten, lojistiğin önemi maddeler halinde özetlenecek olursa (Waters, 2003):

- Maliyetler genellikle şaşırtıcı derecede ciroya oranlanmadığında yüksek seviyededir, pahalıdır.
- İşletme performansına ve kârlılığını doğrudan etkiler.
- Uzun vadede stratejik öneme sahiptir.
- Tedarikçilerle uzun vadeli ticari ilişkileri geliştirir.
- Müşterilerle ilişki kurarak müşteri tatminine ve değer üretimine katkıda bulunur.
- Müşterilerin memnuniyetleri kapsamında teslimat süresi ve güvenilirlik büyük bir etkiye sahiptir
- Tesis kararlarında yardımcı olur, yer ve boyut seçiminden etkili olurlar.
- Reklam verme sistemi sayesinde kamuya açıklık sağlar.
- Güvenlik, sağlık ve çevre gibi kaygılardan doları riskli olabilir.
- Uzmanları ve aracı hizmetler sunan tedarikçiler teşvik edebilir.

Ülke çapında veya küresel ölçekte düşünüldüğünde lojistik maliyetlerinin çok ciddi boyutlarda olduğunu söylemek mümkündür. Bu doğrultuda lojistik etkinliği artırmak, maliyetleri ve taşıma sürelerini kısaltmak adına yapılacak her iyileştirmenin sağlayacağı tasarruf miktarları önemli ölçüdedir. Ayrıca, lojistik faaliyetlerin sürelerindeki azalmalar çevremize, sürdürülebilirliğe, ekosisteme olumlu katkılar sağlayacaktır.

1.1.1 Lojistiğin Temel Faaliyetleri

Lojistik sistemler, esasında nakliye hizmetleri ve nakliye hizmetlerinin eksiksiz yürütülmesini sağlayacak ek tesislerden oluşur. Bu tesisler, fabrikalar, depolar, dağıtım merkezleri, toptan satış bayileri, mağazalar gibi yerlerdir. Bu tesisler arasında her türlü ürün ve malzemenin taşınması işlemi de nakliye hizmeti olarak adlandırılmaktadır (Özçetin, 2016).

Neredeyse tüm işletmelerin operasyonlarını sürdürebilmek için yürüttükleri en temel lojistik faaliyetler aşağıdaki gibi sıralanabilir (M. Tanyaş ve Hazır, 2011):

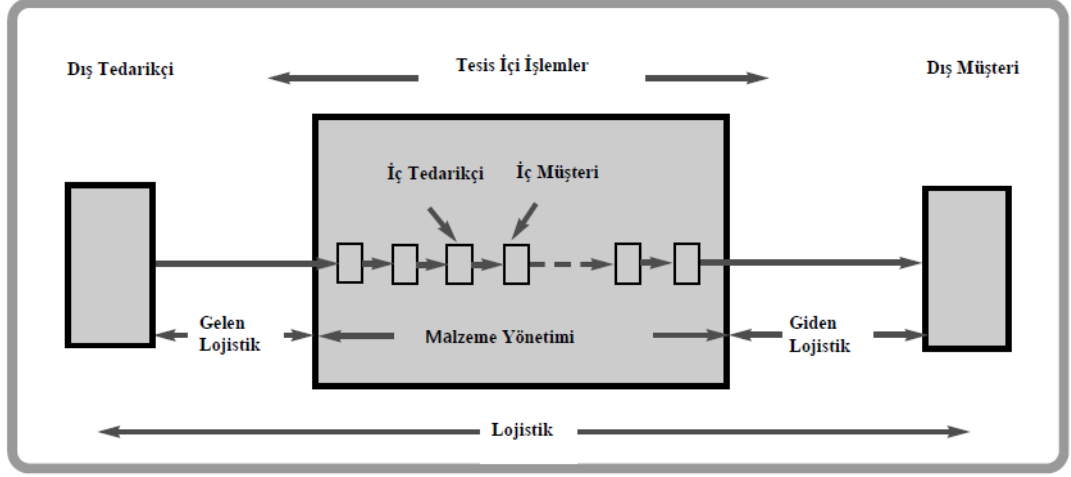
- Taşımacılık
- Kalite Kontrol – Gözetim – Teslimat Öncesi Kontrol
- Dış Ticaret, Gümrük, Antrepo, Sigorta
- Depolama, Katma Değerli İşlemler
- Stok ve Envanter Yönetimi
- Sevkiyat Sipariş Yönetimi
- Tedarik Sipariş Yönetimi
- Dağıtım
- Filo ve Trafik Yönetimi
- İade ve İmha İşlemleri (Tersine Lojistik)
- Tesis İçi Lojistik
- Paketleme
- Bilgi Akışı

Lojistik faaliyetlerin işletmelere faydalarından bahsedilecek olursa; şekil faydası, yer faydası, elde etme faydası ve zaman faydası olmak üzere 4 temel faydasından söz etmek mümkündür. Ürünlere fiziksel değer katılması şekil faydasıdır. Ürün ya da hizmetlerin belirli bir yerden başka yerlere taşınması yer faydası olarak nitelendirilmektedir. Müşteri ile doğrudan veya dolaylı olarak ürün ya da hizmet için bir talep alınmasına, elde etme faydası denir. Zaman faydası ise, uygun stok, envanter modellerinin kullanılması veya hızlı ve zamanında taşımacılık hizmetinin ulaştırılmasıdır (Batuk, 2013).

İşletme lojistiğinde genel olarak, makine teçhizat, personel, tesis kapasitesi ve gerekli hizmet seviyesi gibi birçok ilgili ek kısıtlamalara uyarak toplam lojistik maliyetlerinin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Faaliyet türlerine göre değişik operasyonlara sahip işletmeler ve kamu kuruluşlarında en aza indirilecek maliyet, tesis operasyonları ve tesisler arasında veya tesisler ile kullanıcılar arasındaki lojistik faaliyetlerle ilişkilidir. Bunlara ilaveten, bir kamu hizmeti için lojistik ağı tasarlanırken, kullanıcılara sunulan hizmette eşitlik sağlamak, aciliyet durumlarına

göre müdahale etmek gibi farklı hedeflerin dikkate alınması gerekebilir (Ghiani vd., 2004).

Şekil 1: İşletmelerde Lojistiğin Rolü



Kaynak: (Waters, 2003)

Lojistikle alakalı yapılan açıklamalara ve tanımlamalara uygun olarak lojistik faaliyetlerin iş süreçleri içerisindeki rolü Şekil 1’de görselleştirilmiştir.

Lojistik faaliyetler gündelik hayatın hemen hemen her alanında işleyişin sürdürülebilmesi için gerekli olan en önemli faaliyetlerinden biridir. Lojistik faaliyetlerin isimlendirilmesinde ilgili alanın fonksiyonuna ve niteliğine göre adlandırma yapıp özel bir lojistik alanı olarak gelişmeye başladığını söylemek mümkündür. Bu bağlamda başlıca lojistik alanlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür (Alkusal, 2006):

- İşletme Lojistiği
- Hizmet Lojistiği
- Askeri Lojistik
- Afet/Acil durum Lojistiği

Afet lojistiği bu çalışmada konu edilen lojistik faaliyet türüdür. İşletme lojistiği genellikle belirli miktarda talep, kapasite, makine-teçhizat gibi kısıtlarla

çalışmakta iken afet lojistiği için daha çok belirsiz bir ortamın olduğunu söylemek mümkündür.

İnsani yardım kuruluşları afet meydana gelmeden önce hazırlık ve afet sonrasında müdahale aşamasında olmak üzere iki aşamalı bir ağ tasarımı ihtiyacı vardır. Afet öncesi hazırlık aşamasında uygulanacak ağ tasarımı, işletme lojistiği şartlarıyla uyumludur. Afet sonrası müdahale aşaması için daha dinamik, uyarlanabilir, esnek sistemler tasarlanması gerekliliktir. Ayrıca, afet esnasında fiziki ulaşım altyapısı hasar alacağından, altyapıya bağımlı olarak alternatifli, dinamik bir ağ tasarlanmalıdır (Altay, 2008).

Bu gereklilikler altında lojistik sistemlerin etkinliği ve verimliliği için, sistemlerin doğal veya suni her türlü etkiye dayanıklı olarak tasarlanması gerekmektedir. Afetler bu açıdan bakıldığında acil sağlık hizmetlerinin ulaştırılması ve insani yardımların dağıtımı gibi lojistik operasyonlar için büyük tehdit arz etmektedir (Choi vd., 2016).

Afet sonrası oluşacak sağlık hizmeti ve insani yardım talepleri normal zamanda olduğundan çok daha fazla ve yoğun olacağından karşılaşılan problemin zorluğu da normalden daha karışık olacaktır. Afet sonrası hayat kurtarmak için kritik öneme sahip ilk 72 saatin, afet öncesinde çok iyi planlanması ve her türlü senaryoya hazırlıklı olunması gerekmektedir. Eldeki makine, insan, makine teçhizat gibi donanımların en verimli şekilde kullanmak adına gerekli çalışmalar yapılmalıdır.

TZY ve Lojistik kavramlarını detaylarına müteakip afet lojistiği kavramlarına kısaca değinilmiştir. Afet yönetimi içerisinde lojistik faaliyetlerin ne kadar önemli olduğunu, kavramların iç içe yapılarının kısaca vurgulandığı bu bölümün ardından ikinci bölümde afet lojistiği konusu detaylı olarak incelenmiştir.

1.2 Lojistik Ağ Tasarımı

Lojistik ağ tasarımı; ürünün, ham madde tedarikinden tüketim noktaları arasındaki mal, hizmet ve bilgi akışları ile ilgili lojistik faaliyetlerinin etkin, verimli bir biçimde planlanması ve beraberinde gereken diğer faaliyetlerin dizayn edilmesidir. Lojistik ağ tasarımında temel amaçlar, işletmenin faaliyet gösterdiği

alanlara göre farklılık göstermekle birlikte genel olarak tesisi yerlerinin, boyutlarının, kullanacağı kaynakların belirlenmesidir (Özçetin, 2016).

Lojistik ağ tasarımı süreci, özel işletmelerde hammadde veya ürünün tedarikçilerden alınıp nihai tüketiciye ulaştırılması aşamasındaki sistemin tasarlanmasını kapsamaktadır. Kamu kurumlarında ise kullanıcılara sunulacak hizmet için tesis kurulum yerini optimize eden seçimlerden oluşur. Her iki lojistik sistemin; tesis sayısı, tesis yerleri, makine-teçhizatları, personel sayıları, tesisi büyüklüğü, tesislerin elden çıkarılması, yerinden edilmesi veya küçültülmesi gibi temel konular ele alınmakta, değerlendirmeye tabi tutulmaktadır. Ancak, hedefler ve kısıtlamalar sektörlere, tesislerin türüne, kuruluş amaçlarına göre (fabrikalar, bölgesel ve saha depoları, perakende mağazalar, çöplükler, çöp yakma tesisleri, ambulans park yerleri, hastane yerleri, itfaiye istasyonları, askeri birlikler, vb.) değişiklik göstermektedir (Ghiani vd., 2004).

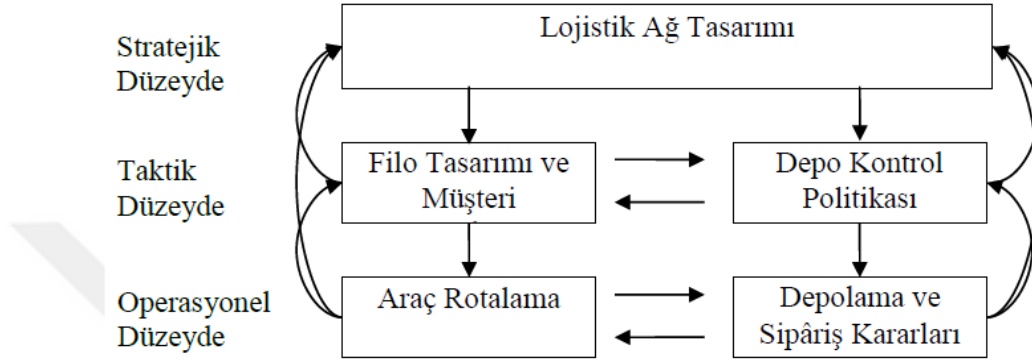
Bir işletme için lojistik ağ; depolar, tedarikçiler, satış mağazaları, dağıtım merkezleri ve üretim tesisleri arasındaki her türlü akışın sağlanması ile ilgili süreçlerin organizasyonudur. Bir lojistik ağın tasarlanması sürecinde aşağıda değinilen hususların dikkate alınması önemlidir (Cordeau vd., 2006):

- Üretim tesisi, dağıtım merkezi, depo ve araç sayılarının, yerlerinin, kapasite ve teknolojilerinin belirlenmesi,
- Tedarikçi firmaların seçimi,
- Üretim, depolama ve dağıtım planlamasında, hammadde ve ürünlerin tesisler arasında atanması,
- Dağıtım kanallarının, taşıma yöntemlerinin ve ulaşım modlarının seçimi,
- Ağ üzerinden hammadde, yarı mamul ve bitmiş ürün akışının belirlenmesi,

Lojistik ağ tasarım sürecinde alınacak kararlar, planlama uzunluğuna ve önemiyet derecelerine dikkate alınarak üç kategoriye ayrılabilir. Birinci kategori, Stratejik Seviye olarak adlandırılan fabrika, depo ve mağaza gibi tesislerin yer, kapasitesi ve teknolojisi ile ilgili uzun dönemli kararlardır. İkinci olarak Taktik Seviye’de, taşıma modu, tedarikçi seçimi, ürün yelpazesi, ataması, dağıtım kanalı gibi birkaç ayda yenilenebilecek kararların alındığı seviyedir. Üçüncü ve son seviye

olan Operasyonel Seviye ise, kısa sürede yenilenebilecek hammadde, yarı mamul ve nihai ürün akışlarıyla alakalı olan kararlardır (Cordeau vd., 2006).

Şekil 2: Lojistik Ağ Tasarımında Karar Aşamaları ve Etkileşimler



Kaynak: (Erol, 2017)

İşletmelerin karar düzeyleri birbirleri ile ilişkilidir Şekil 2’de karar seviyeleri arasındaki etkileşimi görmek mümkündür.

İşletmelerin her seviyede alması gereken kararlar vardır. Bunlardan stratejik seviyede alınması gereken kararlar aşağıda belirtilmiştir (Çağlar, 2009):

- Depo yerlerinin ve teslimat noktalarının belirlenmesi, kapasitelerinin tespit edilmesi,
- Rotalarının belirlenmesi,
- Kullanılacak kaynakların tedariklerinin ve ilgili birimler arasındaki paylaşımının nasıl yapılacağına karar verilmesi,
- Müşteri davranışlarının incelenmesi,

Lojistik ağ tasarımı problemleri de stratejik seviyede ele alınması gereken konular arasında yer alırlar.

1.2.1 Lojistik Ağ Tasarımının Temelleri

Lojistik sistemlerin ilki sipariş işleme, ikincisi stok yönetimi ve üçüncüsü nakliye olmak üzere üç temel aktiviteden oluşmaktadır. Sipariş alma, işleme

aktivitesi, eskiden firmalar için zaman alıcı, uğraştırıcı bir süreç iken günümüzde bilgi ve iletişim teknolojileri ile oldukça kolaylaşmıştır. Stok yönetimi de gelişen teknoloji ile klasik depolama yöntemlerinin terk etmiş olsa da lojistik sistemlerin yürütülmesinde anahtar rol oynamaya devam etmektedir (Özçetin, 2016).

Yöneticiler, ciddi maliyetlere katlanarak elde ettikleri lojistik bilgi sistemlerinden elde ettikleri verilerin çoğunlukla ağ tasarımı kararı alırken kendilerine yeteceğini düşünmektedirler. Bu elde ettikleri veriler ve raporlar kendilerine mevcut durumu bildirmekte, gelecek planlaması için stratejik seviyede alınacak kararlar için tek başına yeterli konumda değildirler. Ağ tasarımı gibi karışık, çok boyutlu problemlerin çözümleri için matematiksel programlama/optimizasyon teknikleri kaçınılmaz bir gerekliliktir. Bu sayede depo ve tesislerin nasıl konumlandırılacağı, ürün akışının nasıl olacağı gibi sorulara cevaplar bulunabilir (Ghiani vd., 2004).

Bir lojistik ağ tasarımı probleminin matematiksel çözüm modeli geliştirilmek istendiğinde dört unsur dikkate alınmalıdır (Özçetin, 2016):

- Amaç fonksiyonu
- Kısıtlar
- Karar değişkenleri
- Veri

Amaç fonksiyonu; optimize etmek istediğimiz niteliklerin matematiksel gösterimidir. Kısıtlar ise, eldeki makine-teçhizat, süre, kaynak gibi parametrelerin matematiksel ifadeleridir.

Günümüzde devam etmekte olan lojistik ağ tasarımı araştırmaları 19. Yüzyılın ilk konum teorilerine dayanmaktadır. O zamandan beri değişik matematiksel modeller ve yöntemlerle ağ tasarım sorununa çözüm arayışları devam etmektedir. Ağ problemlerinin en önemli konularından biri olan tesis yerleşim sorunları incelendiğinde öncelikle yeni bir tesise ihtiyaç olup olmadığı iyi analiz edilmeli, akabinde yeni bir tesis alım veya kurulum aşamasında sabit maliyetler yüksek olduğundan kararların uzun vadeli olmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca yeni

tesislerin kurulması durumunda talep hacminin artabileceği dikkate alınmalıdır (Ghiani vd., 2004).

Karar aşamasında birçok kriter göz önünde bulundurulmalı, çok boyutlu bir yaklaşım sergilenmelidir. Tesis yerinin seçilmesi problemlerinde dikkat edilmesi gereken hususlar belirlenmiştir:

Tesis Yeri Seçimi Probleminin Sınıflandırılması

Konumlandırma problemleri birçok kritere göre sınıflandırılabilen, karışık yapıda ve çeşitli biçimlerde meydana gelen, birçok tasnif türü mevcut olan problemlerdir. Tesis konum seçim problemlerinin bir kısmı Karışık Tamsayılı Programlama ile modellenmiş ve çözümler üretilmiştir. Problemin büyüklüğü arttıkça sezgisel çözüm yöntemlerine başvurmak gerekebilir. Lojistik odaklı olarak problemleri aşağıda önerilen başlıklar altında incelemek ve sınıflandırmak mümkündür (Ghiani vd., 2004).

- **Zamana göre:** Planlama sürecinin başında belirlenen değişkenlere göre karar verilen tek periyotlu ve her periyotta değişebilen parametrelerin olduğu problemlere ise çok boyutlu problemler denilmektedir.
- **Tesis tipine göre:** Bir tür tesisin konumlandırılması problemleri tek tip, birkaç tür tesisi konumlandırmak için çalışılan problemler ise çoklu tip problemler olarak tanımlanır.
- **Malzeme akışına göre:** Tek tip bir ürünün dağıtımının planlandığı bir tasarımda homojen malzeme akışı, ürün ve malzeme çeşitliliği arttığında ise, çoklu akış türüne göre bir tasarım yapılmaktadır.
- **Tesisler arası etkileşime göre:** Optimum tesis konumları, bitmiş ürün dağıtımı ile malzeme akışlarını sağlanmasını için tesislerin birbirlerine göre konumları da dikkate alınarak belirlenmelidir.
- **Baskın malzeme akışına göre:** Sadece tesisten çıkan veya tesise giren malzeme akışının önemli olduğu problemler tek kademeli problemlerdir. Eğer tesise giren ve tesisten çıkan malzeme akışları da önemli ise her ikisinin dengeli bir şekilde değerlendirildiği problemlere çok kademeli problemler denilmektedir.

- **Talep bölünebilirliğine göre:** Talebin bölünebilir olduğu dağıtım sistemlerinde, tesis veya müşteriye tek bir merkezden hizmet verilmesi gerekli iken; talebin bölünebilir olmadığı dağıtım sistemlerinde, tesislere ve müşterilere daha fazla merkez tarafından hizmet verilebilir.
- **Ulaşımın tesis yeri kararına etkisi:** Birçok konum modeli, araçların bir rota üzerinden seyahat ettikleri yaklaşımına uygun olarak planlamaktadır. Ancak daha kompleks yapılarda araçların birden fazla noktadan toplama ve teslimat yapması durumunda araçların izlediği rotalar tesis yerlerinin belirlenmesinde mutlaka dikkate alınmalıdır.

1.2.2 Lojistik Ağ Tasarımı Aşamaları

Lojistik ağ tasarımında çözüm aşamasına gelmeden önce işletmenin durumu, kapasitesi ve ihtiyaçları iyi analiz edilmelidir. Akabinde problemin, kısıtları ile beraber belirlenmesi ile lojistik ağ tasarımından söz edilebilir. Bu doğrultuda, Lee ve Kim tarafından belirtilen lojistik ağ tasarımı esnasında takip edilmesi gereken aşamaları, Paksoy (2005) tanımlamıştır (Y. H. Lee ve Kim, 2002; Paksoy, 2005).

Bu aşamalar; problemin tanımlanması, hedeflerin belirlenmesi ve model formülasyonu şeklinde üç başlık altında ifade edilmiştir (Orcan, 2016):

Aşama 1: Problemin Tanımlanması

Ağ tasarımına geçmeden önce firmanın veya kurumun ihtiyaçları iyi analiz edilmiş olmalıdır. Ön hazırlık aşamasında, ihtiyaçların belirlenmesi ve eldeki kaynakların tespiti detaylı bir çalışma ile tamamlanmış olmalıdır. Bu ön hazırlıklar olmadan kurulacak olan her model eksik kalmış, amaca hizmet etmekten uzak olur. Aynı zamanda gereksiz bilgilerin yer aldığı bir model çözümün daha yavaş olmasına veya maliyetlerin artmasına sebep olabilir (Paksoy, 2005). Modeldeki eksiklerin ve fazlalıkların modelin amacına ulaşmasını engelleyeceği hususu dikkate alınarak model kurgusu yapılmalıdır.

Aşama 2: Amaçların Belirlenmesi

Ağ tasarım modelinde amaçlar çalışmaya konu problemin şartlarına göre belirlenmelidir. Tasarlanacak ağın değişen koşullara, talep ve arz esnekliklerine uyum sağlayabilecek şekilde planlanması önemlidir (Paksoy, 2005).

Aşama 3: Model Formülasyonu

Problemin tespiti ve amaçların belirlenmesinden sonra modelin temel yapısı kurulmalıdır. Probleme ait tüm parametrelerin, varsayımların ve elemanların model kurgusuna uygun biçimde hazır hale getirilmesi gerekmektedir. Modelde ihtiyaç duyulan verilerin tespit edilmesi ve hangi verinin hangi kaynaktan elde edilebileceği hususu uzman kişilerle beraber tespit edilmelidir (Paksoy, 2005).

1.2.3 Lojistik Ağ Türleri

Lojistik ağ türlerini ürün akış yönlerine göre üç ana başlık altında incelemek mümkündür. Bunlar; ileriye doğru, tersine ve bütünleşik lojistikdir.

İleriye doğru lojistik, üretilen ürünlerin pazara veya nihai tüketiciye minimum maliyetle, en kısa sürede, müşteri memnuniyetini de sağlayarak aracılı veya aracısız biçimde gönderilmesini kapsayan faaliyetlerin tümü olarak tanımlanabilir (İslamoğlu, 2002).

Tersine lojistik kavramı ilk olarak kullanılmaya başlandığında, çoğunlukla tehlikeli maddeler, atıklar ve geri dönüşüm yöntemlerini ifade etmekteydi (Fleischmann, 2001). Günümüzde daha geniş bir anlam etmekte; malzemelerin yeniden kullanımı, ürün değiştirme, geri dönüşüm, ürün imhası ve ürün iade gibi işlemleri de kapsayan lojistik faaliyet haline gelmiştir.

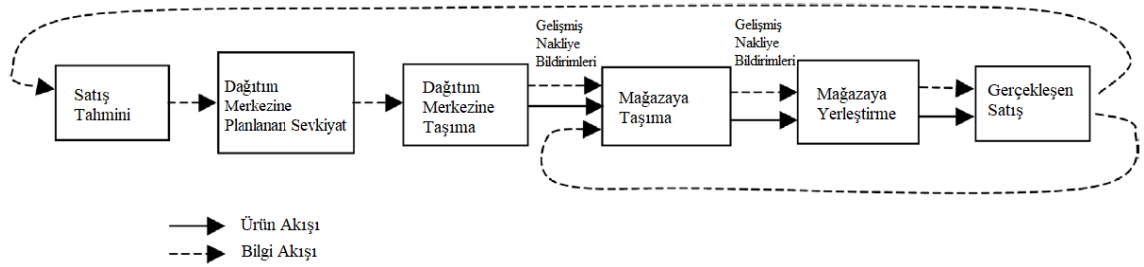
Bütünleşik lojistik ise firma veya kurumların faaliyetleri gereği ileriye doğru ve tersine lojistik faaliyetlerin hepsini birden yürütmek zorunda olduğu durumlarda tasarlanmış bir ağıdır. Bu ağda ileriye doğru ve tersine lojistik ağları birlikte hareket ederek bir bütünleşik sistem oluştururlar (Deste, 2013).

1.2.3.1 İleri Lojistik Ağ Tasarımı

Malların tedarikçiler, üreticiler, distribütörler ve perakendeciler aracılığıyla son müşterilere taşınmasıyla ilgili tüm süreçler analiz edilir. Mal ve ürünlerin üreticiden tüketiciye kadar ulaşmasında depolama, elleçleme, taşıma gibi icra edilen lojistik faaliyetlerin hepsinin organizasyonuna ileriye doğru lojistik ağ tasarımı denmektedir. Lojistik ağları genellikle ileri lojistik dikkate alınarak tasarlanır (Y. J. Lee vd., 2012).

Literatürde ilk olarak, Alfred Weber'in 1909 yılında lokasyon kuramında tesis yeri tespiti için kullanılmasıyla karşılaşılan (Cheong, 2005) LAT problemleri çoğunlukla Karışık Tamsayılı Programlama ile çözülmektedir (Erol, 2017).

Şekil 3: İleri Lojistik Ürün ve Bilgi Akışı



Kaynak: (Tibben-Lembke ve Rogers, 2002)

İleri lojistikte ürünlerin ve bilgilerin, başlangıçtan satışın gerçekleştiği âna kadar olan akışını Şekil 3'te görmek mümkündür. Ürün hareketliliğinin yanı sıra bilgi hareketliliği de sağlanmalıdır. Ürün akış yönünün aksine bilgi akışı her yöne doğru gerçekleşmektedir.

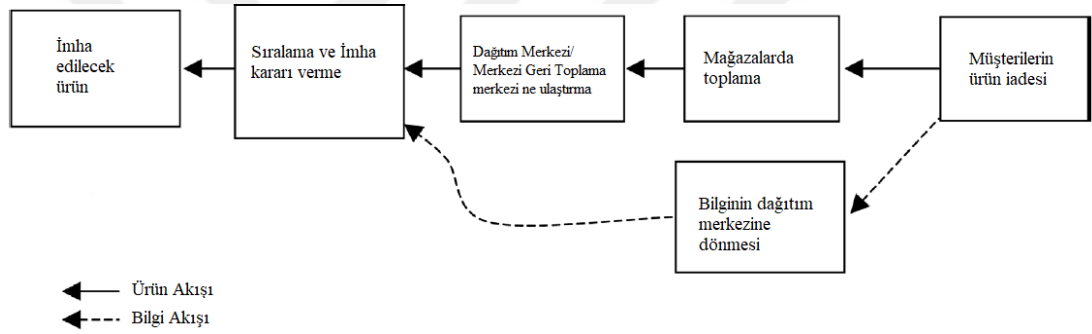
1.2.3.2 Tersine Lojistik Ağ Tasarımı

Tersine lojistik kavramını tanımlayan, bu tür lojistik faaliyetler için çerçeve çizen birçok tanım mevcuttur. İlk tanımı, Lambert ve Stock (1981) tarafından yapılan tersine lojistik kavramı günümüze kadar gelişmesini sürdürmüştür (Rogers ve Tibben-Lembke, 2001). Bu doğrultuda yeni anlamlar yüklenmiş, yeni tanımlamalar yapılmıştır.

Lojistik Yönetim Konseyi, tersine lojistik ile ilgili 1990'lı yıllarda yaptığı ilk tanımlamaya göre müşteriye ürünlerin tesliminden sonra ürünlerin ve kaynakların firmalara geri yönlendirilmesi esnasında gerçekleşen lojistik faaliyetlerdir. Farklı bir bakış açısıyla, malzemelerin onarımı, iadesi, geri dönüşümü gibi amaçlar doğrultusunda tabi tutulduğunda lojistik operasyonlar olarak tanımlanmaktadır (Fleischmann, 2001).

Tersine lojistik, nihai kullanıcılardan ürünlerin geri alınması, bu ürünlerin ekonomiye tekrar kazandırılması aşamalarında yer alan tüm lojistik faaliyetlerin, süreçlerin planlanmasını içerir (Bhaumik, 2015).

Şekil 4: Tersine Lojistik Ürün ve Bilgi Akışı

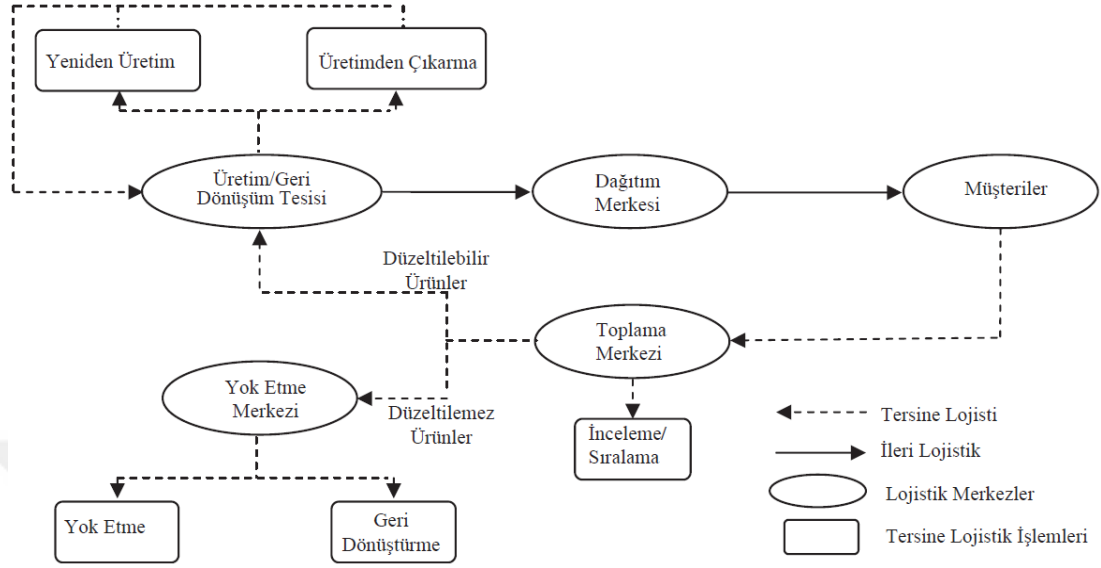


Kaynak: (Tibben-Lembke ve Rogers, 2002)

Tersine lojistikte, başlangıçtan sona doğru ürün ve bilgi akışlarını nasıl gerçekleştiği Şekil 4'te gösterilmiştir.

Lojistik ağ türlerinin ve süreçlerinin ayrı ayrı incelenmesinden sonra bir bütün olarak iki lojistik türünün ve sürecin tamamını Şekil 5'te görmek mümkündür.

Şekil 5: Lojistik Ağ Tasarımı Süreci



Kaynak: (Pishvae vd., 2010)

İleriye doğru lojistik ve tersine lojistik tanımları yapıldıktan sonra, aralarındaki farklılıklar, birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları Tablo 1’de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir (Tibben-Lembke ve Rogers, 2002):

Tablo 1: İleri ve Tersine Lojistik Arasındaki Farklar

İleri Lojistik	Tersine Lojistik
Tahminler göreceli olarak daha belirgindir.	Tahminler daha zordur.
Taşıma, bir kaynaktan çoğa doğrudur.	Taşıma, çok kaynaktan bire doğrudur.
Ürün kalitesi standarttır.	Ürün kalitesi standart değildir.
Ürün paketi sağlamdır.	Ürün paketi çoğunlukla zarar görmüştür.
Gidilecek yer ve rota belirlidir.	Gidilecek yer ve rota belirli değildir.
Kanallar standartlaştırılmıştır.	Standart kanal olmayabilir.
Düzenleme seçenekleri açıktır/nettir.	Düzenleme açık/net değildir.
Genellikle standart fiyatlandırma vardır.	Fiyatlama birçok faktöre bağlıdır.
Dağıtım maliyetleri muhasebe sistemleri ile takip edilebilir.	Tersine lojistik maliyetleri daha az belirgindir.
Stok yönetimi tutarlıdır.	Stok yönetimi tutarlı değildir.
Ürün yaşam döngüsü yönetilebilirdir.	Ürün yaşam döngüsü daha kompleks bir yapıdadır.
Taraflar arası anlaşmalar açık ve anlaşılırdır.	Taraflarla anlaşmalar ilave varsayımlar sebebi ile daha karmaşıktır.
Pazarlama metotları belirlidir.	Pazarlama, birden çok faktörün etkisiyle daha karmaşıktır.
Ürünü izlemek için gerçek zamanlı bilgilere ulaşılabilir.	Süreçlerin izlenebilirliği daha azdır.

Kaynak: (Tibben-Lembke ve Rogers, 2002)

İleri lojistik faaliyetlerinde firmaların mutlak faaliyetleri devam ettiğinden ve ürünlerin tek orijinden birden çok noktaya dağıtılması gerekli olduğundan tersine lojistik faaliyetlerine göre daha avantajlıdırlar. Arzın ayarlanabildiği ve taleplerin öngörülebildiği belirlilik koşulları, ileri lojistik ağlar için önemli avantajlardır.

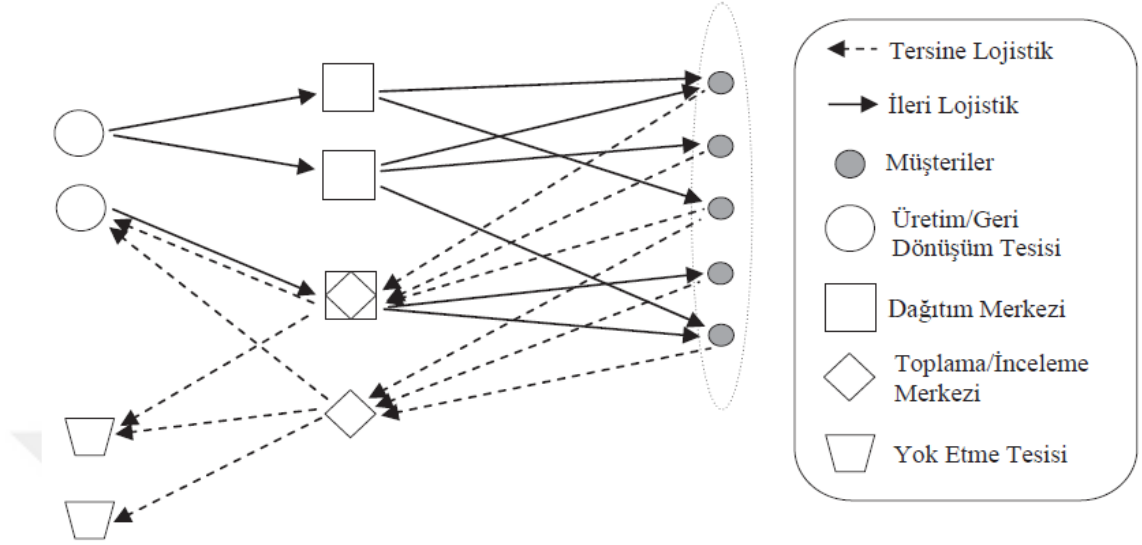
Tersine lojistik faaliyetlerin içermiş olduğu belirsizlikler tahminleri, planlamaları ve kontrolleri daha kompleks hale getirmektedir.

1.2.3.3 Bütünleşik Lojistik Ağ Tasarımı

Bu alandaki çalışmaların çoğunda ileri ve tersine lojistik ağ tasarımları ayrı ayrı ele alınması yüzünden ağ tasarımı tam optimizasyona sağlanamamaktadır. Bunu engellemek, optimal çözüme ulaşabilmek için ileriye doğru ve tersine lojistik birbirleri üzerinde etkiye sahip olduğu durumlarda, ileri ve tersine lojistik ağları entegre edip bütünleşik bir ağ tasarımı yapmak gereklidir (D. H. Lee ve Dong, 2008).

Lojistik Ağ Tasarımının karar aşamalarında yer alan ileri ve tersine lojistik ağların birleştirilmesi ile elde edilen lojistik ağlara Bütünleşik Ağ Tasarımı denmektedir. Bu birleşimde stratejik, taktik ve operasyonel karar aşamaları mevcuttur. Birleştirilecek ağların aynı karar seviyesinde olması durumunda yatay bütünleşme, farklı karar seviyelerinde olması durumunda ise dikey bütünleşme söz konusudur. Bütünleşik ağ tasarımının gösterimini Şekil 6'daki gibi yapmak mümkündür (Pishvae vd., 2010).

Şekil 6: Bütünleşik Lojistik Ağ Tasarımı



Kaynak: (Pishvae vd., 2010)

Lojistik ağ tasarımı problemleri, değişik karar seviyelerinde ele alınan, aşağıda listelenen alt problemlerin birleştirilmesi ile ortaya çıkmıştır (Erol, 2017):

- Tesis Yeri Belirleme Problemleri
- Araç Rotalama Problemleri
- Tesis Atama Problemleri
- Yer – Atama Problemleri
- Yer – Rotalama Problemleri

Bu çalışmanın, yukarıdaki sınıflamalara göre yer-atama problemlerine daha yakın olduğu söylenebilir.

Klasik lojistik ağ tasarımı problemlerinin tanımlamalarını ve sınıflamalarını yaptıktan sonra lojistik kavramının kazanmaya başladığı yeni anlamlara da değinmek gerekmektedir.

Endüstri 4.0 yaklaşımı ile birlikte sürekli artan ve değişen ihtiyaçlarla karşılaşan lojistik sektörü de bu teknolojik değişime ayak uydurmak durumundadır. Bu doğrultuda gelişen Lojistik 4.0 yaklaşımı, lojistik faaliyetlerinden daha fazla veri elde etme ve bu verileri hem anlık hem de çift yönlü olarak işleyebilme yeteneğini

gerekli kılmaktadır. Teknolojik altyapının bu istenenlere cevap verdiği günümüzde, ağ tasarımlarının kalitesini yapılan analizler, verilen kararlar belirlemektedir.

Kâr amaçlı işletmelerin dışında, hizmet amaçlı kamu ve sivil kuruluşlar da aynı lojistik altyapı ile farklı amaçlarda faaliyetlerini sürdürmektedirler. Amaç fonksiyonun farklılaşması dışında, yukarıda işletme lojistiği için yapılan tüm tanımlamalar kamu kurum ve kuruluşları için de geçerlidir.

Afet lojistiği problemleri incelendiğinde, lojistik ağ tasarımı kapsamında ele alınması gereken sorunların olduğu gözlenmektedir. Afet durumlarında ihtiyacın olduğu bölgelere yardımın ulaştırılması, yaralıların hastanelere ulaştırılması, tesisi lokasyonlarını belirlenmesi, araç rotaların belirlenmesi, gerekli depo yerlerinin tespiti ve güzergâh üzerinde yer alan her türlü risk unsurunun hesaplanarak karar verilmesi de ağ tasarımının ilgilendiği problemler dahilindedir.

Bu çalışma kapsamında afet sonrası yaralıların hastanelere taşınması problemi konu edinilmiş, minimum sürede en çok hastanın taşınması hedefi için optimizasyon modeli kurulmuştur.

İKİNCİ BÖLÜM

AFET LOJİSTİĞİ

Afetler; bir bölgenin kendi imkanları ile üstesinden gelme becerisini aşan, büyük ölçekli ekonomik, sosyal ve çevresel kayıplara neden olan, toplumdaki günlük işleyişi bozan ani, felaketli olaylardır. Genellikle doğadan kaynaklı olsa da insan kaynaklı afetler de olabilir. (IFRC, 2020b)

Afet, Dünya Sağlık Örgütü tarafından etkilenen topluluk veya bölge dışından olağanüstü bir müdahaleyi mecbur etmeye yetecek ölçekte hasara, yıkıma, ekolojik bozulmaya, can kaybına, insanların acı çekmesine, sağlık hizmetlerinde bozulmalara sebep olan herhangi bir olay olarak tanımlanır. Nedenleri arasında depremler, kasırgalar, volkanik patlamalar, yangınlar, seller, kar fırtınası, kuraklık gibi doğal nedenlerin yanı sıra terörizm, kimyasal dökülmeler, nükleer kazalar gibi insan kaynaklı olayların da yer aldığı afetlerin tümü can kayıplarına, yaralanmalara ve maddi hasarlara sebep olmaktadır (Barbarosoğlu ve Arda, 2004).

Afetler sebebiyle, on binlerce ölü ve milyarlarca dolarlık zararın oluşması, birçok disiplin tarafından incelenmesi gereken önemli sorunların varlığına işaret etmektedir. Afetlerin etkilerinin, sorunlarının görünüşte rassallığı ile birlikte olayların benzersizliği, dinamik yapısı gerçek zamanlı, etkili ve uygun maliyetli çözümler gerektirir. Bu kıstaslar da konuyu yöneylem araştırması için çok uygun bir hâle getirir. (Altay ve Green, 2006)

Afet mağdurlarına tıbbi yardım, ekipman ve insani yardım malzemelerinin taşınmasında önemli lojistik dağıtım gerektiren olağanüstü durumlardır (Berkoune vd., 2012). Literatürde bu lojistik sorunun çözümü için yapılan birçok çalışma mevcuttur.

Etkili bir müdahale afetlerin sosyal, ekonomik ve çevresel etkilerin azaltılmasına yardımcı olur. Bu nedenle afetlerin etkilerini azaltma ve bu tür olaylara yapılan müdahaleleri iyileştirmek amacıyla yapılan birçok çalışmaya literatürde rastlanmıştır.

Afetlerin yoğun olarak yaşandığı ülkemizde, afetlerin sosyal ve ekonomik hayattaki olumsuz etkilerini azaltmak için afet öncesi ve afet sonrası süreçleri iyileştirmeye yönelik araştırmaların yapılması büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada konu edinilen deprem sonrası yaralı lojistiği, can kayıplarını azaltmaya yönelik bir model önerisi geliştiren mahiyetiyle süreç iyileştirmesine katkı sağlamaktadır.

2.1 Afet Türleri ve Sınıflaması

Dünyada günümüze kadar yaşanan afetler incelendiğinde gerçekleşme zamanı, gerçekleşme sebebi, oluş şekilleri ve etkileri gibi birçok farklı niteliğe sahip oldukları görülmektedir. Bu yüzden afetler tanımlanırken ve sınıflanırken farklı boyutları ile değerlendirilmektedir. Bu amaçla yapılan birçok sınıflamaya göre afetler; *Doğal Afetler* ve *Teknoloji veya İnsan Kaynaklı Afetler* olmak üzere iki ana başlıkta toplanmıştır.

Doğal afetler; jeofizik (depremler, heyelanlar, tsunamiler ve volkanik aktivite), hidrolojik (çığlar ve seller), iklimsel (aşırı sıcaklıklar, kuraklık ve orman yangınları), meteorolojik (siklonlar ve fırtınalar/dalga dalgalanmaları) veya biyolojik (salgın hatalıklar ve böcek / hayvan vebaları) olabilen fiziksel olaylardır (IFRC, 2020a; NPower, 2010; Wikipedia, 2020).

Teknoloji veya insan kaynaklı afetler ise (karmaşık acil durumlar/çatışmalar, kıtlık, yerinden edilmiş nüfuslar, endüstriyel kazalar ve ulaşım kazaları) insanların neden olduğu ve insanların yaşam alanlarında meydana gelen olaylardır. Teknoloji veya insan kaynaklı tehlikeler çevresel bozulmayı, kirliliği ve kazaları içerebilir. Bu olaylar gerçekleşme süresi baz alındığında, hızlı (ani) başlayan veya yavaş başlayan olaylar olarak da ayrı bir sınıflandırmaya tabi tutulabilirler (IFRC, 2020a).

Ana başlıklar altında yer alan afet türleri detayları ile birlikte Tablo2’de düzenlenmiştir.

Tablo 2: Afet Türleri Sınıflaması

Tür	Sınıf	Felaket	Tanım
Doğal	Jeofiziksel	Deprem	Yeraltındaki volkanik kuvvetlerin neden olduğu kaya kırılmaları sonucunda yer kabuğunun sallanması ile oluşan sallantıdır.
		Heyelan	Kaya düşmeleri, yamaçların derin çökmesi ve sığ enkaz akışları gibi bir dizi yer hareketini içeren jeolojik olay.
		Tsunami	Genellikle depremler, volkanik patlamalar, su altı patlamaları, toprak kaymaları, göktaşı çarpmalarının neden olduğu büyük hacimli bir su kütleinin hareketiyle kıyılara kuvvetli bir şekilde çarpan büyük dalgalardır.
		Volkanik Püskürme	Bir volkandan sıcak magma, volkanik kül ve/veya gazların salınması olayıdır.
		Limnik Patlama	Derin göl suyundan ani karbondioksit püskürmesi.
	Hidrolojik	Çığ	Doğal veya yapay tetikleyicilerin kar birikintilerine aşırı yüklenmesiyle yokuştan aşağı gelen ani ve şiddetli kar akışı.
		Sel	Yağan yağmurla küçük dereler, oluklar, kuru dere yatakları, vadiler, menfezler ve hatta alçak alanların hızla su basmasıyla oluşur.
	İklimsel	Dondurucu Yağmur	Dış yüzey sıcaklığı donma noktasının altına düştüğünde oluşan yağmur.
		Kar Fırtınası	Çok kuvvetli rüzgarlar ve düşük sıcaklıklarla karakterize şiddetli bir kar fırtınası.
		Orman Yangınları	İssız alanlardan çıkan ve ıssız alanlara yayılma riski oluşturan yangınlar.
		Sıcak Hava Dalgası	Bir bölgenin olağan hava düzenine ve mevsim içi normal sıcaklıklara göre uzun süreli aşırı sıcak hava.
	Meteorolojik	Fırtına	Şiddetli yağmurlar ve sert rüzgarlar.
		Kasırga	Şiddetli fırtına bulutu sistemlerinden aşağı inen şiddetli dönen hava sütunları.
		Şimşek Çarpması	Yıldırımın neden olduğu elektrik boşalması, tipik olarak gök gürültülü fırtınalar sırasında.
	Biyolojik	Salgın Hastalıklar	Popülasyonda, geçmiş tecrübelerle göre beklenenden fazla etkili olan hastalıktır.
		Böcek/Hayvan Vebası	İnsanları, hayvanları, mahsulleri ve malzemeleri etkileyen yaygın akın ve böceklerin veya parazitlerin gelişimi.
İnsan veya Teknoloji Kaynaklı		Biyoterörizm	Bir tehdit aracı olarak biyolojik ajanların kasıtlı olarak serbest bırakılması veya yayılması.
		Terör Saldırısı	Bazı kişi ve/veya gruplara karşı girişilen, sistemli şiddet eylemleridir.
		Savaş	Savaş; ülkeler ya da bloklar arasında gerçekleşen topyekûn silahlı mücadeledir.
		Sivil Huzursuzluk	Oturma eylemleri, diğer engel biçimleri, sabotajlar ve diğer suç türlerini içerebilen genel kaosa dönüşebilen bir grup insanın neden olduğu rahatsızlık türü.
		Yangın (Şehir)	Sık yapılan binalar sebebiyle, yangınların engellenemez biçimde yayılması
		Endüstriyel Kazalar	Altyapı arızaları veya belirli insan faaliyetlerinden kaynaklanan çok sayıda can kaybına, maddi hasara, çevresel bozulmaya, sosyal ve ekonomik bozulmaya, neden olabilecek tehlikeli kazalardır.
		Ulaşım Kazaları	Mekanize ulaşım modlarını içeren teknolojik ulaşım kazalarını tanımlamak için kullanılan afet tipidir.
		Kıtlık	Şiddetli kuraklık, su kaynaklarının kötüye kullanılması/kötü yönetilmesi gibi durumların yaşandığı ayrıca çatışmaların devam ettiği yerlerde, gıda hem mevcut olmayabilir (yetersiz üretim) hem de erişilemez (tüketicilerin satın alma gücünün ötesinde dağıtım sorunları) olabilir.
		Güç kesintisi	Fırtına, yıldırım veya iş makinelerinin yanlış yerde kazı yapması nedeniyle yaşanan büyük arızalar.

Kaynaklar: (IFRC, 2020a)(Wikipedia, 2020)(NPower, 2010)

Not: Uluslararası Kızılhaç ve Kızılay Dernekleri Federasyonu (IFRC), Wikipedia ve Npower'ın afet ayrımlarından istifade ederek oluşturulmuştur.

Tablo 2’ye göre afetler, öncelikle doğal ve insan/teknolojik kaynaklı olarak ikiye ayrılmış, diğer afet türleri de alt başlıklar altında kategorilere ayrılmış ve detaylandırılmıştır.

Oluş sebeplerine göre Doğal ve İnsan-Teknoloji kaynaklı olarak ikiye ayrılan afetler, ayrıca Van Wassenhove (2006) ve IFRC tarafından gerçekleşme zamanlarına göre de sınıflandırılmıştır.

Tablo 3: Gerçekleşme Zamanlarına Göre Afetler

	Doğal	İnsan Kaynaklı
Ani Başlayan	Deprem	Terör Saldırısı
	Heyelan	Kimyasal Sızıntı
	Fırtına, Kasırga	Nükleer ve radyasyon kazaları
	Çığ	Güç kesintisi
	Sel	Yangın (Şehir)
	Tsunami	Endüstriyel Kazalar
	Volkanik püskürme	Tehlikeli malzeme yayılımları
	Şimşek çarpması	
	Kar Fırtınası	
	Yangın (Doğa)	
	Dondurucu Yağmur	
	Sıcak hava dalgası	
Yavaş Başlayan	Kıtlık	Politik Kriz
	Kuraklık	Mülteci Krizi
	Yoksulluk	Savaş
		Biyoterörizm

Kaynak: (AFAD, 2021; IFRC, 2020a; Van Wassenhove, 2006; Wikipedia, 2020)

Tablo 3’de belirtilen, “Ani Başlayan” ve “Yavaş Başlayan” afet kategorileri IFRC ve Van Wassenhove (2006) tanımlamalarından derlenerek elde edilmiştir.

Coğrafi konum olarak kuzey yarım kürenin orta kuşağında yer alan ülkemiz yukarıda sınıflandırılmış olan afet türlerinin hemen hemen hepsinin muhatabıdır. Bazı afet türleri ülke coğrafik yapısına uygun olarak daha sık görülmekte ve etkileri çok büyük olmakta, bazı afet türleri nadiren görülmekte ve insanları az az etkilemektedir. Bu bağlamda, depremler ülkemizde sık görülen, en çok can kaybına sebep olan ve en çok maddi hasar veren afetlerin başında gelmektedir.

Ülkemizde, 20. yüzyılın başında günümüze (2008) kadar, 120 binden fazla kişi doğal afetler nedeniyle hayatını kaybetmiş, 250 binden fazla insan ise ağır yaralanmış ve sakat kalmıştır. Doğal afetlere bağlı nedenlerle ülkemizde gerçekleşen ölümlerin, %65'i depreme, %15'i heyelana, %12'si su baskınlarına, %7'si kaya düşmesi, %1'i de çık düşmesine bağlıdır (Yalbaz, 2008).

Ülkemizde meydana gelen afetlerde en büyük kayıpların Deprem kaynaklı olması, deprem etkisinin azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılması gerektiğinin önemli bir göstergesidir. Deprem sonrasında müdahale ve iyileştirme çalışmalarının aksatılmadan yürütülmesi için deprem öncesinde planlama ve hazırlıkların iyi yapılması gerekmektedir. Bu sebeplerle, çalışmada doğal afetlerden “deprem” konusu işlenmiş, deprem sonrasında yaralıların taşınması problemi ele alınmıştır.

2.1.1 Deprem

“Deprem, yer kabuğunun tektonik kuvvetlerin veya volkan faaliyetlerinin etkisiyle kırılması sonucunda ortaya çıkan enerjinin sismik dalgalar hâlinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yeryüzünü kuvvetle sarsması olayıdır” (AFAD, 2020a).

Baskı altında kırılan kayaların oluşturduğu titreşimlerden meydana gelen depremlerin şiddeti, sismik dalgaların ölçülmesi ve sismografin deprem bölgesine uzaklığı kullanılarak tespit edilmektedir. Depremi şiddet büyüklüğündeki her birimlik artış, 30 kat daha fazla enerjinin ortaya çıkmasına denk gelmektedir. Örneğin 6 şiddetindeki bir depremde, 5 Şiddetindeki bir depreme kıyasla 30 kat daha fazla enerji çıkar. 7 Şiddetindeki bir depremde ise 5 Şiddetindeki depreme kıyasla 900 kat (30*30) daha fazla enerji çıkar (NSHA, 2020).

Türkiye’de yaşanan afetlerin yüzdesel dağılımlarında da görüldüğü üzere ülkemizde en çok etkilenilen afet olayları depremlerdir. Her yıl 3000- 4000 yer sarsıntısının kaydedildiği Türkiye’de nüfusunun %95’i, topraklarının %91’i, barajlarının %92’si, sanayisinin %92’si (%74’ü birinci derece) deprem kuşağında yer almaktadır. 1900 yılından günümüze kadar 50’den fazla yıkımlı deprem yaşanmıştır. 50 milyon insanın doğrudan etkilendiği bu depremlerde, 100 binden fazla insan ölmüş ve yaklaşık 250 bin kişi ağır yaralanmış ve sakat kalmıştır. Ülkemizde

ortalama olarak her 10-11 aylık periyotlarla hasarlı depremler yaşanmaktadır (Akdur, 2000).

Depremi ülke insanına ve ülke ekonomisine etkileri göz önüne alındığında, depremle mücadelenin çok boyutlu yapısı ortaya çıkmaktadır. Can kayıplarının yanı sıra büyük ölçekte maddi hasarlara da neden olan depremlerle mücadele insani zorunluluğun yanı sıra ayrıca ekonomik bir gerekliliktir. Bu sebeple çok boyutlu afetler olan depremler, kapsamlı ve bütüncül bir bakış açısı ile alınmalıdır.

Deprem öncesi tahmin, planlama, düzenleme gibi hazırlıklarla; deprem sonrası yeterli müdahale ve iyileştirme çalışmalarıyla depremin etkilerini azaltmak mümkündür. Bir deprem ülkesi olarak Türkiye, bu çalışmalar sayesinde can kayıplarını minimuma indirebilir, ekonomik kayıpların azaltabilir.

Depremler nedeniyle, ülkemizde yıkılan bina sayısı bir milyonu aşmıştır. Beş milyon kişinin evsiz kaldığı, binlerce iş yerinin kapandığı, yüzlerce sanayi tesisinin hasar gördüğü, çok sayıda araç kaybedildiği depremlerde milyarlarca dolar değerinde maddi kayıp oluşmuştur. Bu kayıplar sebebiyle acil hasarların karşılanmasına yapılan harcamalar 1925' yılından 2001 yılına kadar ortalama her yıl GSMH'nin %2'sinden fazlasına takabül etmektedir (Esin vd., 2001).

Türkiye'de deprem denildiğinde akla ilk gelen 17 Ağustos 1999 tarihinde gerçekleşen, Kocaeli-Gölcük depremidir. Aynı sene içerisinde gerçekleşen Richter ölçeğine göre 7,4 şiddetinde meydana gelen depremde 18.373 kişi hayatını kaybetmiş, 48.901 kişi yaralanmış, 505 kişi sakat kalmıştır. Deprem sonucunda 96.796 konut ve 15.939 iş yeri yıkılmış, 107.315 konut ve 16.316 işyeri orta derecede hasar almış, 113.382 konut ve 14.657 iş yeri hafif hasar almıştır (T.B.M.M., 2010).

17 Ağustos Gölcük depreminde çok sayıda can kaybının yaşanması, yaralı sayısının yüksek olması ve yıkılan bina sayısının fazla olmasında depremin şiddeti ve binaların çürük olmasının yanı sıra bölgedeki nüfusun yoğunluğu da etkili olmuştur. Bölgedeki nüfus yoğunluğu, dolayısıyla bölgenin sanayi ve ticaret merkezi olması depremin maddi zarar boyutunu artıran önemli faktörlerdir.

OECD Ekonomi Departmanı'nın 2000 yılında yaptığı bir çalışmaya göre, 1999 Gölcük ve Düzce depremlerinin, refah ve gelir faktörlerinde sebep olduğu kayıp 5- 14 milyar dolar seviyesindedir. Bu rakamın büyük miktarını, 3- 10 milyar dolar aralığı ile maddi sermaye değerlerindeki kayıplar oluşturmaktadır. Bu rakamın bir kısmını konut ve yatırım sektörlerindeki zararlar, bir kısmını da altyapı sistemindeki zararlar oluşturmaktadır (Bibbee vd., 2000).

Depremlerin büyüme üzerine etkisini araştıran 2000 yılındaki Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) raporuna göre, 1999 yılında etkisi % -1, kamu finansmanı üzerindeki yükü ise 6,2 milyar dolar olarak hesaplanmıştır (DPT, 2000).

Ölümcül ve yıkıcı sonuçlarıyla depremlerin Türkiye için diğer tüm afet türlerinden daha çok etkiye sahip olduğu görülmektedir. Alınan tedbirlerin, yapılan planlamaların bu etkiye nispetle güçlü ve efektif olması gerekliliktir. Bu doğrultuda, çalışmada deprem sonrasında yaşanan can kayıplarının azaltması hedefiyle, ağır yaralı hastaların taşınması problemini optimize etmek için bir çözüm modeli geliştirilmiştir.

2.1.1.1 İstanbul ve Beklenen Deprem

Coğrafi olarak Marmara Bölgesi içinde bulunan İstanbul, Türkiye'nin en büyük şehri, en büyük ekonomi ve yaşam merkezidir. İstanbul, 15.519.267'luk nüfusu ile Türkiye nüfusunun (83.154.997) %18,66'sının yaşadığı en kalabalık ildir (TÜİK, 2020).

Türkiye'deki toplam ihracatın yüzde 49,4'ünü, toplam ithalatın yüzde 52,2'sini (2019) tek başına gerçekleştiren; yüzde 31,0 ile Gayrisafi Yurt İçi Hasıladan en yüksek payı alan İstanbul ülke içerisinde birçok alanda Türkiye'nin en stratejik ili konumundadır (İBB İstatistik Ofisi, 2020; TÜİK, 2019).

Kara, deniz ve hava ticaret yollarının birleştiği önemli stratejik konumu ile birlikte bir deprem bölgesi üzerinde konumlanan İstanbul için tüm boyutlarıyla iyi çalışılmış bir deprem planlaması kaçınılmazdır. Geçmiş yıllardan günümüze birçok depremin gerçekleştiği İstanbul'da, çok büyük yıkımlar yaşanmıştır.

17 Ağustos 1999 Gölçük Depremi sonrası, Türk-Fransız jeolog ve jeofizikçilerce Marmara Denizi'nde yapılan ortak araştırmalar sonucunda; İzmit Körfezinden Saroz Körfezine doğru uzanan yaklaşık 200 km uzunluktaki fay hattının harekete geçmesiyle 7,7 şiddetinde bir deprem beklenmektedir. Bu şiddette bir depremin 30 yıl içinde gerçekleşme olasılığı ise %65 olarak tahmin edilmektedir (BOUN vd., 2003).

Beklenen İstanbul depreminin şiddeti ve sonuçlarının yıkıcı etkileri üzerine çalışan bilim adamları tarafından analizler yapılmış, simülasyonlar çalıştırılmış ve tahminlerde bulunulmuştur. Bu çalışmalar neticesinde hazırlanan raporlar, hasarlı ve yıkılacak bina sayısının yanı sıra beklenen can kayıpları ve yaralı sayılarına yönelik çok detaylı tahminler içermektedir. Bu raporlara ve detaylarına ilişkin bazı bilgiler tezin ilgili bölümlerinde paylaşılmıştır.

1998 yılında yürürlüğe giren deprem haritasına göre İstanbul 4 dereceli deprem kuşağına bölünmüştür. Bu sınıflandırmaya göre Tuzla İlçesi en riskli 1. Grup içerisinde yer almıştır (Kaya, 2000). Bu sebeple çalışmada, yüksek risk unsurlarını barındıran İstanbul İli Tuzla İlçesi örnek olarak seçilmiştir.

Tuzla İlçesi, Marmara Bölgesinin Kocaeli Yarımadasının güneybatısında kalan İstanbul'un Anadolu Yakasındaki en uç bölgesidir. Kuzeyi ve batısı Pendik İlçesi sınırlarıyla çevrelenen Tuzla'nın doğusunda Gebze İlçesi (Kocaeli) güneyinde ise Marmara Denizi bulunmaktadır. Marmara Denizinde 13 km kıyı uzunluğuna sahip ilçenin yüz ölçümü 123 km² olup 16 mahallesi bulunmaktadır. 2019 yılı TÜİK verilerine göre ilçenin nüfusu, 267.400'dür (İBB ve BOUN, 2020b).

2.2 Afet ve Acil Durum Yönetimi

AFAD'ın tanımlamasına göre, büyük olmasına rağmen genellikle yerel imkânlarla baş edilebilen çapta, ivedilikle müdahale gerektiren tüm olaylar ve hâller acil durum olarak nitelendirilmiştir. Acil durum yönetimi ise, olayın meydana gelmesinin akabinde başlayarak, etkilenenlerin tüm ihtiyaçlarını hızlı, etkili bir şekilde zamanında karşılamayı amaçlayan yönetim sürecine denir. Aynı zamanda süreklilik arz etmeyen, acil durum zamanlarında gereken, oluşma sebepleri ortadan

kalktığında ve etkileri giderildiği zaman sona eren bir yönetim şeklidir. (AFAD, 2020a).

Afet yönetimi; toplumların maruz kaldığı her türden afetin fiziki, sosyal, ekonomik ve psikolojik muhtemel kayıpların minimize edilebilmesi için her türlü kaynağın mühendislik, planlama ve iş modeli yönetenlerin eş güdüm halinde kullanıldığı çok parametrelili dinamik bir yönetim şeklidir. (Mehmet Tanyaş vd., 2012).

Afetle yönetim afet sonrası kurtarma, ilk yardım ve iyileştirme gibi faaliyetlerle sınırlı bir şekilde algılanmamalıdır. Afet yönetim süreci afet öncesinde, afet esnasında ve afet sonrasında yapılması gerekenler olmak üzere çok daha geniş sınırlara sahiptir. Afetlerde can kaybının ve maddi hasarların azalmasını sağlayacak olan en önemli faaliyetler önceden yapılmış olan hazırlıklar ve planlamalardır. Afet sonrası müdahale ve kurtarma çalışmaları mevcut durumu iyileştirme çabalarının etkisi sınırlı olmaktadır.

Afet yönetiminin genel kabul görmüş uluslararası tanımına göre; öncesinde afetleri önlemek ve zararlarını azaltmak için çalışmak, afet anında arama kurtarma, ilk yardım ve insani yardımların hızlıca ulaştırılmasını sağlamak, sonrasında ise yaraların sarılması, normale dönüşün sağlanması için toplumun tüm imkân ve kaynaklarının optimum biçimde kullanılmasını, yönetilmesini gerektiren genel bir kavramdır (Ergünay, 2005).

Birbirine yakın yukarıdaki tanımlamalardan da anlaşıldığı üzere afet yönetimi; afet anında ve hemen sonrasında acil kriz yönetimi gerekli olsa da afet öncesi ve sonrası eylemlerin planlanması açısından süreklilik arz etmektedir. Parametrelerin değişken yapısı ve sürecin dinamikliği esnek ve uzun soluklu bir yönetim faaliyetini zorunlu kılmaktadır. Sağlıktan kurtarma çalışmalarına, eğitimden imar planlarına, ulaşımdan güvenliğe birçok alanı ilgilendiren; birçok kurum, kuruluş ve sivil toplum örgütlerinin içinde olduğu etkileşimli ve çok paydaşlı bir yapıya sahiptir (Mehmet Tanyaş vd., 2012).

Afetler, acil olaylara nazaran daha kapsamlı, yerel müdahaleler ile çözülemeyecek boyutta, ulusal ve/veya uluslararası destek gerektiren durumlardır.

Bu sebeple acil durumlara göre yönetilmesi daha zor süreçlerdir. Sürecin karmaşıklığı, dinamik yapısı ve bilinmezliği göz önüne alındığında, afet öncesinde hazırlığın önemi anlaşılmaktadır. Olası tüm senaryolar dikkate alınmalı en kötü senaryolara göre her daim hazır olunmalıdır. Bu doğrultuda, afet yönetim süreçlerindeki faaliyetlerin planlarının ve koordinasyonunun etkin bir şekilde yapılması gerekmektedir.

Afetle mücadele ve afetlere müdahale planlarının ulusal ölçekte yapılması, tüm imkanların seferber edilmesi, ülke kaynaklarının etkin kullanılması adına elzemdir. Bununla beraber muhtemel uluslararası yardımların, afet müdahale sisteminin bir parçası olarak tasarlanması afetlere müdahale kapasitesini artıracak, etkinliği artıracak, kayıpları azaltacak önemli bir afet yönetim modelidir.

Risk yönetimi ve kriz yönetimi olmak üzere afet yönetim sisteminin iki boyutu vardır. Afet öncesi hazırlık çalışmalarını kapsayan risk yönetimi faaliyetleridir. Kriz yönetimi aşaması, afet olduğu esnada ve sonrasında yürütülecek olan faaliyetlerdir. Risk yönetiminin iyi planlanmış olması, kaynakların (personel, malzeme, tesis, araç, vb.) dağıtımı ve tesis yerlerinin belirlenmesi kriz yönetimi faaliyetlerinin başarısını etkileyecek, stratejik öneme sahip yönetim unsurlardan biridir (Gümüşbuğa, 2012)

Afet yönetim sistemi; afet öncesinde, afet esnasında ve afet sonrasında yapılacak olan faaliyetler bütünü olarak ayrıca dört temel aşamada sınıflandırılmaktadır. Bu aşamalar, örnek faaliyetleri ile birlikte aşağıda tablolastırılmıştır (Altay ve Green, 2006):

Tablo 4: Afet Yönetim Sürecinin Aşamaları

Azaltma	Müdahale
• Afetin yıkıcı güçlerini saptırmak için bariyer yapmak. • Yüksek tehlikeli alanların işgal edilmesini önlemek için imar ve arazi kullanımını kontrol etmek. • Gelişen durumları kontrol etmek için aktif önleyici tedbirler almak. • Yapıların afetlere karşı direncini artırmak için kodlar oluşturmak. • Vergi teşviklerine veya caydırıcılara başvurmak. • Olaylardan sonra yeniden oluşturma üzerindeki kontrolleri sağlamak. • Olası aşırı tehlikeleri ölçmek için risk analizi yapmak. • Afetlerin mali etkisini azaltmak için sigorta yapmak.	• Acil durum operasyon planını etkinleştirmek. • Acil durum operasyon merkezinin etkinleştirmek. • Tehdit altındaki nüfusu tahliye etmek. • Barınaklar açmak ve toplu bakım imkânı sağlamak. • Acil kurtarma ve tıbbi bakım hizmetleri sunmak. • Yangınla mücadele etmek. • Kentsel arama ve kurtarma faaliyetleri yürütmek. • Acil durum altyapı koruması ve cankurtaran hattı hizmetleri kurmak. • Ölülerin defin süreçlerini yönetmek.
Hazırlık	Kurtarma
• Acil servisler ve gönüllü toplum kuruluşları için personel almak. • Acil durum planlaması yapmak. • Karşılıklı yardım anlaşmaları ve mutabakat muhtıraları geliştirmek. • Hem müdahale personeli hem de ilgili vatandaşlar için eğitim vermek. • Tehdit temelli halk eğitimi vermek. • Araç ve ekipmanı bütçelendirmek ve satın almak. • Acil durum malzemelerine bakım yapmak. • Acil durum operasyon merkezinin inşa etmek. • İletişim sistemlerinin geliştirilmek. • Personeli ve test kabiliyetlerini eğitmek için afet tatbikatları yapmak.	• Yolları, köprüleri ve kilit tesisleri yeniden inşa etmek. • Bireylere ve yerel yönetimlere mali yardım etmek. • Afet enkazını temizlemek. • Yerinden edilmiş insan ve hayvan popülasyonları için sürekli kitle bakımı yapmak. • Yaşam hattı hizmetlerinin tam restorasyonunu sağlamak. • Yerinden edilmiş insan kalıntılarının yeniden gömülmesini sağlamak. • Ruh sağlığı ve pastoral bakım hizmetlerini yürütmek.

Kaynak: (Altay ve Green, 2006)

Doğal afetlere yönelik bilimsel çalışmalar sayesinde, afetlere ait bazı parametreler hakkında bilgiler edinilmiştir. Birçok doğal afetin meydana gelişindeki fiziksel sebepler incelenmiş ve tespit edilmiştir. Buna rağmen bazı parametreler hakkında tahminlerden daha öteye gitmek şimdilik mümkün olmamıştır. Bu amaçla, bilinmeyen afet parametreleri için yeni tahmin modelleri ve simülasyon çalışmaları yapılmaktadır.

Tablo 4'te yer alan afet yönetim sürecinin aşamalarından "Hazırlık" ve "Azaltma" aşamaları, afetlerin gerçekleşme sürelerini ve etkilerini tespit edebilmek için tahmin modellerinin yoğun olarak kullanıldığı aşamalardır.

Bu çalışmada, muhtemel İstanbul Depremi için yapılan tahminler kullanılarak afet yönetiminin “Müdahale” aşamasında yer alan “*Acil kurtarma ve tıbbi bakım hizmetleri*”nin ağır yaralı insanlara hızlı bir şekilde ulaştırılması amaçlanmıştır.

2.2.1 İlgili Kurum ve Kuruluşlar

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de afet ve acil durumlar için oluşturulmuş yönetim sistemleri mevcuttur. Afet yönetim sisteminin bir ayağını devlet kurum ve kuruluşları oluştururken diğer ayağını sivil toplum örgütleri oluşturmaktadır.

Ülkemizde bu alanda devlet teşekkülü olarak AFAD, Ulusal Medikal Kurtarma Ekibi (UMKE), TSK Doğal Afetler Arama Kurtarma Tabur Komutanlığı (DAK), Jandarma Arama Kurtarma (JAK), İBB Afet Koordinasyon Merkezi (AKOM), belediye itfaiye ekipleri gibi afet sonrası müdahalede görev alan birçok kamu kurum ve kuruluşu mevcuttur.

Öte yandan kâr amacı gütmeyen Türk Kızılayı, Acil ve Afet Derneği (ACAT), AKUT Arama Kurtarma Derneği, Türkiye Deprem Vakfı, Acil Yardım ve Afet Yöneticileri Derneği (Ayayder), İnsan Hak ve Hürriyetleri İnsani Yardım Vakfı (İHH) ve Sınır Tanımayan Doktorlar (MSF) gibi dernekler de afetle mücadelede kamu kurumlarına yardımcı olmaktadır.

- **Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD)**

5902 sayılı kanunun 17 Haziran 2009'da Resmî Gazete'de yayımlanmasıyla kurulan Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD); “İçişleri Bakanlığı Sivil Savunma Genel Müdürlüğü (SSGM) ve Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Genel Müdürlüğü (TAY) yerine kurulan afet ve acil durum yönetimi kurumudur. Kurum Türkiye Cumhuriyeti İçişleri Bakanlığı'na bağlı olarak çalışmaktadır.” Kurumun temel görev ve amacı afet öncesi hazırlık ve zarar azaltma, afet esnasında yapılacak müdahale ve afet sonrasındaki iyileştirme çalışmalarının yönetim ve koordinasyonunu gerçekleştirmektir (T.C. Resmi Gazete, 17 Haziran 2009, Sayı: 27261).

Etkili bir afet yönetim sistemi kurulması amacıyla üç farklı bakanlık bünyesinde bulunan kurumlar tek çatı altında birleştirilmiş ve ulusal ölçekte afet yönetiminin tek merkezden yönetilmesi suretiyle etkinliğin artırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda AFAD bünyesinde, ulusal ölçekte tüm kaynak ve imkanların eşgüdüm halinde seferber edileceği, afet öncesi tahminlerin, planların paylaşıldığı görev ve sorumlulukların dağıtıldığı projeler hazırlanmıştır.

Türkiye Afet Müdahale Planı (TAMP)

TAMP, Türkiye'de yaşanabilecek afet ve acil durumlara, her tür ve ölçekte müdahale edecek, kamu kurum ve kuruluşları, özel sektör, sivil toplum örgütleri ve gerçek kişileri kapsayan bir afet yönetim planıdır. Tüm kaynakların ve paydaşların entegrasyonu ve modüler yapısıyla afet esnasında faaliyet risklerini minimize eden afetlere müdahale süreçlerini kolaylaştıran bir sistemdir (AFAD, 2013).

Merkezde ilgili bakanlıklar, illerde ise İl Afet Müdahale Planı kapsamında Valilik İl Afet ve Acil durum Müdürlükleri TAMP'a uygun olarak afet yönetim sürecinin yürütülmesini sağlar. TAMP, bu amaçlara uygun olarak tasarlanmış, afetlere müdahale aşamasında görev alan tüm birimlerinin rolleri, görev ve yükümlülükleri tanımlamıştır (AFAD, 2013).

Afet ve acil durum olaylarında kriz yönetim sürecini kolaylaştıran, atılması gereken adımların planlandığı TAMP sayesinde eldeki personel, malzeme, teçhizat gibi imkân ve kabiliyetlerin ihtiyaç duyulan yerlere gerçek zamanlı olarak sevk edilebilir olmasıyla afetlere müdahalede etkinlik seviyesinin artırılması hedeflenmiştir.

Afet Yönetim ve Karar Destek Sistemi (AYDES)

Afet Yönetimi ve Karar Destek Sistemi (AYDES), TAM'ın uygulanmasında ihtiyaç duyulan bilgilerin afet öncesinde toplanarak, afet esnasında ve sonrasında gerçek verilerle karar alma imkânı sunan bir bilgi sistemidir.

AYDES, afetlere müdahale aşamasında ilgili kurum ve kuruluşların talep ve kaynak bilgilerini işleyip paylaşabilecekleri bir sistemdir. Kurumları kaynaklarını

taleplere göre değerlendirilmesine olanak sağlayan web tabanlı merkezi bir karar destek sistemidir (AFAD, 2020b).

Afet ve acil durumlarda yerinde değerlendirme yapılmasına imkân veren Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile beraber çalışan, bu sayede kaynakların etkin ve yerinde kullanımına imkân veren bir sistemdir. Esas olarak Olay Komuta Sistemi, Mekânsal Bilgi Sistemi, İyileştirme Sistemi bileşenlerinden oluşan AYDES, TAMP'ın bilişim altyapısını oluşturmaktadır (AFAD, 2020b).

- **Sağlık Bakanlığı**

Sağlık Bakanlığı afet sonucu oluşan tabloda iş yükünün en büyük kısmı ile muhatap olan kurumdur. Afetin başladığı andan afet sonrasına uzanan, tamamlanması bazen günler bazen haftalar süren tedavi hizmetlerinin yürütülmesi ile sorumludur. Sorumluluklarını değişik birimleri vasıtasıyla yerine getiren bakanlığa bağlı kurumlar ve görev tanımları aşağıda tanımlandığı gibidir.

- **Hastaneler**

Sağlık Bakanlığına bağlı İstanbul İli genelinde 54 Devlet Hastanesi, 46 Üniversite Hastanesi ve 168 Özel Hastane olmak üzere toplam 238 Hastane vardır. Bunların toplam yatak kapasitesi 37954'tür. Toplam hekim sayısı 30696'dır (TÜİK, 2021).

Afet ve acil durumlarda mevcut hastanelerin yetersiz kalması muhtemel olduğundan afet bölgesinde tedavi hizmetlerini karşılamak için geçici sahra hastaneleri kurulmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) yayınlamış olduğu kılavuz ilkelerine göre bir sahra hastanesi, 10 veya daha fazla yatak, en az bir ameliyathane, temel laboratuvar, görüntüleme ve teşhis imkanları ile kendi kendine yetebilen çadır veya konteynerler halinde hızlıca kurulabilen tesislerdir (WHO, 2003).

300 kişi kapasiteli, 1000 metrekare yerleşim alanına sahip bir hastane yaklaşık olarak 30.10 megaton ağırlığındadır. 14 megatonu sağlık ve 2.70 megatonu

gıdadan oluşan hastane ağırlığının 11.10 megatonu da diğer malzemelerden oluşmaktadır (Yalbaz, 2008).

○ 112 Acil Sağlık Hizmetleri

Türkiye’de tüm illerde yapılanmış Sağlık Bakanlığı’na bağlı Acil Sağlık Hizmetleri (ASH) birimi, afet ve acil durumlarda ihtiyaç duyulan tıbbi desteği eğitimli personeli ile birlikte sunmaktadır. Yapılan acil durum değerlendirmelerinde kaza ve yaralanma sonrasında gerçekleşen ölümlerin %10’unun ilk 3-5 dakikada, %54-60’ının ise ilk 30 dakikada gözlenmiştir (Demirhan, 2003).

Depremden sonraki ilk 3-4 gün, hayat kurtarmak için çok önemlidir. Bu süre zarfında kurtarma çalışmaları tam kapasite ile sürdürülmelidir. Çok sayıda insanı enkazdan çıkarmak ilk gün içerisinde mümkün olmaktadır. İkinci günün sonunda kurtarma işlemleri devam etse de yoğunluk söz konusu değildir. Üç günlük sürenin sonlarına doğru gidildikçe insanların hayatta kalma şansı azaldığından, enkaz altında kurtarılan insan sayısı da azalacaktır (Tanrıöven, 2010).

Bu çalışmada deprem sonrasında enkaz altından kurtarma çalışmalarının 72 saat devam ettiği varsayılmıştır. 72 saat süre boyunca ağır yaralı olarak kurtarılan insan sayısı üstel bir fonksiyon yardımıyla hesaplanmıştır. Kurtarılan yaralı sayısının artmasıyla birlikte gelen ambulans talep çağrılarını karşılamak için optimizasyon modeli kurulmuştur.

Acil yardım çağrısına müdahale edebilmek için tanımlanan 10 dakikalık kritik zamanın dünya üzerindeki uygulamaları incelendiğinde, mevcut ulaşım sürelerinin 6-12 dakika arası değiştiği gözlenmektedir. Ulaşım süresini etkileyen en önemli faktörlerin başında şehirlerde yaşanan trafik yoğunluklarıdır. Bu bağlamda, ambulansların değişik trafik yoğunluklarında gidebilecekleri ortalama hızlar aşağıda Tablo 5’te sunulmuştur (Sakaklı, 2006):

Tablo 5: Farklı Trafik Yoğunluğunda Araçların Hız Sınırları

Yol Tipi	Trafik Yoğun	Trafik Normal	Trafik Az Yoğun
Kent dışı ulaşım bağlantıları	80 km/s	95 km/s	110 km/s
Kent içi ulaşım bağlantıları	50 km/s	60 km/s	70 km/s
Mahalle içi bağlantı yolları	30 km/s	40 km/s	50 km/s

Kaynak: (Sakaklı, 2006).

Ambulansların şehir içindeki hareket hızları da ortalama olarak 40 km/s olarak kabul edilmiştir.

Başarılı bir Acil Hizmet Sürecinin taşınması gereken nitelikler aşağıda sıralanmıştır (Aringhieri, R., Carello, G., Morale, 2007):

- **Erken Tespit:** Acil tedaviye ihtiyacı olan kişilerin en kısa sürede tespit edilmesi.
- **Erken Bildirim:** İlgili tıbbi birimlere müdahale talebi için kısa sürede ulaşılması.
- **Erken Cevap:** Sorumlu ambulansın en kısa sürede hastaya ulaşması.
- **Tedavi:** Hasta için uygun tedavinin bulunup uygulanması.
- **Yol Tedavisi:** Hastanın olay yerinden tıbbi tesise gidene kadar uygulanan tedavisi.
- **Hastanın Taşınması:** Gerekli tıbbi tesise hastanın taşınması.

Deprem sonrasında ağır yaralı olarak kurtarılan insanlara acil sağlık hizmeti ulaştırmada başarı kriterleri arasında yer alan “Erken Cevap” ve “Hastanın Taşınması” başlıkları bu çalışmanın çözüm ürettiği, yeni bir model önerdiği alanlar olmuştur.

Acil sağlık hizmeti taleplerinde yoğunluk olmadığı durumlarda gelen her talebin karşılanması mümkündür. Ancak talebin yoğun olduğu afet ve acil durum olaylarında, bu çalışma özerinde deprem sonrasında, gelen tüm talepleri karşılamak mümkün değildir. Bu sebeple gelen çağrıların tasnif edilmesi ve hastanın aciliyet durumlarına göre önceliklendirilmesi gerekmektedir. Ambulans, hastane ve doktor

gibi kısıtlı imkân ve kabiliyetlerin gerçek ihtiyaç sahiplerine ulaştırılmasını sağlamak gerekli planlamalar yapılmalıdır.

Triyaj, hastaların sağlık durumlarının tıbbi müdahale önceliklerine göre belirleme sürecidir. Bu süreç, acil olay ve afet gibi herkesin hemen tedavi edilmesi gerektiği durumlarda kaynakların verimli kullanılması için bazı hastaların tedavilerinde kısıtlamalara gitmeyi, bazı hastaları önceliklendirmeyi gerektirmektedir. Uygulamada Ağır Yaralı, Orta Dereceli Yaralı ve Hafif Yaralı olmak üzere 3 triyaj türü kullanılmaktadır (Tanrıöven, 2010).

Normal zamanlarda ambulansın önce hangi hastayı taşıması gerektiğine karar destek sistemleri vardır. Bunlar; “çağrısı ilk gelen ilk hizmet alır”, “en yakın olan ilk hizmet alır” ve “en kritik hasta ilk hizmet” alır anlayışında olan sistemlerdir. Ancak, afet sonrası kritik hastaların sayısında ciddi bir artış olacağı için aynı anda gelen taleplerin önceliklendirilmesi için farklı bir seçim yöntemine de ihtiyaç duyulmaktadır (Tanrıöven, 2010).

Deprem sonrası kurtrarılan hastaların taşınmasını konu edinen bu çalışmada, Ağır Yaralı hastaların taşınmasına öncelik verilmiştir. Geliştirilen çözüm modeli, ağır yaralı hastaların bekleme sürelerini de dikkate alarak sağlık hizmeti sunmayı amaçlamaktadır.

Yoğun gelen taleplerin triyaj uygulaması yapıldıktan sonra, minimum sürede maksimum sayıda hastaya ulaşmayı sağlayacak optimizasyon modeli kurulmuştur. Optimizasyon modelinin çalışması ile hangi ambulansın hangi hastayı taşıyacağı, yeni hasta seçim yöntemiyle de hangi hastanın önce taşınacağı belirlenmiştir.

○ **Ulusal Medikal Kurtarma Ekibi (UMKE)**

Sağlık Bakanlığı Acil Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü'ne bağlı UMKE, muhtemel her türlü afet ve acil olaylarda, yaralılara nitelikli sağlık hizmeti sunabilmek için gönüllülük esasıyla çalışan sağlık personellerinden oluşan bir kurumdur (ASHGM, 2019).

Afet durumlarında olay yerine en hızlı intikal eden kurumlardan biridir. Görev tanımları, bulundukları konumda ilk acil sağlık müdahalesini yaparak

yaşamsal fonksiyonların stabilizasyonunu sağlarlar (ASHGM, 2019). Örneğin, depremlerde enkaz altında kalan insanların 48 saatlik süre sonunda hayatta kalma olasılıkları %10'a kadar düşmektedir. Bu olasılık dikkate alındığında enkaz altındaki kişileri hemen çıkarmak mümkün olmasa da tıbbi destek sunabilmek büyük önem arz etmektedir (Yalbaz, 2008).

- **Doğal Afetler Arama Kurtarma Tabur Komutanlığı (DAK)**

TSK Doğal Afetler Arama Kurtarma Tabur Komutanlığı (DAK), 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen Marmara Bölgesi depreminden sonra kurulmuştur. Deprem, sel, çığ, heyelan, yangın, toprak kayması, kaybolma, Kimyasal Biyolojik Radyolojik ve Nükleer (KBRN) yayılmalar ve büyük kazalar gibi her çeşit afette dünyanın her yerinde arama ve kurtarma görevlerini gerçekleştirerek kapasitede uluslararası standartlarda kurulmuştur (TSK, 2020).

DAK Timleri, ulaşım ve lojistik de dâhil olmak üzere hiçbir desteğe ihtiyaç duymaksızın, her türlü iklim ve coğrafyada faaliyet gösterebilirler. Toplam 22 Arama Kurtarma Timinden oluşan DAK Timleri her türlü afet ortamında gece ve gündüz şartlarında; derin kar, çığ ve şiddetli soğuklarda, yangında, dağlık arazide, su üstü, sualtı ve sel felaketinde, depremde yurt içi ve yurt dışında tüm şartlarda her türlü arama kurtarma harekâtını yapabilir kapasitededir. Aynı anda 4 farklı bölgede arama kurtarma faaliyeti yürütebilirler. (TSK, 2020).

- **Jandarma Arama ve Kurtarma Timleri (JAK)**

Jandarma Arama Kurtarma Timleri (JAK); deprem, çığ gibi doğal afetlerde arama/kurtarma faaliyetlerinin yürütülmesi amacıyla kurulmuştur. Her türlü hava şartlarında, olumsuz arazi koşullarında hasta ve yaralıların tahliye edilmesini sağlarlar. Kış turizm merkezlerinde emniyet ve asayişin sağlanmasından sorumlu olduğu gibi dağlık ve ormanlık bölgelerde olan insanlar için önleyici kolluk görevini de ifa ederler (İçişleri Bakanlığı, 2020).

"Hızır Bey" olarak adlandırılan JAK Tabur Komutanlığının yapılanması mevcut durumda, 17 İl Jandarma Komutanlığına bağlı 23 Tim'den oluşmaktadır. Tim personelleri şiddetli hava şartlarına karşı dayanıklılık ve ilk yardım eğitimleri

almaktadırlar. Ayrıca kayak eğitimi, kar motosikleti, kar üstü araç eğitimi ve dağcılık eğitimleri de almaktadırlar (İçişleri Bakanlığı, 2020).

- **Türkiye Kızılay Derneği (Türk Kızılayı)**

11 Haziran 1868’da "Osmanlı Yaralı ve Hasta Askerlere Yardım Cemiyeti" adıyla kurulan Kızılay’ın günümüzdeki resmi adı ile Türkiye Kızılay Derneği’dir. Türk Kızılayı, insanlık, ayırım gözetmemek, bağımsızlık, hayır kurumu niteliği ve evrensellik ilkelerine bağlı olarak çalışan bir organizasyondur. Uluslararası Kızılhaç ve Kızılay Hareketi'nin bir üyesi olarak tüm dünyada faaliyetlerine devam etmektedir (Kızılay, 2020b).

1868 yılında kuruluşundan bugüne kadar ihtiyaç sahiplerine barınma, beslenme ve sağlık gibi temel yardımları ulaştırarak toplumsal dayanışmaya ve sosyal refahın gelişmesine katkıda bulunmaktadır. Sürekli yardım amacıyla çalışmakta olan kuruluş; kan bağıışı, ilk yardım hizmetleri gibi sağlık alanında faaliyetler yürüttüğü gibi afetlerde, uluslararası yardımlarda, göç ve mülteci hizmetlerinde, sosyal hizmetler ve gençlik alanlarında da yardımlarda bulunmaktadır. Afet sonrasında insani yardım malzemeleri ile afetzedelerin durumlarını iyileştirme çabalarına katkı sunmaktadır (Kızılay, 2020a).

- **Afet Koordinasyon Merkezi (AKOM)**

Afet Koordinasyon Merkezi AKOM, İstanbul’da gerçekleşebilecek her türlü doğal afetin öncesinde ve sonrasında, afetin etkilerini en aza indirebilmek amacıyla 17 Ağustos 1999 depreminden sonra kurulmuştur. “İBB Başkanı ve İstanbul İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğünden (AFAD) gelecek emirleri doğrultusunda İstanbul Büyükşehir Belediyesinin üzerine düşen görevleri koordine etmek, İBB’ye bağlı kurumlar arasında iş bölümü, koordinasyon ve iş birliğini sağlamak kurumun temel görevidir” (İBB, 2020).

2.3 Afet Lojistiği

AFAD’a göre afet lojistiği, “afet ve acil durumlardan etkilenen bölgelere ve insanlara yardım malzemeleri ile diğer malzeme ve ekipmanların depolanması ve ulaştırılması olayıdır”. İnsani yardım lojistiği (humanitarian logistics) ise “afet ve

acil durumlardan etkilenen bölgelere ve insanlara yardım malzemeleri ile diğer malzeme ve ekipmanların depolanması ve teslimatıdır” (AFAD, 2020a).

Afet ve acil durum lojistiği; afetzedelerin ihtiyaç duyduğu insani yardım, malzeme, gıda, ilaç, sağlık hizmetlerini bilgi ve insan kaynakları ile beraber etkin bir biçimde ulaştıran sistemlerdir (Kadioğlu, 2011).

Afetler, savaş, kuraklık gibi olağandışı durumlarda insan sağlığını güvence altına almak için; gerek arama kurtarma faaliyetleri, acil sağlık hizmetleri, barınma hizmetleri gerek açlık, susuzluk, kıtlık ve salgın hastalık gibi tehlikelere karşı insanlara gerekli yardımların ulaştırılmasını içeren faaliyetler bütünü insani yardım olarak tanımlanmaktadır (AFAD, 2020a).

Yukarıdaki tanımlamalardan anlaşıldığı üzere afet lojistiği ve insani yardım lojistiğinin genellikle eş anlamlı terimler olarak kullanılmaktadır (AFAD, 2020a; Ersoy vd., 2016; Mehmet Tanyaş vd., 2012). Dolayısıyla, afet lojistiği (disaster logistics) kavramı ile insani yardım lojistiğinin (humanitarian logistics) literatürde farklı ifadelerle aynı manaya geldiğini söylemek mümkündür (Ersoy vd., 2016).

Afet lojistiğinin temelinde muhtaç insanlara yardım sağlama, canlarını kurtarma ve ıstıraplarını hafifletme gibi insani boyutu yüksek faaliyetler vardır. İnsan hayatını direkt ilgilendiren bu yapıyla lojistik alanın en zorlu konulardan biridir. Bu yapıyla afet lojistiği, bilinen anlamda klasik lojistik faaliyetlerinden çok öte operasyon karmaşıklıkları içermektedir (Yüce, 2018).

Tablo 6: Afet Lojistiği ve İşletme Lojistiği Arasındaki Farklar

	Afet Lojistiği	İşletme Lojistiği
Temel Amaç	Savunmasız afetzedelerin acılarını hafifletmek.	İşletme maliyetlerini minimize ederek kârlılığını arttırmak
Aktör Yapısı	Faaliyetlerde yer alan birimlerin birbirleri ile net bir bağlantısı yoktur. Sivil toplum örgütlerinin ve toplumsal aktörlerin egemenliği hâkimdir.	Süreçte tüm partnerler her aşamada koordineli olarak bilgi paylaşımında bulunurlar.
Süreçler	Hazırlık, anında müdahale ve iyileştirmeden oluşur.	Tedarik ya da satın alma, üretim, depolama, pazarlama, satış, dağıtım, satış sonrası hizmetler vb. faaliyetlerden oluşur.
Temel Özellikler	Tedarik ve tedarikçide değişkenlik, büyük ölçekli faaliyetler, düzensiz talep, çok kapsamlı acil durum operasyonlarında olağandışı kısıtlar.	Genellikle önceden belirlenmiş tedarikçiler, düzenli ve tahmin edilebilir talep.
Tedarik Zinciri Felsefesi	-Müdahale aşamasında “itme stratejisi” (tedarik edilenlerin afet bölgesine doğru gönderilmesi) -İyileştirme aşamasında “çekme stratejisi” (afetzedelerden gelen talebe göre belirlenen ihtiyaçların karşılanması).	İtme stratejisi satış öncesi reklam, halkla ilişkiler, satış geliştirme gibi tutundurma faaliyetlerini, çekme stratejisi ise satış anı ve satış sonrası müşteri hizmetlerini ve müşteri beklentilerine göre karşılanan talebi kapsar.
Ulaştırma ve Altyapı	Afetlerde, ihtiyaç miktarları bilinmeyen yiyecek, giyecek, ekipman, tıbbi yardımlar vb. transferi söz konusudur.	Süreçte görev alan tüm partnerler bellidir ve kendi aralarında kullandıkları sistemler düzenlidir.
Zaman Etkisi	Meydana gelen gecikmeler yaşamsal faaliyetleri olumsuz yönde etkiler ve bazı durumlarda hayati kayıplara neden olur.	Meydana gelen gecikmeler nedeniyle ortaya çıkan kayıp ve hasarlar, işletmelerde genellikle maddi hasar olarak gerçekleşir.
Sınırlı Bilgi Faaliyetleri	Afetlerin doğası gereği yetersiz ve etkin olmayan bilgi, müdahale süreci içerisinde kesintilere ve aksaklıklara sebep olabilir.	Paydaşların talep ve ihtiyaçları belli olduğundan tedarik, temin, vb. durumlarda sorun yaşanmaz.
Tedarikçi Yapısı	Tedarikçilerin sınırlı sayıda olması, alternatif yokluğu (bazen istenmeyen tedarikçilerle iş birliği yapmaya zorunlu kalma).	Süreçte iş birliği yapılan tedarikçiler belli olduğundan istenmeyen tedarikçiler kritik durumlar dışında süreçte görev almaz.
Kontrol	Acil durumlarda faaliyetler üzerindeki denetim eksikliği.	Süreç boyunca, paydaşların bilgi ve teknoloji sistemleri ile sürekli koordineli bilgi paylaşımı sayesinde denetim eksikliği nadiren yaşanır.

Kaynak:(Ersoy ve Gülmüş, 2013; Kovács ve Spens, 2007).

Afet Lojistiği ve İşletme Lojistiği arasında, lojistik faaliyetlerin yürütülmesi aşamasında operasyonel benzerlikler yüksek olmasına rağmen amaç, hedef ve odak farklılıkları vardır. İşletme ve afet lojistiği arasındaki farklar tüm boyutlarıyla Tablo 6’da kısaca ifade edilmiştir. Bu farklılıklar karar süreçlerinde ve lojistik operasyonlarda ciddi ayrışmaları da beraberinde getirmektedir.

Tablo 4 incelendiğinde afet yönetim aşamalarının dört ana kategoriye ayrılmış olduğu görülür: *azaltma, hazırlıklı olma, müdahale ve kurtarma aşamaları* (Altay ve Green, 2006; Haddow GD, Bullock JA, 2008). Bu aşamalar kısaca tanımlanacak olursa;

Azaltma, afet ve acil olayların tehlikelerinden insanlara ve mallarına yönelik riskleri azaltmak veya tehditleri ortadan kaldırmak için yapılan, süreklilik arz eden eylemlerdir.

Hazırlık, bir afet veya acil durum sırasında müdahalede etkin olmak için alınan önlemleri içeren, tehditle ilgili olumsuz sonuçlardan kaçınmak için alınan önlemlerdir.

Müdahale, afet ve acil durum olaylarında can, çevre ve toplumun sosyal, ekonomik ve sağlıklı yapısını korumak için planlarda belirtilen kaynakları kullanmak ve acil durum prosedürlerini uygulamaktır. Afetzedelere ilk yardım hizmetleri, arama kurtarma faaliyetleri, afet bölgelerine giyecek, yiyecek ve diğer ihtiyaç malzemelerinin iletilmesi, hastaların sağlık tesislerine taşınması ve acil tıbbi müdahale gibi faaliyetler de müdahale aşamasında yürütülen faaliyetler arasındadır.

Kurtarma, toplumu istikrara kavuşturmak ve felaketin ani etkisi geçtikten sonra normale dönmek için alınan uzun vadeli eylemleri içerir. (Berkoune vd., 2012)

Yukarıda özetlenen, detayları Tablo 4’te verilen afet yönetim aşamaları ile beraber incelendiğinde lojistik faaliyetlerin afet yönetimini her aşamasında yer aldığı görülmektedir. Her aşamada farklı önem derecesiyle yer alan lojistik faaliyetinin en çok önem arz ettiği aşama afetlere müdahale aşamasıdır.

Afetlere müdahalede lojistik destek ve tahliye olmak üzere iki ana faaliyet bulunur. Acil durumlarda lojistik planlama, malların (örneğin, tıbbi malzemeler ve personel, özel kurtarma ekipmanı ve kurtarma ekipleri, yiyecek, vb.) etkilenen bölgelerdeki dağıtım merkezlerine gönderilmesini ve yaralıların acil durum birimlerine tahliyesini ve naklini içerir (Yi ve Özdamar, 2007).

Afet sonrası müdahale ve iyileştirme aşamalarında kritik saatlerin neler olduğunu ve hangi fazlardan oluştuğunu Özaslantaş’ın sınıflamasında görmek mümkündür (Özaslantaş, 2011):

- İlk 6 saat hiperakut afet fazı,
- 6-72 saat arası akut afet fazı,
- 72 saat-7 gün arası erken dönem afet fazı,
- 7 gün-30 gün arası gecikmiş dönem afet fazıdır.
- Normale dönme fazı 36 aya kadar uzayabilir.

Deprem sonrası müdahale aşamasında; etkin olmayan, plansız bir acil müdahalenin can kaybını 10 kata kadar artırabildiği göz önünde bulundurularak planlamalar yapılmalıdır (Tarhan vd., 2013). Bu doğrultuda afet sonrası sürecin fazlara bölünmesi, afet sonrası müdahale ve iyileştirme çalışmalarının planlamasını ve planın uygulanmasını kolaylaştırır.

Bu çalışma, afet sonrası müdahale aşamasında Hiper Akut ve Akut Afet Fazları olarak sınıflandırılan, arama kurtarma çalışmalarının devam ettiği en kritik saatler olarak tanımlanan 72 saatlik süre içerisinde ağır yaralı hastaların hastanelere taşınmasını konu edinmiştir.

Kısıtlı sürede, kıt kaynaklarla, çok sayıda insanın hayatını kurtarabilmek amacıyla bu çalışmada, deprem sonrası “Müdahale” aşamasında yaralı lojistiği için yeni bir model önerilmiş ve aynı zamanda modelin uygulaması da yapılmıştır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Ülke sınırları ve mesafelerin gittikçe önemsizleştiği, insanlar arası iletişimin sürekli arttığı günümüz koşullarında lojistik faaliyetler, bu etkileşimin en önemli unsurlarından biri olarak ön plana çıkmaktadır. Hangi amaçla olursa olsun lojistik faaliyetlerin amaca uygun bilgi, madde ve malzemelerin bir yerden başka bir yere sevk, idare, depolama, elleçleme ve taşıma gibi faaliyetlerinin başarıyla yürütülebilmesi için lojistik ağ tasarlaması gerekmektedir. Bu gerekliliğin, hangi problemlerde, nasıl çözüme kavuşturulduğu literatür incelemesinde belirtilmiştir.

Süreç yönetimi açısından kritik öneme sahip afet yönetimine yönelik lojistik faaliyetler farklı parametre ve kısıtlara sahip problemlerdir. Problemlerin çözümünde doğrusal programlamadan, meta sezgisel yöntemlere kadar birçok yöntem kullanılmıştır.

Lojistik Ağ Tasarımı ve Afet Lojistiği literatürleri ayrı ayrı incelenmiş, detayları aşağıda sunulmuştur:

3.1 Lojistik Ağ Tasarımına Yönelik Çalışmalar

Nga ve arkadaşlarının, çok dönemli, çok kademeli, çok mallı bir lojistik ağın belirleyici taleplerle tasarlanması ve planlanması sorununu ele aldıkları çalışmada karışık tam sayılı doğrusal problemin (MILP) doğrusal gevşemesine dayanan bir sezgisel yaklaşım kullanılmıştır. MILP'in doğrusal gevşeme dizisini çözmek ve her yinelemede mümkün olduğu kadar çok sayıda ikili değişkeni düzeltmek için bazı temel karar değişkenleri için çeşitli yuvarlama prosedürleriyle birleştirilmiştir. Ortaya çıkan MILP'deki ikili karar değişkenlerinin sayısı bir çözücüyle çözülebilecek kadar küçüktür. Bu yaklaşımın sayesinde, makul bir sürede iyi kalitede uygulanabilir çözümler elde edilebilmiştir (Nga vd., 2010).

Büyük ölçekli bir karışık tamsayılı doğrusal programlama (MILP) modeli olarak tanımlanan çok dönemli, çok aşamalı, çok mallı ve çok ürünlü bir problemin ele alındığı çalışmada, doğrusal gevşeme ve DC (dışbükey fonksiyonların farkı) programlama üzerine kurulu lojistik ağ tasarımı problemine yeni bir sezgisel yöntem

önerilmiştir. Önerilen sezgisel yöntemin etkinliği, düzinelerce tesis, 18 ürün ve 270 perakendeciye sahip olan örnekler için doğrulanmıştır (Thanh vd., 2012a).

Acil lojistik ağı tasarımı için eşzamanlı stratejik ve operasyonel planlamayı ele alındığı Hong ve arkadaşlarının çalışmasında; acil durum olayları, insani kaynakların etkilenen bölgelere zamanında ve etkin bir şekilde hızlı bir şekilde geri kazandırılması için acil müdahale tesislerinden dağıtılmasını çok kritik hale geldiği vurgulanmıştır. Acil durumlarda, acil müdahale tesislerinin zarar görmemesi için güvenilir, bozulma olasılığı düşük ve sağlam, operasyonel düzeyde iyi çalışması daha muhtemel olan maliyet / mesafe etkili bir acil lojistik ağı planlamak için çok amaçlı bir karar yaklaşımı geliştirilmiştir. Geliştirilen model, tesislerin bozulma riski altındaki durumlarını göstermek için test edilmiştir (Hong vd., 2015).

Çok modlu lojistik hizmet ağı tasarımının toplam maliyetini zaman penceresinden dikkate alan ve çevresel kaygıları en aza indirecek bir model oluşturulması hedefleyen Zhang ve arkadaşları, bu amaçla nakliye maliyeti, nakliye süresi, karbon emisyonu ve lojistik hizmet süresi kısıtlamalarını dikkate alan optimum ulaşım modu kombinasyonları ve yatırım seçimleri sunan bir model önerilmiştir. Optimal modeli oluşturmak için genetik ve sezgisel algoritmalar önerilmiştir. İki algoritmanın performansının karşılaştırılması sağlamak için bir örnek üzerinde çalışılmış ve modelin geçerliliği sağlanmıştır (Zhang vd., 2017).

Gan ve arkadaşları, tüm lojistik tedarikçilerinin stratejik bir ittifak oluşturduğunu ve boşta lojistik kaynaklarının dağıtım ihtiyaçlarını karşılamak için kullanıldığını varsayarak, ekonomiyi paylaşmayı düşünen bir tür yoğun dağıtım lojistik ağı önermektedir. Müşterinin lojistik tercihini yüksek hız, düşük maliyet ve düşük hava kirliliğine ayırma temelinde müşteri lojistik tercihini belirlemek için müşteri alışveriş davranışlarını büyük veri ile analiz etmek ve ardından farklı lojistik tercihlerine göre ilgili amaç fonksiyon modelini oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu yoğun dağıtım lojistik ağ modeli sezgisel algoritma ile çözüme kavuşturulmuştur (Gan vd., 2018).

Biswas ve Samanta, lojistik ve tedarik zinciri ağı tasarımı için stratejik bir karar destek sistemi geliştirmeyi amaçladıkları çalışmalarında çok kademeli, çok mallı ve çok dönemli bir dağıtım ve taşıma problemini ele almışlardır. Ağının tüm katmanlarında işletim, nakliye ve taşıma maliyetlerini en aza indiren sorunu çözmek için karışık bir tamsayı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Problemin daha gerçekçi ve büyük ölçekli bir ortamda çözmek için genetik algoritmaya dayalı bir karar destek modeli önerilmiştir (Biswas ve Samanta, 2016).

Shu ve arkadaşları, satıcı tarafından yönetilen ileri lojistik ağ tasarımı faaliyetlerini incelemiştir. Problem yapısı gereği konum, taşıma, fiyatlama, depolama, envanter aşaması gibi birçok kararlar içermektedir. Klasik yaklaşımda bunların karar süreçleri farklı farklıdır. Bu çalışmada, bunlar tek bir model olarak oluşturulmuş branch ve price algoritması ile çözüme ulaşılmıştır (Shu vd., 2012).

Kısa ömürlü elektronik ve IT ürünlerinin tamir ve tadilatı ile ilgili servis ağlarının tasarımı için karışık tamsayı doğrusal programlama (MILP) modeli geliştiren Piplani ve arkadaşları, tesis yerleri ve bu tesisler arasında kapasite, akış ve mantıksal kısıtlamaları en az toplam maliyetle yerine getiren ürün ve modüllerin akışlarının sağlanması problemini incelemiştir. Modelde kullanılan veriler, Japonya ve Avustralya dahil olmak üzere Asya'da satış sonrası destek sağlayan bir şirket tarafından sağlanmıştır. Çalışma sonunda mevcut iki ülkedeki dağıtımın Şangay'da bulunan bir dağıtım merkezinde birleştirilmesi optimum sonuç olarak önerilmiştir (Piplani vd., 2008).

Kore'de bir belediyenin çöp toplama sisteminin tasarlanması ile ilgili bir çalışmada; talep miktarının belirlenmesi, kapasite planlaması, araç sayısı, araç rotaları ve güzergahlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Problem hiyerarşik ve bütünsel Tabu arama (TS) algoritması kullanılarak çözülmüş ve bunların geleneksel metottan daha iyi çözümler verdiğini gösterilmiştir. Ayrıca, iki TS algoritmasının entegre yaklaşımının hiyerarşik algoritmayı önemli ölçüde geride bıraktığı görülmüştür (Kim ve Lee, 2015).

Onarım servis merkezlerinin konumlandırılması ve gerekli onarım kapasitelerinin bu konumlar arasında dağıtılması problemi için çözüm arayan Zhou ve arkadaşları çözüm için doğrusal olmayan bir tamsayı programlama optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Stokastik ürün iadelerini içeren, maksimum toplam kâr elde etmek için tasarlanan modelde genetik algoritma yaklaşımı önerilmiştir. Yapılan testlerde, bu problem için önerilen genetik algoritmanın optimum çözümün elde edilmesinde etkili olduğunu doğrulanmıştır (Zhou vd., 2008).

Tuzkaya ve arkadaşları, ters lojistik ağ tasarım probleminin çözümü için iki aşamadan oluşan çok amaçlı bir model ve yeni bir metot önermiştir. Önerilen metot, merkezi geri dönüş merkezi değerlendirme aşaması ve ters lojistik ağ tasarımı aşamalarından oluşmaktadır. İlk aşamada entegre bir ANP ve bulanık TOPSIS metodolojisi ile elde edilen ağırlıklar, ikinci aşamada tersine lojistik ağ tasarım modelinde kullanılarak genetik algoritmalar ile çözüme ulaşılmıştır. Uygulama Türk beyaz eşya endüstrisinden örnek bir vakıa üzerinden yapılmıştır (Tuzkaya vd., 2011).

Tıbbi atık yönetiminin etkinliğini iyileştirmek için tersine lojistikle ilgili temel teorileri uygulanmaya çalışan Shi, iade edilen tıbbi atıklar için tersine lojistik ağların karışık tamsayılı doğrusal programlama ile çözüm modelini sunmuştur. Önerilen modelin etkinliği ve uygulanabilirliği, bazı hastanelerden tıbbi malzeme üreticisine iade edilen tıbbi atıklarla ilgili bir örnek üzerinden doğrulanmıştır (Shi, 2009).

Sepúlveda ve Banguera'nın, atık lastikler için tersine lojistik bir ağın optimum tasarımına izin veren, kapasite kısıtlı tesis yeri probleminin çözümü için geliştirdikleri model karışık tamsayılı doğrusal programlama modelidir. Planlama bu lastiklerden elde edilen olası ham madde üretimini ve çimento gibi bazı endüstriler için yakıt olarak kullanılması süreçlerini içerir. Optimal akışlar üretilmesi, toplama ve geri dönüşüm tesislerinin konfigürasyonunun belirlenmesi ile birlikte modeldeki kısıtlamaların gevşetilmesi, geri dönüşüm hedeflerine uyulması ve ceza maliyetlerinin en aza indirilmesi hedeflenmiştir (Sepúlveda ve Banguera, 2018).

Günümüzde, çok sayıda şirket yeni mevzuatlarla başa çıkmak, kaynak verimliliğini artırmak ve kamu imajını iyileştirmek için tersine lojistik kararlarını

tedarik zinciri tasarımlarına dahil etmektedir. Yu ve Solvang bu çalışmalarında, düşük karbon emisyonlu gereklilik altında tek dönemlik, çok ürünlü, çok seviyeli bir ters lojistik sistemi tasarlamak için yeni bir stokastik optimizasyon modelini araştırmışlardır. Stokastik optimizasyon problemini çözmek için, çok kriterli senaryo bazlı bir yaklaşım önerilmiştir. Model ve çözüm yöntemi, birkaç sayısal deneyle test edilmiştir (Yu ve Solvang, 2018).

Yüksek belirsizlik kapsamındaki çok dönemli, çok aşamalı bir ters lojistik ağ tasarım sorunu olarak ele alan Temur ve Yanik, problemi bulut-temelli tasarım optimizasyon çerçevesi kullanımı ile formüle edip çözmüştür. Bir e-atık ters lojistik ağı veri seti ile test edilmiş olan model; yüksek sayıda belirsiz faktörle başa çıkma, geleneksel yaklaşımlara alternatif çözümler önerme, karar vericileri beklenmeyen durumlara karşı güçlendirme gibi katkılar sunmuştur (Temur ve Yanik, 2017).

Zegordi ve arkadaşları toplama merkezlerinden, tamir tesislerinden, üretim tesislerinden ve bertaraf merkezlerinden oluşan 3PL, çok ürünlü, satış sonrası ters lojistik ağı ele almıştır. Ağ tasarım maliyetlerini en aza indirmek ve aynı zamanda toplama merkezlerine geri dönen ürünlerin toplam ağırlıklı gecikmesini en aza indirmek için iki hedefli bir karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli sunulmuştur. Sonunda, önerilen model için Pareto-optimal çözümlerin bir listesinin elde edilmesinde ϵ -kısıtlama yönteminin başarısını gösteren bir örnek verilmiştir (Zegordi vd., 2011).

Yeni ürünlere olan talep ve kullanılmış ürünlerin geri dönüş miktarı gibi belirsiz unsurları ele almak tesis konumlarının taktik kararlarının, yatırım seviyesi seçimleri, ürün akışları ve araç atamalarının olduğu ters lojistik ağ tasarım problemini ele alan Gao, ekonomik ve çevresel hedeflerle, iki hedefli bir stokastik tamsayı doğrusal olmayan programlama modeli önerilmiştir. Önerilen bu modelin uygulanabilirliğini ve hesaplama etkinliğini göstermek için, duyarlılık analiziyle ilgili birkaç sayısal deney yapılmıştır (Gao, 2019).

Kara ve Onut, en uygun tesis yerleri ve belirsizlik altındaki büyük ölçekli ters tedarik zinciri ağ tasarımı problemi için en uygun akış miktarlarını içeren uzun vadeli bir strateji belirlemek için iki aşamalı stokastik bir programlama modeli

önermişlerdir. Bu ağ tasarımı sorunu, optimum geri dönüşüm ve toplama merkezi konumlarını ve çok tesisli ortamdaki düğümler arasındaki optimum akış miktarlarını içerir. Önerilen model, ters tedarik zincirindeki geri dönüşüm/üretim sistemleri için uygundur. Kullanılan tüm deterministik ve stokastik modeller karışık tamsayılı programlama modelleridir (Kara ve Onut, 2013).

Belirsizlik ve rastgele dağıtık tesislere sahip entegre bir bütünlük lojistik ağın tasarımı için güvenilir bir matematiksel kısıt programlama modeli geliştiren Hatefi ve arkadaşları, yeni modelin önemini, uygulanabilirliğini ve güvenilirlik temelli çözümün etkinliğini birçok sayısal deney ve duyarlılık analizi ile göstermişlerdir (Hatefi vd., 2015).

Bütünlük lojistik yönetim performansını iyileştirmek için lojistik ağ yapısı ve lojistik işletme takvimi için uygun bir tasarım yaklaşımı öneren Wei-min çalışmasında, konum problemi ve ilişkili düğümlerin envanter ilişkileri göz önüne alarak bir konum envanteri modeli geliştirmiştir. Modelin yardımıyla, optimum üretim yerleri ve kurulan üretim / yeniden üretim fabrikası ve dağıtım / toplama merkezi sayıları, entegre lojistik ağındaki lojistik akışları ve perakende / satış döneminin çalışma günleri gibi ögeler hesaplanması sağlanmıştır. Sunulan envanteri modeli ağ tasarımı modeli ve çift katmanlı genetik algoritmanın etkinliği, örneklerle doğrulanmıştır (Wei-min, 2010).

Yuchi ve arkadaşları dağıtım merkezlerinin konum kararlarını, envanter politikalarını ve hizmet sunumunda karayolu kararını aynı anda bütünlükli ileri ve geri lojistik ağ tasarımı için yeni bir konum envanteri problemi incelenmiştir. Bu çalışmada amaçlanan; imalat, yeniden imalat, toplam üretim ve toplam nakliye maliyetlerini en aza indirmektir. Bütünlükli lojistik ağ formüle etmek için doğrusal olmayan tamsayılı programlama modeli önerilmiştir. Optimal çözümü elde etmek için yeni bir tabu arama algoritması geliştirilmiştir. Rastgele oluşturulmuş bütünlükli lojistik ağ örnekleri üzerinde yapılan sayısal deneyler, önerilen tabu arama algoritmasının problem çözümünde etkinliğini ve verimliliğini göstermiştir (Yuchi vd., 2016).

Pishvae ve arkadaşları, ileri ve geri lojistik ağların ayrı ayrı yerel optimumlarından kaynaklanan etkiyi önleyebilmek için bir model önermiş ve toplam maliyetleri en aza indirmek, bir lojistik ağın duyarlılığını en üst düzeye çıkarmak için iki amaçlı karışık bir tam sayı programlama formülasyonu geliştirilmişlerdir. Önerilen çözüm algoritması, üç farklı yerel arama kullanarak yeni bir dinamik arama stratejisi kullanır. Yeni çözüm yaklaşımının kalitesi, mevcut literatürden, güçlü çok amaçlı genetik algoritma ile üretilen sonuçlar ve kesin bir çözümle karşılaştırılmıştır (Pishvae vd., 2010).

İki kademeli bir lojistik ağda tek bir ürün için yer probleminin ele alındığı ağ tasarımı probleminde Moalla ve arkadaşları, sorunun yeni bir türü için maksimum hassasiyet derecesini bütünleştirmenin bir yolunu önermişlerdir. Problemin çözümü için doğrusal programlama ve genetik algoritmaya dayanan hibrit bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir (Moalla vd., 2013).

El-Sayed ve arkadaşları, risk altında, çok dönemli, çok aşamalı ileri- geri lojistik ağ tasarımı problemini ele almışlardır. Önerilen ağ, ileri yönde üç kademe ve ters yönde iki kademeden, taleplerin stokastik olduğu alanlardan oluşmaktadır. Talebin deterministik veya stokastik olduğu varsayılmıştır. Beklenen kârı maksimize etmek amacıyla kurgulanan problem, çok aşamalı stokastik bir karışık tamsayılı doğrusal programlama ile formüle edilmiştir (El-Sayed vd., 2010).

İleri ve geri lojistik ağ tasarımının entegrasyonu için stokastik bir programlama modeli geliştiren Pishvae ve arkadaşları, ayrı ağ tasarımlarından kaynaklanan yerel optimallikten kaçınarak entegre bir ağ tasarımı ile genel optimalliği yakalamayı hedeflemişlerdir. Geliştirilen deterministik karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli ve daha sonra önerilen stokastik modelle elde edilen sayısal sonuçlar, stokastik modelin veri belirsizliğini ele almadaki gücü göstermiştir (Pishvae vd., 2009).

Lojistik ağ tasarımı ile ilgili literatür incelendiğinde çok kademeli, birden çok ürünle alakalı tasarım problemleri ile karşılaşmak mümkündür. İleri lojistik, tersine lojistik ve bütünleşik lojistik ağ tasarımları alt başlığında değerlendirilecek olursa

son zamanlarda tersine lojistik ve bütünleşik lojistiğe ait çalışmaların arttığını söylenebilir.

Çalışmalarda kullanılan matematiksel çözüm modelleri incelendiğinde, ileri lojistik ağ tasarımı problemlerinde belirsizliğin az olması sebebiyle deterministik modellerin ağırlıkta olduğu, tersine ve bütünleşik lojistik ağ tasarımı problemlerinde ise stokastik çözümlerin yoğunlukta olduğunu görmek mümkündür. Ayrıca lojistik ağ tasarımında, doğrusal programlama modellerinin, sezgisel algoritmaların birlikte ve ayrı ayrı kullanımları ile karşılaşmıştır. Daha küçük problemlerin çözümlerine doğrusal programlama ile ulaşmak mümkün olsa da büyük ölçekli problemler için sezgisel algoritmaların kullanımı daha yaygındır.

3.2 Afet Lojistiği ve Yaralı Taşımaya İlişkin Çalışmalar

Afet yönetiminin Azaltma ve Hazırlık aşamalarına yönelik yapılan çalışmalar, çoğunlukla afetlerin beklendiği bölgelerde afet öncesinde yapılması gerekenlerin konu edildiği, tedarik zincirlerinin planlandığı ve afetin etkilerini azaltmaya yönelik planlamaların yapıldığı çalışmalardır.

Afet müdahale aşamasında ağ modelleme ve optimizasyon tekniklerini uygulayan birçok çalışma vardır. Bu çalışmalarda malzeme, ekipman ve insani yardım malzemelerinin afet bölgelerine ulaştırılmasını hedefleyen çalışmalar yoğun olmakla beraber afet bölgelerindeki yaralıların hastanelere taşınmasını, tahliye edilmesini amaçlayan çalışmalar da mevcuttur. Bu çalışma deprem sonrası müdahale aşamasında ağır yaralı olarak kurtarılan kişilerin hastanelere taşınması konu edinmiştir. Literatürde yer alan insani yardım lojistiği ve yaralı taşıma lojistiğine yönelik çalışmalar incelenmiştir:

Haghani ve Oh, çok karmaşık bir problem olan afet lojistiği yönetiminde zaman pencereli, büyük ölçekli, çok boyutlu, çok modlu bir ağ akışı için bir formülasyon ve iki çözüm yöntemi sunmuşlardır. Çalışma çok ürünlü, çok modlu bir afet lojistik ağı akış probleminin zaman boyutundan maliyetleri en aza indiren doğrusal programlama modelini ve çözümünü içermektedir. Lojistik ağ sorunun çok boyutlu olması, modların ve malların sayısının fazlalığı sebebiyle optimizasyon

modelinin boyutu büyümüş, mutlak çözümün süresi uzamıştır. Bu nedenlerle doğrusal programı çözmek için iki sezgisel çözüm algoritması kullanılmıştır. İlk çözüm algoritması olarak Langrangian gevşetmesi kullanılmış, ikinci çözüm algoritması olarak modeldeki tüm tamsayı değişkenleri bilinene kadar etkileşimli bir düzelt ve çalıştır yöntemi kullanılmıştır. Yapay veri setleri ile test edilen algoritmalarından ikincisinin, doğruluk ve çalışma süresi açısından daha iyi performans gösterdiği gözlenmiştir (Haghani ve Oh, 1996).

Barbarosoglu ve arkadaşları, afet sonrası durumda ulaşım altyapısının belirsizliğini dikkate alarak afet yardımı operasyonlarında helikopter faaliyetlerine ilişkin taktik ve operasyonel kararlar için matematiksel model geliştirmişlerdir. Helikopter lojistik planlaması için hiyerarşik çok kriterli bir metodoloji öneren bu çalışmada, hem taktik hem de operasyonel kararlar iki seviyeli bir hiyerarşik ayrıştırma uygulanarak ele alınmıştır. İnsani yardım malzemelerinin taşınmasıyla beraber yaralı insanların tahliyesi de hedeflenmiştir. Böylece birbiriyle çelişen amaç işlevlerine sahip iki karışık tam sayı matematiksel modeli elde edilmiştir (Barbarosolu vd., 2002).

Acil müdahalede kritik öneme sahip ilk yardım malzemelerinin afet bölgelerine taşınmasını planlamak için iki aşamalı bir stokastik programlama modeli öneren Barbarosoglu ve Arda, uygulanabilirliği Ağustos 1999'daki İstanbul deprem verileri kullanılarak doğrulan model, afet yardım operasyonlarında çok mallı, çok modlu bir şebeke akış problemini temsil etmek için senaryo bazlı bir model geliştirmişlerdir. Bu modelde afetlerin zamanlaması, şiddeti ve etkilerindeki belirsizlikler nedeniyle gereksinimler ve kaynakların sunumu rastgele değişkenler olarak ele alınmıştır. Geliştirilen çok mallı ve çok modlu şebeke akış formülasyonu gerçek verilerden üretilen örneklerde mükemmel ve stokastik bilginin beklenen değerinin ölçülmesiyle doğrulanır (Barbarosoğlu ve Arda, 2004).

Afet lojistiği yönetimi için karar destek sistemine entegre edilecek bir modelin tasarlandığı çalışmalarında Özdamar ve arkadaşları, insani yardım malzemelerinin teslimi sırasında belirli aralıklarla tekrar tekrar çözülmesi gereken, dinamik bir ulaşım sorununu ele alınmıştır. Model, ilki geleneksel mallar için

doğrusal, ikincisi taşıt akışları için tam sayılı olmak üzere çok mallı şebeke akışı problemine ayrılmıştır. Çözüm aşamasında bu alt modellerin birleştirilmesinde Lagrangean gevşemesi kullanılmış, önerilen algoritma küçük test örneklerinde ve gerçekçi büyüklükte bir deprem senaryosunda test edilmiştir (Özdamar vd., 2004).

Yi ve Özdamar, afet müdahale faaliyetlerinde lojistik destek ve tahliye operasyonlarının yürütülmesini koordine etmeyi hedefledikleri çalışmalarında entegre bir konum dağıtım modeli önermişlerdir. Bu modelle acil durumlarda ihtiyaç duyulan insani yardım malzemelerinin lojistiğinin planlanması, malların etkilenen bölgelerde dağıtımı ve yaralıların acil durum birimlerine taşınması süreçlerinin iyileştirilmesi. Tahliye edilecek yaralıların ve insani yardım malzemesi bekleyen afetzedelerin bekleme sürelerini en aza indirmenin amaçlandığı, çok mallı şebeke akışının formüle edildiği karışık tamsayılı model İstanbul deprem senaryosu verileri üzerinden çalışılmıştır. Ambulanslarında yaralı taşıma ve medikal hizmetler amacıyla kullanıldığı bir afet müdahale planı tasarlanmıştır (Yi ve Özdamar, 2007).

İnsani yardım faaliyetlerinde ortaya çıkan malların afet bölgelerindeki dağıtım merkezlerine gönderilmesini ve yaralıların sağlık birimlerine tahliye edilmesi lojistik problemlerine çözüm arayan Yi ve Kumar, yaklaşım olarak karınca kolonisi optimizasyonu meta-sezgisel yöntem önerilmiştir. Önerilen yaklaşım, iki ardışık karar verme aşamasına ayırdığı acil durum lojistik problemini araç güzergahı yapımı ve birçok mallı sevkiyat üzerine kurgulanmıştır. Önerilen algoritmanın performansı rastgele oluşturulmuş ağlar üzerinde test edilmiş ve sonuçların çözüm kalitesi ve çalışma süresi açısından iyi performans gösterdiği gözlenmiştir (Yi ve Kumar, 2007).

Sheu, afet sonrasında etkilenen bölgelerin acil yardım taleplerine etkili ve hızlı bir cevap verebilmek için acil durum lojistik dağıtım yaklaşımı geliştirmiştir. Önerilen üç katmanlı acil durum lojistik ortak dağıtım operasyonuna hibrit bir bulanık kümeleme optimizasyonu yaklaşımı sunmuştur. Bu yaklaşım talep tahmininin zamanla değiştiği, afetten etkilenen alanlar gruplandığı, yardım dağıtımının önceliklendirildiği, gruplara göre dağıtımın yapıldığı ve yardım arzının dinamik olduğu bir yapıdadır (Sheu, 2007).

Tzeng ve arkadaşları çalışmalarında, insani yardım malzemelerinin dağıtım ağını tasarlamak için bulanık çok amaçlı programlama yöntemini kullanmışlardır. Bu çok amaçlı programlama modelinde amaç fonksiyonları toplam maliyeti en aza indirmek, toplam seyahat süresini en aza indirmek ve minimum memnuniyeti en üst düzeye çıkarmaktır (Tzeng vd., 2007).

Doğal afetler sonrasında belirsizliklerin çok olduğu bir ortamda acil durum lojistik operasyonlarının etkin bir şekilde yürütülebilmesi için dinamik bir yardım talebi yönetim modeli sunan Sheu, önerilen yönetim modeli dinamik talep tahmini, etkilenen yerlerin gruplanması ve yardım taleplerinin önceliklendirilmesi adımlarından oluşmuştur. İnsani yardım malzemelerinin taşınmasını konu edinen bu çalışmada, bulanık kümeleme ve TOPSIS teknikleri kullanılmıştır (Sheu, 2010).

Balcık ve arkadaşları, insani yardım dağıtım zincirinin son aşaması olan, yardım malzemelerin yerel dağıtım merkezlerinden afetzedelere teslim sürecini ifade eden son mil dağıtımını incelemişlerdir. Taşıma maliyetlerini en aza indiren, afetzedelere sağlanan faydayı üst düzeye çıkarmayı hedefleyen bir karışık tamsayı programlama modeli geliştirilmiştir. Bu modelle, kaynak, tedarikçi, araç kapasitesi ve teslimat süresi gibi kısıtlamalara bağlı kalarak araç programları ve rotalarının belirlenmesi planlanmıştır. Ayrıca son kilometre dağılımını iyileştirmek için akıllı ulaşım sistemlerinin nasıl kullanılabileceğine dair uygulanabileceğine dair fırsatlar belirtilmiştir (Balcık vd., 2008).

Doğal afetlerde insani yardım malzemelerinin dağıtımını için acil yardım lojistiği modeli geliştiren Wang ve arkadaşlarının önerdiği model tek ürün ve çok modlu olarak planlanmış bir karışık tamsayı dinamik programlama modelidir. En uygun taşıma çözümü, ayrıştırılmış branch ve bound algoritmasının birleşimiyle elde edilmiştir (Wang, S. Ma, Z. ve Li, 2008).

Jotshi ve arkadaşları çalışmalarında, deprem sonrasında tıbbi müdahaleye ihtiyaç duyan çok sayıdaki yaralının tahliyesi için acil durum araçlarının yönlendirilmesini sağlayan veri destekli bir yönlendirme modeli geliştirmişlerdir. Hasta önceliklendirmesi, hastanede bekleme süresi, hastane kapasitesi, kümeleme ve

gerçek mesafelerin dikkate alınmasıyla yapılan oluşturulan sevk ve yönlendirme modeli bir vaka çalışmasıyla test edilmiştir (Jotshi vd., 2009).

Vitoriano ve arkadaşları, felaketten etkilenen bir ülkede afetzedelere insani yardım dağıtımında karşılaşılan sorunların çözümüne yönelik ve lojistik operasyonların etkinliğini artırmayı amaçlayan bir karar destek sistemi sunmuşlardır (B. Vitoriano vd., 2009).

Acil durumlarda tedarik zinciri planlama sorunlarını çözmek için Chern ve arkadaşları tarafından sezgisel bir algoritma olarak geliştirilen Acil Yardım Ulaşım Planlama Algoritması (ERTPA), talep noktalarına gerekli ürünleri zamanında, kapasite ve mesafelere göre gruplu, sıralı olarak taşınmasına imkân veren mahiyettedir. ERTPA, En kısa seyahat süresi ağacı ve minimum maliyetli üretim ağacı kullanarak talepleri ayrı ayrı planlamaktadır (Chern vd., 2010).

Adıvar ve Mert, afetlerden etkilenen ülkenin ulusal müdahale kapasitesini aşan durumlarda, uluslararası kurumların kesin olmayan bilgilerle birlikte en uygun maliyetli şekilde gerçekleştirebilecekleri uluslararası bir yardım planlama modeli önermişlerdir (Adıvar ve Mert, 2010).

Afet durumlarında amaç fonksiyonu olarak asgari afet kaybını belirleyen Gu, belirlenen koşullar ve bulanık koşullar altında yardım malzemesi dağıtımı için zamanlama modeli önermiştir. Çalışmasında hem tek tip malzeme hem de birçok çeşit malzeme için iki ayrı durum kurgulanmıştır (Gu, 2011).

Afet durumlarında çok sayıda malzemenin ihtiyaç yerlerine nakledilmesi problemini bağımsızlık sisteminden esinlenen bir afinite ağı olarak tasarlayan Hu, modeli konteyner multimodal nakliye acil yardım sistemi olarak tasarlamıştır. Bu çalışmada, konteyner tedarik zinciri için yol seçimi için bir tamsayı doğrusal programlama modeli önerilmiştir (Hu, 2011).

Özdamar çalışmasında, afet sonrası tıbbi bakım ve yaralı kişilerin tahliyesi ile ilgili hem teslimatları hem de alıcıları içeren operasyonların helikopterlerle yürütülmesini koordine etmiştir. Önerilen Rota Yönetim Prosedürü (RMP), matematiksel bir model ve modelin çıktılarını sonradan işleyen bir sistemdir.

Sistemin amacı, nakliye görevini tamamlamak için gereken toplam görev süresini en aza indirmektir. İstanbul Afet Koordinasyon Merkezi'nin deprem sonrası tahmin verileri ile model test edilmiştir (Ozdamar, 2011).

Vitoriano ve arkadaşları, insani yardım lojistiğinde maliyet minimizasyonunu merkeze almayan buna mukabil maliyet, zaman, eşitlik, öncelik, güvenilirlik ve güvenliğe dayalı yeni bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Önerilen kriterler ve model, 2010 Haiti deprem verileri ile test edilmiştir (Begoña Vitoriano vd., 2011).

Afet sonrasında kritik sorunlardan biri olan kaynakların insanlar arasında tahsisi ve dağıtılması problemine Adrang ve arkadaşları, iki amaçlı karışık tamsayılı doğrusal programlama (MILP) modeli ile çözüm üretmişlerdir. Model, toplam maliyetleri en aza indirmeyi ve afetzedelere yardım sunma süresini eş zamanlı olarak en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla yaralıların taşınması ve yardım malzemelerinin ulaştırılması problemleri, üretilmiş veriler üzerinden test edilmiştir (Adrang vd., 2020).

Zhu ve arkadaşları, aynı ve çeşitli yaralanma derecelerinde afetzedelerin taşınması için farklılaştırılmış iki model önermişlerdir. Bu çalışmada, karınca kolonisi optimizasyonuna dayalı olarak tasarlanan bir meta-sezgisel algoritma gerçek veri seti üzerinde denenmiştir (Zhu vd., 2019).

Sarma ve arkadaşlarının geliştirdikleri model, afet yönetiminde tedarik maliyeti, işletme maliyeti, depolama maliyeti, nakliye maliyeti ve ceza maliyeti dahil olmak üzere toplam maliyeti en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Yaralıların tahliyesi ve insani yardım malzemelerinin ulaştırılması için kurulan modelin etkinliği gerçek verilerle ölçülmüştür (Sarma vd., 2018).

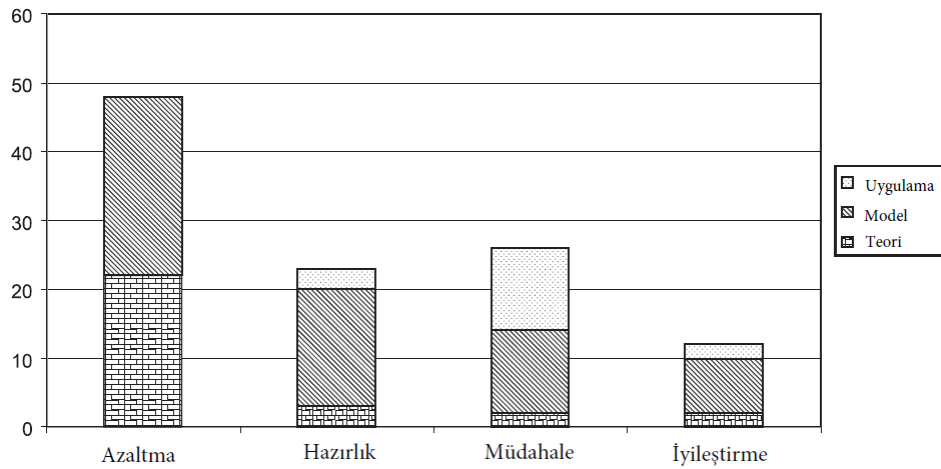
Afet sonrası artan acil ihtiyaçların karşılanabilmesi için en çok ihtiyaç duyulan altyapı sistemlerinden ulaşım ağlarının etkinliğinin sağlanabilmesi için Konstantinidou ve arkadaşları trafik atama süreciyle bağlantılı bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Gerçek bir kentsel ağ üzerinde uygulanan algoritmanın verimliliği gözlenmiştir (Konstantinidou vd., 2019).

Safeer ve arkadaşlarının, acil durumlarda için insani yardım lojistiğini inceledikleri çalışmaları; literatürde yer alan çalışmaların yaralıların tahliyesinden ürünlerin taşınmasına, amaç fonksiyonlarındaki farklılıklardan kısıtlardaki değişikliklere kadar birçok boyutu göz önüne alarak yapılmış bir sınıflama çalışmasıdır (Safeer vd., 2014).

Temur ve arkadaşları, deprem sonrasında, insanların hayati ihtiyaçlarının teminine yönelik lojistik faaliyetlerin en kısa sürede tamamlanması üzerine bir ağ tasarlamayı amaçlamışlardır. Bu amaçla ilk aşamada her bir mahallenin Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi ile insani yardım ve ihtiyaç skoru ortaya çıkarmışlar, sonrasında bu skorla beraber uzaklık minimizasyonunu amaçlayan p-medyan modeli yardımıyla dağıtım merkezlerinin konumlarını belirlemişlerdir (Temur vd., 2019).

Afet sonrası yaralı taşıma lojistiğinin literatürdeki yerini görmek için, afet operasyonları yönetimiyle ilgili yapılan yöneylem araştırmaları incelenmiş literatüre sağladıkları katkılar uygulama, model ve teori olmak üzere 3 ana başlık altında, afet yönetim aşamalarına göre değerlendirilmiştir. Afet operasyonları yönetim aşamalarında, ne tür çalışmalar yapıldığı ve literatürde ne kadar yer tuttuğu ile alakalı bulguları içeren grafik aşağıda verilmiştir: (Altay ve Green, 2006)

Grafik 1: Araştırmaların, Afet Operasyonlarında Yaşam Döngüsü Aşamalarına Göre Dağılımları



Kaynak: (Altay ve Green, 2006)

Altay ve Green'e göre, yapılan araştırmaların neredeyse yarısı afet yönetiminin “Azaltma” aşamasıyla ilgiliyken bunların yarısını teorik çalışmalar oluşturmuştur. İkinci en yüksek oranda “Müdahale” aşamasında yapılan çalışmalar oluşturmaktadır. Bu çalışmaların yarısına yakın bir oranda yeni model önerilmişken yaklaşık olarak yine aynı oranda uygulama yapılmıştır. “Hazırlık” ise en çok çalışma yapılan üçüncü aşama olmuştur. Bu aşamada yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda yeni model önerilmiştir. En az çalışma “Kurtarma” aşamasıyla ilgili yapılmış olup bunların büyük çoğunluğu da yine model üzerine yapılan çalışmalardan oluşmuştur (Altay ve Green, 2006).

Afet yönetiminde, insan hayatı kurtarma ve kayıpları en aza indirmede en etkili aşamalar Azaltma ve Hazırlık aşamalarıdır. Bu aşamalarda alınacak her önlem, afet sonrası müdahale gereksinimini azaltacağı için kritik öneme sahiptir. Alınan tüm önlemlere rağmen afet anında/sonrasında müdahale işlemleri kaçınılmazdır. Afet öncesi yapılan hazırlık çalışmalarıyla beraber afet sonrasında yaralı taşıma ve tahliye işlemleri de hayatiyet arz etmektedir.

Tablo 7: Afet Lojistiği Literatür Tarama Özeti

Literatür Araştırması	Altay, N. ve Green (2006), Caunhye vd. (2012), Safeer vd. (2014), Arenas vd. (2014),	
İnsani Yardım Malzemesi Dağıtımı	Knott R. (1987). Haghani ve Oh (1996), Barbarosoğlu ve Arda (2004), Özdamar vd. (2004); Sheu (2007a), Sheu (2010), Tzeng vd. (2007), Balcik vd. (2008a), Wang, S. Ma, Z. ve Li, Z. (2008), Vitoriano vd. (2009), Chern vd. (2010), Adivar ve Mert (2010), Gu (2011), Hu (2011), Vitoriano et al (2011)	Barbarosoğlu vd. (2002), Yi ve Özdamar (2004), Yi ve Kumar (2007), Yi, W. ve L. Ozdamar (2007) Balcik vd. (2008), Özdamar (2011), Sarma vd. (2018), Konstantinidiou vd. (2018), Adrang vd. (2020)
Yaralı Taşıma	Yi. W. ve Ozdamar, L. (2007), Yi ve Kumar (2007), Jotshi vd. (2009), Safeer vd. (2018), Zhu vd. (2019),	

Afet lojistiği literatürünün özetlendiği Tablo 7 incelendiğinde, lojistik faaliyetlerde insani yardım malzemelerinin taşınmasına olan ilginin daha yüksek olduğu görülmektedir.

Afetlerin günlük yaşantıya olumsuz etkilerini başarılı bir afet yönetimi ile azaltmak, kayıpları en aza indirmek mümkündür. Afet yönetimi öncesi ve sonrası ile beraber bir bütün olarak değerlendirilmeli her aşamada birbirini tamamlayacak planlar ve hazırlıklar yapılmalıdır.

Bu çalışmada, afet yönetimi sürecini en zor ve kritik aşamalarından biri olan deprem sonrası yaralı taşıma problemi ele alınmıştır. Yaralı taşıma problemine lojistik ağ tasarımı optimizasyonu perspektifinden yaklaşılmıştır. Bu araştırma, insani yardım lojistiğine göre daha az çalışmanın olduğu yaralı taşıma alanına katkı bulunmak üzere planlanmıştır.



DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

PROBLEM TANIMLAMA VE MATEMATİKSEL ÇERÇEVE

4.1 Araştırma Problemi

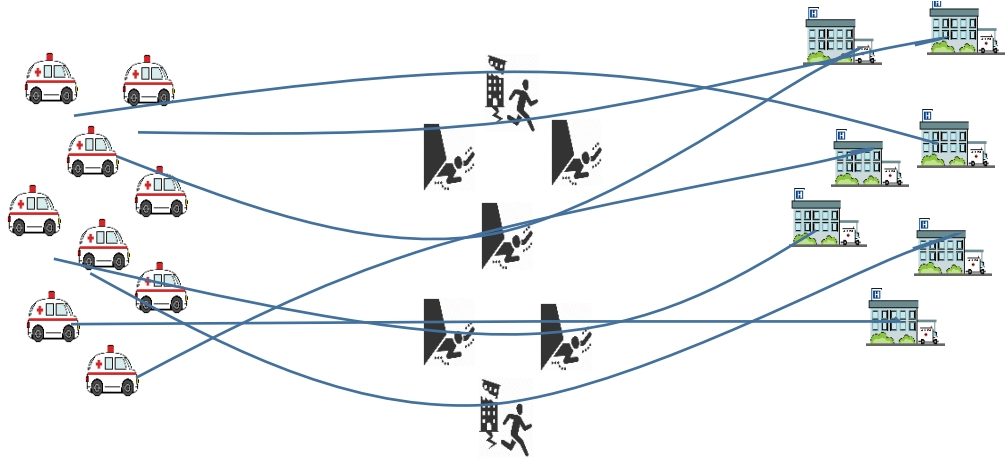
Bu araştırmanın çıkış noktasını teşkil eden problem, deprem gibi büyük bir afet sonrasında çok sayıda yaralının olduğu bir bölgede ağır yaralı hastaların sağlık kuruluşlarına taşınması sürecidir. Bu süreç içerisinde birçok parametrenin bilinmezliği sorunu karmaşıklaştıran, çözümü zorlaştıran en önemli unsurlardır.

Bu çalışmada;

- Deprem sonrasında çok sayıda insanın yaralandığı bir bölgede, yaralıların sağlık kuruluşlarına taşınması süreci iyileştirilebilir mi?
- Yaralıların taşınma süreleri azaltılabilir mi?
- Toplam taşınma süresi optimize edilebilir mi?

Sorularına cevaplar aranmıştır.

Şekil 7: Problemin Gösterimi



Problemin detayları, istenilen hedeflere ulaşmak amacıyla tasarlanan çözümün basamakları ve nitelikleri aşağıda belirtildiği gibidir:

- Araştırma kapsamında ele alınan yaralı lojistiği problemi bütünleşik bir lojistik ağ olarak tasarlanmıştır.
- Problem, 3 katmanlı bütünleşik bir lojistik ağıdır.
 - 1. Katman, Hastanelerde bulunan Ambulans istasyonları,
 - 2. Katman, Depremden bölgelerindeki ağır yaralılar,
 - 3. Katman ise Hastanelerdir.
- Yaralı arama kurtarma faaliyetlerinin 72 saat devam ettiği kabul edilmiştir.
- Uygulama bölgesi olarak İstanbul İli, Tuzla İlçesi seçilmiştir.
- Yaralıların bulunduğu konumlar Tuzla İlçesi sınırlarında rastgele olarak seçilmiştir.
- Tuzla İlçesi sınırlarında yer alan hastaneler ve ambulanslar kullanılmıştır.
- Yaralıların hastanelere yönlendirilmesinde, periyotlarda değişen hastanelerin doluluk oranları dikkate alınmıştır.
- İstanbul İli Tuzla İlçesi müstakil olarak değerlendirilmiş olup diğer komşu ilçelerdeki hastalar, ambulanslar ve hastaneler dikkate alınmamıştır.
- Gelen hasta bilgileri, yaralının durumuna göre (triyaj) önceliklendirilmiştir. Sadece ağır yaralılar için ambulanslar yönlendirilmiştir.
- Toplam ağır yaralı sayısı bilgisinin, her saat başı üstel bir fonksiyon halinde sisteme geldiği varsayılmıştır.
- Ambulansların hastalara ulaşımında en kısa süreli güzergahlar seçilmiştir.
- Yaralıların ulaşım sağlandıktan sonra yine en kısa sürede hastaneye ulaştıran rota ile ulaşım yapmaları sağlanmıştır.

4.1.1 Problemin Parametreleri

Bu çalışmada ele alınan problemde;

- Yardım talebinin geldiği her lokasyondaki yaralıları ulaşıp ulaşılamama durumu,
- Gelen talebin ne kadar bir sürede karşılanabildiği,
- Gelen talebin ne kadarının karşılanabildiği,
- Hangi hastaya hangi sırayla gidileceği,
- Hangi hastanın hangi hastaneye götürüleceği,
- Ambulans kapasitelerinin oluşacak talep için yeterlilik durumları,
- Ambulansların hastalara ulaşım için kullanacakları rotalar,
- Ambulansların hastaları aldıktan sonra, hastaneye ulaşım için kullanacakları rotalar,
- Hastane kapasitelerinin muhtemel taleplere yeterlilikleri,

gibi durumlar değerlendirmeye alınacaktır.

Bu sayede;

- Afet durumlarında mevcut hastane, ambulans ve malzeme ekipmanlarından optimum seviyede yarar sağlanması,
- Hastalara en kısa sürede ulaşılması,
- Hastaların en kısa sürede hastaneye ulaştırılması,
- Can kayıplarının minimuma indirilmesi,
- Hizmet ulaştırılma süresinin minimize edilmesi,
- Ulaşılabilen hasta sayısının maksimize edilmesi,

gibi çıktılara ulaşılması planlanmaktadır.

Probleme ait parametrelerin nitelikleri:

Hastaneler

- Hastane adresleri,
- Koordinatlar,
- Yatak sayıları,
- Sağlık personeli sayıları,
- Doluluk oranı (geçmiş yıllara ait),
- Yatan hasta sayısı (yıllara göre),

Ambulanslar

- Tuzla İlçesindeki Ambulansların lokasyonları (Koordinatları)
- Toplam Sayıları
- Ambulans Türleri/Sınıfları

Hastalar

- Hasta sayıları
- Hastaların lokasyonları
- Triyaj bilgileri

4.1.2 Problemin Varsayımları

Ambulanslar ilk etapta istasyonlarından yola çıkacak olsalar da sürecin dinamik yapısı gereği ve talep yoğunluğu dikkate alındığında tekrar istasyonlara dönmelerinin mümkün olmadığı görülmüştür. Ambulanslar, yaralıyı hastaneye ulaştırır ulaştırmaz kendisine yeni atanan hastaya doğru yola çıkmak durumundadırlar. Hastaların hepsi taşınana kadar istasyonlara uğramaları mümkün olmayacaktır. Bu sebeple kamuya ait Tuzla İlçesinde olan tüm ambulansların Tuzla Devlet Hastanesinde konuşlu olduğu ve ilk hareketlerine buradan başladıkları varsayılmıştır.

İstanbul il sınırları içerisinde hizmet veren özel ambulans sayılarının toplamı bilinmekle beraber hangi hastanede kaç tane olduğu bilgisine ulaşılammıştır. Bu sebeple toplam ambulans sayısı özel hastanelerinin yatak kapasiteleri ile doğru orantılı olarak paylaştırılmıştır.

Yukarıda en temel varsayımları belirtmiş olmakla beraber, sürece yönelik detaylı varsayımlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

- Deprem sonrası kritik öneme sahip (insanların yaralı olarak kurtulma ihtimallerinin en yüksek olduğu) 72 saatlik süreç, birer saatlik periyotlarla toplam 72 periyot olarak tanımlanmıştır.
- Depremden yaralı olarak kurtulanların genel olarak 3 sınıfa ayrıldığı göz önüne alınacak olursa, bunları; Hafif Yaralı, Orta Derecede Yaralı ve Ağır Yaralı olarak tanımlamak mümkündür.
- Bu çalışmada deprem sonrası acil durumda hastaneye taşınma önceliği ağır yaralı durumda olan hastalara verilmiştir.
- Optimizasyonda ve sonrasında çalıştırılan simülasyonda tüm kurgu ağır yaralı hastaların taşınması üzerinedir.
- Hafif ve orta derece yaralı olan hastalara ambulansları meşgul etmeden, hastanelere getirilmeden yerinde ilk yardım müdahaleleri yapıldığı varsayılmıştır.
- İlgili periyotta hizmet götürülemeyen hastaların sonraki periyotlarda ceza maliyetleri sayesinde öncelikli olarak taşınması sağlanmıştır.
- Periyot süresince ambulanslara taşıma kısıtlaması getirilmemiştir. Bazı çalışmalar da her periyotta bir hasta taşınması kısıtı getirilmiştir, bu yaklaşım matematiksel açıdan problemin çözümünü kolaylaştırırsa da problemin çözümünü gerçeklikten uzaklaştırmaktadır.
- Yatak kapasiteleri dolana kadar ambulanslar ilk atandıkları hastanelerde çalışsalar da kapasite dolumu sonrasında başka hastanelere yaralı taşımaları gerekmiştir.
- Tüm hastanelerin yatak kapasiteleri dolduğunda ise ambulanslar başlangıçta atandıkları hastanelere yaralıları taşımaya devam etmişlerdir. Ancak bu

aşamadan sonra hastanelerin yaralıları yatak imkânı sunamadan ayakta tedavi sunabildiği varsayılmıştır.

- Her periyotta oluşacak olan ağır yaralı hasta talepleri üstel bir fonksiyonla belirlenmiş olup, başlangıçta yüksek sayılarda sonlara doğru ise düşük sayılarda gerçekleşmiştir.
- Periyot içerisinde kapasite sorunu nedeniyle atandığı hastaneye hastayı getiremeyecek olan ambulans diğer periyotta başka hastanelere yönlendirilmiştir.

4.1.3 Araştırmanın Amacı

Afet ve acil durum olaylarında kriz yöneticilerinin en sık karşılaştığı problemlerden biri, yoğun talep halinde yaralıların hastanelere taşınması problemidir. Hizmet odaklı sektörlerde, acil durumlarda ihtiyacın olduğu bölgelere yardımın ulaştırılmasında izlenecek rotaların belirlenmesi, dağıtım yerlerinin tespiti, güzergah üzerinde yer alan her türlü risk unsurunun hesaplanarak karar verilmesi de lojistik ağ tasarımı kapsamında ele alınması gereken konuların başlıcalarıdır.

Bu araştırmanın amacı; depremde ağır yaralı olarak kurtulan hastaların ambulanslarla hastaneye taşınmasına kadar geçen sürenin en aza inmesini sağlayacak lojistik ağı tasarlamaktır. Bu doğrultuda matematiksel bir model geliştirilmiş ve yeni hasta seçim stratejisi önerilmiştir.

Önerilen matematiksel çözüm modeliyle, ağır yaralıların deprem bölgelerinden kalıcı ve geçici hastanelere taşınması sürecinin optimize edilmesi amaçlanmıştır. Hasta seçim stratejisi ile de hastaların bekleme sürelerinin en aza indirilmesi ve taşıma işleminin koordinasyonu hedeflenmiştir.

Bu doğrultusunda optimizasyon modeli ve önceliklendirilmiş hasta seçim stratejisi kullanarak, hastaların sağlık kuruluşlarına en kısa sürede taşınmasını sağlamak ve bekleyen hasta sayısını azaltmak hedeflenmiştir.

4.1.4 Araştırmanın Kapsamı ve Kısıtları

İstanbul İl Sağlık Müdürlüğünden İstanbul İl sınırları içerisinde yer alan tüm hastane ve ambulanslara yönelik bilgiler talep edilmiş; İstanbul il sınırları içerisinde

yer alan tüm hastanelere ait konumlar, personel sayıları, yatak kapasiteleri ve hastanelerin doluluk oranları gibi başlıklarda veriler alınmıştır. Ambulans istasyonlarına ait bilgiler de aynı kapsamda temin edilmiştir.

VanWassehove'e göre tüm felaketler esasen yereldir ve bu nedenle afetlere müdahalenin başarılı olması büyük ölçüde yerel yeteneklere iş birliğine bağlıdır (VanWassehove, 2006). Afet sonrası kritik başlangıç saatlerinde hızlı ve etkin müdahale büyük ölçüde yerel imkanlarla yapılan müdahalenin kapasitesine, hızına ve etkinliğine bağlıdır (Altay, 2008). Bu yaklaşımları takiben önerilen modelin ve hasta seçim yönteminin Tuzla İlçesi özelinde uygulaması yapılmıştır.

Bu çalışma, İstanbul İli Tuzla İlçesi özelinde yapılmış olup alınan verilerin Tuzla İlçesine ait olanları kullanılmıştır. Bunlara ilaveten Tuzla İlçesine ait CBS bilgileri ise Open Street Map ve Python "Osmnx" kütüphanesi kullanılarak elde edilmiş, analizlerde kullanılmıştır.

Bu çalışmanın bazı kısıtları aşağıda ifade edilmiştir:

- Sistemin sadece kara ambulansları üzerine inşa edilmiş olması, hava ve deniz taşıtlarının entegre edilmemiş olması çalışma için önemli bir kısıttır.
- Tuzla ilçesi özelinde uygulama yapıldığı için komşu ilçelerin âtıl kapasitelerinin kullanılamıyor olması bu çalışmanın en önemli kısıtlarından biridir.
- Âtıl kapasitenin haricinde yakın komşu hastanelerin sistemde olması amaç fonksiyonun daha optimum hale getirebilir.
- Çalışmanın tüm İstanbul'da oluşan yaralı taleplerini değerlendirmeye almaması, yine tüm hastanelerle beraber tüm ambulansları dinamik bir yapıda çözüme dahil edilmemiş olması önemli bir kısıt olarak değerlendirilebilir.

4.1.5 Araştırmanın Önemi ve Özgün Değeri

Mevcut kaynaklardan maksimum faydayı sağlayabilmek, acil gelişen ihtiyaçlara en kısa sürede cevap verebilmek amacıyla sistem içerisindeki tüm değişkenlerin hesaba katıldığı yeni modeller tasarlamak gerekmektedir. Deprem

sonrası müdahale aşamasının hayatiyet arz ettiği göz önüne alındığında kurulacak modellerin önemi daha iyi anlaşılmaktadır.

Deprem sonrası sağlık hizmetlerine yönelik yaşanabilecek acil ihtiyaçların belirsizliğinden dolayı problemin, dinamik değişken ve dinamik kısıtlarla modellenmesi bir gerekliliktir. Bu sayede acil karar vermenin önemli olduğu deprem gibi durumlarda, belirsizliklere uygun çözümler üretmek mümkündür.

Bu çalışma, belirli olasılıkların dahilinde oluşturulacak olan model büyük veri akışının olduğu bir ortamda esnek, kolay ve etkin kararlar alınmasına imkân verecektir. Çalışma, zamanla dinamik bir şekilde akan verinin karar alma sürecine dahil edilmesinin bir örneği olması açısından ayrıca önem arz etmektedir.

Sağlık hizmetleri açısından bakıldığında, acil durumlarda hastalara ulaşım, ambulans sevk etme, hastanelerin kapasitelerine göre dağıtım yapılması gibi çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışma bu ihtiyaca da cevap verecek mahiyettedir. Ayrıca, oluşturulan karar alma mekanizması ile beraber acil durumlarda hastalara ulaşmak, onları hastaneye yetiştirebilmek gibi sorunlar için optimum çözümler üretilmiş olacaktır.

Çalışmanın literatürdeki benzer çalışmalardan farklılaştığı özelliklerini aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Önerilen optimizasyon modeli ile birlikte yeni hasta seçim yönteminin entegre olduğu bir çalışmadır. Bu haliyle literatürdeki az sayıda çalışmadan biridir.
- Oluşturulacak olan modelle büyük veri akışının olduğu bir ortamda esnek, kolay ve sağlıklı kararlar alınması mümkün olacaktır.
- Her periyot başında optimizasyon modeli değişen kapasite ve kısıtlarla yeniden çalıştırılmıştır. Bu haliyle dinamik bir yapıdadır.
- Literatürde benzer çalışmalarda, yaralıların belirli noktalarda toplanarak taşındığı varsayılmıştır. Bu çalışmada gerçeğe daha uygun şekliyle yaralı sayısı kadar farklı noktaya ulaşım sağlanmıştır.

- Literatürdeki birçok çalışmada gerçek olmayan uzaklıklar ve süreler üzerinden hesaplamalar yapılmışken, bu çalışmada belirlenen gerçek koordinatlar üzerinden mesafe matrisi oluşturulmuş, gerçek ulaşım süreleri hesaplanmıştır.
- Literatürde benzer çalışmalarda, ambulansların sefer sayıları periyot süresinde tek sefer olacak şekilde kısıtlanmıştır. Bu varsayım gerçeklikten uzak sonuçların üretilmesine sebep olmuştur. Bu çalışmada ambulanslar periyot süresi içerisinde durmaksızın hasta taşıma işlemine devam etmişlerdir.
- Hastaların dağıtımında, hastanelerin kapasiteleri dikkate alınmıştır.
- Deprem sonrası müdahale sürecinin sadece 1 saatini simüle eden çalışmalara kıyasla tüm sürecin (72 saat) simüle edilmiş olduğu bir çalışmadır.
- Literatürde yer alan çalışmaların çoğunda sadece acil yardım ünitelerinin yatak kapasiteleri kullanılmış, diğer birimler toplam kapasiteye dahil edilmemiştir. Bu yüzden hastaların tedavi süreleri de kısa tutulmuştur. Bu çalışmada hastane kapasitesi bütün olarak ele alınmıştır.

4.2 Araştırmanın Modeli ve Yöntemi

Lojistik ağ tasarımı ve zamana yaygın dinamik atama problemleri incelendiğinde, çözüme ulaşabilmek için lojistik ağın türüne ve eldeki verilerin yapısına göre değişen birçok matematiksel yöntemin kullanıldığı görülmektedir.

Bu çalışmada, kmeans kümeleme yönetimi, karışık tamsayılı programlama optimizasyon modeli ve yeni bir hasta seçim yöntemi deprem sonrası lojistik ağ tasarımı karşılaşılan sorunların aşılması amacı ile birlikte kullanılmıştır.

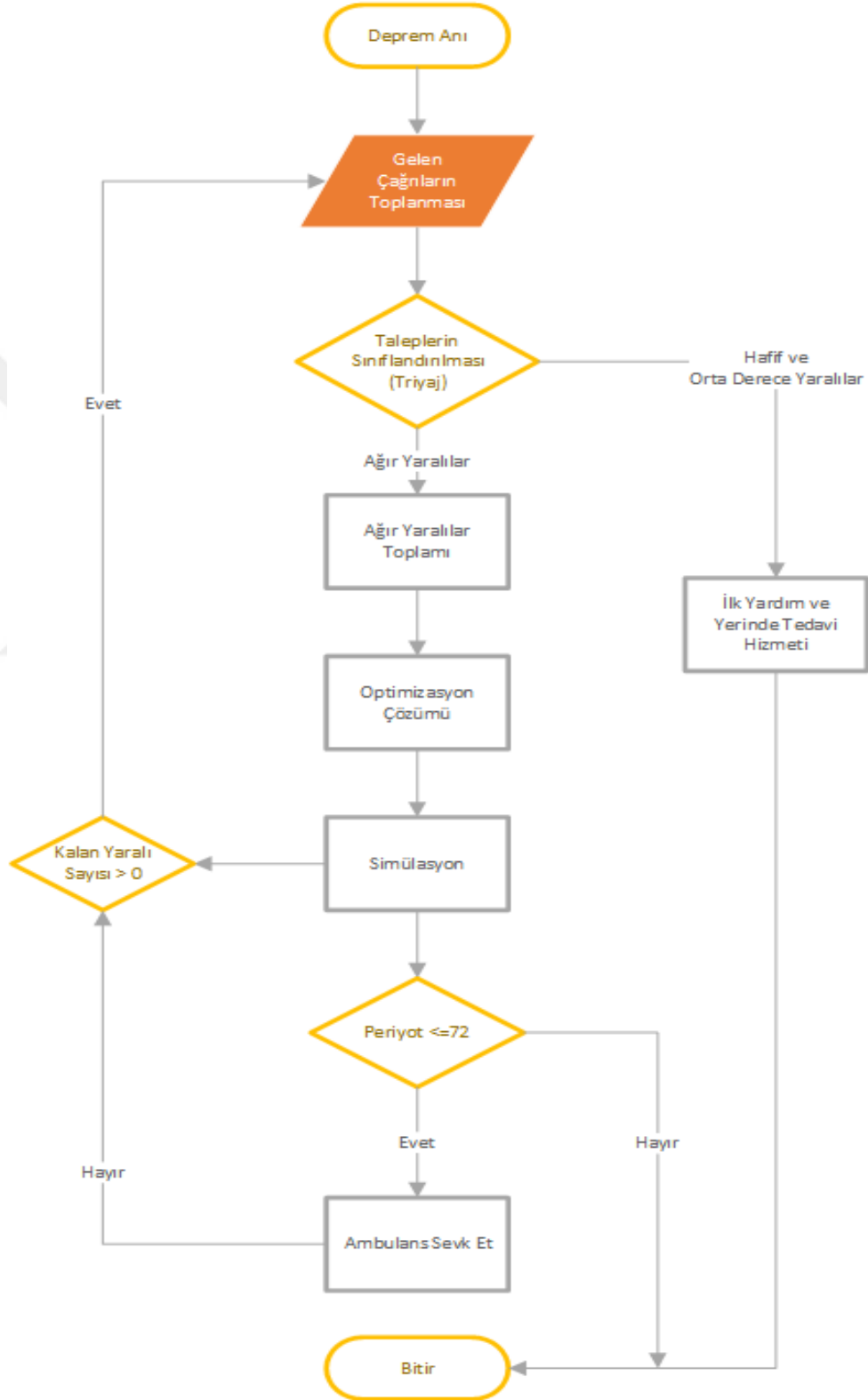
Her periyotta, ağır yaralılar için oluşan hizmet talebi sayısı değişkenlik arz etmekte, hastane kapasiteleri de gittikçe azalmaktadır. Bu problemin çözümü için iki aşamalı bir çözüm modeli önerilmiştir. Birinci aşamada önerilen matematiksel model karışık tamsayılı programlama modelidir. İkinci aşama ise, matematiksel modelin çıktılarının hasta seçim yöntemine göre simüle edildiği aşamadır.

Bu sayede, hastanelerin ve ambulansların kapasitelerinin optimum şekilde kullanılması sağlanmıştır. Çalışmanın genelinde izlenen yollar, kullanılan teknikler ve analizler aşağıda sıralandığı gibidir:

- Araştırma kapsamında ele alınan yaralı lojistiği problemi çok aşamalı bütünleşik bir lojistik ağ olarak tasarlanmış, bu doğrultuda önerilen matematiksel karışık tamsayılı programlama modeli ve hasta seçim modeli ile problem çözülmüştür.
- Dijkstra En Kısa Yol Algoritması (*Dijkstra's Shortest Path Algorithm*) ile hastaneler ve yaralılar arasındaki en kısa mesafeler belirlenmiştir.
- Hastaların ilçe genelindeki dağılımlarını göstermek için K-means kümeleme Analizi kullanılmıştır.
- Karışık Tamsayılı Programlama (*Mixed Integer Linear Programming*) ile ambulansların hangi hastalara atandığı belirlenmiştir.
- Ambulansların toplam ulaşım sürelerini minimize etmeyi amaçlayan modelin çözümünde Dal-Kesme Algoritması (*Branch and Cut Algorithm - CBC*) kullanılmıştır.
- Hasta seçim yöntemi ile hangi hastalara gidileceği, hangi hastalara gidilemeyeceği tespit edilmiştir.
- Simülasyon ile periyot sonlarında “Taşınan” ve “Kalan” hastalar tespit edilmiştir.

4.2.1 Grafik Model

Grafik 2: Grafik Model



4.2.2. Matematiksel Model

Yaralı taşıma probleminin çözümü için Karışık Tamsayılı Programlama (*Mixed Integer Linear Programming*) modeli önerilmiştir. Ambulansların toplam ulaşım sürelerini minimize etmeyi amaçlayan modelin çözümünde Dal-Kesme Algoritması (Branch and Cut Algorithm - CBC) kullanılmıştır.

COIN Branch ve Cut çözücü (CBC), Excel OpenSolver üzerinde çözüm motoru olarak çalışan, C ++ ile yazılmış açık kaynaklı bir karışık tamsayılı programlama (MILP) çözücüsüdür. CBC, hâlen aktif olarak www.coin-or.org adresinde John Forrest tarafından yürütülmekte olan aktif açık kaynaklı bir projedir (Forrest ve Lougee-Heimer, n.d.).

4.2.3 Notasyon

Kümeler ve Parametreler

Afet sonrası yaralı lojistiği problemlerinin çözümü için ihtiyaç duyulan Kümeler ve Parametreler aşağıda belirtilmiştir:

Kümeler ve Parametreler:

- | | | |
|-------------|-------------------------------|-------------------|
| • H | : Hastaneler kümesi | $h=1,2,\dots,H$ |
| • H_{loc} | : Hastane konumu | $H_{loc} \in H$ |
| • H_{cap} | : Hastane Kapasitesi | $H_{cap} \in H$ |
| • P | : Ağır yaralı hastalar kümesi | $p=1,2,\dots,P$ |
| • P_{loc} | : Hasta konumu | $P_{loc} \in P$ |
| • A | : Ambulanslar kümesi | $a=1,2,\dots,A$ |
| • a | : Ambulans konumu | $a \in H$ |
| • t | : Zaman, periyot | $t=1,2,\dots,T$ |
| • c_t | : Maliyet, (bekleme maliyeti) | $c_t=1,2,\dots,C$ |

Durum Değişkenleri:

- A_{num} : t periyodu içinde taşıma yapan ambulansların sayısı
- A_{cap} : Ambulansların hasta taşıma kapasiteleri
- A_{nnp} : Ambulansların periyotta taşınması gereken hasta sayısı
- A_{nap} : Ambulanslara periyotta taşınması için atanan hasta sayısı
- A_{nsp} : Ambulansların periyotta taşıdıkları hasta sayısı
- A_{ntp} : Her ambulansın taşıdığı toplam hasta sayısı
- A_{tst} : Her ambulans için toplam servis süresi
- A_{tsp} : Ambulansların periyot içi servis süreleri
- H_{cap} : t periyodunun başlangıcında hastanelerin boş kapasiteleri
- H_{tcap} : t periyodunun başlangıcında hastanelerin toplam boş kapasiteleri
- H_{nsp} : Her hastanenin tedavi ettiği yataklı hasta sayısı
- H_{nst} : Her hastanenin ayakta tedavi ettiği hasta sayısı
- P_{tn} : t periyodun başlangıcında oluşan yeni hastalar
- P_{us} : t-1 zamanında ulaşılamayan ve ilgili periyoda kalan hastalar
- P_{tt} : t periyodunun başlangıcında ambulans bekleyen toplam hasta sayısı
- P_{tns} : t periyodunun sonunda hizmet götürülen yaralı sayısı
- P_{tnu} : t periyodunun sonunda hizmet götürülemeyen yaralı sayısı
- P_{twt} : Her hastanın hizmet alabilmek için beklediği süre
- P_{tst} : Her hastanın toplam taşınma süresi
- T_{a2p} : Ambulansın hastaya ulaşma süresi
- T_{a2h} : Ambulansın hastaneye dönüş süresi
- T_{atst} : Ambulansların toplam servis süresi

Karar Değişkeni:

- M : Ambulansın ilgili hastaya atanması durumu

Amaç Fonksiyonu:

Minimizasyon

$$z = \sum_{t=1}^T \sum_{a \in H} \sum_{p \in H} \sum_{h \in H} c_t(T_{a2p} + T_{a2h}).M$$

Kısıtlar:

$$\sum_{h=1}^H M = A_{nnp} \quad \forall A \in P \text{ için}$$

$$M \in \{0,1\}$$

$$M \geq 0 \quad \text{Hasta atama durumu}$$

$$A_{nnp} \geq 0 \quad \text{Ambulansların periyotta taşınması gereken hasta sayısı, 0'dan büyük veya 0'a eşit olmalıdır.}$$

$$A_{nsp} \geq 0 \quad \text{Ambulansların periyotta taşıdıkları hasta sayısı, 0'dan büyük veya 0'a eşit olmalıdır.}$$

$$A_{nnp} \geq A_{nsp} \quad \text{Taşınması gereken hasta sayısı, taşınan hasta sayısından büyük veya taşınan hasta sayısına eşit olmalı.}$$

$$A_{ntp} \geq 0 \quad \text{Her ambulansın taşıdığı toplam hasta sayısı, 0'dan büyük veya 0'a eşit olmalıdır.}$$

$$A_{num} \geq 1 \quad \text{Toplam ambulans sayısı 1'den büyük olmalıdır.}$$

$$A_{cap} = 1 \quad \text{Ambulansların taşıma kapasiteleri 1 hasta ile sınırlıdır.}$$

$$P_{tt} \geq 0 \quad \text{t periyodunun başlangıcında ambulans bekleyen toplam hasta sayısı, 0'dan büyük veya 0'a eşit olmalıdır.}$$

$$P_{tns} \geq 0 \quad \text{t periyodunun sonunda hizmet götürülen yaralı sayısı, 0'dan büyük veya 0'a eşit olmalıdır.}$$

$P_{tt} \geq P_{tns}$	t periyodunun başlangıcında ambulans bekleyen toplam hasta sayısı, periyot sonunda hizmet götürülen hasta sayısına eşit veya hasta sayısından daha büyük olmalıdır.
$P_{twt} > 0$	Her hastanın hizmet alabilmek için beklediği süre 0'dan büyüktür.
$P_{tn} \geq 0$	t periyodun başlangıcında oluşan yeni hastaların sayısı, 0'dan büyük veya 0'a eşit olmalıdır.
$P_{us} \geq 0$	t-1 periyodunda ulaşılamayan hastaların sayısı, 0'dan büyük veya 0'a eşit olmalıdır.
$P_{tt} = P_{tn} + P_{us}$	t periyodunun başlangıcında ambulans bekleyen toplam hasta sayısı, t-1 periyodunda ulaşılamayan ve t periyodun başlangıcında oluşan yeni hastaların toplam sayısına eşittir.
$P_{tt} = P_{tns} + P_{tnu}$	t periyodunun başlangıcında ambulans bekleyen toplam hasta sayısı, t periyodunun sonunda taşınan yaralı sayısı ve t periyodunun sonunda ulaşılamayan yaralı sayısının toplamına eşittir.
$P_{tt} = A_{nnp}$	t periyodunun başlangıcında ambulans bekleyen toplam hasta sayısı ile ambulansların periyotta taşınması gereken hasta sayısı birbirine eşittir.
$H_{nsp} \geq 0$	Her hastanenin tedavi ettiği yataklı hasta sayısı
$H_{nst} \geq 0$	Her hastanenin ayakta tedavi ettiği hasta sayısı
$T_{atst} > 0$	Ambulansların toplam servis süreleri 0'dan büyük olmalıdır.
$T_{a2p} > 0$	Ambulansın hastaya ulaşma süresi, 0'dan büyük olmalıdır.

$T_{a2h} > 0$ Ambulansın hastaneye dönüş süresi 0'dan büyük olmalıdır.

$t \geq 1$ Periyot sayısı 1'den büyük olmalıdır.

$c_t \geq 1$ Ceza puanı 1 veya 1'den büyük olmalıdır.

Varsayımlar:

- Bir periyotta ambulanslar birden fazla sefer yapabilirler.
- Ambulanslar, periyot içerisinde atandıkları hastaneden başkasına taşıma yapamazlar.
- Ambulanslar hastanelerde konumlanmıştır.
- Deprem sonrası kritik öneme sahip 72 saatlik süreç, birer saatlik periyotlarla toplam 72 periyot olarak tanımlanmıştır.
- Yaralıların; Hafif Yaralı, Orta Derecede Yaralı ve Ağır Yaralı olarak 3 sınıfa ayrılmıştır.
- Hastaneye taşınma problemi ağır yaralı durumda olan hastalar için ele alınmıştır.
- Hafif ve orta derece yaralı olanların hastaneleri ve ambulansları meşgul etmeden, yerinde ilk yardım müdahaleleri yapılmıştır.

4.3 Veri Toplama

Çalışmada; T.C. Sağlık Bakanlığı, İstanbul İl Sağlık Müdürlüğü, TÜİK, AFAD gibi kurumların yayınladıkları raporlar ve halka açık veri tabanlarından elde edilen veriler kullanılmıştır. İl sınırları içerisinde yer alan hastane, ambulans, doktor, sağlık çalışanı gibi birçok detay veriye İl Sağlık Müdürlüğünden ulaşılmıştır.

Bunların yanı sıra Tuzla İlçesindeki muhtemel ağır yaralı durumlarının hangi lokasyonlarda olduğunu tespit etmek ve mesafe matrislerini oluşturmak için Python'da OSMnx kütüphanesi kullanılmıştır.

OSMnx, OpenStreetMap verilerini kullanarak gerçek dünyada cadde ve sokak ağlarını modellenmesine, görselleştirilmesine ve analiz edilmesine imkân veren bir Python paketidir (Boeing, 2017). Aynı zamanda kullanıcılara yürünebilir, sürülebilir veya bisiklete binebilir rotalar sunabilen, bunların analizine, görselleştirilmesine imkân veren bir kütüphane olarak kapsamlı ve esnek bir içeriğe sahiptir.

Hastanelere Ait Bilgiler:

Tablo 8: İstanbul'daki Hastane ve Yatakların Dağılımı, 2002-2019

İstanbul	Sağlık Bakanlığı		Üniversite		Özel		Diğer ⁽¹⁾		Toplam	
	Has. Sayısı	Yat. Sayısı	Has. Sayısı	Yat. Sayısı	Has. Sayısı	Yat. Sayısı	Has. Sayısı	Yat. Sayısı	Has. Sayısı	Yat. Sayısı
2002	44	15 052	5	4 084	137	7 473	9	4 352	195	30 961
2003	45	14 601	5	3 624	136	7 471	9	4 307	195	30 003
2004	48	14 696	6	4 320	136	7 334	8	4 154	198	30 504
2005	50	14 261	6	3 931	136	7 764	6	4 263	198	30 219
2006	51	14 017	7	4 049	137	7 324	5	4 196	200	29 586
2007	52	13 327	7	3 989	139	7 473	5	4 169	203	28 958
2008	53	14 919	9	4 295	142	8 591	5	4 247	209	32 052
2009	52	14 637	9	4 295	150	9 700	5	4 247	216	32 879
2010	52	15 326	10	4 690	154	10 387	4	3 337	220	33 740
2011	52	15 310	9	4 270	152	10 539	4	1 188	217	31 307
2012	52	15 447	9	4 106	158	11 454	4	1 228	223	32 235
2013	55	15 465	12	4 281	162	12 124	4	1 234	233	33 104
2014	57	15 760	12	4 189	163	12 530	4	1 102	236	33 581
2015	55	15 513	15	4 387	162	13 181	4	1 008	236	34 089
2016	56	17 268	16	4 722	166	14 134	-	-	238	36 124
2017	54	17 783	16	5 423	168	14 748	-	-	238	37 954
2018	53	18 904	16	5 598	167	14 826	-	-	236	39 328
2019	54	19 806	16	5 849	165	15 042	-	-	235	40 697

Kaynak: Sağlık Bakanlığı, (TÜİK, 2021)

Notlar: (1) 2002-2015 yılları arasında; Sağlık Bakanlığı, üniversite ve özel sektör dışında kalan Milli Savunma Bakanlığı ve belediyelere ait hastaneler “Diğer” olarak tanımlanmıştır.

2016 yılında MSB’ye bağlı hastaneler Sağlık Bakanlığına devredilmiş olup 2016-2019 yılları arasında Sağlık Bakanlığı rakamlarına dahil edilmiştir.

Tablo 8’de özet bilgileri verilen İstanbul ilindeki hastanelere ait bilgiler incelediğinde, 2002 yılında 195 olan hastane sayısının 2019 yılında 235’e yükseldiği görülmektedir. Ayrıca 2002 yılında 30.961 olan toplam yatak kapasitesi 2019 yılı itibarı ile 40.697’ye yükselmiştir.

Tablo 9: İstanbul'da Görev Yapan Sağlık Personellerinin Dağılımı, 2008-2019

İstanbul	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Uzman hekim	13 574	14 362	14 437	14 719	15 608	15 898	16 438	17 288	19 457	18 252	20 203	21 054
S. B.	4 385	4 420	5 376	5 640	5 936	6 152	6 832	7 646	8 012	8 185	8 472	8 651
Üniv.	2 000	2 000	1 709	2 499	2 556	2 384	2 343	2 486	4 232	2 854	2 897	3 102
Özel	7 189	7 942	7 352	6 580	7 116	7 362	7 263	7 156	7 213	7 213	8 834	9 301
Pratisyen hekim	4 073	5 107	5 845	5 741	5 621	4 804	5 210	5 918	6 882	6 502	6 734	7 083
S. B.	2 946	3 374	4 176	4 200	4 038	3 493	3 883	4 578	5 295	4 975	5 484	5 755
Üniv.	-	-	4	19	22	34	41	43	33	59	62	93
Özel	1 127	1 733	1 665	1 522	1 561	1 277	1 286	1 297	1 554	1 468	1 188	1 235
Asistan hekim	5 038	5 411	5 379	5 114	5 358	5 392	5 470	5 591	5 546	5 942	6 115	6 751
S. B.	4 016	4 389	3 624	3 332	3 417	3 894	3 975	4 036	4 076	4 025	4 143	4 624
Üniv.	1 022	1 022	1 755	1 782	1 811	1 388	1 402	1 476	1 470	1 917	1 972	2 127
Özel	-	-	-	-	130	110	93	79	-	-	-	-
Toplam hekim	22 685	24 880	25 661	25 574	26 587	26 094	27 118	28 797	31 885	30 696	33 052	34 888
S. B.	11 347	12 183	13 176	13 172	13 391	13 539	14 690	16 260	17 383	17 185	18 099	19 030
Üniv.	3 022	3 022	3 468	4 300	4 389	3 806	3 786	4 005	5 735	4 830	4 931	5 322
Özel	8 316	9 675	9 017	8 102	8 807	8 749	8 642	8 532	8 767	8 681	10 022	10 536
Diş Hekimi⁽¹⁾	5 636	5 512	5 385	5 346	5 725	5 823	6 046	6 497	7 381	7 627	7 539	8 340
S. B.	619	652	821	920	897	901	850	1 087	1 146	1 320	1 571	1 733
Üniv.	275	316	296	222	210	35	133	180	474	549	756	826
Özel	4 742	4 544	4 268	4 204	4 618	4 887	5 063	5 230	5 761	5 758	5 212	5 781
Hemşire	14 802	17 023	17 923	19 919	20 798	20 620	21 003	24 720	24 616	27 421	34 502	35 067
S. B.	8 373	8 959	10 722	11 768	11 551	11 207	11 763	13 843	13 260	15 115	19 622	19 357
Üniv.	2 016	2 016	1 899	2 693	2 695	2 257	2 332	2 455	2 406	3 356	3 633	4 147
Özel	4 413	6 048	5 302	5 458	6 552	7 156	6 908	8 422	8 950	8 950	11 247	11 563
Diğer sağlık personeli⁽²⁾	11 869	12 601	12 591	12 175	15 475	13 500	16 807	18 416	15 721	17 331	27 392	28 936
S. B.	6 186	5 958	6 701	6 892	6 781	8 168	8 176	9 129	9 335	9 994	11 568	11 999
Üniv.	336	892	376	580	1 298	1 621	1 738	1 868	1 619	2 571	2 996	3 372
Özel	5 347	5 751	5 514	4 703	7 396	3 711	6 893	7 419	4 767	4 766	12 828	13 565
Ebe	4 098	4 812	5 427	5 575	5 729	5 477	5 474	5 755	5 791	6 011	6 116	5 945
S. B.	3 184	3 332	4 096	4 314	4 363	4 117	4 241	4 342	4 429	4 598	5 011	4 830
Üniv.	3	3	3	54	59	92	96	100	66	117	110	129
Özel	911	1 477	1 328	1 207	1 307	1 268	1 137	1 313	1 296	1 296	995	986
Eczacı⁽³⁾	5 027	4 964	5 044	5 218	5 228	5 234	5 241	5 312	5 360	5 406	5 999	6 596
S. B.	169	185	224	236	238	256	253	328	346	348	438	487
Üniv.	12	12	25	38	37	29	35	35	38	82	94	167
Özel	4 846	4 767	4 795	4 944	4 953	4 949	4 953	4 949	4 976	4 976	5 467	5 942

Kaynak: Sağlık Bakanlığı, TÜİK(TÜİK, 2021)

2012 yılı öncesi personel sayılarına Milli Savunma Bakanlığı'na bağlı kurum ve kuruluşlarda çalışan sağlık personeli sayıları dahil değildir. 2012 yılı sonrası "Özel" sektör içerisinde değerlendirilmiştir.

2002 yılı SSK personel sayıları Sağlık Bakanlığı personel sayılarına dahil edilmiştir.

"Diğer" sağlık kurumlarında çalışan sağlık personeli sayısı "Özel" sektör rakamlarına dahil edilmiştir.

(1) 2018 yılından itibaren "Diş Hekimi" sayısına asistan diş hekimi dahil edilmiştir.

(2) "Diğer Sağlık Personeli" sayısına aşağıdaki branşlarda çalışan personeller dahil edilmiştir; Ameliyat Teknisyeni, Anestezi Teknisyeni, Biyolog, Çevre Sağlığı Teknisyeni, Çocuk Gelişimcisi, Diş Protez Teknisyeni, Diş Teknisyeni, Diyetisyen, Fizik Tedavi Teknisyeni, Fizikoterapist, Fizyoterapist, İlk ve Acil Yardım Teknisyeni, İlk ve Acil Yardım Teknikeri, Kalp Akciğer Pompa Çalışma Teknisyeni, Laboratuvar Teknikeri, Laboratuvar Teknisyeni, Odyolog, Odyometri Teknikeri, Odyometri Teknisyeni, Ortopedi Teknisyeni, Patolojik Anatomi Teknisyeni, Perfüzyonik Pompa

Teknisyeni, Protez Teknisyeni, Psikolog, Röntgen Teknisyeni, Sağlık Fizikçisi, Sağlık Savaş Memuru, Sağlık Teknikeri, Sağlık Teknisyeni, Sitopatoloji, Sosyal Çalışmacı, Tıbbi Sekreter, Tıbbi Teknolog, Toplum Sağlığı Teknisyeni.
(3) 2018 yılından itibaren “Eczacı” sayısına serbest eczanelerde çalışan ikinci eczacı ve yardımcı eczacı dahil edilmiştir.

Tablo 9’da İstanbul ilinde görev yapan tüm sağlık personelinin yıllara göre değişimleri verilmiştir. 2008 yılında 22.685 olan toplam hekim sayısının 2019 yılında 34.888’e yükseldiği görülmektedir. Yatak başına yaklaşık olarak 0,86 hekim düşmektedir.



Tablo 10: İstanbul'daki Devlete Hastanelerin Rollerı, Yatak Sayıları, Personel Sayıları

	Hastane Adı	Rol	Yatak Sayısı	Hekim Tabip	Hekim Uzman	Hemşire + Ebe Sayısı	Başvuru Sayısı	Acil Başvuru Sayısı	Yatan Hasta
1	İSTANBUL ARNAVUTKÖY DEVLET HASTANESİ	B	201	19	79	135	1.077.196	303.025	13.949
2	İSTANBUL AVCILAR MURAT KÖLÜK DEVLET HASTANESİ	B	100	20	63	111	679.589	208.690	5.550
3	İSTANBUL BAĞÇELİEVLER DEVLET HASTANESİ	B	205	27	104	188	1.114.930	450.448	19.056
4	İSTANBUL BAŞAKŞEHİR DEVLET HASTANESİ	B	100	28	75	92	888.825	247.707	5.796
5	İSTANBUL BAYRAMPAŞA DEVLET HASTANESİ	B	100	16	97	124	1.124.800	262.767	9.212
6	İSTANBUL BEŞİKTAŞ SAİT ÇİFTÇİ DEVLET HASTANESİ	C	50	12	33	22	409.847	36.515	0
7	İSTANBUL BEYKOZ DEVLET HASTANESİ	A2	329	21	164	266	1.252.044	359.629	14.195
8	İSTANBUL ÇATALCA İLYAS ÇOKAY DEVLET HASTANESİ	B	100	12	40	103	408.165	128.235	3.344
9	İSTANBUL ERENKÖY FİZİK TEDAVİ VE REHABİLİTASYON HASTANESİ	A2_Dal	113	1	30	33	208.033	0	1.083
10	İSTANBUL ESENLER KADIN DOĞUM VE ÇOCUK HASTALIKLARI HASTANESİ	A2_Dal	103	4	59	108	399.771	149.354	13.889
11	İSTANBUL ESENYURT NECMİ KADIOĞLU DEVLET HASTANESİ	B	199	20	99	193	1.695.209	525.856	12.532
12	İSTANBUL EYÜP DEVLET HASTANESİ	B	140	10	86	129	1.023.044	275.495	7.889
13	İSTANBUL İSTİNYE DEVLET HASTANESİ	B	128	27	73	101	628.840	202.848	6.604
14	İSTANBUL KAĞITHANE DEVLET HASTANESİ	B	51	20	56	73	687.754	179.806	3.498
15	İSTANBUL LEPRİ DERİ VE ZÜHREVİ HASTALIKLARI HASTANESİ	A2_Dal	34	0	12	19	95.321	0	3.480
16	İSTANBUL LÜTFİYE NURİ BURAT DEVLET HASTANESİ	C	75	8	43	84	667.656	204.549	3.378
17	İSTANBUL MALTEPE DEVLET HASTANESİ	C	50	21	40	49	423.661	114.033	1.587
18	İSTANBUL MESLEK HASTALIKLARI HASTANESİ	A2_Dal	52	4	28	26	147.903	535	560
19	İSTANBUL PENDİK DEVLET HASTANESİ	B	100	27	91	134	1.014.155	322.749	10.950
20	İSTANBUL SARIYER İSMAİL AKGÜN DEVLET HASTANESİ	C	40	24	33	56	393.405	118.440	1.328
21	İSTANBUL SİLİVRİ CEZA İNFAZ KURUMU DEVLET HASTANESİ	C	30	11	10	14	65.763	14.360	15
22	İSTANBUL SİLİVRİ DEVLET HASTANESİ	B	223	30	80	202	890.048	270.797	13.707
23	İSTANBUL SULTANBEYLİ DEVLET HASTANESİ	A2	100	26	127	282	1.610.568	569.645	9.858
24	İSTANBUL ŞİLE DEVLET HASTANESİ	C	25	17	9	39	178.268	60.044	546
25	İSTANBUL T.C. SB. SBÜ. İŞİLİ HAMİDİYE ETFAL EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ	A1	756	28	353	736	2.093.703	489.970	40.841
26	İSTANBUL T.C. SB. İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ GÖZTEPE EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ	A1	640	25	336	612	1.811.893	383.511	33.757
27	İSTANBUL T.C. SB. MARMARA ÜNİVERSİTESİ PENDİK EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ	A1	647	36	389	596	1.448.867	294.257	42.024
28	İSTANBUL T.C. SB. SBÜ. BAĞCILAR EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ	A1	498	27	279	550	2.512.420	726.491	45.032
29	İSTANBUL T.C. SB. SBÜ. BALTALIMANI METİN SABANCI KEMİK HASTALIKLARI EAH.	A1_Dal	136	4	94	96	668.463	87.342	8.742
30	İSTANBUL T.C. SB. SBÜ. BEYOĞLU GÖZ EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ	A1_Dal	100	5	60	63	506.275	41.102	14.106
31	İSTANBUL T.C. SB. SBÜ. DR. SADİ KONUK EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ	A1	612	14	348	618	2.837.298	470.052	37.072
32	İSTANBUL T.C. SB. SBÜ. DR.SİYAMİ ERSEK GÖĞÜS KALP VE DAMAR CERRAHİSİ EAH.	A1_Dal	480	1	191	415	573.456	73.800	22.799
33	İSTANBUL T.C. SB. SBÜ. ERENKÖY RUH VE SİNİR HASTALIKLARI EAH.	A1_Dal	250	1	64	125	325.638	21.349	7.382
34	İSTANBUL T.C. SB. SBÜ. FATİH SULTAN MEHMET EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ	A1	680	5	235	611	1.601.578	385.115	26.934
35	İSTANBUL T.C. SB. SBÜ. GAZİOSMANPAŞA TAKSİM EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ	A1	600	43	238	447	1.397.639	408.492	20.980
36	İSTANBUL T.C. SB. SBÜ. HASEKİ EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ	A1	554	28	274	509	2.112.182	317.993	37.838
37	İSTANBUL T.C. SB. SBÜ. HAYDARPAŞA NUMUNE EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ	A1	709	7	350	508	1.710.977	308.233	40.517
38	İSTANBUL T.C. SB. SBÜ. İSTANBUL EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ	A1	507	27	301	447	1.864.927	228.888	26.291

39	İSTANBUL T.C. SB. SBÜ. İSTANBUL FİZİK TEDAVİ VE REHABİLİTASYON EAH.	A1_Dal	253	2	45	104	265.564	0	2.179
40	İSTANBUL T.C. SB. SBÜ. KANUNİ SULTAN SÜLEYMAN EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ	A1	1.010	39	439	969	3.539.366	1.335.124	55.015
41	İSTANBUL T.C. SB. SBÜ. KARTAL DR.LÜTFİ KIRDAR EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ	A1	680	34	327	697	2.505.957	587.508	39.789
42	İSTANBUL T.C. SB. SBÜ. KARTAL KOŞUYOLU YÜKSEK İHTİSAS EAH.	A1_Dal	465	1	135	417	481.487	64.981	22.570
43	İSTANBUL T.C. SB. SBÜ. MEHMET AKİF ERSOY GÖĞÜS KALP VE DAMAR CERRAHİSİ EAH.	A1_Dal	260	5	142	473	756.608	70.162	15.730
44	İSTANBUL T.C. SB. SBÜ. OKMEYDANI EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ	A1	820	30	364	584	2.558.136	883.631	40.252
45	İSTANBUL T.C. SB. SBÜ. PROF.DR.MAZHAR OSMAN RUH SAĞLIĞI VE SINIR HAST. EAH.	A1_Dal	1.333	8	162	418	725.271	59.544	25.490
46	İSTANBUL T.C. SB. SBÜ. SULTAN ABDÜLHAMİD HAN EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ	A1	515	1	103	390	631.034	64.312	14.692
47	İSTANBUL T.C. SB. SBÜ. SÜLEYMANİYE KADIN DOĞUM VE ÇOCUK HASTALIKLARI EAH.	A1_Dal	105	6	71	151	472.348	155.117	9.990
48	İSTANBUL T.C. SB. SBÜ. SÜREYYAŞA GÖĞÜS HASTALIKLARI VE GÖĞÜS CERRAHİSİ EAH.	A1_Dal	503	16	122	303	387.779	45.499	18.498
49	İSTANBUL T.C. SB. SBÜ. ÜMRANIYE EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ	A1	836	8	356	665	2.356.902	624.388	42.092
50	İSTANBUL T.C. SB. SBÜ. YEDİKULE GÖĞÜS HASTALIKLARI VE GÖĞÜS CERRAHİSİ EAH.	A1_Dal	350	3	114	232	459.131	102.855	15.180
51	İSTANBUL T.C. SB. SBÜ. ZEYNEP KAMİL KADIN VE ÇOCUK HASTALIKLARI EAH.	A1_Dal	265	2	159	304	548.216	117.447	27.278
52	İSTANBUL TUZLA DEVLET HASTANESİ	A2	335	32	43	619	1.744.677	492.925	11.197
53	İSTANBUL ÜSKÜDAR DEVLET HASTANESİ	A2	130	11	127	198	983.207	148.459	10.712
54	İSTANBUL YAKACIK DOĞUM VE ÇOCUK HASTALIKLARI HASTANESİ	A2_Dal	106	6	44	105	570.655	358.061	6.868
İL TOPLAMI			17.783	860	7.796	15.545	57.536.449	14.352.135	923.853

Kaynak: Kamu Hastaneleri İstatistik Raporu, 2017 (KHGM, 2017)

Tablo 10’da verilen 2017 yılı Kamu Hastaneleri İstatistik Raporuna göre İstanbul il sınırlarında devlete ait 54 hastane ve bu hastanelere ait 17.783 adet yatak vardır. Toplam hekim sayısı, hastane sayısı ve yatak sayısı diğer tablolarda da görülmekte iken yatan hasta sayısını bu tabloda görmek mümkündür. Uygulama kısmında kullanılacak olan hastane doluluk oranları için bu tablodan istifade edilmiştir.

Ambulanslara Ait Veriler:

İstanbul Sağlık Hizmetleri Raporu'na göre Avrupa yakasında 148, Anadolu yakasında 100 ambulans istasyonu olmak üzere toplam 248 istasyon mevcuttur. 248 İstasyonda 35 tanesi İstanbul Büyükşehir Belediyesine ait olan toplam 368 Acil Yardım ambulansı vardır. İstanbul'da özel sağlık kuruluşları (hastane, tıp merkezi gibi) ve özel ambulans şirketlerine ait toplam 483 özel ambulans vardır. Ayrıca İstanbul İl Ambulans Başhekimliği emrinde 1 tane hava ambulansı ve 2 tane deniz ambulansı mevcuttur (Sur ve Akan, 2017):

Tablo 11: Ambulans İstasyonları Sayısı:

Avrupa Yakasında:	148
Anadolu Yakasında:	100
Toplam:	248

Tablo 12: Ambulans Sayıları

	Kara Ambulansı	Hava Ambulansı	Deniz Ambulansı
Kamuya Ait:	368	1	2
Özel Sektöre Ait:	483	-	-
Toplam:	851	1	2

Özeller dahil tüm ambulanslar acil hastalar için gerektiğinde İstanbul İl Sağlık Müdürlüğü 112 İl Ambulans Başhekimliği tarafından kullanılabilir.

(Kaynak: İstanbul Sağlık Hizmetleri Raporu 2017, (Sur ve Akan, 2017))

Yukarıda verilen ambulans bilgilerine ek olarak, İl Sağlık Müdürlüğüne ait 162 ambulans sürekli olarak yedekte tutulmaktadır. Bunlardan yaklaşık 8 tanesi acil durumlarda çalışamaz halde iken bakımlar için bekleyen 50 ambulans ve yedekte tutulan 104 ambulans acil durumlarda hemen aktif hale getirilebilir

Tuzla ilçesinde 6 adet ambulans istasyonu vardır. Bunların enlem ve boylamları Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13: Tuzla İlçesi Ambulans İstasyonları

İstasyon	Enlem	Boylam	OmsId
Tuzla 1	40.821263	29.30809	1974824774
Tuzla 2	40.83439	29.362335	2726937582
Tuzla 3	40.855419	29.300194	2361241705
Tuzla 4	40.894392	29.354095	2265527757
Tuzla 5	40.877796	29.398642	4823738428
Tuzla 6	40.889542	29.398556	2230475376

Kaynak: İstanbul İl Sağlık Müdürlüğü

Kamuya ait ambulansların, hastaneye yakın konumları sebebiyle ilk hareket noktası olarak Tuzla Devlet Hastanesi alınmıştır.

Özel hastanelere ait ambulansların toplam sayısı bilinmekle beraber, hangi hastanede kaç ambulans olduğu bilinmemektedir. Bu sebeple toplam ambulans hastanelerin yatak kapasiteleri ile doğru orantılı bir şekilde dağıtılmıştır. Hastane yerleşkelerinde yer alan ambulansların ilk hareket noktaları da aynı hastaneler olmuştur.

Bu dağılım neticesinde Tuzla İlçesinde ambulansların hastanelere göre yerleşimi Tablo 14’de görüldüğü gibidir:

Tablo 14: Tuzla İlçesindeki Hastanelere Göre Ambulansların Dağılımı, Senaryo1

Hastane İsmi	Osm_Id	Enlem	Boylam	Ambulans Sayısı
Tuzla Devlet Hastanesi	2230026598	40.845280	29.302440	6
Okan Üniv. Hastanesi	6767716363	40.849384	29.301822	6
Gisbir Hastanesi	2365236395	40.847839	29.294578	2
Özel Tuzla Hastanesi	1974824938	40.826042	29.310320	1
Toplam:				15

Yedek olarak bekletilen ambulansların, Senaryo 2 ve Senaryo 3’te kurulacak olan geçici Sahra hastanelerinde çalışmak üzere yönlendirildiği varsayılmıştır. Bu itibarla ilçedeki ambulans dağılımları Tablo 15 ve Tablo 16’da olduğu gibidir:

Tablo 15: Tuzla İlçesindeki Hastanelere Göre Ambulansların Dağılımı, Senaryo 2

Hastane İsmi	Osm_Id	Enlem	Boylam	Ambulans Sayısı
Tuzla Devlet Hastanesi	2230026598	40.845280	29.302440	6
Okan Üniv. Hastanesi	6767716363	40.849384	29.301822	6
Gisbir Hastanesi	2365236395	40.847839	29.294578	2
Özel Tuzla Hastanesi	1974824938	40.826042	29.310320	1
Şifa Sahra Hastanesi	6131299430	40.835566	29.365106	2
Toplam:				17

Senaryo 2’de eklenen Şifa Sahra Hastanesi için yedek ambulanslardan 2 tanesi sevk edilmiştir.

Tablo 16: Tuzla İlçesindeki Hastanelere Göre Ambulansların Dağılımı, Senaryo 3

Hastane İsmi	Osm_Id	Enlem	Boylam	Ambulans Sayısı
Tuzla Devlet Hastanesi	2230026598	40.845280	29.302440	6
Okan Üniv. Hastanesi	6767716363	40.849384	29.301822	6
Gisbir Hastanesi	2365236395	40.847839	29.294578	2
Özel Tuzla Hastanesi	1974824938	40.826042	29.310320	1
Aydınlı Sahra Hastanesi	2265386405	40.877597	29.337894	2
Şifa Sahra Hastanesi	6131299430	40.835566	29.365106	2
Toplam:				19

Her sahra hastanesine 2 tane olmak üzere Tuzla İlçesinde 4 tane yedek ambulans sevk edilmiştir. Yedek ambulansların İstanbul İlçelere göre dağıtımları da beklenen ağır yaralı hasta sayıları oranına göre yapılmıştır.

Coğrafi Bilgi Sistemleri:

Python’da Osmnx kütüphanesi kullanılarak ilçeye ait coğrafi bilgiler derlenmiştir. İlçedeki yollara ait bilgilerin hangi detayları ile elde edildiğini Tablo 17’de görmek mümkündür.

Tablo 17: Osmnx Coğrafi Bilgi Türleri

Column	Description	Data type
bridge	Bridge feature	boolean
geometry	Geometry of the feature	Shapely.geometry
highway	Tag for roads (road type)	str / list
lanes	Number of lanes	int (or nan)
length	Length of feature (meters)	float
maxspeed	maximum legal speed limit	int /list
name	Name of the (street) element	str (or nan)
oneway	One way road	boolean
osmid	Unique ids for the element	list
u	The first node of edge	int
v	The last node of edge	int

4.4 Veri Analizi ve Uygulama Adımları

Bu çalışmada; hastaların ve hastanelerin coğrafi dağılımlarının önemli olması sebebiyle CBS optimizasyon modelleriyle beraber kullanılmıştır. Önerilen hasta seçim yöntemi de optimizasyon sonrası çözüm aşamasına katkı sunan kademe olmuştur.

Detayları aşağıda verilen birden çok metot, teknik ve analiz birlikte kullanılmıştır:

- Coğrafi Bilgi Sistemlerinde görüntü işleme, coğrafi bilgilerin toplanması, gibi işlemler için Python'da Osmnx kütüphanesi kullanılmıştır.
- Python'da Tuzla İlçesine ait Coğrafi Bilgiler derlenmiştir.
- Python'da Tuzla İlçesine ait tüm yolların (edge ve node) bilgileri toplanmıştır.
- Tuzla İlçesi için deprem tahminlerinde beklenen sayıda ağır yaralı hastanın lokasyonları rastgele olarak Python'da belirlenmiştir.
- Seçilen hastaların K-means kümeleme analizleri Python'da yapılmıştır.

- Seçilen hastaların hastanelere olan uzaklıkları Python'da hesaplanmıştır.
- Hastaneden Hastaya mesafe matrisi Python'da oluşturulmuştur.
- Karışık Tamsayı Programlama ile ambulansların hangi hastalara atandığı belirlenmiştir.
- Optimizasyon problemi, büyük doğrusal ve tamsayı problemlerini hızla çözmek için tasarlanan MS Excel arayüzlü, açık kaynak kodlu COIN-OR CBC optimizasyon motorunu kullanan OpenSolver ile çözülmüştür (Mason, 2012)
- Önerilen yeni hasta seçim yöntemi tüm periyotlarda, optimizasyon çözümü sonrasında uygulanmıştır.
- Periyot bazlı çalıştırılan optimizasyon sonuçlarına ve yeni hasta seçim metodu MS Excel programında uygulanarak süreç simüle edilmiştir. Periyot sonunda hangi hastaların taşınabildiği ve hangi hastaların taşınamadığı tespit edilmiştir.

4.5 Uygulamada Kullanılacak Teknikler

Lojistik ağ tasarımına yönelik literatür incelendiğinde, çözüme ulaşabilmek için lojistik ağın yapısına ve eldeki veri yapısına göre değişen matematiksel yöntemlerin kullanıldığı görülmektedir.

Problemlerin her aşamasında, karşılaşılan sorunları çözmek için farklı modeller ve tahminler geliştirilmiştir.

Bu çalışmada çok sayıda yaralının taşınma süresini minimize edecek optimizasyon modelinin yanı sıra, yeni bir hasta seçim yöntemi de önerilmiştir. Bu sayede, minimum sürede çok sayıda hastaya ulaşabilmek hedeflenmiştir.

Bu amaçlar doğrultusunda kullanılan yöntem, teknik ve analizlere ait bilgiler aşağıda sunulmuştur. Bu tekniklerin, birbirlerini tamamlayıcı biçimde bir arada kullanılması ile çözüme ulaşılmıştır.

4.5.1 Doğrusal Programlama

Karar alıcılar, hedefleri doğrultusunda hareket ederken sahip oldukları kısıtlı kaynakları etkin ve verimli kullanmak durumundadırlar. Doğrusal programlama teknikleri, bu amaçla karar alıcıların en çok kullandığı matematiksel teknikler arasında yer almaktadır.

Doğrusal programlama modeli matematiksel olarak değerlendirildiğinde, amaç fonksiyonu ve sınırları olan bir optimizasyon problemidir. Amaç fonksiyonları kurulan problemin niteliğine göre maksimizasyon veya minimizasyon problemi olabilir (Özgüven, 2003).

Tedarik zinciri, lojistik ağ problemlerinde ve acil durum planlamalarında kullanılan en yaygın kullanılan çözüm yöntemi Karışık Tamsayılı Programlama metodudur (Beamon, 1998; Chern vd., 2010; Dai vd., 2006; Erenguc vd., 1999; Lakhal vd., 2001; Min ve Zhou, 2002; Wolff, 1989).

Lojistik ağ tasarımının optimizasyonu ve stratejik planlama sorunları genellikle karışık tamsayılı doğrusal programlar tarafından modellenir. Bu modellerde, lojistik ağ boyunca ürün akışları sürekli karar değişkenleri ile temsil edilirken, konum sorunları genellikle ikili değişken kararlarıyla temsil edilir (Thanh vd., 2012b).

4.5.1.1. Karışık Tamsayılı Programlama (Mixed Integer Linear Programming)

Doğrusal programlamada karar değişkenlerinin bazılarının tamsayı olması durumunda karışık tamsayılı doğrusal programlama kullanılır. Bazı değişkenler tüm değerleri alabilirken bazıları sadece tamsayı değerleri alabilir. Bu tür problemlere karışık tamsayılı doğrusal programlama denir (Öztürk, 2005).

Araç yerleştirme ve gibi yöneylem araştırması alanına giren uygulamalar karışık tamsayılı programlama ile çözülebilecek problemlerdir (Foludas, 1995).

Karışık tamsayılı doğrusal programlamanın matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir: (Deniş, 2012)

Amaç Fonksiyonu:

$$Z_{\min/\max} = \sum_{j=1}^n C_j X_j$$

Kısıtlayıcı:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j \begin{cases} \leq \\ \geq \\ = \end{cases} b_i \quad (j=1, 2, \dots, n)$$

ve

$$x_i \geq 0$$

x_j tamsayıdır.

Bu çalışmada önerilen matematiksel model karışık tamsayı doğrusal programlama modeliyle uyumludur. Model, karar değişkenlerinin tamsayı olduğu ve tamsayı olmayan değişkenlerin de yer aldığı bir şekilde tasarlanmıştır.

Ambulansların toplam ulaşım sürelerini minimize etmeyi amaçlayan modelin çözümünde Dal-Kesme Algoritması (Branch and Cut Algorithm - CBC) kullanılmıştır.

COIN Branch and Cut çözücü (CBC), Excel OpenSolver üzerinde çözüm motoru olarak çalışan, C ++ ile yazılmış açık kaynaklı bir karışık tamsayı programı (MILP) çözücüdür.

4.5.2 Duyarlılık Analizi

Bir doğrusal programlama modelinin parametreleri sabit değerlere sahip olduğu zaman probleme ait gerçekliğin durumu ortaya çıkar. Oluşturulan matematiksel modelin optimum çözümü üzerinde model ve parametre değişiklikleriyle optimum sonuca olan etkilerinin araştırılmasına duyarlılık analizi denir (Taha, 2000).

Duyarlılık analizi, matematiksel ve simülasyon modellerinin girdilerden ne kadar bağımsız olduğunu ve her bir model girdisinin çıktısını belirlemede ne derece önemli olduğunu araştırma olanağı verir (Iooss ve Saltelli, 2017).

Senaryo temelli farklı parametrelerin modellerin sonuçları üzerindeki etkisini tartışmak için, önerilen modelin sonuçlarını etkileyen rastgele değişkenlerinin belirlenmesi gerekir (Alamassi, 2014).

Modelin çözümü üzerinde duyarlılık analizi yapılacak olduğunda; biri amaç fonksiyonu katsayılarındaki değişimler, diğeri ise kısıtların sağ tarafındaki değişimler olmak üzere iki durum söz konusu olur (Taha, 2000).

Duyarlı modelin değişikliklere tepki vermesi beklenir, verilen tepkinin ölçüsüne bağlı olarak modelin duyarlı (sensitivity) olduğunu söylemek mümkündür. Eğer değişikliklerden etkilenmiyorsa modelin dayanıklı (robust) bir model olduğu söylenebilir.

Optimizasyon modellerinin dayanıklı veya duyarlı olması durumu vardır, eldeki problemin yapısına göre buna karar verilmelidir. Eğer model stokastik ise robust olması istenir ki, parametre ve/veya amaç fonksiyonundaki değişimlerden en az etkilensin. Eğer deterministik bir model ise modelin duyarlı olması istenir. Bu çalışma deterministik bir çalışmadır. Deterministik çalışmalarda duyarlılık analizi uygulanır.

Bu çalışmada, senaryolarla (Senaryo1, Senaryo2, Senaryo3) belirtilen kısıtların ve parametrelerin optimizasyon modelinin çözüm değeri üzerindeki etkisini ve amaç fonksiyonundaki değişimin etkisini incelenmiştir.

4.5.3 Dijkstra's En Kısa Yol Algoritması

İki nokta arasındaki mesafelerin hesaplanması için farklı algoritmalar kullanılmaktadır: (Wikipedia, 2021)

- Dijkstra algoritması,
- Bellman-Ford algoritması,
- A* arama algoritması,
- Floyd-Warshall Algoritması,
- Johnson Algoritması,
- Viterbi algoritması,

Bu çalışmada, mesafe hesapları için en çok kullanılan algoritmalarından biri olan Dijkstra algoritması tercih edilmiştir.

“Algoritmanın hesaplamaları, özel bir etiketleme prosedürü kullanılarak, i düğümünden hemen sonra gelen j düğümüne ilerletilir. u_i , 1. düğümünden i . düğüme en kısa uzaklık olsun ve $d_{ij}(\geq 0)$, (i,j) bağlantısının uzunluğu olarak tanımlansın. Sonrasında j düğümü için etiket,

$$[u_j, i] = [u_i + d_{ij}, i], \quad d_{ij} \geq 0$$

şeklinde tanımlanır” (Taha, 2000).

Dijksatra algoritması, geçici ve kalıcı olmak üzere iki tür düğüm etiketine sahiptir: Daha iyi bir yol bulunduğunda geçici etiket, başka bir etiketle değiştirilebilir. Yolun daha iyileşemeyeceği anlaşıldığında geçici etiketin statüsü kalıcıya döner (Taha, 2000).

Hesaplanan uzaklıklar, Python Networkx modülü ile elde edilmiştir. A* gibi algoritmaları da içinde barındıran modül en kısa yol bulma problemlerinde çok yaygın bir kullanıma sahiptir (Tenkanen ve Heikinheimo, 2019).

BEŞİNCİ BÖLÜM

UYGULAMA

5.1 Veri Analizi

Bu çalışmada, problemin yapısı itibarı ile birden çok metot, yöntem ve analiz birlikte eş zamanlı olarak kullanılacaktır.

Verilerin analizinde; tanımlayıcı ve çıkarımsal istatistiksel analizler SPSS paket programı kullanılarak elde edilecektir.

Matematiksel modellemeler, Dinamik programlama, sezgisel karar verme yöntemleri, yapay sinir ağları ve makine öğrenmesi algoritmaları Python programlama dilinde kodlanarak çözüme kavuşturulacaktır.

5.2 Python İle Veri Toplama

OSMnx kütüphanesi, istenilen ilçeye ait coğrafi bilgileri vermektedir. Tuzla ilçesine ait tüm node (boğum, bağlantı noktası) ve edge (sınır, kenar) bilgileri ile birlikte ilçeye ait geometrik özellikler, istatistiki bilgiler derlenmiştir. Grafikler ve elde edilen tablolar detaylı nitelikleri ile birlikte aşağıda sunulmuştur:

Şekil 8: Tuzla İlçesi Geometrik Haritası



Kaynak: Osmnx Kütüphanesi, Python

Bu geometrik haritada, ilçeye ait tüm node'lar küçük beyaz nokta ile vurgulanmıştır. Bu bağlantı noktaları OSMnx kütüphanesinde en kısa rotaların belirlenmesi için kullanılan eşsiz id'lerle (osmid) ifade edilmektedir.

Tablo 18: Tuzla İlçesine Ait Node'lar

id	hw	lat	lon	osmid	r	x	y	geometry
353058842		40.900709	29.367597	353058842		699425.2245	4530433.527	POINT (699425.2245227671 4530433.52727899)
5951225889		40.857645	29.293221	5951225889		693285.3242	4525485.63	POINT (693285.3242393553 4525485.629981754)
1893855264		40.944531	29.389848	1893855264		701166.6079	4535349.764	POINT (701166.607946547 4535349.763886592)
...								
...								
5289574370		40.826808	29.306082	5289574370		694459.4919	4522090.574	POINT (694459.4919484204 4522090.57372964)
353058790		40.881564	29.346917	353058790		697740.2197	4528261.047	POINT (697740.2196899689 4528261.046584199)
2793701357		40.944729	29.390636	2793701357		701232.3928	4535373.562	POINT (701232.3928159267 4535373.562263287)

satır x sütun: 5475 x 9 hw: highway r: ref

Tuzla ilçesine ait Node ve Edge tabloları elde edilmiştir. Node ve Edge tablolarını içeriğinin ve veri türlerinin daha iyi anlaşılabilmesi için Tablo 18 ve Tablo 19'da özet olarak gösterim yapılmıştır.

Tablo 19: Tuzla İlçesine ait Edge'ler

	ac	bri	geometry	highway	junction	key	lanes	length	ms	name	oneway	osmid	r	tn	u	v
0			LINESTRING (699425.2245227671, 4530433.52727899, 699448.4638315311 4530440.455954553)	primary		0		24.192		Demokrasi Cad.	DOĞRU	35828393			353058842	1979572453
1			LINESTRING (699425.2245227671 4530433.52727899, 699437.5816358788 4530422.051603323, 699452.7022834151 4530392.885455967)	primary		0		49.719			DOĞRU	187213433			353058842	1979572443
2			LINESTRING (693285.3242393553 4525485.629981754, 693301.3051375833 4525486.404161312)	residential		0		15.958			DOĞRU	630210772			5951225889	353048656
...																
...																
...																
14524			LINESTRING (697740.2196899689 4528261.046584199, 697874.9976613803 4528242.020809626)	secondary		0		135.77		1. Yol Sokak	DOĞRU	226830466			353058790	226540096
14525			LINESTRING (697740.2196899689 4528261.046584199, 697747.4999915181 4528262.497313279, 697753.9804100591 4528266.104163826, 697759.0463366371 4528271.517344137, 697762.1887487439 4528278.223242844, 697763.1218794122 4528285.558697206)	primary	roundabout	0		37.029			DOĞRU	226830447			353058790	2355641638
14526			LINESTRING (701232.3928159267 4535373.562263287, 701246.3221729831 4535386.053856701)	residential		0		18.691			YANLIŞ	274689679			2793701357	2793701341

satır x sütun: 14526 x 17 ms: maxspeed r: ref tn: tunnel

5.3 Deprem Tahmin Senaryoları

Günümüze kadar İstanbul’da beklenen depreme yönelik birçok tahmin yapılmış, raporlar hazırlanmıştır. Bunlardan en önemlisi kuşkusuz JICA tarafından hazırlanan rapordur. Bu rapor ve diğer raporlardan bazı bilgilere kısaca özetlenecek olursa:

17 Ağustos 1999 Gölcük depremi sonrasında beklenen büyük İstanbul depremine hazırlık için birçok rapor hazırlanmış olup bunlardan en önemlisi JICA (Japan International Cooperation Agency) tarafından 2002 yılı Eylül ayında hazırlanan “Türkiye Cumhuriyeti İstanbul İli Sismik Mikro-Bölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı Çalışması” isimli rapordur. Bu rapora göre İstanbul’da meydana gelecek deprem için 4 farklı senaryo öngörülmüştür. Raporda öngörülen senaryolar Model A, B, C ve D olarak isimlendirilmiştir.

Model A ve Model C senaryolarına yönelik deprem hasar tespitleri yapılmıştır. Buna göre en olası durum için yapılan tahminler Model A, en kötü durum olarak yapılan tahminler ise Model C olarak ortaya konulmuştur (JICA ve İBB, 2002).

Model A ve Model C senaryoları için depremin gece olacağı varsayılmıştır. Can kayıpları ve ağır yaralı hastaları tahmin edebilmek için birçok fonksiyon incelenmiştir. Sonuç olarak, simülasyon sonuçlarını Tablo 20’de görmek mümkündür.

Tablo 20: İstanbul’da Beklenen Can Kaybı ve Ağır Yaralı Sayıları, İlçelere Göre (2002)

İlçe Kodu	İlçe	Model A					Model C			
		Nüfus	Can Kaybı	%	Ağır Yaralı	%	Can Kaybı	%	Ağır Yaralı	%
1	Arnavutköy	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Avcılar	231,799	4,064	1.75	6,154	2.65	4,678	2.02	6,841	2.95
3	Bağcılar	557,588	4,263	0.76	6,376	1.14	5,167	0.93	7,294	1.31
4	Bahçelievler	469,844	5,768	1.23	7,630	1.62	6,724	1.43	8,165	1.74
5	Bakırköy	206,459	3,689	1.79	5,735	2.78	4,204	2.04	6,310	3.06
6	Başakşehir	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	Bayrampaşa	237,874	3,670	1.54	5,713	2.40	4,180	1.76	6,283	2.64
8	Beşiktaş	182,658	972	0.53	2,108	1.15	1,226	0.67	2,547	1.39
9	Beylikdüzü	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Beyoğlu	234,964	2,956	1.26	4,914	2.09	3,464	1.47	5,482	2.33
11	Büyükkçekmece	34,737	763	2.20	1,661	4.78	926	2.67	2,010	5.79
12	Çatalca	15,264	30	0.20	47	0.31	41	0.27	65	0.43
13	Esenler	388,003	2,683	0.69	4,610	1.19	3,358	0.87	5,365	1.38
14	Esenyurt	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	Eyüpsultan	232,104	1,684	0.73	3,316	1.43	1,938	0.83	3,742	1.61
16	Fatih	448,560	8,714	1.94	12,291	2.74	9,737	2.17	13,065	2.91
17	Gaziosmanpaşa	667,809	2,000	0.30	3,846	0.58	2,526	0.38	4,435	0.66
18	Güngören	271,874	2,995	1.10	4,959	1.82	3,703	1.36	5,750	2.11
19	Kağıthane	342,477	1,290	0.38	2,654	0.77	1,662	0.49	3,278	0.96
20	Küçükçekmece	589,139	5,685	0.96	7,583	1.29	6,515	1.11	8,049	1.37
21	Sarıyer	212,996	277	0.13	585	0.27	372	0.17	802	0.38
22	Silivri	44,432	492	1.11	108	0.24	604	1.36	1,322	2.98
23	Sultangazi	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	Şişli	271,003	1,120	0.41	2,369	0.87		0.00	3,040	1.12
25	Zeytinburnu	239,927	4,629	1.93	6,785	2.83	5,455	2.27	7,455	3.11
26	Adalar	17,738	1,496	8.43	3,001	16.92	1,648	9.29	3,255	18.35
27	Ataşehir	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	Beykoz	182,864	304	0.17	646	0.35	374	0.20	807	0.44
29	Çekmeköy	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	Kadıköy	660,619	3,207	0.49	5,196	0.79	4,040	0.61	6,127	0.93
31	Kartal	332,090	2,375	0.72	4,265	1.28	2,905	0.87	4,858	1.46
32	Maltepe	345,662	2,071	0.60	3,925	1.14	2,532	0.73	4,441	1.28
33	Pendik	372,553	2,610	0.70	4,528	1.22	3,114	0.84	5,091	1.37
34	Sancaktepe	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	Sultanbeyli	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	Şile	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	Tuzla	100,609	1,354	1.35	2,762	2.75	1,597	1.59	3,169	3.15
38	Ümraniye	443,358	972	0.22	2,108	0.48	1,262	0.28	2,607	0.59
39	Üsküdar	496,402	1,355	0.27	2,764	0.56	1,803	0.36	3,516	0.71
Toplam:		8,831,406	73,488	0.83	118,639	1.34	85,755	0.97	135,171	1.53

Kaynak: (JICA ve İBB, 2002)

Not: Raporun yazıldığı tarihten sonra Fatih ve Eminönü Belediyeleri Fatih Belediyesi ismi altında birleştirilmiştir. Raporda iki belediye için ayrı ayrı verilen değerler birleştirilerek raporda yansıtılmıştır.

Raporda, ilçelere göre can kaybı ve ağır yaralı sayıları/oranları iki farklı deprem senaryo modeline göre hesaplanmıştır. Model A, en iyimser senaryoya göre yapılan tahminleri ve Model C ise en kötümser senaryoya göre yapılan tahminler içerir.

Bu senaryoların dışında güncel yeni senaryolar da mevcuttur. Güncel senaryolar da bu çalışma da değerlendirmeye katılacaktır. Bunlardan bir tanesi de İBB Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü tarafından 2009 yılında hazırlanan İstanbul'un Olası deprem kayıpları tahminleri raporudur (İBB, 2009).

Tablo 21: Ortalama Can Kaybı Yaralı Tahmini

Yaralanma Seviyesi	CSM Kişi Sayısı	MADRS_4 Kişi Sayısı	CM Kişi Sayısı	KOERI_LM Kişi Sayısı	Ortalama Kişi Sayısı
Seviye 4 (Can Kaybı)	11.736	10.320	30.697	13.039	16.000 (10.000-30.000)
Seviye 3 (Ağır Yaralı)	11.736	10.320	30.697	13.039	16.000 (10.000-30.000)
Seviye 2 (Hastanede Tedavi)	25.864	22.888	61.762	27.661	35.000 (20.000-60.000)
Seviye 1 (Hafif Yaralı)	56.565	52.076	137.781	63.608	75000 (50.000-140.000)

Kaynak:(İBB, 2009)

Not: Farklı yöntemler kullanılarak elde edilen can kaybı tahminleri 10,000 ile 30,000 arasında değişmektedir. Hastaneye sevk edilmesi gerekli yaralı sayısı tahminleri ise 50,000 ile 140,000 arasında değişim göstermektedir. Bu can kaybı tahminleri İstanbul il nüfusunun kabaca %0,1 - %0,2'si arasında tekabül etmektedir.

Kapasite Spektrumu Yöntemi: CSM

Değiştirilmiş İvme-Deplasman Tepki Spektrumu Yöntemi: MADRS

Katsayı Yöntemi: CM

KOERILoss Yöntemi: KOERI_LM

Tablo 21'de gösterilen can kaybı ve yaralı sayısı tahminleri Dört farklı analitik bina hasarı belirleme yöntemi ve HAZUS99 yazılımında kullanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaba göre 50.000 – 140.000 yaralının hastanelere taşınması beklenmektedir.

Tablo 22: İBB-BOUN raporuna göre beklenen can kaybı ve yaralı sayısı tahminleri

Yaralanma Seviyesi	Analiz Yöntemi			Ortalama
	CSM	MADRS	CM	
Can Kaybı (4. Seviye)	13.961	9.373	19.109	14.148
Ağır Yaralı (3. Seviye)	8.712	5.298	10.254	8.088
Hastanede Tedavi (2. Seviye)	39.134	27.183	52.605	39.641
Hafif Yaralı (1. Seviye)	73.350	53.986	98.399	75.245

Kaynak: (İBB ve BOUN, 2020a)

İBB ve Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü ortaklaşa yürüttüğü, İstanbul İli Olası Deprem Kayıp Tahminlerinin Güncellenmesi Projesi kapsamında hazırlanan raporda 7,5 Mv şiddetinde gece saatlerinde yaşanacak bir depremle ilgili can kaybı ve yaralı tahminleri aşağıda Tablo 22’de verilmiştir.

İl sağlık müdürlüğü tarafından kullanılan tahminlere göre binalardaki hasar durumu Tablo 23’te, yaralı sayıları ise Tablo 24’te gösterilmiştir.

Tablo 23: İstanbul'da İlçe Bazında Binaların Hasar Durumu Tahmini, 2019

İlçe Kodu	İlçe	Bina Sayısı	Az Hasarlı Bina Sayısı	Orta Hasarlı Bina Sayısı	Ağır Hasarlı Bina Sayısı	Yıkık Bina Sayısı
1	Arnavutköy	34,741	5,603	4,462	2,963	180
2	Avcılar	27,114	4,088	5,063	7,843	1,912
3	Bağcılar	46,428	7,500	8,859	12,039	2,223
4	Bahçelievler	23,535	3,376	4,423	7,522	1,979
5	Bakırköy	11,258	1,346	1,935	4,140	1,613
6	Başakşehir	37,757	6,540	6,791	7,110	866
7	Bayrampaşa	22,391	3,691	4,253	5,479	927
8	Beşiktaş	17,308	3,006	2,902	2,678	273
9	Beylikdüzü	15,888	2,243	2,965	5,159	1,419
10	Beyoğlu	27,034	4,562	5,068	6,057	915
11	Büyükkçekmece	35,658	5,774	6,670	8,854	1,642
12	Çatalca	24,057	3,469	2,532	1,531	86
13	Esenler	27,527	4,441	5,226	7,095	1,329
14	Esenyurt	48,228	7,844	9,177	12,233	2,197
15	Eyüpsultan	32,517	5,546	5,632	5,839	743
16	Fatih	46,018	7,063	8,726	13,149	2,924
17	Gaziosmanpaşa	29,041	4,994	5,324	5,861	772
18	Güngören	11,681	1,730	2,219	3,592	871
19	Kağıthane	26,592	4,628	4,652	4,600	514
20	Küçükçekmece	41,876	6,411	7,936	12,037	2,715
21	Sarıyer	54,017	8,858	7,200	4,968	326
22	Silivri	48,195	8,222	7,401	6,077	520
23	Sultangazi	35,667	6,188	6,264	6,295	728
24	Şişli	20,124	3,450	3,712	4,160	563
25	Zeytinburnu	14,790	1,990	2,706	5,045	1,542
26	Adalar	6,394	784	1,118	2,330	855
27	Ataşehir	28,655	4,783	5,339	6,530	1,047
28	Beykoz	46,844	7,701	6,285	4,348	286
29	Çekmeköy	20,165	3,460	3,175	2,698	244
30	Kadıköy	26,964	4,174	5,145	7,654	1,643
31	Kartal	27,630	4,370	5,210	7,361	1,500
32	Maltepe	29,972	4,879	5,566	7,255	1,345
33	Pendik	48,945	7,875	9,135	12,284	2,347
34	Sancaktepe	31,028	5,349	5,549	5,846	733
35	Sultanbeyli	34,242	5,978	5,854	5,494	564
36	Şile	15,588	1,665	885	305	1
37	Tuzla	26,533	4,020	4,870	7,391	1,843
38	Ümraniye	54,073	9,321	9,854	10,681	1,373
39	Üsküdar	48,065	8,327	8,511	8,707	1,038
	Toplam :	1,204,540	195,249	208,594	251,210	44,598

Bir başka tahmin olarak; 12 km. derinlikte 7.5 Mv. Büyüklüğünde bir deprem sonucunda beklenen yaralı sayıları ve can kayıplarına yönelik tahminlerin yer aldığı bilgiler Tablo 24’te detaylandırılmıştır:

Tablo 24: İstanbul’da İlçe Bazında Tahmini Yaralı/Can Kaybı ve Hasarlı/Yıkık Bina İstatistikleri

İlçe Kodu	İlçe	Nüfus	Oransal Nüfus Dağılımı	Ayakta Tedavi	Hafif Yaralı Sayısı	Ağır Yaralı Sayısı	% A.Y.	Geçici Barınma İhtiyacı Sayısı
1	Arnavutköy	261,655	0.017	818	308	123	0.05	13,941
2	Avcılar	435,682	0.029	12,230	4,611	2,702	0.62	102,471
3	Bağcılar	748,483	0.050	13,317	5,052	2,790	0.37	134,673
4	Bahçelievler	598,454	0.040	17,309	6,530	3,819	0.64	146,142
5	Bakırköy	222,370	0.015	10,301	3,864	2,364	1.06	72,060
6	Başakşehir	396,729	0.026	3,218	1,225	599	0.15	42,665
7	Bayrampaşa	274,197	0.018	4,136	1,572	849	0.31	44,428
8	Beşiktaş	185,447	0.012	1,321	504	243	0.13	18,068
9	Beylikdüzü	314,662	0.021	9,352	3,528	2,071	0.66	78,071
10	Beyoğlu	236,606	0.016	2,979	1,131	597	0.25	34,139
11	Büyükkçekmece	243,474	0.016	4,722	1,790	1,002	0.41	45,904
12	Çatalca	69,057	0.005	147	52	18	0.03	2,645
13	Esenler	454,569	0.030	8,207	3,110	1,724	0.38	82,191
14	Esenyurt	846,492	0.056	14,554	5,523	3,034	0.36	148,955
15	Eyüpsultan	381,114	0.025	3,395	1,293	647	0.17	42,950
16	Fatih	433,873	0.029	10,520	3,976	2,286	0.53	94,362
17	Gaziosmanpaşa	497,959	0.033	5,172	1,971	1,006	0.20	63,262
18	Güngören	296,967	0.020	7,706	2,911	1,684	0.57	67,885
19	Kağıthane	442,694	0.029	3,533	1,345	658	0.15	46,882
20	Küçükçekmece	770,392	0.051	17,225	6,514	3,716	0.48	158,577
21	Sarıyer	344,876	0.023	1,166	439	181	0.05	19,372
22	Silivri	180,524	0.012	1,056	401	186	0.10	15,309
23	Sultangazi	528,514	0.035	4,580	1,745	866	0.16	59,125
24	Şişli	274,196	0.018	3,014	1,148	590	0.22	36,204
25	Zeytinburnu	287,378	0.019	10,272	3,866	2,310	0.80	79,865
26	Adalar	14,907	0.001	656	247	150	1.01	4,696
27	Ataşehir	423,372	0.028	5,872	2,229	1,195	0.28	64,295
28	Beykoz	251,087	0.017	857	324	133	0.05	14,204
29	Çekmeköy	248,859	0.017	1,546	588	275	0.11	22,099
30	Kadıköy	451,453	0.030	9,447	3,576	2,020	0.45	89,927
31	Kartal	463,433	0.031	9,027	3,419	1,920	0.41	87,194
32	Maltepe	497,586	0.033	8,504	3,221	1,787	0.36	85,101
33	Pendik	698,260	0.046	12,659	4,799	2,672	0.38	125,117
34	Sancaktepe	402,391	0.027	3,826	1,456	737	0.18	47,787
35	Sultanbeyli	329,985	0.022	2,313	880	421	0.13	32,017
36	Şile	33,158	0.002	8	1	-	0.00	326
37	Tuzla	252,922	0.017	6,366	2,402	1,394	0.55	55,012
38	Ümraniye	699,897	0.047	7,081	2,697	1,371	0.20	87,360
39	Üsküdar	533,570	0.036	5,029	1,915	968	0.18	63,040
Toplam :		15,027,244	1,00	243,441	92,163	51,108	0.34	2,428,321

Bu çalışmada örnek bölge olarak seçilen Tuzla İlçesinde beklenen 1394 ağır yaralı hastanın taşınması süreci optimize edilmiştir.

Çözüm uygulamasında kullanılacak olan, modelin duyarlılığının test edileceği parametre ve kısıtların yer aldığı 3 ayrı senaryo aşağıda sunulmuştur:

Senaryo 1

- H, Özel Tuzla, Okan Üniversitesi, Tuzla Devlet, Gisbir
- P, $p= 1,2,3, \dots, 1394$
- A, $a= A1, A2, \dots, A14, A15$
- $H_{cap} = 401$
- $P_{total} = 1394$
- $A_{total} = 15$

Senaryo 2

- H, Özel Tuzla, Okan Üniversitesi, Tuzla Devlet, Gisbir, Şifa Sahra
- P, $p= 1,2,3, \dots, 1394$
- A, $a= A1, A2, \dots, A16, A17$
- $H_{cap} = 809$
- $P_{total} = 1394$
- $A_{total} = 17$

Senaryo 3

- H, Özel Tuzla, Okan Üniversitesi, Tuzla Devlet, Gisbir, Aydınli Sahra, Şifa Sahra
- P, $p= 1,2,3, \dots, 1394$
- A, $a= A1, A2, \dots, A18, A19$
- $H_{cap} = 909$
- $P_{total} = 1394$
- $A_{total} = 19$

5.4 Örnek Hastaların ve Konumlarının Belirlenmesi

İstanbul İline ait deprem öncesi ve deprem sonrası ait detaylı bilgilerin paylaşılmasının akabinde önerilen modeli için örnek uygulama Tuzla İlçesi özelinde yapılmıştır.

Tuzla İlçesi, İstanbul'un nüfus olarak en küçük ilçelerinden biri olmakla beraber geniş coğrafi sınırlara sahip; sınırları içerisinde organize sanayi bölgeleri, tersaneler ve büyük askeri birlikler bulunan bir ilçedir. İlçede bir devlet hastanesi, bir üniversite hastanesi iki özel hastane olmak üzere toplam 4 hastane bulunmaktadır.

İlçeye ait detaylı coğrafi bilgiler "Omsnx" kütüphanesi programı yardımıyla elde edilmiştir. Bu verilere göre ilçeye ait 5475 bağlantı noktası (node, düğüm) ve 14527 edge (köşe, kenar) bilgisi mevcuttur. Ayrıca ilçenin koordinat bilgileri de aynı yolla elde edilmiştir.

Örnek seçim sürecinde node'lar arasında 1394 tane rastgele seçim yapılmıştır. Seçilen node'larda deprem sonrası belirli periyotlarda, değişik sayılarda ağır yaralı bilgisi sisteme ulaştırılmıştır. Bu sayede örneklerin yerleşim yeri sınırları içerisinde olması sağlanmıştır.

Hedef kitleyi doğru tanımlayabilmek için örnekler ilçe sınırları içerisinde koordinat olarak seçilmemiş, node'lar arasından seçim yapılmıştır. İlçenin büyük bir kısmı yerleşime kapalı olduğunda seçilen koordinatların yerleşim olmayan yerlere denk gelmesi olasılığı çok yüksektir. Bu sebeple yolları birleştiği boğumların (node) örnek seçiminde kullanılması tercih edilmiştir.

Çalışmada; belirli periyotlarla ortaya çıkacak olan ağır yaralı hasta taleplerini optimum şekilde cevaplamak, hastalara en kısa sürede ulaşip onları hastaneye taşımak hedeflenmiştir. Bu amaçla önerilen, karışık tam sayılı matematik modelin önce mevcut durum için nasıl çözüm ürettiği senaryo 1'de incelenmiştir. Senaryo 1'de hastaneler genel doluluk oranlarına göre hasta kabul etmiş, ambulanslar ise atandıkları hastaneye hastaları taşımıştır.

Mevcut imkanlarla yapılabilecekler görüldükten sonra, Senaryo 1 ve Senaryo 2'de hasta yoğunluğu yüksek olan 2 mahalleye geçici sahra hastaneleri kurulmuş, il

sağlık müdürlüğüne ait ambulanslardan yedekte tutulan veya bakıma olan ambulanslardan 4 tanesi, bu sahra hastanelerinde görevlendirilmiştir. Bu sayede, önerilen matematiksel modelin ve yapılan fiziksel iyileştirmenin problemin çözümüne ne kadar katkı sağladığı görülmüştür. Modelin duyarlılığı test edilmiştir.

5.5 Seçilen Hastaların Periyotlara Göre Dağılımı

Beklenen sayıda örnek hastanın seçilmesi ile birlikte bu hastaların durumlarının hangi zaman diliminde sisteme düştüğü büyük önem arz etmektedir. Deprem sonrasına yönelik yaralı ve hasar tahminlerin yapıldığı birçok raporda beyan edildiği şekliyle bina hasarlarının çoğu depremin ilk anında ortaya çıkmaktadır. Ancak depremzedelerin kurtarma çalışmaları uzun bir süreç halinde ilerlediği için deprem anından saatler sonra da yaralı olarak insanların kurtarılmaları mümkündür.

Deprem sonrası enkazdan canlı insan kurtarma olasılığının en yüksek olduğu zaman dilimi 72 saat olduğu için çalışma süresi bu kadar süre ile sınırlandırılmıştır.

Ağır yaralı hastaların gelişleri üstel fonksiyon halinde gerçekleştiği varsayımına uygun olarak toplam hasta sayısı periyotlara bölünmüştür.

Yaralı taşıma problemi için simülasyonda depremin gerçekleştiği tarih ve saat rastgele 5 Şubat 2020, saat 00:00 olarak varsayılmıştır. Her bir saatlik dilim bir periyot olarak tanımlanmış ve çalışma boyunca periyot kavramları üzerinden işlemler yapılmıştır.

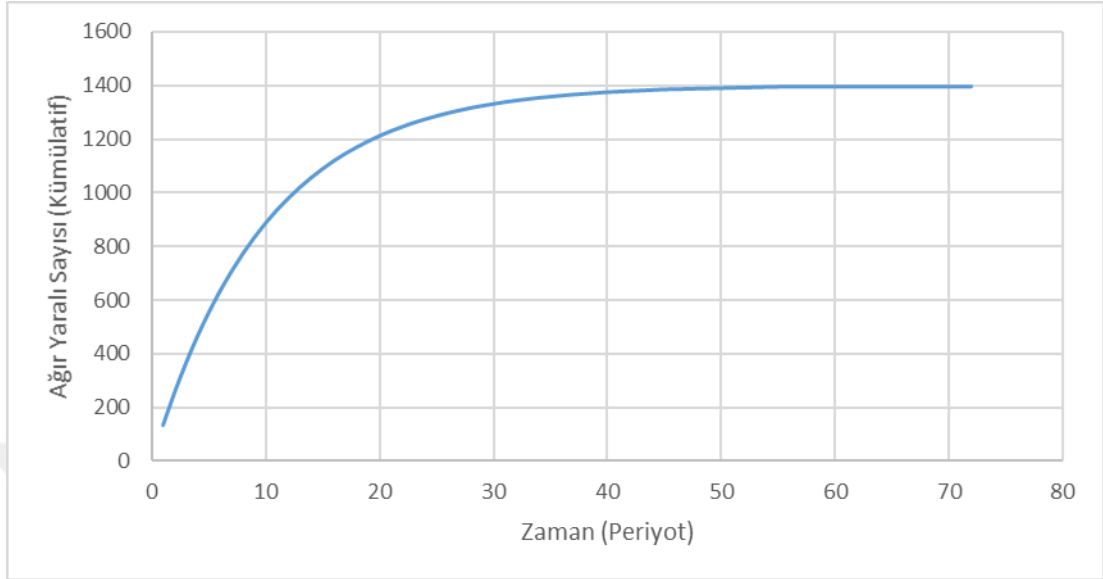
Ağır yaralıların periyotlara göre üstel dağılımı Tablo 25'te verilmiştir. Her periyot başlangıcında, ilgili sayıda ağır yaralı hastaya ait yardım talebi bilgisinin sisteme aynı anda işlendiği varsayılmıştır.

Tablo 25: Periyotlara Göre Hasta Sayıları Dağılımı

Periyot	Tarih / Saat	Yeni Gelen Hasta Sayısı	Periyot	Tarih / Saat	Yeni Gelen Hasta Sayısı
1.Periyot	5.2.20 00:00	133	37.Periyot	6.2.20 12:00	4
2.Periyot	5.2.20 01:00	121	38.Periyot	6.2.20 13:00	3
3.Periyot	5.2.20 02:00	109	39.Periyot	6.2.20 14:00	3
4.Periyot	5.2.20 03:00	99	40.Periyot	6.2.20 15:00	3
5.Periyot	5.2.20 04:00	89	41.Periyot	6.2.20 16:00	2
6.Periyot	5.2.20 05:00	81	42.Periyot	6.2.20 17:00	2
7.Periyot	5.2.20 06:00	73	43.Periyot	6.2.20 18:00	2
8.Periyot	5.2.20 07:00	66	44.Periyot	6.2.20 19:00	2
9.Periyot	5.2.20 08:00	60	45.Periyot	6.2.20 20:00	2
10.Periyot	5.2.20 09:00	54	46.Periyot	6.2.20 21:00	1
11.Periyot	5.2.20 10:00	49	47.Periyot	6.2.20 22:00	1
12.Periyot	5.2.20 11:00	44	48.Periyot	6.2.20 23:00	1
13.Periyot	5.2.20 12:00	40	49.Periyot	7.2.20 00:00	1
14.Periyot	5.2.20 13:00	36	50.Periyot	7.2.20 01:00	1
15.Periyot	5.2.20 14:00	33	51.Periyot	7.2.20 02:00	1
16.Periyot	5.2.20 15:00	30	52.Periyot	7.2.20 03:00	1
17.Periyot	5.2.20 16:00	27	53.Periyot	7.2.20 04:00	1
18.Periyot	5.2.20 17:00	24	54.Periyot	7.2.20 05:00	1
19.Periyot	5.2.20 18:00	22	55.Periyot	7.2.20 06:00	1
20.Periyot	5.2.20 19:00	20	56.Periyot	7.2.20 07:00	0
21.Periyot	5.2.20 20:00	18	57.Periyot	7.2.20 08:00	0
22.Periyot	5.2.20 21:00	16	58.Periyot	7.2.20 09:00	0
23.Periyot	5.2.20 22:00	15	59.Periyot	7.2.20 10:00	0
24.Periyot	5.2.20 23:00	13	60.Periyot	7.2.20 11:00	0
25.Periyot	6.2.20 00:00	12	61.Periyot	7.2.20 12:00	0
26.Periyot	6.2.20 01:00	11	62.Periyot	7.2.20 13:00	0
27.Periyot	6.2.20 02:00	10	63.Periyot	7.2.20 14:00	0
28.Periyot	6.2.20 03:00	9	64.Periyot	7.2.20 15:00	0
29.Periyot	6.2.20 04:00	8	65.Periyot	7.2.20 16:00	0
30.Periyot	6.2.20 05:00	7	66.Periyot	7.2.20 17:00	0
31.Periyot	6.2.20 06:00	7	67.Periyot	7.2.20 18:00	0
32.Periyot	6.2.20 07:00	6	68.Periyot	7.2.20 19:00	0
33.Periyot	6.2.20 08:00	5	69.Periyot	7.2.20 20:00	0
34.Periyot	6.2.20 09:00	5	70.Periyot	7.2.20 21:00	0
35.Periyot	6.2.20 10:00	4	71.Periyot	7.2.20 22:00	0
36.Periyot	6.2.20 11:00	4	72.Periyot	7.2.20 23:00	1
Toplam:					1394

Böylece deprem sonrası beklenen yaralı tahminleri, kurtarılabılme ihtimalinin en yüksek olduğu 72 saatlik süre zarfına üstel olarak dağıtılmıştır. Hastaların kurtarıma sıklıkları üstel dağılım göstermekte, ilk saatlerde ciddi bir yoğunluk söz konusu iken son saatlere doğru kurtarılan sayısı oldukça düşmüş hatta bazı saatlerde kurtarılan hiç kimse olmamıştır.

Grafik 3: Periyotlara Göre Ağır Yaralı Sayısı



Grafik 3'te periyot bazında kurtarılan hastaların kümülatif dağılımı görülmektedir. Hastaların kurtarılmaya ve bilgilerin sisteme geliş sürelerindeki dağılımın üstel dağılıma uygun olduğu grafikte görülmektedir.

5.6 Senaryo 1

5.6.1 K-Means Kümeleme Analizi, Senaryo 1

K-means algoritması; küme içi benzerliklerin maksimum kümeler arası benzerliklerin ise minimum seviyede olmasına imkân veren, “N” adetlik veri setini istenilen sayıda kümeye bölebilen bir kümeleme algoritmasıdır. K-means algoritması, en çok kullanılan kümeleme algoritmalarından biridir.

Bu çalışmada, Tuzla ilçe sınırları içerisinde rastgele seçilen örnek hastaların coğrafi olarak nasıl konumlandıklarını bulabilmek için K-means kümeleme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle aynı küme içerisinde yer alacak hastaların küme merkezine olan uzaklıkları minimize edilerek istenilen sayıda kümeler oluşturulması sağlanmıştır.

Hastalara ait node bilgilerinin yanı sıra koordinat bilgileri de derlendiğinden kümeleme analizinde koordinatlar kullanılmıştır.

Verilerin temin edilmesinde olduğu gibi örneklerin kümeleneğinde de Python 3.7.1 kullanılmıştır. Python’un, Makine Öğrenmesi (Machine Learning) kütüphanelerinden “scikit-learn 0.20.01” e ait K-Means Clustering Algoritması kullanılmıştır (Pedregosa vd., 2011).

Ayrıca Python’da yazılan fonksiyonla centroidlere olan uzaklıklar hesaplanmış hastaların ve hastanelerin ait oldukları kümeler belirlenmiştir. K-means kümelemesini 4 farklı grup oluşturması üzerine yaptığımızda işlem sonunda elde edilen kümeler ve kümelere dahil hasta sayıları Tablo 26’da gösterilmiştir.

Ayrıca hastanelere ait konum bilgileri (koordinatları), en yakın OsmId’ler, hastanelerin birbirlerine olan uzaklıkları, centroid uzaklıkları ve dahil oldukları kümeler görülmektedir.

Tablo 26: Hastaneler ve Konum Bilgileri, Senaryo 1

Hastane İsmi	Osm_Id	Lat	Lon	Clus ter	Cent_Distanc e	Tuzla_Dev	Okan	Gisbir	Ozel Tuzla
Tuzla Devlet Hastanesi	2230026598	40.845280	29.302440	1	0.017179339	0.000	2291.039	2345.503	3482.296
Okan Üniv. Hastanesi	6767716363	40.849384	29.301822	1	0.020024635	2291.039	0.000	1226.571	3487.140
Gisbir Hastanesi	2365236395	40.847839	29.294578	1	0.015605576	2345.503	1226.571	0.000	3280.958
Özel Tuzla Hastanesi	1974824938	40.826042	29.310320	1	0.020703489	3482.296	3487.140	3280.958	0.000

Kümeleme analizi sonunda elde edilen Cent_Distance'lar incelediğinde hepsinin aynı kümede olduğu ve centoride (küme merkezine) yakınlığı dikkat çekicidir. Bu sebeple hastanelerin ilçenin farklı bölgelerine dağılmadan, aynı bölgede yoğunlaşmış olduğu görülmektedir.

Bu sonuçlara Tuzla İlçesine ait özel bir durumla karşılaşılmıştır. Bu bölgede hastaneler birbirlerine yakın olarak konumlanmışlar ve bu sebeple aynı küme içerisinde yer almışlardır.

Karışık tam sayılı programlama modelini çalıştırmadan önce, periyotlarda gelecek olan hasta taleplerinin hastanelere ve ambulanslara nasıl yönlendirileceğinin tespit edilmiş olması gereklidir.

Bu amaçla, çalışmada hastanelerin toplam yatak kapasite oranlarına göre atama yapılması uygun bulunmuştur. Kapasitesi en yüksek olan hastanenin en çok hastaya sahip olan kümeye ataması yapılmıştır.

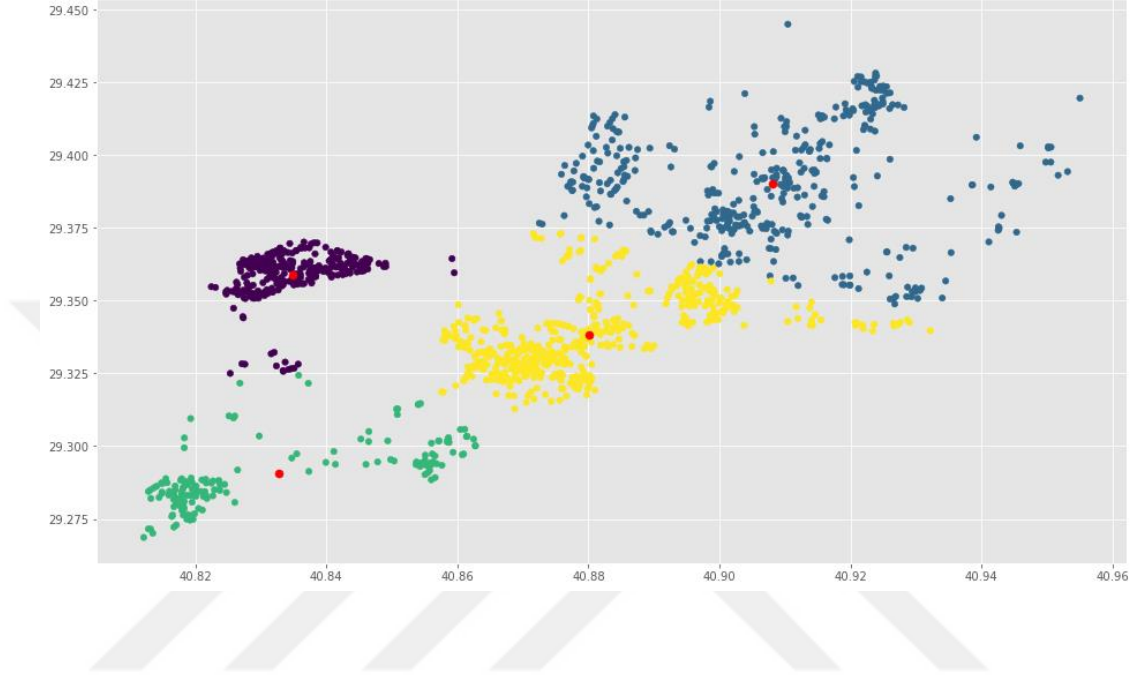
Tablo 27: Hastane Kapasiteleri ve Atanan Hasta Sayıları, Senaryo 1

	Toplam Yatak Kapasitesi	Boş Yatak Kapasitesi	Yeni Küme Numarası	Hasta Sayısı	Hasta Yüzdesi (%)
Tuzla Devlet Hastanesi	355	185	3	535	38.74
Okan Üniversitesi Hastanesi	244	137	2	415	29.77
Gisbir Hastanesi	81	51	4	284	20.23
Özel Tuzla Hastanesi	29	28	1	160	11.26
Toplam :	709	401		1394	100.00

Yukarıdaki tabloda hastanelerin ait oldukları kümeler, toplam yatak kapasiteleri ve ait sorumlu oldukları hasta sayıları belirtilmiştir. Uygulamanın

ilerleyen kısımlarında hastanelere ve hastalara ait diğer ek bilgilerin tanımlanması ile birlikte problemin tüm parametreleri tanımlanmış olacaktır.

Grafik 4: Hastaların Coğrafi Dağılımları ve Kümelenmeleri, Senaryo 1



Tuzla ilçe sınırları içerisinde, ağır yaralı olarak rastgele seçilen hastaların dağılımı yukarıda Grafik 4’de görüldüğü gibidir. Grafikte, kümeleme analizine göre elde edilen kümeler 4 farklı renklerle ifade edilmiştir. Grafikteki dağılım, örnek seçiminde rastgeleliğin sağlanmış olduğunun ve Tuzla İlçesinin hemen hemen her yerleşim bölgesinden hastaların seçilmiş olduğunu da önemli bir göstergesidir.

Ancak hastanelerin birbirilerine olan yakın konumları, onların aynı küme içerisinde kümelenmesine yol açmıştır.

5.6.2 Karışık Tamsayı Doğrusal Programlama, Senaryo 1

Deprem olduğu andan itibaren, ilgili devlet kurumları ve sivil toplum kuruluşları arama kurtarma faaliyetlerine başlarlar.

Arama kurtarma çalışmalarında hedeflenen mümkün olan en kısa zamanda çok sayıda kişiyi sağ salim kurtarabilmektir. Sürecin zorluğu ve hassasiyeti dikkate alındığında depremde göçük altına kalan insanlara ulaşılması hayli vakit almaktadır. Zaman içerisinde dağınık bir vaziyette ağır yaralı hastalara ulaşmak mümkün

olabilmektedir. Bu sebeple, öngörülen yaralı sayılarının hepsinin bir anda ortaya çıkması mümkün değildir.

Bu çalışmada, ağır yaralı hastalara ait ambulans taleplerinin periyot başlarında sisteme iletildiği varsayım ile probleme çözüm aranmıştır.

Yaralılara ambulansların ulaşması ve yaralıların ilgili hastanelere taşınmasında en optimum çözüme ulaşabilmek için Karışık Tamsayılı Programlama kullanılmıştır.

Çalışmada; biri mevcut durumu göstermek üzere 3 farklı senaryo üzerinde çalışılmıştır. Mevcut durumda (senaryo1) hastanelerin 2018 yılı doluluk oranlarına mevcut durumda aktif ambulans sayılarına göre problem çalıştırılmıştır. Akabinde elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile alternatif bir çözüm önerisi getirilmiştir. Alternatif çözüm önerisi senaryo 2 ve senaryo 3 çalıştırılarak modelin duyarlılığı test edilmiştir. Detayları ilgili bölümde açıklanacak olmak üzere kısaca; ilçenin farklı iki noktasına sahra hastaneleri kurulmuş, yedekte tutulan ambulanslar sisteme dahil edilmiş ve hastanelerde deprem öncesi yatan hastaların çevre illere sevk edilmesi ile yatak kapasiteleri artırılmıştır.

Birinci senaryoda, bir devlet hastanesi, bir üniversitesi hastanesi ve iki özel hastane olmak üzere Tuzla İlçesi sınırları içerisinde yer alan dört hastane, toplam 401 boş yatak kapasitesi ve bu hastanelere atanmış 15 ambulans üzerinden taşıma işlemleri yapılmıştır.

Ağır yaralı hastaların üstel fonksiyon halinde geliş dağılımları varsayımına uygun olarak periyot başında oluşan ambulans taleplerini karşılamak için her periyot başında karışık tamsayılı programlama modeli yeni kısıtlarla yeniden çalıştırılmıştır.

Bu amaçla kurulan Karışık Tam Sayılı Programlama modeli; hangi hastanın, hangi ambulansla, hangi periyotta, hangi hastaneye ne kadar sürede taşınacağı sorusuna cevap vermektedir.

Matematiksel modeli önceki bölümlerde yazılmış, kısıtları ve varsayımları tanımlanmış olan problemin çözüm aşamasında Karışık Tamsayılı Programlama kullanılmıştır.

Problemin yapısı gereği, periyotlarda yeni talep gelen hastaların sayıları, periyotlarda kalan hastaların sayıları sürekli değişiklik arz etmektedir. Bundan olayı her periyot başlangıcında ambulanslara ve hastanelere yeniden kısıtlar belirlemek, modeli yeninden kurmak gerekmiştir. Problem, bu haliyle birçok açıdan dinamik hareket eden, kısıtların değişkenlik arz ettiği ve sürekli güncellenen bir yapıdadır.

K-means kümeleme analizi sonuçlarına göre hastanelere atanan hasta sayısı ve yüzdesel dağılım oranları Tablo 28’de görülmektedir. Yapılan atamaların ne kadarına gidilebildiği, hangi hastaneye kaç hastanın taşındığı simülasyon sonucunda tespit edilmiştir. Bu karşılaştırma ilerleyen bölümlerde yapılmıştır.

Tablo 28: Hastanelere Atanan Hasta Sayıları, Senaryo 1

	Özel Tuzla Has.	Okan Üniv. Has.	Tuzla Devlet Has.	Gisbir Has.	Toplam
Atanan Hasta Sayısı	160	415	535	284	1394
Atama Oranı	0.11	0.30	0.39	0.20	1

İlerleyen çözüm aşamalarında anlatılacağı üzere, bir periyot için matematiksel çözümün bulunmasının akabinde ilgili periyodun simülasyonu yapılmıştır. Bu simülasyonun sonucuna göre hizmet ulaştırılan hastaları “Taşınan” ulaşılamayan hastaları ise “Kalan” olarak işaretlemek suretiyle bir sonraki periyodun girdileri yeniden oluşturulmuştur.

Hastanelerin kapasitelerinin dolması durumunda hastaneye ait ambulanslar başka hastanelerle çalışmaya devam etmiştir. Bu haliyle çözüme giden süreç sürekli değişen, birbirini besleyen ve güncelleyen bir yapıda devam etmiştir.

9. periyotta ilk hastanenin kapasitesini dolması ile birlikte atamalar boş yatak kapasitesi oranına göre yapılmaya başlanmıştır. Akabinde 13. periyotta tüm yatakların dolması ile birlikte ayakta tedavi için taşınacak olan hastaların toplam yatak kapasitesine oranlanarak atamaları yapılmıştır. Tablo 29’da 14. periyot itibarıyla atamada kullanılan oranlar gösterilmiştir:

Tablo 29: Hastanelerin Toplam Yatak Kapasiteleri ve Oranları

	Özel Tuzla Has.	Okan Üniv. Has.	Tuzla Devlet Has.	Gisbir Has.	Toplam
Toplam Yatak Kapasitesi	29	244	355	81	709
Kapasite Oranı	0.04	0.34	0.50	0.12	1

Aşağıda verilen tabloda bu değişkenliği görmek mümkündür. Hemen hemen her periyotta farklı sayıda hastanın yönlendirilmesi yapılmıştır. Bu yüzden ambulanslara atanan hastaların sayısı da sürekli bir değişim göstermiştir.

Tablo 30: Tam Sayılı Programlamada Yapılan Atamalar, Senaryo 1

Periyot	Zaman	Ö. Periyot. Kalan	Y. Gel. Hast.	Top. Hast.	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15
1.Periyot	5.2.20 00:00	0	133	133	15	7	7	7	7	6	6	9	9	9	8	8	8	14	13
2.Periyot	5.2.20 01:00	92	121	213	24	11	11	11	11	10	10	14	14	14	13	13	13	22	22
3.Periyot	5.2.20 02:00	173	109	282	32	14	14	14	14	14	14	18	18	18	18	18	18	29	29
4.Periyot	5.2.20 03:00	248	99	347	40	18	18	17	17	17	17	23	22	22	22	22	22	35	35
5.Periyot	5.2.20 04:00	320	89	409	47	21	21	20	20	20	20	26	26	26	26	26	26	42	42
6.Periyot	5.2.20 05:00	376	81	457	53	23	23	23	23	22	22	30	29	29	29	29	29	47	46
7.Periyot	5.2.20 06:00	425	73	498	57	25	25	25	25	24	24	32	32	32	32	32	31	51	51
8.Periyot	5.2.20 07:00	467	66	533	61	27	27	27	26	26	26	34	34	34	34	34	34	54	55
9.Periyot	5.2.20 08:00	499	60	559	64	28	28	28	28	27	27	36	36	36	36	36	35	57	57
10.Periyot	5.2.20 09:00	532	54	586	71	9	9	9	9	9	9	71	70	70	70	70	70	20	20
11.Periyot	5.2.20 10:00	559	49	608	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	44	12	12
12.Periyot	5.2.20 11:00	582	44	626	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	41	42	41	41	41
13.Periyot	5.2.20 12:00	598	40	638	43	43	43	43	43	43	43	43	42	42	42	42	42	42	42
14.Periyot	5.2.20 13:00	617	36	653	26	38	38	38	38	38	38	54	54	54	55	55	55	36	36
15.Periyot	5.2.20 14:00	624	33	657	26	39	38	38	38	38	38	55	55	55	55	55	55	36	36
16.Periyot	5.2.20 15:00	629	30	659	26	39	39	39	38	38	38	55	55	55	55	55	55	36	36
17.Periyot	5.2.20 16:00	635	27	662	27	39	39	39	39	39	38	55	55	55	55	55	55	36	36
18.Periyot	5.2.20 17:00	637	24	661	26	39	39	39	39	39	38	55	55	55	55	55	55	36	36
19.Periyot	5.2.20 18:00	637	22	659	26	38	38	39	39	39	39	55	55	55	55	55	55	36	36
20.Periyot	5.2.20 19:00	633	20	653	26	38	38	38	38	38	38	54	54	54	55	55	55	36	36
21.Periyot	5.2.20 20:00	627	18	645	26	37	37	37	38	38	38	53	54	54	54	54	54	36	35
22.Periyot	5.2.20 21:00	624	16	640	26	37	37	37	37	38	38	53	53	53	53	54	54	35	35
23.Periyot	5.2.20 22:00	613	15	628	25	37	37	37	37	36	36	53	52	52	52	52	52	35	35
24.Periyot	5.2.20 23:00	605	13	618	25	36	36	36	36	36	36	52	52	52	51	51	51	34	34
25.Periyot	6.2.20 00:00	596	12	608	24	35	35	35	36	36	36	51	51	51	51	51	50	33	33
26.Periyot	6.2.20 01:00	586	11	597	24	35	35	35	35	34	34	50	50	50	50	50	49	33	33
27.Periyot	6.2.20 02:00	575	10	585	23	34	34	34	34	34	34	49	49	49	49	49	49	32	32
28.Periyot	6.2.20 03:00	560	9	569	23	33	33	33	33	33	33	47	47	47	48	48	48	31	32
29.Periyot	6.2.20 04:00	548	8	556	22	32	32	32	33	33	33	46	46	46	46	46	47	31	31
30.Periyot	6.2.20 05:00	531	7	538	22	31	31	31	31	31	31	45	45	45	45	45	45	30	30
31.Periyot	6.2.20 06:00	513	7	520	21	30	30	30	30	30	31	43	43	43	43	44	44	29	29
32.Periyot	6.2.20 07:00	495	6	501	20	29	29	29	29	29	29	42	42	42	42	42	42	28	27
33.Periyot	6.2.20 08:00	477	5	482	19	28	28	28	28	28	28	40	40	40	40	40	41	27	27
34.Periyot	6.2.20 09:00	462	5	467	19	27	27	27	27	27	27	39	39	39	39	39	39	26	26
35.Periyot	6.2.20 10:00	447	4	451	18	26	26	26	26	27	27	38	38	38	37	37	37	25	25
36.Periyot	6.2.20 11:00	427	4	431	17	25	25	25	25	25	25	36	36	36	36	36	36	24	24
37.Periyot	6.2.20 12:00	408	4	412	17	24	24	24	24	24	24	35	34	34	34	34	34	23	23
38.Periyot	6.2.20 13:00	385	3	388	16	23	23	23	23	22	22	32	32	32	33	33	32	21	21
39.Periyot	6.2.20 14:00	362	3	365	15	21	21	21	21	22	22	30	30	30	30	31	31	20	20
40.Periyot	6.2.20 15:00	340	3	343	14	20	20	20	20	20	20	29	29	29	28	28	28	19	19
41.Periyot	6.2.20 16:00	322	2	324	13	19	19	19	19	19	18	27	27	27	27	27	27	18	18
42.Periyot	6.2.20 17:00	296	2	298	12	17	17	17	17	18	18	25	25	25	25	25	24	16	17
43.Periyot	6.2.20 18:00	272	2	274	11	16	16	16	16	16	16	23	23	23	23	23	22	15	15
44.Periyot	6.2.20 19:00	246	2	248	10	15	15	15	14	14	14	21	21	21	21	20	20	14	13
45.Periyot	6.2.20 20:00	218	2	220	9	13	13	13	13	13	12	18	18	18	18	19	19	12	12
46.Periyot	6.2.20 21:00	190	1	191	8	11	11	11	11	11	12	16	16	16	16	16	15	11	10
47.Periyot	6.2.20 22:00	162	1	163	7	9	9	9	10	10	10	14	14	14	13	13	13	9	9
48.Periyot	6.2.20 23:00	132	1	133	5	8	8	8	8	7	7	11	11	11	11	11	12	7	8
49.Periyot	7.2.20 00:00	104	1	105	4	6	6	6	6	6	6	8	9	9	9	9	9	6	6
50.Periyot	7.2.20 01:00	77	1	78	3	5	5	5	4	4	4	7	7	7	6	6	6	4	5
51.Periyot	7.2.20 02:00	49	1	50	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3
52.Periyot	7.2.20 03:00	17	1	18	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1
53.Periyot	7.2.20 04:00	2	1	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
54.Periyot	7.2.20 05:00	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55.Periyot	7.2.20 06:00	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...	7.2.20 20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...	7.2.20 21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...	7.2.20 22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72.Periyot	7.2.20 23:00	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Toplam:		1394																	

Ö. Periyot. Kalan : Önceki Periyottan Kalan Hasta Sayısı

Y. Gel. Hast.: Yeni Gelen Hasta Sayısı

Top. Hast: Topalm Hasta Sayısı

Karışık Tam Sayılı programlamada her periyotta Ambulansların taşımaları gereken hasta sayıları Tablo 30’da verildiği gibidir. Ancak, bir periyodun 60 dk. olduğu göz önünde bulundurulduğunda ambulansların taşıyabildikleri hasta sayısı da kısıtlı olmuştur.

Tablo 30’dan anlaşılaçağı üzere toplam hasta sayısı 18. periyoda kadar sürekli artış göstermiş, 20. periyottan sonra azalmaya başlamıştır. Bu nokta yeni gelen hasta sayısının Taşınan hasta sayısından daha az olmaya başladığı noktadır. Ayrıca önceki periyottan kalan hasta sayısını “0” olması 54. periyotta mümkün olmuştur.

Optimizasyonun modelinin, girdilerini ve çıktılarını incelendikten sonra simülasyon kısmında daha detaylı ve kesin sonuçları görmek mümkün olacaktır.

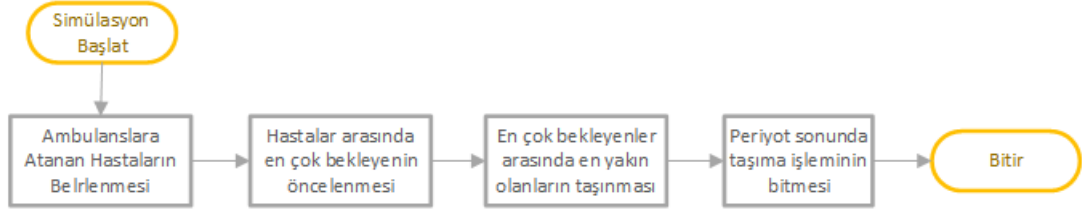
5.6.3 Hasta Seçim Yöntemi

Simülasyon aşamasında, optimizasyonda ataması yapılan hastalar arasında hangisine öncelikle gidebileceğinin belirlenmesi için ayrı bir işlem gerekmektedir. Bu süreçte uygulanacak hasta seçim yöntemi çalışmanın literatüre önemli katkılarından biridir.

Hasta seçim yöntemiyle, optimizasyon sürecinde ataması yapılan hastaların hangisine öncelikle gidilmesi gerektiği tespit edilmiştir. İlk olarak optimizasyon modeline eklenen ceza katsayısı ile geçmiş periyotlardan kalan hastaların sürekli artan bir önceliğe sahip olması için katsayılar belirlenmiştir. Matematiksel modelin çalışmasıyla elde edilen sonuçların simüle edilme aşamaları Şekil 9’da gösterilmiştir.

Uygulanacak seçim yöntemine göre; ambulanslara atamaları yapılan hastalar, ambulans bazında ceza katsayıları en küçükten büyüğe olacak şekilde sıralanmalıdır. Akabinde katsayıları en küçük olan ve ulaşım süresi en kısa olanlar belirlenmelidir. Bu sıralamalar yapıldıktan sonra ambulanslar, ilk sırada bulunan hastalardan itibaren taşımaya başlayacak ve periyot süresi boyunca taşıma işlemine devam edeceklerdir.

Şekil 9: Simülasyon Adımları



Ambulanslara yapılan atamalar arasında en kısa süreli olanlara direkt yönlendirmek yerine, hastaların kaldıkları periyotları önceliklendiren, uzun süre beklemleri ortadan kaldıran bir yöntem seçilmiştir.

Senaryo 1, Senaryo 2 ve Senaryo3’e göre yürütülen simülasyonlarda bu hasta seçim yöntemi kullanılmıştır. Simülasyon sonunda çıktı olarak “Taşınan” ve “Kalan” hastalar elde edilmiştir. Kalan hastalar, bir sonraki periyotta tekrar optimizasyon problemine dahil edilmiştir.

5.6.4 Simülasyon, Senaryo 1

Problemin kuruluş aşamasında K-means kümeleme analizine göre coğrafi olarak sınıflandırılmış olan hastalar, ilgili periyot geldiğinde tam sayılı programlama ile en yakın hastaneye en uygun ambulans ile taşınmaya çalışılmıştır.

Tablo 31: 1.-9. Periyotlarda Taşınan Hastalar, Simülasyon 1

Ambulanslar / Hastaneler	Ozel_Tuzla	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Gisbir	Gisbir	Toplam
Periyotlar	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	
1.Periyot	4	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	3	3	4	4	41
2.Periyot	3	4	5	5	4	2	2	1	1	2	2	2	2	2	3	40
3.Periyot	4	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	4	34
4.Periyot	3	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	2	2	3	4	27
5.Periyot	3	3	1	1	2	3	2	2	2	2	3	2	2	2	3	33
6.Periyot	3	3	4	3	3	3	1	2	2	1	1	2	2	1	1	32
7.Periyot	3	3	2	3	3	3	2	1	1	2	2	2	1	1	2	31
8.Periyot	3	3	3	3	2	3	3	2	3	2	1	1	1	2	2	34
9.Periyot	2	2	3	3	3	2	2	1	1	1	1	1	2	1	2	27
Toplam	28	23	23	23	21	21	17	15	16	18	16	17	17	19	25	299
	28	128						99						44		

Mevcut kapasiteye optimizasyonu problemini çalıştırıp çıktıları simüle ettiğimizde elde edilen sonuçlara göre tam kapasiteye ulaşan ilk hastane 9. periyotta Özel Tuzla Hastanesi olmuştur.

9. periyot sonunda Özel Tuzla hastanesine taşınan hastalarla birlikte, hastane tam kapasiteye ulaşmış ve yatak kapasitesi dolmuştur. Bu durumda ambulansların kapasite sıkıntısı yaşamayan hastanelere yönlendirilmesi gerekmektedir. Özel Tuzla hastanesine tahsis edilmiş A1 ambulansı, bu periyottan sonra Tuzla Devlet Hastanesine hasta taşımaya başlamıştır.

9. periyoda kadar geçen sürede toplam 299 hastaya ulaşılmış ve hastanede tedavi altına alınması sağlanmıştır. Bu süreçte periyot başına ortalama 33'er hasta taşınabilmektedir. Bu sayı, yeni gelen taleplerin altında olduğu gibi biriken hasta taleplerini karşılayabilmekten oldukça uzaktır.

Problemin başında K-means analizine göre yapılan atamalar hastanelerden birinin kapasitesinin dolması ile birlikte 10. periyottan itibaren, hastanelerin boş kalan kapasitelerine göre dinamik bir şekilde devam etmiştir.

9. Periyoda kadar Özel Tuzla Hastanesine çalışmakta olan A1 ambulansı 10. periyottan itibaren Tuzla Devlet Hastanesine çalışmaya başlamıştır.

Tablo 32: 10. Periyotta Taşınan Hastalar, Simülasyon 1

Ambulanslar / Hastaneler	Tuzla_Devlet	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Gisbir	Gisbir	Toplam
Periyotlar	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	
10.Periyot	3	2	1	2	1	2	1	1	2	1	3	3	1	2	2	27
Toplam	3	9						11						4		

10. periyot sonunda Okan Hastanesinin tam kapasiteye ulaştığı görülmüştür. Hastanede boş yatak kalmaması sebebiyle sonraki periyotta hastaneye ait A2, A3, A4, A5, A6 ve A7 ambulansları Tuzla Devlet Hastanesine hasta taşımışlardır.

Tablo 33: 11. Periyotta Taşınan Hastalar, Simülasyon 1

Ambulanslar / Hastaneler	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Gisbir	Gisbir	Toplam
Periyotlar	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15		
11.Periyot	2	1	3	2	3	1	3	2	1	1	1	2	1	2	1		26
Toplam	23													3			

11. periyot sonunda Gisbir Hastanesinin de yatak kapasitesi dolmuştur. Sonraki periyotta Gisbir Hastanesine ait A14, A15 ambulansları boş yatak kapasitesine sahip Tuzla Devlet Hastanesine hasta taşımaya başlamışlardır.

Tablo 34: 12.-13. Periyotlarda Göre Taşınan Hastalar, Simülasyon 1

Ambulanslar / Hastaneler	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Toplam
Periyotlar	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15		
12.Periyot	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	3	3		28
13.Periyot	1	1	2	2	3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2		21
Toplam	2	2	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	2	4	5		49

12. ve 13. periyotlar boyunca tüm ambulanslar Tuzla Devlet Hastanesine hasta taşımışlardır. 13. Periyodun sonunda taşınan 21 hasta ile beraber Tuzla Devlet Hastanesinin de yatak kapasitesi dolmuştur. Böylece 13. periyot sonunda Tuzla İlçesi sınırları içerisinde yer alan tüm hastanelere ait yatak kapasiteleri dolmuştur.

14. periyottan itibaren hastanelerin boş yatakları bulunmamasına rağmen yaralılara acil ilk müdahalelerin yapılması amacıyla ayakta hasta kabul etmeye devam etmişlerdir. Bu periyottan sonra hastanelerin, gelen hastalara ilk yardım ve acil müdahale yaptığı ancak kalıcı yatak imkânı sunamadığı, geçici veya ayakta tedavi imkânı sundukları varsayılmıştır.

Bu aşamada; başlangıçta K-means analiz sonuçlarına göre yapılan atamalar ve 10. periyottan itibaren boş kapasiteye göre yapılan atamaların uygulanmasına gerek kalmamıştır. Yaralılara acil müdahale yapılacağı için hastanelerin toplam yatak kapasiteleri göz önünde bulundurularak diğer imkanlarının da (doktor, hemşire,

makine teçhizat vb.) aynı oranda yeterli olduğu varsayımıyla 14. periyottan itibaren toplam kapasitelerini oranları üzerinden atama yapılmaya başlanmıştır.

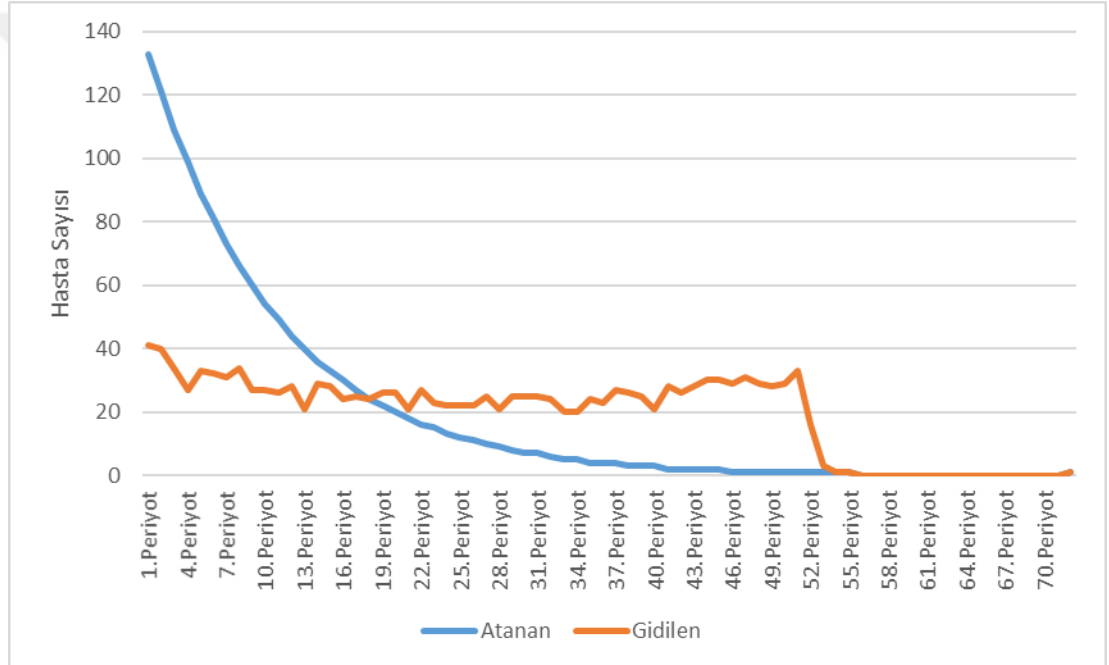
Tablo 35: 14.-72. Periyotlarda Taşınan Hastalar, Simülasyon 1

Ambulanslar / Hastaneler	Ozel_Tuzla	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Gisbir	Gisbir	Toplam
Periyotlar	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15		
14.Periyot	1	2	2	2	1	2	3	2	1	1	2	4	1	2	3	29	
15.Periyot	4	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	2	28	
16.Periyot	3	1	2	2	2	3	1	1	1	1	1	1	1	2	2	24	
17.Periyot	3	3	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	25	
18.Periyot	3	1	3	1	1	2	2	1	2	1	1	1	1	2	2	24	
19.Periyot	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	2	2	2	26	
20.Periyot	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	26	
21.Periyot	2	1	2	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	21	
22.Periyot	3	2	4	2	1	2	2	1	1	1	1	2	1	2	2	27	
23.Periyot	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	23	
24.Periyot	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	22	
25.Periyot	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	22	
26.Periyot	2	1	1	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	22	
27.Periyot	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	25	
28.Periyot	3	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	2	21	
29.Periyot	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	3	3	25	
30.Periyot	3	2	2	2	1	1	1	2	1	3	1	1	1	2	2	25	
31.Periyot	2	2	2	1	2	3	2	2	1	1	1	1	1	2	2	25	
32.Periyot	2	1	1	2	1	1	2	3	1	1	1	1	1	3	3	24	
33.Periyot	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	20	
34.Periyot	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	20	
35.Periyot	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	1	3	2	24	
36.Periyot	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2	1	2	3	23	
37.Periyot	2	2	3	2	1	2	1	1	2	1	3	1	2	2	2	27	
38.Periyot	2	1	2	2	4	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	26	
39.Periyot	2	2	2	1	1	1	2	1	1	2	2	1	2	3	2	25	
40.Periyot	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	21	
41.Periyot	2	3	2	1	2	2	2	2	3	1	1	2	1	2	2	28	
42.Periyot	2	2	2	3	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	3	26	
43.Periyot	2	2	2	2	3	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	28	
44.Periyot	2	1	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	30	
45.Periyot	2	1	2	3	2	1	2	3	2	2	2	3	2	1	2	30	
46.Periyot	2	1	2	2	3	2	1	2	2	3	2	2	2	2	1	29	
47.Periyot	2	2	2	2	3	1	2	2	2	2	3	2	3	1	2	31	
48.Periyot	3	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	29	
49.Periyot	2	1	1	2	2	1	3	2	2	2	2	2	2	1	3	28	
50.Periyot	3	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	3	2	29	
51.Periyot	2	2	2	2	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	33	
52.Periyot	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	16	
53.Periyot	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	3	
54.Periyot	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
55.Periyot	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
72.Periyot	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Toplam	88	63	69	72	71	65	65	59	57	54	58	57	55	77	83	993	
	88	405						340						160			

13. periyotla birlikte tüm hastanelerin kapasiteleri dolmuştur. Bu periyottan sonra hastanelere yaralı taşınmaya devam edecektir ancak bu yaralıları acil müdahale ihtiyaçlarının giderilmesi amacıyla. Hastanelerin mevcut kapasiteleri dolduğu için ayakta veya sandalyede tedavi edilmek durumundadırlar.

Periyotlarda yapılan atamaların, hepsine kısıtlı 1 saatlik süresi içerisinde gitmek mümkün olmadığı için hizmet götürülemeyen yaralılar sonraki periyotlarda taşınmak üzere probleme yeniden dahil edilmişlerdir.

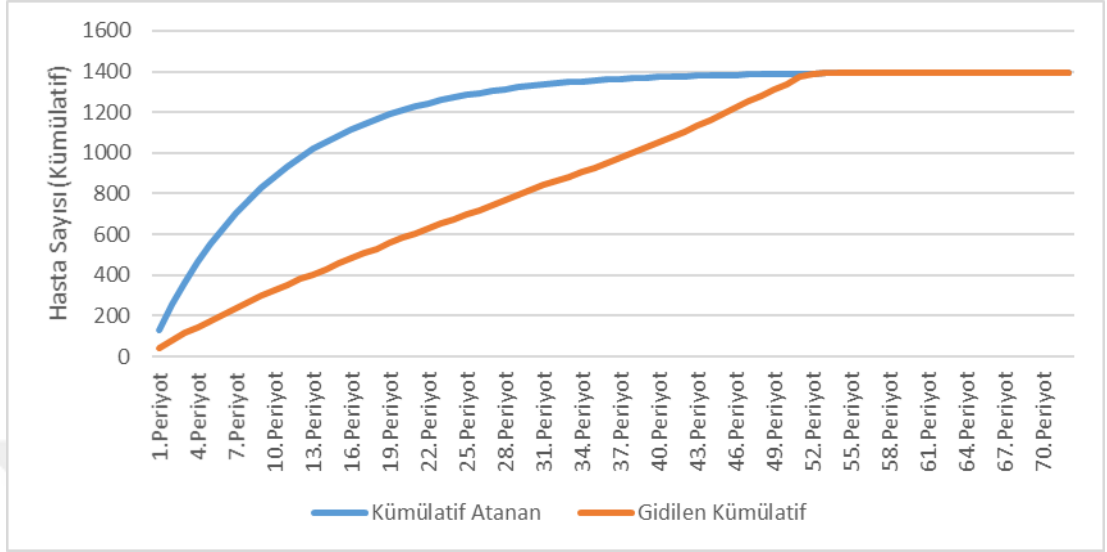
Grafik 5: Periyot Bazında Yeni Atanan ve Taşınan Hastalar, Senaryo 1



Yukarıda verilen Grafik 5’te görüldüğü üzere 17.periyoda kadar “Atanan” hasta sayısı “Taşınan” hasta sayısından fazla olmuştur. Sonrasında atanan sayısının azalması ile “Taşınan” eğrisi “Atanan” eğrisine göre pozitif yönlü hareket etmeye başlamıştır.

Önceki periyotlardan (30. ve 32. periyottan) kalan son iki hastanın da taşınmasıyla 53 saat sonunda tedavi bekleyen yaralı kalmamıştır.

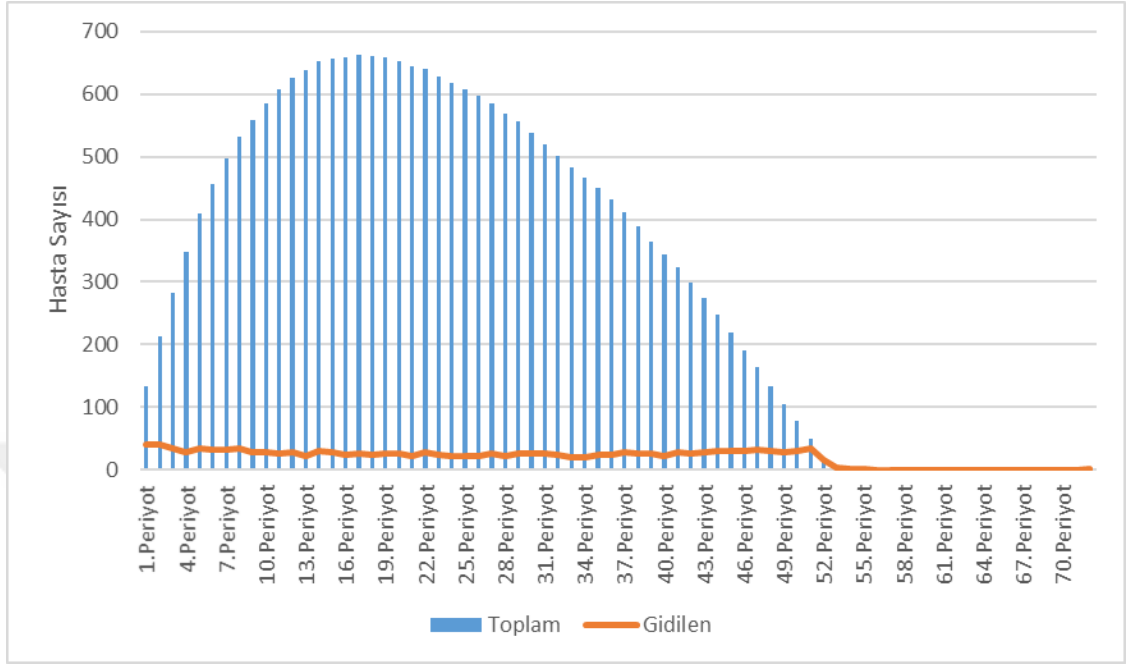
Grafik 6: Periyotlar Bazında Atananlar-Taşınanlar (Kümülatif), Senaryo 1



Grafik 6’da görüldüğü üzere atanan hastaların kümülatif toplamının Taşınan hastalar kümülatif toplamına eşit olduğu yer 53. Periyodun sonudur. Bu zamana kadar toplam talebin karşılanmasında yetersiz kalan ambulanslar, bu periyot sonu itibariyle toplam talebin önüne geçebilmişlerdir.

54. ve 55. periyotlarda sisteme taşınma talebi düşen birer (1) hasta en yakın hastaneye taşınarak acil sağlık müdahaleleri sağlanmıştır.

Grafik 7: Toplam Hasta Sayısı- Taşınan Hasta Sayısı, Senaryo 1



56. periyottan başlayıp son periyoda gelene kadar sisteme herhangi bir ağır yaralı bilgisi girilmemiştir. Bu sebeple tüm ambulanslar için bekleme süresi olarak değerlendirilmiştir. 56. periyottan itibaren son periyoda kadar toplam talebin “0” olduğu Grafik 7’de ayrıca görülmektedir.

Son periyot olan 72. periyotta, sisteme düşen bir kişilik ambulans talebinin de en yakın hastaneye ulaştırılması ile birlikte 72 saatlik çalışmanın simülasyonu tamamlanmıştır.

Deprem sonrasında kurtarma çalışmalarına paralel olarak yürütülen hasta taşıma faaliyetleri 72 saatlik süre sonunda tamamlanmıştır. Bu sürecin özet hâli Tablo 36’da başlıklar altında sunulmuştur:

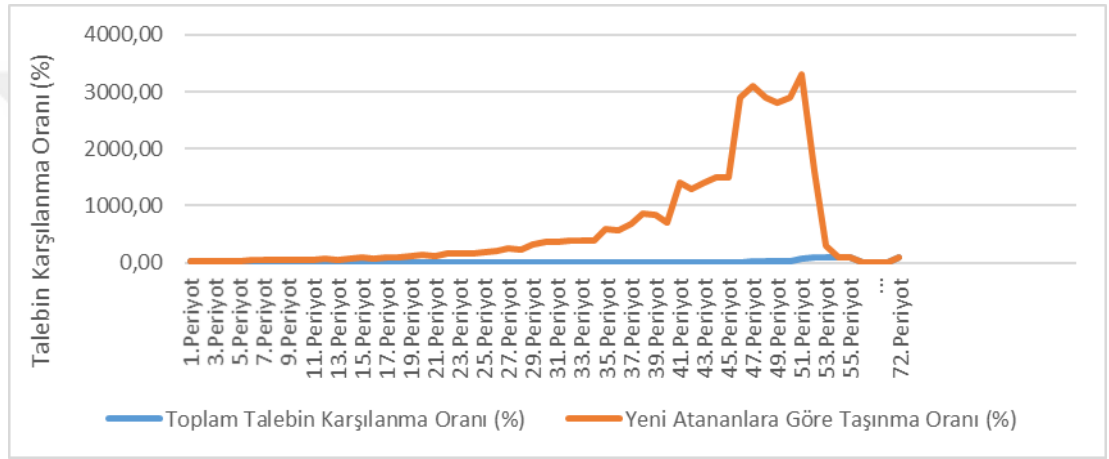
Tablo 36: Periyotların Özet Durumu, Senaryo 1

Periyotlar	Atanan	Önceki Periyottan Kalan	Toplam	Taşınan	Toplam Talebin Karşılama Oranı (%)	Yeni Atananlara Göre Taşınma Oranı (%)	Kalan
1.Periyot	133	0	133	41	30.83	30.83	92
2.Periyot	121	92	213	40	18.78	33.06	173
3.Periyot	109	173	282	34	12.06	31.19	248
4.Periyot	99	248	347	27	7.78	27.27	320
5.Periyot	89	320	409	33	8.07	37.08	376
6.Periyot	81	376	457	32	7.00	39.51	425
7.Periyot	73	425	498	31	6.22	42.47	467
8.Periyot	66	467	533	34	6.38	51.52	499
9.Periyot	60	499	559	27	4.83	45.00	532
10.Periyot	54	532	586	27	4.61	50.00	559
11.Periyot	49	559	608	26	4.28	53.06	582
12.Periyot	44	582	626	28	4.47	63.64	598
13.Periyot	40	598	638	21	3.29	52.50	617
14.Periyot	36	617	653	29	4.44	80.56	624
15.Periyot	33	624	657	28	4.26	84.85	629
16.Periyot	30	629	659	24	3.64	80.00	635
17.Periyot	27	635	662	25	3.78	92.59	637
18.Periyot	24	637	661	24	3.63	100.00	637
19.Periyot	22	637	659	26	3.95	118.18	633
20.Periyot	20	633	653	26	3.98	130.00	627
21.Periyot	18	627	645	21	3.26	116.67	624
22.Periyot	16	624	640	27	4.22	168.75	613
23.Periyot	15	613	628	23	3.66	153.33	605
24.Periyot	13	605	618	22	3.56	169.23	596
25.Periyot	12	596	608	22	3.62	183.33	586
26.Periyot	11	586	597	22	3.69	200.00	575
27.Periyot	10	575	585	25	4.27	250.00	560
28.Periyot	9	560	569	21	3.69	233.33	548
29.Periyot	8	548	556	25	4.50	312.50	531
30.Periyot	7	531	538	25	4.65	357.14	513
31.Periyot	7	513	520	25	4.81	357.14	495
32.Periyot	6	495	501	24	4.79	400.00	477
33.Periyot	5	477	482	20	4.15	400.00	462
34.Periyot	5	462	467	20	4.28	400.00	447
35.Periyot	4	447	451	24	5.32	600.00	427
36.Periyot	4	427	431	23	5.34	575.00	408
37.Periyot	4	408	412	27	6.55	675.00	385
38.Periyot	3	385	388	26	6.70	866.67	362
39.Periyot	3	362	365	25	6.85	833.33	340
40.Periyot	3	340	343	21	6.12	700.00	322
41.Periyot	2	322	324	28	8.64	1400.00	296
42.Periyot	2	296	298	26	8.72	1300.00	272
43.Periyot	2	272	274	28	10.22	1400.00	246
44.Periyot	2	246	248	30	12.10	1500.00	218
45.Periyot	2	218	220	30	13.64	1500.00	190
46.Periyot	1	190	191	29	15.18	2900.00	162
47.Periyot	1	162	163	31	19.02	3100.00	132
48.Periyot	1	132	133	29	21.80	2900.00	104
49.Periyot	1	104	105	28	26.67	2800.00	77
50.Periyot	1	77	78	29	37.18	2900.00	49
51.Periyot	1	49	50	33	66.00	3300.00	17
52.Periyot	1	17	18	16	88.89	1600.00	2
53.Periyot	1	2	3	3	100.00	300.00	0
54.Periyot	1	0	1	1	100.00	100.00	0
55.Periyot	1	0	1	1	100.00	100.00	0
...	0	0	0	0	0.00	0.00	0
...	0	0	0	0	0.00	0.00	0
...	0	0	0	0	0.00	0.00	0
72.Periyot	1	0	1	1	100.00	100.00	0
Toplam	1394			1394			

Tablo 36’da tüm periyotlara ait durum özetlenmiştir; önceki periyottan kalanlar, ilgili periyotta yeni gelen talepler, periyot sonunda gidilemeyenler, kalan yaralı sayıları, toplam talebin karşılanma oranı ve yeni atananlara göre taşınma oranları ayrı sütunlar halinde sunulmuştur.

Tablo 36’daki toplam talebin karşılanma oranı ve yeni atananlara göre taşınma oranları ayrıca Grafik 8’de gösterilmiştir:

Grafik 8: Toplam Talebin Karşılanma Oranı- Yeni Atananlara Göre Taşınma Oranı, Senaryo1



Grafik 8 incelendiğinde toplam talebin karşılanma oranının uzun süre çok düşük seviyede kaldığı gözlenmektedir. 53. Periyoda kadar düşük seyreden bu oran 53. Periyotla beraber %100 seviyesine ulaşmıştır.

53. Periyoda kadar periyot başına ortalama 25 yaralının hastanelere taşındığı Tablo 36’da görülmektedir. 53. periyottan sonra bekleyen hasta olmadığı için ortalamaya dahil edilmemiştir.

Periyotlardaki Hastane bazında değişimleri görmek için aşağıda tabloların incelenmesi gerekmektedir. Ambulans bazında periyotlarda taşınan yaralı sayıları yukarıdaki tablolarda (Tablo 31, Tablo 32, Tablo 33, Tablo 34, Tablo 35) belirtilmişti. Ambulansların taşıdıkları hasta sayıları işlendikten sonra hastanelerde tedavi altına alınan hasta sayıları aşağıdaki tablolarda ayrı ayrı incelenmiştir.

Hastane bazında taşınan hasta sayılarının yer aldığı Tablo 37’de görüldüğü üzere, ilk 9 periyotta hastanelere toplamda 299 yaralı taşınmıştır. Bunlardan 28 tanesi Özel Tuzla Hastanesine taşınmış ve en küçük hastanenin kapasitesi dolmuştur. 9

saatlik sürenin sonunda sistemde bilgisi olan 831 hastanın 299 tanesine hizmet ulaştırılmış, talebin %36'sı karşılanmıştır.

Tablo 37: 1.-9. Periyotlarda Hastane Bazında Taşınan Hastalar, Simülasyon 1

Hastaneler	Özel Tuzla Has.	Okan Üniv. Has.	Tuzla Devlet Has.	Gisbir Has.	Toplam
1.Periyot	4	12	17	8	41
2.Periyot	3	22	10	5	40
3.Periyot	4	11	12	7	34
4.Periyot	3	6	11	7	27
5.Periyot	3	12	13	5	33
6.Periyot	3	17	10	2	32
7.Periyot	3	16	9	3	31
8.Periyot	3	17	10	4	34
9.Periyot	2	15	7	3	27
Toplam	28	128	99	44	299

Özel Tuzla Hastanesinin yatak kapasitesinin 9. periyot sonunda dolmasıyla birlikte A1 ambulansı da Tuzla Devlet Hastanesine yaralı taşımaya başlamıştır.

Tablo 38: 10. Periyotta Hastane Bazında Taşınan Hastalar, Simülasyon 1

Hastaneler	Okan Üniv. Has.	Tuzla Devlet Has.	Gisbir Has.	Toplam
10.Periyot	9	14	4	27
Toplam	9	14	4	27

Böylece 10. periyot süresince toplam 27 yaralı hastaneye ulaştırılmış ve Okan Üniversitesi Hastanesinin yatak kapasitesi dolmuştur.

Ambulanslar, yeni gelecek yaralıları ve eski periyotlardan kalanları Tuzla Devlet Hastanesi ve Gisbir Hastanesine taşımaya devam etmişlerdir.

10 saatlik süre sonunda sisteme gelmiş olan 885 yardım talebinin 326 tanesi, yaklaşık olarak %37'si karşılanmıştır. Kalanlar için diğer periyotlarda ambulansların çalışması devam etmiştir.

Tablo 39: 11. Periyotta Hastane Bazında Taşınan Hastalar, Simülasyon 1

Hastaneler	Tuzla Devlet Has.	Gisbir Has.	Toplam
11.Periyot	23	3	26
Toplam	23	3	26

11. periyot sonunda Gisbir Hastanesinin de dolması ile birlikte sadece Tuzla Devlet Hastanesinin boş kapasitesi kalmıştır. Dolayısıyla kalan hastalar ve yeni gelenler buraya yönlendirilmiştir.

11 saatin sonunda sisteme gelmiş olan 934 yardım talebinin 352 tanesi, yaklaşık olarak %38'i karşılanmıştır.

Tablo 40: 12. ve 13. Periyotlarda Hastane Bazında Taşınan Hastalar, Simülasyon 1

Hastaneler	Tuzla Devlet Has.	Toplam
12.Periyot	28	28
13.Periyot	21	21
Toplam	49	49

13. periyot sonu itibariyle Tuzla İlçesi sınırları içinde yer alan hastanelere ait yatak kapasiteleri tamamen dolmuştur. İki periyotta taşınan hasta sayısı 49 olmuştur.

Toplam 1018 yaralı hasta talebinin gelmiş olduğu 13 saatlik periyodun sonunda hastanelerde tedavi altına alınmış olan hasta sayısı 401 iken hizmet götürülememiş olan hasta sayısı 617 olarak gerçekleşmiştir. Talebin karşılanma oranı yaklaşık olarak %39 olarak gerçekleşmiştir.

Bu aşamadan sonra, kalan ve yeni gelen hastalar tüm hastanelere taşınmaya devam etmiştir. Hastanelerin yatak kapasiteleri dolduğundan ayakta veya geçici tedavi hizmetleri uygulandığı varsayılmıştır.

Tablo 41: 14.-72. Periyotlarda Hastane Bazında Taşınan Hastalar, Simülasyon 1

Hastaneler/ Periyotlar	Özel Tuzla Has.	Okan Üniv. Has.	Tuzla Devlet Has.	Gisbir Has.	Toplam
14.Periyot	1	12	11	5	29
15.Periyot	4	11	9	4	28
16.Periyot	3	11	6	4	24
17.Periyot	3	12	6	4	25
18.Periyot	3	10	7	4	24
19.Periyot	3	11	8	4	26
20.Periyot	3	13	6	4	26
21.Periyot	2	9	7	3	21
22.Periyot	3	13	7	4	27
23.Periyot	2	10	7	4	23
24.Periyot	2	8	8	4	22
25.Periyot	2	10	6	4	22
26.Periyot	2	9	7	4	22
27.Periyot	2	11	8	4	25
28.Periyot	3	7	7	4	21
29.Periyot	2	11	6	6	25
30.Periyot	3	9	9	4	25
31.Periyot	2	12	7	4	25
32.Periyot	2	8	8	6	24
33.Periyot	2	8	6	4	20
34.Periyot	2	8	6	4	20
35.Periyot	2	9	8	5	24
36.Periyot	2	8	8	5	23
37.Periyot	2	11	10	4	27
38.Periyot	2	11	9	4	26
39.Periyot	2	9	9	5	25
40.Periyot	2	9	6	4	21
41.Periyot	2	12	10	4	28
42.Periyot	2	12	8	4	26
43.Periyot	2	11	11	4	28
44.Periyot	2	12	12	4	30
45.Periyot	2	11	14	3	30
46.Periyot	2	11	13	3	29
47.Periyot	2	12	14	3	31
48.Periyot	3	10	12	4	29
49.Periyot	2	10	12	4	28
50.Periyot	3	9	12	5	29
51.Periyot	2	15	12	4	33
52.Periyot	1	6	7	2	16
53.Periyot	0	1	1	1	3
54.Periyot	0	1	0	0	1
55.Periyot	0	1	0	0	1
...	0	0	0	0	0
...	0	0	0	0	0
...	0	0	0	0	0
72.Periyot	0	1	0	0	1
Toplam	88	405	340	160	993

14. periyottan 72. periyoda kadar geçen süre zarfında, 376 yeni yaralı bilgisi sisteme işlenmiş olup geçmiş periyotlardan kalan 617 yaralı ile birlikte toplam 993

ağır yaralı hastaya acil tedavi işlemleri uygulanmıştır. Hastanelerin boş yatak kapasiteleri olmamakla birlikte gelen hastalara acil tedavi hizmeti sunmuşlardır.

İlk defa 53. periyotta bekleyen hasta kalmamış, sistemde ağır yaralı olarak kaydedilmiş kişilerin hepsine tedavi hizmeti ulaştırılmıştır. İlk defa toplam talebin %100 karşılanabildiği seviye 53. periyot olmuştur.

Deprem sonrası enkazdan kurtarılan yaralıların zamana göre dağılım üstel fonksiyon şeklinde olduğundan 56. ve 71. periyotlar arasında sistemde yaralı oluşmadığı gözlenmiştir. Bu haliyle sisteme bilgisi girilen son yaralının 72. periyotta ortaya çıkışı ile beraber, yaralı için hemen ambulans sevk edilmiş ve hastaneye ulaştırılmıştır.

Tablo 42: Hastanelere Taşınan Toplam Hasta Sayıları, Senaryo 1

	Özel Tuzla Has.	Okan Üniv. Has.	Tuzla Devlet Has.	Gisbir Has.	Toplam
Başlangıçta Tahminlenen Hasta Sayısı	160	415	535	284	1394
Atama Oranı	0.11	0.30	0.39	0.20	1
Sonuçta Taşınan Hasta Sayısı	116	542	525	211	1394
Taşınan Hasta Oranı	0,08	0,39	0,38	0,15	1

Başlangıçta kümeleme analizi sonuçları ile hastane büyüklüklerine göre yapılmış olan eşleştirmelerin, sonuçta nasıl gerçekleştiğini Tablo 42’de görülmektedir. En çok yatan hastayı Tuzla Devlet Hastanesi tedavi etmesine rağmen, ayakta ve geçici tedavi uygulamalarında Okan Üniversitesi Hastanesine daha çok hasta taşındığı görülmektedir. Okan Üniversitesi Hastanesinin biraz daha nüfusu yoğun bölgeye yakın olması bu sonucun sebebi olarak yorumlanabilir.

5.7 Senaryo 2

Senaryo 2’de, ilçedeki 4 hastaneye ilaveten 1 sahra hastanesi kurulmuş ve 2 ilave ambulansa tahsis edilmiştir. Senaryo 1’deki aynı örneklerle, 5 Hastane, 17 Ambulans ile cevap verilmeye ve sistemin iyileştirilmesine çalışılmıştır. Bunlara ilaveten acil durum eylem planı olarak, hastanelerde normal zamanda yatan hastaların deprem sonrasında komşu çevre illere aktarılması ile ek yatak kapasitesi elde edileceği öngörülmüştür.

5.7.1 K-Means Kümeleme Analizi, Senaryo 2

İlave edilecek bir sahra hastanesi için en uygun konumun Şifa Mahallesi olduğu K-means kümeleme analizi ile tespit edilmiştir. Bu mahalle nüfus yoğunluğunun en fazla olduğu mahalledir. Kümeleme analizinde diğer gruplardan nasıl ayrıştığı Tablo 43’te görülmektedir.

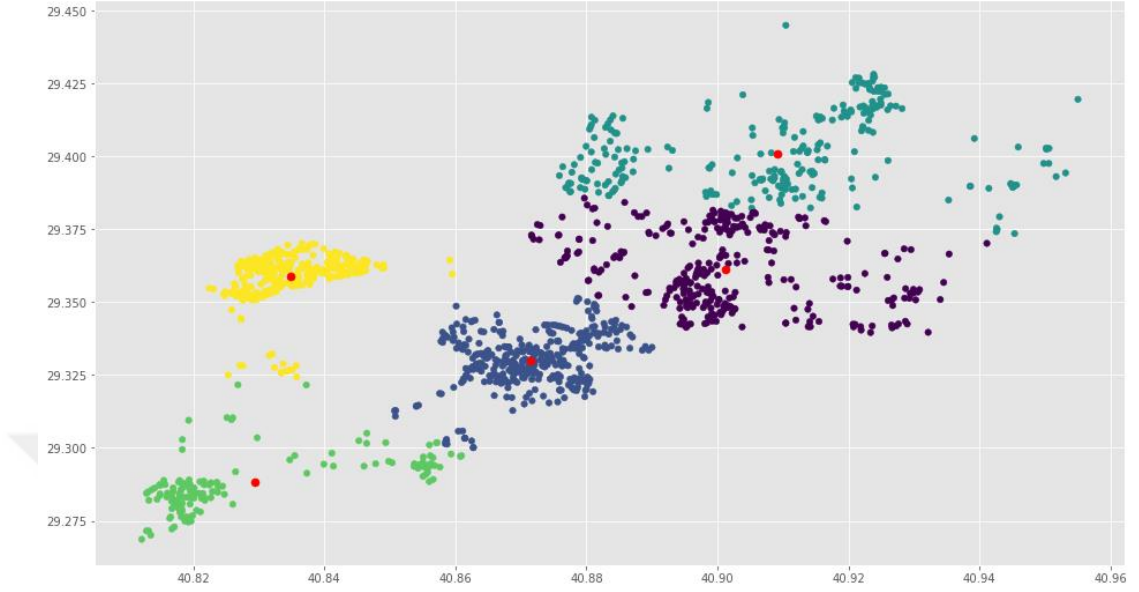
Eklenen sahra hastanesi ile birlikte diğer hastanelere ait detaylı bilgiler verilmiştir Tablo 43’te verilmiştir. Centroid distance’lar hesaplanmış ve hastanelerin ait oldukları gruplar belli olmuştur. Şifa Mahallesinde kurulan Sahra hastanesine ait konumun doğruluğu tablodan teyit edilmiştir. Diğer tüm hastaneler 2. kümede yer alırken, Şifa Sahra hastaneleri farklı kümede gruplanmıştır.

Tablo 43: Hastaneler ve Konum Bilgileri, Senaryo 2

Hastane	Osm_Id	Lat	Lon	Cl.	Cent_Distance	Tuzla Devlet	Okan	Gisbir	Ozel Tuzla	Şifa Sahra
Tuzla Devlet Has.	2230026598	40.845280	29.302440	2	0.021326	0.000	2291.04	2345.50	3482.3	7411.95
Okan Üniv. Hastanesi	6767716363	40.849384	29.301822	2	0.02418431	2291.04	0.000	1226.57	3487.14	7219.24
Gisbir Hastanesi	2365236395	40.847839	29.294578	2	0.019515736	2345.50	1226.57	0.000	3280.96	8166.33
Özel Tuzla Hastanesi	1974824938	40.826042	29.310320	2	0.022353875	3482.3	3487.14	3280.96	0.000	7150.18
Şifa Sahra Hastanesi	6131299430	40.835566	29.365106	4	0.006392096	7411.95	7219.24	8166.33	7150.18	0.000

K-means kümeleme analizinin 5 farklı gruba göre kümelendiğinde elde edilen Grafik 9 aşağıda verilmiştir:

Grafik 9: Hastaların Coğrafi Dağılımları ve Kümelenmeleri, Senaryo 2



Grafik 9 incelendiğinde seçilen örneklerin ilçe geneline rastgele dağıldığı görülmektedir. Ayrıca yeni eklenen sahra hastanelerinin hem ilk 4 hastaneden farklı hem de birbirlerinden farklı bir küme halinde konuşlandığını görülmektedir. Koyu mavi noktaların olduğu bölgede Şifa Sahra hastanesi kurulmuştur.

Diğer 4 hastanenin konumlarının Yeşil renkli noktalar bölgesinde olduğu göz önünde bulundurulursa geçici Şifa Sahra hastanesinin hastalara ulaşma sürelerini kısaltmaya yardımcı olacağını söylemek mümkündür. Aynı zamanda hastaların bekleme süreleri de önemli ölçüde azalmış olacaktır.

Tablo 44: Hastanelerin Yatak Kapasiteleri, Senaryo 2

Hastane	Toplam Yatak Kapasitesi	Yüzde (%)
Tuzla Devlet Hastanesi	355	39.05
Okan Üniv. Hastanesi	244	26.84
Gisbir Hastanesi	81	8.91
Özel Tuzla Hastanesi	29	3.19
Şifa Sahra Hastanesi	100	11.00
Toplam:	809	100.00

Hastanelerin kapasitelerindeki artış Senaryo 2'nin varsayımlarında yer alan afet durum yönetim modelinden kaynaklanmaktadır. Deprem sonrası hastanelerde yatan mevcut hastaların çevre illere hava, deniz, demiryolu ve karayolu vasıtasıyla nakledildiği varsayımı ile hareket edilmektedir. Ayrıca yeni kurulan 100 yatak kapasiteli Şifa Sahra hastanesinin de eklenmesi ile toplam yatak kapasitesi 809 sayısına ulaşmıştır. Sahra hastanesinin, bu haliyle ilçedeki toplam yatak kapasitesine %12'lik bir katkı yaptığını söylemek mümkündür.

5.7.2 Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama, Senaryo 2

Senaryo 1' den farklı olarak, Senaryo 2'de hastane sayılarında, hastane kapasitelerinde ve ambulans sayılarında planlanan artışlarla birlikte problemin parametreleri ve kısıtlarında değişiklikler yapılmıştır.

Problem bu haliyle; 17 ambulandan hangisinin, hangi hastayı, hangi hastaneye ne kadar sürede taşıyacağı sorusuna cevap arar hale gelmiştir. Çözüm için kullanılmış olan Karışık Tamsayılı Programlama modelinin kısıtlarında değişiklikler ve güncellemeler olmuştur.

Yeni eklenen Şifa Sahra Hastanesinin mevcut hastalara olan uzaklıkları Python'da ayrıca hesaplanmış ve yeni mesafe matrisi oluşturulmuştur.

Problemin dinamik yapısı gereği, periyotlarda Taşınan, kalan ve yeni gelen hastaların sayılarında sürekli değişiklikler olmaktadır. Bundan dolayı her periyot için ambulanslara ve hastanelere ait kısıtlar değişkenlik göstermiştir.

Tablo 44'te verilen kapasite oranlarına göre, her periyotta atanması gereken hastaların ambulanslara atamaları gerçekleştirilmiştir. Tablo 45'te ambulanslara atanan hastaların sayılarını periyotlar bazında görmek mümkündür. Bu hastalardan kaçına periyot süresinde gidilebildiği ise Simülasyon kısmında belli olmuştur. Hastanelerin yatak kapasiteleri tamamen dolana kadar boş yatak kapasitesine göre dağılım yapılmıştır. Kapasite dolumundan sonra yapılan yönlendirmeler toplam kapasite oranına göre devam etmiştir.

Tablo 45: Karışık Tam Sayılı Programlamada Yapılan Atamalar, Senaryo 2

Zaman/Periyot	Ö. Periyot Kalan	Y. Gel. Hast.	Top. Hast.	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17
P1	0	133	133	5	7	7	7	7	6	6	10	10	10	10	9	9	7	7	8	8
P2	80	121	201	7	11	10	10	10	10	10	15	15	15	15	14	14	10	10	13	12
P3	153	109	262	9	13	13	13	13	14	14	19	19	19	19	19	20	13	13	16	16
P4	216	99	315	11	15	15	16	16	16	16	23	23	23	23	23	23	16	16	20	20
P5	282	89	371	13	18	18	19	19	19	19	27	27	27	27	27	28	19	18	23	23
P6	341	81	422	15	21	21	21	21	22	22	31	31	31	31	31	30	21	21	26	26
P7	388	73	461	17	24	23	23	23	23	23	34	34	34	34	33	33	23	23	28	29
P8	423	66	489	18	24	24	24	25	25	25	35	36	36	36	36	36	24	25	30	30
P9	453	60	513	1	27	27	27	27	27	27	39	39	39	39	39	39	26	26	32	32
P10	479	54	533	41	24	24	24	25	25	25	41	41	41	42	42	42	20	20	28	28
P11	503	49	552	44	25	25	24	24	24	24	44	44	44	44	44	44	19	19	30	30
P12	523	44	567	46	24	24	24	24	24	23	47	47	46	46	46	46	18	18	32	32
P13	540	40	580	48	23	23	23	23	24	24	48	48	48	49	49	49	17	17	33	34
P14	555	36	591	51	22	22	22	22	22	22	51	51	51	51	51	52	16	15	35	35
P15	564	33	597	56	20	20	20	20	19	19	56	56	56	56	56	57	13	12	30	31
P16	566	30	596	56	20	20	20	20	19	19	56	56	56	56	56	56	13	12	30	31
P17	564	27	591	60	16	16	17	17	17	17	60	60	60	60	59	59	10	9	27	27
P18	559	24	583	64	15	15	15	15	15	15	64	64	64	65	65	65	4	4	17	17
P19	553	22	575	53	12	12	12	12	13	13	53	53	53	53	53	54	54	54	10	11
P20	544	20	564	47	8	8	8	7	7	7	47	47	47	47	47	47	47	47	48	48
P21	535	18	553	32	32	32	32	32	32	32	32	32	33	33	33	33	33	33	33	33
P22	530	16	546	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	33	33
P23	524	15	539	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	31	31	31	31
P24	521	13	534	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	32	32	32	32	32	32
P25	512	12	524	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	30	30	30
P26	499	11	510	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
P27	487	10	497	18	25	25	25	25	25	25	36	36	36	36	37	37	25	25	30	31
P28	465	9	474	17	24	24	24	24	24	23	35	35	35	35	34	34	24	23	29	30
P29	440	8	448	16	22	22	22	23	23	23	32	33	33	33	33	33	22	23	27	28
P30	411	7	418	15	21	21	21	21	21	21	31	31	31	30	30	30	21	21	26	26
P31	383	7	390	14	19	19	20	20	20	20	28	28	28	29	29	29	20	19	24	24
P32	354	6	360	13	18	18	18	18	18	19	27	27	26	26	26	26	18	18	22	22
P33	325	5	330	12	17	17	17	16	16	16	24	24	24	24	24	24	25	16	17	21
P34	296	5	301	11	15	15	15	15	15	16	22	22	22	22	22	22	15	15	19	18
P35	267	4	271	10	14	14	14	13	13	13	20	20	20	20	20	19	14	13	17	17
P36	236	4	240	9	12	12	12	12	12	12	17	17	17	18	18	18	12	12	15	15
P37	203	4	207	7	10	10	10	10	11	11	15	15	15	15	15	16	10	11	13	13
P38	172	3	175	6	9	9	9	9	9	8	13	13	13	13	12	12	9	9	11	11
P39	141	3	144	5	8	8	7	7	7	7	11	11	11	10	10	10	7	7	9	9
P40	107	3	110	4	5	5	5	6	6	6	8	8	8	8	8	8	5	6	7	7
P41	76	2	78	3	3	4	4	4	4	4	6	6	6	6	5	5	4	4	5	5
P42	46	2	48	2	3	3	2	2	2	2	4	4	4	3	3	3	2	3	3	3
P43	18	2	20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1
P44	0	2	2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P45	0	2	2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P46	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P47	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P48	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P49	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P50	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
P51	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P52	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P53	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P54	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P55	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P72	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Toplam:		1394																		

Ö. Periyot. Kalan : Önceki Periyottan Kalan Hasta Sayısı

Y. Gel. Hast.: Yeni Gelen Hasta Sayısı

Top. Hast: Toplam Hasta Sayısı

Optimizasyon modeli Senaryo 2'ye göre çalıştırıldığında her periyotta Ambulansların taşımaları gereken hasta sayıları Tablo 45'te verildiği gibidir. Ancak,

periyot içinde taşınabilen hasta sayıları kısıtlı olacağı için hastaların bazıları diğer periyotlara aktarılmıştır.

Toplam hasta sayısı 15. Periyoda kadar artış gösterip en yüksek değeri bu periyotta almıştır. Taşınan hasta sayısının yeni gelen hasta sayılarından fazla olmaya başlaması ile birlikte toplam hasta sayısı azalmaya başlamıştır.

43. Periyodun sonuna gelindiğinde talep gelen tüm hastalara gidilmesi ile birlikte bekleyen hasta sayısı sıfırlanmıştır. Bundan sonraki periyotlarda yeni gelen hastalara ulaşılmaya çalışılmıştır.

44. periyottan 55. periyoda kalan olan tüm periyotlarda gelen tüm talepler ilgili periyot süresi içerisinde karşılanmıştır.

56. periyottan 71. Periyoda kadar hiçbir talep oluşmadığından bu süre zarfında herhangi bir taşıma işlemi yapılmamıştır.

72. periyotta gelen son hasta ile beraber taşıma işlemi tamamlanmıştır.

Optimizasyonun modeline girenleri ve sürecin çıktılarını daha iyi inceleyebilmek için simülasyon sonuçlarına bakmak gereklidir.

5.7.3 Simülasyon, Senaryo 2

Tablo 45’te her periyotta tüm ambulanslar için yapılan atamalar görülmektedir. Optimizasyonu problemlerinin her periyot için ayrı ayrı çözülmesinin akabinde yapılan simülasyonlar ile hangi hastalara gidildiği tespit edilmiştir. Tablo 46’da hangi ambulansın kaç hasta taşıdığının bilgisi sunulmuştur.

Tablo 46: 1.-9. Periyotlarda Taşınan Hastalar, Simülasyon 2

	Ozel_Tuzla	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Gisbir	Gisbir	Şifa_Şahra	Şifa_Şahra	Toplam
Periyot	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	
P1	4	2	2	2	2	2	2	3	2	3	3	3	3	4	5	5	6	53
P2	3	2	4	4	2	2	2	2	2	2	3	2	2	3	4	5	4	48
P3	5	2	2	1	2	3	3	1	2	3	2	2	3	3	3	4	5	46
P4	4	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	3	3	4	1	33
P5	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	5	1	30
P6	3	2	2	1	3	3	2	2	3	3	2	2	1	1	2	1	1	34
P7	3	3	3	2	3	3	3	1	2	2	3	2	2	2	2	1	1	38
P8	3	2	3	3	3	3	3	2	2	2	1	2	1	2	2	1	1	36
P9	1	2	2	3	2	2	2	2	3	1	3	2	2	3	2	1	1	34
Toplam	29	18	21	19	19	21	20	16	19	19	20	19	17	23	24	27	21	352
	29	118						110						47		48		

Çıktılar simüle edildiğinde, Özel Tuzla Hastanesi’nin 9. periyot sonunda tam kapasiteye ulaşan ilk hastane olduğunu görülmektedir. Özel Tuzla hastanesine tahsis edilmiş A1 ambulansı, bu periyottan sonra Tuzla Devlet Hastanesine hasta taşımaya başlamıştır.

9. Periyodun sonunda kadar geçen sürede, sistemde bilgisi olan 831 ağır yaralının toplam 352 tanesi hastanelere taşınmış ve tedavi altına alınmıştır. Bu süre zarfında periyot başına ortalama 39’ar hasta taşınabilmiştir. Böylece toplam talebin %42 si karşılanmıştır. Bu sayı, yeni gelen taleplerin altında kalmış ve bekleyen hastaların birikmesine sebep olmuştur. 9. periyot sonunda Özel Tuzla Hastanesinin yatak kapasitesinin dolmasıyla birlikte A1 ambulansı Tuzla Devlet Hastanesine yönlendirilmiştir.

Tablo 47: 10.-18. Periyotlarda Taşınan Hastalar, Simülasyon 2

	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Gisbir	Gisbir	Şifa_Sahra	Şifa_Sahra	Toplam
Periyot	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a1	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	
P10	2	3	2	2	2	2	3	1	1	2	1	2	1	2	2	1	1	30
P11	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1	1	29
P12	1	2	2	2	2	2	1	3	1	1	1	2	1	2	2	1	1	27
P13	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	25
P14	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	1	1	2	2	4	1	27
P15	2	3	4	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	4	2	31
P16	1	4	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	2	1	3	5	1	32
P17	1	2	2	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	3	2	5	5	32
P18	1	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	5	5	30
Toplam	13	22	19	15	16	16	15	13	11	13	10	11	10	16	18	27	18	263
	101						83							34		45		

10. periyottan 18. periyodun sonunda kadar periyot başına ortalama 29 hasta olmak üzere toplamda 263 yaralı daha taşınmıştır. Böylelikle 1.periyottan itibaren toplamda 615 hastanın tedavi atlına alınması sağlanmıştır.

18. saatin sonunda kadar geçen sürede, sisteme bilgisi işlenmiş olan 1168 ağır yaralı hastanın 615 tanesi hastanelere taşınmıştır. Böylece toplam talebin %53'ünün karşılandığı görülmüştür.

18. periyotta Gisbir Hastanesinin kapasitesinin dolması ile A14 ve A15 ambulansları Tuzla Devlet Hastanesine hasta taşımaya başlamışlardır.

Tablo 48: 19. Periyotlarda Taşınan Hastalar, Simülasyon 2

	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Şifa_Sahra	Şifa_Sahra	Toplam	
Periyot	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a1	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16		a17
P19	2	3	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	2	2	3		4
Toplam	12						12											7

19. periyotta taşınan toplam 31 hasta ile birlikte Şifa Sahra Hastanesinin de yatak kapasitesi dolmuştur. Bu yüzden, A16 ve A17 ambulansı sonraki periyotlarda kullanılmak üzere Tuzla Devlete tahsis edilmiştir.

19. saatin sonunda, sisteme bilgisi işlenmiş olan 1190 ağır yaralı hastanın 646 tanesi hastanelere taşınmıştır. Böylece toplam talebin %54'ünün karşılandığı görülmüştür.

Tablo 49: 20. Periyotlarda Taşınan Hastalar, Simülasyon 2

	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Toplam
Periyot	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a1	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	
P20	2	1	3	3	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	2	2	29
Toplam	13						16											

20. periyot sonunda taşınan toplam 29 hasta ile birlikte Okan Üniversitesi Hastanesi tam kapasiteye ulaşmıştır. 1. Periyottan itibaren taşınan hasta sayısı toplamda 675'e ulaşmıştır.

Periyot sonunda; A2, A3, A4, A5, A6, A7 ambulansları da Tuzla Devlet Hastanesine tahsis edilmiştir.

Tablo 50: 21.-26. Periyotlarda Taşınan Hastalar, Simülasyon 2

	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Toplam
Periyot	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17		
P21	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	23
P22	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1	22
P23	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18
P24	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	22
P25	2	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	25
P26	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	3	1	2	2	1	1	1	23
Toplam	7	7	9	8	9	8	8	7	7	7	8	9	9	9	7	7	7	7	133
	133																		

21. periyottan 26. periyodun ortalarına kadar tüm ambulansların Tuzla Devlet Hastanesine çalışmasıyla birlikte, toplam 133 hastaya hizmet ulaştırılmıştır.

Sürecin başından itibaren 26. periyodun sonuna kadar toplamda 808 hasta taşınmıştır. Aynı dönemde 1295 ağır yaralı bilgisinin sisteme iletildiği göz önüne alındığında toplam talebin %62'sinin karşılandığını söylemek mümkündür. Bu hastalar için yatak kapasiteleri müsait olduğundan yataklı birimlerde tedavi altına alınmışlardır.

Hastanelerin kapasitelerinin dolması ile birlikte tüm ambulanslar başlangıçta tanımlanmış oldukları hastanelere taşıma yapmaya devam etmişlerdir. Yatak kapasiteleri dolmalarına rağmen gelen yaralıları acil müdahalelerin yapıldığı, geçici/ayakta tedavi hizmetlerinin sunulduğu varsayımıyla hasta taşıma işlemleri devam etmiştir.

Tablo 51: 27.-72. Periyotlarda Taşınan Hastalar, Simülasyon 2

	Ozel_Tuzla	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Gisbir	Gisbir	Şifa_Sahra	Şifa_Sahra	Toplam
Periyot	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	
P27	2	1	2	3	2	3	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	32
P28	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	5	34
P29	2	1	2	2	1	3	1	1	3	2	2	2	2	2	1	5	5	37
P30	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	5	5	35
P31	2	2	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	5	5	36
P32	3	1	2	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	5	5	35
P33	2	1	1	1	1	1	3	2	2	2	1	2	2	2	1	5	5	34
P34	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	5	5	34
P35	2	2	2	1	2	1	1	3	2	2	2	2	2	1	1	4	5	35
P36	2	1	3	2	3	2	2	1	3	2	1	1	2	1	2	5	4	37
P37	3	1	2	2	3	2	1	2	2	1	2	2	1	1	1	4	5	35
P38	3	2	2	2	2	3	2	1	1	1	1	1	2	1	1	5	4	34
P39	2	2	2	2	3	3	1	1	2	2	2	2	1	2	1	5	4	37
P40	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	2	1	1	4	5	34
P41	3	1	1	2	2	3	1	1	1	2	1	2	1	1	1	5	4	32
P42	2	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	3	1	3	30
P43	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	20
P44	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
P45	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
P46	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P47	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P48	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P49	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
P51	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P52	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P53	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P54	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P55	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P72	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Toplam	38	26	32	32	33	34	28	28	33	30	28	27	29	23	25	69	71	586

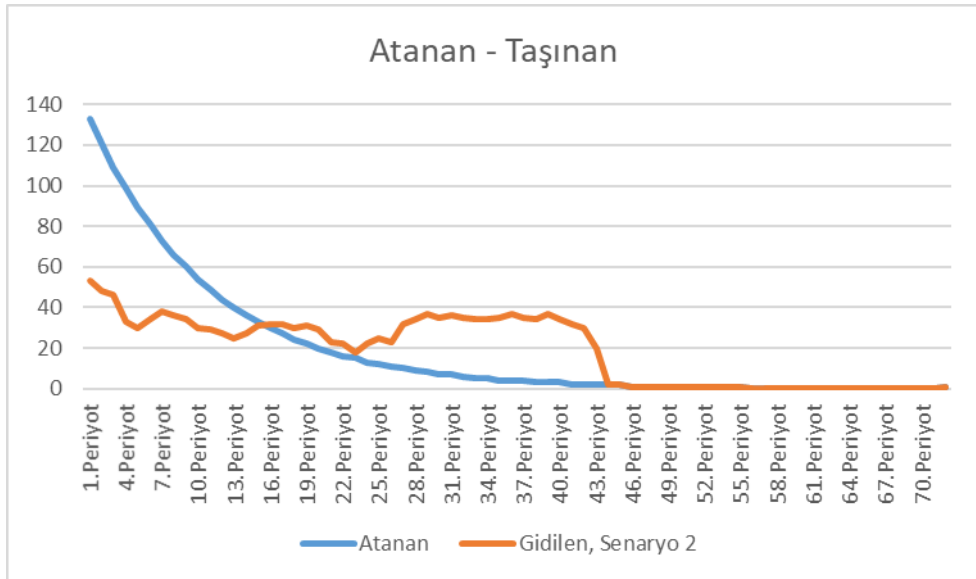
İlçedeki tüm hastanelere ait yatak kapasiteleri dolduğundan, 27. periyottan itibaren hastalara yataklı tedavi imkânı sunulamamış (1 hasta hariç) ayakta ve/veya geçici tedavi hizmeti verilmiştir. Hastanelerin boş yatak kapasiteleri olmamakla birlikte gelen hastalara acil tedavi hizmeti sunmuşlardır.

27. Periyodun başından 72. Periyodun sonunda kadar geçen süre zarfında, 99 yeni yaralı bilgisi sisteme işlenmiş olup geçmiş periyotlardan kalan 487 yaralı ile birlikte toplam 585 ağır yaralı hastaya acil tedavi işlemleri uygulanmış ayrıca 1 kişiye yatak tahsis edilebilmiştir.

43. periyodun sonunda 1379 yaralının hepsi hastanelere taşınmış, bekleyen hiç hasta kalmamıştır. Toplam talebin %100 karşılanmış, yaralılar hastanelere taşınmıştır.

56. ve 71. periyotlar arasında sistemde yaralı oluşmadığı, son hastanın 72. periyotta ortaya çıkışı ile beraber Okan Üniv. Hastanesine taşındığı görülmüştür.

Grafik 10: Periyot Bazında Yeni Atanan ve Taşınan Hastalar, Senaryo 2



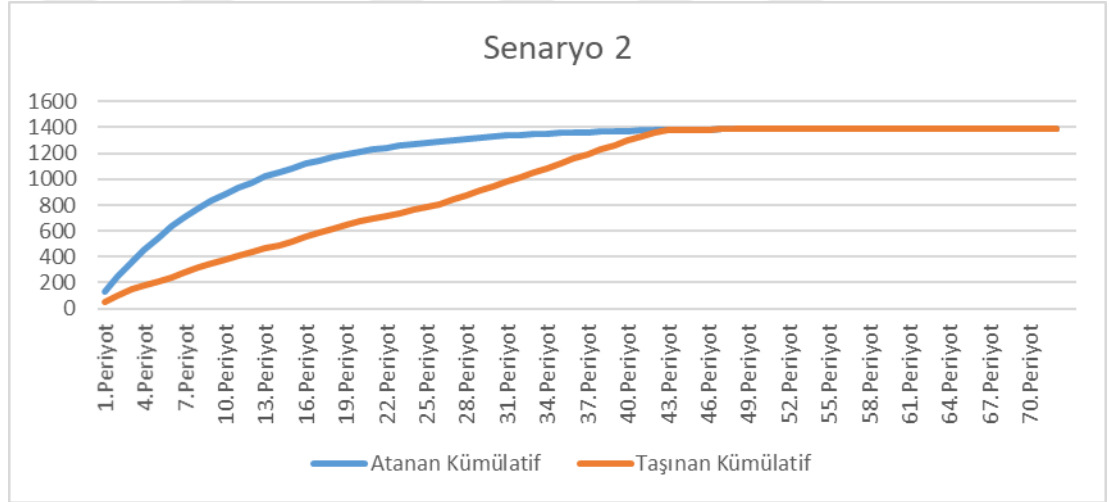
15. periyoda kadar atanan hasta sayısının, Taşınan hasta sayısından fazla olduğu Grafik 10'da net olarak görülmektedir. Ayrıca, Atanan sayısının gittikçe

azalması ile 15. periyottan itibaren ‘Taşınan’ hasta sayısı yeni gelen hasta sayısından fazla olmaya başlamıştır.

44. periyodun başından itibaren bekleyen hasta kalmaması “Atanan” ve “Taşınan” eğrilerini birbirlerine eşitlemiştir. 72. Periyodun sonuna kadar beraber hareket etmişlerdir.

Önceki periyotlardan kalan son hastaların taşınmasıyla birlikte 43 saatlik süre sonunda tedavi bekleyen yaralı kalmamıştır.

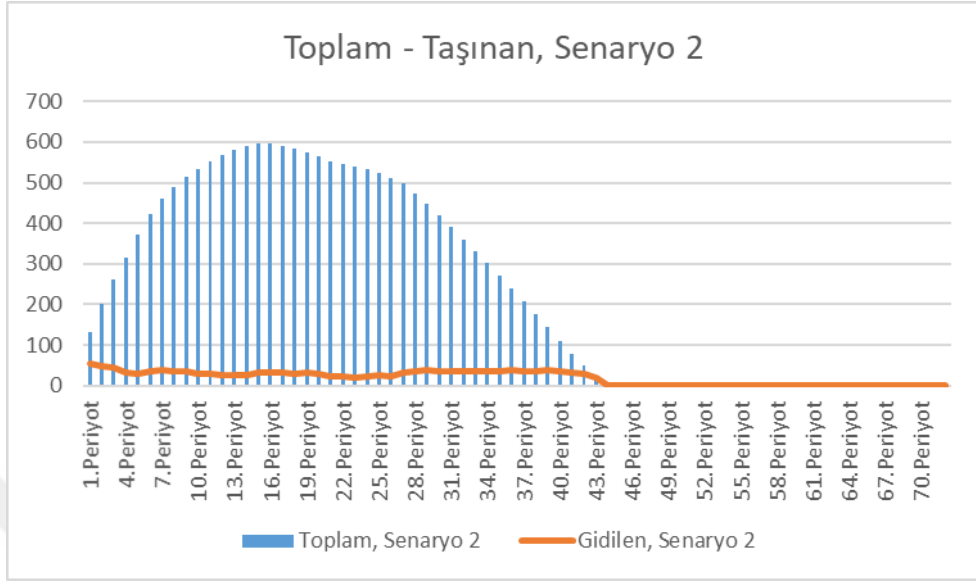
Grafik 11: Periyotlar Bazında Atananlar-Taşınanlar (Kümülatif), Senaryo2



Grafik 11’de görüldüğü üzere “Atanan” hastaların kümülatif toplamının “Taşınan” hastalar kümülatif toplamına eşit olduğu yer 43. Periyodun sonudur. Bu zamana kadar toplam talebin karşılanmasında yetersiz kalan ambulanslar, bu periyot sonu itibarı ile toplam talebin önüne geçebilmişlerdir.

46. ve 55. periyotlar arasında gelen birer (1) hasta ve 72. periyotta gelen son hasta en yakın hastaneye taşınarak tedavi altına alınmıştır.

Grafik 12: Toplam Hasta Sayısı- Taşınan Hasta Sayısı, Senaryo 2



Grafik 12’de görüldüğü üzere 43. periyot itibariyle “Taşınan” hasta sayısı Toplam hasta sayısına eşit seyretnmiştir.

56. periyottan itibaren son periyoda kadar toplam talebin “0” olduğu da ayrıca görülmektedir.

Son periyot olan 72. periyotta, sisteme düşen bir kişilik ambulans talebinin de en yakın hastaneye ulaştırılması ile birlikte 72 saatlik çalışmanın simülasyonu tamamlanmıştır.

Deprem sonrasında kurtarma çalışmalarına paralel olarak yürütülen hasta taşıma faaliyetleri (Senaryo 2) 72 saatlik süre sonunda tamamlanmıştır. Bu sürecin özet hâli Tablo 52’de sunulmuştur:

Tablo 52: Periyotların Özet Durumu, Senaryo 2

Periyotlar	Atanan	Önceki Periyottan Kalan	Toplam	Taşınan	Toplam Talebin Karşılama Oranı (%)	Yeni Atananlara Göre Taşınma Oranı (%)	Kalan
1.Periyot	133	0	133	53	39,85	39,85	80
2.Periyot	121	80	201	48	23,88	39,67	153
3.Periyot	109	153	262	46	17,56	42,20	216
4.Periyot	99	216	315	33	10,48	33,33	282
5.Periyot	89	282	371	30	8,09	33,71	341
6.Periyot	81	341	422	34	8,06	41,98	388
7.Periyot	73	388	461	38	8,24	52,05	423
8.Periyot	66	423	489	36	7,36	54,55	453
9.Periyot	60	453	513	34	6,63	56,67	479
10.Periyot	54	479	533	30	5,63	55,56	503
11.Periyot	49	503	552	29	5,25	59,18	523
12.Periyot	44	523	567	27	4,76	61,36	540
13.Periyot	40	540	580	25	4,31	62,50	555
14.Periyot	36	555	591	27	4,57	75,00	564
15.Periyot	33	564	597	31	5,19	93,94	566
16.Periyot	30	566	596	32	5,37	106,67	564
17.Periyot	27	564	591	32	5,41	118,52	559
18.Periyot	24	559	583	30	5,15	125,00	553
19.Periyot	22	553	575	31	5,39	140,91	544
20.Periyot	20	544	564	29	5,14	145,00	535
21.Periyot	18	535	553	23	4,16	127,78	530
22.Periyot	16	530	546	22	4,03	137,50	524
23.Periyot	15	524	539	18	3,34	120,00	521
24.Periyot	13	521	534	22	4,12	169,23	512
25.Periyot	12	512	524	25	4,77	208,33	499
26.Periyot	11	499	510	23	4,51	209,09	487
27.Periyot	10	487	497	32	6,44	320,00	465
28.Periyot	9	465	474	34	7,17	377,78	440
29.Periyot	8	440	448	37	8,26	462,50	411
30.Periyot	7	411	418	35	8,37	500,00	383
31.Periyot	7	383	390	36	9,23	514,29	354
32.Periyot	6	354	360	35	9,72	583,33	325
33.Periyot	5	325	330	34	10,30	680,00	296
34.Periyot	5	296	301	34	11,30	680,00	267
35.Periyot	4	267	271	35	12,92	875,00	236
36.Periyot	4	236	240	37	15,42	925,00	203
37.Periyot	4	203	207	35	16,91	875,00	172
38.Periyot	3	172	175	34	19,43	1133,33	141
39.Periyot	3	141	144	37	25,69	1233,33	107
40.Periyot	3	107	110	34	30,91	1133,33	76
41.Periyot	2	76	78	32	41,03	1600,00	46
42.Periyot	2	46	48	30	62,50	1500,00	18
43.Periyot	2	18	20	20	100,00	1000,00	0
44.Periyot	2	0	2	2	100,00	100,00	0
45.Periyot	2	0	2	2	100,00	100,00	0
46.Periyot	1	0	1	1	100,00	100,00	0
47.Periyot	1	0	1	1	100,00	100,00	0
48.Periyot	1	0	1	1	100,00	100,00	0
49.Periyot	1	0	1	1	100,00	100,00	0
50.Periyot	1	0	1	1	100,00	100,00	0
51.Periyot	1	0	1	1	100,00	100,00	0
52.Periyot	1	0	1	1	100,00	100,00	0
53.Periyot	1	0	1	1	100,00	100,00	0
54.Periyot	1	0	1	1	100,00	100,00	0
55.Periyot	1	0	1	1	100,00	100,00	0
...	0	0	0	0	0,00	0,00	0
...	0	0	0	0	0,00	0,00	0
...	0	0	0	0	0,00	0,00	0
72.Periyot	1	0	1	1	100,00	100,00	0
Toplam	1394			1394			

Tablo 53: Hastanelere Taşınan Toplam Hasta Sayıları, Senaryo 2

	Özel Tuzla Has.	Okan Üniv. Has.	Tuzla Devlet Has.	Gisbir Has.	Şifa Sahra Has.	Toplam
Toplam Yatak Kapasitesi	29	244	355	81	100	809
Atama Oranı (%)	3,58	30,16	43,88	10,01	12,36	100
Başlangıçta Tahminlenen Hasta Sayısı	50	420	612	140	172	1394
Sonuçta Taşınan Hasta Sayısı	67	429	529	129	240	1394
Taşınan Hasta Oranı (%)	4,81	30,77	37,95	9,25	17,22	100

Başlangıçta hastanelerin kapasitelerine oranla yapılmış olan tahminlerin, sonuçta nasıl gerçekleştiği Tablo 53’de görülmektedir. Sonuçlara göre en çok hastayı Tuzla Devlet Hastanesi’ne taşınmıştır. Şifa Sahra Hastanesi ise beklenenin çok üstünde hastaya hizmet vermiştir. Diğer üç hastaneye yönelik yapılan tahminler yaklaşık olarak gerçekleşmiştir.

5.8 Senaryo 3

Senaryo 3’te, ilçedeki 4 hastaneye ilaveten 2 sahra hastanesi kurulmuş ve ilçeye 4 ilave ambulans tahsis edilmiştir. Senaryo 1’deki aynı örneklere, 6 Hastane, 19 Ambulans ile cevap verilmeye ve sistemin iyileştirilmesine çalışılmıştır. Bunlara ilave acil durum eylem planı olarak, hastanelerde normal zamanda yatan hastaların deprem sonrasında komşu çevre illere aktarılması ile ek yatak kapasitesi elde edileceği öngörülmüştür.

5.8.1 K-Means Kümeleme Analizi, Senaryo 3

Sahra hastaneleri için uygun konumlar olarak Aydınli Mahallesi ve Şifa Mahallesi seçilmiştir. Bu mahalleler nüfus yoğunluğunu fazla olması ve kümeleme analizlerinde farklı gruplar olarak kümelenmiş olmalarından dolayı seçilmişlerdir.

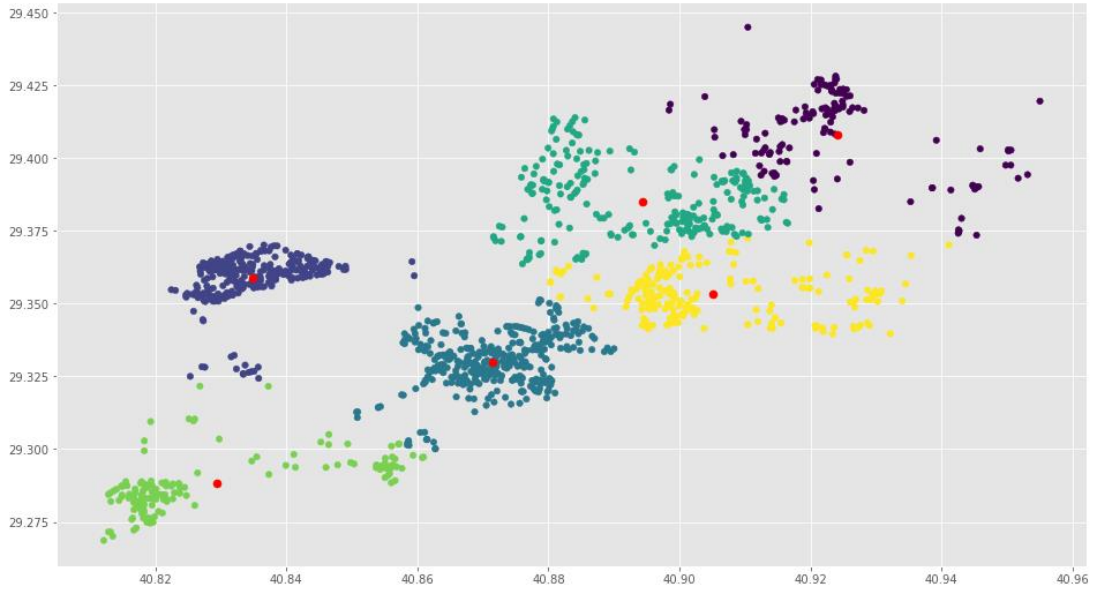
Tablo 54’te eklenen sahra hastaneleri ile birlikte diğer hastanelere ait detaylı bilgiler verilmiştir. Centroid distance’lar hesaplanmış ve hastanelerin ait oldukları gruplar belli olmuştur. Aydınli ve Şifa Mahallelerinde kurulan Sahra hastanelerine ait konumların doğruluğu teyit edilmiştir. Diğer tüm hastaneler 2. kümede yer alırken, sahra hastaneleri farklı kümelerde gruplanmıştır.

Tablo 54: Hastaneler ve Konum Bilgileri, Senaryo 3

Hastane	Osm_Id	Lat	Lon	Cl	Cent_Distance	Tuzla Devlet	Okan	Gisbir	Ozel Tuzla	Aydınlı Sahra	Şifa Sahra
Tuzla Devlet Has.	2230026598	40.845280	29.302440	2	0.021326	0.000	2291.04	2345.50	3482.3	5557.17	7411.95
Okan Üniv. Hastanesi	6767716363	40.849384	29.301822	2	0.02418431	2291.04	0.000	1226.57	3487.14	4860.41	7219.24
Gisbir Hastanesi	2365236395	40.847839	29.294578	2	0.019515736	2345.50	1226.57	0.000	3280.96	5842.19	8166.33
Özel Tuzla Hastanesi	1974824938	40.826042	29.310320	2	0.022353875	3482.3	3487.14	3280.96	0.000	8067.82	7150.18
Aydınlı Sahra Hastanesi	2265386405	40.877597	29.337894	5	0.022353875	5557.17	4860.41	5842.19	8067.82	0.000	11255.01
Şifa Sahra Hastanesi	6131299430	40.835566	29.365106	4	0.006392096	7411.95	7219.24	8166.33	7150.18	11255.01	0.000

K-means kümeleme analizinin 6 farklı gruba göre kümelendiğinde elde edilen görünüm Grafik 13 aşağıda verilmiştir:

Grafik 13: Hastaların Coğrafi Dağılımları ve Kümelermeleri, Senaryo 3



Grafik 13 incelendiğinde seçilen örneklerin ilçe geneline rastgele dağıldığını görülmektedir. Ayrıca yeni eklenen sahra hastanelerinin hem ilk 4 hastaneden farklı hem de birbirlerinden farklı 2 küme halinde konuşlandığını görülmektedir. Yeşil renkli noktaların olduğu bölgede Aydınli Sahra hastanesi kurulmuş, Turkuaz renkli örneklerin yoğunlukta olduğu bölgede ise Şifa Sahra Hastanesi kurulmuştur.

Diğer 4 hastanenin konumlarının Yeşil renkli noktalar bölgesinde olduğu göz önünde bulundurulursa geçici sahra hastanelerinin ne kadar iyi konumlandırıldığı

anlaşılabilir. Bu sayede hastalara ulaşma süreleri kısalmış, hizmet ulaştırılan hasta sayısı artmıştır.

Tablo 55: Hastanelerin Yatak Kapasiteleri, Senaryo 3

Hastane	Toplam Yatak Kapasitesi	Yüzde (%)
Tuzla Devlet Hastanesi	355	39.05
Okan Üniv. Hastanesi	244	26.84
Gisbir Hastanesi	81	8.91
Özel Tuzla Hastanesi	29	3.19
Aydınlı Sahra Hastanesi	100	11.00
Şifa Sahra Hastanesi	100	11.00
Toplam:	909	100.00

Hastanelerin kapasitelerindeki artış Senaryo 3'ün varsayımlarında yer alan afet durum yönetim modelinden kaynaklanmaktadır. Deprem sonrası hastanelerde yatan mevcut hastaların çevre illere hava, deniz, demiryolu ve karayolu vasıtasıyla nakledildiği varsayımı ile hareket edilmektedir. Ayrıca yeni kurulan 100 yatak kapasiteli 2 sahra hastanesinin de eklenmesi ile toplam yatak kapasitesi 909 sayısına ulaşmıştır. Sahra hastanelerinin, bu haliyle ilçedeki toplam yatak kapasitesinin %22'sini oluşturduğu görülmektedir.

5.8.2 Karışık Tamsayı Doğrusal Programlama, Senaryo 3

Senaryo 1' den farklı olarak, Senaryo 3'te hastane sayılarında, hastane kapasitelerinde ve ambulans sayılarında planlanan artışlarla birlikte problemin parametreleri ve kısıtlarında değişiklikler yapılmıştır.

Problem bu haliyle; 19 ambulandan hangisinin, hangi hastayı, hangi hastaneye ne kadar sürede taşıyacağı sorusuna cevap arar hale gelmiştir. Çözüm için kullanılmış olan Karışık Tamsayı Programlama modelinin kısıtlarında değişiklikler ve güncellemeler olmuştur

Yeni eklenen hastanelerin mevcut hastalara olan uzaklıkları Python'da ayrıca hesaplanmış ve yeni mesafe matrisi oluşturulmuştur.

Problemin dinamik yapısı gereği, periyotlarda Taşınan, kalan ve yeni gelen hastaların sayılarında sürekli değişiklikler olmaktadır. Bundan olayı her periyot için ambulanslara ve hastanelere ait kısıtlar değişkenlik göstermiştir.

Tablo 55'te verilen kapasite oranlarına göre, her periyotta atanması gereken hastaların ambulanslara atamaları gerçekleştirilmiştir.

Tablo 56'da ambulanslara atanan hastaların sayılarını periyotlar bazında görmek mümkündür. Bu hastalardan kaçına periyot süresinde gidilebildiği ise Simülasyon kısmında belli olmuştur. Hastanelerin yatak kapasiteleri tamamen dolana kadar boş yatak kapasitesine göre dağılım yapılmıştır.

Kapasite dolumundan sonra yapılan yönlendirmeler toplam kapasite oranına göre devam etmiştir.

Tablo 56: Karışık Tam Sayılı Programlamada Yapılan Atamalar, Senaryo 3

Zaman/ Periyot	Ö. Periyot. Kalan	Y. Gel. Hast.	Top. Hast.	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	a18	a19
P1	0	133	133	4	6	6	6	6	6	6	9	9	9	8	8	8	6	6	8	7	8	7
P2	72	121	193	6	9	9	9	8	8	8	13	13	12	12	12	12	9	9	11	11	11	11
P3	146	109	255	8	11	11	11	11	12	12	16	16	17	17	17	17	11	12	14	14	14	14
P4	203	99	302	10	13	13	13	14	14	14	19	19	20	20	20	20	14	13	16	17	16	17
P5	259	89	348	11	16	16	16	16	15	15	22	22	23	23	23	23	15	16	19	19	19	19
P6	315	81	396	13	18	18	18	18	17	17	26	26	26	26	25	25	18	17	22	22	22	22
P7	355	73	428	14	19	19	19	19	19	19	28	28	28	28	28	28	19	19	24	23	24	23
P8	384	66	450	14	20	20	20	20	20	20	29	29	29	29	30	30	20	20	25	25	25	25
P9	403	60	463	1	21	21	21	21	21	21	31	31	31	31	31	31	21	21	27	27	27	27
P10	423	54	477	33	20	20	20	20	19	19	34	34	34	33	33	33	16	15	24	24	23	23
P11	438	49	487	36	19	19	19	19	19	19	36	36	35	35	35	35	15	15	24	23	24	24
P12	451	44	495	37	18	18	18	19	19	19	37	38	38	38	38	38	15	14	22	22	23	23
P13	461	40	501	39	18	18	18	18	18	19	39	39	40	40	40	40	13	14	20	21	23	24
P14	464	36	500	39	18	18	18	18	18	19	39	39	39	40	40	40	13	14	20	21	23	24
P15	468	33	501	43	17	17	17	16	16	16	43	43	43	43	42	42	11	11	18	18	22	23
P16	464	30	494	46	15	15	15	14	14	14	46	46	46	46	46	46	9	10	16	17	16	17
P17	452	27	479	50	12	12	12	12	12	11	50	50	50	50	50	49	6	6	15	14	9	9
P18	446	24	470	38	10	10	10	10	11	11	38	38	38	38	38	38	39	1	13	12	39	38
P19	440	22	462	37	6	6	6	6	7	7	37	37	37	37	37	37	37	36	10	10	36	36
P20	430	20	450	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	25	6	6	25	25
P21	423	18	441	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	24	24	24	24
P22	415	16	431	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	22	22	22	22	22	22
P23	405	15	420	23	23	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
P24	394	13	407	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22	22	22
P25	376	12	388	21	21	21	21	21	21	21	21	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
P26	352	11	363	12	16	16	16	16	16	17	23	23	24	24	24	24	16	16	20	20	20	20
P27	324	10	334	11	15	15	15	15	15	15	22	22	22	21	21	21	15	15	18	19	18	19
P28	293	9	302	10	14	14	14	13	13	13	19	19	20	20	20	20	13	14	17	16	17	16
P29	263	8	271	9	12	12	12	12	12	13	17	17	17	18	18	18	12	12	15	15	15	15
P30	234	7	241	8	11	11	11	11	11	10	16	16	16	15	15	15	11	10	14	13	14	13
P31	197	7	204	7	9	9	9	9	9	10	13	13	13	13	14	14	9	9	11	11	11	11
P32	166	6	172	6	8	8	8	8	7	7	12	11	11	11	11	11	8	7	10	9	10	9
P33	131	5	136	4	6	6	6	6	6	7	8	9	9	9	9	9	6	6	8	7	8	7
P34	99	5	104	3	5	5	5	5	4	4	7	7	7	7	7	6	5	5	6	5	6	5
P35	54	4	58	2	3	3	3	3	2	2	4	4	4	4	4	3	3	2	3	3	3	3
P36	17	4	21	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P37	0	4	4	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
P38	0	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
P39	0	3	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
P40	0	3	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P41	0	2	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
P42	0	2	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P43	0	2	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
P44	0	2	2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P45	0	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P46	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P47	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
P48	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P49	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
P50	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
P51	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P52	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P53	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P54	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P55	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
P56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P72	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Toplam:		1394																				

Ö. Periyot. Kalan : Önceki Periyottan Kalan Hasta Sayısı

Y. Gel. Hast.: Yeni Gelen Hasta Sayısı

Top. Hast: Topalm Hasta Sayısı

Senaryo 3 için, Karışık Tam Sayılı programlamada her periyotta ambulansların taşımaları gereken hasta sayıları Tablo 56’da verildiği gibidir. Ancak, periyot içinde taşınabilen hasta sayıları kısıtlı olacağı için hastaların bazıları diğer periyotlara aktarılmıştır.

Toplam hasta sayısı 15. periyoda kadar artış gösterip en yüksek değeri bu periyotta almıştır. Taşınan hasta sayısının yeni gelen hasta sayılarından fazla olmaya başlaması ile birlikte toplam hasta sayısı azalmaya başlamıştır.

36. periyodun sonuna gelindiğinde talep gelen tüm hastalara gidilmesi ile birlikte bekleyen hasta sayısı sıfırlanmıştır. Bundan sonraki periyotlarda yeni gelen hastalara ulaşılmaya çalışılmıştır.

37. periyottan 55. periyoda kalan olan tüm periyotlarda gelen tüm talepler ilgili periyot süresi içerisinde karşılanmıştır.

56. periyottan 71. periyoda kadar hiçbir talep oluşmadığından bu süre zarfında herhangi bir taşıma işlemi yapılmamıştır.

Optimizasyon modelinin girdilerini ve sürecin çıktılarını daha iyi inceleyebilmek için simülasyon sonuçlarına bakmak gereklidir.

5.8.3 Simülasyon, Senaryo 3

Tablo 56’da her periyotta tüm ambulanslar için yapılan atamalar görülmektedir. Optimizasyonu problemlerinin her periyot için ayrı ayrı çözülmesinin akabinde yapılan simülasyonlar ile hangi hastalara gidildiği tespit edilmiştir. Tablo 57’de hangi ambulansın kaç hasta taşıdığının bilgisi sunulmuştur.

Tablo 57:1.-9. Periyotlarda Taşınan Hastalar, Simülasyon 3

	Ozel_Tuzla	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Gisbir	Gisbir	Aydinli_Sahra	Aydinli_Sahra	Sifa_Sahra	Sifa_Sahra	Toplam
Periyot	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	a18	a19	
P1	4	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	4	5	3	3	5	6	61
P2	3	1	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	3	3	2	3	5	4	47
P3	5	2	4	2	1	3	3	2	1	1	2	2	2	4	4	3	2	4	5	52
P4	4	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	3	3	2	2	5	4	43
P5	3	1	2	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	1	2	3	2	2	2	33
P6	3	2	3	3	2	2	3	2	3	2	3	2	2	2	1	2	2	1	1	41
P7	3	2	3	3	3	4	3	1	2	2	2	2	3	1	2	2	2	3	1	44
P8	3	2	3	3	3	3	3	3	2	1	2	1	2	3	2	5	4	1	1	47
P9	1	3	3	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	3	4	4	1	1	40
Toplam	29	16	23	20	18	21	22	18	17	18	20	17	19	23	25	26	24	27	25	408
	29	120						109						48		50		52		

Çıktılar simüle edildiği zaman, 9. periyot sonunda tam kapasiteye ulaşan ilk hastanenin 9. periyotta Özel Tuzla Hastanesi olduğu görülmüştür. Özel Tuzla hastanesine tahsis edilmiş A1 ambulansı, bu periyottan sonra Tuzla Devlet Hastanesine hasta taşımaya başlamıştır.

9. periyoda kadar geçen sürede, toplam 408 hasta hastanelere taşınmış ve tedavi altına alınmıştır. Bu süre zarfında periyot başına ortalama 45’er hasta taşınabilmiştir. Bu sayı, yeni gelen taleplerin altında kalmış ve bekleyen hastaların birikmesine engel olamamıştır.

Tablo 58: 10.-17. Periyotlarda Taşınan Hastalar, Simülasyon 3

	Tuzla_Devlet	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Gisbir	Gisbir	Aydnlı_Sahra	Aydnlı_Sahra	Şifa_Sahra	Şifa_Sahra	Toplam
Periyot	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	a18	a19	
P10	2	2	2	3	3	3	3	1	2	1	2	1	1	2	2	3	3	1	2	39
P11	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	2	2	3	3	1	4	36
P12	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	2	2	2	3	3	2	1	34
P13	2	2	2	1	2	2	2	1	3	3	2	2	2	2	2	1	3	2	1	37
P14	1	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2	1	1	2	3	2	2	3	32
P15	1	2	3	3	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	5	5	37
P16	1	1	2	3	3	3	3	1	1	1	1	2	1	2	3	2	2	5	5	42
P17	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	2	2	5	4	33
Toplam	11	13	16	18	16	16	17	10	11	10	11	12	10	15	17	19	20	23	25	290
	11	96						64						32		39		48		

10. periyottan 17. periyodun sonunda kadar periyot başına ortalama 36 hasta olmak üzere toplamda 290 hasta daha taşınmıştır. Böylelikle 1.periyottan itibaren toplamda 698 hastanın tedavi altına alınması sağlanmıştır.

17. periyotta Şifa Sahra Hastanesinin kapasitesinin dolması ve Gisbir Hastanesinin 1 yatak kapasitesi kalması sebebiyle A14, A18 ve A19 ambulansları Tuzla Devlet Hastanesine hasta taşımaya başlamışlardır.

Tablo 59: 18. Periyotta Taşınan Hastalar, Simülasyon 3

	Tuzla_Devlet	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Gisbir	Aydnlı_Sahra	Aydnlı_Sahra	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Toplam
Periyot	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	a18	a19	
P18	2	3	1	1	2	3	3	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	30
Toplam	2	13						8						1		3		3		

18. periyotta taşınan toplam 30 hasta ile birlikte Gisbir Hastanesinin de yatak kapasitesi dolmuştur. Bu yüzden, A15 ambulansı sonraki periyotlarda kullanılmak üzere Tuzla Devlete tahsis edilmiştir.

Tablo 60: 19. Periyotta Taşınan Hastalar, Simülasyon 3

	Tuzla_Devlet	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Aydınlı_Sahra	Aydınlı_Sahra	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Toplam
Periyot	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	a18	a19	
P19	1	3	2	3	3	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2	2	2	1	1	32
Toplam	1	15						10								4		2		

19. periyot sonunda taşınan toplam 32 hasta ile birlikte Okan Üniversitesi Hastanesini tam kapasiteye ulaşmıştır. 1. periyottan itibaren taşınan hasta sayısı toplamda 760'a ulaşmıştır.

Periyot sonunda; A2, A3, A4, A5, A6, A7 ambulansları da sonraki periyotlarda Tuzla Devlet Hastanesine tahsis edilmiştir.

Tablo 61: 20. Periyotlarda Taşınan Hastalar, Simülasyon 3

	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Aydınlı_Sahra	Aydınlı_Sahra	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Toplam
Periyot	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	a18	a19	
P20	1	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	27
Toplam	21															4		2		

20. Periyotta toplam 27 hasta taşınmıştır. Bununla beraber Aydınli Sahra Hastanesi de tam kapasiteye ulaşmıştır. Böylece sürecin başından beri taşınan hasta sayısı 787'ye ulaşmıştır.

İlçe sınırlarında boş yatak kapasitesi kalan bir tek Tuzla Devlet Hastanesi kalmıştır. Diğer hastanelerin dolması ile beraber tüm ambulanslar Tuzla Devlet Hastanesine çalışmışlardır.

Tablo 62: 21.-25. Periyotlarda Taşınan Hastalar, Simülasyon 3

	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Toplam
Periyot	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	a18	a19	
P21	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	4	3	1	1	26
P22	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	2	26
P23	2	1	1	1	1	1	1	2	3	2	1	1	3	1	1	1	1	1	1	26
P24	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1	3	2	2	2	1	2	1	1	31
P25_1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	13
Toplam	6	4	6	6	7	5	7	6	7	6	6	6	8	8	6	8	8	6	6	122
	122																			

21. periyottan 25. periyodun ortalarına kadar tüm ambulansların Tuzla Devlet Hastanesine çalışmasıyla birlikte, toplam 122 hastaya hizmet ulaştırılmıştır.

Sürecin başından itibaren 25. periyodun ortasına kadar toplamda 909 hasta taşınmıştır. Bu hastalar için yatak kapasiteleri müsait olduğundan yataklı birimlerde tedavi altına alınmışlardır.

Hastanelerin kapasitelerinin dolması ile birlikte tüm ambulanslar başlangıçta atanmış oldukları hastanelere taşıma yapmaya devam etmişlerdir. Yatak kapasiteleri dolmalarına rağmen gelen yaralılara acil müdahalelerin yapıldığı, geçici/ayakta tedavi hizmetlerinin sunulduğu varsayımıyla hasta taşıma işlemleri devam etmiştir.

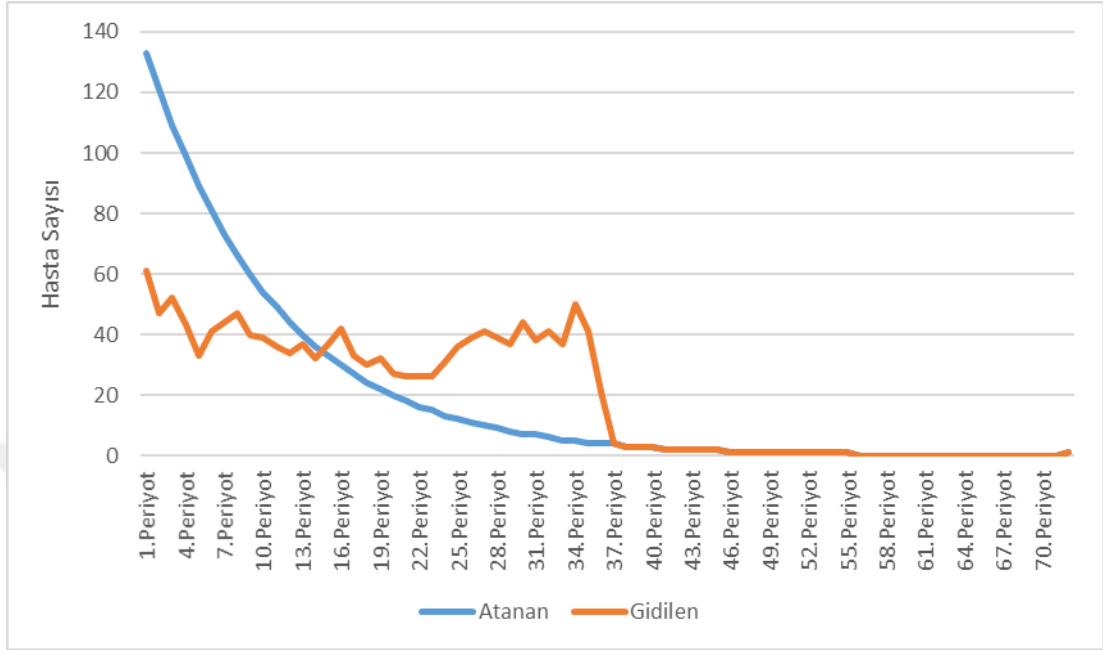
Tablo 63: 25.-72. Periyotlarda Taşınan Hastalar, Simülasyon 3

	Ozel_Tuzla	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Okan	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Tuzla_Devlet	Gisbir	Gisbir	Aydınlı_Sahra	Aydınlı_Sahra	Şifa_Sahra	Şifa_Sahra	Toplam
Periyot	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	a18	a19		
P25_2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	3	2	23	
P26	3	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	1	1	2	2	5	5	39	
P27	2	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	5	5	41	
P28	2	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	3	2	5	5	39	
P29	2	1	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	4	5	37	
P30	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	3	2	2	1	2	2	2	6	5	44	
P31	3	1	1	1	1	2	1	2	3	2	1	1	2	2	1	2	2	4	6	38	
P32	2	1	2	1	1	1	1	2	2	3	3	2	2	1	2	1	5	4	5	41	
P33	2	1	2	2	1	1	1	2	2	2	1	2	1	2	1	2	3	5	4	37	
P34	3	4	3	3	2	2	2	2	3	2	2	1	2	1	2	3	3	5	5	50	
P35	2	3	3	2	2	2	2	3	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	41	
P36	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	21	
P37	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	4	
P38	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	
P39	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	
P40	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	3	
P41	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	
P42	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	
P43	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	
P44	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
P45	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
P46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
P47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	
P48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
P49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	
P50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
P51	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
P52	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
P53	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
P54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
P55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	
...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
Toplam	26	21	23	21	20	19	18	25	26	24	20	20	21	18	19	28	32	52	52	485	

İlçedeki tüm hastanelere ait yatak kapasiteleri dolduğundan, 25. periyodun ortasından itibaren hastalara yatak imkânı sunulamamış ayakta ve/veya geçici tedavi hizmeti verilmiştir.

36. periyot sonunda bekleyen hiç hasta kalmamıştır. Taleplerin hepsi karşılanmış ve hastaneye taşınmıştır.

Grafik 14: Periyot Bazında Yeni Atanan ve Taşınan Hastalar, Senaryo 3

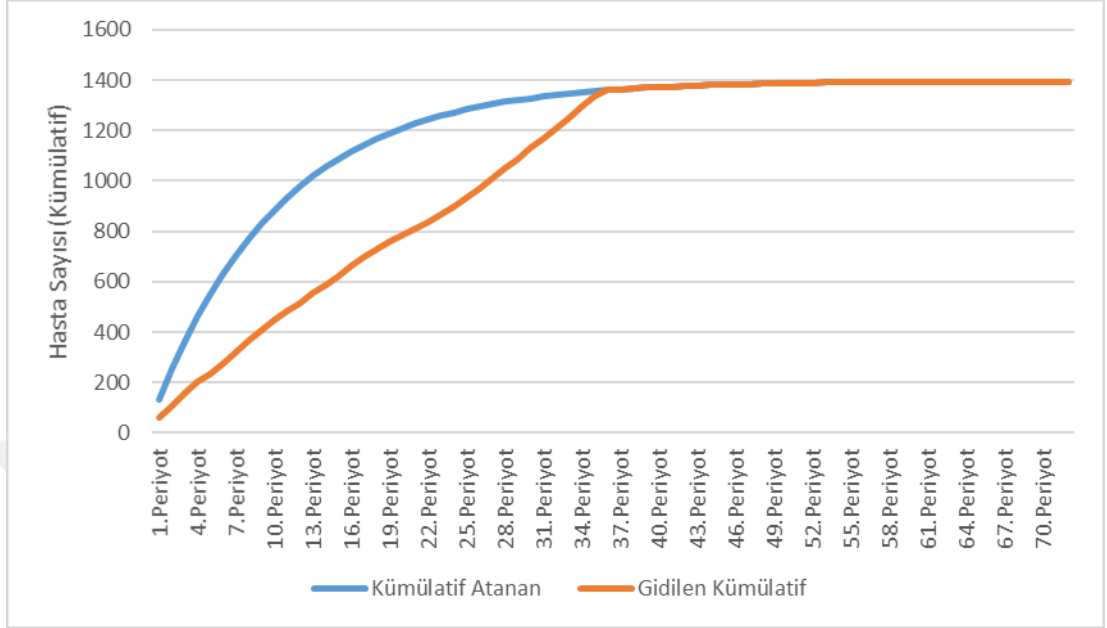


15. periyoda kadar atanan hasta sayısının, taşınan hasta sayısından fazla olduğu Grafik 14’te net olarak görülmektedir. Ayrıca, Atanan sayısının gittikçe azalması ile 15. periyottan sonra “Taşınan” eğrisinin pozitif yönlü yukarıya doğru yükselişe geçmiştir.

37. periyotta bekleyen hastaların kalmaması birlikte “Atanan” ve “Taşınan” eğrileri birbirlerine eşitlenmiştir. 72. periyodun sonuna kadar beraber hareket etmişlerdir.

Önceki periyotlardan kalan son hastaların taşınmasıyla birlikte 36 saatlik süre sonunda tedavi bekleyen yaralı kalmamıştır.

Grafik 15: Periyotlar Bazında Atananlar-Taşınanlar (Kümülatif), Senaryo3

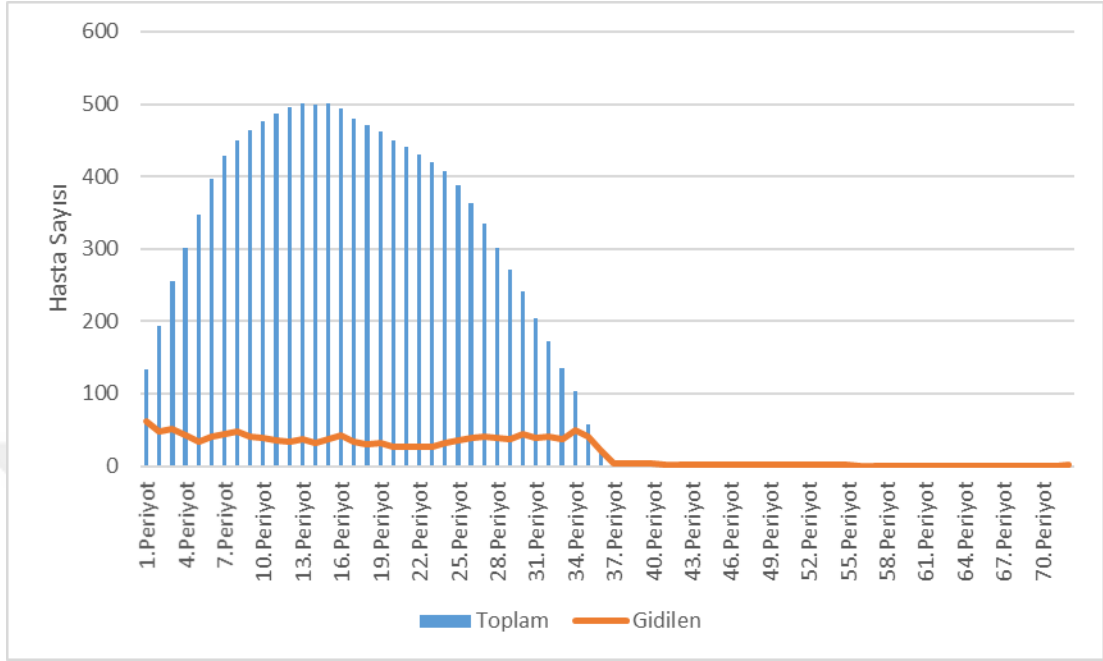


Grafik 15'te görüldüğü üzere “Atanan” hastaların kümülatif toplamının “Taşınan” hastalar kümülatif toplamına eşit olduğu yer 36. Periyodun sonudur. Bu zamana kadar toplam talebin karşılanmasında yetersiz kalan ambulanslar, bu periyot sonu itibarıyla toplam talebin önüne geçebilmişlerdir.

37. ve 45. periyotlar arasında gelen az sayıdaki hasta için ambulanslar yeterli olmuş gelen hastaların hepsi taşınmıştır.

46. ve 55. periyotlar arasında gelen birer (1) hasta ve 72. periyotta gelen son hasta en yakın hastaneye taşınarak tedavi altına alınmıştır.

Grafik 16: Toplam Hasta Sayısı- Taşınan Hasta Sayısı, Senaryo 3



Grafik 16’da görüldüğü üzere 36. periyot itibarı ile “Taşınan” hasta sayısı Toplam hasta sayısına eşit seyretilmiştir.

56. periyottan itibaren son periyoda kadar toplam talebin “0” olduğu da ayrıca görülmektedir.

Son periyot olan 72. periyotta, sisteme düşen bir kişilik ambulans talebinin de en yakın hastaneye ulaştırılması ile birlikte 72 saatlik çalışmanın simülasyonu tamamlanmıştır.

Deprem sonrasında kurtarma çalışmalarına paralel olarak yürütülen hasta taşıma faaliyetleri (Senaryo 2) 72 saatlik süre sonunda tamamlanmıştır.

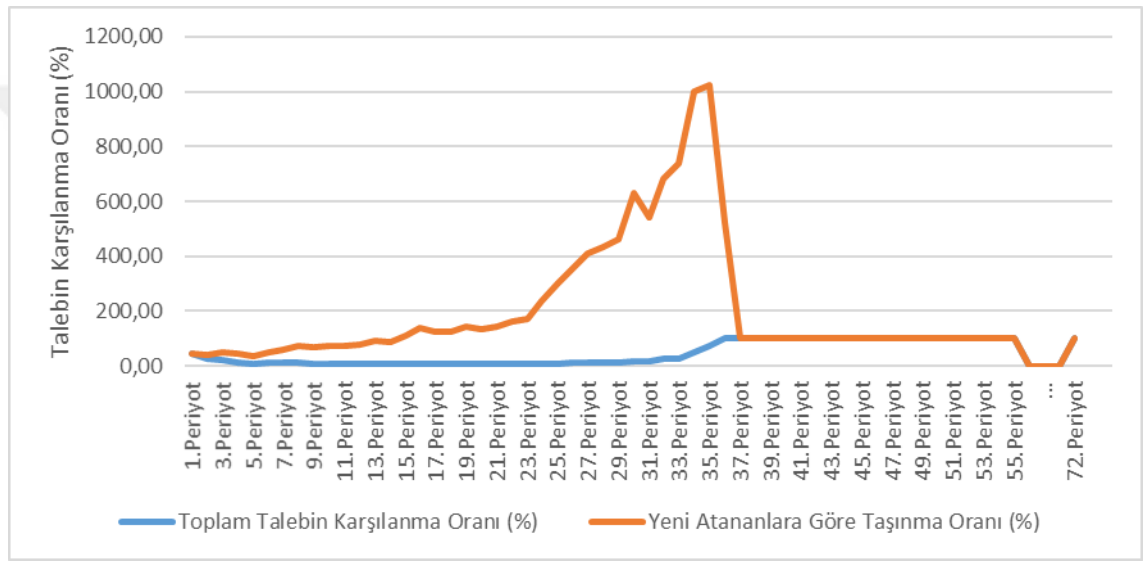
Tablo 64: Periyotların Özet Durumu, Senaryo 3

Periyot	Atanan	Önceki Periyottan Kalan	Toplam	Taşınan	Toplam Talebin Karşılama Oranı (%)	Yeni Atananların Taşınma Oranı (%)	Kalan
1.Periyot	133	0	133	61	45.86	45.86	72
2.Periyot	121	72	193	47	24.35	38.84	146
3.Periyot	109	146	255	52	20.39	47.71	203
4.Periyot	99	203	302	43	14.24	43.43	259
5.Periyot	89	259	348	33	9.48	37.08	315
6.Periyot	81	315	396	41	10.35	50.62	355
7.Periyot	73	355	428	44	10.28	60.27	384
8.Periyot	66	384	450	47	10.44	71.21	403
9.Periyot	60	403	463	40	8.64	66.67	423
10.Periyot	54	423	477	39	8.18	72.22	438
11.Periyot	49	438	487	36	7.39	73.47	451
12.Periyot	44	451	495	34	6.87	77.27	461
13.Periyot	40	461	501	37	7.39	92.50	464
14.Periyot	36	464	500	32	6.40	88.89	468
15.Periyot	33	468	501	37	7.39	112.12	464
16.Periyot	30	464	494	42	8.50	140.00	452
17.Periyot	27	452	479	33	6.89	122.22	446
18.Periyot	24	446	470	30	6.38	125.00	440
19.Periyot	22	440	462	32	6.93	145.45	430
20.Periyot	20	430	450	27	6.00	135.00	423
21.Periyot	18	423	441	26	5.90	144.44	415
22.Periyot	16	415	431	26	6.03	162.50	405
23.Periyot	15	405	420	26	6.19	173.33	394
24.Periyot	13	394	407	31	7.62	238.46	376
25.Periyot	12	376	388	36	9.28	300.00	352
26.Periyot	11	352	363	39	10.74	354.55	324
27.Periyot	10	324	334	41	12.28	410.00	293
28.Periyot	9	293	302	39	12.91	433.33	263
29.Periyot	8	263	271	37	13.65	462.50	234
30.Periyot	7	234	241	44	18.26	628.57	197
31.Periyot	7	197	204	38	18.63	542.86	166
32.Periyot	6	166	172	41	23.84	683.33	131
33.Periyot	5	131	136	37	27.21	740.00	99
34.Periyot	5	99	104	50	48.08	1000.00	54
35.Periyot	4	54	58	41	70.69	1025.00	17
36.Periyot	4	17	21	21	100.00	525.00	0
37.Periyot	4	0	4	4	100.00	100.00	0
38.Periyot	3	0	3	3	100.00	100.00	0
39.Periyot	3	0	3	3	100.00	100.00	0
40.Periyot	3	0	3	3	100.00	100.00	0
41.Periyot	2	0	2	2	100.00	100.00	0
42.Periyot	2	0	2	2	100.00	100.00	0
43.Periyot	2	0	2	2	100.00	100.00	0
44.Periyot	2	0	2	2	100.00	100.00	0
45.Periyot	2	0	2	2	100.00	100.00	0
46.Periyot	1	0	1	1	100.00	100.00	0
47.Periyot	1	0	1	1	100.00	100.00	0
48.Periyot	1	0	1	1	100.00	100.00	0
49.Periyot	1	0	1	1	100.00	100.00	0
50.Periyot	1	0	1	1	100.00	100.00	0
51.Periyot	1	0	1	1	100.00	100.00	0
52.Periyot	1	0	1	1	100.00	100.00	0
53.Periyot	1	0	1	1	100.00	100.00	0
54.Periyot	1	0	1	1	100.00	100.00	0
55.Periyot	1	0	1	1	100.00	100.00	0
...	0	0	0	0	0.00	0.00	0
...	0	0	0	0	0.00	0.00	0
...	0	0	0	0	0.00	0.00	0
72.Periyot	1	0	1	1	100.00	100.00	0
Toplam	1394			1394			

Tablo 64’te tüm periyotlara ait durum özetlenmiş, toplam talebin karşılanma oranı ve yeni atananlara göre taşınma oranları ayrı sütunlar halinde sunulmuştur.

Tablo 64’teki, toplam talebin karşılanma oranı ve yeni atananlara göre taşınma oranları ayrıca Grafik 17’de gösterilmiştir:

Grafik 17: Toplam Talebin Karşılanma Oranı- Yeni Atananlara Göre Taşınma Oranı, Senaryo3



Grafik 17’de, yeni atananların sayısına oranla taşınan hastaları incelediğinde 15. periyot itibariyle %100 kapasiteye ulaşıldığı görülmektedir. Toplam talebin karşılanma oranının ise uzun süre çok düşük seviyede kaldığı gözlenmektedir. 36. Periyoda kadar düşük seyreden bu oran 36. periyot sonunda %100 seviyesine ulaşmıştır.

Tablo 64 incelendiğinde, 36. periyoda kadar olan süreçte periyot başına ortalama 38 yaralının hastanelere taşındığı görülmektedir. Bu oran sistemin tıkanık olduğu zamanlarda, hasta taşıyabilme kapasitesini göstermesi açısından çok önemlidir.

Periyotlarda, ambulans bazında taşınan hasta sayıları yukarıdaki tablolarda sunulduğu gibidir. Ayrıca periyotlardaki hastane bazında değişimler aşağıda ayrı tablolar halinde incelenmiştir.

İlk 9 periyotta hastanelere toplamda 408 hastanın taşındığı Tablo 65’te görülmektedir. Özel Tuzla Hastanesine taşınan 29 hasta ile birlikte kapasitesi dolmuştur. 9 saatlik sürenin sonunda sistemde bilgisi olan 831 hastanın 408 tanesine hizmet ulaştırılmış, talebin %49’u karşılanmıştır.

Tablo 65: 1.-9. Periyotlarda Hastane Bazında Taşınan Hastalar, Simülasyon 3

Periyot	Özel Tuzla Has.	Okan Üniv. Has.	Tuzla Devlet Has.	Gisbir Has.	Aydınlı Sahra Has.	Şifa Sahra Has.	Toplam
P1	4	13	18	9	6	11	61
P2	3	11	13	6	5	9	47
P3	5	15	10	8	5	9	52
P4	4	10	10	6	4	9	43
P5	3	7	11	3	5	4	33
P6	3	15	14	3	4	2	41
P7	3	18	12	3	4	4	44
P8	3	17	11	5	9	2	47
P9	1	14	10	5	8	2	40
Toplam	29	120	109	48	50	52	408

Özel Tuzla Hastanesinin yatak kapasitesinin 9. periyot sonunda dolmasıyla birlikte A1 ambulansı da Tuzla Devlet Hastanesine yaralı taşımaya başlamıştır.

Tablo 66: 10.-17. Periyotlarda Hastane Bazında Taşınan Hastalar, Simülasyon 3

Periyot	Okan Üniv. Has.	Tuzla Devlet Has.	Gisbir Has.	Aydınlı Sahra Has.	Şifa Sahra Has.	Toplam
P10	16	10	4	6	3	39
P11	12	9	4	6	5	36
P12	11	10	4	6	3	34
P13	11	15	4	4	3	37
P14	10	9	3	5	5	32
P15	13	7	3	4	10	37
P16	15	8	5	4	10	42
P17	8	7	5	4	9	33
Toplam	96	75	32	39	48	290

10. – 17. periyotlar arasında 48 tanesi Şifa Sahra Hastanesine olmak üzere toplam 290 yaralı hastaneye taşınmıştır. Şifa Sahra Hastanesinin kapasitesinin

dolması ile birlikte buraya çalışan ambulanslar Tuzla Devlet Hastanesine yönlendirilmiştir.

17 saatlik süre sonunda sisteme gelmiş olan toplam 1144 yardım talebinin 698 tanesi, yaklaşık olarak %61'i karşılanmıştır.

Tablo 67: 18. Periyotta Hastane Bazında Taşınan Hastalar, Simülasyon 3

Periyot	Okan Üniv. Has.	Tuzla Devlet Has.	Gisbir Has.	Aydınlı Sahra Has.	Toplam
P18	13	13	1	3	30

18. periyotta taşınan 30 hasta ile Gisbir Hastanesinin kapasitesi dolmuştur. Sonraki süreçte hastaneye ait ambulanslar Tuzla Devlet Hastanesine yönlendirilmiştir.

18 saatlik sürenin sonunda sisteme gelmiş olan toplam 1168 yardım talebinin 728 tanesi, yaklaşık olarak %62'si karşılanmıştır.

Tablo 68: 19. Periyotta Hastane Bazında Taşınan Hastalar, Simülasyon 3

Periyot	Okan Üniv. Has.	Tuzla Devlet Has.	Aydınlı Sahra Has.	Toplam
P19	15	13	4	32

19. periyotta taşınan 32 hasta ile Okan Üniversitesi Hastanesinin kapasitesi dolmuştur. Sonraki süreçte hastaneye ait ambulanslar Tuzla Devlet Hastanesine yönlendirilmiştir.

19 saatlik sürenin sonunda sisteme gelmiş olan toplam 1190 yardım talebinin 760 tanesi, yaklaşık olarak %64'ü karşılanmıştır.

Tablo 69: 20. Periyotta Hastane Bazında Taşınan Hastalar, Simülasyon 3

Periyot	Tuzla Devlet Has.	Aydınlı Sahra Has.	Toplam
P20	23	4	27

20. periyotta taşınan 27 hasta ile Aydınli Sahra Hastanesinin kapasitesi dolmuştur. Sonraki süreçte hastaneye ait ambulanslar Tuzla Devlet Hastanesine yönlendirilmiştir.

20 saatlik sürenin sonunda sisteme gelmiş olan toplam 1210 yardım talebinin 787 tanesi, yaklaşık olarak %65'i karşılanmıştır.

Tablo 70: 21.-25. Periyotlarda Hastane Bazında Taşınan Hastalar, Simülasyon 3

Periyot	Tuzla Devlet Has.	Toplam
P21	26	26
P22	26	26
P23	26	26
P24	31	31
P25_1	13	13
Toplam	122	122

25. periyot içinde taşınan 13 hasta ile Tuzla Devlet Hastanesinin kapasitesi dolmuştur. Sonraki süreçte ambulanslar ilk tahsis edildikleri hastanelere çalışmaya başlamışlardır.

25 saatlik süre içinde sisteme gelmiş olan toplam 1284 yardım talebinin 909 tanesine hizmet ulaştırılmış, 375 hastaya ise henüz ulaşmak mümkün olmamıştır. Bu haliyle talebin karşılanma oranı yaklaşık olarak %71 olarak gerçekleşmiştir.

Bu aşamadan sonra, kalan ve yeni gelen hastalar tüm hastanelere taşınmaya devam etmiştir. Hastanelerin yatak kapasiteleri dolduğundan ayakta veya geçici tedavi hizmetleri uygulandığı varsayılmıştır.

Tablo 71: 25.-72. Periyotlarda Hastane Bazında Taşınan Hastalar, Simülasyon 3

Periyot	Özel Tuzla Has.	Okan Üniv. Has.	Tuzla Devlet Has.	Gisbir Has.	Aydınlı Sahra Has.	Şifa Sahra Has.	Toplam
P25_2	1	6	7	2	2	5	23
P26	3	11	9	2	4	10	39
P27	2	8	12	4	5	10	41
P28	2	8	11	3	5	10	39
P29	2	9	11	3	3	9	37
P30	2	11	13	3	4	11	44
P31	3	7	11	3	4	10	38
P32	2	7	14	3	6	9	41
P33	2	8	10	3	5	9	37
P34	3	16	12	3	6	10	50
P35	2	14	10	4	5	6	41
P36	1	6	8	2	2	2	21
P37	0	1	1	0	1	1	4
P38	1	0	1	1	0	0	3
P39	0	1	1	0	1	0	3
P40	0	1	1	0	0	1	3
P41	0	1	1	0	0	0	2
P42	0	1	1	0	0	0	2
P43	0	1	0	1	0	0	2
P44	0	1	1	0	0	0	2
P45	0	1	1	0	0	0	2
P46	0	0	0	0	1	0	1
P47	0	0	0	0	1	0	1
P48	0	0	0	0	1	0	1
P49	0	0	0	0	1	0	1
P50	0	0	0	0	0	1	1
P51	0	1	0	0	0	0	1
P52	0	1	0	0	0	0	1
P53	0	1	0	0	0	0	1
P54	0	0	0	0	1	0	1
P55	0	0	0	0	1	0	1
...	0	0	0	0	0	0	0
...	0	0	0	0	0	0	0
...	0	0	0	0	0	0	0
P72	0	0	0	0	1	0	1
Toplam	26	122	136	37	60	104	485

25. periyodun ortasından 72. periyodun sonuna kadar geçen süre zarfında, 110 yeni yaralı bilgisi sisteme işlenmiş olup geçmiş periyotlardan kalan 375 yaralı ile birlikte toplam 485 ağır yaralı hastaya acil tedavi işlemleri uygulanmıştır.

Hastanelerin boş yatak kapasiteleri olmamakla birlikte gelen hastalara acil tedavi hizmeti sunmuşlardır.

İlk defa 37. periyotta bekleyen hasta kalmamış, sistemde ağır yaralı olarak kaydedilmiş kişilerin hepsine tedavi hizmeti ulaştırılmıştır. İlk defa toplam talebin %100 karşılanabildiği seviye 36. periyot olmuştur.

56. ve 71. periyotlar arasında sistemde yaralı oluşmadığı, son hastanın 72. periyotta ortaya çıkışı ile beraber Aydınli Sahra Hastanesine taşındığı görülmüştür.

Tablo 72: Hastanelere Taşınan Toplam Hasta Sayıları, Senaryo 3

	Özel Tuzla Has.	Okan Üniv. Has.	Tuzla Devlet Has.	Gisbir Has.	Aydınli Sahra Has.	Şifa Sahra Has.	Toplam
Toplam Yatak Kapasitesi	29	244	355	81	100	100	909
Atama Oranı (%)	3,19	26,84	39,06	8,91	11,00	11,00	100
Başlangıçta Tahminlenen Hasta Sayısı	45	374	545	124	153	153	1394
Sonuçta Taşınan Hasta Sayısı	55	366	491	118	160	204	1394
Taşınan Hasta Oranı (%)	3,95	26,26	35,22	8,46	11,48	14,63	100

Başlangıçta hastane büyüklüklerinin oranlarına göre yapılmış olan tahminlerin, sonuçta nasıl gerçekleştiği Tablo 72’de görülmektedir. Sonuçlara göre en çok hastayı Tuzla Devlet Hastanesi tedavi etmiş, Şifa Sahra Hastanesi ise beklenenin çok üstünde hastaya hizmet vermiştir. Yapılan tahminlerin çıkan sonuçlara yakınlığı önemlidir.

5.9 Duyarlılık Analizi

Bu çalışmada duyarlılık analizi 2 temel kısıt üzerinden yapılmıştır. Bunlardan biri hastane sayısı iken diğeri ise ambulans sayısıdır. Duyarlılık analizi sonucunda, sistemin iyileştirilmesi için kurulacak hastanelerin konumları ve ambulans sayısındaki artışıñ amaç fonksiyonunu ne kadar değiştirdiğini görmek mümkün olacaktır. Mevcut duruma alternatif olarak, iki ayrı senaryoda ek tesislerin kurulmasıyla beraber ilave ambulanslar sisteme dahil edilmiştir.

Kısıtlardaki değişimler amaç fonksiyonuna etki etmekle beraber hastaların bekleme sürelerine etki etmiş, sistemdeki yığılmaların daha erken bitmesini sağlamıştır. Ayrıca, taşınan yaralıların hastanelerden aldıkları hizmetin türüne etkileri gözlenmiştir. Yatak kapasitesinin artmış olması sayesinde yatarak tedavi gören hasta sayısı artmış, ayakta/geçici tedavi uygulanan hasta sayısı da azalmıştır.

Tablo 73: Duyarlılık Analizi Sonuçları

Senaryo 1					
Hasta Sayısı =	1394				
Hastane Sayısı =	4				
Ambulans Sayısı =	15				
Amaç Fonksiyonu =	462.585,49				
	Yatak Kapasiteleri	Atanan Hasta Sayıları	Yatarak Tedavi Edilen Hastalar	Ayakta Tedavi Edilen Hasta Sayıları	Taşınan Toplam Hasta
Tuzla Devlet Hastanesi	185	535	185	340	525
Okan Üniv. Hastanesi	137	415	137	405	542
Gisbir Hastanesi	51	284	51	160	211
Özel Tuzla Hastanesi	28	160	28	88	116
Toplam =	401	1394	401	993	1394

Senaryo 2					
Hasta Sayısı =	1394				
Hastane Sayısı =	5				
Ambulans Sayısı =	17				
Amaç Fonksiyonu =	405.426,42				
	Yatak Kapasiteleri	Atanan Hasta Sayıları	Yatarak Tedavi Edilen Hastalar	Ayakta Tedavi Edilen Hasta Sayıları	Taşınan Toplam Hasta
Tuzla Devlet Hastanesi	355	612	355	174	529
Okan Üniv. Hastanesi	244	420	244	185	429
Gisbir Hastanesi	81	140	81	48	129
Özel Tuzla Hastanesi	29	50	29	38	67
Şifa Sahra Hastanesi	100	172	100	140	240
Toplam =	809	1394	809	585	1394

Senaryo 3					
Hasta Sayısı =	1.394,00				
Hastane Sayısı =	6				
Ambulans Sayısı =	19				
Amaç Fonksiyonu =	382.382,37				
	Yatak Kapasiteleri	Atanan Hasta Sayıları	Yatarak Tedavi Edilen Hastalar	Ayakta Tedavi Edilen Hasta Sayıları	Taşınan Toplam Hasta
Tuzla Devlet Hastanesi	355	545	355	136	491
Okan Üniv. Hastanesi	244	374	244	122	366
Gisbir Hastanesi	81	124	81	37	118
Özel Tuzla Hastanesi	29	45	29	26	55
Aydınlı Sahra Hastanesi	100	153	100	60	160
Şifa Sahra Hastanesi	100	153	100	104	204
Toplam =	909	1394	909	485	1394

Tablo 73’de verilen duyarlılık analizi sonuçları incelendiğinde; mevcut duruma ek olarak Senaryo 2’de afet sonrasında hastanelerdeki yatan hastaların boşaltılması ile elde edilecek yatak kapasitesine ilaveten yapılacak olan 1 hastane ve tahsis edilecek 2 ambulans ile amaç fonksiyonunu “462.585,49” dan “405.426,42” seviyesine, yaklaşık olarak %12,36 oranında düşürmek mümkün olmuştur.

Senaryo 3’ün uygulanması ile birlikte 2 hastane ilavesi ve 4 yeni ambulans tahsisi ile birlikte “462.585,49” olan amaç fonksiyonu “382.382,37” seviyesine yaklaşık %17,34 oranında düşmüştür.

Senaryo 2 ve Senaryo 3 önerilen matematiksel modelin değişen kısıtlara ne kadar duyarlı olduğunu göstermek açısından önemlidir. Amaç fonksiyonundaki değişimlerin yüzdesel olarak ne kadar önemli olduğu gözlenmiştir.

SONUÇ

Lojistik ağ tasarımı, bir ürün ya da hizmetin tedarikçilerinden itibaren nihai tüketiciye varıncaya kadar geçen süreç içerisindeki aktivitelerin düzenlenmesidir (Özçetin, 2016). Ağ tasarımıdaki temel amaç lojistik faaliyetleri esnasında dağıtım yapılan ürünlerin kullanıcıyı memnun edecek kalitede, en kısa sürede ve en az maliyetle taşınmasını sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda ağ tasarım problemlerinde dağıtımda kullanılacak güzergahların belirlenmesi, tesis yeri seçimi, kullanılacak araçların kapasiteleri ve araç sayıları gibi birçok kritik konuda kararlar verilmesi gerekmektedir.

Lojistik ağ tasarımı işletmelerin uzun vadede yapması gerekenlere yön veren stratejik kararlar ve planlar bütünüdür (Paksoy, 2005). Afet lojistiği ile karşılaştırıldığında işletme lojistiğinin talep, arz ve konum gibi birçok bilinen parametre ile çalışıyor olması büyük bir kolaylıktır. Talep, arz, konum, kapasite ve tesis gibi birçok bilinmezlik altında afet lojistiği ile ilgili çalışmalar yapmak, problem yapısı itibarıyla sorun olan lojistik ağ tasarımı problemini daha da zorlaştırmaktadır. İşletme lojistiğinde amaç kâr maksimizasyonu, afet lojistiğinde amaç daha fazla insan hayatı kurtarmaktır. Bu farklılıklar, optimizasyon modellerinde farklı amaç fonksiyonları olarak yansımaktadır.

Bu tez çalışmasında, deprem sonrası yaralı lojistiği problemine bütünlüklü lojistik ağ tasarımı çerçevesinde bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. İncelenen deprem sorunu, etkileri ve sonuçları itibarıyla en büyük etkiye sahip, en yıkıcı afetlerden biri olması sebebiyle lojistik desteğe en çok ihtiyaç duyulan afet türüdür. Afetin yıkıcılığı, ihtiyacın fazlalığı ve bilinmezliği lojistik ağ probleminin karışık yapısını daha da güçleştirmektedir.

Afet durum yönetimi aşamaları detaylandırıldığında lojistik faaliyetlerin ne derece kritik önemde olduğu anlaşılmaktadır. Afet sonrası insani yardım lojistiğinin kapsamı, hem temel ihtiyaç malzemelerinin afetzedelere ulaştırılmasını hem de afetten etkilenenlerin güvenli bölgelere tahliye edilmesini içermektedir.

Bu çalışmada deprem sonrası müdahale aşamasında ağır yaralıların sağlık kuruluşlarına taşınması problemi çalışılmıştır. Depremden ağır yaralı olarak kurtulan hastaların sağlık kuruluşlarına taşınmasına kadar geçen süreyi en aza indirmek hedeflenmiştir. Dolayısıyla çok sayıda kişinin hayatını kurtarmak amaçlanmıştır.

Araştırma kapsamında ele alınan yaralı lojistiği problemi çok aşamalı bütünlük bir lojistik ağ olarak tasarlanmış, bu doğrultuda önerilen bir matematiksel karışık tamsayılı programlama modeli ve hasta seçim modeli ile problem çözüme kavuşturulmuştur.

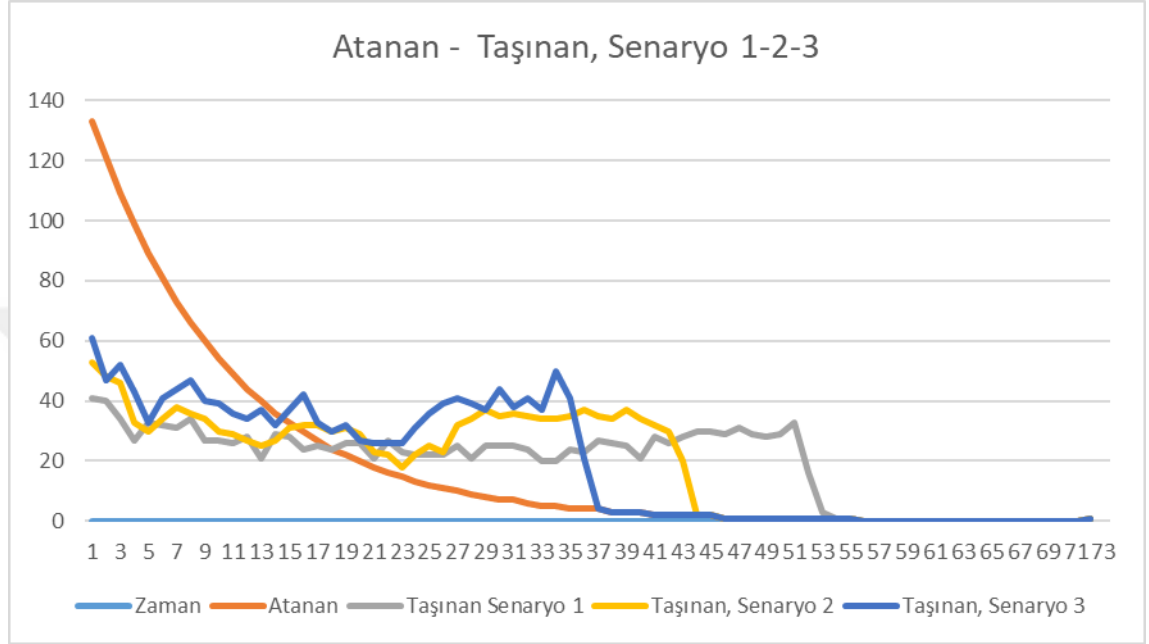
Önerilen matematiksel modelin ve hasta seçim modelinin uygulaması için, yakın gelecekte şiddetli bir depremin beklendiği İstanbul İli, özelde ise en riskli bölgelerinden olan Tuzla İlçesi seçilmiştir. Deprem tahmin sonuçlarına göre İstanbul'da 7,4 şiddetinde bir deprem olması durumunda beklenen ağır yaralı sayıları çalışmaya girdi olarak kabul edilmiştir. Bu tahminlere göre, 1394 ağır yaralı hastanın beklendiği Tuzla İlçesinde 72 saatlik kurtarma operasyonları esnasında saatlik periyotlarla toplanan hasta taleplerine cevap verilmiştir.

Bu çalışmanın literatürde yer alan önceki çalışmalardan farklı olduğu yönler:

- Optimizasyon modeli, her periyotta girdilerin, kısıtların değiştiği dinamik bir yapıdadır.
- Ambulans hareketleri benzer bazı çalışmalarda olduğu gibi periyot içerisinde tek seferle kısıtlanmamıştır.
- Benzer çalışmalarda belirli noktalarda hastaların toplandığı, sonrasında sadece o noktaya taşıma hizmeti verilmesi şeklinde çözüm arayışları mevcuttur, bunların aksine bu çalışma tüm yaralılara bulundukları konumlara hizmet ulaştıran bir kurguya sahiptir.
- Periyot sonlarında hastanelerin kalan kapasitelerine göre dağıtım yapılmıştır.
- Optimizasyon modelinin çözülmesinin ardından periyotta gidilecek hastaların tespitine imkân veren hasta seçim yöntemi önerilmiştir.
- Optimizasyon problemi ile birlikte hasta seçiminin entegre edildiği bir çalışmadır.

- Bu tez kapsamında önerilen çözüm yöntemi, gerçek veriler kullanılarak test edilmiştir.

Grafik 18: Yeni Atanan ve Taşınan Hasta Sayıları, Senaryo1-2-3

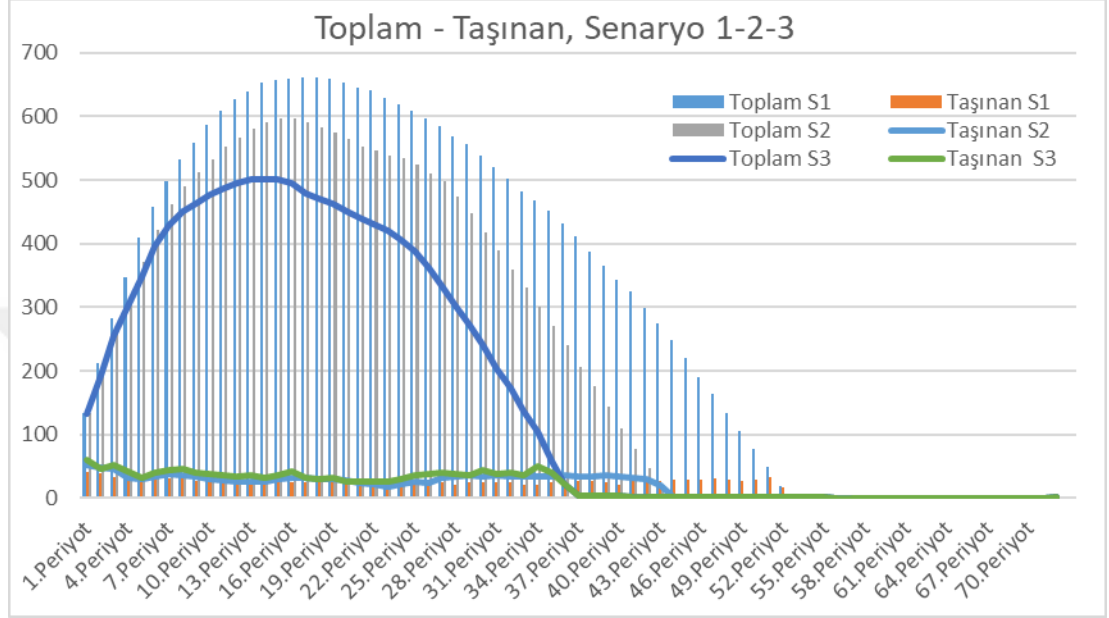


Önerilen matematiksel modelin mevcut düzen ve kapasite içerisinde nasıl işlediği senaryo 1 ile test edilmiştir. Ambulansların ve hastane kapasitelerinin yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Grafik 18’de görüldüğü üzere sadece ağır yaralı taşıma süreci iki günden fazla sürmektedir. Deprem sonrası ağır yaralı insanların taşınmasında sürecin bu denli uzaması ile birlikte sistemde can kayıplarında artışın yaşanması kaçınılmaz olacaktır. Mevcut durum bu haliyle 401 yatak kapasitesi ile ağır yaralıların tedavi ihtiyaçlarının çok az bir kısmını tam olarak karşılayabilmektedir. Yaralıların büyük bir kısmına geçici tedavi imkanları veya ayakta tedavi imkanlarının uygulandığı görülmektedir.

Yaralılara verilecek tedavi hizmetlerinde kapasite artışı sağlanması ve hizmet sürelerinin kısılması için ilave tedbirler alınması kaçınılmazdır. İşte bu sebeplerle maliyet etkin, gerçekçi, uygulanabilir ve süreklilik arz eden çözümlere ihtiyaç vardır. Bu bağlamda ilave tedbirlerin önerilen matematiksel modeline ne derecede etki ettiğinin tespit edilebilmesi adına Duyarlılık Analizi yapılmıştır. Sonuçlarını paylaşmış olduğumuz duyarlılık analizi ile, amaç fonksiyonundaki ciddi azalış

üretileen ek kapasitelerin etkinliğini göstermesi açısından önemlidir. Matematiksel modelin duyarlılığını yansıtırıyor olması sebebiyle de ayrıca dikkat edilmelidir.

Grafik 19: Toplam Hasta ve Taşınan Hasta Sayıları, Senaryo 1-2-3



Senaryo 2’de ilave edilen bir sahra hastanesi ile beraberine tahsis edilen 2 ambulansın hastaların bekleme sürelerine ve yığılmalara olan etkisini Grafik 19’da görmek mümkündür.

Senaryo 2 ile test edilen ise fiziksel imkanların artırılması durumunda önerilen matematiksel modelin mevcut durumun iyileşmesine ne kadar katkı sağlayabildiğidir. Bu amaçla ambulans sayısı, hastane sayısı ve hastanelerin kapasitelerinin artırıldığı durumlar için model test edilmiştir.

Senaryo 2’deki kapasite artışları kısmen etkili olsa da sistemin yoğun olduğu zamanlardaki beklemeyi tamamen ortadan kaldıracabilecek boyutta olmamıştır. Yapılan iyileştirmeler sistemde 52 saatlik bir taşıma süresinden 43 saatlik taşıma süresine kadar iyileşme sağlamıştır. Elde edilen 9 saatlik iyileştirme yaralıların ağır durumda olmalarından dolayı yeterli bir süre değildir.

Hasta yoğunluğunun yüksek olduğu ve hastanenin olmadığı Aydınli bölgesine de sahra hastanesi kurulduğunda sistem hızlanmış birikimlerin daha erken zamanda yok olduğu gözlenmiştir. Senaryo 3’ün uygulanması ile beraber 36. periyodun sonunda bekleyen hastalar sıfırlanmış, sistem gelen hastayı taşıyabilme kapasitesine ulaşmıştır.

Mevcut duruma göre (senaryo 1) 16 saatlik, Senaryo2' ye göre ise 7 saatlik bir iyileşme söz konusu olmuştur. Bu haliyle, mevcut duruma göre Senaryo 3'ün iyi olduğu söylenebilse de ağır yaralı hastalar için yeterli olmadığı ve daha fazlasına ihtiyaç olduğu açıktır.

Duyarlılık analizi sonuçlarına göre amaç fonksiyonlarındaki değişimi Senaryo 2'de mevcut duruma göre %12'lik bir azalış gerçekleşmiş. Aynı oran Senaryo 3'te %17 olarak gerçekleşmiştir.

Sistemde senaryolarla elde edilen kazanımların ölçülmesi ile birlikte, modelin duyarlılığı ispatlanmıştır. Bu sayede sistemin iyileşme arayışı devam etmelidir. Bu amaç doğrultusunda; mevcut hastanelerin kapasitesinin (normal ve acil dönemler için) artırılması, nüfusun yoğun olduğu bölgelere yeni hastaneler yapılması, ambulans sayılarının, acil durumlarda ambulans kapasitelerinin artırılması gibi tedbirlerin alınması önerilmektedir. Bu ve benzeri tedbirler hastaların bekleme sürelerini kısaltacak, can kayıplarının azalmasını sağlayacaktır.

Bu tedbirlerin yanı sıra deprem sonrası yaralı taşıma lojistiğine katkı yapacak yeni çalışmalara da ihtiyaç olduğu açıktır. Bu amaçla yapılabilecek bazı çalışmalar şöyle sıralanabilir:

- Yeni optimizasyon teknikleri kullanılarak farklı çözümler geliştirilebilir.
- Hastanelerin acil durum kapasitelerini tespit edebilmek, mevcut durum kapasitelerini kullanarak kapasite tahminlemesi yapan bir model geliştirilebilir.
- İstanbul ilinin tüm ilçelerini kapsayan bir çalışmada, ambulans ve hastane kapasitelerinden maksimum fayda sağlanabilir.
- Tüm İstanbul ili için yapılacak çalışmada, ölçek arttığı için sezgisel karar verme yöntemleri ile çözüm aranabilir.
- Hastanelerin acil durumlarda maksimum hizmet kapasitesinin belirlenebilmesi için çalışma yapılabilir.
- Bu tür acil durumlarda görevli sağlık personelinin hem geçici hem de kalıcı acil servislere hizmet vermek üzere yeniden görevlendirilmesi için bir model geliştirilebilir.

KAYNAKÇA

- Adivar, B. ve Mert, A., 2010 International disaster relief planning with fuzzy credibility. Fuzzy Optimization and Decision Making, 9(4), 413–433. <https://doi.org/10.1007/s10700-010-9088-8>
- Adrang, H., Amiri, A. B., Damghani, K. K., ve Moghaddam, R. T., 2020 Planning for Medical Emergency Transportation Vehicles during Natural Disasters. Journal of Optimization in Industrial Engineering, 0(2), 185–197. <https://doi.org/10.22094/joie.2020.688.1455>
- AFAD., 2013 Türkiye Afet Müdahale Planı (TAMP). <https://www.afad.gov.tr/turkiye-afet-mudahale-planı>; Erişim Tarihi:01.05.2021
- AFAD., 2020a Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü. <https://www.afad.gov.tr/aciklamali-afet-yonetimi-terimleri-sozlugu>; Erişim Tarihi:01.05.2021
- AFAD., 2020b Afet Yönetim ve Karar Destek Sistemi (AYDES). AFAD. <https://www.afad.gov.tr/afet-yonetim-ve-karar-destek-sistemi-projesi-aydes21>
- AFAD. (2021). Afet Türleri. AFAD. <https://www.afad.gov.tr/afet-turleri> ; Erişim Tarihi:01.05.2021
- T.C. Resmi Gazete, 17 Haziran 2009, Sayı: 27261 Afet Ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının Teşkilat Ve Görevleri Hakkında Kanun. In T.C. Resmî Gazete (27261). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2009/06/20090617.html>
- Akandere, G., 2013 Lojistik Köylerin Etkin Yönetimi: Konya iline Yönelik Bir Model Önerisi. Selçuk Üniversitesi.
- Akdur, R., 2000 Afetler ve Afetlerde Sağlık Hizmetleri. Türkiye Sorunlarına Çözüm Konferansı - 21. Yüzyılda Türkiye, 1–16.
- Alamassi, M. F., 2014 Reverse Logistics Network Design With Uncertainty. Yıldız Technical University.
- Alkusal, M., 2006 Dondurulmuş Gıda Sektöründe Bütünleşik Lojistik İlişkilerin Lojistik Hizmet Kalitesine Ve Performansına Etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Altay, N., 2008 Issues in disaster relief logistics. Large-Scale Disasters: Prediction, Control, and Mitigation, 9780521872, 120–146. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511535963.007>
- 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>

- Anaya-Arenas, A. M., Renaud, J. ve Ruiz, A., 2014 Relief distribution networks: a systematic review. *Annals of Operations Research* 2014 223:1, 223(1), 53–79. <https://doi.org/10.1007/S10479-014-1581-Y>
- Aringhieri, R., Carello, G. ve Morale, D., 2007 Ambulance location through optimization and simulation: the case of Milano urban area. 33. International Conference on Operational Research Applied to Health Services (ORAHS). <https://air.unimi.it/retrieve/handle/2434/40782/6875/aor.pdf>
- ASHGM., 2019 UMKE. <https://acilafet.saglik.gov.tr/TR,4457/umke.html>; Erişim Tarihi:01.05.2021
- Balcik, B., Beamon, B. M. ve Smilowitz, K., 2008 Last mile distribution in humanitarian relief. *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*, 12(2), 51–63. <https://doi.org/10.1080/15472450802023329>
- Barbarosoğlu, G. ve Arda, Y., 2004 A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response. *Journal of the Operational Research Society*. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601652>
- Barbarosolu, G., Özdamar, L. ve Çevik, A., 2002 An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations. *European Journal of Operational Research*, 140(1), 118–133. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00222-3](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00222-3)
- Batuk, S., 2013 Lojistik Faaliyetlerde Dış Kaynak Kullanımı: Adana İlinde Faaliyet Gösteren İşletmeler Üzerine BİR Uygulama.
- Beamon, B. M., 1998 Supply chain design and analysis: Models and methods. *International Journal of Production Economics*, 55(3), 281–294. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(98\)00079-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(98)00079-6)
- Berkoune, D., Renaud, J., Rekik, M. ve Ruiz, A., 2012 Transportation in disaster response operations. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(1), 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2011.05.002>
- Bhaumik, P. K., 2015 Supply Chain Network Design Based on Integration of Forward and Reverse Logistics. *Imi*. <https://doi.org/10.1177/0972150915581114>
- Bibbee, A., Gonenc, R., Jacobs, S., Konvitz, J. ve Price, R., 2000 Economic Effects of the 1999 Turkish Earthquakes : an Interim Report. In *OECD Economics Department Working Papers*, No.247.
- Biswas, T. ve A strategic decision support system for logistics and supply chain network design. *Sadhana - Academy Proceedings in*

- Samanta, S., 2016 Engineering Sciences, 41(6), 583–588.
<https://doi.org/10.1007/s12046-016-0496-5>
- Boeing, G., 2017 OSMnx: New methods for acquiring, constructing, analyzing, and visualizing complex street networks. Computers, Environment and Urban Systems, 65, 126–139.
<https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.05.004>
- BOUN, İTÜ, ODTÜ ve YTÜ., 2003 İstanbul İçin Deprem Master Planı.
- Çağlar, E. G., 2009 3. Parti Lojistik Sisteminin İncelenmesi, Dağıtım Ağının Optimizasyonu ve Bir Uygulama. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Caunhye, A. M., Nie, X. ve Pokharel, S., 2012 Optimization models in emergency logistics: A literature review. Socio-Economic Planning Sciences, 46(1), 4–13.
<https://doi.org/10.1016/J.SEPS.2011.04.004>
- Çekerol, S. G., 2013 Tedarik Zincirinde Lojistiğin Önemi. In N. M. Timur ve S. Gü. Çekerol (Eds.), Tedarik Zinciri Yönetimi (1. Baskı). Anadolu University.
- Cheong, M. L. F., 2005 New models in logistics network design and implications for 3PL companies. <https://dr.ntu.edu.sg/handle/10356/60529>
- Chern, C. C., Chen, Y. L. ve Kung, L. C., 2010 A heuristic relief transportation planning algorithm for emergency supply chain management. International Journal of Computer Mathematics, 87(7), 1638–1664.
<https://doi.org/10.1080/00207160802441256>
- Choi, T. M., Chiu, C. H. ve Chan, H. K., 2016 Risk management of logistics systems. In Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review (Vol. 90, pp. 1–6). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.tre.2016.03.007>
- Cordeau, J. F., Pasin, F. ve Solomon, M. M., 2006 An integrated model for logistics network design. Annals of Operations Research, 144(1), 59–82.
<https://doi.org/10.1007/s10479-006-0001-3>
- CSCMP., 2013 CSCMP Supply Chain Management Definitions and Glossary.
https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx
- Dai, Y., Ma, Z. ve Liu, F., 2006 Optimization Model for Closed-loop Logistics Network Design in a Remanufacturing Environment. Zhongguo Jixie Gongcheng/China Mechanical Engineering, 17(8), 809–814.
- Demirhan, N., 2003 Acil Tıp Hizmetleri Sisteminde İlk Ve Acil Yardım Hizmetleri'nin: Türkiye'de 112 ilk ve Acil Yardım

- Hizmetleri ve Afetlerdeki Rolü. Acar Matbaacılık.
- Deniş, F., 2012 Tersine Lojistik ve Denizli İlinde Ömrünü Tamamlamış Lastik Geri Kazanımı İçin Tersine Lojistik Ağ Modelinin Tamsayı Programlamayla Tasarımı. Pamukkale Üniversitesi.
- Deniz, E. Ş., 2012 Antalya İli Afet Riskleri Ve Afet Yönetimi Konusu Üzerine Bir Araştırma. Akdeniz Üniversitesi.
- Deste, M., 2013 Bütünleşik Lojistik Ağ Tasarımı ve Araç Rotalama Problemleri: Bir Model Önerisi ve Uygulama. Erciyes Üniversitesi.
- DPT., 2000 Deprem Ekonomik ve Sosyal Etkileri: Muhtemel Finans İhtiyacı - Kısa-Orta ve Uzun Vadede Alınabilecek Tedbirler. <http://ekutup.dpt.gov.tr/deprem/>
- El-Sayed, M., Afia, N. Ve El-Kharbotly, A., 2010 A stochastic model for forward-reverse logistics network design under risk. Computers and Industrial Engineering, 58(3), 423–431. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2008.09.040>
- Erenguc, S. S., Simpson, N. C. ve Vakharia, A. J., 1999 Integrated production/distribution planning in supply chains: An invited review. European Journal of Operational Research, 115(2), 219–236. <https://ideas.repec.org/a/eee/ejores/v115y1999i2p219-236.html>
- Ergünay, O., 2005 Afet Yönetiminde İşbirliği ve Koordinasyonun Önemi. TC İçişleri Bakanlığı-JICA, 9–18.
- Erol, V., 2017 Hipersezgisel Yöntemlerle Lojistik Ağ Tasarımı ve Optimizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Ersoy, P., Börühan, G. ve Soner, E., 2016 Bütünleşik Afet Yönetim Sistemi (1. Baskı). İlkem Kitabevi.
- Ersoy, P. ve Gülmüş, B., 2013 Lojistik Süreçler Açısından Afet Lojistiğinin Önemi. Lojistik Süreçler Açısından Afet Lojistiğinin Önemi, 50(578), 75–86.
- Esin, S., Oğuzhan, T., Kaya, K. C., Ergüder, T., Özkan, A. T. Ve Yüksel, İ., 2001 Afetlerde Sağlık Hizmetleri Yönetimi. In Afetlerde Sağlık Hizmetleri Yönetimi (24-28 Ekim 2000-Yalova) Kurs Notları.
- Fleischmann, M., 2001 Quantitative Models for Reverse Logistics (Vol. 501). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-56691-2>
- Foludas, C. A., 1995 Nonlinear and Mixed Integer Optimization: Fundamentals

- and Applications. Oxford Univ. Pres Inc.
- Forrest, J. ve Lougee-Heimer, R., 2020 CBC User Guide. Retrieved December 23, 2020, from <https://www.coin-or.org/Cbc/cbcuserguide.html>
- Gan, M., Yang, S., Li, D., Wang, M., Chen, S., Xie, R. ve Liu, J., 2018 A Novel Intensive Distribution Logistics Network Design and Profit Allocation Problem considering Sharing Economy. Complexity, 2018, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2018/4678358>
- Gao, X., 2019 A Novel Reverse Logistics Network Design Considering Multi-Level Investments for Facility Reconstruction with Environmental Considerations.
- Ghiani, G., Laporte, G. ve Musmanno, R., 2004 Introduction to logistics systems planning and control (Vol. 9). JohnWiley & Sons, Ltd.
- Gu, Y., 2011 Journal of computers. Journal of Computers (Taiwan).
- Gümüüşbuğa, F., 2012 Afet Yönetimi Kapsamında Hata Ağacı Analizi İle Risk Tabanlı Tesis Yer Seçimi. Kara Harp Okulu.
- Haddow GD, Bullock JA, C. D., 2008 Introduction to emergency management. In: Butterworth-Heinemann homeland security series. Elsevier Inc.
- Haghani, A., ve Oh, S. C., 1996 Formulation and solution of a multi-commodity, multi-modal network flow model for disaster relief operations. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 30(3), 231–250. [https://doi.org/10.1016/0965-8564\(95\)00020-8](https://doi.org/10.1016/0965-8564(95)00020-8)
- Hatefi, S. M., Jolai, F., Torabi, S. A. ve Tavakkoli-Moghaddam, R., 2015 A credibility-constrained programming for reliable forward-reverse logistics network design under uncertainty and facility disruptions. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 28(6), 664–678. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2014.900863>
- Hong, J. D., Jeong, K. Y. ve Xie, Y., 2015 A multi-objective approach to planning in emergency logistics network design. International Journal of Industrial Engineering : Theory Applications and Practice.
- Hu, Z. H., 2011 A container multimodal transportation scheduling approach based on immune affinity model for emergency relief. Expert Systems with Applications, 38(3), 2632–2639. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.08.053>
- İBB., 2009 İstanbul'un Olası Deprem Kayıpları Tahminleri Raporu.
- İBB., 2020 AKOM Kuruluş. <https://akom.ibb.istanbul/Kurumsal/Sayfalar/1/Kurulus>

- İBB. ve BOUN., 2020a İstanbul İli Olası Deprem Kayıp Tahminlerinin Güncellenmesi Projesi. https://depremezmin.ibb.istanbul/wp-content/uploads/2020/02/DEZiM_KANDiLLi_DEPREM-HASAR-TAHMiN_RAPORU.pdf ; Erişim Tarihi:01.03.2021
- İBB. ve BOUN., 2020b İstanbul İli Tuzla Olası Deprem kayıp Tahminleri Kitapçığı.
- İBB. İstatistik Ofisi, 2020 İstanbul Ekonomi Bülteni. İBB. <https://www.ibb.istanbul/News/Detail/36657> ; Erişim Tarihi:07.03.2021
- İçişleri Bakanlığı, 2020 Jandarma Arama ve Kurtarma Timleri. Jandarma Genel Komutanlığı. <https://www.jandarma.gov.tr/asayis/arama-ve-kurtarma-timleri>; Erişim Tarihi:08.02.2021
- IFRC., 2020a Types of disasters: Definition of hazard. <https://www.ifrc.org/en/what-we-do/disaster-management/about-disasters/definition-of-hazard/>; Erişim Tarihi:11.04.2021
- IFRC., 2020b What is a disaster? <https://www.ifrc.org/en/what-we-do/disaster-management/about-disasters/what-is-a-disaster/>; Erişim Tarihi:01.05.2021
- İslamoğlu, A. H., 2002 Pazarlama İlkeleri (2. Baskı). Beta Yayıncılık.
- JICA ve İBB., 2002 Türkiye Cumhuriyeti İstanbul İli Sismik Mikro-Bölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı Çalışması. <https://depremezmin.ibb.istanbul/wp-content/uploads/2020/11/JICA-TURKCE-RAPORU.pdf>; Erişim Tarihi:01.05.2021
- Jotshi, A., Gong, Q. ve Batta, R., 2009 Dispatching and routing of emergency vehicles in disaster mitigation using data fusion. Socio-Economic Planning Sciences, 43(1), 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2008.02.005>
- Kadıoğlu, M., 2011 Afet Yönetimi Beklenilmeyeni Beklemek, En Kötüsünü Yönetmek. T.C. Marmara Belediyeler Birliği Yayını, 40–43.
- Kara, S. S. ve Onut, S., 2013 A stochastic optimization approach for paper recycling reverse logistics network design under uncertainty. International Journal of Environmental Science & Technology, 7(4), 717–730. <https://doi.org/10.1007/bf03326181>
- Kaya, Y., 2000 17 Ağustos'un Ardından Deprem, Devlet ve Toplum. Otopsi Yayınevi Yayınları.

- Kazan, H., Çiftçi, C., ve Hobikoğlu, E. H., 2015 The Fuzzy Logic for the Selection of the Transportation Type A firm Application. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.199>
- KHGM., 2017 Kamu Hastaneleri İstatistik Raporu 2017.
- Kim, J. S., ve Lee, D. H., 2015 A case study on collection network design, capacity planning and vehicle routing in reverse logistics. *International Journal of Sustainable Engineering*, 8(1), 66–76. <https://doi.org/10.1080/19397038.2014.947393>
- Kızılay, 2020a Neler Yapıyoruz. <https://www.kizilay.org.tr/neler-yapiyoruz>
- Kızılay, 2020b Tarihçe. <https://www.kizilay.org.tr/Kurumsal/tarihcemiz>
- Knott, R., 1987 The logistics of bulk relief supplies. *Disasters*, 11(2), 113–115. <https://doi.org/10.1111/J.1467-7717.1987.TB00624.X>
- Konstantinidou, M. A., Kepaptsoglou, K. L. ve Stathopoulos, A., 2019 A multi-objective network design model for post-disaster transportation network management. *Promet - Traffic - Traffico*, 31(1), 11–23. <https://doi.org/10.7307/ptt.v31i1.2743>
- Kovács, G. ve Spens, K. M., 2007 Humanitarian logistics in disaster relief operations. In *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* (Vol. 37, Issue 2). <https://doi.org/10.1108/09600030710734820>
- Lakhal, S., Martel, A., Kettani, O. Ve Oral, M., 2001 On the optimization of supply chain networking decisions. *European Journal of Operational Research*, 129(2), 259–270. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00223-X](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00223-X)
- Lee, D. H. ve Dong, M., 2008 A heuristic approach to logistics network design for end-of-lease computer products recovery. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44(3), 455–474. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2006.11.003>
- Lee, Y. H. ve Kim, S. H., 2002 Production-distribution planning in supply chain considering capacity constraints. *Computers and Industrial Engineering*, 43(1–2), 169–190. [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(02\)00063-3](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(02)00063-3)
- Lee, Y. J., Baker, T. ve Jayaraman, V., 2012 Redesigning an integrated forward-reverse logistics system for a third party service provider: An empirical study. *International Journal of Production Research*, 50(19), 5615–5634. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.651538>
- Iooss, B., ve Saltelli, A., 2017 Introduction to sensitivity analysis. In *Handbook of Uncertainty Quantification* (pp. 1103–1122). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-12385-1_31

- Mason, A. J., 2012 OpenSolver - An Open Source Add-in to Solve Linear and Integer Programmes in Excel. Operations Research Proceedings, 183–190. <https://doi.org/10.1007/978-3-642>
- Min, H., ve Zhou, G., 2002 Supply chain modeling: Past, present and future. Computers and Industrial Engineering, 43(1–2), 231–249. [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(02\)00066-9](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(02)00066-9)
- Moalla, F., Mellouli, R., ve Chabchoub, H., 2013 A new realistic modeling approach for two-echelon logistics network design. 2013 5th International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization, ICMSAO 2013. <https://doi.org/10.1109/ICMSAO.2013.6552554>
- Nga, P., Péton, O. ve Bostel, N., 2010 Computers & Industrial Engineering A linear relaxation-based heuristic approach for logistics network design. Computers & Industrial Engineering, 59(4), 964–975. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2010.09.007>
- NPower, 2010 Business Continuity Planning (BCP): Sample Plan For Nonprofit Organizations. [https://web.archive.org/web/20100602065521/http://www.nten.org/sites/nten/files/Sample Disaster Recovery Plan.doc](https://web.archive.org/web/20100602065521/http://www.nten.org/sites/nten/files/Sample%20Disaster%20Recovery%20Plan.doc)
- NSHA., 2020) What is an earthquake? National Seismic Hazard Assessment. <https://www.ga.gov.au/scientific-topics/community-safety/earthquake>
- Öner, Z. S., 2010 Türkiye’de Afet Yönetimi ve Niğde Örneği. Niğde Üniversitesi.
- Orcan, G., 2016 Lojistik Dağıtım Ağ Tasarımı Problemlerinde Analitik Hiyerarşi Süreci Ve Hedef Programlama Tekniklerinin Entegrasyonu: Gıda Sektöründe Bir Uygulama. Kırıkkale Üniversitesi.
- Özaslantaş, L. Ö., 2011 Ahmet Necdet Sezer Uygulama ve Araştırma Hastanesinde Afet Planı Eğitim Çalışması. Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- Özçetin, E., 2016 Lojistikte Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı. In Y. Güney ve U. Avdan (Eds.), Lojistikte Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı (pp. 101–119). Anadolu University.
- Ozdamar, L., 2011 Planning helicopter logistics in disaster relief. OR Spectrum, 33(3), 655–672. <https://doi.org/10.1007/s00291-011-0259-y>
- Özdamar, L., Ekinci, E., ve Küçükyazıcı, B., 2004 Emergency logistics planning in natural disasters. Annals of Operations Research. <https://doi.org/10.1023/B:ANOR.0000030690.27939.39>
- Özdemir, A., 2018 Lojistiğin Temel Kavramları. In M. Nalçakan & F. Er (Eds.), Lojistik İlkeleri (pp. 3–18). Anadolu University.

- Özgüven, C., 2003 Doğrusal Programlama ve Uzantıları. Detay Yayıncılık.
- Öztürk, A., 2005 Yöneylem Araştırması. Ekin Kitabevi Yayınları.
- Paksoy, T., 2005 Tedarik Zinciri Yönetiminde Dağıtım Ağlarının Tasarımı ve Optimizasyonu: Malzeme İhtiyaç Kısıtı Altında Stratejik Bir Üretim-Dağıtım Modeli. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 0(14), 435–454.
<http://dergisosyalbil.selcuk.edu.tr/susbed/article/view/656/608>
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M., ve Duchesnay, É., 2011 Scikit-learn: Machine Learning in Python. Journal of Machine Learning Research, 12(85), 2825–2830.
<http://jmlr.org/papers/v12/pedregosa11a.html>
- Piplani, R., Saraswat, A. ve Othman, H. B., 2008 A case study in the design of service networks for reverse logistics. 5th International Conference Service Systems and Service Management - Exploring Service Dynamics with Science and Innovative Technology, ICSSSM'08, 288–292.
<https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2008.4598559>
- Pishvae, M. S., Farahani, R. Z., ve Dullaert, W., 2010 A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design. Computers and Operations Research, 37(6), 1100–1112.
<https://doi.org/10.1016/j.cor.2009.09.018>
- Pishvae, M. S., Jolai, F. ve Razmi, J., 2009 A stochastic optimization model for integrated forward/reverse logistics network design. Journal of Manufacturing Systems, 28(4), 107–114.
<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2010.05.001>
- Rogers, D. S. Ve Tibben-Lembke, R., 2001 An Examination Of Reverse Logistics Practices. Journal of Business Logistics, 22(2), 129–148.
<https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2001.tb00007.x>
- Safeer, M., Anbuudayasankar, S. P., Balkumar, K., ve Ganesh, K., 2014 Analyzing transportation and distribution in emergency humanitarian logistics. Procedia Engineering, 97, 2248–2258. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.469>

- Sakaklı, K. K., 2006 Yerel Acil Müdahale Fonksiyonlarının Yerleşiminin Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Ölçme Ve Değerlendirilmesi Ankara. Gazi Üniversitesi.
- Sarma, D., Singh, A., Das, A. ve Bera, U. K., 2018 A Post-Disaster Humanitarian Relief Logistic Model: Evacuation and Transportation. 2018 3rd International Conference for Convergence in Technology, I2CT 2018, 1–5. <https://doi.org/10.1109/I2CT.2018.8529786>
- Sarp, N., 1999 Disaster Management in Healthcare.
- Sepúlveda, J. M. Ve Banguera, L. A., 2018 A Model for Design of a Reverse Logistics Network Under Extended Producer Responsibility. DEStech Transactions on Engineering and Technology Research, icpr, 38–43. <https://doi.org/10.12783/dtetr/icpr2017/17580>
- Sheu, J. B., 2007 An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 43(6), 687–709. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2006.04.004>
- Sheu, J. B., 2010 Dynamic relief-demand management for emergency logistics operations under large-scale disasters. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 46(1), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2009.07.005>
- Shi, L. H., 2009 A mixed integer linear programming for medical waste reverse logistics network design. 2009 International Conference on Management Science and Engineering - 16th Annual Conference Proceedings, ICMSE 2009, 1971–1975. <https://doi.org/10.1109/ICMSE.2009.5317680>
- Shu, J., Li, Z., Shen, H., Wu, T. ve Zhong, W., 2012 A logistics network design model with vendor managed inventory. International Journal of Production Economics, 135(2), 754–761. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.10.008>
- Stevenson, W. J., 1993 Production/Operation Management. Richard d Irwin.
- Sur, H. ve Akan, M., 2017 İstanbul Sağlık Hizmetleri Raporu.
- T.B.M.M., 2010 Deprem Riskinin Araştırılarak Deprem Yönetiminde Alınması Gereken Önlemlerin Belirlenmesi Amacıyla Kurulan Meclis Araştırması Komisyonu Raporu.
- Taha, H., 2000 Yöneylem Araştırması (Ş. A. Baray ve Ş. Esnaf (eds.); 6th ed.).
- Tanrıöven, E. A., 2010 A Study of Ambulance Dispatching Policies To Improve Disaster Relief Operations : A Case Study on Istanbul. Koç University.

- Tanyaş, M. ve Hazır, K., 2011 Lojistik Temel Kavramlar. Çağ Üniversitesi Yayınevi.
- Tanyaş, Mehmet, Günalay, Y., Aksoy, L., ve Küçük, B., 2012 İstanbul İli Afet Lojistik Plan Kılavuzu.
- Tarhan, C., Coşkun, Z. Ve Zülfiyar, C., 2013 Deprem Bilgi Sistemi. 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı.
- TDK., 2021 Güncel Türkçe Sözlük. <https://sozluk.gov.tr/>
- Temur, G. T., Turgut, Y., Yılmaz, A., Arslan, Ş. ve Camcı, A., 2019 Logistic Network Design for Post-Earthquake Planning: A Case Study for Ümraniye District Under Different Earthquake Scenarios. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences. <https://doi.org/10.5505/pajes.2018.11736>
- Temur, G. T. ve Yanık, S., 2017 A Novel Approach for Multi-Period Reverse Logistics Network Design under High Uncertainty. International Journal of Computational Intelligence Systems, 10(1), 1168. <https://doi.org/10.2991/ijcis.2017.10.1.77>
- Tenkanen, H. ve Heikinheimo, V., 2019 Network analysis in Python. <https://automating-gis-processes.github.io/site/notebooks/L6/network-analysis.html>
- Thanh, P. N., Bostel, N., ve Péton, O., 2012a A DC programming heuristic applied to the logistics network design problem. International Journal of Production Economics, 135(1), 94–105. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.09.025>
- Tibben-Lembke, R. S. ve Rogers, D. S., 2002 Differences between forward and reverse logistics in a retail environment. In Supply Chain Management: An International Journal (Vol. 7, Issue 5, pp. 271–282). MCB UP Ltd. <https://doi.org/10.1108/13598540210447719>
- TSK., 2020 Doğal Afetler Arama Kurtarma Tabur Komutanlığı (DAK). <https://www.tsk.tr/Sayfalar?viewName=DogalAfetAramaKurtarmaTimleri>; Erişim Tarihi:01.05.2021
- TÜİK., 2019 İl Bazında Gayrisafi Yurt İçi Hasıla, 2018. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Il-Bazinda-Gayrisafi-Yurt-Ici-Hasila-2018-30889>; Erişim Tarihi: 16.02.2021
- TÜİK., 2020 Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, 2019. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2019-33705>; Erişim Tarihi: 16.02.2021

- TÜİK., 2021 Sağlık İstatistikleri. TÜİK. ; Erişim Tarihi:16.02.2021
- Tuzkaya, G., Gülsün, B. ve Önsel, Ş., 2011 A methodology for the strategic design of reverse logistics networks and its application in the Turkish white goods industry. *International Journal of Production Research*, 49(15), 4543–4571. <https://doi.org/10.1080/00207543.2010.492804>
- Tzeng, G. H., Cheng, H. J. ve Huang, T. D., 2007 Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6), 673–686. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2006.10.012>
- Van Wassenhove, L. N., 2006 Blackett memorial lecture humanitarian aid logistics: Supply chain management in high gear. *Journal of the Operational Research Society*, 57(5), 475–489. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602125>
- Vitoriano, B., Ortuño, T. ve Tirado, G., 2009 HADS, a goal programming-based humanitarian aid distribution system. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 16(1–2), 55–64. <https://doi.org/10.1002/mcda.439>
- Vitoriano, Begoña, Ortuño, M. T., Tirado, G. ve Montero, J., 2011 A multi-criteria optimization model for humanitarian aid distribution. *Journal of Global Optimization*, 51(2), 189–208. <https://doi.org/10.1007/s10898-010-9603-z>
- Wang, S. Ma, Z. ve Li, Z., 2008 A Dynamic Programming Model for Optimal Transportation of Emergency Relief Commodities in Natural Disasters. 0, 1452–1457.
- Waters, D., 2003 Logistics: An Introduction to Supply Chain Management. Palgrave Macmillan.
- Wei-min, W. M. D. I., 2010 A Location-inventory Model for Integrated Forward / reverse Logistics Network Design. 299–304.
- WHO., 2003 Guidelines on the offer and acceptance of field hospitals for use in Iraq. WHO EHA Department. <https://reliefweb.int/report/iraq/guidelines-offer-and-acceptance-field-hospitals-use-iraq>; Erişim Tarihi:13.01.2021
- Wikipedia, 2020 Disaster. <https://en.wikipedia.org/wiki/Disaster>; Erişim Tarihi:21.03.2021
- Wikipedia, 2021 En kısa yol problemi. https://tr.wikipedia.org/wiki/En_kısa_yol_problemi ; Erişim Tarihi:17.02.2021
- Wolff, R. W., 1989 Stochastic Modeling and the Theory of Queues. Prentice Hall.

- Yalbaz, S. İ., 2008 Afet-Aciliyet Yönetim Sürecinde Sahra-Acil Durum Hastaneleri Ve Bir Araştırma. İstanbul Üniversitesi.
- Yi, W. ve Kumar, A., 2007 Ant colony optimization for disaster relief operations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6), 660–672. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2006.05.004>
- Yi, W. ve Özdamar, L., 2004 Fuzzy Modeling for Coordinating Logistics in Emergencies.
- Yi, W. ve Özdamar, L., 2007 A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities. *European Journal of Operational Research*, 179(3), 1177–1193. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.03.077>
- Yu, H. ve Solvang, W. D., 2018 A new two-stage stochastic model for reverse logistics network design under government subsidy and low-carbon emission requirement. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 2017-Decem, 90–94. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2017.8289857>
- Yüce, Y. M., 2018 Afetlerde Lojistik Yönetimi: Çanakkale Depremi Örneği [Gümüşhane Üniversitesi]. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=fS4sqEZr79C_n60Rk6MjFYSoGdmVEjaCL_1LOp7kM8XJGmROE0VjUqQxVTAAaOAqz
- Yuchi, Q., He, Z., Yang, Z. ve Wang, N., 2016 A Location-Inventory-Routing Problem in Forward and Reverse Logistics Network Design. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2016, 1–18. <https://doi.org/10.1155/2016/3475369>
- Zegordi, S. H., Eskandarpour, M. ve Nikbakhsh, E., 2011 A Novel Bi-Objective Multi-Product Post-Sales Reverse Logistics Network Design Model. *World Congress on Engineering*, Wce 2011, Vol I, 716–720.
- Zhang, D., He, R., Li, S. ve Wang, Z., 2017 A multimodal logistics service network design with time windows and environmental concerns. *PLoS ONE*, 12(9), 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185001>
- Zhou, G., Cao, Z., Meng, Z. ve Xu, Q., 2008 A GA-based approach on a repair logistics network design with M/M/s model. *Proceedings - 2008 International Conference on Computational Intelligence and Security, CIS 2008*, 1, 145–149. <https://doi.org/10.1109/CIS.2008.117>
- Zhu, L., Gong, Y., Xu, Y. ve Gu, J., 2019 Emergency relief routing models for injured victims considering equity and priority. *Annals of Operations Research*, 283(1–2), 1573–1606. <https://doi.org/10.1007/s10479-018-3089-3>

EKLER

Ek 1: Python Kodları

#Kullanılacak kütüphanelerin yüklenmesi

```
import osmnx as ox
import networkx as nx
import geopandas as gpd
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd
import numpy as np
from numpy.random import randn
```

#Üzerinde çalışılacak lokasyonun seçilmesi

```
place_name = "Tuzla, Istanbul, Turkey"
graph = ox.graph_from_place(place_name, network_type='drive')
fig, ax = ox.plot_graph(graph)
```

#Seçilen lokasyonunun haritasının elde edilmesi, gösterimi

```
graph_proj = ox.project_graph(graph)
fig, ax = ox.plot_graph(graph_proj)
```

İlçeye ait, Edge” ve “Node” ların elde edilmesi

```
nodes_proj, edges_proj = ox.graph_to_gdfs(graph_proj, nodes=True, edges=True)
print("Coordinate system:", edges_proj.crs)
print(edges_proj.head())
```

İlçenin “Edge” ve “Node” larının Excel’e yazdırılması

```
edges_proj.to_excel(excel_writer = "C:/Users/admin/Desktop/tuzla_edges_proj.xlsx")
nodes_proj.to_excel(excel_writer = "C:/Users/admin/Desktop/tuzla_nodes_proj_nodes.xlsx")
```

İlçeye ait coğrafi bilgilerin alınması

```
stats = ox.basic_stats(graph_proj)
```

```
stats
```

İlçenin "Edge" ve "Node" larının Excel'e yazdırılması

```
# Calculate the area
```

```
area = convex_hull.area
```

```
# Calculate statistics with density information
```

```
stats = ox.basic_stats(graph_proj, area=area)
```

```
extended_stats = ox.extended_stats(graph_proj, ecc=True, bc=True,  
cc=True)
```

```
for key, value in extended_stats.items():
```

```
    stats[key] = value
```

```
pd.Series(stats)
```

#hastanelere en yakın "node" ların belirlenmesi (senaryo1)

```
hast_tuzla_devlet=ox.get_nearest_node(graph, (40.845280, 29.302440))
```

```
hast_okan=ox.get_nearest_node(graph, (40.84938400, 29.30182200))
```

```
hast_gisbir=ox.get_nearest_node(graph, (40.84783900, 29.29457800))
```

```
hast_ozel_tuzla=ox.get_nearest_node(graph, (40.82604200,  
29.31032000))
```

```
hastane_node = [hast_tuzla_devlet, hast_okan, hast_gisbir,
```

```
hast_ozel_tuzla]
```

```
hastane_node
```

#hastanelere en yakın "node" ların belirlenmesi (senaryo2)

```
hast_tuzla_devlet=ox.get_nearest_node(graph, (40.845280, 29.302440))
```

```
hast_okan=ox.get_nearest_node(graph, (40.84938400, 29.30182200))
```

```
hast_gisbir=ox.get_nearest_node(graph, (40.84783900, 29.29457800))
```

```
hast_ozel_tuzla=ox.get_nearest_node(graph, (40.82604200,  
29.31032000))
```

```
hast_sifa_sahra=ox.get_nearest_node(graph, (40.835566, 29.365106))
```

```
hastane_node = [hast_tuzla_devlet, hast_okan, hast_gisbir,
```

```
hast_ozel_tuzla, hast_sifa_sahra]
```

```
hastane_node
```

#hastanelere en yakın "node" ların belirlenmesi (senaryo3)

```
hast_tuzla_devlet=ox.get_nearest_node(graph, (40.845280, 29.302440))
```

```
hast_okan=ox.get_nearest_node(graph, (40.84938400, 29.30182200))
```

```
hast_gisbir=ox.get_nearest_node(graph, (40.84783900, 29.29457800))
```

```

hast_ozel_tuzla=ox.get_nearest_node(graph, (40.82604200,
29.31032000))
hast_aydinli_sahra=ox.get_nearest_node(graph, ( 40.877597,
29.337894))
hast_sifa_sahra=ox.get_nearest_node(graph, (40.835566, 29.365106))
hastane_node = [hast_tuzla_devlet, hast_okan, hast_gisbir,
hast_ozel_tuzla, hast_aydinli_sahra, hast_sifa_sahra]

hastane_node

```

dataframe e yeni sütunlar eklenmesi (senaryo1)

```

df["hast_tuzla_devlet"] = 0
df["hast_okan"] = 0
df["hast_gisbir"] = 0
df["hast_ozel_tuzla"] = 0

```

dataframe e yeni sütunlar eklenmesi (senaryo2)

```

df["hast_tuzla_devlet"] = 0
df["hast_okan"] = 0
df["hast_gisbir"] = 0
df["hast_ozel_tuzla"] = 0
df["hast_sifa_sahra"] = 0

```

dataframe e yeni sütunlar eklenmesi (senaryo3)

```

df["hast_tuzla_devlet"] = 0
df["hast_okan"] = 0
df["hast_gisbir"] = 0
df["hast_ozel_tuzla"] = 0
df["hast_aydinli_sahra"] = 0
df["hast_sifa_sahra"] = 0

```

Hastanelerden hastalara giden en kısa yolların uzunluklarının (mt.) hesaplanması (senaryo1)

```

for i in range(len(df)):

    hospital_list=[2230026598, 6767716363, 2365236395, 1974824938]
    routes=[]
    for j in hospital_list:
        orig_node=j
        target_node=int(df.iloc[i]["osm_id"])
        try:
            route = nx.shortest_path_length(G=graph_proj,
source=orig_node, target=target_node, weight='length')
        except:
            route = "error"

        routes.append(route)

```

```

df.iloc[i,df.columns.get_loc("hast_tuzla_devlet")]=routes[0]
df.iloc[i,df.columns.get_loc("hast_okan")]=routes[1]
df.iloc[i,df.columns.get_loc("hast_gisbir")]=routes[2]
df.iloc[i,df.columns.get_loc("hast_ozel_tuzla")]=routes[3]

```

Hastanelerden hastalara giden en kısa yolların uzunluklarının (mt.) hesaplanması (senaryo2)

```

for i in range(len(df)):

    hospital_list=[2230026598, 6767716363, 2365236395, 1974824938,
6131299430]
    routes=[]
    for j in hospital_list:
        orig_node=j
        target_node=int(df.iloc[i]["osm_id"])
        try:
            route = nx.shortest_path_length(G=graph_proj,
source=orig_node, target=target_node, weight='length')
        except:
            route = "error"

        routes.append(route)

df.iloc[i,df.columns.get_loc("hast_tuzla_devlet")]=routes[0]
df.iloc[i,df.columns.get_loc("hast_okan")]=routes[1]
df.iloc[i,df.columns.get_loc("hast_gisbir")]=routes[2]
df.iloc[i,df.columns.get_loc("hast_ozel_tuzla")]=routes[3]
df.iloc[i,df.columns.get_loc("hast_sifa_sahra")]=routes[4]

```

Hastanelerden hastalara giden en kısa yolların uzunluklarının (mt.) hesaplanması (senaryo3)

```

for i in range(len(df)):

    hospital_list=[2230026598, 6767716363, 2365236395, 1974824938,
2265386405, 6131299430]
    routes=[]
    for j in hospital_list:
        orig_node=j
        target_node=int(df.iloc[i]["osm_id"])
        try:
            route = nx.shortest_path_length(G=graph_proj,
source=orig_node, target=target_node, weight='length')
        except:
            route = "error"

        routes.append(route)

df.iloc[i,df.columns.get_loc("hast_tuzla_devlet")]=routes[0]
df.iloc[i,df.columns.get_loc("hast_okan")]=routes[1]
df.iloc[i,df.columns.get_loc("hast_gisbir")]=routes[2]
df.iloc[i,df.columns.get_loc("hast_ozel_tuzla")]=routes[3]

```

```
df.iloc[i,df.columns.get_loc("hast_aydinli_sahra")]=routes[4]
df.iloc[i,df.columns.get_loc("hast_sifa_sahra")]=routes[5]
```

#Kmeans centroidlerin 4x2 array olarak düzenlenmesi (senayo1)

```
centroids.reshape(4,2)
```

#Kmeans centroidlerin 5x2 array olarak düzenlenmesi (senayo2)

```
centroids.reshape(5,2)
```

#Kmeans centroidlerin 6x2 array olarak düzenlenmesi (senayo3)

```
centroids.reshape(6,2)
```

Listeye yeni sütunların eklenmesi

```
kmeans_df = DataFrame(df,columns=['osm_id','lat','lon'])
kmeans_df["centroidler"] = 0
kmeans_df["cent_distance"] = 0
kmeans_df
```

mesafe hesaplama fonksiyonunun oluşturulması

```
def calculate_distance(centroid, X, Y):

    # Unpack the x and y coordinates of the centroid
    c_x, c_y = centroid
    distance=((c_x-X)**2+(c_y-Y)**2)**0.5

    return distance
```

en küçük mesafeler hesaplanması ve ayrı bir sütun olarak yazılması

```
kmeans_df["cent_distance"]=0
for i in range(len(kmeans_df)):
    dummy=10e10
    for j in range(len(centroids)):

        distance=calculate_distance(centroids[j],kmeans_df.iloc[i]["lat"],kmeans_df.iloc[i]["lon"])
        if distance<dummy:
            closest_centroid=j+1
            dummy=distance

    kmeans_df.iloc[i,kmeans_df.columns.get_loc("centroidler")]=closest_centroid

    kmeans_df.iloc[i,kmeans_df.columns.get_loc("cent_distance")]=dummy
```

#Kmeans Kümeleme analizi (senaryo1)

```
from sklearn.cluster import KMeans
from pandas import DataFrame

kmeans_df = DataFrame(df, columns=['lat', 'lon'])
kmeans = KMeans(n_clusters=4).fit(kmeans_df)
centroids = kmeans.cluster_centers_
print(centroids)

plt.scatter(df['lat'], df['lon'], c= kmeans.labels_.astype(float),
s=30, alpha=1)
plt.scatter(centroids[:, 0], centroids[:, 1], c='red', s=50)
```

#Kmeans Kümeleme analizi (senaryo2)

```
from sklearn.cluster import KMeans
from pandas import DataFrame

kmeans_df = DataFrame(df, columns=['lat', 'lon'])
kmeans = KMeans(n_clusters=5).fit(kmeans_df)
centroids = kmeans.cluster_centers_
print(centroids)

plt.scatter(df['lat'], df['lon'], c= kmeans.labels_.astype(float),
s=30, alpha=1)
plt.scatter(centroids[:, 0], centroids[:, 1], c='red', s=50)
```

#Kmeans Kümeleme analizi (senaryo3)

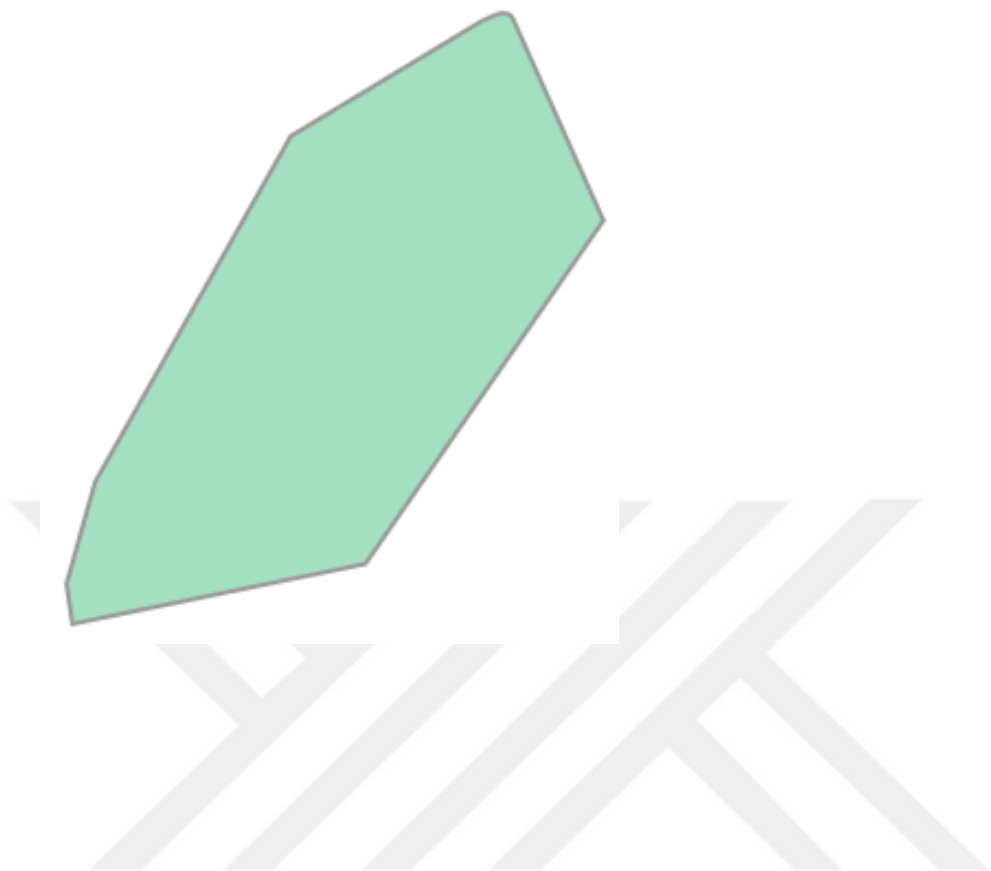
```
from sklearn.cluster import KMeans
from pandas import DataFrame

kmeans_df = DataFrame(df, columns=['lat', 'lon'])
kmeans = KMeans(n_clusters=6).fit(kmeans_df)
centroids = kmeans.cluster_centers_
print(centroids)

plt.scatter(df['lat'], df['lon'], c= kmeans.labels_.astype(float),
s=30, alpha=1)
plt.scatter(centroids[:, 0], centroids[:, 1], c='red', s=50)
```

Ek 2: Tuzla İlçesi Geometrik Bilgileri

```
{'n': 5456,  
  'm': 14538,  
  'k_avg': 5.3291788856304985,  
  'intersection_count': 4972,  
  'streets_per_node_avg': 3.00183284457478,  
  'streets_per_node_counts': {0: 0,  
    1: 484,  
    2: 12,  
    3: 4005,  
    4: 925,  
    5: 27,  
    6: 2,  
    7: 0,  
    8: 1},  
  'streets_per_node_proportion': {0: 0.0,  
    1: 0.08870967741935484,  
    2: 0.0021994134897360706,  
    3: 0.7340542521994134,  
    4: 0.1695381231671554,  
    5: 0.004948680351906158,  
    6: 0.00036656891495601173,  
    7: 0.0,  
    8: 0.00018328445747800586},  
  'edge_length_total': 1429365.106000007,  
  'edge_length_avg': 98.31923964781998,  
  'street_length_total': 836824.3060000003,  
  'street_length_avg': 102.70303215513013,  
  'street_segments_count': 8148,  
  'node_density_km': None,  
  'intersection_density_km': None,  
  'edge_density_km': None,  
  'street_density_km': None,  
  'circuitry_avg': 1.6089212069820297e-05,  
  'self_loop_proportion': 0.0010317787866281469,  
  'clean_intersection_count': None,  
  'clean_intersection_density_km': None}
```



Ek 3: PSEUDOCODE (Matematiksel Model ve Simülasyon)

1. Değişkenleri tanımla
t periyodunun başlangıcında ambulans bekleyen toplam hasta sayısı = 0
t periyodun başlangıcında oluşan yeni hastalar = 0
t-1 zamanında ulaşılamayan ve ilgili periyoda kalan hastalar = 0
2. **for** (periyot=1; periyot <= 72 saat; periyot ++)
Yeni Gelen Hastalar listesi oluştur
3. Çağrılar al
4. Çağrılar sınıflandır
//(Ağır yaralı, Orta Derece Yaralı, Hafif Yaralı)
5. Eğer Ağır yaralı ise işleme başla
Ağır yaralıları, Yeni Gelen Hastalar listesine ekle
t periyodun başlangıcında oluşan yeni hastalar sayısını artır
6. Değişkenleri tanımla
t periyodunun başlangıcında ambulans bekleyen toplam hasta sayısı =
t periyodun başlangıcında oluşan yeni hastalar +
(t-1) zamanında ulaşılamayan ve ilgili periyoda kalan hastalar
7. Optimizasyon çözümünü çalıştır
Ambulans - Hasta atama tablosu oluştur
Hasta taşıma süreleri tablosu oluştur
8. Simülasyon algoritmasını çağır
End for
Begin the Simulation Algorithm
9. Değişkenleri ata
Ambulansların Toplam Taşıma Süreleri = 0
Her Ambulans İçin Toplam Taşıma Sürelerini Ambulans taşıma süresi kadar artır
Periyot taşınan hasta sayısı = 0
Periyot taşınan sayısını ambulans taşınan hasta sayısı kadar artır
Periyot kalan hasta sayısı = 0
Periyot kalan sayısını ambulans kalan hasta sayısı kadar artır
10. Taşıma süresine göre artan biçimde listeyi sırala
11. Ceza katsayısı (periyot kat.) göre listeyi artan sırala

```

12. for (ambulans=1; ambulans<= 15; ambulans++)
    Yeni Ambulans taşınanlar listesi oluştur
    Yeni Ambulans kalan listesi oluştur
    Ambulans taşınan sayısı = 0
    Ambulans kalan sayısı = 0
    Ambulans taşıma süresi = 0
    for (hasta=1; hasta<= Ambulans Hasta Sayısı;
        hasta++)

        if      Ambulans      taşıma      süresi
        <=((periyot*60)+hasta taşıma süresi)
            Add Ambulans Taşınanlar list (Hasta(index))
            Ambulans Taşınan sayısını artır
            Toplam Taşınan Sayısını artır
            Ambulans taşıma süresini, hasta taşınma
            süresi kadar artır.
        Else
            Add Ambulans Kalanlar list (Hasta(index))
            Ambulans Kalan sayısını artır
        End if
    End for hasta
End for ambulans

```

ÖZGEÇMİŞ

İlköğretim, ortaöğretim ve lise eğitimini Tuzla’da bitirdikten sonra, lisans eğitimini 2009 yılında Ege Üniversitesi Fen Fakültesi İstatistik Bölümünde, yüksek lisansını 2014 yılında Gebze Teknik Üniversitesi İşletme alanında tamamladı. 2015 yılında İstanbul Üniversitesi İşletme Bölümünde doktora eğitimine başlamıştır. 2012-2017 yılları arasında Türkiye İstatistik Kurumunda İstatistikçi olarak görev yaptı. 2017 yılında İstanbul Üniversitesi Ulaştırma ve Lojistik Fakültesinde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen aynı fakültede Ulaştırma Anabilim Dalında görevine devam etmektedir.