



Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim ve İşlemler Yönetimi Bilim Dalı

İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİNDE TESİS KAPASİTE KARARLARI İLE İKİ AŞAMALI ROTA KAPSAMA PROBLEMİ

İlay GÜVENÇ PELİT

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2025

İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİNDE TESİS KAPASİTE KARARLARI İLE İKİ AŞAMALI
ROTA KAPSAMA PROBLEMİ

İlay GÜVENÇ PELİT

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim ve İşlemler Yönetimi Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2025

KABUL VE ONAY

İlay GÜVENÇ PELİT tarafından hazırlanan “İnsani Yardım Lojistiğinde Tesis Kapasite Kararları ile İki Aşamalı Rota Kapsama Problemi” başlıklı bu çalışma, 10/06/2025 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mine ÖMÜRGÖNÜLŞEN (Başkan)

Prof. Dr. Mehmet SOYSAL (Danışman)

Doç. Dr. Çağrı KOÇ (Üye)

Dr. Öğr. Üyesi Bülent ÇEKİÇ (Üye)

Dr. Öğr. Üyesi Yusuf SEÇERDİN (Üye)

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. Uğur ÖMÜRGÖNÜLŞEN

Enstitü Müdürü

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

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

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

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

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir. ⁽¹⁾
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ay ertelenmiştir. ⁽²⁾
- Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. ⁽³⁾

...../...../.....

İlay GÜVENÇ PELİT

1“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”

- (1) Madde 6. 1. Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez **danışmanının** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.
- (2) Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez **danışmanının** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulunun** gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.
- (3) Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, **tezin yapıldığı kurum** tarafından verilir *. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, **ilgili kurum ve kuruluşun önerisi** ile **enstitü** veya **fakültenin** uygun görüşü üzerine **üniversite yönetim kurulu** tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.
Madde 7.2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

* Tez **danışmanının** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu tarafından karar verilir.**

ETİK BEYAN

Bu çalışmadaki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında özgün olduğunu, **Prof. Dr. Mehmet SOYSAL** danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.

İlay GÜVENÇ PELİT



Canım babamın aziz hatırasına...

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince desteğini, güler yüzünü ve vaktini benden hiç esirgemeyen; bana inandığını her zaman hissettiren, akademik duruşuyla her zaman kendime örnek aldığım, ondan öğrendiklerimle her gün geliştiğim, kıymetli hocam Prof. Dr. Mehmet SOYSAL'a, yolumu aydınlattığı için en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez jürimde yer alarak kıymetli görüş ve önerileriyle çalışmama katkı sağlayan değerli hocalarım Prof. Dr. Mine ÖMÜRGÖNÜLŞEN, Doç. Dr. Çağrı KOÇ, Dr. Öğr. Üyesi Bülent ÇEKİÇ ve Dr. Öğr. Üyesi Yusuf SEÇERDİN'e teşekkür ederim. Tez çalışmama olan desteği ve her zaman gösterdiği güler yüzü için sevgili hocam Dr. Hande Cansın KAZANÇ'a teşekkür ederim.

Beni bugünlere getiren, her zaman arkamda duran, beni her koşulda destekleyen ve sevgisini eksik etmeyen canım annem Funda GÜVENÇ ve biricik ablam Umay GÜVENÇ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin oluşmasında en az benim kadar emeği olan, tüm süreci benimle yaşayan, her zaman yanımda olduğunu hissettiren, ben kendime inanmazken bile bana inanmayı hiç bırakmayan, en büyük destekçim ve en büyük şansım canım eşim Şevket PELİT'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca yaptığım her işle gurur duyan ve bunu her fırsatta dile getiren, sevgisi, ilgisi ve desteğiyle bugünlere gelmemi sağlayan, bu tez ile de gurur duyacağına inandığım canım babam Hasan GÜVENÇ'e en derin teşekkürlerimi sunarım. Onu büyük bir sevgi ve özlemle anıyorum.

ÖZET

GÜVENÇ PELİT, İlay. *İnsani Yardım Lojistiğinde Tesis Kapasite Kararları ile İki Aşamalı Rota Kapsama Problemi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2025.

Afet sonrası durumlarda ihtiyaç halindeki herkese yardımın ulaştırılması, lojistik kaynak yetersizliği ve kısıtlı zaman gibi sebepler ile her zaman mümkün olamamaktadır. Böyle durumlarda; mümkün olduğunca fazla kişiye, mümkün olan en kısa sürede yardımı ulaştırmak adına, yardım merkezlerine belirli bir mesafeden daha yakın konumdaki afetzedelerin, yardım malzemelerini kendi imkânları ile merkezlere ulaşarak doğrudan merkezlerden temin etmelerinin beklenmesi ve eldeki araç filosunun daha uzak bölgelere yardım taşınması için kullanılması sıklıkla uygulanan bir yaklaşımdır. Bu durumda, yardım merkezlerinin konumlarına ve araç rotalarına karar verilmesi gerekmektedir. Bu ağ tasarım problemi bir Rota Kapsama Problemi (RKP) olarak tanımlanabilir. Bu çalışma kapsamında RKP'nin bir uzantısı olan Tesis Kapasite Kararları ile İki Aşamalı Rota Kapsama Problemi (2A-RKP) tanıtılmaktadır. Bu problem kapsamında, yardım malzemelerinin merkezi bir depodan yardım merkezlerine ve ardından afetzedelere ulaştırıldığı, çoklu kapsama, yoğunluk seviyeleri ve döngüsel sefer dağıtım stratejilerini içeren iki aşamalı bir lojistik ağı ele alınmaktadır. Söz konusu problem, Karma Tamsayı Doğrusal Programlama (KTDP) modeli ile formüle edilmiştir ve orta ve büyük ölçekli veri setlerine etkin çözümler üretebilmek amacıyla KTDP tabanlı bir böl-ve-fethet sezgisel çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen 2A-RKP modeli, İstanbul ilinin Üsküdar ilçesini kapsayan örnek bir olay üzerinde test edilmiş; çoklu kapsama, motorize ve motorize olmayan kapsama alanları ile yoğunluk seviyeleri varsayımlarının etkileri farklı problem parametrelerini içeren senaryo analizleri ile incelenmiştir. Senaryo analizleri sonucunda, yoğunluk seviyeleri varsayımının toplam operasyon süresini azaltma üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Ek olarak, önerilen sezgisel çözüm yaklaşımı 16 farklı veri seti üzerinde değerlendirilmiş ve operasyon süresinde %54,11'e, hesaplama süresinde %99,81'e varan iyileşmeler ile 2A-RKP modeline kıyasla anlamlı performans artışları elde edilmiştir. Gerçekleştirilen literatür taraması çerçevesinde, aynı anda çoklu kapsama, çok depolu rotalama, iki aşamalı rotalama ve yoğunluk seviyesine bağlı değişen tesis kapasiteleri unsurlarını birlikte ele alan başka bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu yönüyle söz konusu çalışma, literatüre özgün ve bütüncül bir katkı sunmaktadır.

Anahtar Sözcükler

İnsani Yardım Lojistiği, Rota Kapsama Problemi, Yoğunluk Seviyesine Bağlı Değişen Tesis Kapasiteleri, İki Aşamalı Rotalama, Çoklu Kapsama, Böl-ve-Fethet

ABSTRACT

GÜVENÇ PELİT, İlay. *A Two-Echelon Humanitarian-Aid Covering Tour Problem with Facility Capacity Decisions*. Master's Thesis, Ankara, 2025.

In post-disaster scenarios, delivering aid to all individuals in need is often hindered by various reasons such as limited logistical resources, and time constraints. A commonly adopted strategy involves expecting victims within a certain distance from relief centers to collect aid themselves, while available vehicles are used to reach more distant locations. This network design problem can be defined as a Covering Tour Problem (CTP), which this study extends into the Two-Echelon Covering Tour Problem with Facility Capacity Decisions (2E-CTP). The 2E-CTP considers a two-echelon humanitarian logistics network where aid is delivered from a central depot to relief centers and then to victim locations, incorporating multi-coverage, density levels and milk-run routing strategies. The objective is to minimize total operation time while determining relief center locations, density levels, demand allocation, and vehicle routes. The problem is formulated as a Mixed Integer Linear Programming (MILP) model. To solve medium-to-large scale instances efficiently, a MILP-based divide-and-conquer heuristic algorithm is developed. The model is tested on a base case dataset from Istanbul's Üsküdar district and evaluated under various scenarios involving key features such as multi-coverage, motorized/non-motorized covering distances, and density levels. The results highlight the importance of considering density levels in reducing total operation time. The proposed heuristic algorithm is further tested on 16 datasets, demonstrating significant improvements with up to 54.11% reduction in operation time and up to 99.81% decrease in computational time, compared to the 2E-CTP model. This study presents a novel and comprehensive contribution to the related literature by simultaneously addressing multi-coverage, multi-depot routing, two-echelon routing, and density-dependent capacities.

Keywords

Humanitarian-Aid Logistics, Covering Tour Problem, Density-Dependent Facility Capacities, Two-Echelon Routing, Multi-Coverage, Divide-and-Conquer

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI	ii
ETİK BEYAN	iii
ADAMA	iv
TEŞEKKÜR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
GİRİŞ	1
1. BÖLÜM: İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİ VE ROTA KAPSAMA PROBLEMİ ...	5
1.1. İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİ.....	5
1.2. ROTA KAPSAMA PROBLEMİ	11
2. BÖLÜM: LİTERATÜR TARAMASI	16
2.1. İLGİLİ LİTERATÜRÜN BETİMSEL ANALİZİ	16
2.2. İLGİLİ LİTERATÜRDEKİ MATEMATİKSEL MODELLERİN ANALİZİ....	23
2.2.1. Matematiksel Modellerin Amaç Fonksiyonları ve Çözüm Yöntemleri	23
2.2.2. Matematiksel Modellerde Yer Alan Kısıtlar ve Varsayımlar	32
2.3. ÇALIŞMANIN LİTERATÜRE KATKISI	37
2.3.1. Çoklu Kapsama	37
2.3.2. Çok Depolu Rotalama	38
2.3.3. İki Aşamalı Rotalama.....	40
2.3.4. Yoğunluk Seviyesine Bağlı Değişen Tesis Kapasitesi.....	40
2.3.5. İnsani Yardım Lojistiği.....	41
3. BÖLÜM: İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİNDE TESİS KAPASİTE KARARLARI İLE İKİ AŞAMALI ROTA KAPSAMA PROBLEMİ	45
3.1. PROBLEM TANIMI.....	45
3.2. MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİSİ	48

3.3. SEZGİSEL ÇÖZÜM YAKLAŞIMI.....	55
3.3.1. Talep Tahsisi Modeli	58
3.3.2. Birinci Aşama Rotalama Modeli.....	59
3.3.3. İkinci Aşama Rotalama Modeli	61
4. BÖLÜM: NÜMERİK ANALİZLER	63
4.1. ÖRNEK OLAY VERİ SETİNİN TANITILMASI	63
4.2. ÖRNEK OLAY ÇÖZÜMÜ.....	69
4.3. ÖRNEK OLAY ÜZERİNDE SENARYO ANALİZLERİ	71
4.3.1. Senaryo 1 – Çoklu Kapsama Analizi	72
4.3.2. Senaryo 2 – Motorize Olmayan Kapsama Alanı Analizi.....	75
4.3.2.1. Senaryo 2.1 – Motorize Olmayan Kapsama Alanının Kaldırılması	75
4.3.2.2. Senaryo 2.2 – Motorize Olmayan Kapsama Alanının Azaltılması	78
4.3.2.3. Senaryo 2.3 – Motorize Olmayan Kapsama Alanının Arttırılması	81
4.3.3. Senaryo 3 – Motorize Kapsama Alanı Analizi	84
4.3.4. Senaryo 4 – Yoğunluk Seviyelerinin Analizi	87
4.3.4.1. Senaryo 4.1 – Düşük Yoğunluk Seviyesi	87
4.3.4.2. Senaryo 4.2 – Orta Yoğunluk Seviyesi	88
4.3.4.3. Senaryo 4.3 – Yüksek Yoğunluk Seviyesi.....	90
4.4. SEZGİSEL YAKLAŞIMIN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ	93
SONUÇ	97
KAYNAKÇA	103
EK 1 ÖRNEK OLAY - POTANSİYEL YARDIM MERKEZLERİ ARASINDAKİ SÜRE MATRİSİ (DK)	113
EK 2 ÖRNEK OLAY - POTANSİYEL YARDIM MERKEZLERİ VE YARDIMA İHTİYACI OLAN BÖLGELER ARASINDAKİ SÜRE MATRİSİ (DK)	114
EK 3 ÖRNEK OLAY - 2 KM MOTORİZE KAPSAMA ALANI İÇİN β_{cd} MATRİSİ	115
EK 4 ÖRNEK OLAY - 1 KM MOTORİZE OLMAYAN KAPSAMA ALANI İÇİN ψ_{cd} MATRİSİ	116
EK 5 ÖRNEK OLAY PARAMETRE DEĞERLERİ	117

EK 6 SENARYO 2.2 – 750 M MOTORİZE OLMAYAN KAPSAMA ALANI İÇİN ψ_{cd} MATRİSİ	118
EK 7 SENARYO 2.3 – 1250 M MOTORİZE OLMAYAN KAPSAMA ALANI İÇİN ψ_{cd} MATRİSİ	119
EK 8 SENARYO 3 – 3 KM MOTORİZE KAPSAMA ALANI İÇİN β_{cd} MATRİSİ	120
EK 9 ÜSKÜDAR45 VERİ SETİ İÇİN 72 SAATLİK OPTİMALİTE AÇIĞI DEĞİŞİMİ	121
EK 10 ORJİNALLİK FORMU	122
EK 11 ETİK KURUL MUAFİYET FORMU	124



KISALTMALAR DİZİNİ

RKP: Rota Kapsama Problemi

KSP: Kapsayan Satıcı Problemi

GSP: Gezgin Satıcı Problemi

2A-RKP: Tesis Kapasite Kararları ile İki Aşamalı Rota Kapsama Problemi

KTDP: Karma Tamsayı Doğrusal Programlama



TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1 İnsani Yardım Lojistiğinde Temel Performans Kriterleri (Lu vd., 2016)	9
Tablo 2.1 İncelenen Makalelerin Yer Aldıkları Dergilerin 2023 Yılı Etki Faktörleri	21
Tablo 2.2 Rota Kapsama Problemi ve Kapsayan Satıcı Problemi Literatüründe Yer Alan Çalışmalar	26
Tablo 2.3 İlgili Literatürde Yer Alan Matematiksel Modellerdeki Karar Değişkenleri, Kısıtlar ve Varsayımlar	33
Tablo 3.1 2A – RKP Modeli Notasyon Tablosu	48
Tablo 4.1 Potansiyel Yardım Merkezlerinin Koordinatları	65
Tablo 4.2 Mahallelerin Nüfuslarına Oranlanmış Talep Miktarları	67
Tablo 4.3 Yoğunluk Seviyelerine Göre Yardım Merkezlerinde Elleçleme Süreleri (dk) ..	68
Tablo 4.4 Yoğunluk Seviyelerine Göre Yardım Merkezlerinin Kurulum Süreleri (dk) ...	68
Tablo 4.5 Örnek Olay Çözümüne Ait Temel Performans Kriterleri	69
Tablo 4.6 Örnek Olay Çözümünde Potansiyel Yardım Merkezleri için Kurulum Kararları	71
Tablo 4.7 Örnek Olay Çözümünde Talep Tahsisi Kararları	71
Tablo 4.8 Örnek Olay Çözümünde Dağıtım Planı	72
Tablo 4.9 Analiz Edilen Senaryolar	72
Tablo 4.10 Senaryo 1 Çözümüne Ait Temel Performans Kriterleri	73
Tablo 4.11 Senaryo 1 Çözümünde Potansiyel Yardım Merkezleri için Kurulum Kararları	73
Tablo 4.12 Senaryo 1 Çözümünde Talep Tahsisi Kararları	73
Tablo 4.13 Senaryo 1 Çözümünde Dağıtım Planı	74
Tablo 4.14 Senaryo 2.1 Çözümüne Ait Temel Performans Kriterleri	76
Tablo 4.15 Senaryo 2.1 Çözümünde Potansiyel Yardım Merkezleri için Kurulum Kararları	77
Tablo 4.16 Senaryo 2.1 Çözümünde Talep Tahsisi Kararları	77
Tablo 4.17 Senaryo 2.1 Çözümünde Dağıtım Planı	78
Tablo 4.18 Senaryo 2.2 Çözümüne Ait Temel Performans Kriterleri	79
Tablo 4.19 Senaryo 2.2 Çözümünde Potansiyel Yardım Merkezleri için Kurulum Kararları	79
Tablo 4.20 Senaryo 2.2 Çözümünde Talep Tahsisi Kararları	81
Tablo 4.21 Senaryo 2.2 Çözümünde Dağıtım Planı	81
Tablo 4.22 Senaryo 2.3 Çözümüne Ait Temel Performans Kriterleri	82
Tablo 4.23 Senaryo 2.3 Çözümünde Potansiyel Yardım Merkezleri için Kurulum Kararları	82
Tablo 4.24 Senaryo 2.3 Çözümünde Talep Tahsisi Kararları	83
Tablo 4.25 Senaryo 2.3 Çözümünde Dağıtım Planı	83
Tablo 4.26 Senaryo 3 Çözümüne Ait Temel Performans Kriterleri	85
Tablo 4.27 Senaryo 3 Çözümünde Potansiyel Yardım Merkezleri için Kurulum Kararları	85
Tablo 4.28 Senaryo 3 Çözümünde Talep Tahsisi Kararları	86
Tablo 4.29 Senaryo 3 Çözümünde Dağıtım Planı	86

Tablo 4.30 Senaryo 4.2 Çözümüne Ait Temel Performans Kriterleri	88
Tablo 4.31 Senaryo 4.2 Çözümünde Potansiyel Yardım Merkezleri için Kurulum Kararları.....	89
Tablo 4.32 Senaryo 4.2 Çözümünde Talep Tahsisi Kararları	89
Tablo 4.33 Senaryo 4.2 Çözümünde Dağıtım Planı	90
Tablo 4.34 Senaryo 4.3 Çözümüne Ait Temel Performans Kriterleri	91
Tablo 4.35 Senaryo 4.3 Çözümünde Potansiyel Yardım Merkezleri için Kurulum Kararları.....	91
Tablo 4.36 Senaryo 4.3 Çözümünde Talep Tahsisi Kararları	92
Tablo 4.37 Senaryo 4.3 Çözümünde Dağıtım Planı	92
Tablo 4.38 2A-RKP Modeli ile Böl-ve-Fethet Algoritmasının Karşılaştırmalı Sonuçları	95
Tablo E1.1 Örnek Olay - Potansiyel Yardım Merkezleri Arasındaki Süre Matrisi (dk)	113
Tablo E2.1 Örnek Olay - Potansiyel Yardım Merkezleri ve Yardıma İhtiyacı Olan Bölgeler Arasındaki Süre Matrisi (dk).....	114
Tablo E3.1 Örnek Olay - 2 km Motorize Kapsama Alanı için β_{cd} Matrisi.....	115
Tablo E4.1 Örnek Olay- 1 km Motorize Olmayan Kapsama Alanı için ψ_{cd} Matrisi	116
Tablo E5.1 Örnek Olay Parametre Değerleri.....	117
Tablo E6.1 Senaryo 2.2 – 750 m Motorize Olmayan Kapsama Alanı için ψ_{cd} Matrisi	118
Tablo E7.1 Senaryo 2.3 – 1250 m Motorize Olmayan Kapsama Alanı için ψ_{cd} Matrisi	119
Tablo E8.1 Senaryo 3 – 3 km Motorize Kapsama Alanı için β_{cd} Matrisi.....	120

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Rota Kapsama Problemine Ait Bir Çözüm Örneği (Kammoun vd., 2017).....	14
Şekil 1.2 İnsani Yardım Lojistiğinde Rota Kapsama Problemine Ait Bir Çözüm Örneği (Naji-Azimi vd., 2012)	15
Şekil 2.1 “ <i>covering tour</i> ” Araması için Anahtar Kelime Haritası	17
Şekil 2.2 “ <i>covering salesman problem</i> ” Araması için Anahtar Kelime Haritası.....	18
Şekil 2.3 Literatür Taraması Süreç Diyagramı.....	19
Şekil 2.4 Yıllara Göre Makale Sayıları.....	20
Şekil 3.1 2A-RKP’ye Ait Örnek Çözüm.....	48
Şekil 4.1 Üsküdar İlçesi için Potansiyel Yardım Merkezlerinin ve Merkez Deponun Konumu	65
Şekil E9.1 Üsküdar45 Veri Seti için 72 Saatlik Optimalite Açığı Değişimi	121

GİRİŞ

Bir afet sonrasında yürütülen lojistik faaliyetler, afetten etkilenen bireyler için hayati öneme sahiptir. Genel anlamda lojistik; doğru ürünü, doğru fiyata, doğru pazarda, doğru miktarda, doğru müşteriye, doğru zamanda sağlayarak bir organizasyonun başarısına katkıda bulunur. Ayrıca, ekonomik büyüme ve uluslararası rekabet gücüne de olumlu yönde etki eder (Soysal & Bloemhof-Ruwaard, 2017). Ancak insani yardım lojistiğinde, ekonomik büyüme, küresel rekabet vb. konulardan farklı olarak yardıma muhtaç kişilerin acil ve temel ihtiyaçlarının karşılanması gerekliliği söz konusudur. Afet sırasında veya bir felaketin hemen sonrasında yardımların ve ihtiyaç sahiplerinin farklı yerlere yayılması nedeniyle, mağdurlara yardımın kesilmemesi adına kaynakların verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir (Temiz vd., 2025). Kurtarma komuta merkezlerinin kurulması, afet ile ilgili ilk bilgilerin edinilmesi, barınaklar veya yardım merkezleri için uygun konumların belirlenmesi, tahliye rotalarının tespiti, yardım malzemelerinin ulaştırılması, tıbbi, yangın önleme ve acil durum inşaat tesislerinin kurulumu gibi pek çok faaliyetin en hızlı ve en verimli şekilde gerçekleştirilmesi insani yardım lojistiğinin amaçları arasındadır (Naji-Azimi vd., 2012). Fakat, afet sonrası durumlarda ihtiyaç halindeki herkese yardımın ulaştırılması; yolların kapanması, lojistik kaynak yetersizliği ve kısıtlı zaman gibi sebepler ile her zaman mümkün olamamaktadır. Böyle durumlarda; mümkün olduğunca fazla kişiye, mümkün olan en kısa sürede yardımı ulaştırmak adına, yardım merkezlerine belirli bir mesafeden daha yakın konumdaki afetzedelerin, yardım malzemelerini kendi imkânları ile merkezlere ulaşarak doğrudan merkezlerden temin etmelerinin beklenmesi ve eldeki araç filosunun daha uzak bölgelere yardım taşınması için kullanılması sıklıkla uygulanan bir yaklaşımdır. Bu çerçevede, yardım merkezlerinin konumlarına ve araç rotalarına karar verilmesi gerekmektedir. Bu ağ tasarım problemi bir Rota Kapsama Problemi (*Covering Tour Problem* – RKP) olarak tanımlanabilir.

RKP'nin kökeni, tek araçlı bir versiyon olan Kapsayan Satıcı Problemi'ne (*Covering Salesman Problem* – KSP) dayanmaktadır. Bu problem, literatürde ilk

kez 1989 yılında Gezgin Satıcı Problemi'nin (*Traveling Salesman Problem – GSP*) bir uzantısı olarak Current ve Schilling tarafından tanımlanmıştır. Araştırmacılar, satıcının tüm şehirleri gezmesi gerektiği varsayımının, pek çok gerçek hayat rotalama örneği için geçerli olmadığını öne sürmüşlerdir. Örneğin; kırsal bölgelerde hizmet veren mobil sağlık ekiplerinin, sınırlı hizmet süresi içinde tüm köyleri ziyaret etmeleri çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Bu gibi durumlarda, ziyaret edilmeyen köylerde yaşayan bireyler, kendilerine en yakın ziyaret edilen köye giderek sağlık hizmeti alabilmektedir. Benzer bir durum, tek günde teslimat esasına dayalı hava yolu taşımacılığı sistemlerinde de görülmektedir. Bu sistemlerde, zaman kısıtı nedeniyle tüm şehirlerin ziyaret edilmesi mümkün olmadığından, rota dışında kalan şehirlerin talepleri, rota üzerindeki kendilerine en yakın şehir aracılığıyla kara taşımacılığı ile karşılanmaktadır. Bu çerçevede, RKP; rota dışında kalan her bir şehrin, belirli bir kapsama mesafesi içinde yer alan rota üzerindeki bir şehirle eşleştirilmesini ve böylece en düşük maliyetli kapsayıcı rotanın oluşturulmasını amaçlamaktadır. Verilen örneklerle ek olarak bu ağ tasarımı problemi; askeri ve güvenlik uygulamaları (Calvo & Cordone, 2023), Margolis vd., 2022a), banka otomatik vezne makinaları (ATM) için nakit ikmali (Chiussi vd., 2022), kıyı ve deniz ortamlarının çevresel izlenmesi (Ouelmokhtar vd. 2022; Torabi vd., 2023), çöp ve atık toplama (Fischer vd., 2024) gibi pek çok farklı alanda çözümler sunmaktadır, fakat literatürde özellikle insani yardım lojistiğini önemli ölçüde etkileyebilecek başka varyasyonları için hala yer vardır.

Bu çalışmada, afet sonrası durumlarda afetzedelere yardımın daha hızlı ve etkin bir şekilde ulaştırılabilmesi amacıyla, RKP'nin daha gelişmiş bir uzantısı olan Tesis Kapasitesi Kararları ile İki Aşamalı Rota Kapsama Problemi (2A-RKP) ele alınmaktadır. Çalışma kapsamında, süreci daha gerçekçi ve kapsamlı bir şekilde ele almak adına iki aşamalı bir insani lojistik ağı kurgulanmıştır. Problemde, yardıma ihtiyacı olan bölgelerde bulunan afetzedelere, yardım merkezleri aracılığı ile tek tip yardım malzemesi ulaştırılmaktadır. Yardım merkezleri, yalnızca kendilerine önceden belirlenmiş bir uzaklığı aşmayan mesafede bulunan yardıma ihtiyacı olan bölgelerin taleplerini karşılayabilmektedir. Her yardıma ihtiyacı olan bölgenin talebi, yalnızca bir yardım merkezi tarafından

karşılanmaktadır. Ancak yardım merkezlerinin herhangi birinde sorun yaşanmasının yardım malzemelerinin tedarikini etkileyerek ciddi kayıplara yol açmaması adına, her yardıma ihtiyacı olan bölge için, talebini karşılayabilecek belirli sayıda yardım merkezinin kurulmuş olması zorunlu tutulmuştur ve bu varsayıma çoklu kapsama denilmektedir. Yardım merkezlerinin yoğunluk seviyeleri, kendilerine tahsis edilen toplam talep miktarına göre belirlenmektedir. Bu yoğunluk seviyeleri, yardım merkezlerinin kurulum ve elleçleme sürelerini doğrudan etkilemektedir. Ancak yoğunluk seviyesinden bağımsız olarak, her yardım merkezi için sabit bir hazırlık süresi öngörülmektedir. Bu hazırlık süresi, yardım merkezlerinin kurulumuna yönelik olarak merkezi depoda ekip ve ekipman organizasyonunu içermektedir.

Yardım malzemeleri, birinci aşamada merkezi bir depodan yardım merkezlerine döngüsel sefer dağıtım yöntemi ile taşınmakta; ikinci aşamada ise yardım merkezlerinde konumlandırılmış araçlarla, yardıma ihtiyacı olan bölgelere yine aynı yöntemle ulaştırılmaktadır. Yardım merkezlerine olan uzaklığı önceden belirlenmiş bir eşik mesafenin altında kalan bölgelerin talepleri ise araçlarla karşılanmamakta; bu bölgelerdeki bireylerin yardım merkezlerine kendi imkânlarıyla ulaşabilecekleri varsayılmaktadır.

Kurulacak yardım merkezlerinin konumu, yoğunluk seviyeleri, talep tahsisi ile birinci ve ikinci aşama araç rotalarına karar verilen bu problemin amacı; hazırlık, kurulum, elleçleme ve seyahat sürelerinden oluşan toplam operasyon süresinin en küçüklenmesidir. Bu doğrultuda söz konusu problem, Karma Tamsayı Doğrusal Programlama (*Mixed Integer Linear Programming* - KTDP) modeli olarak formüle edilmiştir. Ek olarak, zaman ile yarışılan afet sonrası durumda hızlı ve etkili çözümler elde edebilmek adına KTDP temelli, böl-ve-fethet (*divide-and-conquer*) stratejisini izleyen bir sezgisel çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu çözüm yaklaşımında, ana problem çözülebilir boyuttaki alt parçalara ayrılmakta ve her bir alt problemin çözümünden elde edilen sonuçlar bütünleştirilerek nihai çözüm oluşturulmaktadır.

Geliştirilen 2A-RKP modelinin uygulanabilirliğini ve kullanım sonrası sağlayabileceği faydaları ortaya koymak amacıyla, öncelikle örnek olay verileri üzerinden model test edilmiştir. Türkiye, afet riski yüksek bir coğrafyada yer almakta olup, özellikle büyükşehirlerde olası afetlere yönelik planlamaların önemi giderek artmaktadır. Bu doğrultuda örnek olay için, yüksek deprem riski taşıyan İstanbul ilinin yoğun nüfus yapısına sahip ve lojistik operasyonlar için potansiyel merkez depo noktası olan Haydarpaşa Limanı'na ev sahipliği yapan Üsküdar ilçesi tercih edilmiştir. Ardından, modelin güçlü yönlerini değerlendirmek amacıyla farklı problem parametreleri ile örnek olay çözümü karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş ve bu kapsamda dört farklı senaryo analizi gerçekleştirilmiştir. Önerilen böl-ve-fethet sezgisel algoritmanın performansı ise 16 adet farklı, büyük ölçekli veri setleri üzerinden test edilerek değerlendirilmiştir. Bilindiği kadarıyla ilgili literatürde, aynı anda çoklu kapsama, çok depolu rotalama, iki aşamalı rotalama ve yoğunluğa bağlı değişen tesis kapasiteleri varsayımlarını birlikte ele alan bir çalışma mevcut değildir. Bu bağlamda, gerçek hayata oldukça yakın varsayımlar içeren ve söz konusu problem yapısına özgün bir çözüm sunan bu çalışma, literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmakta ve alana özgün bir katkı sağlamaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde insani yardım lojistiği alanı ile RKP arasındaki ilişki ele alınmakta ve bu problemin insani yardım operasyonlarındaki potansiyel katkılarına değinilmektedir. İkinci bölümde konuya ilişkin mevcut literatür detaylı şekilde sunulmaktadır. Üçüncü bölümde sırasıyla; problem tanımı, geliştirilen matematiksel model ve önerilen sezgisel çözüm yaklaşımı tanıtılmaktadır. Dördüncü bölümde, 2A-RKP modeli ve böl-ve-fethet algoritması için gerçekleştirilen nümerik analizlere yer verilmektedir. Sonuç bölümünde ise, elde edilen bulgular ilgili literatürdeki çalışmalarla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmekte, çalışmanın özgün katkıları ortaya konmakta, ayrıca sınırlılıkları ele alınarak gelecekte gerçekleştirilebilecek araştırmalara yönelik öneriler sunulmaktadır.

1. BÖLÜM

İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİ VE ROTA KAPSAMA PROBLEMİ

İnsani yardım lojistiği, afet ve kriz durumlarında hayati önem taşıyan bir alan olup, bu bölümde öncelikle bu alana ilişkin temel bilgiler sunulmaktadır. Devamında, insani yardım ağlarının etkin şekilde planlanabilmesine katkı sağlayan RKP'ye ilişkin genel tanım, kavramsal çerçeve ve uygulama örneklerine yer verilmektedir.

1.1. İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİ

Afetler küresel ölçekte önemli sayıda can kaybına yol açmakta ve ciddi ekonomik zararlara sebep olmaktadır. Pearce (2000), afeti, "etkilenen bölgenin can kayıplarını önleme, mal ve mülkü koruma, bölgenin sosyal, ekolojik, ekonomik ve politik istikrarını sürdürme kapasitesini aşan olağandışı bir olay" olarak tanımlamaktadır. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından hazırlanan Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü'nde ise afet; "toplumun tamamı veya belli kesimleri için fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplar doğuran, normal hayatı ve insan faaliyetlerini durduran veya kesintiye uğratan, etkilenen toplumun baş etme kapasitesinin yeterli olmadığı doğa, teknoloji veya insan kaynaklı olay" şeklinde tanımlanmakta, ayrıca afetin bir olayın kendisi değil, yol açtığı sonuç olduğu vurgulanmaktadır (AFAD, 2022).

Afetlerin sınıflandırılması ve kayıt altına alınmasına ilişkin kriterler ise uluslararası kuruluşlarca belirlenmektedir. Afetlerin Epidemiyolojisi ve Araştırma Merkezi'ne (*Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* - CRED) göre gerçekleşen bir olayın Uluslararası Afet Veritabanı'nda (EM-DAT) yer alabilmesi aşağıdaki dört kriterden en az bir tanesini karşılaması gerekmektedir:

- 10 veya daha fazla kişinin hayatını kaybetmesi
- 100 veya daha fazla kişinin etkilenmesi
- Acil durum ilan edilmesi

- Uluslararası yardım talep edilmesi

EM-DAT, afetleri doğal ve teknolojik olmak üzere iki ana kategori altında sınıflandırmaktadır. Türkiye’de ise AFAD (2022), afetleri doğal ve insan kaynaklı olmak üzere ayırmakta ve dünyada gözlemlenen afet türlerini beş başlık altında sınıflandırmaktadır:

- Jeolojik (örn. deprem, heyelan)
- Klimatik (örn. sıcak-soğuk dalgaları, kuraklık)
- Biyolojik (örn. erozyon, orman yangınları)
- Sosyal (örn. yangınlar, savaşlar)
- Teknolojik (örn. maden kazaları; biyolojik, nükleer, kimyasal silahlar ve kazalar)

AFAD, bu sınıflandırmaya ek olarak, afetleri ani gelişen (örn. deprem, sel, çığ) ve yavaş gelişen (örn. kuraklık, kıtlık, şiddetli soğuklar) şeklinde de kategorize etmektedir.

Afetlerin niteliği ve şiddeti, insani yardım lojistiği operasyonlarının planlanması ve uygulanması üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Quarantelli (2006), afetlerin yıkıcı olarak nitelendirilip nitelendirilmemesinin lojistik operasyonlar açısından kritik öneme sahip olduğunu ifade etmiş ve yıkıcı afetlerin tipik olarak altı temel özelliğe sahip olduğunu belirtmiştir:

- Topluma ait yapıların büyük kısmının veya tamamının ciddi zarar görmesi ve acil durum tesisleri ile operasyon merkezlerinin işlevlerini yitirmesi
- Yerel yetkililerin rutin görevlerini yerine getiremeyecek hale gelmesi
- Yakın çevredeki topluluklardan yardım sağlanamaması
- Toplumsal işlevlerin çoğunun veya tümünün eş zamanlı ve keskin biçimde kesintiye uğraması

- Kitle iletişim araçlarının felaketleri, afetlerden daha yoğun şekilde sosyal olarak inşa etmesi
- Önceki durumların sonucu olarak siyasal alanın önem kazanması

Wachtendorf vd. (2013), bu altı özelliğe ek olarak toplu kitlesel göçlerin gerçekleşmesini eklemiştir.

Quarantelli (2006), yıkıcı olmayan afetleri önemli düzeyde can kaybı ve altyapı tahribatına rağmen; yerel nüfusun, yetkililerin ve insani yardım kuruluşlarının sonuçlarla baş edebildiği olaylar olarak tanımlamıştır. Bu tür afetlerde müdahaleye katılan aktörlerin sayısı daha sınırlı kalmakta; kamu ve özel sektör arasındaki etkileşim daha düşük seviyede seyretmekte ve kurumların hareket serbestisi ile özerkliği daha yüksek olmaktadır. Bu nedenle, yıkıcı olmayan afetler sonrasında ihtiyaç sahiplerine yardım ulaştırmak genellikle daha kolay ve organize edilebilir bir süreçtir (Wachtendorf vd., 2013).

Özellikle yıkıcı ve ani gelişen afetler sonrasında, hızlı ve etkili bir müdahale gerekliliği, insani yardım lojistiğinin önemini daha da arttırmaktadır. Ticari tedarik zincirlerinden farklı olarak, insani yardım tedarik zincirleri; amaç, arz ve talep özellikleri, tedarik edilen ürünlerin türü, tedarik süreleri, teslimat ağı yapısı, envanter kontrolü, teknoloji ve bilgi sistemleri, performans ölçüm yöntemleri, kullanılan ekipmanlar ve araçlar, insan kaynakları ile paydaşlar gibi birçok unsur açısından farklılık göstermektedir. Bu farklılıkların temelinde, insani yardım operasyonlarının doğası gereği doğrudan insan hayatını etkilemesi ve zaman baskısı altında yürütülen bir yapıya sahip olması yer almaktadır (Van Wassenhove, 2006).

İnsani yardım operasyonlarının %80'ini lojistik faaliyetler oluşturmaktadır (Trunick, 2005). Bu nedenle, insani yardım lojistiği, ticari lojistik ağlarına kıyasla daha karmaşık ve zorlu bir yapıya sahiptir. Örneğin, ticari lojistik ağlarında temel amaç kârın en büyüklenmesi iken, insani yardım lojistiğinde amaç, hayat kurtarmak ve ihtiyaç halindeki kişilere en kısa sürede yardım ulaştırmaktır (Ertem vd., 2010).

Beamon ve Balcik (2008), insani yardım tedarik zincirlerindeki performans ölçümünü ticari tedarik zincirleri ile karşılaştırmış ve insani yardım operasyonlarının etkin ve verimli bir şekilde ilerleyebilmesi için çeşitli performans ölçüm kriterleri önermiştir. Benzer şekilde Lu vd. (2016) insani yardım lojistiği açısından kritik öneme sahip temel performans göstergelerini belirlemişlerdir. Araştırmacılar temel performans kriterlerini ölçüm zorluklarına ve önem derecelerine göre altı kategoride Tablo 1.1’de verildiği şekilde sınıflandırmışlardır. Tablo 1.1’e göre, “tam ve zamanında teslimat”, “tedarik süresi” ve “stok seviyesi” gibi göstergeler hem ölçülmesi kolay hem de yüksek öneme sahip kriterler arasında yer almaktadır. Buna karşılık, “tedarik zinciri maliyetleri” ve “risk azaltma maliyetleri” ölçüm açısından zorluk taşımakla birlikte yüksek önem düzeyine sahip performans göstergeleri olarak tanımlanmıştır. Diğer yandan, “esneklik” ve “yönetim maliyeti” gibi unsurlar ise genellikle daha düşük önemde değerlendirilmiş ve ölçülmesi zor kriterler olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma, insani yardım lojistik operasyonlarında kaynakların ve operasyonel önceliklerin hangi alanlara yönlendirilmesi gerektiğine ilişkin karar verme süreçlerine önemli bir katkı sunmaktadır.

Tablo 1.1 İnsani Yardım Lojistiğinde Temel Performans Kriterleri (Lu vd., 2016)

	Ölçümü Zor Değil	Ölçümü Zor	Ölçümü Çok Zor
Çok Önemli	-Tam ve zamanında teslim edilen ürün yüzdesi -Tedarik döngü süresi -Eldeki stok miktarı -Satın alma sipariş döngü süresi	-Doğru belgelendirme -Tam sipariş karşılama -Kusursuz ürün durumu yüzdesi -Sipariş karşılama döngü süresi -Stokta bulunma yüzdesi -Dış olaylara müdahale kapasitesi -Ürün envanterini yönetme maliyeti	-Tedarik zinciri yönetim maliyeti -Planlama maliyeti -Tedarik etme maliyeti -Teslimat maliyeti -Tedarik zinciri risk azaltma maliyeti
Daha Az Önemli		-Risk azaltma planı -Montaj döngü süresi -Teslimat döngü süresi	-Tedarik zinciri esnekliğinde artış -Tedarik esnekliğinde artış -Teslimat esnekliğinde artış -Tedarik zinciri performansını yönetme maliyeti

Altay vd. (2009) afet yönetimini dört temel aşama çerçevesinde ele alarak, her aşamada yapılması gerekenler ile bu görevlerin yerine getirilebilmesi için gerekli araçları tanımlamışlardır. Bu dört aşama sırasıyla: stratejik planlama, hazırlık, afet öncesi müdahale ve afet sonrası müdahale olarak belirlenmiştir.

- **Stratejik Planlama Aşaması:** Toplumun ihtiyaçlarının belirlenmesi, olası afet senaryolarının tahmin edilmesi ve koordinasyon planlarının geliştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, lojistik hizmet sağlayıcı seçim kriterlerinin tanımlanması, fonksiyonlar arası ekiplerin oluşturulması ve tedarik zinciri boyunca güven ile bağlılığın teşvik edilmesi önemlidir. Bu süreçte, tedarik zinciri yönetim stratejileri ile insani yardım lojistiğine özgü stratejik planlama araçları kullanılmaktadır.
- **Hazırlık Aşaması:** Tedarikçi ve lojistik hizmet sağlayıcı seçimi, depo yerleşimi, veri toplama süreçleri, farklı senaryoların değerlendirilmesi ve belirsizlik analizleri gibi görevler öne çıkmaktadır. Bu görevlerin

yürütülmesinde stokastik optimizasyon yöntemleri etkin şekilde kullanılabilir.

- Afet Öncesi Müdahale Aşaması: Afetle ilgili veri toplama, tahliye ve satın alma planlarının hazırlanması, depolar arası malzeme transferlerinin planlanması ve genel lojistik hazırlıkların yapılması gerekmektedir. Bu kararların alınmasında karar analizi yöntemleri temel araçlardır.
- Afet Sonrası Müdahale Aşaması: Hasar durumuna ilişkin veriler toplanmalı, talep noktaları ve bu noktalardaki öncelikli ihtiyaçlar ile mevcut tedarik kanalları analiz edilmelidir. Bu aşamada etkin bir yardım dağıtımı için rotalama ve çizelgeleme uygulamaları devreye girmekte ve çizelgeleme ile optimizasyon yöntemlerinden yararlanılabilmektedir.

Türkiye, pek çok afet türünün sıklıkla yaşandığı bir coğrafyada yer almaktadır ve Küresel Risk Endeksi'ne göre yüksek risk grubundaki ülkeler arasındadır. Bu nedenle, afet yönetimi faaliyetleri Türkiye'de oldukça büyük bir önem taşımaktadır. AFAD'ın 2018 yılında hazırladığı Türkiye'de Afet Yönetimi ve Doğa Kaynaklı Afet İstatistikleri Raporu'na göre 1900 senesinden bu yana gerçekleşen 77 büyük deprem ile Türkiye, dünya genelinde dördüncü sırada yer almaktadır ve sismik açıdan en riskli ülkeler arasındadır. 2023 yılında dünya genelinde 399 afet meydana gelmiş ve bunlar sonucunda 84.743 kişi hayatını kaybetmiştir. Ortalama 18 milyon kişinin etkilendiği Kahramanmaraş depreminde ise 56.683 kişi hayatını kaybetmiştir (EM-DAT, 2023). Bu istatistikler göz önünde bulundurulduğunda, Türkiye'de afet öncesi hazırlık ve afet sonrası müdahale süreçlerinin etkin bir şekilde planlanması hayati önem taşımaktadır. Özellikle Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde yer alan ve olası bir büyük depremin beklendiği İstanbul gibi mega kentlerde, insani yardım lojistiğine ilişkin planlama ve uygulamaların bilimsel yaklaşımlarla desteklenmesi, can kayıplarını en aza indirmek ve kriz yönetimini etkinleştirmek açısından kritik bir gerekliliktir.

Bu çalışmada, afet sonrası müdahale süreci üzerine odaklanılmıştır. Afetlerin ardından yardımın ihtiyaç sahiplerine hangi noktalardan ulaştırılacağı sorusu, hızlı ve etkili müdahale açısından kritik bir karar problemidir. Gerçekleşen afetin

türü ve şiddetine bağlı olarak, kurulacak yardım merkezlerinin hizmet verebileceği alanlar da farklılık gösterebilmektedir. Örneğin, yüksek şiddetli bir depremin ardından, yardım merkezleri yalnızca sınırlı bir coğrafi alanda hizmet sunabilirken; yol durumu, altyapı hasarları ve lojistik kaynakların kısıtlılığı gibi etkenler, yardımın ulaştırılabileceği bölgeleri doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda, afet sonrası müdahale sürecinde mümkün olan en kısa sürede, mümkün olan en fazla sayıda kişiye yardım ulaştırılması temel hedef olmaktadır. Altay vd. (2009) de vurguladığı üzere, bu hedefe ulaşmada optimizasyon temelli yaklaşımlar, afet yönetimi karar süreçlerinde etkili ve uygun araçlar sunmaktadır. Afet sonrası koşullarında, her bölgeye doğrudan ulaşımın mümkün olmaması sık karşılaşılan bir durumdur. Ancak, ziyaret edilemeyen bölgelerin de yardım alabilmesi için, ziyaret edilen bölgeler tarafından kapsanması gerekmektedir. Bu doğrultuda, kısıtlı zaman ve kaynaklar altında, hangi konumlarda yardım merkezlerinin kurulacağı, hangi sıra ile hangi yardıma ihtiyacı olan bölgelerin ziyaret edileceği gibi kararlar, insani yardım lojistiği kapsamında kritik önem taşıyan bir ağ tasarımı problemi olarak ortaya çıkmaktadır. Söz konusu problem yapısı, literatürde RKP olarak tanımlanmakta olup, ziyaret edilemeyen bölgelerin kapsanabilirliğini esas alan etkili bir yaklaşım sunmaktadır.

1.2. ROTA KAPSAMA PROBLEMİ

Yöneylem araştırması kapsamında en çok çalışılan, zor problemlerden biri GSP'dir. Belirli sayıda şehir ve her bir şehir arasında seyahat etmenin maliyetinin verildiği bu problemde amaç, en az maliyet ile tüm şehirlerin yalnızca bir kere ziyaret edildiği ve başlangıç noktasına geri dönülerek turun sonlandırıldığı bir Hamilton yolu oluşturmaktır (Laporte & Martin, 2007).

GSP, rotalama problemlerinin temelini oluşturmakla birlikte, her noktanın mutlaka ziyaret edilmesi gerektiği varsayımı nedeniyle, bazı gerçek hayat uygulamalarında yetersiz kalmaktadır. Bu duruma alternatif olarak geliştirilen KSP, yalnızca belirli noktaların ziyaret edilmesini ve bu noktaların belirli bir mesafe içerisindeki diğer noktaları da kapsamasını esas alır. Bu kapsama yaklaşımı, özellikle hizmet sunumunun zaman, maliyet veya erişilebilirlik

açısından sınırlı olduğu durumlar için daha gerçekçidir. İlk olarak 1981 yılında Current tarafından kavramsal olarak ortaya atılan bu problem, 1989 yılında Current ve Schilling tarafından matematiksel olarak modellenmiş ve rotalama literatüründe önemli bir yer edinmiştir. KSP, yalnızca ziyaret edilen noktaları değil, aynı zamanda kapsama ilişkilerini de optimizasyon sürecine dahil etmesi bakımından klasik GSP'den ayrılmaktadır. Bu yönüyle KSP, sağlık, güvenlik ve kamu hizmetleri gibi alanlarda sıkça karşılaşılan gerçek dünya problemlerinin modellenmesinde etkili bir araç olarak değerlendirilmektedir.

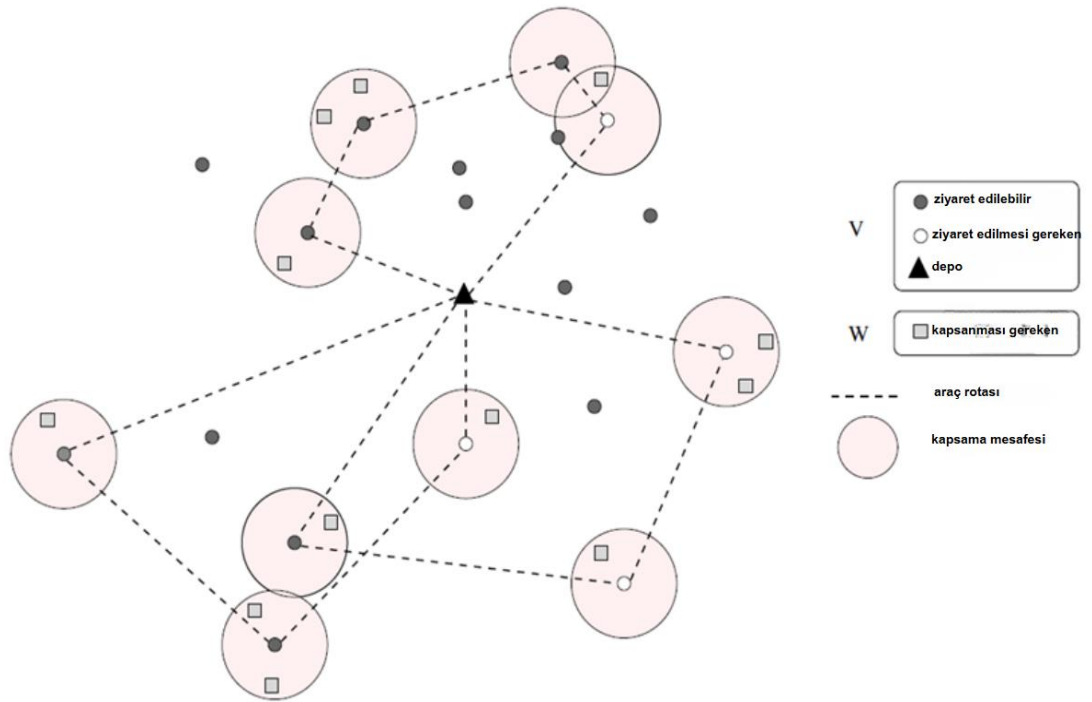
1994 senesinde yine Current ve Schilling, problemin iki çok amaçlı varyantını literatüre kazandırmışlardır. Ortalama Rota Problemi (*Median Tour Problem – ORP*) isimli ilk varyantta amaçlardan ilki, rotanın toplam uzunluğunu en küçükleme iken ikinci amaç, kapsanan bir nokta ile ona en yakın ziyaret edilen nokta arasındaki en büyük mesafeyi (bu mesafe “*kapsama*” olarak adlandırılmıştır) en küçükleme iken. Tanıttıkları ikinci varyant ise Maksimum Rota Kapsama Problemi (*Maximal Covering Tour Problem – MRKP*) olarak adlandırılmıştır. Bu problemin amaçlarından ilki, rotanın toplam uzunluğunu en küçükleme iken; ikinci amacı da karşılanmayan talebi en küçükleme iken. Araştırmacılar, her iki varyantın uygulama alanlarını özellikle kırsal bölgelerde hizmet veren mobil sağlık ekipleri üzerinden örneklendirmişlerdir. Operasyon süresini ya da maliyetleri azaltmak adına, bu ekipler yalnızca belirli köyleri ziyaret etmekte; rota dışında kalan köylerde yaşayan bireyler ise, sağlık hizmetine erişimlerini kendilerine en yakın ziyaret edilen köye ulaşarak sağlamaktadır. Bu doğrultuda; eğer karar verme sürecinde, ziyaret edilmeyen bölgelerdeki bireylerin rota üzerindeki köylere ortalama erişim süresi dikkate alınıyorsa ORP uygun bir yaklaşım sunmaktadır. Öte yandan, ziyaret edilmeyen bireylerin seyahat edebileceği belirli bir maksimum mesafe sınırı varsa, MRKP tercih edilmelidir. Gendreau vd. (1997) RKP için matematiksel model geliştirmişlerdir. Araştırmacılar problemi $G = (V \cup W, E)$ yönsüz grafiğinde tanımlamıştır. $V = \{v_1, \dots, v_n\}$, ziyaret edilebilecek düğümler kümesidir, düğüm v_1 depodur ve $T \subseteq V$, $(v_1 \in T)$ ise mutlaka ziyaret edilmesi gereken düğümler kümesidir. $W = \{w_1, \dots, w_n\}$ ise kapsanması gereken düğümler kümesidir. $E = \{(v_i, v_j): v_i, v_j \in$

$V \cup W, i < j$, yol kümesini temsil etmektedir. E kümesinde tanımlanan bir mesafe matrisi $C = (c_{ij})$ mevcuttur ve bu matris üçgen eşitsizliğini sağlamaktadır:

$$c_{ij} \leq c_{ik} + c_{kj} \quad \forall (i, j) \in E, k \in V: k \neq i, j$$

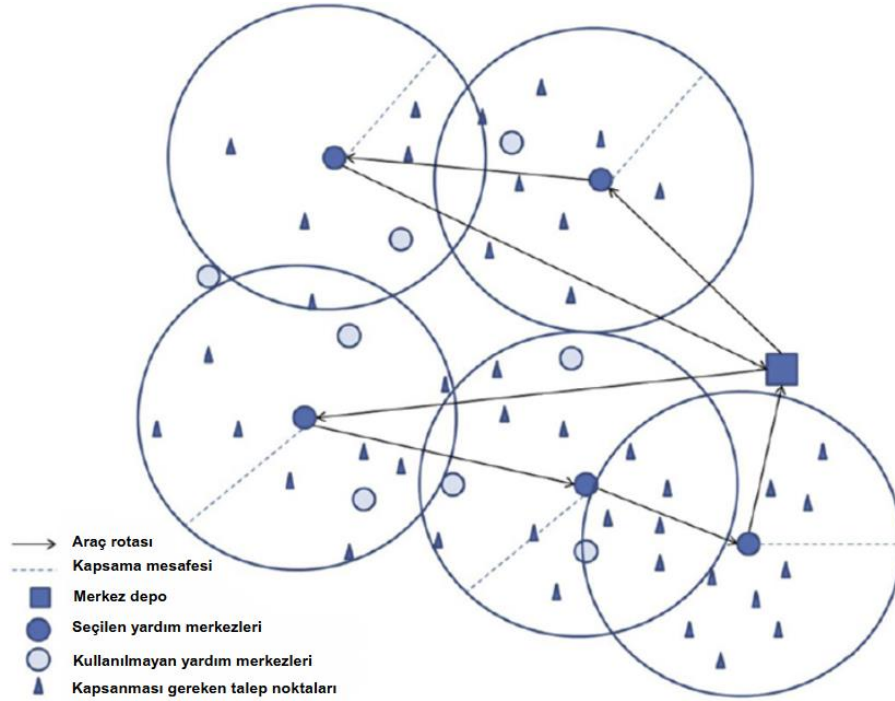
RKP'de, V alt kümesinde tanımlanan T kümesindeki tüm düğümlerin rotada mevcut olduğu ve W kümesindeki, rotadaki herhangi bir noktaya kapsama mesafesinde olan tüm düğümlerin kapsandığı minimum uzunlukta bir tur oluşturulması hedeflenmektedir. RKP kapsama mesafesi 0 olduğunda ve W kümesindeki tüm düğümler V kümesinde mevcut olduğunda GSP'ye dönüşmektedir. Bu nedenle bu problem NP – zor sınıfında yer almaktadır.

Şekil 1.1'de RKP'ye ait örnek bir çözüm yer almaktadır. Örnek çözümde yer alan lojistik ağındaki düğümler, ziyaret edilebilir olanlar, mutlaka ziyaret edilmesi gerekenler ve mutlaka kapsanması gerekenler olarak üçe ayrılmıştır. Araçlar seyahatlerine depodan başlamakta ve seyahatlerini depoda bitirmektedir. Ziyaret edilmesi gereken noktaların tamamına araçların uğradığı, ziyaret edilebilir noktaların bir kısmının da gezildiği görülmektedir. Ek olarak, kapsanması gereken noktaların tamamı, ziyaret edilen noktaların kapsama mesafesi içerisinde kalmış ve böylece hepsi kapsanabilmiştir.



Şekil 1.1 Rota Kapsama Problemine Ait Bir Çözüm Örneği (Kammoun vd., 2017)

RKP'nin insani yardım lojistiği uygulamalarında da yaygın şekilde kullanıldığı görülmektedir. Afet sonrası senaryolarda, afetzedelere hizmet vermek amacıyla kurulan yardım merkezlerine yardım malzemelerinin ulaştırıldığı bir lojistik ağ yapısında; yardım merkezleri, ziyaret edilmesi gereken düğümler; afetzedelerin bulundukları bölgeler ise kapsanması gereken düğümler olarak ele alınmaktadır. Şekil 1.2'de, bu tür bir insani yardım lojistik ağına ait örnek bir çözüm sunulmaktadır. Örnekte, mevcut yardım merkezleri arasından beş tanesinin seçilerek aktif olarak hizmet verdiği görülmektedir. Yardım malzemeleri, merkezi bir depodan seçilen yardım merkezlerine araçlar aracılığıyla ulaştırılmaktadır. Tüm talep noktaları ise, kapsama mesafesi içerisinde yer aldıkları bir yardım merkezinden ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir.



Şekil 1.2 İnsani Yardım Lojistiğinde Rota Kapsama Problemine Ait Bir Çözüm Örneği (Naji-Azimi vd., 2012)

Afet sonrası operasyonlara özgü dinamikler dikkate alındığında, RKP yaklaşımı hem teorik hem pratik düzlemde önemli avantajlar sunmaktadır. Özellikle kaynakların sınırlı, zamanın kritik ve erişimin kısıtlı olduğu insani yardım senaryolarında, tüm ihtiyaç sahiplerinin ziyaret edilmesinin mümkün ya da gerekli olmadığı durumlarda kapsama temelli yaklaşımlar, maliyet etkinliği ve operasyonel verimlilik açısından öne çıkmaktadır. Bu çerçevede, RKP ve türevleri; yardım merkezlerinin konumlandırılması, kaynakların dağıtımı ve hizmet alanlarının optimizasyonu gibi insani yardım lojistiğine özgü temel karar problemlerine doğrudan katkı sunma potansiyeline sahiptir. Bu kapsamda, bu çalışmada önerilen modelleme yaklaşımı ve çözüm yöntemi, RKP ve türevlerinin çözümüne ve insani yardım lojistiği uygulamalarına yönelik anlamlı ve uygulanabilir çıktılar üretmeyi amaçlamaktadır.

2. BÖLÜM

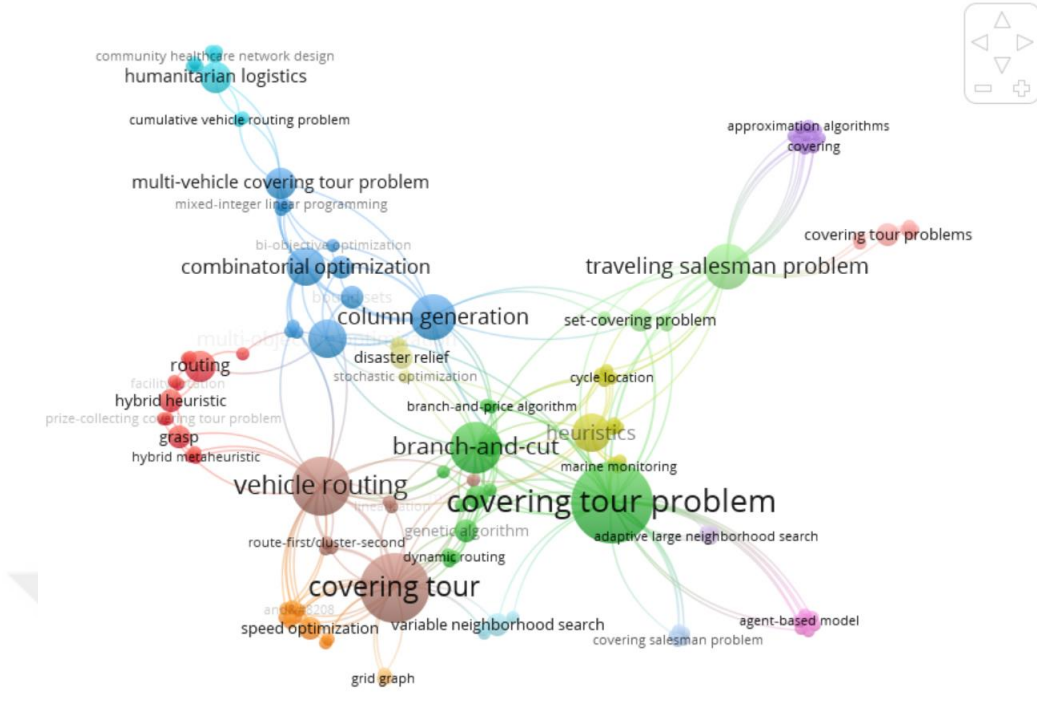
LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde öncelikli olarak bu çalışma kapsamında ele alınan rota kapsama problemi ile ilgili literatürün betimsel analizi yapılmaktadır. Ardından, literatürde yer alan çalışmalarda ele alınan matematiksel modellerin detaylı bir incelemesi sunulmaktadır. Bölümün sonunda ise, bu çalışmanın literatüre sağladığı özgün katkılara yer verilmektedir.

2.1. İLGİLİ LİTERATÜRÜN BETİMSSEL ANALİZİ

Bu çalışma kapsamında yürütülen literatür taraması “Web of Science” veri tabanı üzerinden gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, “*covering tour*” anahtar kelimesi ile tüm kategoriler (*All Fields*) üzerinden bir arama gerçekleştirilmiş ve yalnızca makaleler filtrelenmiştir. Arama sonucunda ulaşılan 50 çalışmadan bir tanesi, Portekizce yazılmış olması nedeniyle; bir diğeri ise, asıl makaleye ait veri makalesi niteliğinde olduğundan kapsam dışı bırakılmıştır. Böylece inceleme, 48 makale üzerinden yürütülmüştür.

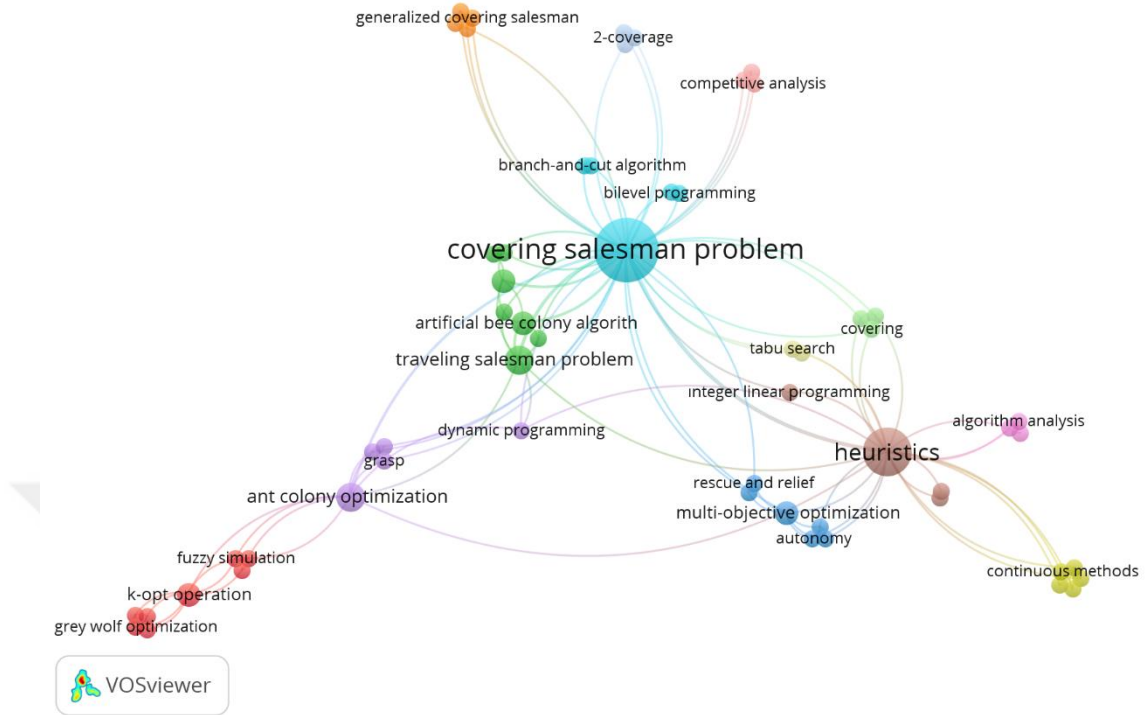
Şekil 2.1’de söz konusu 48 makale için “VOSviewer” uygulaması üzerinden yapılan anahtar kelime haritası verilmiştir. Harita incelendiğinde, ilgili problemlerin hem dal-ve-kesme (*branch-and-cut*) ve dal-ve-ücret (*branch-and-price*) gibi kesin çözüm yöntemleri ile, hem de değişken komşu arama algoritması (*variable neighborhood search*), açgözlü rastgele uyarlanabilir arama algoritması (*greedy randomized adaptive search procedure* - GRASP) gibi sezgisel yaklaşımlar ile ele alındığı görülmektedir. Haritada dikkat çeken bir diğer unsur ise, insani yardım lojistiği (*humanitarian logistics*) kavramının belirgin şekilde öne çıkmasıdır. Bu durum, RKP’nin insani yardım uygulamalarıyla olan güçlü bağıını da desteklemektedir.



Şekil 2.1 “covering tour” Araması için Anahtar Kelime Haritası

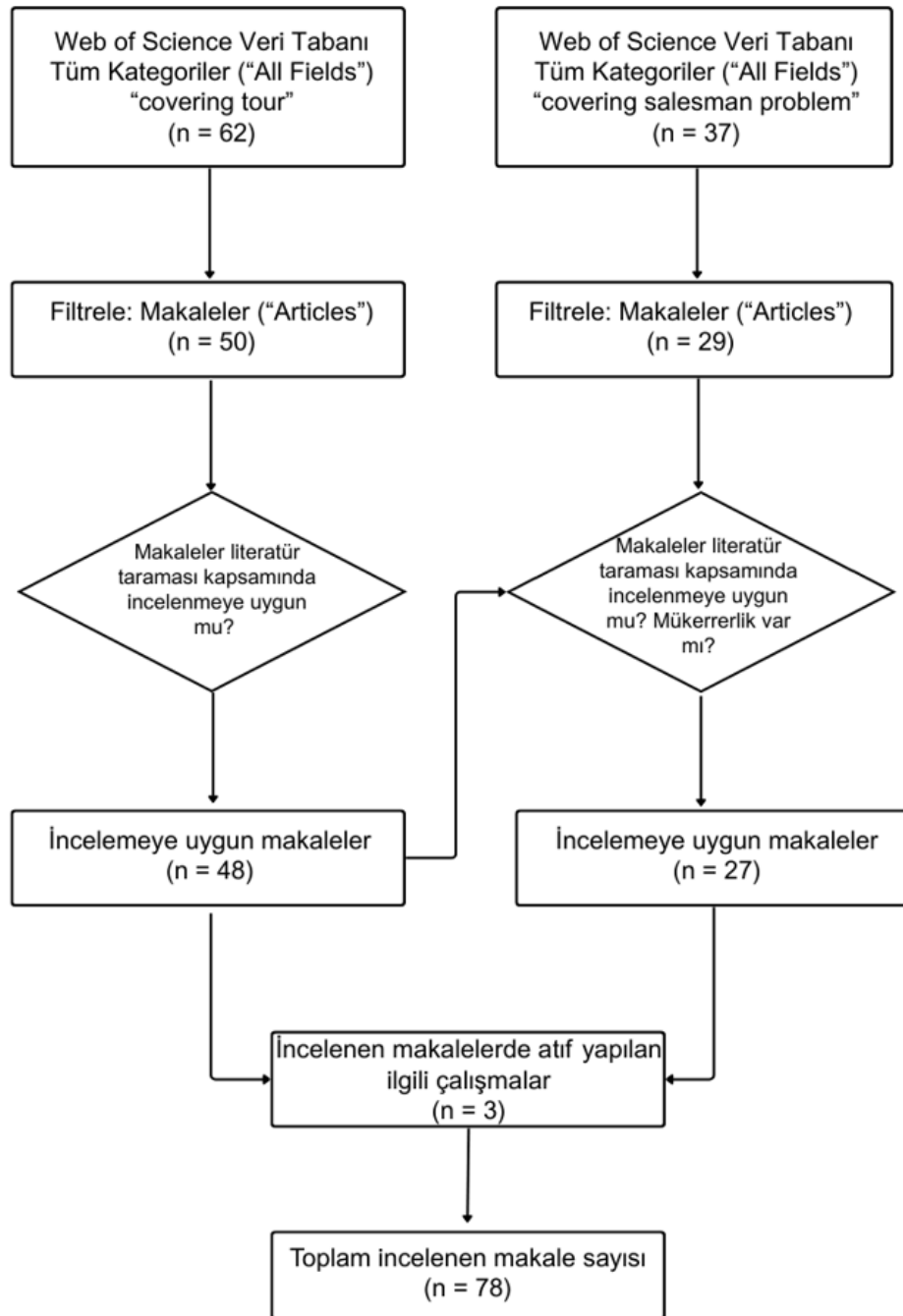
Literatür taramasının ikinci aşamasında, “covering tour” anahtar kelime haritasında da mevcut olan “covering salesman problem” anahtar kelimesi ile “Web of Science” veri tabanında tüm kategoriler (*All Fields*) kapsamında bir arama gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda elde edilen çalışmalar, önceki aşamada “covering tour” anahtar kelimesiyle yapılan aramada yer alanlarla karşılaştırılmış ve tekrar edenler hariç tutulmuştur. Bu elemeler sonucunda, toplam 27 makale detaylı incelemeye alınmıştır.

Şekil 2.2’de incelenen 27 makale için “VOSviewer” uygulaması üzerinden yapılan anahtar kelime haritası yer almaktadır. Haritada özellikle, problemin çözümünde kullanılan tabu arama algoritması (*tabu search*) ve arı kolonisi optimizasyonu (*ant colony optimization*) gibi çeşitli sezgisel yaklaşımlar dikkat çekmektedir. Buna ek olarak, insani yardım lojistiği ile doğrudan ilişkili olan “arama kurtarma ve yardım” (*rescue and relief*) ifadesi de öne çıkan kavramlardan biridir. Bu durum, ilgili problemin insani yardım uygulamalarındaki yerini bir kez daha ortaya koymaktadır.



Şekil 2.2 “*covering salesman problem*” Araması için Anahtar Kelime Haritası

Söz konusu makalelerin incelenmesi sürecinde, bu çalışmalarda atıf yapılan ve konu ile doğrudan ilişkili olduğu değerlendirilen üç ek çalışma daha literatür taramasına dahil edilmiştir. Böylece, bu kapsamda incelenen toplam makale sayısı 78’e ulaşmıştır. Şekil 2.3’te bu literatür taramasına ilişkin süreç diyagramı sunulmuştur.

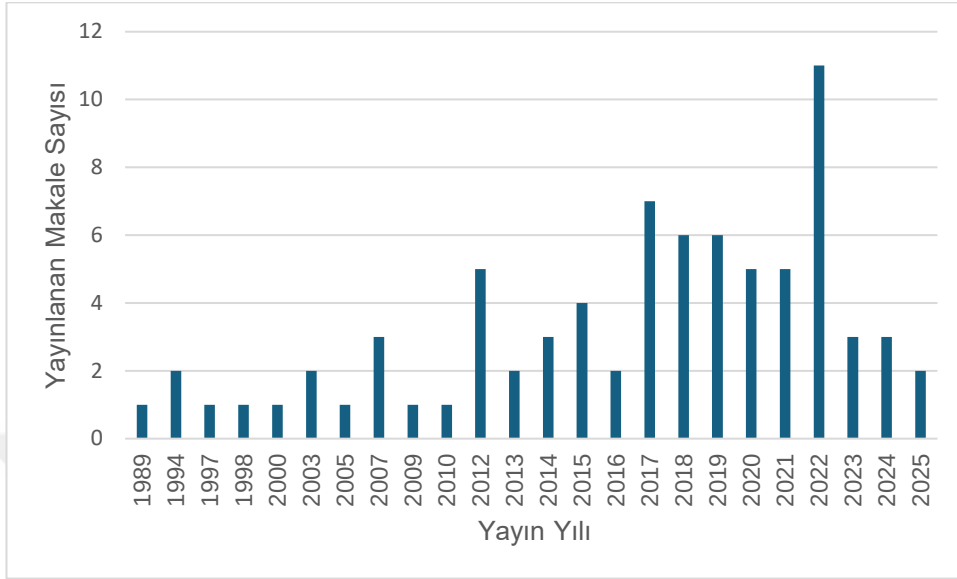


Not: "n" makale sayısını temsil etmektedir.

Şekil 2.3 Literatür Taraması Süreç Diyagramı

Şekil 2.4'te incelenen çalışmaların yayın yıllarına göre dağılımı sunulmaktadır. Şekil incelendiğinde, özellikle 2012 yılından itibaren RKP üzerine yapılan çalışmaların belirgin şekilde artış gösterdiği ve izleyen yıllarda da bu eğilimin devam ettiği gözlemlenmektedir. Literatürde en fazla sayıda yayının 2022 yılında

gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu durum, RKP'nin güncel araştırma alanlarında artan önemine işaret etmektedir.



Şekil 2.4 Yıllara Göre Makale Sayıları

Bu çalışma kapsamında ele alınan makalelerin yayınlandıkları dergilerin 2023 etki faktörlerine bakıldığında, kendi kategorilerinde yüksek etki faktörü olan dergilerin mevcut olduğu Tablo 2.1'de görülmektedir.

Tablo 2.1 İncelenen Makalelerin Yer Aldıkları Dergilerin 2023 Yılı Etki Faktörleri

Derginin Adı	2023 Yılı Etki Faktörü	Kategori	Kategori Çeyreği	Makale Sayısı
IEEE TRANSACTIONS ON CYBERNETICS	9,4	Bilgisayar Bilimi, Yapay Zeka	Q1	1
TRANSPORTATION RESEARCH PART C-EMERGING TECHNOLOGIES	7,6	Ulaştırma Bilimi ve Teknolojisi	Q1	1
APPLIED SOFT COMPUTING	7,2	Bilgisayar Bilimi, Disiplinlerarası Uygulamalar	Q1	3
COMPUTERS ENVIRONMENT AND URBAN SYSTEMS	7,1	Çevre Çalışmaları	Q1	2
COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING	6,7	Yöneylem Araştırması & İşletme Bilimi	Q1	4
IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY	6,1	Ulaştırma Bilimi ve Teknolojisi	Q1	1
EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH	6	Yöneylem Araştırması & İşletme Bilimi	Q1	8
INTERNATIONAL JOURNAL OF PHYSICAL DISTRIBUTION & LOGISTICS MANAGEMENT	5,9	İşletme	Q1	1
PRODUCTION AND OPERATIONS MANAGEMENT	4,8	Yöneylem Araştırması & İşletme Bilimi	Q1	1
NEURAL COMPUTING & APPLICATIONS	4,5	Bilgisayar Bilimi, Yapay Zeka	Q2	2
ANNALS OF OPERATIONS RESEARCH	4,4	Yöneylem Araştırması & İşletme Bilimi	Q1	3
APPLIED MATHEMATICAL MODELLING	4,4	Matematik, Disiplinlerarası Uygulamalar	Q1	2
COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH	4,1	Yöneylem Araştırması & İşletme Bilimi	Q1	10
JOURNAL OF AMBIENT INTELLIGENCE AND HUMANIZED COMPUTING	3,6	Bilgisayar Bilimi, Yapay Zeka	Q2	1
JOURNAL OF REGIONAL SCIENCE	3,2	Ekonomi	Q1	1
INTERNATIONAL TRANSACTIONS IN OPERATIONAL RESEARCH	3,1	Yöneylem Araştırması & İşletme Bilimi	Q2	2
JOURNAL OF INTELLIGENT & ROBOTIC SYSTEMS	3,1	Bilgisayar Bilimi, Yapay Zeka	Q2	1
SOFT COMPUTING	3,1	Bilgisayar Bilimi, Yapay Zeka	Q2	1

Derginin Adı	2023 Yılı Etki Faktörü	Kategori	Kategori Çeyreği	Makale Sayısı
JOURNAL OF THE OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY	2,7	Yöneylem Araştırması & İşletme Bilimi	Q2	3
EURO JOURNAL ON COMPUTATIONAL OPTIMIZATION	2,6	Yöneylem Araştırması & İşletme Bilimi	Q2	1
KNOWLEDGE AND INFORMATION SYSTEMS	2,5	Bilgisayar Bilimi, Bilişim Sistemleri	Q2	1
APPLIED SCIENCES -BASEL	2,5	Mühendislik, Çok Disiplinli	Q2	1
INFORMS JOURNAL ON COMPUTING	2,3	Yöneylem Araştırması & İşletme Bilimi	Q2	1
OPERATIONS RESEARCH	2,2	Yöneylem Araştırması & İşletme Bilimi	Q2	1
INFORMATION SCIENCES	2,09	Bilgisayar Bilimi, Bilişim Sistemleri	Q1	1
RAIRO-OPERATIONS RESEARCH	1,8	Yöneylem Araştırması & İşletme Bilimi	Q3	4
4OR-A QUARTERLY JOURNAL OF OPERATIONS RESEARCH	1,7	Yöneylem Araştırması & İşletme Bilimi	Q3	1
NETWORKS	1,6	Yöneylem Araştırması & İşletme Bilimi	Q3	5
OPSEARCH	1,4	Yöneylem Araştırması & İşletme Bilimi	Q3	1
OR SPECTRUM	1,4	Yöneylem Araştırması & İşletme Bilimi	Q3	1
OPTIMIZATION LETTERS	1,3	Uygulamalı Matematik	Q2	2
SIAM JOURNAL ON COMPUTING	1,2	Uygulamalı Matematik	Q2	1
ASIA-PACIFIC JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH	1,1	Yöneylem Araştırması & İşletme Bilimi	Q4	1
INTERNATIONAL JOURNAL OF INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS RESEARCH	1,1	Ulaştırma Bilimi ve Teknolojisi	Q3	1
JOURNAL OF HEURISTICS	1,1	Bilgisayar Bilimi, Teorisi ve Yöntemleri	Q3	1
INTERNATIONAL JOURNAL ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE TOOLS	1	Bilgisayar Bilimi, Disiplinlerarası Uygulamalar	Q4	1
DISCRETE APPLIED MATHEMATICS	1	Uygulamalı Matematik	Q3	1
JOURNAL OF COMBINATORIAL OPTIMIZATION	0,9	Uygulamalı Matematik	Q3	1
COMPUTATIONAL GEOMETRY-THEORY AND APPLICATIONS	0,4	Matematik	Q4	2
SPREADSHEETS IN EDUCATION	0,2	Eğitim & Eğitim Araştırmaları	Q4	1

2.2. İLGİLİ LİTERATÜRDEKİ MATEMATİKSEL MODELLERİN ANALİZİ

Bu bölümde, ilgili literatürde incelenen makalelerde yer alan matematiksel modeller kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir. İlk bölümde, incelenen matematiksel modeller içerdikleri amaç fonksiyonları ve çözüm yöntemleri bakımından kategorize edilmiştir. İkinci bölümde ise, matematiksel modellerde yer alan başlıca karar değişkenleri, kısıtlar ve varsayımlar ele alınmıştır.

2.2.1. Matematiksel Modellerin Amaç Fonksiyonları ve Çözüm Yöntemleri

Bu çalışma kapsamında incelenen 78 makaleden beşi analitik çalışma [(Arkin & Hassin, 1994); (Foulds vd., 2003); (Arkin vd., 2005); (Arkin vd., 2009); (Dumitrescu & Jiang, 2015)], bir tanesi ise literatür taraması (Laporte & Martin, 2007) niteliğindedir. Bu nedenle, söz konusu çalışmalar bu analizin dışında tutulmuştur. Geriye kalan ve matematiksel model içeren 72 çalışma; problem tipi, matematiksel modelin türü, araç tipi ve amaç fonksiyonu tipine göre Tablo 2.2’de görülebileceği şekilde kategorize edilmiştir. Ayrıca, çalışmalarda ele alınan problemlerin amaçlarının ne olduğu ile geliştirilen çözüm yöntemi ve nümerik analizler için kullanılan veri tipine de tabloda yer verilmiştir.

İncelenen çalışmalarda yer alan matematiksel modellerin %60’ını Tamsayılı Doğrusal Programlama (*Integer Linear Programming* – TDP) modelleri oluşturmaktadır [örn. (Ota vd., 2023); (Maziero vd., 2023); (Parsons vd., 2024)]. Onu takiben %11 ile Karma Tamsayılı Programlama (*Mixed Integer Programming* – KTP) modelleri gelmektedir [örn. (Chiussi vd., 2022); (Ouelmokhtar vd., 2022); (Oliveira vd., 2025)]. %8 oranında Tamsayılı Programlama (*Integer Programming* – TP) modeli mevcuttur [örn. (Salari & Naji-Azimi, 2012); (Jozefowicz, 2014); (Torabi vd., 2025)]. Bu çalışma kapsamında önerilen matematiksel modelin de dahil olduğu KTDP modelleri ise incelenen literatürün yaklaşık %6’sını oluşturmaktadır [örn. (Amiri & Salari, 2019); (Masone vd., 2022); (Fischer vd., 2024)].

İncelenen çalışmaların %53'ü tek araç içeren bir problemi ele alırken, %47'si çok araçlı bir problem içermektedir. Buna ek olarak; ele alınan matematiksel modellerin %80'inde tek bir amaç fonksiyonu bulunmakta iken, %20'sinde çok amaçlı bir problem ele alınmıştır. Tek amaç fonksiyonu içeren makalelerde genellikle rotanın toplam uzunluğunun veya maliyetinin en küçüklenmesi amaçlanmıştır. Karşılanan toplam talebin en büyüklenmesi de yine tek amaç fonksiyonu içeren çalışmalarda karşılaşılan bir amaç türüdür. Çok amaçlı matematiksel modellerde ise genellikle, karşılanan talep ve rotanın toplam uzunluğu arasında bir ödünleşmenin söz konusu olduğu görülmektedir. Talebin tamamının karşılanmasının zorunlu olmadığı problemlerde mümkün olduğunca fazla talep karşılanırken, rotanın toplam maliyetinin en küçüklenmesi hedeflenmektedir.

Çözüm yöntemleri incelendiğinde, NP – zor sınıfında yer alan bu problem için hızlı sonuçlar elde edebilmek için sezgisel yöntemler geliştirildiği görülmektedir. Birden fazla amaç içeren modeller için çözüm yöntemi olarak genellikle sütun oluşturma algoritması [örn. (Artigues vd., 2018); (Glize vd., 2020)] ve epsilon kısıt yöntemi [örn. (Tricoire vd., 2012); (Burkart vd., 2017)] ile ilenlenmiştir. Tek amaç fonksiyonu içeren modellerde ise problemin gerekliliklerine göre; yerel arama [örn. (Naji-Azimi & Salari, 2014); (Chiussi vd., 2022)], değişken komşu arama [örn. (Cubillos & Wohlk, 2021); (Zang vd., 2022)], tabu arama [örn. (Vogt vd., 2007); (Amiri & Salari, 2019)], yapay arı kolonisi [örn. (Venkatesh & Singh, 2019); (Pandiri vd., 2020)], açgözlü rastgele uyarlanabilir arama [örn. (Flores-Garza vd., 2017); (Clímaco vd., 2021)] ve evrimsel algoritma [örn. (Shafiee & Berglund, 2016), (Lu vd., 2021)] gibi çeşitli algoritmaları temel alan sezgisel yöntemler kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında, 2A-RKP probleminin çözümüne yönelik olarak, ana problemi daha küçük alt problemlere ayırıştırarak, her alt problemi bağımsız olarak çözen ve sonuçları birleştirerek nihai çözümü oluşturan KTDP tabanlı bir böl-ve-fethet sezgisel çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Bu bağlamda gerçekleştirilen literatür taraması sürecinde, çözüm üretimini kolaylaştırmak amacıyla, problemi alt problemlere bölerek ele alan algoritmalara özellikle odaklanılmıştır. Hachicha

vd. (2000), çalışmalarında üç farklı sezgisel algoritma geliştirmiştir ve bunlardan biri rota-ilk/küme-ikinci algoritmasıdır. Bu algoritmanın ilk aşamasında büyük bir rota oluşturulmaktadır. İkinci aşamada, rastgele bir düğümden başlayarak, büyük rota kapasite kısıtlarını ihlal etmeyecek şekilde daha küçük rotalara bölünmekte ve son aşamada ise elde edilen rotalar iyileştirilmektedir. Calvo ve Cordone (2003), ana problemi; kapasiteli kümeleme ve rotalama-çizelgeleme olarak iki faza ayıran bir ayrıştırma sezgisel algoritması önermiştir. Cherkesly vd. (2019), benzer bir yaklaşım benimsemiş, ana problemi iki alt probleme bölerek geliştirdikleri iki aşamalı sezgisel algoritma ile çözmüştür. Benzer biçimde Fischer vd. (2024), sezgisel algoritmalarında problemlerini iki aşamada çözmüştür. Araştırmacılar, ilk aşamada küme bölümlendirme problemi çözmüşler ve ikinci aşamada ise elde edilen kümeler için rota oluşturmuşlardır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen böl-ve-fethet algoritması, problemi hiçbir yeni varsayım eklemeksizin ve mevcut varsayımları tamamen koruyarak, problemi en temel bileşenlerine ayrıştırmaktadır. Her bir bileşen daha sonra uygun optimizasyon yöntemleri ile bağımsız olarak çözümlenmektedir. Mevcut literatür incelendiğinde, bilindiği kadarıyla, problemi bu şekilde ayrıştırarak ele alan başka bir böl-ve-fethet algoritmasına rastlanmamıştır.

Sayısal analizlerde kullanılan veri tipleri kategorize edildiğinde, çalışmaların %15'inde yalnızca gerçek verilerin toplanarak kullanıldığı görülmektedir. Çalışmaların %25'inde bilgisayar ortamında oluşturulmuş verilerden yararlanılmıştır. Ayrıca %44'ünde daha önceki çalışmalarda kullanılan literatür verileri kullanılırken, %16'sında ise birden fazla veri tipi birlikte kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında ele alınan örnek olayda oluşturulmuş verilere ek olarak gerçek verilerden de yararlanılmıştır. Sezgisel algoritmanın test edilmesi için kullanılan veriler, literatürde bulunan veri kütüphanelerinden temin edilmiştir.

RKP, insani yardım lojistiğine kolaylıkla uyarlanabilir bir problem tipi olmasına rağmen incelenen çalışmaların yalnızca %21'i insani yardım lojistiği üzerinedir. Bu çalışmada ele alınan problem, afet sonrası lojistik ağını konu edinmekte olup doğrudan insani yardım lojistiği ile ilişkilidir.

Tablo 2.2 Rota Kapsama Problemi ve Kapsayan Satıcı Problemi Literatüründe Yer Alan Çalışmalar

#	Çalışma	Problem Tipi	Model	Araç Tipi	Amaç Fonksiyonu Tipi	Amaç	Çözüm Yöntemi	Veri Tipi	İnsani Yardım Lojistiği
1	Current & Schilling, 1989	KSP	TDP	Tek	Tek	Rotanın toplam maliyetini en küçükke	COVTOUR isimli sezgisel algoritma	Oluşturulmuş Veri	Hayır
2	Current & Schilling, 1994	ORP MRKP	0-1 TDP	Tek	Çok	i) Rotanın toplam uzunluğunu en küçükke ii) Kapsamayı (kapsanan bir nokta ile ona en yakın ziyaret edilen nokta arasındaki en büyük mesafe) en küçükke i) Rotanın toplam uzunluğunu en küçükke ii) Karşılınmayan talebi en küçükke	Lagrangian gevşetmesi bazlı MEDTOUR isimli sezgisel algoritma	Literatür Verisi	Hayır
3	Gendreau vd., 1997	RKP	TDP	Tek	Tek	Rotanın toplam uzunluğunu en küçükke	Dal ve kesme algoritması & PRIMAL1 ve GENIUS isimli sezgisel algoritmaların kombinasyonu	Oluşturulmuş Veri	Hayır
4	Hodgson vd., 1998	RKP	TDP	Tek	Tek	Rotanın toplam uzunluğunu en küçükke	Dal ve kesme algoritması	Gerçek Veri	Evet
5	Hachicha vd., 2000	ÇRKP	TDP	Çok	Tek	Rotaların toplam uzunluğunu en küçükke	Değiştirilmiş kazançlar, değiştirilmiş tarama, rota-ilk/küme-ikinci sezgisel algoritmaları	Gerçek ve Oluşturulmuş Veri	Hayır
6	Calvo & Cordone, 2003	KaKP & ZP-ÇGSP	KTP	Çok	Tek	Çalıştırılacak güvenlik görevlisi sayısını en küçükke	Ayrıştırma sezgiseli	Gerçek Veri	Hayır
7	Jozefowicz vd., 2007	İA-RKP	TDP	Tek	Çok	i) Rotanın toplam uzunluğunu en küçükke ii) Kapsamayı en küçükke	Çok amaçlı evrimsel algoritma, dal ve kesme temelli sezgisel algoritma	Gerçek ve Oluşturulmuş Veri	Hayır
8	Vogt vd., 2007	TARAP	0-1 TDP	Tek	Tek	Rotalamanın, tahsisin ve izole edilmenin toplam maliyetini en küçükke	Tabu arama sezgiseli	Literatür Verisi	Hayır
9	Nolz vd., 2010	RKP	TDP	Çok	Çok	i) Karşılınmayan talebi en küçükke ii) Rotanın toplam uzunluğunu en küçükke	Epsilon kısıt yöntemi & Metasezgisel algoritma	Gerçek Veri	Evet
10	Drozdowski vd., 2012	MTG	TDP	Tek	Tek	Rotanın toplam uzunluğunu en küçükke	Dal ve sınır & sezgisel algoritma	Gerçek Veri	Hayır

#	Çalışma	Problem Tipi	Model	Araç Tipi	Amaç Fonksiyonu Tipi	Amaç	Çözüm Yöntemi	Veri Tipi	İnsani Yardım Lojistiği
11	Golden vd., 2012	GKSP	TP	Tek	Tek	Toplam maliyeti en küçük	Yerel arama bazlı iki farklı sezgisel algoritma (LS1 & LS2)	Literatür Verisi	Hayır
12	Ma vd., 2012	TAVTP	KTP	Tek	Tek	Rotanın toplam maliyetini en küçük	Yayılan ağaç kapsama algoritması	Oluşturulmuş Veri	Hayır
13	Naji-Azimi vd., 2012	RKP	TDP	Çok	Tek	Rotaların toplam uzunluğunu en küçük	Yerel arama bazlı sezgisel algoritma	Oluşturulmuş Veri	Evet
14	Salari & Naji-Azimi, 2012	KSP	TP	Tek	Tek	Rotanın toplam maliyetini en küçük	ILP bazlı sezgisel algoritma (SN)	Literatür Verisi	Hayır
15	Tricoire vd., 2012	ÇRKSP	TDP	Çok	Çok	i) Toplam maliyeti en küçük ii) Beklenen karşılanamayan talebi en küçük	Epsilon kısıt yöntemi ile senaryo bazlı bir yaklaşım	Gerçek Veri	Evet
16	Hà vd., 2013	p-ÇRKSP	TDP	Çok	Tek	Rotaların toplam maliyetini en küçük	Dal ve kesme & iki fazlı metasezgisel algoritma	Literatür Verisi	Hayır
17	Jozefowiez, 2014	ÇRKSP	TP	Çok	Tek	Rotaların toplam uzunluğunu/maliyetini en küçük	Dal ve ücret	Oluşturulmuş Veri	Hayır
18	Naji-Azimi & Salari, 2014	ZK-MKSP	TDP	Tek	Tek	Karşılanan toplam talebi en büyük	Yerel arama bazlı sezgisel algoritma, ILP temelli iyileştirme tekniği	Oluşturulmuş Veri	Hayır
19	Shaelaie vd., 2014	GKGSP	TDP	Tek	Tek	Rotanın toplam maliyetini en küçük	Memetik Algoritma & Değişken komşu arama algoritması	Oluşturulmuş Veri ve Literatür Verisi	Evet
20	Allahyari vd., 2015	ÇD-RKARP	KTP	Çok	Tek	Toplam rotalama ve talep tahsisi maliyetlerini en küçük	Açgözlü rastgele uyarlanabilir arama (GRASP) & yerel arama kombinasyonlu metasezgisel algoritma	Oluşturulmuş Veri	Evet
21	Salari vd., 2015	KSP	TDP	Tek	Tek	Rotanın toplam uzunluğunu en küçük	Karınca kolonisi optimizasyonu ve dinamik programlama tekniklerini içeren hibrit sezgisel yaklaşım	Literatür Verisi	Hayır
22	Sarpong vd., 2015	İA-ÇRKSP	İAKO	Çok	Çok	i) Rotaların uzunluğunu en küçük ii) Kapsamayı en küçük	Sütun oluşturma algoritması	Oluşturulmuş Veri	Hayır
23	Ozbaygin vd., 2016	ZK-MKSP	TDP	Tek	Tek	Toplam karşılanan talebi en büyük	Dal ve kesme	Literatür Verisi	Hayır
24	Shafiee & Berglund, 2016	RKP	DOP	Çok	Tek	Korunan vatandaşların sayısını en büyük	Evrimsel algoritmaya dayanan sezgisel algoritma	Oluşturulmuş Veri	Evet

#	Çalışma	Problem Tipi	Model	Araç Tipi	Amaç Fonksiyonu Tipi	Amaç	Çözüm Yöntemi	Veri Tipi	İnsani Yardım Lojistiği
25	Burkart vd., 2017	ÇA-LRP	ÇAKO	Çok	Çok	i) Dağıtım merkezlerinin açılış ve rotalama maliyetlerini en küçükle ii) Beklenen karşılamayan talebi en küçükle	i) Epsilon kısıt yöntemi ii) Kaba kuvvet tam numaralandırma iii) Evrimsel algoritma	Gerçek Veri	Hayır
26	Dung vd., 2017	MM-KARP	TDP	Çok	Tek	En uzun rotanın uzunluğunu en küçükle	Kısıt bazlı yerel arama algoritması	Oluşturulmuş Veri	Hayır
27	Flores-Garza vd., 2017	ÇB-RKP	KTDP	Çok	Tek	Ziyaret edilen noktalara ulaşım sürelerinin toplamını en küçükle	Açgözlü rastgele uyarlanabilir arama (GRASP)	Literatür Verisi	Evet
28	Kammoun vd., 2017	ÇRKP	TDP	Çok	Tek	Rotaların uzunluklarını en küçükle	Değişken komşu iniş bazlı değişken komşu arama algoritması	Oluşturulmuş Veri ve Literatür Verisi	Hayır
29	Nedjati vd., 2017	İLRKP	İA-TDP	Çok	Çok	i) Toplam ağırlıklı bekleme süresini en küçükle ii) Toplam karşılanamayan talep miktarını en küçükle	HSGA II temelli sezgisel algoritma	Oluşturulmuş Veri	Evet
30	Pham vd., 2017	ÇÇ-KTP	TDP	Çok	Tek	Toplam seyahat maliyetini en küçükle	Dal ve kesme & Genetik algoritma	Oluşturulmuş Veri	Hayır
31	Vargas vd., 2017	RKP	TDP	Tek	Tek	Rotanın uzunluğunu en küçükle	"Selector" operatörü ile uyarlanabilir büyük komşu araması	Literatür Verisi	Hayır
32	Artigues vd., 2018	İA-ÇRKP	MM-İAKO	Çok	Çok	i) Rotaların uzunluğunu en küçükle ii) Kapsamayı en küçükle	Sütun oluşturma algoritması	Oluşturulmuş Veri	Hayır
33	Karaoglan vd., 2018	ÇO-RKP	TDOP	Çok	Tek	Beklenen karşılanan talebi en büyükle	Dal ve kesme & değişken komşu arama temelli yerel arama sezgisel algoritması	Literatür Verisi	Hayır
34	Murakami, 2018a	KKP	TDP	Çok	Tek	Rotanın toplam maliyetini en küçükle	Sütun oluşturma algoritması	Oluşturulmuş Veri ve Literatür Verisi	Hayır
35	Murakami, 2018b	RKP	TDP	Tek	Tek	Rotanın toplam maliyetini en küçükle	Boz ve yeniden yap kökenli sezgisel algoritma	Oluşturulmuş Veri	Hayır
36	Veenstra vd., 2018	ÇRKP	TDP	Çok	Tek	Toplam maliyeti en küçükle	Dal ve sınır & değişken komşu arama algoritması bazlı hibrit sezgisel algoritma	Gerçek, Oluşturulmuş Veri ve Literatür Verisi	Evet
37	Zhang & Xu, 2018	çevrimiçi KSP	TDP	Tek	Tek	Rotanın toplam maliyetini en küçükle	"CoverTreeTraversal" Algoritması	-	Hayır
38	Alinaghian vd., 2019	ÇRKP	TDP	Çok	Tek	Son geçici yardım merkezine ulaşmak için gereken süreyi en küçükle	Dağınık arama ve değişken komşu arama algoritmaları bazlı sezgisel algoritma	Oluşturulmuş Veri	Evet

#	Çalışma	Problem Tipi	Model	Araç Tipi	Amaç Fonksiyonu Tipi	Amaç	Çözüm Yöntemi	Veri Tipi	İnsani Yardım Lojistiği
39	Amiri & Salari, 2019	ZK-MKRP	KTDP	Çok	Tek	Toplam karşılanan talebi en büyükle	Yinelenen yerel arama, tabu arama ve değişken komşu arama algoritmaları	Literatür Verisi	Hayır
40	Cherkesly vd., 2019	LRKP	TDP	Çok	Tek	Toplam personel ve rotalama maliyetlerini en küçükle	Küme bölümlendirme modeli ile kesin çözüm yaklaşımı	Gerçek Veri	Hayır
41	Davoodi & Goli, 2019	ÇRKP	TDP	Çok	Tek	En son yardımın ulaştığı merkeze varış süresini en küçükle	Benders ayrıştırması ve değişken komşu araması algoritmalarından oluşan hibrit sezgisel algoritma	Gerçek Veri	Evet
42	Mukherjee vd., 2019	KKKGSP	TDP	Çok	Tek	Rotaların toplam maliyetini en küçükle	Rastgele ekleme silme & Değiştirilmiş genetik algoritma	Gerçek ve Oluşturulmuş Veri	Hayır
43	Pandiri & Singh, 2019	GKGSP	TDP	Tek	Tek	Rotanın toplam uzunluğunu en küçükle	Yapay arı kolonisi algoritması	Literatür Verisi	Hayır
44	Church & Niblett, 2020	TRANSMaXII	TDP	Tek	Tek	Rota üzerinde sunulan hizmeti en büyükle	TRANSMaX II	Literatür Verisi	Hayır
45	Glize vd., 2020	ÇRKP	TDP	Çok	Tek/Çok	i) Rotaların kat ettiği toplam mesafeyi en küçükle ii) Araçlar için izin verilen maksimum kapsama mesafesini en küçükle	Sütun oluşturma algoritması	Literatür Verisi	Hayır
46	Goli & Malmir, 2020	ÇRKP	TDP	Çok	Tek	Son geçici yardım merkezine ulaşmak için gereken süreyi en küçükle	Harmoni arama algoritması	Oluşturulmuş Veri	Evet
47	Grinde, 2020	İKKSP	TP	Çok	Tek	Rotaların toplam maliyetini en küçükle	Excel Çözücü - VBA	Oluşturulmuş Veri	Hayır
48	Pandiri vd., 2020	KSP	TDP	Tek	Tek	Rotanın toplam maliyetini en küçükle	Yapay arı kolonisi algoritması & Genetik algoritma	Literatür Verisi	Hayır
49	Clímaco vd., 2021	ÖTRKP	TDP	Tek	Tek	Rotanın toplam maliyetini en küçükle	Açgözlü rastgele uyarlanabilir arama (GRASP) & değişken komşu arama (VND) kombinasyonlu hibrit sezgisel algoritma	Literatür Verisi	Hayır
50	Cubillos & Wohlk, 2021	MRKP	ÇAKO	Tek	Çok	i) Rotanın toplam uzunluğunu en küçükle ii) Karşılanan talebi en büyükle	Değişken komşu araması bazlı sezgisel algoritma	Gerçek Veri ve Literatür Verisi	Hayır
51	Li vd., 2021	KSP	TDP	Tek	Tek	Rotanın toplam maliyetini en küçükle	Derin takviyeli öğrenme	Literatür Verisi	Hayır

#	Çalışma	Problem Tipi	Model	Araç Tipi	Amaç Fonksiyonu Tipi	Amaç	Çözüm Yöntemi	Veri Tipi	İnsani Yardım Lojistiği
52	Lu vd., 2021	KSP	TDP	Tek	Tek	Rotanın toplam maliyetini en küçükke	Hibrit evrimsel algoritma	Literatür Verisi	Hayır
53	Singh vd., 2021	mesafe kısıtlı kapsayan m-GSP	KTP	Çok	Çok	i)Toplam karşılanan talebi en büyükke ii) Rotaların toplam uzunluğunu en küçükke	Karınca kolonisi optimizasyonu ve açgözlü rastgele uyarlanabilir arama algoritması (GRASP)	Literatür Verisi	Evet
54	Tripathy vd., 2021	k - kapsayan (k-coverage) KSP	TDP	Tek	Çok	i)Rotanın toplam uzunluğunu en küçükke ii) İki düğüm tarafından kapsanabilen düğüm sayısını en büyükke	HSGA II	Literatür Verisi	Hayır
55	Biswas vd., 2022	ÇA-KSP	TDP	Tek	Çok	i)Toplam karşılanan talebi en büyükke ii) Rotanın uzunluğunu en küçükke	HSGA II	Literatür Verisi	Hayır
56	Chiussi vd., 2022	MK-ARP	KTP	Çok	Tek	ATM nakit yenileme maliyetlerini en küçükke	"Rota-bölen" metasezgisel algoritma (yerel arama ve rota-ilk/küme-ikinci algoritmalarını kullanan)	Gerçek ve Oluşturulmuş Veri	Hayır
57	Dutta vd., 2022	KSP	TDP	Tek	Tek	Rotanın toplam maliyetini en küçükke	Karınca kolonisi optimizasyonu	Literatür Verisi	Hayır
58	Jiang vd., 2022	K-KGSP	TDP	Tek	Tek	Rotanın kazancını en büyükke	İki fazlı sezgisel algoritma	Literatür Verisi	Hayır
59	Margolis vd., 2022a	ÇRKP	KTP	Çok	Tek	Tüm hedefler için kapsama sürelerinin ağırlıklı toplamını en büyükke	Dal ve ücret & iki aşamalı sezgisel algoritma	Literatür Verisi	Hayır
60	Margolis vd., 2022b	ÇRKP	MKS	Çok	Tek	Toplam beklenen kapsama seviyesini en büyükke	Senaryo bazlı ayrıştırma teknikleri	Literatür Verisi	Hayır
61	Masone vd., 2022	KK-ÇZİHARP	KTDP	Tek	Tek	Rotanın toplam süresini en küçükke	KK-RDEKY sezgisel algoritması	Literatür Verisi	Hayır
62	Ouelmokhtar vd., 2022	KSP & K-GSP	KTP	Tek	Çok	i)Toplam enerji maliyeti en küçükke ii) Toplam karşılanmamış talebi en küçükke	Kesin matematiksel model ve pareto arşivlenmiş evrimsel strateji sezgiseli	Oluşturulmuş Veri	Hayır
63	Ozdemir vd., 2022	SARP & RKP	TDP	Çok	Tek	Toplanan örnek miktarını en büyükke	4 farklı sezgisel algoritma	Gerçek Veri	Evet
64	Zang vd., 2022	İSKSP	TDP	Tek	Tek	Rotanın toplam maliyetini en küçükke	İki farklı paralel değişken komşu arama algoritması	Literatür Verisi	Hayır
65	Khan vd., 2023	ÇA-KSP	ÇAOP	Tek	Çok	Rotanın uzunluğunu/riskini/maliyetini vb. en küçükke	GKO-ÇAEA sezgiseli	Literatür Verisi	Hayır

#	Çalışma	Problem Tipi	Model	Araç Tipi	Amaç Fonksiyonu Tipi	Amaç	Çözüm Yöntemi	Veri Tipi	İnsani Yardım Lojistiği
66	Maziero vd., 2023	KSP	TDP	Tek	Tek	Rotanın toplam maliyetini en küçükke	Dal ve kesme	Literatür Verisi	Hayır
67	Torabi vd., 2023	DK-RKP	TP	Tek	Tek	Düğümelerde hareket etme ve düğümlerde kalmayla ilgili maliyetleri en küçüklerken düğümlerin ağırlıklı kapsama alanını en büyükke	Sezgisel algoritma	Gerçek Veri	Hayır
68	Fischer vd., 2024	Y-KÇRK	KTDP	Tek	Tek	Rotanın toplam maliyetini en küçükke	İki fazlı sezgisel algoritma	Gerçek Veri	Hayır
69	Ota vd., 2024	ÇRK	TDP	Çok	Tek	Rotaların toplam uzunluğunu en küçükke	Dal ve kesme & genetik algoritma	Literatür Verisi	Hayır
70	Parsons vd., 2024	KSP	TDP	Tek	Tek	Rotanın toplam maliyetini en küçükke	Karınca kolonisi optimizasyonu	Gerçek Veri	Hayır
71	Oliveira vd., 2025	ÇRK	KTP	Çok	Tek	Rotaların toplam uzunluğunu en küçükke	Dal ve kesme ve ücret	Literatür Verisi	Hayır
72	Torabi vd., 2025	DK-RKP	TP	Tek	Tek	Düğümelerde hareket etme ve düğümlerde kalmayla ilgili maliyetleri en küçüklerken düğümlerin ağırlıklı kapsama alanını en büyükke	TRS & UMS & DPÖ-HS sezgisel algoritmaları	Literatür Verisi	Hayır
73	Bu Çalışma	2A-RKP	KTDP	Çok	Tek	Toplam operasyon süresini en küçükke	Böl-ve-fethet sezgisel algoritması	Gerçek, Oluşturulmuş Veri ve Literatür Verisi	Evet

ÇAKO: Çok Amaçlı Kombinatoriyal Optimizasyon, **ÇA-KSP:** Çok Amaçlı Kapsayan Satıcı Problemi, **ÇA-LRP:** Çok Amaçlı Lokasyon-Rotalama Problemi, **ÇAOP:** Çok Amaçlı Optimizasyon Problemi, **ÇB-RKP:** Çok Araçlı Birikimli Rota Kapsama Problemi, **ÇÇ-KTP:** Çok Araçlı Çoklu Kapsayan Tur Problemi, **ÇD-RKARP:** Çok Depolu Rota Kapsama Araç Rotalama Problemi, **ÇO-RKP:** Çok Araçlı Olasılıksal Rota Kapsama Problemi, **ÇRK:** Çok Araçlı Rota Kapsama Problemi, **DK-RKP:** Değişken Kapsamalı Rota Kapsama Problemi, **DOP:** Dinamik Optimizasyon Problemi, **DPÖ-HS:** Derin Pekistirmeli Öğrenme Hiper-Sezgiseli, **GENIUS:** GSP Sezgiseli, **GKGSP:** Genelleştirilmiş Kapsayan Gezgın Satıcı Problemi, **GKO-ÇAEA:** Gri Kurt Optimizasyonu Ayrışimli Çok Amaçlı Evrimsel Algoritma, **GKSP:** Genelleştirilmiş Kapsayan Satıcı Problemi, **GRASP:** Açgözlü Rastgele Uyarlanabilir Arama Prosedürü, **GSP:** Gezgın Satıcı Problemi, **HSGA II:** Hakim Olmayan Sıralama Genetik Algoritması II, **İAKO:** İki-Amaçlı Kombinatoriyal Optimizasyon, **İA-ÇRK:** İki Amaçlı Çok Araçlı Rota Kapsama Problemi, **İA-RKP:** İki Amaçlı Rota Kapsama Problemi, **İA-TDP:** İki-Amaçlı Tamsayılı Doğrusal Programlama, **İKKSP:** İki-Kipli Kapsayan Satıcı Problemi, **İLRKP:** İkmal Noktalı Lokasyon-Rotalama Kapsama Problem, **İSKSP:** İki-Seviyeli Kapsayan Satıcı Problemi, **K-GSP:** Kâr Amaçlı Gezgın Satıcı Problemi, **KK-ÇZİHARP:** Kenar Kalkışlı Çok Ziyaretli İnsansız Hava Aracı Rotalama Problemi, **KKKGSP:** Kısıtlı Kapsamalı Katı Gezgın Satıcı Problemi, **KaKP:** Kapasiteli Kümeleme Problemi, **K-KGSP:** Kâr Amaçlı Kapsayan Gezgın Satıcı Problemi, **KKP:** Küme Kapsama Problemi, **KSP:** Kapsayan Satıcı Problemi, **KTDP:** Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama, **KTP:** Karma Tamsayılı Programlama, **LRKP:** Lokasyon-Rotalama Kapsama Problemi, **KK-RDEKY:** Kenar Kalkışlı Rota, Dönüşüm ve En Kısa Yol, **MK-ARP:** Minimum Kapsama Koşullu Araç Rotalama Problemi, **MKS:** Markov Karar Süreci, **MM-İAKO:** Min-Max Amaçlı İki Amaçlı Kombinatoriyal Optimizasyon, **MM-KARP:** Min-Max Amaçlı Kapasiteli Araç Rotalama Problemi, **MRKP:** Maksimum Rota Kapsama Problemi, **MTG:** Mind The Gap, **ORP:** Ortalama Rota Problemi, **ÖTRKP:** Ödül Toplamalı Rota Kapsama Problemi, **p-ÇRK:** p Düğümlü Çok Araçlı Rota Kapsama Problemi, **PRIMAL1:** Küme kapsama sezgiseli, **RKP:** Rota Kapsama Problemi, **SARP:** Seçimli Araç Rotalama Problemi, **TARAP:** Tek Araçlı Rotalama ve Atama Problemi, **TAVTP:** Tek Atlama Veri Toplama Problemi, **TDOP:** Tamsayılı Doğrusal Olmayan Programlama, **TDP:** Tamsayılı Doğrusal Programlama, **TP:** Tamsayılı Programlama, **TRANSMaxII:** Transit Route Arc-Node Service Maximization II, **TRS:** Tekdüze Rastgele Seçim, **UMS:** Uyarlanabilir Metasezgisel, **Y-KÇRK:** Yol Ağında Kapasiteli Çok Araçlı Rota Kapsama Problemi, **ZK-MKRP:** Zaman Kısıtlı Maksimum Kapsama Rotalama Problemi, **ZK-MKSP:** Zaman Kısıtlı Maksimum Kapsayan Satıcı Problemi, **ZP-ÇGSP:** Zaman Pencereci Çoklu Gezgın Satıcı Problemi, **MK-ARP:** Minimum Kapsama Koşullu Araç Rotalama Problemi, **0-1 TDP:** 0-1 Tamsayılı Doğrusal Programlama, **2A-RKP:** İki Aşamalı Rota Kapsama Problemi

Bu çalışmada yer alan 2A-RKP modeli, tek amaç fonksiyonu içeren, çok araçlı bir KTDP modeli şeklinde formüle edilmiştir. Modelin uygulanabilirliğinin test edildiği örnek olayda gerçek ve oluşturulmuş verilerden yararlanılmış, önerilen böl-ve-fethet çözüm yönteminin performansının test edilmesi için ise literatürde yer alan veri setlerinden faydalanılmıştır.

2.2.2. Matematiksel Modellerde Yer Alan Kısıtlar ve Varsayımlar

İlgili literatürde matematiksel model içeren 72 adet çalışma, içerdikleri karar değişkenleri, kısıtlar ve varsayımlar bakımından değerlendirilmiştir ve Tablo 2.3'te özet halinde sunulmuştur.

Çalışmalarda sıklıkla konum ve rotalama ile ilgili karar değişkenlerinin kullanıldığı görülmektedir. Kısıtlar ve varsayımlar ise ağırlıklı olarak kapsama mesafesi ile ilişkilidir; bunu sırasıyla maksimum rota uzunluğu, rotadaki düğüm sayısı ve araç kapasitelerine ilişkin kısıtlar takip etmektedir.

Bu çalışma kapsamında önerilen matematiksel modelde ise, konum, rotalama, taşınan yük miktarı ve talep tahsisine yönelik karar değişkenleri yer almaktadır. Modelde öne çıkan başlıca kısıt ve varsayımlar ise; araç kapasiteleri, kapsama mesafesi, çoklu kapsama, çok depolu rotalama, iki aşamalı rotalama ve yoğunluk seviyesine bağlı değişen tesis kapasiteleridir. Tablo 2.3'teki verilerden de anlaşılacağı üzere, literatürde aynı anda çoklu kapsama, çok depolu rotalama, iki aşamalı rotalama ve yoğunluk seviyesine bağlı değişen tesis kapasitelerini bir arada ele alan herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu durum, önerilen modelin literatürdeki boşluğu doldurarak özgün bir katkı sunduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 2.3 İlgili Literatürde Yer Alan Matematiksel Modellerdeki Karar Değişkenleri, Kısıtlar ve Varsayımlar

#	Çalışma	Karar Değişkenleri					Kısıtlar & Varsayımlar																
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Current & Schilling, 1989	✓	✓												✓								
2	Current & Schilling*, 1994	✓			✓			✓								✓							
3	Gendreau vd., 1997	✓	✓												✓								
4	Hodgson vd., 1998	✓	✓											✓	✓								
5	Hachicha vd., 2000	✓	✓				✓	✓							✓								
6	Calvo & Cordone, 2003	✓	✓			✓					✓				✓								
7	Jozefowicz vd., 2007	✓	✓					✓							✓								
8	Vogt vd., 2007	✓	✓		✓																		
9	Nolz vd., 2010	✓	✓						✓					✓	✓								
10	Drozdowski vd., 2012		✓																				
11	Golden vd., 2012	✓	✓												✓				✓				
12	Ma vd., 2013	✓	✓	✓											✓								
13	Naji-Azimi, Z, vd, 2012	✓	✓	✓					✓		✓				✓			✓					
14	Salari & Naji-Azimi, 2012	✓	✓												✓								
15	Tricoire vd., 2012	✓	✓	✓	✓				✓	✓							✓						
16	Hà vd., 2013	✓	✓	✓				✓			✓				✓								
17	Jozefowicz vd., 2014	✓	✓		✓		✓	✓							✓	✓							
18	Naji-Azimi & Salari, 2014	✓	✓		✓		✓								✓								
19	Shaelaie vd., 2014		✓	✓	✓										✓	✓							

#	Çalışma	Karar Değişkenleri					Kısıtlar & Varsayımlar																
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
20	Allahyari vd., 2015	✓	✓	✓	✓						✓	✓			✓						✓		
21	Salari vd., 2015	✓	✓	✓											✓								
22	Sarpong vd., 2015	✓	✓		✓			✓							✓								
23	Ozbaygin vd., 2016	✓	✓		✓		✓	✓							✓								
24	Shafiee & Berglund, 2016		✓			✓		✓													✓		
25	Burkart vd., 2017	✓	✓	✓	✓					✓	✓	✓											
26	Dung vd.*, 2017		✓	✓							✓												
		✓	✓				✓	✓							✓								
27	Flores-Garza vd., 2017	✓	✓			✓	✓								✓								
28	Kammoun vd., 2017	✓	✓				✓	✓							✓								
29	Nedjati vd., 2017	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓			✓					✓		✓	
30	Pham vd., 2017	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓				✓				✓				
31	Vargas vd., 2017	✓	✓												✓								
32	Artigues vd., 2018	✓	✓				✓	✓							✓								
33	Karaoglan vd., 2018	✓	✓				✓																
34	Murakami, 2018a		✓		✓		✓	✓			✓				✓								
35	Murakami, 2018b	✓	✓												✓								
36	Veenstra vd., 2018	✓	✓	✓	✓		✓		✓					✓									
37	Zhang & Xu, 2018	✓	✓											✓	✓								
38	Alinaghian vd., 2019	✓	✓			✓					✓				✓		✓						
39	Amiri & Salari, 2019	✓	✓		✓	✓	✓							✓									
40	Cherkesly vd., 2019	✓			✓		✓		✓			✓	✓	✓					✓				
41	Davoodi & Goli, 2019	✓	✓		✓	✓					✓				✓								

#	Çalışma	Karar Değişkenleri					Kısıtlar & Varsayımlar																
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
42	Mukherjee vd., 2019	✓	✓				✓		✓														
43	Pandiri & Singh, 2019	✓	✓		✓										✓								
44	Church & Niblett, 2020	✓	✓				✓	✓								✓							
45	Glize vd., 2020	✓	✓		✓		✓	✓							✓								
46	Goli & Malmir, 2020	✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓			✓	✓		✓						
47	Grinde, 2020	✓	✓																				
48	Pandiri vd., 2020	✓	✓												✓								
49	Clímaco vd., 2021	✓	✓	✓											✓	✓							
50	Cubillos & Wohlk, 2021		✓		✓			✓							✓								
51	Li vd., 2021	✓	✓												✓								
52	Lu vd., 2021	✓	✓												✓								
53	Singh vd., 2021	✓	✓		✓		✓								✓								
54	Tripathy vd., 2021	✓	✓												✓				✓				
55	Biswas vd., 2022	✓	✓					✓							✓								
56	Chiussi vd., 2022		✓		✓	✓	✓								✓								
57	Dutta vd., 2022	✓	✓		✓										✓								
58	Jiang vd., 2022	✓	✓		✓		✓					✓			✓	✓							
59	Margolis vd., 2022a		✓			✓	✓						✓			✓							
60	Margolis vd., 2022b	✓	✓						✓						✓								
61	Masone vd., 2022	✓	✓		✓	✓					✓		✓		✓			✓		✓			
62	Ouelmokhtar vd., 2022	✓	✓		✓										✓	✓							
63	Ozdemir vd., 2022	✓	✓			✓	✓	✓							✓		✓						
64	Zang vd., 2022	✓	✓	✓											✓								

#	Çalışma	Karar Değişkenleri					Kısıtlar & Varsayımlar																
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
65	Khan vd., 2023	✓	✓												✓								
66	Maziero vd., 2023	✓	✓												✓								
67	Torabi vd., 2023	✓	✓		✓	✓					✓		✓	✓	✓								
68	Fischer vd., 2024	✓	✓	✓	✓						✓									✓			
69	Ota vd., 2024	✓	✓	✓			✓		✓				✓										
70	Parsons vd., 2024		✓	✓											✓								
71	Oliveira vd., 2025	✓	✓				✓	✓							✓								
72	Torabi vd., 2025	✓	✓		✓	✓					✓		✓	✓	✓								
73	Bu Çalışma, 2025	✓	✓	✓	✓						✓				✓				✓		✓	✓	✓

Karar Değişkenleri: 1: Konum, 2: Rotalama, 3: Yük Miktarı, 4: Talep Tahsisi 5: Zaman **Kısıtlar ve Varsayımlar:** 1: Maksimum Rota Uzunluğu, 2: Rotadaki Düğüm Sayısı, 3: Heterojen Araç Filosu, 4: Heterojen Tesisler, 5: Araç Kapasiteleri, 6: Tesis Kapasiteleri, 7: Araç Hızı, 8: Trafik ve Yol, 9: Kapsama Mesafesi, 10: Düşümlerde Öncelik/Ödül, 11: Talep Belirsizliği, 12: Farklı Türde Ürün, 13: Çoklu Kapsama, 14: Depodan Çoklu Seferler, 15: Çok Depolu Rotalama, 16: İki Aşamalı Rotalama, 17: Yoğunluk Seviyesine Bağlı Değişen Tesis Kapasiteleri

*Çalışma iki farklı matematiksel model içermektedir.

2.3. ÇALIŞMANIN LİTERATÜRE KATKISI

Bu bölümde, bu çalışmanın literatürdeki çalışmalardan ayrıştığı yönler ayrıntılı şekilde ele alınmaktadır. Özellikle çoklu kapsama, çok depolu ve iki aşamalı rotalama, yoğunluk seviyesine göre değişen tesis kapasiteleri ve insani yardım lojistiği gibi unsurlar üzerinden, çalışmanın literatüre sunduğu katkılar vurgulanmaktadır.

2.3.1. Çoklu Kapsama

İlgili literatürde incelenen çalışmaların yalnızca üç tanesinde çoklu kapsama kavramına yer verildiği görülmüştür.

Golden vd. (2012) Genelleştirilmiş Kapsayan Satıcı Problemi adını verdikleri bir problemi ele almışlardır. Problemde yer alan her i düğümünün, talebini karşılayabileceği D_i alt kümesi ve k_i kapsama alanı mevcuttur. Ayrıca, her düğümün ziyaret edilmesi durumunda katlanılması gereken sabit bir maliyet F_i söz konusudur. Her bir düğümün en az k_i kere kapsanması gerekmektedir. Problemin amacı hem sabit ziyaret maliyetini hem de rota uzunluğuna bağlı seyahat maliyetlerini en aza indirmektir. Çalışmada probleme ilişkin üç varyant sunulmuştur. İlk varyantta, her düğüm yalnızca bir kez ziyaret edilebilir. Ancak, düğüme yapılan bu tek ziyaretten sonra, varsa kalan talep, onu kapsayabilecek diğer düğümlerin ziyaret edilmesiyle karşılanmaktadır. İkinci varyantta, bir düğüm birden fazla kez ziyaret edilebilir, ancak yeniden ziyaret edilebilmesi için arada en az bir başka düğümün ziyaret edilmesi gerekmektedir. Üçüncü varyantta ise, düğümler birden fazla ve ardışık şekilde ziyaret edilebilir. Araştırmacılar, bu problem yapısını gerçek hayat uygulamaları ile örneklendirmiştir. İlk örnekte, büyük şehirlerde düzenlenen konser turneleri ele alınmıştır. Her konser için sınırlı sayıda bilet mevcut olduğundan, özellikle büyük şehirlerde yüksek talebi karşılayabilmek amacıyla birden fazla gece konser düzenlenmesi gerekebilmektedir. Diğer örnek ise kırsal bölgelerde hizmet veren mobil sağlık ekipleridir. Bu ekiplerin günlük hizmet kapasiteleri sınırlı olduğundan, bazı bölgelerin birden fazla kez ziyaret edilmesi ya da karşılanamayan taleplerin, komşu bölgelerin kapsayıcı etkisiyle karşılanması gerekebilmektedir.

Pham vd. (2017), Golden vd. (2012) tarafından ele alınan problemin Çok Araçlı Çoklu Kapsayan Tur Problemi adını verdikleri bir uzantısını çalışmışlardır. Önceki çalışmadan farklı olarak bu çalışmada, kapasiteli bir araç filosu mevcuttur ve ziyaret edilebilecek düğümler kümesi ile kapsanacak düğümler kümesi farklıdır.

Tripathy vd. (2021) çok amaçlı bir problem çalışmışlardır. Ele aldıkları problemin amaçlarından ilki, rotanın toplam uzunluğunu en küçüklenmesidir. İkincisi ise, talebi iki düğüm tarafından kapsanabilen düğüm sayısının en büyüklenmesidir. k-kapsama Kapsayan Satıcı Problemi adını verdikleri bu problemde araştırmacılar, çoklu kapsamayı bir hizmet kalitesi ölçüsü olarak nitelendirmişlerdir. Bu probleme örnek olarak; kan tedariki, afet öncesi ve sonrası yardım malzemelerinin tedariki, rakip ülkelerle insansız hava aracı kullanılarak yapılan gözetim ve erken uyarı sistemleri gibi birçok gerçek dünya uygulamasını göstermişlerdir. Bu örneklerde, düğümlerin 1-kapsama (ziyaret edilmeyen düğümlerin talebinin, bir adet ziyaret edilen düğüm tarafından kapsanması) ile kapsanmasının yeterli olmadığını, çünkü bu durumun herhangi bir hizmet kesintisi yaşanması durumunda ciddi kayıplara yol açabileceğini öne sürmüşlerdir.

Bu çalışma kapsamında önerilen matematiksel modelde yer alan çoklu kapsama varsayımı, Tripathy vd. (2021) çalışmasında olduğu gibi, sistemin sağlamlığını artırmak amacıyla geliştirilmiştir. Her bölgenin talebi yalnızca bir yardım merkezi tarafından karşılanmakta olup; buna rağmen, yardım merkezlerinin konumları belirlenirken, herhangi bir nedenle bu merkezin hizmet verememesi durumunda, ilgili bölgenin talebinin en az bir başka açık ve faal yardım merkezi tarafından daha karşılanabilir olması gözetilmiştir.

2.3.2. Çok Depolu Rotalama

İncelenen çalışmaların yalnızca dört tanesinde, araçların birden fazla farklı depodan harekete başladığı, çok depolu rotalama mevcuttur.

Allahyari vd. (2015) çalışmalarında, afet durumlarında ihtiyaç sahiplerine yardım ulaştırmak amacıyla, belirli kapasitelere sahip farklı depolar üzerinden yürütülen

bir RKP ele almışlardır. Her depoda, kapasiteli bir araç filosu mevcuttur ve araçlar rotalarını harekete başladıkları depoda sonlandırmaktadırlar. Zaman kısıtları nedeniyle araçlar tüm talep noktalarını doğrudan ziyaret edememekte; bu nedenle, ziyaret edilemeyen düğümlerin talepleri, rota üzerinde bulunan ve kapsama mesafesi içinde yer alan düğümlere tahsis edilmektedir. Araçların seyahat maliyetlerine ek olarak, talep tahsisinin de bir maliyeti mevcuttur ve problemin amacı toplam maliyeti en küçükmektir.

Shafiee ve Berglund (2016) insani yardım lojistiğini, su dağıtım ağının kirlendiği bir acil durum senaryosu üzerinden ele almışlardır. Çalışmada, ses sistemi ile donatılmış acil durum araç filosu, halka kirli suyun kullanılmaması konusunda uyarı yapmak amacıyla belirli bölgeleri ziyaret etmektedir. Amaç, uyarı yapılan toplam vatandaş sayısını en büyükmektir. Araçlar, farklı yangın istasyonlarında konumlandırılmış olup, her biri belirli sayıda düğümü ziyaret ettikten sonra, başladıkları istasyona geri dönmektedir.

Nedjati vd. (2017) çok amaçlı olarak ele aldıkları İkmal Noktalı Lokasyon-Rotalama Kapsama Problemi isimli çalışmalarını insani yardım lojistiği çerçevesinde gerçekleştirmişlerdir. Bu problemde amaçlardan ilki afetzedelerin toplam ağırlıklı bekleme süresinin en küçüklümesidir; ikinci amaç ise, toplam karşılanmayan talep miktarının en küçüklümesidir. Potansiyel konumlara önceden belirlenmiş bir sayıda kurulacak olan depolara atanan araçlar, seyahatlerine ilgili depolardan başlamakta ve hizmet süreleri sonunda kendilerine en yakın uygun depoda seyahatlerini sonlandırmaktadırlar.

Cherkesly vd. (2019) ihtiyaç halindeki bölgelere sağlık hizmeti ulaştırılması üzerine odaklanan bir problem ele almışlardır. Çalışmada, çeşitli bölgelerde konumlandırılmış Toplum Sağlık Çalışanları (TSÇ), bölge halkına temel sağlık hizmeti sunmaktadır. Bu çalışanlara, haftalık olarak gerekli eğitimleri veren ve faaliyetlerini denetleyen amirler mevcuttur. Amirler, herhangi bir bölgede konumlanabilmekte ve mesai saatleri içerisinde motosikletleriyle TSÇ'lerin bulundukları bölgelere ziyaretler gerçekleştirdikten sonra, günün sonunda başlangıç noktalarına geri dönmektedirler. Önerilen matematiksel modelde, TSÇ'ler için konum, amirler için ise hem konum hem de rotalama kararları

verilmektedir. Modelin amacı, sabit maliyetler ile amirlerin seyahat maliyetlerini içeren toplam maliyeti en küçükmektir. Çalışmada, farklı başlangıç noktalarından çıkan ve gün sonunda başlangıç noktasına dönen amirlerin rotaları, çok depolu rotalama yapısına örnek teşkil etmektedir.

Bu çalışma kapsamında ele alınan iki aşamalı lojistik ağının ikinci aşamasında, her yardım merkezinde konumlandırılmış araçlar mevcuttur. Bu araçlar, seyahatlerine bağlı bulundukları yardım merkezinden başlamakta ve ilgili yardım merkezine geri dönerek seyahatlerini sonlandırmaktadır. Bu yapı, çok depolu rotalamaya örnek teşkil etmektedir.

2.3.3. İki Aşamalı Rotalama

İlgili literatür incelendiğinde, iki aşamalı rotalama yapısını doğrudan içeren herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada ise, birinci aşamada yardım malzemelerinin merkez depodan yardım merkezlerine, ikinci aşamada ise yardım merkezlerinden yardıma ihtiyacı olan bölgelere ulaştırıldığı iki aşamalı bir lojistik ağ tasarlanmıştır. Bu yapı sayesinde, afet sonrası süreçlerin daha gerçekçi biçimde modellenmesi ve planlamanın operasyonel koşullara uygun şekilde yapılabilmesi hedeflenmiştir.

2.3.4. Yoğunluk Seviyesine Bağlı Değişen Tesis Kapasitesi

Bu çalışmada, talep yoğunluğuna uygun büyüklükte yardım merkezleri kurulması, afet sonrası durumlarda daha hızlı ve etkili müdahaleyi mümkün kılacak gerçekçi bir varsayım olarak ele alınmıştır. Daha az talebin bulunduğu bölgelerde kurulacak olan düşük yoğunluk seviyesine sahip yardım merkezlerinde hem kurulum hem de elleçleme sürelerinin daha kısa olacağı, dolayısıyla bu bölgelere yardımın daha hızlı ulaştırılabileceği varsayılmaktadır. Ayrıca, daha yüksek talebe hizmet veren yardım merkezlerinin, daha uzun kurulum ve elleçleme sürelerine sahip olacağı ve bu merkezlerde daha fazla sayıda aracın konumlandırılacağı gibi varsayımlar dikkate alınmıştır. Yapılan literatür taraması kapsamında incelenen çalışmalarda, yoğunluk seviyesine bağlı değişen tesis kapasitelerini içeren herhangi bir modele rastlanmamıştır.

2.3.5. İnsani Yardım Lojistiği

İlgili literatürde incelenen 72 çalışma içinden yalnızca 15 tanesinin insani yardım lojistiğini konu edindiği görülmektedir. Bu çalışmalar içerisinde de altı tanesinde gerçek veriye dayalı örnek olay uygulamalarına yer verilmektedir.

Hodgson vd. (1998) geliştirmekte olan ülkelerde sağlık hizmetine erişimin yeterli olmaması sebebi ile mümkün olan en fazla kişiye sağlık hizmetini ulaştırma amacı taşıyan mobil sağlık hizmeti araçlarının rota planlamasını Gana ülkesi Suhum bölgesi üzerinde yaptıkları çalışma ile ele almışlardır. Bu çalışmada yol tiplerini ve bölgenin yağmur dönemlerini de dikkate almışlardır. Buna göre, kuru sezonlarda daha fazla bölgeye hizmet ulaştırılabilmektedir çünkü kullanılabilir yol sayısında artış olmaktadır. Ayrıca, kuru sezonlarda kapsama alanının arttırılması, bölge halkının mobil sağlık hizmetine ulaşmak için daha fazla yürümesini ancak, mobil sağlık hizmeti aracının da daha fazla noktaya uğrayarak daha çok kişiye hizmet ulaştırabilmesini sağlamaktadır.

Nolz vd. (2010) yaptıkları çalışmada afet sonrası bir durumda ihtiyaç halindeki kişilere içme suyu ulaştırılmasını konu edinmiştir. Ele aldıkları çalışmada, suyun temizlenerek içme suyuna dönüştürüldüğü bir merkez depo mevcuttur. Potansiyel noktalara ise ihtiyaç halindeki kimselerin suyu temin edebilecekleri su tankerleri kurulacaktır. Afet sonrası durumlarda özellikle geliştirmekte olan ülkelerde her bölgeye tırlar ile ulaşılması mümkün olamayabilmektedir. Bu nedenle araştırmacılar, içme suyunun yol gerekliliklerine göre; tırlar, arabalar veya eşekler ile ulaştırılabileceğini varsaymışlardır. Karşılanmayan talebin ve rotanın toplam uzunluğunun en küçüklenmesinin amaçlandığı bu çok amaçlı matematiksel modelin test edildiği vaka analizi, Endonezya'da bulunan Sumatra adasının kuzeybatısında bulunan Aceh ili için gerçekleştirilmiştir.

Tricoire vd. (2012) talep belirsizliği altında çok amaçlı bir problemi ele almışlardır. Amaçlardan ilki toplam maliyetin en küçüklenmesi iken diğeri ise beklenen toplam karşılanmayan talebin en küçüklenmesidir. İhtiyaç halindeki kişiler, afet sonrası durumda potansiyel noktalara kurulacak olan yardım merkezlerinden kendilerine belirli bir mesafe dahilinde olanına giderek ihtiyaç duydukları ürünü temin

edebilmektedirler. Ancak araştırmacılar, literatürde ele alındığı şekli ile, belirli bir mesafe dahilinde bulunan kişilerin tamamının yardım merkezine gidip ürünü temin almasını, o mesafe dahilinde olmayan kişilerin ise hiçbirinin gitmemesi varsayımının gerçekçi olmadığını öne sürerek, mesafeye bağlı azalan bir kapsama fonksiyonu ortaya koymuştur. Buna göre; mesafeye bağlı olarak belirli bir oranda kişi, kendilerine en yakın yardım merkezinden yardımı temin edebilmektedir. Sayısal analizler, Senegal'in batısında yer alan Thies bölgesi için gerçek veri ile gerçekleştirilmiştir.

Veenstra vd. (2018), sağlık hizmetinin ihtiyaç sahiplerine ulaştırılmasını konu edinen bir çalışma ele almışlardır. Çalışmalarında, yerel bir eczaneden ilaçlar ecza dolapları aracılığı ile hastalara ulaştırılmaktadır. Hastalar, kendilerine belirli bir mesafeden daha yakında bulunan ecza dolaplarına kendi imkanları ile ulaşarak veya eve teslim yöntemi ile ilaçlarını temin edebilmektedir. Hangi ecza dolaplarının açılacağına ve araç rotalarına karar verilmesi gereken bu problemin amacı ise toplam rotalama maliyetini ve dolapların açılış maliyetini en küçükmektir. Sayısal analizler; literatürde yer alan veri setleri, bilgisayar ortamında oluşturulmuş bir veri seti ve Hollanda'da faaliyet gösteren Alliance Healthcare Netherlands firması tarafından sağlanan gerçek veri üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Davoodi ve Goli (2019), afet sonrası durumda yardım merkezlerinin kurulumu ve ilk yardım malzemelerinin temini için rotalama kararlarının verildiği bir çalışma ele almışlardır. Yardım malzemelerinin en son yardım merkezine ulaştığı sürenin en küçüklendiği bu çalışmada yer alan vaka çalışması Doğu Azerbaycan depreminde etkilenen Ahar, Varzaghan ve Harris bölgelerine odaklanmıştır.

Ozdemir vd. (2022), COVID-19 pandemisi sürecinde PCR testine erişimi artırmayı amaçlayan bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada, toplam test sayısının en büyüklenmesi hedeflenmiş; insanların test yaptırmaya eğiliminin, test aracı bölgeye ilk ulaştığında daha yüksek olduğu, ancak gün içinde bu eğilimin azaldığı varsayılmıştır. Bu doğrultuda, kapsama alanının, test aracının bölgede geçirdiği süreye bağlı olarak azaldığı kabul edilmiştir. Önerilen çözüm

yaklaşımları, Güney Kore'nin Seul ve Türkiye'nin İstanbul illerine ait gerçek veri setleri kullanılarak test edilmiştir.

Uluslararası literatüre ek olarak, Google Akademik üzerinden “covering tour” ve “rota kapsama” anahtar kelimeleri kullanılarak Türkçe kaynaklar taranmıştır. “Covering tour” anahtar kelimesiyle yapılan arama sonucunda, konuyla ilişkili bir adet literatür taraması makalesi ve bir adet yüksek lisans tezine ulaşılmıştır. Taşkın Gümüş ve Çelik (2017) insani yardım lojistiğinin afet operasyon yönetimindeki yerini ele aldıkları çalışmalarında kapsamlı bir literatür taraması gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, RKP'nin de dahil olduğu tesis yer seçimi, envanter yönetimi, yardım dağıtım planlaması, enkaz kaldırma ve toparlanma operasyonları gibi çeşitli konularda toplam 220 makale incelenmiştir. Yazarlar, literatürde özellikle stokastik programlama, çok amaçlı matematiksel modeller ve uygulanabilir çözüm yöntemleri açısından önemli boşluklar bulunduğunu tespit etmişlerdir.

Abbasoğlu (2019), afet tedarik lojistiğini ele aldığı yüksek lisans tezinde, deprem riski bağlamında Bursa ili üzerine odaklanmıştır. Tez kapsamında, olası bir deprem sonrasında kurulacak yardım merkezlerinin konumlarının belirlenmesine yönelik bir model önerilmiştir. Modelde, yardım merkezlerinin yardıma ihtiyaç duyan bölgelere olan uzaklıkları dikkate alınarak talep kapsama oranları belirlenmiştir. Ancak tezde herhangi bir rotalama unsuru bulunmamaktadır; yalnızca yer seçimi ve talep tahsisi kararlarına odaklanılmıştır. Geliştirilen model, Bursa ili üzerinde test edilerek, depreme özgü lojistik planlama koşulları altında değerlendirilmiştir. Bu yönüyle söz konusu çalışma, yalnızca yer seçimi ve tahsis kararlarına odaklanması nedeniyle, bu çalışmada ele alınan RKP yaklaşımı ile doğrudan örtüşmemektedir.

“Rota kapsama” anahtar kelimesiyle yapılan arama sonucunda ise bir araştırma makalesi, bir yüksek lisans tezi ve bir doktora tezine ulaşılmıştır. Kuyzu (2020), çalışmasında Ortak Kısıtlı Rota Kapsama Problemi'ni ele almıştır. Bu problem kapsamında, tam kamyon yükü taşımacılığı yapan firmaların iş birliği yaparak taşıma maliyetlerini azaltması hedeflenmiştir. Her bir firmanın taşıma hatları, bazı durumlarda aynı kamyon rotası içerisinde başka firmaların taşıma hatlarıyla

birlikte planlanarak servis edilebilmektedir. Ancak firmalar, bu tür bir ortak rotada yer alacak diğer firma sayısını sınırlayabilmektedir. Kuyzu'nun çalışması, kapsama yapısını müşteri noktaları üzerinden değil, yollar üzerinden kurması ve firma iş birliklerine kısıt getirmesi bakımından, bu çalışmada ele alınan RKP yaklaşımından ayrılmaktadır.

Öner, 2014 tarihli yüksek lisans tezinde ve 2021 tarihli doktora tezinde, rota kapsama problemini Kuyzu (2020) ile benzer şekilde, iş birliği yapan lojistik firmalarının yol bazlı planlamaları çerçevesinde ele almıştır.

Tüm bu çalışmaların ortaya koyduğu çerçeve dikkate alındığında, bu çalışmada geliştirilen modelleme yaklaşımı ve kapsama temelli yapı, ulusal literatüre hem yöntemsel hem de uygulama düzeyinde özgün katkılar sunma potansiyeline sahiptir. Bu çalışma, RKP literatürü çerçevesinde; çoklu kapsama, çok depolu rotalama, iki aşamalı rotalama ve yoğunluk seviyesine bağlı değişen tesis kapasiteleri varsayımlarının tamamını içeren tek çalışma olması sebebi ile özgün bir katkı sunmaktadır. Ayrıca, modelin insani yardım lojistiği bağlamında gerçek veri setleri ile uygulanması sayesinde, çalışma hem somut bir uygulama niteliği kazanmış hem de uygulamaya dönük bir katkı sağlamıştır.

3. BÖLÜM

İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİNDE TESİS KAPASİTE KARARLARI İLE İKİ AŞAMALI ROTA KAPSAMA PROBLEMİ

Bu bölümde öncelikle, bu çalışma kapsamında ele alınan problem olan 2A-RKP tanıtılmaktadır. Ardından, bu probleme yönelik olarak geliştirilen matematiksel model önerisi detaylı biçimde sunulmaktadır. Son olarak, daha büyük ve gerçekçi veri setlerinde hızlı ve uygulanabilir çözümler elde edebilmek amacıyla geliştirilen, KTDP tabanlı böl-ve-fethet sezgisel çözüm yaklaşımı açıklanmaktadır.

3.1. PROBLEM TANIMI

Çalışma kapsamında iki aşamalı bir insani yardım lojistik ağı ele alınmaktadır. Yardıma ihtiyacı olan bölgelerde (C) bulunan kişilere, önceden belirlenmiş potansiyel lokasyonlara (D) kurulacak olan geçici yardım merkezlerinde bulunan araçlar aracılığı ile tek tip yardım malzemesi ulaştırılmaktadır. Yardım merkezleri, yalnızca kendilerine uzaklığı önceden belirlenmiş bir mesafeyi (β_{cd}) aşmayan bölgelerin taleplerini karşılayabilmektedir. Bu mesafe, “*motorize kapsama alanı*” olarak tanımlanmaktadır. Her yardıma ihtiyacı olan bölgenin talebi (δ_c) yalnızca bir yardım merkezi tarafından karşılanmaktadır. Bununla birlikte, herhangi bir yardım merkezinin devre dışı kalması durumunda sistemin bütünlüğünü koruyabilmek ve daha kuvvetli bir çözüm önermek adına, her bölgenin talebi, kurulan yardım merkezlerinden en az (ω) kadarı tarafından karşılanabilir olmalıdır.

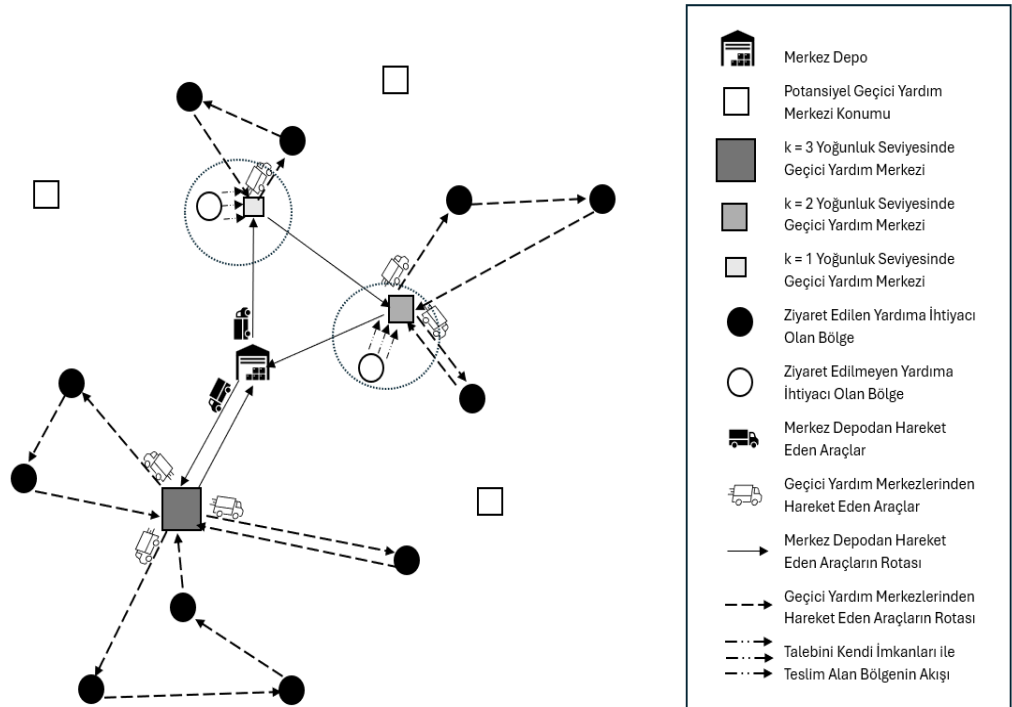
Atanan talep miktarına göre, kurulacak olan yardım merkezinin yoğunluk seviyesi (K) ve buna bağlı olarak da büyüklüğü değişmektedir. Farklı yoğunluk seviyelerinde faaliyet gösteren yardım merkezleri, kendilerine özgü operasyonel özellikler sergilemektedir. Daha yüksek yoğunluk seviyelerinde daha fazla talep karşılanabilmekte; ancak bu durum artan kurulum sürelerine (η_{dk}) ve elleçleme sürelerine (α_{dk}) sebep olmaktadır. Kurulum sürelerindeki artış, yoğunluk seviyesinin yükselmesiyle birlikte daha büyük ölçekli yardım merkezlerinin

kurulması gerekliliğinden kaynaklanmaktadır. Yoğunluk seviyesi arttıkça uzayan elleçleme süreleri ise, operasyonel yoğunluk ve sahada oluşabilecek darboğazlardan (örneğin forklift sıraları, sınırlı alan kullanımı, ekiplerin eşzamanlı çalışamaması gibi) kaynaklanmaktadır. Buna ek olarak, her yardım merkezinin faaliyete geçmeden önce, kurulum ekipleri ve ekipmanlarının merkez depoda organize edilmesi ile iletişim sistemlerinin kurulmasını içeren sabit bir hazırlık süresine (ζ) ihtiyaç duymaktadır. Yardım merkezlerine yardım malzemelerinin tedariki, merkezi bir depodan, kapasiteli (ρ), homojen araç filosu (F) ile sağlanmaktadır. Döngüsel sefer dağıtım yöntemini izleyen bu araçlar; merkez depodan harekete başlamakta, yardım merkezlerine yardım malzemelerini teslim ettikten sonra merkez depoya geri dönmektedir. Buna ek olarak, kısmi teslimatlar mümkündür, başka bir deyişle, bir yardım merkezine birden fazla araç ile ürün teslim edilebilmektedir.

Yardım merkezleri, kendilerine ait (G_d), kapasiteli (τ) ve homojen araçlar ile, merkez depodan tedarik ettikleri yardım malzemelerini yardıma ihtiyacı olan bölgelere ulaştırmaktadır. Her yardım merkezinde kullanılabilen araç sayısı (λ_k) yoğunluk seviyesine bağlı olarak değişmektedir. Yoğunluk seviyesi arttıkça, kullanılacak araç sayısı da artmaktadır ve yardım merkezlerinin kapasiteleri, bulundurdıkları araçların toplam kapasitesine eşittir. Döngüsel sefer dağıtım yöntemini izleyen araçlar, seyahatlerine bulundukları yardım merkezinden başlamakta ve yardıma ihtiyacı olan bölgelerin taleplerini karşıladıktan sonra ilgili yardım merkezine geri dönmektedir. Yardıma ihtiyacı olan bölgeler, taleplerini birden fazla araç ile teslim alabilmektedir. Daha kısa sürede daha fazla bölgeye yardım ulaştırabilmek adına; taleplerinin atandığı yardım merkezine olan uzaklığı önceden belirlenmiş bir mesafenin (ψ_{cd}) altında bulunan bölgelerdeki kişilerin, yardım malzemelerini kendi imkanları ile yardım merkezine ulaşarak temin etmeleri beklenmektedir. Bu mesafe “*motorize olmayan kapsama alanı*” olarak tanımlanmaktadır. Bu durum, eldeki araç filosunun daha uzak bölgelerde konumlanan afetzedelere yardım ulaştırabilmek için kullanılmasına olanak tanımaktadır.

Hazırlık, kurulum, elleçleme ve seyahat sürelerinden oluşan toplam operasyon süresini en küçüklemeyi amaçlayan problemde verilecek başlıca kararlar; yardım merkezlerinin konumu ve yoğunluk seviyeleri, talep tahsisi ve birinci aşaması merkez depo ile yardım merkezleri arasında, ikinci aşaması ise yardım merkezleri ile yardıma ihtiyacı olan bölgeler arasında olmak üzere iki aşamalı rotalama kararlarıdır.

Şekil 3.1'de ilgili probleme ait örnek bir çözüm sunulmuştur. Şekil incelendiğinde, altı adet potansiyel yardım merkezi konumu içinden üç tanesinde kurulum kararı verildiği görülmektedir. Kurulan yardım merkezleri düşük, orta ve yüksek yoğunluk seviyelerinde kurulmuştur. İlk aşamada, merkez depoda bulunan araçlar ile yardım malzemeleri yardım merkezlerine teslim edilmektedir. İkinci aşamada ise, yardım merkezlerinde bulunan araçlar ile yardıma ihtiyacı olan bölgelere teslimat yapılmaktadır. Yoğunluk seviyesi arttıkça yardım merkezlerinde kullanılabilir araç sayısının da arttığı görülmektedir. Araçlar seyahatlerini, harekete başladıkları yardım merkezlerinde sonlandırmaktadırlar. Ek olarak, talebinin atandığı yardım merkezinin motorize olmayan kapsama alanı dahilinde kalan ihtiyaç bölgelerine yardım malzemelerinin araçlar ile teslim edilmediği, bu bölgedeki kişilerin kendi imkanları ile yardım merkezlerine ulaşarak ürünleri temin ettiği örnek çözümde görülmektedir.



Şekil 3.1 2A-RKP'ye Ait Örnek Çözüm

3.2. MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİSİ

Bu bölümde, 2A-RKP'ye ait KTDP modeli sunulmuştur. Matematiksel modelde kullanılan kümeleri, parametreleri ve karar değişkenlerini tanımlayan notasyonlar Tablo 3.1'de yer almaktadır.

Tablo 3.1 2A – RKP Modeli Notasyon Tablosu

Sembol	Açıklama	Birim
Kümeler		
D	Potansiyel yardım merkezleri kümesi, $D = \{1, 2, \dots, D \}$	
V	Merkez depo $\{0\}$ ve potansiyel yardım merkezleri kümesi, $V = \{\{0\} \cup D\}$	
C	Yardıma ihtiyacı olan bölgeler kümesi, $C = \{ D + 1, D + 2, \dots, D + C \}$	
E	Potansiyel yardım merkezleri ve yardıma ihtiyacı olan bölgeler kümesi, $E = \{D \cup C\}$	
A	Birinci aşamada yollar kümesi, $A = \{(i, j): i, j \in V, i \neq j\}$	
B	İkinci aşamada yollar kümesi, $B = \{(i, j): i, j \in E, i \neq j\}$	
K	Yardım merkezleri için yoğunluk seviyeleri kümesi, $K = \{1, 2, \dots, K \}$	

F	Merkez depoda bulunan araçlar kümesi, $F = \{1, 2, \dots, F \}$
G_d	$d \in D$ yardım merkezinde bulunan araçlar kümesi, $G_d = \{1, 2, \dots, G_d \}$

Parametreler		
δ_c	$c \in C$ yardıma ihtiyacı olan bölgenin talep ettiği ürün miktarı	Adet
θ_{ij}	$(i, j) \in A$ yolunda seyahat süresi	Dakika
γ_{ij}	$(i, j) \in B$ yolunda seyahat süresi	Dakika
ρ	Merkez depodaki araçların kapasitesi	Adet
τ	Yardım merkezlerindeki araçların kapasitesi	Adet
λ_k	$k \in K$ yoğunluk seviyesine sahip bir yardım merkezinde kullanılabilen araç sayısı	Adet
ζ	Yardım merkezlerinin kurulumu öncesi gereken hazırlık süresi	Dakika
η_{dk}	$d \in D$ düğümünde, $k \in K$ yoğunluk seviyesine sahip bir yardım merkezinin kurulumu için gereken süre	Dakika
α_{dk}	$d \in D$ düğümünde bulunan, $k \in K$ yoğunluk seviyesine sahip bir yardım merkezinde her birim ürün için gereken elleçleme süresi	Dakika
β_{cd}	$c \in C$ yardıma ihtiyacı olan bölgenin, $d \in D$ potansiyel yardım merkezine olan uzaklığı motorize kapsama alanı içerisindeyse 1, aksi takdirde 0 değerini alan ikili parametre	{0,1}
ψ_{cd}	$c \in C$ yardıma ihtiyacı olan bölgenin, $d \in D$ potansiyel yardım merkezine olan uzaklığı motorize olmayan kapsama alanı içerisindeyse 1, aksi takdirde 0 değerini alan ikili parametre	{0,1}
ω	Yardıma ihtiyacı olan bölgelerin taleplerinin, ihtiyaç halinde açılan yardım merkezlerinden en az kaç tarafından karşılanması gerektiğini belirten parametre	Adet
$bigM$	Yeterince büyük bir sayı	
Karar Değişkenleri		
X_{ijf}	$(i, j) \in A$ yolu $f \in F$ aracı tarafından kullanılıyorsa 1, aksi takdirde 0 değerini alan ikili değişken	{0,1}
Y_{ijdg}	$(i, j) \in B$ yolu $d \in D$ yardım merkezinde bulunan $g \in G_d$ aracı tarafından kullanılıyorsa 1, aksi takdirde 0 değerini alan ikili değişken	{0,1}
Q_{dk}	$d \in D$ düğümüne $k \in K$ yoğunluk seviyesine sahip bir yardım merkezi açılıyorsa 1, aksi takdirde 0 değerini alan ikili değişken	{0,1}
Z_{cd}	$c \in C$ yardıma ihtiyacı olan bölgenin talebi $d \in D$ yardım merkezi tarafından karşılanıyorsa 1, aksi takdirde 0 değerini alan ikili değişken	{0,1}

P_{cdf}	$f \in F$ aracıyla $d \in D$ yardım merkezine gönderilen, $c \in C$ yardıma ihtiyacı olan bölgeye ait talep yüzdesi	Yüzde
R_{cdg}	$g \in G_d$ aracıyla, $d \in D$ yardım merkezinden $c \in C$ yardıma ihtiyacı olan bölgeye gönderilen talep yüzdesi	Yüzde
S_{ijdg}	$(i, j) \in B$ yolunda $d \in D$ yardım merkezinden hareket eden $g \in G_d$ aracının taşıdığı yük miktarı	Adet
H_{dk}	$k \in K$ yoğunluk seviyesine sahip $d \in D$ yardım merkezinde, merkez depodan gönderilen araçlar için toplam elleçleme süresi	Dakika
L_{dk}	$k \in K$ yoğunluk seviyesine sahip $d \in D$ yardım merkezinde, yardıma ihtiyacı olan bölgelere gönderilen araçlar için toplam elleçleme süresi	Dakika
U_{df}	Yardım merkezleri arasında alt tur elemek için yardımcı karar değişkeni, $d \in D$, $f \in F$	

2A-RKP'ye ait KTDP modeli aşağıda sunulmaktadır:

En küçük

$$\sum_{d \in D} \sum_{k \in K} (H_{dk} + L_{dk} + Q_{dk}(\eta_{dk} + \zeta)) \quad (1.i)$$

$$+ \sum_{(i,j) \in A} \sum_{f \in F} X_{ijf} \theta_{ij} \quad (1.ii)$$

$$+ \sum_{(i,j) \in B} \sum_{d \in D} \sum_{g \in G_d} Y_{ijdg} \gamma_{ij} \quad (1.iii)$$

Toplam operasyon süresini hesaplayan amaç fonksiyonu (1.i), (1.ii) ve (1.iii) olmak üzere üç parçadan oluşmaktadır. (1.i), toplam elleçleme süresi ile yardım merkezleri için toplam kurulum ve hazırlık sürelerini, (1.ii) ve (1.iii) ise sırasıyla, merkez depo ile yardım merkezleri arasındaki ve yardım merkezleri ile yardıma ihtiyacı olan bölgeler arasındaki toplam seyahat sürelerini ifade etmektedir.

$$\sum_{c \in C} \sum_{d \in D} P_{cdf} \delta_c \leq \rho \quad \forall f \in F \quad (2)$$

$$\sum_{c \in C} R_{cdg} \delta_c \leq \tau \quad \forall d \in D, g \in G_d \quad (3)$$

$$\sum_{c \in C} \sum_{g \in G_i} R_{cig} \delta_c \leq \sum_{j \in E: (i,j) \in B} \sum_{g \in G_i} Y_{ijig} \tau \quad \forall i \in D \quad (4)$$

(2) numaralı kısıt seti, her $f \in F$ aracıyla, yardım merkezlerine araç kapasitesi ρ dan fazla ürün gönderilmemesini sağlar. (3) numaralı kısıt seti, her $d \in D$ yardım merkezinden yola çıkan $g \in G_d$ aracıyla, yardıma ihtiyacı olan bölgelere gönderilen ürün miktarının, araç kapasitesi τ dan fazla olmamasını garanti eder. (4) numaralı kısıt seti, $i \in D$ yardım merkezinden, yardıma ihtiyacı olan bölgelere gönderilen toplam ürün miktarının toplam araç kapasitesini geçmemesi gerektiğini belirtir.

$$\sum_{d \in D} \sum_{f \in F} P_{cdf} = 1 \quad \forall c \in C \quad (5)$$

$$\sum_{c \in C} \sum_{f \in F} P_{cdf} \delta_c - \sum_{c \in C} Z_{cd} \delta_c \psi_{cd} = \sum_{c \in C} \sum_{g \in G_d} R_{cdg} \delta_c \quad \forall d \in D \quad (6)$$

(5) numaralı kısıt seti, her $c \in C$ yardıma ihtiyacı olan bölgenin talebinin tamamının karşılanmasını garanti eder. (6) numaralı kısıt seti, her $d \in D$ yardım merkezine gelen ürün miktarı ile yardım merkezinden çıkan ürün miktarının eşit olmasını sağlar.

$$\sum_{k \in K} Q_{dk} \leq 1 \quad \forall d \in D \quad (7)$$

$$\sum_{k \in K} Q_{dk} \lambda_k \tau \geq \sum_{c \in C} \sum_{f \in F} P_{cdf} \delta_c \quad \forall d \in D \quad (8)$$

$$\sum_{k \in \{2..|K|\}} Q_{dk} \lambda_{k-1} \tau \leq \sum_{c \in C} \sum_{f \in F} P_{cdf} \delta_c \quad \forall d \in D \quad (9)$$

(7) numaralı kısıt seti, her $d \in D$ yardım merkezine tek bir $k \in K$ yoğunluk seviyesi atanmasını sağlar. (8) ve (9) numaralı kısıt setleri, her $d \in D$ yardım merkezinin karşıladığı toplam talebin, sahip olduğu yoğunluk seviyesinin üst ve alt kapasite sınırlarının arasında yer almasını garanti eder.

$$Z_{cd} \leq \beta_{cd} \quad \forall c \in C, d \in D \quad (10)$$

$$\sum_{d \in D} Z_{cd} = 1 \quad \forall c \in C \quad (11)$$

$$\sum_{d \in D} \sum_{k \in K} \beta_{cd} Q_{dk} \geq \omega \quad \forall c \in C \quad (12)$$

$$\sum_{g \in G_d} R_{cdg} = Z_{cd}(1 - \psi_{cd}) \quad \forall c \in C, d \in D \quad (13)$$

(10) numaralı kısıt seti, $c \in C$ yardıma ihtiyacı olan bölgenin talebinin yalnızca onu karşılayabilecek mesafede bulunan $d \in D$ yardım merkezine atanmasına olanak tanır. (11) numaralı kısıt seti her $c \in C$ yardıma ihtiyacı olan bölgenin talebinin yalnızca bir $d \in D$ yardım merkezi tarafından karşılanmasını sağlar. (12) numaralı kısıt seti, her $c \in C$ yardıma ihtiyacı olan bölgenin talebini karşılayabilecek ω sayıda $d \in D$ yardım merkezinin açılmasını gerektirir. (13) numaralı kısıt seti, talebi $d \in D$ yardım merkezine atanan ve yardım merkezinin motorize olmayan kapsama alanı içinde bulunmayan $c \in C$ yardıma ihtiyacı olan bölgenin talebinin tamamının, yardım merkezinde konumlanan araçlar ile teslim edilmesini garanti altına alır.

$$\sum_{i \in V: (i,j) \in A} X_{ijf} \leq \sum_{k \in K} Q_{jk} \quad \forall j \in D, f \in F \quad (14)$$

$$\sum_{i \in V: (j,i) \in A} X_{jif} = \sum_{i \in V: (i,j) \in A} X_{ijf} \quad \forall j \in D, f \in F \quad (15)$$

$$\sum_{j \in D: (0,j) \in A} X_{0jf} \leq 1 \quad \forall f \in F \quad (16)$$

$$\sum_{j \in D: (j,0) \in A} X_{j0f} = \sum_{j \in D: (0,j) \in A} X_{0jf} \quad \forall f \in F \quad (17)$$

(14) ve (15) numaralı kısıt setleri, her yardım merkezi $j \in D$ ve araç $f \in F$ için, yardım merkezine bir giriş olduysa mutlaka çıkış da olmasını veya hiç giriş çıkış

olmamasını sağlar. (16) ve (17) numaralı kısıt setleri $f \in F$ aracının merkez depodan çıkıp merkez depoya geri dönmesini sağlar.

$$\sum_{j \in E: (i,j) \in B} \sum_{g \in G_d} Y_{ijdg} \leq 0 \quad \forall i \in D, d \in D, i \neq d \quad (18)$$

$$\sum_{j \in E: (j,i) \in B} \sum_{g \in G_d} Y_{jidg} \leq 0 \quad \forall i \in D, d \in D, i \neq d \quad (19)$$

$$\sum_{j \in E: (i,j) \in B} \sum_{g \in G_i} Y_{ijig} \leq \sum_{k \in K} Q_{ik} \lambda_k \quad \forall i \in D \quad (20)$$

$$\sum_{j \in E: (j,i) \in B} Y_{jidg} = \sum_{j \in E: (i,j) \in B} Y_{ijdg} \quad \forall i \in C, d \in D, g \in G_d \quad (21)$$

$$\sum_{j \in C: (i,j) \in B} Y_{ijig} = \sum_{j \in C: (j,i) \in B} Y_{jiig} \quad \forall i \in D, g \in G_i \quad (22)$$

$$\sum_{j \in E: (i,j) \in B} Y_{ijdg} \leq 1 \quad \forall i \in E, d \in D, g \in G_d \quad (23)$$

$$\sum_{j \in E: (i,j) \in B} S_{ijdg} = \sum_{j \in E: (j,i) \in B} S_{jidg} - R_{idg} \delta_i \quad \forall i \in C, d \in D, g \in G_d \quad (24)$$

$$S_{ijdg} \leq Y_{ijdg} \tau \quad \forall (i,j) \in B, d \in D, g \in G_d \quad (25)$$

(18) ve (19) numaralı kısıt setleri, her $d \in D$ yardım merkezinden seyahate başlayan tüm araçların başka yardım merkezlerine gitmemesini garanti altına alır. (20) numaralı kısıt seti, açılmayan potansiyel yardım merkezlerinden akışı engeller ve yardım merkezlerinden yalnızca yoğunluk seviyelerine uygun sayıda aracın hareket edebilmesine olanak tanır. (21) numaralı kısıt seti, her $i \in C$ düğümüne giriş olduysa mutlaka çıkış da olmasını garanti eder. (22) numaralı kısıt seti, yardım merkezinden çıkan aracın ilgili yardım merkezine geri dönmesini sağlar. (23) numaralı kısıt seti, her aracın her noktayı en fazla bir kez ziyaret edebileceğini belirtir. (24) numaralı kısıt seti, araç yükünü takip eder. (25) numaralı kısıt seti, her $d \in D$ yardım merkezinden çıkan $g \in G_d$ aracının

taşıyabileceği yük miktarının en fazla araç kapasitesi τ kadar olabileceğini belirtir.

$$H_{dk} \geq \sum_{c \in C} \sum_{f \in F} P_{cdf} \alpha_{dk} \delta_c - bigM(1 - Q_{dk}) \quad \forall d \in D, k \in K \quad (26)$$

$$L_{dk} \geq \sum_{c \in C} \sum_{g \in G_d} R_{cdg} \alpha_{dk} \delta_c - bigM(1 - Q_{dk}) \quad \forall d \in D, k \in K \quad (27)$$

(26) ve (27) numaralı kısıt setleri sırasıyla, $k \in K$ yoğunluk seviyesine sahip $d \in D$ yardım merkezine merkez depodan gelen araçlar ve yardım merkezinden yardıma ihtiyacı olan bölgelere gönderilen araçlar için elleçleme sürelerini hesaplar.

$$P_{cjf} \leq \sum_{i \in V: (i,j) \in A} X_{ijf} \quad \forall c \in C, j \in D, f \in F \quad (28)$$

$$\sum_{k \in K} Q_{dk} \geq Z_{cd} \quad \forall c \in C, d \in D \quad (29)$$

$$Z_{cd} \geq P_{cdf} \quad \forall c \in C, d \in D, f \in F \quad (30)$$

$$Z_{cd}(1 - \psi_{cd}) \geq R_{cdg} \quad \forall c \in C, d \in D, g \in G_d \quad (31)$$

$$\sum_{c \in C} \sum_{f \in F} P_{cdf} \leq \sum_{k \in K} Q_{dk}(|C| + |F|) \quad \forall d \in D \quad (32)$$

$$\sum_{i \in E: (i,j) \in B} Y_{ijdg} \leq R_{jdg} bigM \quad \forall j \in C, d \in D, g \in G_d \quad (33)$$

(28) - (33) numaralı kısıt setleri bağlantı kısıtlarıdır.

$$U_{if} - U_{jf} + |V|X_{ijf} \leq |D| \quad \forall f \in F, i, j \in D: (i, j) \in A, i \neq j \quad (34)$$

(34) numaralı kısıt seti, merkez depodan yola çıkan araçlar için Miller-Tucker-Zemlin alt tur eleme kısıtıdır (Miller vd., 1960).

$$P_{cdf} \geq 0 \quad \forall c \in C, d \in D, f \in F \quad (35)$$

$$R_{cdg} \geq 0 \quad \forall c \in C, d \in D, g \in G_d \quad (36)$$

$$S_{ijdg} \geq 0 \quad \forall (i,j) \in B, d \in D, g \in G_d \quad (37)$$

$$H_{dk} \geq 0 \quad \forall d \in D, k \in K \quad (38)$$

$$L_{dk} \geq 0 \quad \forall d \in D, k \in K \quad (39)$$

$$U_{df} \geq 0, int \quad \forall d \in D, f \in F \quad (40)$$

$$X_{ijf} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in A, f \in F \quad (41)$$

$$Y_{ijdg} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in B, d \in D, g \in G_d \quad (42)$$

$$Q_{dk} \in \{0,1\} \quad \forall d \in D, k \in K \quad (43)$$

$$Z_{cd} \in \{0,1\} \quad \forall c \in C, d \in D \quad (44)$$

(35) – (44) numaralı kısıt setleri, karar değişkenlerini tanımlamaktadır.

3.3. SEZGİSEL ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Her dakikanın hayati önem taşıdığı afet sonrası durumlarda, uzun süreler boyunca matematiksel modelden çözüm elde etmeye çalışmak gerçekçi bir yaklaşım değildir. Bu nedenle, geliştirilen 2A-RKP modelinin tüm varsayımlarını koruyarak, büyük ölçekli ve daha gerçekçi veri setleri için makul sürede çözüm almayı sağlayan, KTDP temelli böl-ve-fethet sezgisel algoritması geliştirilmiştir. Bu sezgisel yaklaşım, barındırdığı fazla miktarda kısıt seti ve karar değişkeni sebebi ile kısa sürelerde çözülemeyen matematiksel modelin, herhangi bir varsayım değişikliği olmaksızın parçalara ayrılmasına ve her bir parçanın optimizasyon yöntemlerinden faydalanılarak çözülmesine imkân tanımaktadır. Bu kapsamda, geliştirilen 2A-RKP modeli; talep tahsisi problemi, birinci aşama rotalama problemi ve ikinci aşama rotalama problemi olmak üzere üç alt probleme bölünmektedir. Her bir alt problem, ayrı bir KTDP modeli olarak formüle edilmekte ve belirlenen zaman sınırları içerisinde çözülmektedir.

Ardından, her alt problemde elde edilen çözümler birleştirilerek, ana problem için uygulanabilir ve bütünsel bir çözüm elde edilmektedir.

Talep tahsisi problemi, yardım merkezlerinin kurulum kararlarına ve yoğunluk seviyelerine odaklanmakta olup, rotalama kararlarını içermemektedir. Bu problemde, motorize kapsama alanları ve çoklu kapsama varsayımı dikkate alınarak, yardıma ihtiyacı olan bölgelerin talepleri uygun yardım merkezlerine atanmakta; ayrıca, bu merkezlerin hazırlık ve kurulum süreleri de hesaba katılmaktadır. Her ne kadar rotalama kararları bu alt problemde yer almasa da motorize olmayan kapsama alanının, yardım merkezlerinin konumu, yoğunluk seviyesi ve talep tahsisi üzerindeki etkisi modele entegre edilmiştir. Bu kapsamda, elleçleme süreleri, motorize olmayan kapsama alanı dikkate alınarak bu alt problemde hesaplanmaktadır. Çünkü, talebinin atandığı yardım merkezinin motorize olmayan kapsama alanı içinde kalan ve ilgili merkeze yaya olarak erişebilecek bölgeler için, ikinci aşamada araçla teslimat yapılmamaktadır. Dolayısıyla, bu bölgeler için ikinci aşama elleçleme süresi ortaya çıkmamaktadır. Söz konusu talep tahsisi alt probleminin amacı toplam hazırlık, kurulum ve elleçleme sürelerini en küçükmektir.

İkinci alt problem, birinci aşama rotalama problemidir. Bu problemde, merkez depo ile talep tahsisi modelinden elde edilen sonuçlara göre kurulmasına karar verilen yardım merkezleri arasındaki araç rotalarına karar verilmektedir. Amaç, birinci aşama seyahat süresini en küçükmektir.

Üçüncü ve son alt problem ise ikinci aşama rotalama problemidir. Bu problemde, yardım malzemeleri, talep tahsisi modelinden elde edilen sonuçlara göre kurulmasına karar verilen yardım merkezlerinden, yine talep tahsisi modelinin sonucunda bu yardım merkezlerine taleplerinin atanması kararı verilen yardıma ihtiyacı olan bölgelere ulaştırılmaktadır. Her yardım merkezinde mevcut olan kullanılabilir araç sayısı, talep tahsisi modelinin sonucunda karar verilen yardım merkezlerinin yoğunluk seviyeleri sonucunda belirlenmektedir. Ek olarak, sadece taleplerinin atandığı yardım merkezlerinin motorize olmayan kapsama alanı dışında kalan yardım merkezlerine yardım malzemeleri araçlar ile teslim

edilmektedir. Bu problemin amacı, toplam ikinci aşama seyahat süresini en küçükleyecek şekilde ikinci aşama araç rotalarına karar vermektir.

Geliştirilen algoritmayı tanıtan sözde kod Algoritma 1’de sunulmuştur.

Algoritma 1 KTDP Temelli Böl-ve-Fethet Sezgisel Algoritması

Böl 2A-RKP

Alt-problem 1: Talep Tahsisi Problemi

formüle et: Talep Tahsisi KTDP Modeli (M1) (bkz. Bölüm 3.3.1)

girdi: Kümeler: C, D, K

Parametreler: $\delta_c, \lambda_k, \eta_{dk}, \alpha_{dk}, \beta_{cd}, \psi_{cd}, \omega, \zeta, \tau, bigM$

Karar Değişkenleri: $Q_{dk}, Z_{cd}, H_{dk}, L_{dk}$

çöz M1 – *zaman_sınırı* dahilinde

fethet: yardım merkezi konumları ve yoğunluk seviyeleri (Q_{dk}), talep tahsisi kararları (Z_{cd})

$amaç_1$ = toplam hazırlık süresi + toplam kurulum süresi + toplam elleçleme süresi

Alt-problem 2: Birinci Aşama Rotalama Problemi

formüle et: Birinci Aşama Rotalama KTDP Modeli (M2) (bkz. Bölüm 3.3.2)

girdi: Kümeler: $F, (D, V, A) \leftarrow M1$ 'den Q_{dk} aracılığıyla elde edilmiştir

Parametreler: $\rho, (\theta_{ij}) \leftarrow M1$ 'den Q_{dk} aracılığıyla elde edilmiştir

$(\delta_d) \leftarrow M1$ 'den Q_{dk} ve Z_{cd} aracılığıyla elde edilmiştir

Karar Değişkenleri: $X_{ijf}, U_{df}, (P_{df}) \leftarrow$ yeni

çöz M2 – *zaman_sınırı* dahilinde

fethet: birinci aşama araç rotaları (X_{ijf})

$amaç_2$ = toplam birinci aşama seyahat süresi

Alt-problem 3: İkinci Aşama Rotalama Problemi

formüle et: İkinci Aşama Rotalama KTDP Modeli (M3) (bkz. Bölüm 3.3.3)

girdi: Kümeler: $C, (D, E, B, G_d) \leftarrow M1$ 'den Q_{dk} aracılığıyla elde edilmiştir

Parametreler: $\delta_c, \tau, bigM, (\gamma_{ij}, \psi_{cd}) \leftarrow M1$ 'den Q_{dk} aracılığıyla elde edilmiştir

$(Z_{cd}) \leftarrow$ yeni - $M1$ 'den Z_{cd} aracılığıyla elde edilmiştir

Karar Değişkenleri: $Y_{ijdg}, R_{cdg}, S_{ijdg}$

çöz M3 – *zaman_sınırı* dahilinde

fethet: ikinci aşama araç rotaları (Y_{ijdg})

$amaç_3$ = toplam ikinci aşama seyahat süresi

Birleştir toplam operasyon süresi

$$amaç = amaç_1 + amaç_2 + amaç_3$$

3.3.1. Talep Tahsisi Modeli

Talep tahsisi problemi için geliştirilen ve M1 olarak isimlendirilen talep tahsisi modeli, kurulacak yardım merkezlerinin konumlarını, yoğunluk seviyelerini ve talep tahsisi kararlarını belirlemektedir. Motorize ve motorize olmayan kapsama mesafeleri ile çoklu kapsama konusundaki tüm 2A-RKP model varsayımları, bu model için de geçerliliğini korumaktadır.

M1 modeli, C, D ve K kümelerini; $\delta_c, \lambda_k, \eta_{dk}, \alpha_{dk}, \beta_{cd}, \psi_{cd}, \omega, \zeta, \tau$ ve $bigM$ parametrelerini ve Q_{dk}, Z_{cd}, H_{dk} ve L_{dk} karar değişkenlerini içermektedir. Söz konusu modelin amacı toplam hazırlık, kurulum ve elleçleme sürelerini en küçükleme. M1 modeline ait amaç fonksiyonu (45)'te yer almaktadır.

En küçükle

$$\sum_{d \in D} \sum_{k \in K} (H_{dk} + L_{dk} + Q_{dk}(\eta_{dek} + \zeta)) \quad (45)$$

2A-RKP modelinde yer alan (7), (10) – (12), (29), (38), (39), (43) ve (44) numaralı kısıt setleri bu modelde de mevcuttur. Ancak (8), (9), (26) ve (27) numaralı kısıt setleri aşağıdaki gibi değiştirilmiştir:

$$\sum_{k \in K} Q_{dk} \lambda_k \tau \geq \sum_{c \in C} Z_{cd} \delta_c \quad \forall d \in D \quad (46)$$

$$\sum_{k \in \{2..|K|\}} Q_{dk} \lambda_{(k-1)} \tau \leq \sum_{c \in C} Z_{cd} \delta_c \quad \forall d \in D \quad (47)$$

$$H_{dk} \geq \sum_{c \in C} Z_{cd} \alpha_{dk} \delta_c - bigM(1 - Q_{dk}) \quad \forall d \in D, k \in K \quad (48)$$

(8), (9) ve (26) numaralı kısıt setlerinde yer alan P_{cdf} karar değişkeni sırasıyla (46), (47) ve (48) numaralı kısıt setlerinde Z_{cd} karar değişkeni ile değiştirilmiştir.

$$L_{dk} \geq \sum_{c \in C} Z_{cd} \alpha_{dk} \delta_c (1 - \psi_{cd}) - \text{big}M(1 - Q_{dk}) \quad \forall d \in D, k \in K \quad (49)$$

(49) numaralı kısıt seti, (27) numaralı kısıt setinin değiştirilmiş bir versiyonudur. Bu kısıt setinde ikinci aşamadaki toplam elleçleme süresi hesaplanmaktadır. (27) numaralı kısıt setinde yer alan R_{cdg} karar değişkeni bu kısıt setinde Z_{cd} ile değiştirilmiştir. Ek olarak, motorize olmayan kapsama mesafeleri de bu kısıtta yer alan hesaplamaların içine dahil edilmiştir.

M1 modeli (45) numaralı amaç fonksiyonu ve (7), (10) – (12), (29), (38), (39), (43), (44) ve (46) – (49) numaralı kısıt setlerinden oluşmaktadır.

3.3.2. Birinci Aşama Rotalama Modeli

Birinci aşama rotalama problemine yönelik olarak geliştirilen ve M2 olarak adlandırılan model, merkez depodan hareket eden araçların, M1 modelinden elde edilen sonuçlara göre kurulmasına karar verilen yardım merkezlerini ziyaret ettiği rotaları belirlemekte ve bu rotalar için toplam seyahat süresini en küçüklemeyi amaçlamaktadır. M2 modeli, D, V, A ve F kümelerini içermektedir. D kümesi M1 modelinin sonucunda kurulum kararı verilen yardım merkezlerinden oluşmaktadır, V kümesi, bu yardım merkezlerine ek olarak merkez depoyu da içermektedir. Birinci aşama yollar kümesi A , kurulum kararı verilmeyen yardım merkezlerine ait yollar sistemden çıkarılarak güncellenmiştir. θ_{ij} parametresi ise A kümesindeki yollara ait seyahat sürelerini içerecek şekilde güncellenmiştir. Bu modelde δ_d şeklinde ifade edilen parametre, M1 modelinin sonucundan elde edilen talep tahsisi kararları sonucunda $d \in D$ yardım merkezine atanan toplam talep miktarını temsil etmektedir. 2A-RKP modelinden farklı olarak M2 modelinde, P_{df} şeklinde tanımlanan yeni bir karar değişkeni yer almaktadır. Bu değişken $d \in D$ yardım merkezine $f \in F$ aracıyla teslim edilen talep yüzdesini temsil etmektedir. Bununla birlikte, 2A-RKP modelinde tanımlı olan ρ parametresi ile X_{ijf} ve U_{df} karar değişkenleri M2 modelinde de yer almaktadır. M2 modeline ait amaç fonksiyonu (50)'de verilmiştir:

En küçük

$$\sum_{(i,j) \in A} \sum_{f \in F} X_{ij} \theta_{ij} \quad (50)$$

2A-RKP modelinde yer alan (15) - (17), (34), (40) ve (41) numaralı kısıt setleri bu modelde de yer almaktadır. Ancak (2), (5), (28) ve (14) numaralı kısıt setleri aşağıdaki gibi değiştirilmiştir:

$$\sum_{d \in D} P_{df} \delta_d \leq \rho \quad \forall f \in F \quad (51)$$

$$\sum_{f \in F} P_{df} = 1 \quad \forall d \in D \quad (52)$$

$$P_{jf} \leq \sum_{i \in V: (i,j) \in A} X_{ijf} \quad \forall j \in D, f \in F \quad (53)$$

(2), (5) ve (28) numaralı kısıt setlerinde yer alan P_{cdf} karar değişkeni, M2 modelinde ilgili kısıt setlerinin karşılığı olan (51), (52) ve (53) numaralı kısıt setlerinde P_{df} ile değiştirilmiştir. Ek olarak, (2) numaralı kısıt setinde yer alan δ_c parametresi, (51) numaralı kısıt setinde δ_d ile değiştirilmiştir.

$$\sum_{i \in V: (i,j) \in A} X_{ijf} \leq 1 \quad \forall j \in D, f \in F \quad (54)$$

(14) numaralı kısıt setinde yer alan Q_{jk} karar değişkeni, (54) numaralı kısıt setinde 1 sabit değeri ile değiştirilmiştir. Bunun nedeni, M2 modelinin, yardım merkezlerinin konumları ve yoğunluk seviyelerine ilişkin herhangi bir karar içermemesidir.

$$P_{df} \geq 0 \quad \forall d \in D, f \in F \quad (55)$$

Kısıt seti (55), yeni P_{df} karar değişkenini tanımlamaktadır.

M2 modeli (50) numaralı amaç fonksiyonu ve (15) - (17), (34), (40), (41) ve (51) – (55) numaralı kısıt setlerinden oluşmaktadır.

3.3.3. İkinci Aşama Rotalama Modeli

İkinci aşama rotalama problemine yönelik geliştirilen ve M3 olarak adlandırılan bu model, M1 modelinin çıktıları doğrultusunda kurulum kararı verilen yardım merkezleri ile yardıma ihtiyaç duyan bölgeler arasındaki en iyi rotaların belirlenmesini amaçlamaktadır. M3 modeli C, D, E, B ve G_d kümelerini içermektedir. M2 modeline benzer şekilde, D kümesi, M1 modelinin sonucunda kurulmasına karar verilen yardım merkezlerinden oluşmakta, E kümesi ise bu yardım merkezlerine ek olarak yardıma ihtiyacı olan bölgeleri içermektedir. G_d kümesinde yer alan araç sayıları, M1 modelinin sonucunda karar verilen yoğunluk seviyelerine göre belirlenmektedir. İkinci aşamada yer alan yollar kümesi B ise, kurulum kararı verilmeyen yardım merkezlerine ait yollar çıkarılarak güncellenmektedir. γ_{ij} parametresi, sadece B kümesinde yer alan yolları içerecek şekilde güncellenmektedir. Benzer şekilde ψ_{cd} parametresi sadece güncellenmiş D kümesinde yer alan yardım merkezlerini içerecek şekilde güncellenmektedir. M1 modeli sonucunda elde edilen talep tahsisi kararları bu modelde z_{cd} parametresi ile yer almaktadır. 2A-RKP modelinde yer alan δ_c, τ ve $bigM$ parametreleri ile Y_{ijdg}, R_{cdg} ve S_{ijdg} karar değişkenleri bu modelde de yer almaktadır. Toplam ikinci aşama seyahat süresini en küçükleyen amaç fonksiyonu (56)'da sunulmuştur:

En küçükle

$$\sum_{(i,j) \in B} \sum_{d \in D} \sum_{g \in G_d} Y_{ijdg} \gamma_{ij} \quad (56)$$

2A-RKP modelinde yer alan (3), (18), (19), (21) – (25), (33), (36), (37) ve (42) numaralı kısıt setleri bu modelde de yer almaktadır. Ancak (13) ve (31) numaralı kısıt setleri aşağıdaki gibi değiştirilmiştir:

$$\sum_{g \in G_d} R_{cdg} = z_{cd}(1 - \psi_{cd}) \quad \forall c \in C, d \in D \quad (57)$$

$$z_{cd}(1 - \psi_{cd}) \geq R_{cdg} \quad \forall c \in C, d \in D, g \in G_d \quad (58)$$

(13) ve (31) numaralı kısıt setlerinde yer alan Z_{cd} karar değişkeni, M3 modelinde ilgili kısıt setlerinin karşılığı olan (57) ve (58) numaralı kısıt setlerinde z_{cd} parametresi ile değiştirilmiştir.

M3 modeli (56) numaralı amaç fonksiyonu ve (3), (18), (19), (21) – (25), (33), (36), (37), (42), (57) ve (58) numaralı kısıt setlerinden oluşmaktadır.



4. BÖLÜM

NÜMERİK ANALİZLER

Bu bölümde, 2A-RKP modelinin ve böl-ve-fethet algoritmasının uygulanabilirliğini ve kullanım sonrası sağladığı faydaları gösterebilmek amacıyla, örnek olay çalışması ve farklı parametre değerlerine sahip senaryolar üzerinden nümerik analizler sunulmaktadır.

İlk olarak, örnek olaya ait veri seti tanıtılmaktadır. İkinci bölümde, örnek olay çözümünün sonuçları sunulmaktadır. Akabinde, farklı parametre değerlerine sahip dört senaryo oluşturularak, örnek olay çözümü ile karşılaştırmalı analizler gerçekleştirilmektedir. Son bölümde ise, çözüm yaklaşımının etkinliğini ortaya koymak amacıyla, hem 2A-RKP modeli hem de böl-ve-fethet algoritması büyük ölçekli veri setleri üzerinde test edilmekte ve karşılaştırmalı sonuçlar sunulmaktadır.

Tüm analizler, IBM OPL ILOG CPLEX yazılımının 22.1.0 sürümü kullanılarak 64 GB belleğe ve 64 bit işletim sistemine sahip, Intel® Xeon® Silver 4216 CPU 2.10 GHz işlemcili bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir.

4.1. ÖRNEK OLAY VERİ SETİNİN TANITILMASI

İstanbul, yüzyıllar boyunca pek çok büyük depremle karşı karşıya kalmış ve önemli yıkımlar yaşamıştır. Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın Marmara Denizi'nden geçen kollarının, önümüzdeki yıllarda kırılarak büyük bir depreme sebep olacağı tahmin edilmektedir (Kundak ve Türkoğlu, 2007). Nüfus artış hızı, çarpık kentleşme, ekolojik dengesizlik ve altyapı yetersizlikleri gibi faktörler nedeniyle, İstanbul'un olası bir deprem sonrası ciddi bir yıkıma uğrama riski her geçen gün artmaktadır (Özel Mazlum ve Yalçiner Ercoşkun, 2023).

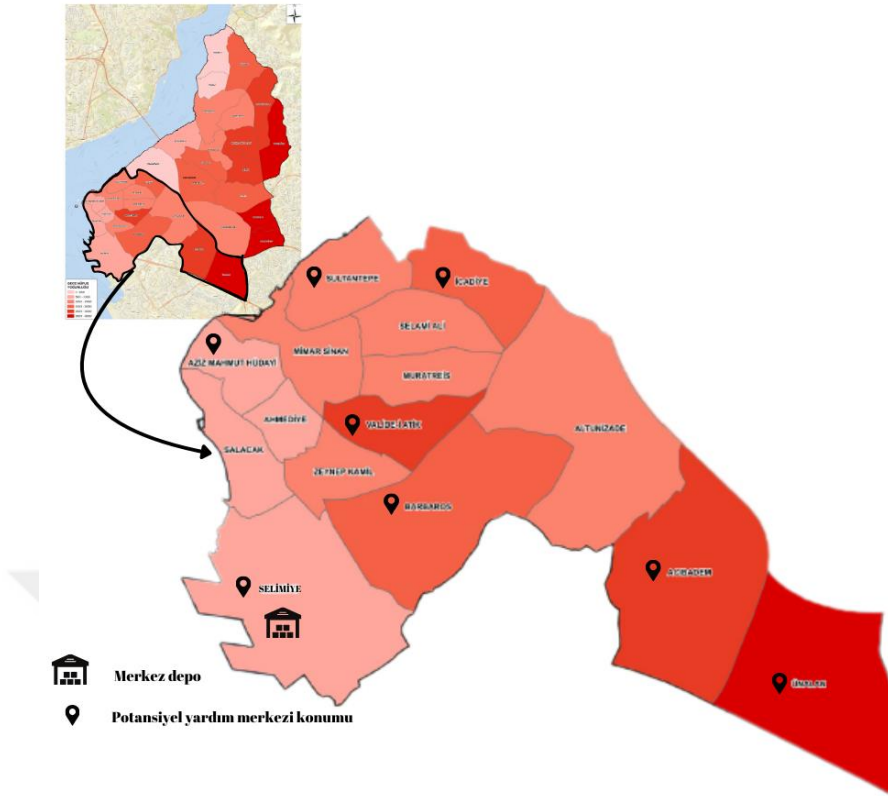
Kundak ve Türkoğlu (2007) çalışmalarında, İstanbul'un ilçe ve mahallelerini; hasar görülebilirlik düzeyi, nüfus yoğunluğu, işyeri ve yanıcı/patlayıcı madde yoğunluğu, tehlike bileşeni (7,7 büyüklüğündeki bir depremin yaratacağı ortalama

ivme tepki spektrum değeri) ve potansiyel bileşeni (deprem sonrası afetzedelere sunulacak sağlık hizmeti kapasitesi) gibi kriterlere göre sınıflandırmıştır. Bu değerlendirme sonucunda, Üsküdar ilçesi ve özellikle Selimiye Mahallesi, potansiyel bileşen bakımından İstanbul'daki tüm mahalleler arasında beşinci sırada yer almıştır. Ayrıca, Türkiye İstatistik Kurumu 2024 nüfus verilerine göre, Üsküdar, İstanbul'un 39 ilçesi arasında nüfus bakımından en yüksek 10. sıradadır. Ek olarak, Marmara Bölgesi'nin en büyük konteyner limanı olan ve Türkiye'nin önde gelen limanlarından biri kabul edilen Haydarpaşa Limanı, Üsküdar ilçesinin Selimiye Mahallesi sınırlarında yer almaktadır (Ünal, 2008).

Tüm bu faktörler göz önünde bulundurularak, örnek olay çalışması için Üsküdar ilçesi seçilmiştir. Örnek olay ve sonrasında onun üzerinde gerçekleştirilecek senaryo analizlerinin en iyi sonuçlar üzerinden ilerlemesi istenildiğinden, ilçenin Selimiye mahallesini de içine alan, toplam 15 mahalleden oluşan alt bölgesine yoğunlaştırılmıştır.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü (DEZİM) tarafından 2020 yılında hazırlanan "İstanbul İli Üsküdar İlçesi Olası Deprem Kayıp Tahminleri Kitapçığı" temel alınarak, örnek olayda kullanılan gece nüfus yoğunluğu verileri değerlendirilmiştir. Bu kapsamda oluşturulan Şekil 4.1, çalışmada yoğunlaştırılan bölgeyi görsel olarak sunmaktadır.

Gece nüfus yoğunluğu ve bölgeler arası mesafeler dikkate alınarak, sekiz adet potansiyel yardım merkezi (D) belirlenmiştir. Ayrıca, Haydarpaşa Limanı'nın bulunduğu mahalle olması sebebiyle, Selimiye Mahallesi'ne bir merkez depo (0) konumlandırılmıştır. Haritada gösterilen 15 mahallenin tamamı ise yardıma ihtiyacı olan bölgeler (C) olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.1 Üsküdar İlçesi için Potansiyel Yardım Merkezlerinin ve Merkez Deponun Konumu

Belirlenen potansiyel yardım merkezlerinin konumları için Üsküdar Kaymakamlığı tarafından 2020 yılında yayımlanan “Afet ve Acil Toplanma Alanları” listesinde yer alan acil toplanma alanları baz alınmıştır. İlgili toplanma alanları ve koordinatları Tablo 4.1’de sunulmuştur.

Tablo 4.1 Potansiyel Yardım Merkezlerinin Koordinatları

#	Yardım Merkezi	Enlem	Boylam	Acil Toplanma Merkezi
D1	Ünalan	40.999136	29.064848	Utku Sokak Parkı
D2	Acıbadem	41.012825	29.051967	Menekşe Parkı
D3	Valide-i Atik	41.016627	29.024899	Divitçiler Parkı
D4	İcadiye	41.028091	29.035101	Çınaraltı Parkı
D5	Selimiye	41.011461	29.01995	Duwardibi Parkı
D6	Aziz Mahmut Hüdayi	41.020544	29.010983	A Yıldırım Parkı
D7	Barbaros	41.014526	29.031735	Barbaros Parkı
D8	Sultantepe	41.028608	29.02596	Yavuz Gökmen Parkı

Kurulacak yardım merkezlerinin, geçici yardım çadırları olduğu varsayılmıştır ve merkezlerin yoğunluk seviyeleri, kendilerine atanan talep miktarına göre değişmektedir. Yoğunluk seviyesi kümesi $K = \{1,2,3\}$ olarak tanımlanmıştır; burada, 1 en düşük yoğunluk seviyesini, 3 ise en yüksek yoğunluk seviyesini ifade etmektedir. Yoğunluk seviyesi arttıkça, kurulması gereken yardım merkezlerinin fiziksel boyutları da artış göstermektedir. Başka bir deyişle, yoğunluk seviyesine bağlı olarak küçük, orta ve büyük boy yardım çadırları kurulmaktadır.

Merkez depoda bulunan homojen araç filosu, her biri $90 m^3$ hacme sahip, üç adet standart tenteli tırdan oluşmaktadır. Yardım merkezlerinde ise, her biri $40 m^3$ hacme sahip kamyonlar kullanılmaktadır. Yardım merkezlerinde mevcut araç sayıları, yoğunluk seviyesine göre farklılık göstermekte olup, düşük, orta ve yüksek yoğunluk seviyeleri için sırasıyla 1, 2 ve 3 araç kullanılabileceği öngörülmüştür.

Dağıtılacak yardım malzemesinin $40 \times 60 \times 40 cm^3$ boyutlarında orta boy yardım kolisi olduğu varsayılmıştır. Standart tenteli bir tıra 937 adet, kamyonu ise 416 adet yardım kolisinin sığabildiği kabul edilmiştir. Ürünlerin palet ile taşınmadığı varsayılmıştır. Merkez depodaki üç aracın tam dolu kapasite ile taşıyabileceği toplam ürün miktarı olan 2.811 adet yardım kolisi, sistemdeki toplam talep olarak belirlenmiştir. Yardıma ihtiyacı olan bölgelerin bireysel talepleri ise, toplam talep miktarının mahalle nüfusları ile orantılanması yoluyla hesaplanmıştır. Yardıma ihtiyacı olan bölgelere ait talepler Tablo 4.2'de sunulmaktadır.

Tablo 4.2 Mahallelerin Nüfuslarına Oranlanmış Talep Miktarları

#	Mahalle Adı	Enlem	Boylam	Nüfus	Talep (adet)
C9	Ünalan	40.999136	29.064848	35.344	443
C10	Acıbadem	41.012825	29.051967	24.053	301
C11	Valide-i Atik	41.016627	29.024899	20.686	259
C12	Barbaros	41.014526	29.031735	17.746	222
C13	İcadiye	41.028091	29.035101	15.962	200
C14	Muratreis	41.021320	29.026550	13.651	171
C15	Altunizade	41.019610	29.045150	13.459	169
C16	Selami Ali	41.023930	29.030380	13.274	166
C17	Zeynep Kamil	41.015130	29.025440	12.106	152
C18	Mimar Sinan	41.025200	29.013220	11.691	146
C19	Sultantepe	41.028608	29.02596	10.874	136
C20	Salacak	41.014390	29.011780	9.522	119
C21	Ahmediye	41.020320	29.016760	8.983	112
C22	Aziz Mahmut Hüdayi	41.020544	29.010983	8.664	108
C23	Selimiye	41.011461	29.01995	8.499	106
			TOPLAM	224.514	2.811

Belirlenen potansiyel yardım merkezleri ile yardıma ihtiyacı olan bölgeler arasındaki kuş uçuşu mesafeler, Google Haritalar kullanılarak temin edilmiştir. Hem standart tenteli tırların hem de kamyonların şehir içi trafik koşullarında ortalama 20 ila 30 km/s hız ile ilerlediği varsayılmış ve bu doğrultuda süre matrisleri oluşturulmuştur. Merkez depo ve yardım merkezleri ile yardım merkezleri ve yardıma ihtiyacı olan bölgeler arasında oluşturulan matrisler sırasıyla Ek 1 ve Ek 2’de yer alan Tablo E1.1 ve Tablo E2.1’de sunulmaktadır. Noktalar arası mesafeler dikkate alınarak, motorize kapsama alanı 2 km olarak ele alınırken, motorize olmayan kapsama alanı 1 km olarak belirlenmiştir. 2 km’lik motorize kapsama alanına göre oluşturulan β_{cd} ve 1 km’lik motorize olmayan kapsama alanına göre oluşturulan ψ_{cd} matrisleri sırası ile Ek 3 ve Ek 4’te yer alan Tablo E3.1 ve Tablo E4.1’de yer almaktadır. Bunlara ek olarak, yardıma ihtiyacı olan bölgelerin taleplerinin, ihtiyaç halinde en az iki yardım merkezi tarafından karşılanabilir olması gerektiğine karar verilmiştir.

Düşük, orta ve yüksek yoğunluk seviyelerine sahip yardım merkezlerinde, bir yardım kolisinin elleçleme süresinin sırasıyla 4–4,5 saniye, 6–6,5 saniye ve 8–8,5 saniye aralığında değiştiği varsayılmıştır. Farklı yardım merkezlerinde operasyonel koşullara bağlı olarak elleçleme sürelerinde değişkenlik olabileceği

öngörüldüğünden, her yardım merkezine, yoğunluk seviyelerine göre belirlenen aralıklar içerisinde rastgele bir elleçleme süresi atanmıştır. Yardım merkezlerindeki yoğunluk seviyelerine göre belirlenen elleçleme süresi aralıkları Tablo 4.3'te sunulmaktadır.

Tablo 4.3 Yoğunluk Seviyelerine Göre Yardım Merkezlerinde Elleçleme Süreleri (dk)

		Yoğunluk Seviyesi		
Yardım Merkezi		1	2	3
Ünalan	D1	0,0694	0,1033	0,1372
Acıbadem	D2	0,0729	0,1076	0,1314
Valide-i Atik	D3	0,0687	0,1045	0,139
İcadiye	D4	0,0716	0,1079	0,1348
Selimiye	D5	0,0672	0,1001	0,1326
Aziz Mahmut Hüdayi	D6	0,0724	0,103	0,1392
Barbaros	D7	0,0679	0,103	0,1337
Sultantepe	D8	0,0673	0,1088	0,1365

Düşük, orta ve yüksek yoğunluk seviyelerine sahip yardım merkezlerinin kurulum sürelerinin sırasıyla 40–45 dakika, 80–85 dakika ve 120–125 dakika aralığında değiştiği varsayılmıştır. Yardım merkezleri arasındaki operasyonel farklılıklar nedeniyle kurulum süreleri arasında fark olabileceği varsayılmış ve her yardım merkezine belirlenen aralıklar içerisinde rastgele bir kurulum süresi atanmıştır. Yoğunluk seviyelerine göre oluşturulan kurulum süresi değerleri Tablo 4.4'te sunulmaktadır.

Tablo 4.4 Yoğunluk Seviyelerine Göre Yardım Merkezlerinin Kurulum Süreleri (dk)

		Yoğunluk Seviyesi		
Yardım Merkezi		1	2	3
Ünalan	D1	42,517	83,792	121,837
Acıbadem	D2	44,233	80,514	124,129
Valide-i Atik	D3	40,658	84,236	120,564
İcadiye	D4	43,289	81,903	122,973
Selimiye	D5	41,472	82,478	123,451
Aziz Mahmut Hüdayi	D6	44,985	84,712	121,704
Barbaros	D7	40,721	81,365	124,862
Sultantepe	D8	42,346	83,829	120,923

Bunlara ek olarak, her bir yardım merkezinin kurulumu öncesinde gerekli olan sabit hazırlık süresinin 100 dakika olduğu varsayılmıştır.

Örnek olayda kullanılan tüm parametreler Ek 5'te sunulan Tablo E5.1'de özetlenmektedir.

4.2. ÖRNEK OLAY ÇÖZÜMÜ

Örnek olay için elde edilen en iyi çözümde toplam operasyon süresi 1.183,38 dk olarak bulunmuştur. Bu sürenin %34'ünü hazırlık süresi, %33'ünü toplam elleçleme süresi, %28'ini toplam kurulum süresi, %3'ünü merkez depo ve yardım merkezleri arasındaki birinci aşama seyahat süresi, %2'sini ise yardım merkezleri ve yardıma ihtiyacı olan bölgeler arasındaki ikinci aşama seyahat süresi oluşturmaktadır. Örnek olaya ait temel performans kriterleri Tablo 4.5'te özetlenmektedir.

Tablo 4.5 Örnek Olay Çözümüne Ait Temel Performans Kriterleri

Temel Performans Kriterleri	Örnek Olay
Toplam operasyon süresi (dk)	1.183,38
Birinci aşama seyahat süresi (dk)	32,96
İkinci aşama seyahat süresi (dk)	21,89
Toplam elleçleme süresi (dk)	396,11
Toplam kurulum süresi (dk)	332,42
Toplam hazırlık süresi (dk)	400
$k = 3$ yoğunluk seviyesinde açılan yardım merkezi sayısı (adet)	1
$k = 2$ yoğunluk seviyesinde açılan yardım merkezi sayısı (adet)	2
$k = 1$ yoğunluk seviyesinde açılan yardım merkezi sayısı (adet)	1
Talebini yardım merkezlerinden kendi imkanlarıyla temin eden bölge sayısı (adet)	11
Toplam talebin ikinci aşamada araçlar ile teslim edilme oranı	%19
Hesaplama süresi	00:00:39:15

Tablo 4.6, kurulmasına karar verilen yardım merkezlerini göstermektedir. Bu kapsamda, Acıbadem'de düşük yoğunluk seviyesinde, Ünalın ve Sultantepe'de orta yoğunluk seviyesinde, Valide-i Atik'te ise yüksek yoğunluk seviyesinde olmak üzere toplam dört yardım merkezinin kurulmasına karar verilmiştir. Tablo 4.7 ise, kurulum kararı verilen yardım merkezlerinin hizmet verdiği yardıma ihtiyacı olan bölgeleri ve bu merkezler tarafından karşılanan toplam talep miktarlarını sunmaktadır.

Tablo 4.6 Örnek Olay Çözümünde Potansiyel Yardım Merkezleri için Kurulum Kararları

Yardım Merkezi		Yoğunluk Seviyesi		
		1	2	3
Ünalan	D1	0	1	0
Acıbadem	D2	1	0	0
Valide-i Atik	D3	0	0	1
İcadiye	D4	0	0	0
Selimiye	D5	0	0	0
Aziz Mahmut Hüdayi	D6	0	0	0
Barbaros	D7	0	0	0
Sultantepe	D8	0	1	0

Tablo 4.7 Örnek Olay Çözümünde Talep Tahsisi Kararları

Yardım Merkezi		Yardıma İhtiyacı Olan Bölge		Karşılanan Talep Miktarı
Ünalan	D1	Ünalan	C9	443
Acıbadem	D2	Acıbadem	C10	301
Valide-i Atik	D3	Valide-i Atik	C11	1.245
		Barbaros	C12	
		Selami Ali	C16	
		Zeynep Kamil	C17	
		Salacak	C20	
		Ahmediye	C21	
		Aziz Mahmut Hüdayi	C22	
		Selimiye	C23	
Sultantepe	D8	İcadiye	C13	822
		Muratreis	C14	
		Altunizade	C15	
		Mimar Sinan	C18	
		Sultantepe	C19	

Düşük yoğunluk seviyesine sahip Acıbadem'e atanan toplam talep miktarı 301'dir. Orta yoğunluk seviyesine sahip Ünalan ve Sultantepe'ye atanan toplam talep miktarı sırasıyla 443 ve 822'dir. Yüksek yoğunluk seviyesine sahip Valide-i Atik'e atanan toplam talep miktarı ise 1.245'tir. Bunlara ek olarak, tüm yardıma ihtiyacı olan bölgelerin talebi, gerektiği takdirde açılmış olan yardım merkezlerinden en az iki tanesi tarafından karşılanabilir durumdadır.

Tablo 4.8, örnek olayda izlenen dağıtım planını sunmaktadır. Toplam 15 bölgeden 11'i, ilgili yardım merkezine doğrudan ulaşarak taleplerini karşılamıştır.

İkinci aşama araçları tarafından teslim edilen ürünlerin toplam talebe oranı ise %19'dur.

Tablo 4.8 Örnek Olay Çözümünde Dağıtım Planı

	Araç	Rota	Taşıdığı Toplam Ürün Miktarı
Birinci Aşama	1	Selimiye (0) - Valide-i Atik (D3) - Selimiye (0)	937
	2	Selimiye (0) - Valide-i Atik (D3) - Sultantepe (D8) - Selimiye (0)	937
	3	Selimiye (0) - Valide-i Atik (D3) - Acıbadem (D2) - Ünalın (D1) - Selimiye (0)	937
İkinci Aşama	<8,2>*	Sultantepe (D8) - Mimar Sinan (C18) - Altunizade (C15) - Sultantepe (D8)	315
	<3,3>**	Valide-i Atik(D3) - Aziz Mahmut Hüdayi (C22) - Salacak (C20) - Valide-i Atik(D3)	228

* 8 numaralı yardım merkezinden hareket eden 2 numaralı aracı temsil eder.

**3 numaralı yardım merkezinden hareket eden 3 numaralı aracı temsil eder.

4.3. ÖRNEK OLAY ÜZERİNDE SENARYO ANALİZLERİ

Bu bölümde, mevcut probleme ait farklı problem parametrelerini içeren senaryolar geliştirilerek matematiksel modelin öne çıkan yönlerinin test edilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, örnek olay çözümü ile karşılaştırılmış ve parametre değişimlerinin etkileri analiz edilmiştir. Bu doğrultuda analiz edilen senaryolar Tablo 4.9'da özetlenmiştir.

Tablo 4.9 Analiz Edilen Senaryolar

Senaryo 1 – Çoklu Kapsama	
Çoklu kapsama varsayımı kaldırılmıştır.	
Senaryo 2 – Motorize Olmayan Kapsama Alanı	
i)	Motorize olmayan kapsama alanı kaldırılmıştır.
ii)	Motorize olmayan kapsama alanı azaltılmıştır.
iii)	Motorize olmayan kapsama alanı artırılmıştır.
Senaryo 3 – Motorize Kapsama Alanı	
Motorize kapsama alanı artırılmıştır.	
Senaryo 4 – Yoğunluk Seviyeleri	
i)	Yardım merkezlerinin yalnızca düşük yoğunluk seviyesinde açılacağı varsayılmıştır.
ii)	Yardım merkezlerinin yalnızca orta yoğunluk seviyesinde açılacağı varsayılmıştır.
iii)	Yardım merkezlerinin yalnızca yüksek yoğunluk seviyesinde açılacağı varsayılmıştır.

4.3.1. Senaryo 1 – Çoklu Kapsama Analizi

Afet sonrası belirsizliklerin yoğun olduğu bir ortamda, yardım merkezlerinden herhangi birinde hizmet kesintisi yaşanması durumunda, tüm afetzedelerin taleplerinin karşılanabileceği ikinci bir yardım merkezinin açık ve faal olması gerektiği varsayımıyla, sistemin dayanıklılığını artıran çoklu kapsama yaklaşımı benimsenmiştir. Ancak bu senaryo kapsamında, söz konusu çoklu kapsama varsayımı kaldırılmıştır. Diğer bir ifadeyle, bu senaryoda, yardıma ihtiyacı olan bölgelerin taleplerinin yalnızca bir açık yardım merkezi tarafından karşılanabiliyor olması yeterli kabul edilmiştir. Bu doğrultuda, örnek olayda 2 olarak belirlenen ω değeri 1 olarak değiştirilmiştir. Senaryo 1'e ait çözümün temel performans kriterlerinin örnek olay çözümü ile karşılaştırmalı özeti Tablo 4.10'da sunulmaktadır.

Tablo 4.10 Senaryo 1 Çözümüne Ait Temel Performans Kriterleri

Temel Performans Kriterleri	Senaryo 1	Örnek Olay	Fark*
Toplam operasyon süresi (dk)	1.087,23	1.183,38	-%8
Birinci aşama seyahat süresi (dk)	31,65	32,96	-%4
İkinci aşama seyahat süresi (dk)	31,04	21,89	%42
Toplam elleçleme süresi (dk)	436,36	396,11	%10
Toplam kurulum süresi (dk)	288,19	332,42	-%13
Toplam hazırlık süresi (dk)	300	400	-%25
$k = 3$ yoğunluk seviyesinde açılan yardım merkezi sayısı (adet)	1	1	%0
$k = 2$ yoğunluk seviyesinde açılan yardım merkezi sayısı (adet)	2	2	%0
$k = 1$ yoğunluk seviyesinde açılan yardım merkezi sayısı (adet)	0	1	-%100
Talebini yardım merkezlerinden kendi imkanlarıyla temin eden bölge sayısı (adet)	10	11	-%9
Toplam talebin ikinci aşamada araçlar ile teslim edilme oranı	%30	%19	%58
Hesaplama süresi	00:00:57:03	00:00:39:15	%46

*Örnek olay ve Senaryo 1 arasındaki farkı temsil etmektedir: $100 \times ((\text{Senaryo 1} - \text{Örnek Olay}) \div \text{Örnek Olay})$

Çoklu kapsama varsayımının kaldırılması, örnek olaya kıyasla toplam operasyon süresini %8 oranında azaltmış ve kurulan yardım merkezi sayısını dörtten üçe düşürmüştür. Senaryo 1 çözümünde kurulum kararı verilen yardım merkezleri ve talep tahsisi kararları sırasıyla Tablo 4.11 ve Tablo 4.12 'de verilmiştir.

Tablo 4.11 Senaryo 1 Çözümünde Potansiyel Yardım Merkezleri için Kurulum Kararları

Yardım Merkezi		Yoğunluk Seviyesi		
		1	2	3
Ünalan	D1	0	1	0
Acıbadem	D2	0	0	0
Valide-i Atik	D3	0	0	1
İcadiye	D4	0	0	0
Selimiye	D5	0	0	0
Aziz Mahmut Hüdayi	D6	0	0	0
Barbaros	D7	0	0	0
Sultantepe	D8	0	1	0

Tablo 4.12 Senaryo 1 Çözümünde Talep Tahsisi Kararları

Yardım Merkezi		Yardıma İhtiyacı Olan Bölge	Karşılanan Talep Miktarı
Ünalan	D1	Ünalan	C9
		Acıbadem	C10
Valide-i Atik	D3	Valide-i Atik	C11
		Barbaros	C12
		Selami Ali	C16
		Zeynep Kamil	C17
		Salacak	C20
		Ahmediye	C21
		Aziz Mahmut Hüdayi	C22
		Selimiye	C23
		İcadiye	C13
Sultantepe	D8	Muratreis	C14
		Altunizade	C15
		Mimar Sinan	C18
		Sultantepe	C19

Senaryo 1 kapsamında, Ünalan ve Sultantepe mahallelerinde orta yoğunluk seviyesinde, Valide-i Atik mahallesinde ise yüksek yoğunluk seviyesinde olmak üzere, toplam üç adet yardım merkezinin kurulmasına karar verilmiştir. Beklendiği üzere, çoklu kapsama varsayımının kaldırılması, örnek olay çözümü ile kıyaslandığında daha az sayıda yardım merkezinin kurulmasına olanak sağlamıştır. Bu durumun bir sonucu olarak, hazırlık süresi örnek olaya göre %25, kurulum süresi ise %13 oranında azalma göstermiştir.

Senaryo 1 çözümünden elde edilen dağıtım planı Tablo 4.13'te yer almaktadır.

Tablo 4.13 Senaryo 1 Çözümünde Dağıtım Planı

	Araç	Rota	Taşıdığı Toplam Ürün Miktarı
Birinci Aşama	1	Selimiye (0) - Valide-i Atik (D3) - Ünalán (D1) - Selimiye (0)	937
	2	Selimiye (0) - Valide-i Atik (D3) - Selimiye (0)	937
	3	Selimiye (0) - Sultantepe (D8) - Valide-i Atik (D3) - Selimiye (0)	937
İkinci Aşama	<1,1>*	Ünalán (D1) - Acıbadem (C10) - Ünalán (D1)	301
	<3,3>**	Valide-i Atik(D3) - Aziz Mahmut Hüdayi (C22) - Salacak (C20)- Valide-i Atik(D3)	228
	<8,2>***	Sultantepe (D8) -Mimar Sinan (C18) - Altunizade (C15) - Ünalán (D1)	315

* 1 numaralı yardım merkezinden hareket eden 1 numaralı aracı temsil eder.

**3 numaralı yardım merkezinden hareket eden 3 numaralı aracı temsil eder.

***8 numaralı yardım merkezinden hareket eden 2 numaralı aracı temsil eder.

Birinci aşama için toplam seyahat süresi örnek olaya göre %4 azalmıştır. İkinci aşamada ise toplam talebin %30'u açık olan üç yardım merkezinde bulunan araçlar ile teslim edilmiştir. 15 bölge içerisinde 10 tanesi talebini kendi imkanları ile ilgili yardım merkezinden temin etmiştir. Örnek olay çözümüne göre daha az sayıda yardım merkezi açılması sebebiyle, daha az sayıda ihtiyaç bölgesi açılan yardım merkezlerinin motorize olmayan kapsama alanı içerisinde kalmıştır.

Her ne kadar çoklu kapsama varsayımı, toplam operasyon süresini artırsa da insani yardım lojistiği kapsamında daha dayanıklı ve güvenli bir çözüm sunmaktadır. Bu senaryo, çoklu kapsamanın operasyon süresi üzerindeki etkisinin ölçülmesine ve dayanıklılık ile zaman arasındaki ödünleşmenin gözlemlenmesine olanak sağlamıştır.

Çoklu kapsamanın varlığı, sistemin dayanıklılığını ve direncini artırırken daha fazla yardım merkezi kurulmasını gerektirmekte, bu da toplam operasyon süresinin artmasına yol açmaktadır. Afet lojistiğinde toplam operasyon süresini en aza indirmek kritik öneme sahip olsa da çoklu kapsama varsayımının, tedarik kesintileri ve belirsizliklerden kaynaklanan potansiyel kayıpları azaltma konusunda faydalı olacağı düşünülmektedir.

4.3.2. Senaryo 2 – Motorize Olmayan Kapsama Alanı Analizi

Afet sonrası durumlarda, kıt kaynakların verimli kullanılması ve yardıma ihtiyacı olan herkese mümkün olan en hızlı şekilde yardım ulaştırılması temel hedefler arasında yer almaktadır. Bu çalışmada ele alınan problemde, talebi atanan yardım merkezinin motorize olmayan kapsama alanı içerisinde bulunan yardıma ihtiyacı olan bölgeler, yardım malzemelerine kendi imkanlarıyla ilgili yardım merkezine ulaşarak erişmektedir. Böylece, mevcut araç filosu, daha uzak mesafede bulunan bölgelerdeki yardıma ihtiyacı olan kişilere hizmet ulaştırmak için etkin bir şekilde kullanılabilir. Bu senaryo kapsamında, motorize olmayan kapsama alanının çözüm üzerindeki etkilerini tartışmak amacıyla alanın; kaldırıldığı, %25 azaltıldığı ve %25 artırıldığı üç farklı analiz gerçekleştirilmiştir.

4.3.2.1. Senaryo 2.1 – Motorize Olmayan Kapsama Alanının Kaldırılması

Bu analizde ψ_{cd} matrisindeki tüm değerler 0 olarak revize edilmiştir. Başka bir ifadeyle, yardıma ihtiyacı olan tüm bölgelere yardım kolilerinin araçlar ile teslim edilmesi öngörülmüştür. Bu durum, 2A-RKP modelinin hesaplama süresini örnek olaya kıyasla önemli ölçüde artırmış ve en iyi çözüme 7 saat 21 dakikada ulaşılmıştır. Ayrıca, toplam operasyon süresi, örnek olaya göre %21 oranında artış göstermiştir. Bu sürenin %35'ini toplam hazırlık süresi, %23'ünü toplam kurulum süresi, %37'sini toplam elleçleme süresi, %2'sini birinci aşamada toplam seyahat süresi ve %3'ünü ikinci aşamada toplam seyahat süresi oluşturmaktadır. Senaryo 2.1'e ait çözümün temel performans kriterlerinin, örnek olay çözümü ile karşılaştırmalı özeti Tablo 4.14'te sunulmaktadır.

Tablo 4.14 Senaryo 2.1 Çözümüne Ait Temel Performans Kriterleri

Temel Performans Kriterleri	Senaryo 2.1	Örnek Olay	Fark*
Toplam operasyon süresi (dk)	1.429,38	1.183,38	%21
Birinci aşama seyahat süresi (dk)	26,76	32,96	-%19
İkinci aşama seyahat süresi (dk)	46,81	21,89	%114
Toplam elleçleme süresi (dk)	523,29	396,11	%32
Toplam kurulum süresi (dk)	332,53	332,42	%0,03
Toplam hazırlık süresi (dk)	500	400	%25
$k = 3$ yoğunluk seviyesinde açılan yardım merkezi sayısı (adet)	0	1	-%100
$k = 2$ yoğunluk seviyesinde açılan yardım merkezi sayısı (adet)	3	2	%50
$k = 1$ yoğunluk seviyesinde açılan yardım merkezi sayısı (adet)	2	1	%100
Talebini yardım merkezlerinden kendi imkanlarıyla temin eden bölge sayısı (adet)	0	11	-%100
Toplam talebin ikinci aşamada araçlar ile teslim edilme oranı	%100	%19	%426
Hesaplama süresi	07:21:02:23	00:00:39:15	67.751%

*Örnek olay ve Senaryo 2.1 arasındaki farkı temsil etmektedir: $100 \times ((\text{Senaryo 2.1} - \text{Örnek Olay}) \div \text{Örnek Olay})$

Senaryo 2.1'in çözümünde kurulum kararı verilen yardım merkezleri ve talep tahsis kararları sırasıyla Tablo 4.15 ve Tablo 4.16'da sunulmaktadır.

Tablo 4.15 Senaryo 2.1 Çözümünde Potansiyel Yardım Merkezleri için Kurulum Kararları

Yardım Merkezi		Yoğunluk Seviyesi		
		1	2	3
Ünalan	D1	0	1	0
Acıbadem	D2	1	0	0
Valide-i Atik	D3	1	0	0
İcadiye	D4	0	0	0
Selimiye	D5	0	1	0
Aziz Mahmut Hüdayi	D6	0	0	0
Barbaros	D7	0	1	0
Sultantepe	D8	0	0	0

Tablo 4.16 Senaryo 2.1 Çözümünde Talep Tahsisi Kararları

Yardım Merkezi		Yardıma İhtiyacı Olan Bölge		Karşılana n Talep Miktarı
Ünalan	D1	Ünalan	C9	442
Acıbadem	D2	Barbaros	C12	391
		Altunizade	C15	
Valide-i Atik	D3	Valide-i Atik	C11	411
		Zeynep Kamil	C17	
Selimiye	D5	Muratreis	C14	764
		Mimar Sinan	C18	
		Salacak	C20	
		Ahmediye	C21	
		Aziz Mahmut Hüdayi	C22	
		Selimiye	C23	
Barbaros	D7	Acıbadem	C10	803
		İcadiye	C13	
		Selami Ali	C16	
		Sultantepe	C19	

Senaryo 2.1 çözümüne göre, Acıbadem ve Valide-i Atik'e düşük yoğunluk seviyesinde; Ünalan, Selimiye ve Barbaros'a orta yoğunluk seviyesinde olmak üzere toplam beş adet yardım merkezinin kurulmasına karar verilmiştir. Motorize olmayan kapsama alanının ortadan kalkmasıyla birlikte, yüksek yoğunluk seviyelerinde az sayıda yardım merkezi açılması kararından ziyade, daha çok sayıda orta ve düşük yoğunluk seviyelerinde yardım merkezi açılmasına karar verilmiştir. Bu durum, toplam hazırlık süresinde örnek olaya göre %25'lik bir artışa sebep olmaktadır. Fakat, yoğunluk seviyeleri düştükçe yardım merkezleri için kurulum süreleri de azaldığından, daha fazla yardım merkezi kurulmasına rağmen toplam kurulum süresinde herhangi bir değişiklik olmamıştır.

Senaryo 2.1 çözümünde elde edilen dağıtım planı Tablo 4.17'de yer almaktadır. Örnek olaya göre birinci aşama seyahat sürelerinde %19'luk bir azalış gerçekleşmiştir. İkinci aşamada ise, beş farklı yardım merkezinden toplam sekiz araçla tüm yardıma ihtiyacı olan bölgelere taleplerinin tamamı ulaştırılmıştır. Beklenebileceği üzere, bu durum ikinci aşamada toplam seyahat süresinde örnek olay çözümüne kıyasla %114'lük bir artışa sebep olmuştur. Buna ek olarak, toplam elleçleme süresinde de %32'lik bir artış gözlemlenmiştir.

Tablo 4.17 Senaryo 2.1 Çözümünde Dağıtım Planı

	Araç	Rota	Taşıdığı Toplam Ürün Miktarı
Birinci Aşama	1	Selimiye (0) - Selimiye (D5) - Acıbadem (D2) - Ünalán (D1) - Selimiye (0)	937
	2	Selimiye (0) - Selimiye (D5) - Barbaros (D7) - Selimiye (0)	937
	3	Selimiye (0) - Valide-i Atik (D3) - Selimiye (D5) - Selimiye (0)	937
İkinci Aşama	<1,1>*	Ünalán (D1) - Ünalán (C9) - Ünalán (D1)	416
	<1,2>*	Ünalán (D1) - Ünalán (C9) - Ünalán (D1)	27
	<2,3>**	Acıbadem (D2) - Barbaros (C12) - Altunizade (C15) - Acıbadem (D2)	391
	<3,2>***	Valide-i Atik (D3) - Zeynep Kamil (C17) - Valide-i Atik (C11) - Valide-i Atik (D3)	411
	<5,1>****	Selimiye (D5) - Selimiye (C23) - Ahmediye (C21) - Mimar Sinan (C18) - Aziz Mahmut Hüdayi (C22) - Salacak (C20) - Selimiye (D5)	374
	<5,2>****	Selimiye (D5) - Selimiye (C23) - Ahmediye (C21) - Muratreis (C14) - Selimiye (D5)	390
	<7,2>*****	Barbaros (D7) - Selami Ali (C16) - Acıbadem (C10) - Barbaros (D7)	387
	<7,3>*****	Barbaros (D7) - Sultantepe (C19) - İcadiye (C13) - Selami Ali (C16) - Barbaros (D7)	416

*1 numaralı yardım merkezinden hareket eden sırasıyla 1 ve 2 numaralı araçları temsil eder.

**2 numaralı yardım merkezinden hareket eden 3 numaralı aracı temsil eder.

***3 numaralı yardım merkezinden hareket eden 2 numaralı aracı temsil eder.

****5 numaralı yardım merkezinden hareket eden sırasıyla 1 ve 2 numaralı araçları temsil eder.

*****7 numaralı yardım merkezinden hareket eden sırasıyla 2 ve 3 numaralı araçları temsil eder.

4.3.2.2. Senaryo 2.2 – Motorize Olmayan Kapsama Alanının Azaltılması

Bu analizde motorize olmayan kapsama alanı %25 azaltılarak 1000 m'den 750 m'ye indirilmiş ve ψ_{cd} matrisi bu doğrultuda güncellenmiştir. Kullanılan ψ_{cd} matrisi Ek 6'da yer alan Tablo E6.1'de sunulmaktadır. Elde edilen en iyi çözümü özetleyen temel performans kriterleri Tablo 4.18'te yer almaktadır.

Tablo 4.18 Senaryo 2.2 Çözümüne Ait Temel Performans Kriterleri

Temel Performans Kriterleri	Senaryo 2.2	Örnek Olay	Fark*
Toplam operasyon süresi (dk)	1.243,27	1.183,38	%5
Birinci aşama seyahat süresi (dk)	36,47	32,96	%11
İkinci aşama seyahat süresi (dk)	23,75	21,89	%8
Toplam elleçleme süresi (dk)	342,79	396,11	-%13
Toplam kurulum süresi (dk)	340,26	332,42	%2
Toplam hazırlık süresi (dk)	500	400	%25
$k = 3$ yoğunluk seviyesinde açılan yardım merkezi sayısı (adet)	0	1	-%100
$k = 2$ yoğunluk seviyesinde açılan yardım merkezi sayısı (adet)	3	2	%50
$k = 1$ yoğunluk seviyesinde açılan yardım merkezi sayısı (adet)	2	1	%100
Talebini yardım merkezlerinden kendi imkanlarıyla temin eden bölge sayısı (adet)	11	11	%0
Toplam talebin ikinci aşamada araçlar ile teslim edilme oranı	%25	%19	%33
Hesaplama süresi	00:01:34:66	00:00:39:15	%141

*Örnek olay ve Senaryo 2.2 arasındaki farkı temsil etmektedir: $100 \times ((\text{Senaryo 2.2} - \text{Örnek Olay}) \div \text{Örnek Olay})$

Motorize olmayan kapsama alanındaki %25'lik azalış, toplam operasyon süresinde örnek olay çözümüne göre %5'lik bir artışa neden olmuştur. Bu sürenin %40'ını toplam hazırlık süresi, %27'sini toplam kurulum süresi, %28'sini toplam elleçleme süresi, %3'ünü birinci aşamada toplam seyahat süresi ve %2'sini ikinci aşamada toplam seyahat süresi oluşturmaktadır.

Senaryo 2.2'nin çözümünde kurulum kararı verilen yardım merkezleri ve talep tahsis kararları sırasıyla Tablo 4.19 ve Tablo 4.20'de sunulmaktadır.

Tablo 4.19 Senaryo 2.2 Çözümünde Potansiyel Yardım Merkezleri için Kurulum Kararları

Yardım Merkezi		Yoğunluk Seviyesi		
		1	2	3
Ünalan	D1	0	1	0
Acıbadem	D2	1	0	0
Valide-i Atik	D3	0	1	0
İcadiye	D4	1	0	0
Selimiye	D5	0	0	0
Aziz Mahmut Hüdayi	D6	0	1	0
Barbaros	D7	0	0	0
Sultantepe	D8	0	0	0

Tablo 4.20 Senaryo 2.2 Çözümünde Talep Tahsisi Kararları

Yardım Merkezi		Yardıma İhtiyacı Olan Bölge	Karşılanan Talep Miktarı
Ünalan	D1	Ünalan Acıbadem	C9 C10 744
Acıbadem	D2	Altunizade	C15 168
Valide-i Atik	D3	Valide-i Atik Barbaros Muratreis Zeynep Kamil	C11 C12 C14 C17 804
İcadiye	D4	İcadiye Selami Ali	C13 C16 366
Aziz Mahmut Hüdayi	D6	Mimar Sinan Sultantepe Salacak Ahmediye Aziz Mahmut Hüdayi Selimiye	C18 C19 C20 C21 C22 C23 729

Senaryo 2.2 kapsamında, Acıbadem ve İcadiye’de düşük yoğunluk seviyesinde, Ünalan, Valide-i Atik ve Aziz Mahmut Hüdayi’de ise orta yoğunluk seviyesinde olmak üzere toplam beş adet yardım merkezinin kurulmasına karar verilmiştir.

Daha fazla sayıda yardım merkezinin açılması, toplam hazırlık süresinde, örnek olaya kıyasla %25 oranında bir artışa yol açmıştır. Ancak, yüksek yoğunluk seviyesinde herhangi bir yardım merkezi kurulmadığı için, toplam kurulum süresinde yalnızca %2 oranında bir artış gözlemlenmiştir.

Senaryo 2.2 çözümünden elde edilen dağıtım planı Tablo 4.21’te yer almaktadır.

Tablo 4.21 Senaryo 2.2 Çözümünde Dağıtım Planı

	Araç	Rota	Taşıdığı Toplam Ürün Miktarı
Birinci Aşama	1	Selimiye (0) - Valide-i Atik(D3) - Acıbadem (D2) - Ünalın (D1) - Selimiye (0)	937
	2	Selimiye (0) - Valide-i Atik (D3) - İcadiye (D4) - Selimiye (0)	937
	3	Selimiye (0) - Aziz Mahmut Hüdayi (D6) -Valide-i Atik (D3) - Selimiye (0)	937
İkinci Aşama	<1,1>*	Ünalın (D1) -Acıbadem (C10) - Ünalın (D1)	301
	<2,1>**	Acıbadem(D2) - Altunizade(C15) - Acıbadem(D2)	169
	<6,2>***	Aziz Mahmut Hüdayi (D6) -Selimiye (C23) - Sultantepe (C19) - Aziz Mahmut Hüdayi (D6)	243

* 1 numaralı yardım merkezinden hareket eden 1 numaralı aracı temsil eder.

**2 numaralı yardım merkezinden hareket eden 1 numaralı aracı temsil eder.

***6 numaralı yardım merkezinden hareket eden 2 numaralı aracı temsil eder.

Bu senaryoda, birinci aşama toplam seyahat süresi, örnek olaya kıyasla %11 oranında artış göstermiştir. İkinci aşamada ise, üç farklı yardım merkezinden hareket eden toplam üç araç ile, dört bölgeye talepler ulaştırılmaktadır. Her ne kadar motorize olmayan kapsama alanı dışında kaldığı için araçlarla hizmet verilen bölge sayısı örnek olayla aynı kalmış olsa da bu bölgeler farklılık göstermektedir. Ayrıca, araçlarla ulaştırılan toplam yardım kolisi sayısında %31 oranında bir artış gerçekleşmiştir. Araçlar ile taşınan talep miktarındaki bu artışa rağmen, toplam elleçleme süresinde %13'lük bir azalma gözlemlenmiştir. Bu durum, yoğunluk seviyelerinin düşmesiyle birlikte azalan elleçleme sürelerinin sisteme olan etkisini açıkça ortaya koymaktadır.

4.3.2.3. Senaryo 2.3 – Motorize Olmayan Kapsama Alanının Arttırılması

Bu analizde motorize olmayan kapsama alanı %25 arttırılarak 1000 m'den 1250 m'ye çıkartılarak ψ_{cd} matrisi güncellenmiştir. Kullanılan ψ_{cd} matrisi Ek 7'de yer alan Tablo E7.1'de sunulmaktadır. Tablo 4.22'de, elde edilen en iyi çözüm için temel performans kriterleri özetlenmektedir.

Tablo 4.22 Senaryo 2.3 Çözümüne Ait Temel Performans Kriterleri

Temel Performans Kriterleri	Senaryo 2.3	Örnek Olay	Fark*
Toplam operasyon süresi (dk)	1.125,58	1.183,38	-%5
Birinci aşama seyahat süresi (dk)	32,92	32,96	-%0,12
İkinci aşama seyahat süresi (dk)	11,70	21,89	-%47
Toplam elleçleme süresi (dk)	348,54	396,11	-%12
Toplam kurulum süresi (dk)	332,42	332,42	%0
Toplam hazırlık süresi (dk)	400	400	%0
$k = 3$ yoğunluk seviyesinde açılan yardım merkezi sayısı (adet)	1	1	%0
$k = 2$ yoğunluk seviyesinde açılan yardım merkezi sayısı (adet)	2	2	%0
$k = 1$ yoğunluk seviyesinde açılan yardım merkezi sayısı (adet)	1	1	%0
Talebini yardım merkezlerinden kendi imkanlarıyla temin eden bölge sayısı (adet)	14	11	%27
Toplam talebin ikinci aşamada araçlar ile teslim edilme oranı	%6	%19	-%69
Hesaplama süresi	00:00:17:64	00:00:39:15	-%56

*Örnek olay ve Senaryo 2.3 arasındaki farkı temsil etmektedir: $100 \times ((\text{Senaryo 2.3} - \text{Örnek Olay}) \div \text{Örnek Olay})$

Motorize olmayan kapsama alanının artışı toplam operasyon süresinde örnek olay çözümüne göre %5'lik bir azalışa neden olmuştur. Bu sürenin %35'ini toplam hazırlık süresi, %30'unu toplam kurulum süresi, %31'ini toplam elleçleme süresi, %3'ünü birinci aşamada toplam seyahat süresi ve %1'ini ikinci aşamada toplam seyahat süresi oluşturmaktadır.

Senaryo 2.3'ün çözümünde kurulum kararı verilen yardım merkezleri ve talep tahsis kararları sırasıyla Tablo 4.23 ve Tablo 4.24'te sunulmaktadır.

Tablo 4.23 Senaryo 2.3 Çözümünde Potansiyel Yardım Merkezleri için Kurulum Kararları

Yardım Merkezi		Yoğunluk Seviyesi		
		1	2	3
Ünalan	D1	0	1	0
Acıbadem	D2	1	0	0
Valide-i Atik	D3	0	0	1
İcadiye	D4	0	0	0
Selimiye	D5	0	0	0
Aziz Mahmut Hüdayi	D6	0	0	0
Barbaros	D7	0	0	0
Sultantepe	D8	0	1	0

Tablo 4.24 Senaryo 2.3 Çözümünde Talep Tahsisi Kararları

Yardım Merkezi		Yardıma İhtiyacı Olan Bölge	Karşılanan Talep Miktarı	
Ünalan	D1	Ünalan	C9	442
Acıbadem	D2	Acıbadem	C10	301
Valide-i Atik	D3	Valide-i Atik	C11	1.246
		Barbaros	C12	
		Selami Ali	C16	
		Zeynep Kamil	C17	
		Salacak	C20	
		Ahmediye	C21	
		Aziz Mahmut Hüdayi	C22	
		Selimiye	C23	
Sultantepe	D8	İcadiye	C13	822
		Muratreis	C14	
		Altunizade	C15	
		Mimar Sinan	C18	
		Sultantepe	C19	

Senaryo 2.3 çözümünde, örnek olayda verilen kurulum ve talep tahsisi kararları ile aynı kararlar verilmiştir. Bu doğrultuda, toplam kurulum süresi ve toplam hazırlık süresi bakımından örnek olay çözümü ile kıyaslandığında herhangi bir değişiklik gözlemlenmemiştir.

Senaryo 2.3 çözümünde elde edilen dağıtım planı Tablo 4.25'te yer almaktadır.

Tablo 4.25 Senaryo 2.3 Çözümünde Dağıtım Planı

	Araç	Rota	Taşıdığı Toplam Ürün Miktarı
Birinci Aşama	1	Selimiye (0) - Valide-i Atik (D3) - Selimiye (0)	937
	2	Selimiye (0) - Sultantepe (D8) - Valide-i Atik(D3) - Selimiye (0)	937
	3	Selimiye (0) - Valide-i Atik (D3) - Acıbadem (D2) - Ünalan (D1) - Selimiye (0)	937
İkinci Aşama	<8,3>*	Sultantepe (D8) -Altunizade (C15) - Sultantepe (D8)	169

*8 numaralı yardım merkezinden hareket eden 3 numaralı aracı temsil eder.

Birinci aşama toplam seyahat süresi açısından değerlendirildiğinde, Senaryo 2.3 ile örnek olay çözümü arasında anlamlı bir fark olmadığı gözlemlenmiştir. İkinci aşama dağıtım planı incelendiğinde ise, yalnızca bir yardım merkezinden hareket eden bir araç ile bir yardıma ihtiyacı olan bölgeye sevkiyat gerçekleştirildiği

görülmektedir. Artan motorize olmayan kapsama alanı sayesinde, yardıma ihtiyacı olan 14 bölge, yardım malzemelerini kendi imkanlarıyla ilgili yardım merkezinden teslim almıştır. Bu durumun bir sonucu olarak, ikinci aşamada toplam seyahat süresinde örnek olaya göre %47 oranında bir azalma gerçekleşmiştir. Ayrıca, bu gelişmeye bağlı olarak, toplam elleçleme süresinde de %12 oranında bir azalma gözlemlenmiştir.

Senaryo 2 kapsamında, motorize olmayan kapsama alanı varsayımının toplam operasyon süresi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu varsayımın ortadan kaldırılması hem toplam operasyon süresinin hem de 2A-RKP modelinin hesaplama süresinin önemli ölçüde artmasına neden olmuştur. Motorize olmayan kapsama alanının azaltılması, daha fazla bölgeye araçlarla yardım ulaştırılmasını gerektirmektedir. Bu durum, yardım merkezlerine yakın bölgelerdeki afetzedeler için avantajlı görünse de uzak bölgelerdeki afetzedelere yardımın gecikmesine yol açabilmektedir. Benzer şekilde, motorize olmayan kapsama alanının artırılması, daha fazla bölgenin kendi imkanlarıyla yardım merkezlerine ulaşarak yardım malzemelerini temin etmesini gerektirmektedir. Bu durum, yardım merkezlerine yakın mesafede bulunan afetzedeler için araçla teslimattan daha az cazip bir seçenek olsa da uzak bölgelerdeki afetzedelere yardımın daha hızlı ulaştırılmasına ve böylece daha adil bir dağıtım planı oluşturulmasına katkı sağlamaktadır.

Bu nedenlerle, yardım merkezlerine yakın bölgelerde konumlanan afetzedeleri mağdur etmeyecek şekilde, makul bir yürüme mesafesi olarak belirlenecek bir motorize olmayan kapsama alanı tanımlanmasının, tüm afetzedeler için en hızlı ve en adil çözüme ulaşılmasına önemli katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

4.3.3. Senaryo 3 – Motorize Kapsama Alanı Analizi

Yardım merkezlerinin hangi yardıma ihtiyacı olan bölgelere hizmet verebileceğini belirten motorize kapsama alanı, bu senaryo kapsamında 2 km'den 3 km'ye çıkarılmıştır ve β_{cd} matrisi Ek 8'de yer alan Tablo E8.1'de görüldüğü şekilde güncellenmiştir. Tablo 4.26'da çözüme ait temel performans kriterleri yer almaktadır.

Tablo 4.26 Senaryo 3 Çözümüne Ait Temel Performans Kriterleri

Temel Performans Kriterleri	Senaryo 3	Örnek Olay	Fark*
Toplam operasyon süresi (dk)	1.141,78	1.183,38	-%3,5
Birinci aşama seyahat süresi (dk)	32,39	32,96	-%2
İkinci aşama seyahat süresi (dk)	24,38	21,89	%11
Toplam elleçleme süresi (dk)	353,99	396,11	-%11
Toplam kurulum süresi (dk)	331,02	332,42	-%0,4
Toplam hazırlık süresi (dk)	400	400	%0
$k = 3$ yoğunluk seviyesinde açılan yardım merkezi sayısı (adet)	0	1	-%100
$k = 2$ yoğunluk seviyesinde açılan yardım merkezi sayısı (adet)	4	2	%100
$k = 1$ yoğunluk seviyesinde açılan yardım merkezi sayısı (adet)	0	1	-%100
Talebini yardım merkezlerinden kendi imkanlarıyla temin eden bölge sayısı (adet)	11	11	%0
Toplam talebin ikinci aşamada araçlar ile teslim edilme oranı	%21	%19	%9
Hesaplama süresi	00:01:43:57	00:00:39:15	%164

*Örnek olay ve Senaryo 3 arasındaki farkı temsil etmektedir: $100 \times ((\text{Senaryo 3} - \text{Örnek Olay}) \div \text{Örnek Olay})$

Motorize kapsama alanının artışı toplam operasyon süresinde örnek olay çözümüne göre %3,5'luk bir azalışa neden olmuştur. Bu sürenin %35'ini toplam hazırlık süresi, %29'unu toplam kurulum süresi, %31'ini toplam elleçleme süresi, %3'ünü birinci aşamada toplam seyahat süresi ve %2'sini ikinci aşamada toplam seyahat süresi oluşturmaktadır.

Senaryo 3'ün çözümünde kurulum kararı verilen yardım merkezleri ve talep tahsis kararları sırasıyla Tablo 4.27 ve Tablo 4.28'te sunulmaktadır.

Tablo 4.27 Senaryo 3 Çözümünde Potansiyel Yardım Merkezleri için Kurulum Kararları

Yardım Merkezi		Yoğunluk Seviyesi		
		1	2	3
Ünalan	D1	0	1	0
Acıbadem	D2	0	1	0
Valide-i Atik	D3	0	1	0
İcadiye	D4	0	0	0
Selimiye	D5	0	1	0
Aziz Mahmut Hüdayi	D6	0	0	0
Barbaros	D7	0	0	0
Sultantepe	D8	0	0	0

Tablo 4.28 Senaryo 3 Çözümünde Talep Tahsisi Kararları

Yardım Merkezleri		Yardıma İhtiyacı Olan Bölgeler		Karşılanan Talep Miktarı
Ünalan	D1	Ünalan	C9	442
Acıbadem	D2	Acıbadem	C10	806
		İcadiye	C13	
		Altunizade	C15	
		Sultantepe	C19	
Valide-i Atik	D3	Barbaros	C12	778
		Muratreis	C14	
		Selami Ali	C16	
		Ahmediye	C21	
		Selimiye	C23	
Selimiye	D5	Valide-i Atik	C11	785
		Zeynep Kamil	C17	
		Mimar Sinan	C18	
		Salacak	C20	
		Aziz Mahmut Hüdayi	C22	

Bu senaryo kapsamında, örnek olayda olduğu gibi dört tane yardım merkezi açılmıştır ancak tamamı orta yoğunluk seviyesindedir. Söz konusu yardım merkezleri; Ünalan, Acıbadem, Valide-i Atik ve Selimiye mahallelerinde kurulmuştur. Örnek olaydaki ile aynı sayıda yardım merkezi açıldığından toplam hazırlık süresinde bir değişim gözlemlenmemiştir. Benzer şekilde, toplam kurulum süresinde de iki çözüm arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır.

Senaryo 3 çözümünde elde edilen dağıtım planı Tablo 4.29'da yer almaktadır.

Tablo 4.29 Senaryo 3 Çözümünde Dağıtım Planı

Araç		Rota	Taşıdığı Toplam Ürün Miktarı
Birinci Aşama	1	Selimiye (0) -Selimiye (D5) - Acıbadem (D2) - Selimiye (0)	937
	2	Selimiye (0) - Selimiye (D5) - Ünalan (D1) - Selimiye (0)	937
	3	Selimiye (0) - Valide-i Atik (D3) - Selimiye (D5) - Selimiye (0)	937
İkinci Aşama	<2,3>*	Acıbadem (D2) - İcadiye (C13) - Sultantepe (C19)- Acıbadem (D2)	336
	<5,1>**	Selimiye (D5) - Aziz Mahmut Hüdayi (C22) - Mimar Sinan (C18)- Selimiye (D5)	255

*2 numaralı yardım merkezinden hareket eden 3 numaralı aracı temsil eder.

**5 numaralı yardım merkezinden hareket eden 1 numaralı aracı temsil eder.

Birinci aşama toplam seyahat süresi açısından değerlendirildiğinde Senaryo 3 çözümünde örnek olay çözümüne kıyasla %2'lik bir azalış mevcuttur. İkinci aşama dağıtım planı incelendiğinde ise, iki farklı yardım merkezinden çıkan toplam iki araç ile dört farklı yardıma ihtiyacı olan bölgeye sevkiyat yapıldığı görülmektedir. İkinci aşamada, toplam talebin %21'i araçlar ile teslim edilmiştir. Örnek olaya göre, ikinci aşamada toplam seyahat süresinde %11'lik bir artış mevcutken, toplam elleçleme süresinde ise %11'lik bir azalış gerçekleşmiştir.

Motorize kapsama alanındaki artış, yardım merkezlerinin daha fazla bölgeye hizmet sunabilmesini sağlamıştır. Bu nedenle, her ne kadar örnek olaydaki ile aynı sayıda yardım merkezi açılmış olsa da açılan yardım merkezlerinin tamamının orta yoğunluk seviyesinde açılması, talebin tamamının karşılanması hususunda yeterli olmuştur ve bu durum özellikle toplam elleçleme süresinin örnek olaya göre azalmasına olanak tanımıştır. Öte yandan, kapsama alanının genişlemesi, yardım merkezlerinin daha uzak bölgelere hizmet verebilmesine olanak tanımış, bu da ikinci aşama seyahat süresinde artışa sebep olmuştur.

4.3.4. Senaryo 4 – Yoğunluk Seviyelerinin Analizi

Bu senaryoda, yardım merkezlerinin yoğunluk seviyelerinin ve buna bağlı olarak kapasitelerinin, kendilerine atanan talep miktarından bağımsız olduğu durumlar ele alınmıştır. Bu kapsamda elde edilen çözüm üzerinden, yoğunluk seviyesine bağlı değişen tesis kapasitelerinin sistem performansı üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Senaryo kapsamında üç farklı analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde sırasıyla; kurulum kararı verilen tüm yardım merkezlerinin düşük yoğunluk seviyesinde, orta yoğunluk seviyesinde ve yüksek yoğunluk seviyesinde açılacağı varsayılmıştır. Ayrıca, yardım merkezlerindeki araç sayıları, elleçleme süreleri ve kurulum sürelerine dair parametreler de bu yoğunluk seviyelerine uygun şekilde güncellenmiştir.

4.3.4.1. Senaryo 4.1 – Düşük Yoğunluk Seviyesi

Tüm yardım merkezlerinin düşük yoğunluk seviyesinde faaliyet gösterdiği varsayımı altında gerçekleştirilen bu analizde, C9 yardıma ihtiyacı olan bölgenin

talebi (bkz. Tablo 4.2), yardım merkezlerinin kapasitesini aştığından, 2A-RKP modeli için uygun bir çözüm elde edilememiştir.

4.3.4.2. Senaryo 4.2 – Orta Yoğunluk Seviyesi

Bu analizde, kurulum kararı verilen tüm yardım merkezlerinin orta yoğunluk seviyesinde faaliyet göstereceği varsayılmıştır. Bu durum, toplam operasyon süresinde, örnek olay çözümüne kıyasla %6 oranında bir artışa neden olmuştur. Bu sürenin %40'ını toplam hazırlık süresi, %33'ünü toplam kurulum süresi, %24'ünü toplam elleçleme süresi, %3'ünü ise birinci aşamada toplam seyahat süresi oluşturmaktadır. Tablo 4.30'da bu analize ait temel performans kriterlerinin örnek olay çözümü ile karşılaştırmalı özeti sunulmaktadır.

Tablo 4.30 Senaryo 4.2 Çözümüne Ait Temel Performans Kriterleri

Temel Performans Kriterleri	Senaryo 4.2	Örnek Olay	Fark*
Toplam operasyon süresi (dk)	1.251,24	1.183,38	%6
Birinci aşama seyahat süresi (dk)	37,27	32,96	%13
İkinci aşama seyahat süresi (dk)	0	21,89	-%100
Toplam elleçleme süresi (dk)	296,88	396,11	-%25
Toplam kurulum süresi (dk)	417,08	332,42	%25
Toplam hazırlık süresi (dk)	500	400	%25
Açılan yardım merkezi sayısı (adet)	5	4	%25
Talebini yardım merkezlerinden kendi imkanlarıyla temin eden bölge sayısı (adet)	15	11	%36
Toplam talebin ikinci aşamada araçlar ile teslim edilme oranı	%0	%19	-%100
Hesaplama süresi	00:00:13:85	00:00:39:15	-%67

*Örnek olay ve Senaryo 4.2 arasındaki farkı temsil etmektedir: $100 \times ((\text{Senaryo 4.2} - \text{Örnek Olay}) \div \text{Örnek Olay})$

Senaryo 4.2'nin çözümünden elde edilen, kurulum kararı verilen yardım merkezleri ve talep tahsis kararları sırasıyla Tablo 4.31 ve Tablo 4.32'de sunulmaktadır.

Tablo 4.31 Senaryo 4.2 Çözümünde Potansiyel Yardım Merkezleri için Kurulum Kararları

Yardım Merkezi	Kurulum Kararı	
Ünalan	D1	1
Acıbadem	D2	1
Valide-i Atik	D3	1
İcadiye	D4	0
Selimiye	D5	0
Aziz Mahmut Hüdayi	D6	1
Barbaros	D7	0
Sultantepe	D8	1

Tablo 4.32 Senaryo 4.2 Çözümünde Talep Tahsisi Kararları

Yardım Merkezi	Yardıma İhtiyacı Olan Bölge		Karşılanan Talep Miktarı	
Ünalan	D1	Ünalan	C9	442
Acıbadem	D2	Acıbadem	C10	470
		Altunizade	C15	
Valide-i Atik	D3	Valide-i Atik	C11	739
		Barbaros	C12	
		Zeynep Kamil	C17	
		Selimiye	C23	
Aziz Mahmut Hüdayi	D6	Mimar Sinan	C18	487
		Salacak	C20	
		Ahmediye	C21	
		Aziz Mahmut Hüdayi	C22	
Sultantepe	D8	İcadiye	C13	673
		Muratreis	C14	
		Selami Ali	C16	
		Sultantepe	C19	

Senaryo 4.2 çözümünde, Ünalan, Acıbadem, Valide-i Atik, Aziz Mahmut Hüdayi ve Sultantepe mahallelerinde olmak üzere, toplam beş adet yardım merkezi kurulmuştur. Örnek olay çözümü ile kıyaslandığında, toplam hazırlık süresi ve toplam kurulum süresi açısından her ikisinde de %25 oranında artış meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Senaryo 4.2 çözümünde elde edilen dağıtım planı Tablo 4.33'te sunulmaktadır.

Tablo 4.33 Senaryo 4.2 Çözümünde Dağıtım Planı

	Araç	Rota	Taşıdığı Toplam Ürün Miktarı
Birinci Aşama	1	Selimiye (0) - Sultantepe (D8) - Valide-i Atik (D3) - Selimiye (0)	937
	2	Selimiye (0) - Valide-i Atik (D3) - Acıbadem (D2) - Ünalın (D1) - Selimiye (0)	937
	3	Selimiye (0) - Aziz Mahmut Hüdayi (D6) - Valide-i Atik (D3) - Selimiye (0)	937

Birinci aşama toplam seyahat süresi açısından değerlendirildiğinde, Senaryo 4.2 çözümünde, örnek olay çözümüne kıyasla %13 oranında bir artış gerçekleşmiştir. Bu senaryoda, yardıma ihtiyacı olan tüm bölgelerin, taleplerinin atandığı yardım merkezlerine olan uzaklıklarının motorize olmayan kapsama alanı içerisinde kalması nedeniyle, ikinci aşamada herhangi bir sevkiyat gerçekleştirilmemiştir. Buna bağlı olarak, ikinci aşamadaki toplam seyahat süresi 0 olmuş ve toplam elleçleme süresinde %25 oranında bir azalma meydana gelmiştir.

4.3.4.3. Senaryo 4.3 – Yüksek Yoğunluk Seviyesi

Bu analizde, kurulum kararı verilen tüm yardım merkezlerinin sadece yüksek yoğunluk seviyesinde faaliyet göstereceği varsayılmıştır. Bu durum, toplam operasyon süresinde örnek olay çözümü ile kıyaslandığında %15'lik bir artışa sebep olmuştur. Bu sürenin %36'sını toplam kurulum süresi, %32'sini toplam elleçleme süresi, %29'unu toplam hazırlık süresi, %2,4'ünü birinci aşama rotalama süresi ve %0,6'lık bölümünü ise ikinci aşama rotalama süresi oluşturmaktadır. Tablo 4.34'te Senaryo 4.3 çözümüne ait temel performans kriterleri örnek olay ile karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.

Tablo 4.34 Senaryo 4.3 Çözümüne Ait Temel Performans Kriterleri

Temel Performans Kriterleri	Senaryo 4.3	Örnek Olay	Fark*
Toplam operasyon süresi (dk)	1.365,04	1.183,38	%15
Birinci aşama seyahat süresi (dk)	32,92	32,96	-%0,1
İkinci aşama seyahat süresi (dk)	9,51	21,89	-%57
Toplam elleçleme süresi (dk)	435,16	396,11	%10
Toplam kurulum süresi (dk)	487,45	332,42	%47
Toplam hazırlık süresi (dk)	400	400	%0
Açılan yardım merkezi sayısı (adet)	4	4	%0
Talebini yardım merkezlerinden kendi imkanlarıyla temin eden bölge sayısı (adet)	12	11	%9
Toplam talebin ikinci aşamada araçlar ile teslim edilme oranı	%13	%19	-%30
Hesaplama süresi	00:00:11:29	00:00:39:15	-%72

*Örnek olay ve Senaryo 4.3 arasındaki farkı temsil etmektedir: $100 \times ((\text{Senaryo 4.3} - \text{Örnek Olay}) \div \text{Örnek Olay})$

Senaryo 4.3'ün çözümünden elde edilen, kurulum kararı verilen yardım merkezleri ve talep tahsis kararları sırasıyla Tablo 4.35 ve Tablo 4.36'da sunulmaktadır.

Tablo 4.35 Senaryo 4.3 Çözümünde Potansiyel Yardım Merkezleri için Kurulum Kararları

Yardım Merkezi	Kurulum Kararı	
Ünalan	D1	1
Acıbadem	D2	1
Valide-i Atik	D3	1
İcadiye	D4	0
Selimiye	D5	0
Aziz Mahmut Hüdayi	D6	0
Barbaros	D7	0
Sultantepe	D8	1

Tablo 4.36 Senaryo 4.3 Çözümünde Talep Tahsisi Kararları

Yardım Merkezi		Yardıma İhtiyacı Olan Bölge	Karşılanan Talep Miktarı
Ünalan	D1	Ünalan C9	442
Acıbadem	D2	Acıbadem C10	470
		Altunizade C15	
		Valide-i Atik C11	
		Barbaros C12	
Valide-i Atik	D3	Selami Ali C16	1.018
		Zeynep Kamil C17	
		Ahmediye C21	
		Selimiye C23	
		İcadiye C13	
		Muratreis C14	
Sultantepe	D8	Mimar Sinan C18	881
		Sultantepe C19	
		Salacak C20	
		Aziz Mahmut Hüdayi C22	

Senaryo 4.3 çözümünde; Ünalan, Acıbadem, Valide-i Atik ve Sultantepe mahallelerinde dört adet yardım merkezi açılmıştır. Örnek olay ile aynı sayıda yardım merkezi açılmasına karşılık, açılan yardım merkezlerinin tamamının yüksek yoğunluk seviyesinde olması sebebi ile toplam kurulum süresi örnek olaya göre %47 artmıştır.

Tablo 4.37’de Senaryo 4.3 çözümünde elde edilen dağıtım planına yer verilmektedir.

Tablo 4.37 Senaryo 4.3 Çözümünde Dağıtım Planı

	Araç	Rota	Taşıdığı Toplam Ürün Miktarı
Birinci Aşama	1	Selimiye (0) - Valide-i Atik (D3) - Selimiye (0)	937
	2	Selimiye (0) - Valide-i Atik (D3) - Acıbadem (D2) - Ünalan (D1) - Selimiye (0)	937
	3	Selimiye (0) - Sultantepe (D8) - Valide-i Atik (D3) - Selimiye (0)	937
İkinci Aşama	<8,2>*	Sultantepe (D8) - Salacak (C20) - Aziz Mahmut Hüdayi (C22) - Mimar Sinan (C18) - Sultantepe (D8)	374

*8 numaralı yardım merkezinden hareket eden 2 numaralı aracı temsil eder.

Senaryo 4.3 çözümünde, örnek olayda belirlenen aynı konumlarda yardım merkezlerinin kurulmasına karar verilmiştir. Bu nedenle, birinci aşama dağıtım planı, örnek olay çözümüne oldukça benzer şekilde oluşmuştur. İkinci aşama seyahat süresi, örnek olayla karşılaştırıldığında %57 oranında azalmıştır. Ancak, toplam kurulum ve toplam elleçleme sürelerinde gözlemlenen artış, sonuç olarak genel operasyonun daha yavaş ilerlemesine yol açmıştır.

Yardım merkezlerinin, kendilerine atanan talep miktarına göre yoğunluk seviyelerinin belirlenmesi, afet sonrası ihtiyaçlara daha hızlı yanıt verilmesini sağlamaktadır. Düşük yoğunluk seviyesine sahip yardım merkezleri, daha küçük yapıları sayesinde, yüksek yoğunluk seviyesindekilere göre daha hızlı kurulabilmekte ve daha kısa elleçleme süreleriyle faaliyet gösterebilmektedir. Öte yandan, yüksek yoğunluk seviyesine sahip yardım merkezleri, daha fazla kurulum ve elleçleme çabası gerektirse de daha büyük miktarda talebi karşılayabilme kapasitesine sahiptir.

Bu senaryo analizinin sonuçları, toplam operasyon süresinin azaltılmasında yoğunluk seviyelerinin kritik rolünü açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Ele alınan iki analizde de ikinci aşama seyahat süresinde azalmalar gözlemlenmiş olsa da toplam operasyon süresindeki artış, yoğunluk seviyelerinin operasyonel verimlilik üzerindeki belirleyici etkisini net bir şekilde vurgulamaktadır.

4.4. SEZGİSEL YAKLAŞIMIN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Bu bölümde, toplam operasyon süresi ve hesaplama süresi kriterleri üzerinden, KTDP temelli böl-ve-fethet algoritmasının etkinliği, farklı büyüklükteki veri setleri üzerinden, 2A-RKP modeli ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. 2A-RKP modeli için 10.800 saniye, M1, M2 ve M3 modelleri için ise 1.800 saniye olmak üzere zaman sınırları belirlenmiştir. Tablo 4.38, tüm veri setleri için elde edilen karşılaştırmalı sonuçları özetlemektedir.

Örnek olay kapsamında ele alınan İstanbul ili Üsküdar ilçesi için oluşturulan 23 düğümden oluşan veri setine ek olarak, 33 mahalleden oluşan ilçe haritasının tamamı da sezgisel algoritmanın test edildiği veri setleri arasında “Üsküdar45” ismiyle yer almaktadır. Bu veri seti için, mahallelerden 12 tanesi potansiyel

yardım merkezi konumu olarak belirlenmiş, 33 mahallenin tamamı ise yardıma ihtiyacı olan bölge olarak tanımlanmıştır. Düğümler arası mesafeler, Google Haritalar kullanılarak kuş uçuşu mesafe olarak temin edilmiştir. Merkez depoda 12 adet aracın bulunduğu varsayılmış ve bu araçların tam dolu durumda taşıyabileceği toplam yardım kolisi miktarı, mahallelerin nüfuslarına orantılı şekilde, yardıma ihtiyacı olan bölgelerin talep miktarlarının belirlenmesinde kullanılmıştır.

Daha büyük ölçekli 14 adet veri seti, TSPLIB veri kütüphanesinden temin edilmiştir (Reinelt, 1991). Kullanılan veri setlerinde, yer alan toplam düğüm sayısının yaklaşık %25'lik kısmı potansiyel yardım merkezi düğümü olarak, bir adet düğüm merkez depo olarak, kalan düğümler ise yardıma ihtiyacı olan bölgeler olarak tanımlanmıştır. Bazı veri setlerinde, uygun mesafe verilerini elde edebilmek amacıyla, matristeki mesafeler Tablo 4.38'te "Mesafe Çarpanı" sütununda belirtilen değerler ile çarpılarak kullanılmıştır. Motorize ve motorize olmayan kapsama alanları, her veri setinin mesafe matrisine uyumlu olacak şekilde belirlenmiştir. Yardıma ihtiyacı olan bölgelerin talep miktarları rastgele bir şekilde atanmış, merkez depoda ise talebin tamamını karşılayabilecek en düşük sayıda aracın bulunduğu varsayılmıştır. Tüm veri setleri için, elleçleme ve kurulum süreleri örnek olayda belirlenen aralıklarda rastgele oluşturulmuştur. Hazırlık süresi, merkez depo ve yardım merkezlerinde bulunan araçların kapasiteleri, yardım merkezlerinde bulunan araç sayıları ve çoklu kapsama parametre değerleri için ise örnek olayda baz alınan değerler kullanılmıştır.

Örnek olay veri seti için, 2A-RKP modelinin en iyi çözüme ulaştığı durumda, böl-ve-fethet algoritması aynı sonuca yalnızca 10 saniyede ulaşarak, hesaplama süresinde %74,36 oranında bir azalış sağlamıştır. Kalan veri setlerinde, 2A-RKP modeli belirlenen zaman sınırı içerisinde en iyi çözüme ulaşamamış, hatta beş veri setinde uygun bir çözüm dahi bulunamamıştır. 2A-RKP modelinden uygun çözüm elde edilebilen tüm veri setlerinde, böl-ve-fethet algoritması önemli ölçüde üstün bir performans sergilemiş ve operasyon süresinde %54,11'e varan tasarruf sağlamıştır.

Tablo 4.38 2A-RKP Modeli ile Böl-ve-Fethet Algoritmasının Karşılaştırmalı Sonuçları

Veri Seti	Mesafe Çarpanı	Düğüm Sayısı	Yardım Merkezi Sayısı	Yardıma İhtiyacı Olan Bölge Sayısı	Motorize Kapsama Alanı (m)	Motorize Olmayan Kapsama Alanı (m)	2A-RKP Modeli Sonucu (dk)	2A-RKP Modeli Alt Sınır (dk)	2A-RKP Modeli Hesaplama Süresi (sn)	Böl-ve-fethet Algoritması Sonucu (dk)	Böl-ve-fethet Algoritması Hesaplama Süresi (sn)	Çözümler Arası Fark**	Hesaplama Süreleri Arası Fark***
üşkudar23	-	23	8	15	2.000	1.000	1.183,38	1.183,38	39	1.183,38	10	%0,00	-%74,36
üşkudar45	-	45	12	33	4.000	1.000	4.381,11	3.940,48	10.800****	4.300,31	226	-%1,84	-%97,91
berlin52*	-	52	13	38	1.000	250	1.551,87	1.334,62	10.800	1.480,45	20	-%4,60	-%99,81
eil51*	100	51	13	37	3.000	1.500	1.841,97	1.740,08	10.800	1.806,72	27	-%1,91	-%99,75
eil76*	100	76	19	56	3.500	1.500	2.899,93	2.243,86	10.800	2.548,68	110	-%12,11	-%98,98
st70*	100	70	18	51	5.000	2.000	2.844,01	2.183,35	10.800	2.608,24	48	-%8,29	-%99,56
pr76*	0,1	76	19	56	1.500	750	2.845,33	2.121,58	10.800	2.455,79	3.641	-%13,69	-%66,29
kroA100*	-	100	24	75	2.000	750	3.381,46	2.780,58	10.800	2.939,02	2.108	-%13,08	-%80,48
kroB100*	-	100	24	75	2.000	750	4.631,74	3.240,92	10.800	3.385,82	2.023	-%26,90	-%81,27
kroC100*	-	100	24	75	2.000	750	6.254,89	2.716,72	10.800	2.870,16	1.992	-%54,11	-%81,56
kroD100*	-	100	24	75	2.000	750	*****	-	-	2.951,15	2.477	-	-
kroE100*	-	100	24	75	2.000	750	4.233,56	2.731,77	10.800	2.883,62	1.962	-%31,89	-%81,83
kroA150*	-	150	37	112	2.000	750	*****	-	-	4.100,07	3.665	-	-
kroB150*	-	150	37	112	2.000	750	*****	-	-	4.150,89	3.668	-	-
kroA200*	-	200	49	150	2.000	750	*****	-	-	5.939,01	3.748	-	-
kroB200*	-	200	49	150	2.000	750	*****	-	-	5.639,95	3.763	-	-

*Veri seti TSPLIB kütüphanesinden temin edilmiştir (Reinelt, 1991).

**2A-RKP modeli ve böl-ve-fethet algoritması sonuçları arasındaki farkı temsil eder: $100 \times ((\text{Böl-ve-fethet Algoritması Sonucu} - \text{2A-RKP Modeli Sonucu}) \div \text{2A-RKP Modeli Sonucu})$

***2A-RKP modeli ve böl-ve-fethet algoritması hesaplama süreleri arasındaki farkı temsil eder:

$100 \times ((\text{Böl-ve-fethet Algoritması Hesaplama Süresi} - \text{2A-RKP Modeli Hesaplama Süresi}) \div \text{2A-RKP Modeli Hesaplama Süresi})$

****2A-RKP modeli başlangıçta 72 saat boyunca çalıştırılmıştır. Ancak, üçüncü saatten sonra sonuçlarda sınırlı bir iyileşme gözlemlenmiştir. Bu nedenle, 2A-RKP modeli için üç saatlik çözümler kullanılmıştır. Ek 9'da yer alan Şekil E9.1'de, üsküdar45 veri seti için 72 saat boyunca optimalite açığındaki değişim gösterilmiştir.

*****Belirlenen zaman sınırı dahilinde uygun bir çözüm elde edilememiştir.

Elde edilen sonuçlar, böl-ve-fethet algoritmasının, 2A-RKP modeline kıyasla yüksek hesaplama verimliliğine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Algoritma, tüm veri setlerinde %66,29 ile %99,81 arasında değişen oranlarda hesaplama süresi avantajı sağlamış ve hızlı sonuçların kritik önem taşıdığı insani yardım lojistiği uygulamaları için yüksek uygunluk sergilemiştir. Bu bulgular, geliştirilen sezgisel çözüm yaklaşımının; farklı boyutlardaki veri setlerine uyarlanabilirliğini, karmaşık problemlere kısa sürede çözüm geliştirme konusundaki dayanıklılığını ve operasyonel etkinliğini güçlü bir şekilde vurgulamaktadır.



SONUÇ

Türkiye, sahip olduğu coğrafi ve jeopolitik konumu nedeniyle, tarih boyunca pek çok doğal ve doğal olmayan afetle karşı karşıya kalmıştır. Özellikle, “asrın felaketi” olarak adlandırılan 2023 Kahramanmaraş Depremi, insani yardım faaliyetlerinin kritik önemini bir kez daha güçlü bir şekilde ortaya koymuştur. Bu afet ile, afet öncesi hazırlıkların yanı sıra, afet sonrası müdahale süreçlerinin de ciddi zaman baskısı altında ve kısıtlı lojistik kaynaklarla yürütülmesi gerektiği, ülke genelinde somut bir şekilde gözlemlenmiştir. Afetler gerçekleşmeden önce yapılması gereken hazırlıklar kadar, afet sonrası müdahalenin planlanması ve yönetimi de hayati öneme sahiptir.

Afet yönetiminin başarısı, yalnızca afet öncesinde gerçekleştirilen hazırlıklara değil, aynı zamanda afet sonrası müdahalelerin etkin bir şekilde planlanması ve uygulanmasına da bağlıdır. Bu doğrultuda, bu çalışmada, afet sonrası süreçte yardımın afetzedelere hızlı ve etkili bir biçimde ulaştırılmasına yönelik kapsamlı bir ağ tasarımı problemi ele alınmıştır. Çalışmada, insani yardım lojistiği de dahil olmak üzere pek çok gerçek hayat uygulamasında kendine yer bulan RKP’nin daha gelişmiş bir uzantısı 2A-RKP tanıtılmış ve KTDP modeli şeklinde formüle edilmiştir. Afetzedelere mümkün olan en kısa sürede yardım ulaştırılmasını hedefleyen bu model, toplam operasyon süresini en küçükmeyi amaçlamaktadır. Ele alınan problem; yoğunluk seviyeleri, çoklu kapsama, çok depolu rotalama ve iki aşamalı rotalama gibi kritik unsurları bir arada değerlendirerek, ilgili literatüre özgün ve önemli bir katkı sağlamaktadır.

Yüksek deprem riski taşıyan İstanbul ilinde yer alan, yüksek nüfus yoğunluğuna sahip ve Marmara Bölgesi’nin en büyük konteyner limanı olan Haydarpaşa Limanı’na ev sahipliği yapan Üsküdar ilçesi için, gerçek veriler kullanılarak bir örnek olay veri seti oluşturulmuştur. Bu veri seti ile test edilen modelin öne çıkan özellikleri olan çoklu kapsama, motorize ve motorize olmayan kapsama alanları ile yoğunluk seviyeleri, farklı senaryolar altında örnek olay çözümü ile karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Yapılan analizler, karar vericilere yönelik yönetsel çıkarımlar sunmakta; aynı zamanda uygulamaya dönük anlamlı

katkılar sağlayarak modelin saha koşullarında uygulanabilirliğini göstermektedir.

Çoklu kapsama stratejisi, afet lojistiğinde sistemin dayanıklılığını artıran önemli bir unsurdur. İlk senaryo analizinde, bu stratejinin devre dışı bırakılması daha az sayıda yardım merkezinin kurulmasına olanak tanımış ve toplam operasyon süresini düşürmüştür. Bu durum, karar vericiler açısından önemli bir ödünleşimi ortaya koymaktadır; çoklu kapsama varsayımı toplam operasyon süresini artırsa da olası hizmet kesintilerine karşı bir tampon görevi görmekte ve çözümün dayanıklılığını artırmaktadır. Tripathy vd. (2021) çalışmasıyla da uyumlu olarak, model çıktıları, bir talep noktasının en az iki merkez tarafından kapsanmasının, sistemin dayanıklılığı açısından anlamlı bir eşik değeri sunduğunu göstermektedir. Bu durum, özellikle büyük ölçekli afetlerde lojistik planlamanın sadece verimlilik değil, aynı zamanda dirençlilik ilkesiyle de yürütülmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle, afet lojistik planlamalarında, çoklu kapsama seviyesinin en az iki olarak belirlenmesi, operasyonel riskleri azaltmak ve hizmet sürekliliğini sağlamak adına güçlü bir yönetsel strateji olarak önerilmektedir.

Motorize olmayan kapsama alanının afet lojistik planlamasındaki rolü, operasyonel verimlilik ve çözüm süresi açısından kritik bir etkiye sahiptir. İkinci senaryoda, bu alan üç farklı analiz üzerinden değerlendirilmiştir. Motorize olmayan kapsama alanının tamamen kaldırıldığı ilk analizde, tüm yardıma ihtiyacı olan bölgelere taleplerinin araçlar ile teslim edilmesi nedeniyle, özellikle ikinci aşama seyahat süresinde ve toplam elleçleme süresinde belirgin artışlar gözlemlenmiştir. Ayrıca, toplam operasyon süresinde meydana gelen artışa ek olarak, modelin hesaplama süresi de önemli ölçüde uzamıştır. Bu durum, karar vericilerin motorize olmayan kapsama alanını sıfıra indirmesi durumunda hem operasyonel anlamda hem de hesaplama düzeyinde ciddi yüklerle karşılaşabileceğini göstermektedir. Motorize olmayan kapsama alanının %25 azaltıldığı ikinci analizde, açılan yardım merkezi sayısında örnek olay çözümüne göre bir artış gözlemlenmiş ve toplam operasyon süresi de yaklaşık %5 oranında artmıştır. Buna karşılık, motorize olmayan kapsama alanının %25

artırıldığı üçüncü analizde, toplam operasyon süresinde örnek olay çözümüne göre %5'lik bir azalma gerçekleşmiştir. Bu senaryo analizleri göstermektedir ki, motorize olmayan kapsama alanı belirlenirken, afetzedelerin yürümekte zorlanmayacağı makul bir mesafe tanımlanması gerekmektedir. Ancak bu mesafenin azaltılmasının, toplam operasyon süresini arttırmaktadır. Tricoire vd. (2012) de çalışmalarında kapsama alanı arttıkça yardım merkezlerine kendi imkânlarıyla ulaşan afetzedelerin sayısının artacağını vurgulamış; bu doğrultuda, mesafeye bağlı bir kapsama fonksiyonu tanımlayarak modeli bu esnekliğe göre uyarlamışlardır. Sonuç olarak, motorize olmayan kapsama alanı kararları hem operasyon süresi hem de hesaplama yükü üzerinde doğrudan etkilidir. Bu nedenle, karar vericilerin bu mesafeyi tanımlarken hem afetzedelerin hareket kabiliyetini hem de sistemin genel verimliliğini dikkate alarak dengeleyici bir yaklaşım benimsemesi gerekmektedir. Ayrıca, bu strateji sayesinde modelin daha kısa sürede sonuç üretmesi, afet sonrası zaman baskısı altında alınacak hızlı kararlar açısından pratik bir avantaj sunmaktadır.

Üçüncü senaryoda, motorize kapsama alanı artırılmıştır. Kapsama alanındaki bu artış, örnek olay çözümü ile kıyaslandığında, toplam operasyon süresinin azalmasına katkı sağlamıştır. Ancak, yardım merkezlerinin daha uzak bölgeleri de kapsayabilmesi nedeniyle, ikinci aşama seyahat süresinde bir artış meydana gelmiştir. Bu durum, karar vericiler açısından önemli bir değerlendirme gerektirmektedir. Motorize kapsama alanının artırılması, toplam operasyon süresi açısından avantaj sağlarken, saha uygulamalarında karşılaşılabilecek yıkım düzeyi, yol güvenliği ve erişim zorlukları gibi faktörlerin bu karar üzerindeki etkisi göz ardı edilmemelidir. Dolayısıyla, motorize kapsama alanı belirlenirken, yalnızca matematiksel verimlilik değil, aynı zamanda afet bölgesinin fiziksel koşulları ve ulaşılabilirlik durumu da dikkate alınması gerekmektedir. Böylece hem operasyon süresi kısaltılabilir hem de sahadaki uygulanabilirlik sürdürülebilir hale getirilebilir. Nitekim, kapsama alanındaki artışın operasyonel performansa etkisi, Torabi vd. (2023) tarafından da sayısal olarak ortaya konmuştur. Çalışmalarında, kapsama alanındaki %1'lik bir artışın amaç fonksiyonunda %0,05 oranında iyileşme sağladığı rapor edilmiştir. Bu bulgular, sahada uygulama esnekliği ile matematiksel iyileşme arasındaki ilişkinin

önemini vurgulamaktadır. Bu kapsamda, esnek ve duruma özel mesafe sınırlarının tanımlanması, operasyonların başarısı için kritik öneme sahiptir.

Son senaryoda, yoğunluğa bağlı değişen tesis kapasiteleri varsayımının kaldırılması ele alınmış ve bu kapsamda, kurulum kararı verilen tüm yardım merkezlerinin sırasıyla düşük, orta ve yüksek yoğunluk seviyelerinde faaliyet göstereceği üç farklı durum incelenmiştir. Örnek olay veri seti için, tüm yardım merkezlerinin düşük yoğunluk seviyesinde açıldığı durumda, uygun bir çözüm elde edilememiştir. Tüm yardım merkezlerinin orta yoğunluk seviyesinde açıldığı analizde ise, ikinci aşama seyahat süresi ve toplam elleçleme süresi önemli ölçüde azalmasına rağmen, toplam operasyon süresi örnek olaya kıyasla %6 oranında artmıştır. Tüm yardım merkezlerinin yüksek yoğunluk seviyesinde açıldığı durumda, ikinci aşama seyahat süresinde yine bir azalma gözlemlenmiş; ancak, toplam elleçleme ve kurulum sürelerindeki artış nedeniyle, toplam operasyon süresi örnek olaya göre %15 artış göstermiştir. Her dakikanın kritik önem taşıdığı insani yardım lojistiği bağlamında değerlendirildiğinde, bu bulgular, yardım merkezlerinin kurulum kararlarına yoğunluk seviyelerinin entegre edilmesinin, operasyonel süreçlerin daha etkin yönetilmesine önemli bir katkı sağladığını ortaya koymaktadır. Tüm merkezlerin aynı yoğunluk seviyesinde çalıştırılması, yalnızca operasyonel etkinliği azaltmakla kalmamakta; aynı zamanda kurulum ve kaynak planlamasında da verimsizlik yaratabilmektedir. İlgili literatürde, yoğunluk seviyelerine bağlı değişen tesis kapasitesi kararlarının doğrudan ele alındığı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu yönüyle, bu çalışma ilk kez bu faktörü bütüncül bir biçimde dikkate alarak, karar vericilere yoğunluk-temelli esnek kapasite planlaması yapmanın gerekliliğini açık biçimde ortaya koymaktadır. Özellikle zamanla yarışılan afet ortamlarında, yoğunluk kararlarının operasyon süresi üzerindeki etkisi, stratejik planlamada göz ardı edilmemesi gereken bir parametre olarak değerlendirilmektedir.

Genel amaçlı çözücülerden elde edilen sonuçların, büyük ölçekli veri setleri için hızlı ve etkin çözüm üretmede yetersiz kalabileceği öngörülerek, bu çalışma kapsamında KTDP temelli bir böl-ve-fethet sezgisel algoritması geliştirilmiştir.

Geliştirilen algoritmanın performansı, çeşitli veri setleri üzerinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, böl-ve-fethet algoritmasının, 2A-RKP modeline kıyasla tüm veri setlerinde üstün bir performans sergilediğini göstermiştir. Algoritma, toplam operasyon süresinde %54,11'e, hesaplama süresinde ise %99,81'e varan azalışlar sağlamıştır. Ayrıca, her iki yöntemin de en iyi çözüme ulaştığı örnek olay veri setinde, böl-ve-fethet algoritması çözümü %74,36 daha kısa sürede elde etmiştir. Bu bulgular, önerilen çözüm yaklaşımının yalnızca yüksek kaliteli sonuçlar üretmedeki etkinliğini değil, aynı zamanda farklı büyüklükteki veri setlerine uyum sağlama yeteneğini de ortaya koymaktadır. Karar vericiler açısından bakıldığında, genel amaçlı çözümlerin büyük ölçekli problemlerde uzun çözüm süreleri gerektirmesi, afet anı gibi zamanla yarışılan durumlarda bu yöntemlerin saha uygulamalarında sınırlı kalmasına neden olabilmektedir. Bu bağlamda, bu çalışma kapsamında geliştirilen böl-ve-fethet algoritması, yalnızca çözüm kalitesiyle değil; aynı zamanda düşük hesaplama süresi ve yüksek uygulanabilirliğiyle öne çıkmaktadır. Bu yaklaşımın, afet sonrası hızlı karar alma süreçlerinde, özellikle kamu kurumları veya yerel yönetimler gibi aktörler için stratejik bir avantaj sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışma, sahip olduğu bazı yapısal varsayımlar nedeniyle belirli sınırlılıklar içermektedir. Problem deterministik bir biçimde ele alınmış; afet sonrasında sıklıkla karşılaşılan talep belirsizliği ve yol durumu kaynaklı erişim problemleri modele dahil edilmemiştir. Ayrıca, tüm yardım taleplerinin karşılanabileceği varsayılmış ve arz tarafındaki belirsizlikler göz ardı edilmiştir. Bu varsayımlar, modelin pratik uygulanabilirliğini belirli ölçüde sınırlamakla birlikte, önerilen çözüm yapısının esnekliği, bu kısıtların gelecekteki çalışmalarla aşılabileceğini göstermektedir. Ek olarak, gerçekleştirilen uluslararası literatür taraması, tek bir veri tabanı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu durum, çalışmanın kapsamını belirli ölçüde sınırlamaktadır. İlerleyen araştırmalarda, talep ve yol durumuna ilişkin belirsizlikleri dikkate alan stokastik modelleme yaklaşımları, afet ortamını daha gerçekçi biçimde temsil edebilir. Ayrıca, farklı yoğunluk seviyelerinde açılacak yardım merkezi sayısına ilişkin kapasite kısıtlarının modele entegre edilmesi, karar vericilere daha uygulanabilir ve sürdürülebilir çözümler sunulmasını mümkün kılacaktır. Bu yöndeki geliştirmeler, modelin saha

koşullarına uyumunu artırarak, afet lojistiği alanında daha geniş ölçekli politika önerilerinin geliştirilmesine zemin hazırlayacaktır.



KAYNAKÇA

- Abbasoğlu, A. (2019). Deprem Riskinin Afet Lojistiği Depo Yerleşimine Etkisi: Bursa İli Örneği. [Yüksek lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü]. YÖK Tez Merkezi.
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2018). *Türkiye’de Afet Yönetimi ve Doğa Kaynaklı Afet İstatistikleri*. https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/35429/xfiles/turkiye_de_afetler.pdf
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2022, Temmuz). *Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü*. <https://www.afad.gov.tr/aciklamali-afet-yonetimi-terimleri-sozlugu>
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (b.t). *Afet ve Acil Durum Eğitim Merkezi, Doğal Afetler*. <https://www.afad.gov.tr/afadem/dogal-afetler>
- Allahyari, S., Salari, M. & Vigo, D. (2015). A hybrid metaheuristic algorithm for the multi-depot covering tour vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 242(3), 756 - 768.
- Alinaghian, M., Aghaie, M. & Sabbagh, M. S. (2019). A mathematical model for location of temporary relief centers and dynamic routing of aerial rescue vehicles. *Computers & Industrial Engineering*, 131, 227 – 241.
- Altay, N., Prasad, S., & Sounderpandian, J. (2009). Strategic planning for disaster relief logistics: lessons from supply chain management. *International Journal of Services Sciences*, 2(2), 142-161.
- Amiri, A. & Salari, M. (2019). Time-constrained maximal covering routing problem. *OR Spectrum*, 41, 415 – 468.
- Arkin, E. M., & Hassin, R. (1994). Approximation algorithms for the geometric covering salesman problem. *Discrete Applied Mathematics*, 55(3), 197-218.
- Arkin, E. M., Bender, M. A., Demaine, E. D., Fekete, S. P., Mitchell, J. S. B. & Sethia, S. (2005). Optimal Covering Tours with Turn Costs. *SIAM Journal on Computing*, 35(3), 531 – 566.

- Arkin, E. M., Fekete, S. P., Islam, K., Meijer, H., Mitchell, J. S. B., Nunez – Rodriguez, Y., Polishchuk, V., Rappaport, D. & Xiao, H. (2009). Not being (super) thin or solid is hard: A study of grid Hamiltonicity. *Computational Geometry: Theory and Applications*, 42(6/7), 582 – 605.
- Artigues, C., Jozefowiez, N. & Sarpong, B. M. (2018). Column generation algorithms for bi-objective combinatorial optimization problems with a min-max objective. *EURO Journal on Computational Optimization*, 6(2), 117 – 142.
- Beamon, B. M., & Balcik, B. (2008). Performance measurement in humanitarian relief chains. *International Journal of Public Sector Management*, 21(1), 4-25.
- Biswas, A., Tripathy, S. P., & Pal, T. (2022). On multi-objective covering salesman problem. *Neural Computing and Applications*, 34(24), 22127-22140.
- Burkart, C., Nolz, P. C. & Gutjahr, W. J. (2017). Modelling beneficiaries' choice in disaster relief logistics. *Annals of Operations Research*, 256(1), 41 – 61.
- Calvo, R. W. & Cordone, R. (2003). A heuristic approach to the overnight security service problem. *Computers & Operations Research*, 30(9), 1269 - 1287.
- Cherkesly, M., Rancourt M. E. & Smilowitz, K. R. (2019). Community Healthcare Network in Underserved Areas: Design, *Mathematical Models, and Analysis. Production and Operations Management*, 28(7), 1716 – 1734.
- Chiussi, A., Orlis, C, Roberti, R. & Duallert, W. (2022). ATM cash replenishment under varying population coverage requirements. *Journal of the Operational Research Society*, 73(4), 869 – 887.
- Church, R. L. & Niblett, T. J. (2020). TRANSMAX II: Designing a flexible model for transit route optimization. *Computers, Environment and Urban Systems*, 79.
- Clímaco, G., Rosseti, I., Da Silva, R. & Guerine, M. (2021). Reactive GRASP for the Prize – Collecting Covering Tour Problem. *RAIRO-Operations Research*, 55(3), 1441 – 1457.
- Cubillos, M. & Wohlk, S. (2021). Solution of the maximal covering tour problem for locating recycling drop – off stations. *Journal of the Operational Research Society*, 72(8), 1898 – 1913.
- Current, J.R. (1981). *Multiobjective Design of Transportation Networks*. [Doktora tezi, Department of Geography and Environmental Engineering, The Johns Hopkins University].

- Current, J. R. & Schilling, D. A. (1989) The Covering Salesman Problem. *Transportation Science*, 23(3), 208 - 213.
- Current, J. R. & Schilling, D. A. (1994) The median tour and maximal covering tour problems: Formulation and heuristics. *European Journal of Operational Research*, 73(1), 114 - 126.
- Davoodi, S. M. R. & Goli, A. (2019). An integrated disaster relief model based on covering tour using hybrid Benders decomposition and variable neighborhood search: Application in the Iranian context. *Computers & Industrial Engineering*, 130, 370 – 380.
- Drozdowski, M., Kowalski, D., Mizgajski, J., Mokwa, D. & Pawlak, G. (2012). Mind the gap: A study of Tube tour. *Computers & Operations Research*, 39, 2705-2714.
- Dumitrescu, A. & Jiang, M. (2015). On the approximability of covering points by lines and related problems. *Computational Geometry: Theory and Applications*, 48(9), 703 – 717.
- Dung, P. Q., Thu, L. K., Hoang, N. T., Dinh, P. V. & Trung, B. Q. (2017). A Constraint-Based Local Search for Offline and Online General Vehicle Routing. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 26(2).
- Dutta, P., Khan, I., Basuli, K., & Maiti, M. K. (2022). A modified ACO with K-Opt for restricted covering salesman problems in different environments. *Soft Computing*, 26(12), 5773-5803.
- EM-DAT, The International Disaster Database, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. (2023) *Disasters in Numbers*. https://files.emdat.be/reports/2023_EMDAT_report.pdf
- EM-DAT, The International Disaster Database, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. (n.d.). *Inclusion Criteria*. <https://www.emdat.be/>
- Ertem, M. A., Buyurgan, N., & Rossetti, M. D. (2010). Multiple-buyer procurement auctions framework for humanitarian supply chain management. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 40(3), 202-227.
- Fischer, V., Paneque, M. P., Legrain, A., & Bürgy, R. (2024). A capacitated multi-vehicle covering tour problem on a road network and its application to waste collection. *European Journal of Operational Research*, 315(1), 338-353.

- Flores – Garza, D. A., Salazar – Aguilar, M. A., Ngueveu, S. U. & Laporte, G. (2017). The multi-vehicle cumulative covering tour problem. *Annals of Operations Research*, 258, 761 – 780.
- Foulds, L. R., Hamacher, H. W., Schöbel, A., & Yamaguchi, T. (2003). On center cycles in grid graphs. *Annals of Operations Research*, 122, 163-175.
- Gendreau, M., Laporte, G. & Semet, F. (1997). The covering tour problem. *Operations Research*, 45(4), 568 - 576.
- Glize, E., Roberti, R., Jozefowicz, N. & Ngueveu, S. U. (2020). Exact methods for mono – objective and Bi – Objective Multi – Vehicle Covering Tour Problems. *European Journal of Operational Research*, 283(3), 812 - 824.
- Golden, B., Naji-Azimi, Z., Raghavan, S., Salari, M. & Toth, P. (2012). The Generalized Covering Salesman Problem. *INFORMS Journal on Computing*, 24(4), 534-553.
- Goli, A. & Malmir, B. (2020). A Covering Tour Approach for Disaster Relief Locating and Routing with Fuzzy Demand. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 18(1), 140 – 152.
- Grinde, R. (2020). Spreadsheet-Based Modeling and Optimization of a Bi-Modal Traveling Salesman Problem: Model, Solution, and Case. *SPREADSHEETS in EDUCATION*, 12(2), 1- 40.
- Hà M. H., Bostel, N., Langevin, A. & Rousseau L.M. (2013). An exact algorithm and a metaheuristic for the multi-vehicle covering tour problem with a constraint on the number of vertices. *European Journal of Operational Research*, 226(2), 211 - 220.
- Hachicha, M., Hodgson, M.J., Laporte, G. & Semet, F. (2000). Heuristics for the multi-vehicle covering tour problem. *Computers & Operations Research*, 27(1), 29 - 42.
- Hodgson, M. J., Laporte, G. & Semet, F. (1998). A covering tour model for planning mobile health care facilities in Suhum District, Ghana. *Journal of Regional Science*, 38(4), 621 - 638.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi. (Haziran, 2020). *Üsküdar Olası Deprem Kayıp Tahminleri Kitapçığı*.
- Jiang, L., Zang, X., Dong, J., & Liang, C. (2022). A covering traveling salesman problem with profit in the last mile delivery. *Optimization Letters*, 16, 375-393.

- Jozefowiez, N., Semet, F. & Talbi, E.G. (2007). The bi-objective covering tour problem. *Computers & Operations Research*, 34(7) 1929 – 1942.
- Jozefowiez, N. (2014). A Brach-and-Price Algorithm for the Multivehicle Covering Tour Problem. *NETWORKS*, 64(3), 160-168.
- Kammoun, M., Derbel, H., Ratli, M. & Jarboui, B. (2017). An integration of mixed VND and VNS: the case of the multivehicle covering tour problem. *International Transactions in Operational Research*, 24(3), 663 - 679.
- Karaoğlu, İ., Erdoğan, G. & Koç, Ç. (2018). The Multi – Vehicle Probabilistic Covering Tour Problem. *European Journal of Operational Research*, 271(1), 278 – 287.
- Khan, I., Basuli, K., & Maiti, M. K. (2023). Multi-objective covering salesman problem: a decomposition approach using grey wolf optimization. *Knowledge and Information Systems*, 65(1), 281-339.
- Kundak, S., Türkoğlu, H. (2007). İstanbul'da deprem riski analizi. *İTÜ Dergisi Seri A: Mimarlık, Planlama, Tasarım*, 6(2), 37 - 46.
- Kuyzu, G. (2020). Ortak Kısıtlı Rota Kapsama Problemlerinin Çözümü İçin Melez Genetik Algoritma Yaklaşımı. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 22(65), 401-416.
- Laporte, G., & Martín, I. R. (2007). Locating a cycle in a transportation or a telecommunications network. *Networks: An International Journal*, 50(1), 92-108.
- Li, K., Zhang, T., Wang, R., Wang, Y., Han, Y., & Wang, L. (2021). Deep reinforcement learning for combinatorial optimization: Covering salesman problems. *IEEE transactions on cybernetics*, 52(12), 13142-13155.
- Lu, Q., Goh, M., & De Souza, R. (2016). A SCOR framework to measure logistics performance of humanitarian organizations. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 6(2), 222-239.
- Lu, Y., Benlic, U. & Wu, Q. (2021). A highly effective hybrid evolutionary algorithm for the covering salesman problem. *Information Sciences*, 564, 144-162.
- Ma, M., Yang, Y. & Zhao, M. (2013). Tour Planning for Mobile Data-Gathering Mechanisms in Wireless Sensor Networks. *IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY*, 62(4), 1472 – 1483.

- Masone, A., Poikonen, S., & Golden, B. L. (2022). The multivisit drone routing problem with edge launches: An iterative approach with discrete and continuous improvements. *Networks*, 80(2), 193-215.
- Margolis, J. T., Song, Y. & Mason, S. J. (2022a). A multi-vehicle covering tour problem with speed optimization. *Networks*, 79(2), 119 – 142.
- Margolis, J. T., Song, Y. & Mason, S. J. (2022b). A Markov decision process model on dynamic routing for target surveillance. *Computers & Operations Research*, 141.
- Maziero, L. P., Usberti, F. L., & Cavellucci, C. (2023). Branch-and-cut algorithms for the covering salesman problem. *RAIRO-Operations Research*, 57(3), 1149-1166.
- Miller, C.E., Tucker, A.W., & Zemlin, R.A. (1960). Integer Programming Formulations and Traveling Salesman Problems. *Journal of the Association for Computing Machinery*, 7, 326-329.
- Mukherjee, A., Panigrahi, G., Kar, S. & Maiti, M. (2019). Constrained covering solid travelling salesman problems in uncertain environment. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10, 125 – 141.
- Murakami, K. (2018a). Iterative Column Generation Algorithm for Generalized Multi-Vehicle Covering Tour Problem. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 35(4).
- Murakami, K. (2018b). A Generalized Model And A Heuristic Algorithm For The Large-Scale Covering Tour Problem. *RAIRO-Operations Research*, 52(2), 577 - 594.
- Naji – Azimi, Z., Renaud, J., Ruiz, A. & Salari, M. (2012). A covering tour approach to the location of satellite distribution centers to supply humanitarian aid. *European Journal of Operational Research*, 222(3), 596 – 605.
- Naji – Azimi, Z. & Salari, M. (2014). The time constrained maximal covering salesman problem. *Applied Mathematical Modelling*, 38, 3945 – 3957.
- Nedjati, A., İzbirak G. & Arkat, J. (2017). Bi – objective covering tour location routing problem with replenishment at intermediate depots: Formulation and meta – heuristics. *Computers & Industrial Engineering*, 110, 191 – 206.

- Nolz, P. C., Doerner, K. F. & Hartl, R. F. (2010). Water distribution in disaster relief. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 40(8/9), 693 – 708.
- Oliveira, B., Pessoa, A., & Roboredo, M. (2025). New cuts and a branch-cut-and-price model for the multi-vehicle covering tour problem. *4OR*, 1-21.
- Ouelmokhtar, H., Benmoussa, Y., Diguët, J. P., Benazzouz, D., & Lemarchand, L. (2022). Near-optimal covering solution for USV coastal monitoring using PAES. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 106(1), 24.
- Ota, C. T., Fiorotto, D. J., Ghidini, C. T. L. D. S., & Oliveira, W. A. D. (2024). A flow-based model for the multivehicle covering tour problem with route balancing. *International Transactions in Operational Research*, 31(5), 2930-2955.
- Ozbaygin, G., Yaman, H. & Karasan, O. E. (2016). Time constrained maximal covering salesman problem with weighted demands and partial coverage. *Computers & Operations Research*, 76, 226 – 237.
- Ozdemir, I., Dursunoglu, C. F., Kara, B. Y. & Dora, M. (2022). Logistics of temporary testing centers for coronavirus disease. *Transportation Research Part C*, 145.
- Ozel Mazlum, Z., & Yalçiner Ercoşkun, Ö. (2023). İSTANBUL'UN DEPREME DİRENÇLİLİĞİ ARTIRMAK İÇİN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNİN KULLANIMI. *Journal of Management Theory and Practices Research*, 4(2), 148-179.
- Öner, N. (2021). *Tam kamyon yükü gönderici iş birliğinde kararlı koalisyon seçimi*. [Doktora tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü]. YÖK Tez Merkezi.
- Öner, N. (2014). *Tam kamyon yükü gönderici işbirliğinde güzergah planlama ve maliyet dağıtımının eniyilenmesi*. [Yüksek lisans tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü]. YÖK Tez Merkezi.
- Pearce, L. D. R. (2000). *An integrated approach for community hazard, impact, risk and vulnerability analysis: HIRV*. [Doktora tezi, University of British Columbia]. University of British Columbia Research Repository. <https://open.library.ubc.ca/media/stream/pdf/831/1.0099665/1>
- Pham, T. A., Hà, M. H. & Nguyen, X. H. (2017). Solving the multi-vehicle multi-covering tour problem. *Computers & Operations Research*, 88, 258-278.

- Pandiri, V., Singh, A. & Rossi, A. (2020). Two hybrid metaheuristic approaches for the covering salesman problem. *Neural Computing and Applications*, 32, 15643 – 15663.
- Parsons, T., Baghyari, F., Seo, J., Kim, B., Kim, M., & Lee, H. (2024). Surveillance Unmanned Ground Vehicle Path Planning with Path Smoothing and Vehicle Breakdown Recovery. *Applied Sciences*, 14(16), 7266.
- Quarantelli, E. L. (2006). Catastrophes are different from disasters: Some implications for crisis planning and managing drawn from Katrina. In *Understanding Katrina: Perspectives from the social sciences*. Socail Science Research Council.
- Reinelt, G. (1991). TSPLIB—A traveling salesman problem library. *ORSA journal on computing*, 3(4), 376-384.
- Soysal, M., & Bloemhof-Ruwaard, J. M. (2017). Toward sustainable logistics. *Sustainable logistics and transportation: Optimization models and algorithms*, 1-17.
- Salari, M. & Naji – Azimi, Z. (2012). An integer programming-based local search for the covering salesman problem. *Computers & Operations Research*, 39, 2594-2602.
- Salari, M., Reihaneh, M. & Sabbagh, M. S. (2015). Combining ant colony optimization algorithm and dynamic programming technique for solving the covering salesman problem. *Computers & Industrial Engineering*, 83, 244 – 251.
- Sarpong, B. M., Artigues, C. & Jozefowicz, N. (2015). Using column generation to compute lower bound sets for bi-objective combinatorial optimization problems. *RAIRO-Operations Research*, 49(3), 527 - 554.
- Shaelaie, M. H., Salari, M. & Naji – Azimi, Z. (2014). The generalized covering traveling salesman problem. *Applied Soft Computing*, 24, 867 – 878.
- Shafiee, M. E. & Berglund, E. Z. (2016). Agent – based modeling and evolutionary computation for disseminating public advisories about hazardous material emergencies. *Computers, Environment and Urban Systems*, 57, 12 – 25.
- Singh, P., Kamthane, A. R. & Tanksale, A. N. (2021). Metaheuristics for the distance constrained generalized covering traveling salesman problem. *Opsearch*, 58(3), 575-609.

- Temiz, S., Kazanç, H. C., Soysal, M., & Çimen, M. (2025). A probabilistic bi-objective model for a humanitarian location-routing problem under uncertain demand and road closure. *International Transactions in Operational Research*, 32(2), 590-625.
- Taşkın Gümüş, A., & Çelik, E. (2017). A comprehensive literature review for humanitarian relief logistics in disaster operations management. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 16(31), 347-389.
- Torabi, P., Oleynik, A., Hemmati, A. & Alendal, G. (2023). Covering tour problem with varying coverage: Application to marine environmental monitoring. *Applied Mathematical Modelling*, 124, 279 – 299
- Torabi, P., Hemmati, A., Oleynik, A., & Alendal, G. (2025). A deep reinforcement learning hyperheuristic for the covering tour problem with varying coverage. *Computers & Operations Research*, 174, 106881.
- Tricoire, F., Graf, A. & Gutjahr, W. J. (2012). The bi – objective stochastic covering tour problem. *Computers & Operations Research*, 39(7), 1582 - 1592.
- Tripathy, S. P., Biswas, A. & Pal, T. (2021). A multi – objective Covering Salesman Problem with 2-coverage. *Applied Soft Computing*, 113, 108024.
- Trunick, P. A. (2005). Special report: delivering relief to tsunami victims. *Logistics today*. 46(2), 1-3.
- Türkiye İstatistik Kurumu. (06 Şubat 2025). *Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, 2024*. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2024-53783>
- Ünal, Y. (2008). *Kıyı Bölgelerinin Yeniden Canlandırılması, Haydarpaşa Limanı ve Çevresi Örnek Alanı*. [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi].
- Üsküdar Belediyesi. (t.y.). *2024 Mali Yılı Performans Programı*. <https://www.uskudar.bel.tr/userfiles/files/PerformansKitap2024Internet%20con-1.pdf>
- Üsküdar Kaymakamlığı. (2020). *02.01.2020 Tarihi İtibari ile Üsküdar Afet ve Acil Durum Toplanma Alanları*. http://www.uskudar.gov.tr/kurumlar/uskudar.gov.tr/deprem/uskudar_toplanma_alanlari.pdf
- Van Wassenhove, L. N. (2006). Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear. *Journal of the Operational research Society*, 57(5), 475-489.

- Vargas, L., Jozefowicz, N. & Ngueveu, S. U. (2017). A dynamic programming operator for tour location problems applied to the covering tour problem. *Journal of Heuristics*, 23(1), 53 – 80.
- Veenstra, M., Roodbergen, K. J., Coelho, L. C. & Zhu, S. X. (2018). A simultaneous facility location and vehicle routing problem arising in health care logistics in Netherlands. *European Journal of Operational Research*, 268(2), 703-715.
- Venkatesh, P. & Singh, A. (2019). An artificial bee colony algorithm with variable degree of perturbation for the generalized covering traveling salesman problem. *Applied Soft Computing Journal*, 78, 481 – 495.
- Vogt, L., Poojari, C. A. & Beasley, J. E. (2007). A tabu search algorithm for the single vehicle routing allocation problem. *Journal of the Operational Research Society*, 58(4), 467- 480.
- Wachtendorf, T., Brown, B., & Holguin-Veras, J. (2013). Catastrophe characteristics and their impact on critical supply chains: Problematizing materiel convergence and management following Hurricane Katrina. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 10(2), 497-520.
- Zang, X., Jiang, L., Ratli, M., & Ding, B. (2022). A parallel variable neighborhood search for solving covering salesman problem. *Optimization Letters*, 16, 175-190.
- Zhang, H. & Xu, Y. (2018). Online covering salesman problem. *Journal of Combinatorial Optimization*, 35(3), 941 – 954.

EK 1

ÖRNEK OLAY - POTANSİYEL YARDIM MERKEZLERİ ARASINDAKİ SÜRE MATRİSİ (DK)

Tablo E1.1 Örnek Olay - Potansiyel Yardım Merkezleri Arasındaki Süre Matrisi (dk)

		Selimiye (Haydarpaşa Limanı)	Ünalan	Acıbadem	Valide-i Atik	İcadiye	Selimiye	Aziz Mahmut Hüdayi	Barbaros	Sultantepe
		0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Selimiye (Haydarpaşa Limanı)	0	-	8,4938	6,1854	1,5442	4,5888	0,0000	2,6739	2,4784	5,3885
Ünalan	D1	8,4938	-	4,8240	9,4987	12,1604	10,0984	10,5108	7,8256	11,0368
Acıbadem	D2	6,1854	4,0940	-	5,0438	6,3503	7,2135	7,3527	4,9365	6,8461
Valide-i Atik	D3	1,5442	8,0908	5,2741	-	3,4895	1,4891	3,4710	1,5482	3,5323
İcadiye	D4	4,5888	9,5404	5,6231	3,9881	-	5,4729	4,7720	3,8752	1,8050
Selimiye	D5	0,000	8,4938	6,1854	1,5442	4,5888	-	2,6739	2,4784	5,3885
Aziz Mahmut Hüdayi	D6	2,6739	11,4534	7,2623	3,2199	5,2527	2,9018	-	4,9739	3,5001
Barbaros	D7	2,4784	9,4042	3,9814	1,4816	3,7520	2,8576	5,0962	-	3,7083
Sultantepe	D8	5,3885	11,3344	5,9323	3,4953	1,6716	4,9305	4,1718	3,5632	-

EK 2

ÖRNEK OLAY - POTANSİYEL YARDIM MERKEZLERİ VE YARDIMA İHTİYACI OLAN BÖLGELER ARASINDAKİ SÜRE MATRİSİ (DK)

Tablo E2.1 Örnek Olay - Potansiyel Yardım Merkezleri ve Yardıma İhtiyacı Olan Bölgeler Arasındaki Süre Matrisi (dk)

		Ünalan	Acıbadem	Valide-i Atik	İcadiye	Selimiye	Aziz Mahmut Hüdayi	Barbaros	Sultantepe	Ünalan	Acıbadem	Valide-i Atik	Barbaros	İcadiye	Muratreis	Altunizade	Selami Ali	Zeynep Kamil	Mimar Sinan	Sultantepe	Salacak	Ahmediye	Aziz Mahmut Hüdayi	Selimiye
		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23
Ünalan	D1	-	-	-	-	-	-	-	-	0	5,3187	11,0099	7,3332	8,7796	8,3527	5,8979	10,9468	9,7778	10,7684	13,3269	13,4989	9,7337	12,4591	10,6341
Acıbadem	D2	-	-	-	-	-	-	-	-	5,4428	0	5,4871	3,5436	6,387	5,7304	2,3091	6,2988	6,0388	10,1145	7,053	9,1251	6,7306	7,7044	7,6876
Valide-i Atik	D3	-	-	-	-	-	-	-	-	9,3611	5,1679	0	1,4336	3,8871	1,216	5,0322	2,4429	0,3975	4,0685	3,6283	2,886	2,0431	2,5535	1,6369
İcadiye	D4	-	-	-	-	-	-	-	-	11,8768	4,8356	3,4272	4,5672	0	2,4584	2,5657	1,7451	4,7377	4,3743	1,932	6,4575	4,999	5,5735	5,1942
Selimiye	D5	-	-	-	-	-	-	-	-	8,1817	6,0059	2,1221	2,9545	5,9678	3,5293	6,7655	3,4372	1,7382	3,5717	4,8102	2,0512	2,3795	2,8688	0
Aziz Mahmut Hüdayi	D6	-	-	-	-	-	-	-	-	11,4792	9,5269	3,1951	4,4095	4,621	3,0868	7,8369	4,3159	3,0497	1,232	3,5161	1,5485	1,4315	0	2,774
Barbaros	D7	-	-	-	-	-	-	-	-	9,7702	3,8382	1,7594	0	3,2239	2,4695	3,4412	2,1598	1,1805	4,0141	3,429	4,453	3,3698	4,9214	2,9629
Sultantepe	D8	-	-	-	-	-	-	-	-	9,2489	7,8214	3,5229	3,9687	2,0615	1,7727	5,4001	1,7646	3,9147	2,3574	0	4,1479	2,4632	4,1718	4,1346
Ünalan	C9	0	4,5534	10,1452	10,7771	9,5227	14,8321	6,5169	10,5286	-	4,5534	10,1452	6,5169	10,7771	9,4211	7,5627	11,649	9,0692	15,1951	10,5286	11,1857	11,4796	14,8321	9,5227
Acıbadem	C10	3,8334	0	5,3597	5,785	6,5947	8,5927	3,0474	7,0922	3,8334	-	5,3597	3,0474	5,785	5,462	2,0537	4,4104	6,2233	7,4003	7,0922	8,5475	6,5162	8,5927	6,5947
Valide-i Atik	C11	9,4987	5,0882	0	4,2066	1,5442	3,2193	1,6572	2,9384	9,4987	5,0882	-	1,6572	4,2066	1,588	3,9613	1,9771	0,4447	2,7728	2,9384	3,0581	1,7172	3,2193	1,5442
Barbaros	C12	6,9123	4,4277	1,7455	3,6004	3,0021	4,7602	0	4,5817	6,9123	4,4277	1,7455	-	3,6004	2,6455	2,582	3,2876	1,6412	5,4228	4,5817	5,0661	3,4112	4,7602	3,0021
İcadiye	C13	12,1604	6,0215	4,5159	0	4,734	4,7949	4,097	3,0991	12,1604	6,0215	4,5159	4,097	-	2,4184	3,5432	1,5985	4,0035	4,4262	3,0991	6,4074	4,5132	4,7949	4,734
Muratreis	C14	10,495	5,3007	1,3201	2,2316	3,1093	3,2385	2,8224	2,7494	10,495	5,3007	1,3201	2,8224	2,2316	-	4,7065	1,0509	1,6459	3,2929	2,7494	3,5853	2,2707	3,2385	3,1093
Altunizade	C15	6,8119	2,2069	3,6367	3,294	5,2398	6,4592	2,9245	6,3017	6,8119	2,2069	3,6367	2,9245	3,294	3,7517	-	2,6739	4,8512	7,9937	6,3017	6,3257	6,4061	6,4592	5,2398
Selami Ali	C16	11,0072	5,1943	2,6287	1,7704	3,3122	3,7921	2,6148	2,1136	11,0072	5,1943	2,6287	2,6148	1,7704	0,984	3,0272	-	2,1956	3,3482	2,1136	5,1554	2,4615	3,7921	3,3122
Zeynep Kamil	C17	8,4375	5,4115	0,4874	3,4447	1,5118	4,1622	1,6089	4,0768	8,4375	5,4115	0,4874	1,6089	3,4447	1,6343	3,943	2,7459	-	4,5183	4,0768	2,71	2,4647	4,1622	1,5118
Mimar Sinan	C18	12,4093	7,2783	3,2014	4,6125	4,6402	0,9017	5,6674	2,0937	12,4093	7,2783	3,2014	5,6674	4,6125	2,7428	5,7528	3,3328	3,0983	-	2,0937	3,403	1,7088	0,9017	4,6402
Sultantepe	C19	10,0746	6,354	3,0436	3,0186	3,9571	3,1862	5,5138	0	10,0746	6,354	3,0436	5,5138	3,0186	2,1355	5,2762	2,0165	3,1869	2,2931	-	4,2711	2,7729	3,1862	3,9571
Salacak	C20	9,7846	8,8154	2,3171	6,424	1,9972	2,2347	5,0119	4,642	9,7846	8,8154	2,3171	5,0119	6,424	4,1932	6,1754	4,7172	2,379	2,911	4,642	-	1,9663	2,2347	1,9972
Ahmediye	C21	10,6671	6,3021	2,007	4,2015	2,533	2,0242	3,433	2,1063	10,6671	6,3021	2,007	3,433	4,2015	2,2161	6,0793	3,1213	2,1863	1,3161	2,1063	2,1445	-	2,0242	2,533
Aziz Mahmut Hüdayi	C22	12,3205	7,9932	3,0319	4,8982	4,266	0	4,6553	2,81	12,3205	7,9932	3,0319	4,6553	4,8982	3,8896	7,4493	4,2672	3,7165	1,0288	2,81	2,6062	1,7477	-	4,266
Selimiye	C23	9,4109	5,8239	1,9799	5,5405	0	3,5357	3,2569	4,1199	9,4109	5,8239	1,9799	3,2569	5,5405	3,2927	4,6754	3,4958	1,615	3,9725	4,1199	1,8926	2,1905	3,5357	-

EK 3

ÖRNEK OLAY - 2 KM MOTORİZE KAPSAMA ALANI İÇİN β_{cd} MATRİSİ

Tablo E3.1 Örnek Olay - 2 km Motorize Kapsama Alanı için β_{cd} Matrisi

Motorize Kapsama Alanı (<=2000m)		Ünalan	Acıbadem	Valide-i Atik	İcadiye	Selimiye	Aziz Mahmut Hüdayi	Barbaros	Sultantepe
		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Ünalan	C9	1	1	0	0	0	0	0	0
Acıbadem	C10	1	1	0	0	0	0	1	0
Valide-i Atik	C11	0	0	1	1	1	1	1	1
Barbaros	C12	0	1	1	1	1	1	1	1
İcadiye	C13	0	0	1	1	0	0	1	1
Muratreis	C14	0	0	1	1	1	1	1	1
Altunizade	C15	0	1	1	1	0	0	1	1
Selami Ali	C16	0	0	1	1	1	1	1	1
Zeynep Kamil	C17	0	0	1	1	1	1	1	1
Mimar Sinan	C18	0	0	1	1	1	1	1	1
Sultantepe	C19	0	0	1	1	1	1	1	1
Salacak	C20	0	0	1	0	1	1	1	1
Ahmediye	C21	0	0	1	1	1	1	1	1
Aziz Mahmut Hüdayi	C22	0	0	1	0	1	1	1	1
Selimiye	C23	0	0	1	0	1	1	1	1

EK 4

ÖRNEK OLAY - 1 KM MOTORİZE OLMAYAN KAPSAMA ALANI İÇİN ψ_{cd} MATRİSİ

Tablo E4.1 Örnek Olay- 1 km Motorize Olmayan Kapsama Alanı için ψ_{cd} Matrisi

Motorize Olmayan Kapsama Alanı ($\leq 1000\text{m}$)		Ünalan	Acıbadem	Valide-i Atik	İcadiye	Selimiye	Aziz Mahmut Hüdayi	Barbaros	Sultantepe
		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Ünalan	C9	1	0	0	0	0	0	0	0
Acıbadem	C10	0	1	0	0	0	0	0	0
Valide-i Atik	C11	0	0	1	0	1	0	1	0
Barbaros	C12	0	0	1	0	0	0	1	0
İcadiye	C13	0	0	0	1	0	0	0	1
Muratreis	C14	0	0	1	0	0	0	1	1
Altunizade	C15	0	1	0	0	0	0	0	0
Selami Ali	C16	0	0	1	1	0	0	0	1
Zeynep Kamil	C17	0	0	1	0	1	0	1	0
Mimar Sinan	C18	0	0	0	0	0	1	0	0
Sultantepe	C19	0	0	0	1	0	0	0	1
Salacak	C20	0	0	0	0	1	1	0	0
Ahmediye	C21	0	0	1	0	0	1	0	0
Aziz Mahmut Hüdayi	C22	0	0	0	0	0	1	0	0
Selimiye	C23	0	0	1	0	1	0	0	0

EK 5 ÖRNEK OLAY PARAMETRE DEĞERLERİ

Tablo E5.1 Örnek Olay Parametre Değerleri

Parametre	Değer
δ_c	Tablo 4.2
θ_{ij}	Tablo E1.1
γ_{ij}	Tablo E2.1
ρ	937
τ	416
λ_k	$\lambda_1 = 1, \lambda_2 = 2, \lambda_3 = 3$
ζ	100
η_{dk}	Tablo 4.4
α_{dk}	Tablo 4.3
β_{cd}	Tablo E3.1
ψ_{cd}	Tablo E4.1
ω	2
$bigM$	99999

EK 6

SENARYO 2.2 – 750 M MOTORİZE OLMAYAN KAPSAMA ALANI İÇİN ψ_{cd} MATRİSİ

Tablo E6.1 Senaryo 2.2 – 750 m Motorize Olmayan Kapsama Alanı için ψ_{cd} Matrisi

Motorize Olmayan Kapsama Alanı ($\leq 750m$)		Ünalan	Acıbadem	Valide-i Atik	İcadiye	Selimiye	Aziz Mahmut Hüdayi	Barbaros	Sultantepe
		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Ünalan	C9	1	0	0	0	0	0	0	0
Acıbadem	C10	0	1	0	0	0	0	0	0
Valide-i Atik	C11	0	0	1	0	1	0	1	0
Barbaros	C12	0	0	1	0	0	0	1	0
İcadiye	C13	0	0	0	1	0	0	0	0
Muratreis	C14	0	0	1	0	0	0	0	0
Altunizade	C15	0	0	0	0	0	0	0	0
Selami Ali	C16	0	0	0	1	0	0	0	1
Zeynep Kamil	C17	0	0	1	0	1	0	1	0
Mimar Sinan	C18	0	0	0	0	0	1	0	0
Sultantepe	C19	0	0	0	0	0	0	0	1
Salacak	C20	0	0	0	0	0	1	0	0
Ahmediye	C21	0	0	0	0	0	1	0	0
Aziz Mahmut Hüdayi	C22	0	0	0	0	0	1	0	0
Selimiye	C23	0	0	1	0	1	0	0	0

EK 7

SENARYO 2.3 – 1250 M MOTORİZE OLMAYAN KAPSAMA ALANI İÇİN ψ_{cd} MATRİSİ

Tablo E7.1 Senaryo 2.3 – 1250 m Motorize Olmayan Kapsama Alanı için ψ_{cd} Matrisi

Motorize Olmayan Kapsama Alanı ($\leq 1250\text{m}$)		Ünalan	Acıbadem	Valide-i Atik	İcadiye	Selimiye	Aziz Mahmut Hüdayi	Barbaros	Sultantepe
		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Ünalan	C9	1	0	0	0	0	0	0	0
Acıbadem	C10	0	1	0	0	0	0	0	0
Valide-i Atik	C11	0	0	1	0	1	1	1	0
Barbaros	C12	0	0	1	0	1	0	1	0
İcadiye	C13	0	0	0	1	0	0	0	1
Muratreis	C14	0	0	1	1	1	0	1	1
Altunizade	C15	0	1	0	0	0	0	0	0
Selami Ali	C16	0	0	1	1	0	0	1	1
Zeynep Kamil	C17	0	0	1	0	1	0	1	0
Mimar Sinan	C18	0	0	0	0	0	1	0	1
Sultantepe	C19	0	0	0	1	0	0	0	1
Salacak	C20	0	0	1	0	1	1	0	0
Ahmediye	C21	0	0	1	0	1	1	0	1
Aziz Mahmut Hüdayi	C22	0	0	1	0	0	1	0	0
Selimiye	C23	0	0	1	0	1	0	1	0

EK 8

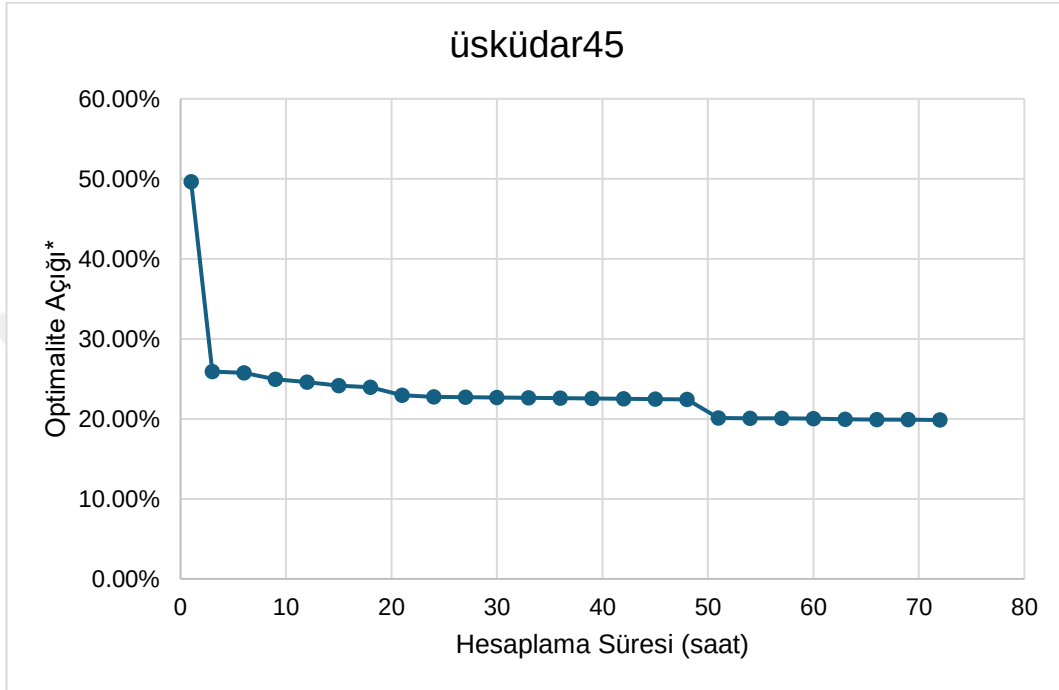
SENARYO 3 – 3 KM MOTORİZE KAPSAMA ALANI İÇİN β_{cd} MATRİSİ

Tablo E8.1 Senaryo 3 – 3 km Motorize Kapsama Alanı için β_{cd} Matrisi

Motorize Kapsama Alanı ($\leq 3000\text{m}$)		Ünalan	Acıbadem	Valide-i Atik	İcadiye	Selimiye	Aziz Mahmut Hüdayi	Barbaros	Sultantepe
		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Ünalan	C9	1	1	0	0	0	0	0	0
Acıbadem	C10	1	1	1	1	1	0	1	1
Valide-i Atik	C11	0	1	1	1	1	1	1	1
Barbaros	C12	0	1	1	1	1	1	1	1
İcadiye	C13	0	1	1	1	1	1	1	1
Muratreis	C14	0	1	1	1	1	1	1	1
Altunizade	C15	1	1	1	1	1	1	1	1
Selami Ali	C16	0	1	1	1	1	1	1	1
Zeynep Kamil	C17	0	1	1	1	1	1	1	1
Mimar Sinan	C18	0	0	1	1	1	1	1	1
Sultantepe	C19	0	1	1	1	1	1	1	1
Salacak	C20	0	0	1	1	1	1	1	1
Ahmediye	C21	0	0	1	1	1	1	1	1
Aziz Mahmut Hüdayi	C22	0	0	1	1	1	1	1	1
Selimiye	C23	0	1	1	1	1	1	1	1

EK 9

ÜSKÜDAR45 VERİ SETİ İÇİN 72 SAATLİK OPTİMALİTE AÇIĞI DEĞİŞİMİ



*2A-RKP modeli için bulunan en iyi çözüm ve alt sınır arasındaki farkı temsil etmektedir.

Şekil E9.1 Üsküdar45 Veri Seti için 72 Saatlik Optimalite Açığı Değişimi

EK 10

ORJİNALLİK FORMU

	HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ	Doküman Kodu Form No.	FRM-YL-15
		Yayın Tarihi Date of Pub.	04.12.2023
	FRM-YL-15 Yüksek Lisans Tezi Orijinallik Raporu <i>Master's Thesis Dissertation Originality Report</i>	Revizyon No Rev. No.	02
		Revizyon Tarihi Rev. Date	25.01.2024

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞINA
Tarih: 19/06/2025
Tez Başlığı: İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİNDE TESİS KAPASİTE KARARLARI İLE İKİ AŞAMALI ROTA KAPSAMA PROBLEMİ Tez Başlığı (Almanca/Fransızca)*:..... Yukarıda başlığı verilen tezin a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 102 sayfalık kısmına ilişkin, 19/06/2025 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda işaretlenmiş filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezin benzerlik oranı %8 'dir. Uygulanan filtrelemeler*: 1. ☐ Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç 2. ☒ Kaynakça hariç 3. ☒ Alıntılar hariç 4. ☐ Alıntılar dâhil 5. ☒ 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tezin herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim. Gereğini saygılarımla arz ederim. İlay GÜVENÇ PELİT

Öğrenci Bilgileri	Ad-Soyad	İlay GÜVENÇ PELİT
	Öğrenci No	N23133022
	Enstitü Anabilim Dalı	İşletme
	Programı	Üretim ve İşlemler Yönetimi

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.
Prof. Dr. Mehmet SOYSAL

* Tez Almanca veya Fransızca yazılıyor ise bu kısımda tez başlığı **Tez Yazım Dilinde** yazılmalıdır.

**Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları İkinci bölüm madde (4)/3'te de belirtildiği üzere: Kaynakça hariç, Alıntılar hariç/dahil, 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit match size to 5 words) filtreleme yapılmalıdır.

	HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ	Doküman Kodu Form No.	FRM-YL-15
		Yayın Tarihi Date of Pub.	04.12.2023
	FRM-YL-15 Yüksek Lisans Tezi Orijinallik Raporu <i>Master's Thesis Dissertation Originality Report</i>	Revizyon No Rev. No.	02
		Revizyon Tarihi Rev.Date	25.01.2024

TO HACETTEPE UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES
DEPARTMENT OF BUSINESS ADMINISTRATION

Date: 19/06/2025

Thesis Title (In English): A TWO-ECHELON HUMANITARIAN AID COVERING TOUR PROBLEM WITH FACILITY CAPACITY DECISIONS

According to the originality report obtained by my thesis advisor by using the Turnitin plagiarism detection software and by applying the filtering options checked below on 19/06/2025 for the total of 102 pages including the a) Title Page, b) Introduction, c) Main Chapters, and d) Conclusion sections of my thesis entitled above, the similarity index of my thesis is 8 %.

Filtering options applied**:

1. ☐ Approval and Declaration sections excluded
2. ☒ References cited excluded
3. ☒ Quotes excluded
4. ☐ Quotes included
5. ☒ Match size up to 5 words excluded

I hereby declare that I have carefully read Hacettepe University Graduate School of Social Sciences Guidelines for Obtaining and Using Thesis Originality Reports that according to the maximum similarity index values specified in the Guidelines, my thesis does not include any form of plagiarism; that in any future detection of possible infringement of the regulations I accept all legal responsibility; and that all the information I have provided is correct to the best of my knowledge.

Kindly submitted for the necessary actions.

İlay GÜVENÇ PELİT

Student Information	Name-Surname	İlay GÜVENÇ PELİT
	Student Number	N23133022
	Department	Business Administration
	Programme	Production and Operations Management

SUPERVISOR'S APPROVAL

APPROVED
Prof. Dr. Mehmet SOYSAL

**As mentioned in the second part [article (4)/3] of the Thesis Dissertation Originality Report's Codes of Practice of Hacettepe University Graduate School of Social Sciences, filtering should be done as following: excluding reference, quotation excluded/included, Match size up to 5 words excluded.

	HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ	Doküman Kodu Form No.	FRM-YL-09
		Yayın Tarihi Date of Pub.	22.11.2023
	FRM-YL-09 Yüksek Lisans Tezi Etik Kurul Muafiyeti Formu <i>Ethics Board Form for Master's Thesis</i>	Revizyon No Rev. No.	02
		Revizyon Tarihi Rev. Date	25.01.2024

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞINA

Tarih: 19/06/2025

Tez Başlığı (Türkçe): İNSANI YARDIM LOJİSTİĞİNDE TESİS KAPASİTE KARARLARI İLE İKİ AŞAMALI ROTA KAPSAMA PROBLEMİ

Tez Başlığı (Almanca/Fransızca)*:

Yukarıda başlığı verilen tez çalışmam:

1. İnsan ve hayvan üzerinde deney niteliği taşımamaktadır.
2. Biyolojik materyal (kan, idrar vb. biyolojik sıvılar ve numuneler) kullanılmasını gerektirmemektedir.
3. Beden bütünlüğüne veya ruh sağlığına müdahale içermemektedir.
4. Anket, ölçek (test), mülakat, odak grup çalışması, gözlem, deney, görüşme gibi teknikler kullanılarak katılımcılardan veri toplanmasını gerektiren nitel ya da nicel yaklaşımlarla yürütülen araştırma niteliğinde değildir.
5. Diğer kişi ve kurumlardan temin edilen veri kullanımını (kitap, belge vs.) gerektirmektedir. Ancak bu kullanım, diğer kişi ve kurumların izin verdiği ölçüde Kişisel Bilgilerin Korunması Kanuna riayet edilerek gerçekleştirilecektir.

Hacettepe Üniversitesi Etik Kurullarının Yönergelerini inceledim ve bunlara göre çalışmamın yürütülebilmesi için herhangi bir Etik Kuruldan izin alınmasına gerek olmadığını; aksi durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

İlay GÜVENÇ PELİT

Öğrenci Bilgileri	Ad-Soyad	İlay GÜVENÇ PELİT
	Öğrenci No	N23133022
	Enstitü Anabilim Dalı	İşletme
	Programı	Üretim ve İşlemler Yönetimi

DANIŞMAN ONAY

UYGUNDUR.

Prof. Dr. Mehmet SOYSAL

* Tez **Almanca** veya **Fransızca** yazılıyor ise bu kısımda tez başlığı **Tez Yazım Dilinde** yazılmalıdır.

	HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ	Doküman Kodu Form No.	FRM-YL-09
		Yayın Tarihi Date of Pub.	22.11.2023
	FRM-YL-09 Yüksek Lisans Tezi Etik Kurul Muafiyeti Formu <i>Ethics Board Form for Master's Thesis</i>	Revizyon No Rev. No.	02
		Revizyon Tarihi Rev.Date	25.01.2024

HACETTEPE UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF SOCIAL SCIENCES
DEPARTMENT OF BUSINESS ADMINISTRATION

Date:19/06/2025

ThesisTitle (In English): A TWO-ECHELON HUMANITARIAN-AID COVERING TOUR PROBLEM WITH FACILITY CAPACITY DECISIONS

My thesis work with the title given above:

1. Does not perform experimentation on people or animals.
2. Does not necessitate the use of biological material (blood, urine, biological fluids and samples, etc.).
3. Does not involve any interference of the body's integrity.
4. Is not a research conducted with qualitative or quantitative approaches that require data collection from the participants by using techniques such as survey, scale (test), interview, focus group work, observation, experiment, interview.
5. Requires the use of data (books, documents, etc.) obtained from other people and institutions. However, this use will be carried out in accordance with the Personal Information Protection Law to the extent permitted by other persons and institutions.

I hereby declare that I reviewed the Directives of Ethics Boards of Hacettepe University and in regard to these directives it is not necessary to obtain permission from any Ethics Board in order to carry out my thesis study; I accept all legal responsibilities that may arise in any infringement of the directives and that the information I have given above is correct.

I respectfully submit this for approval.

İlay GÜVENÇ PELİT

Student Information	Name-Surname	İlay GÜVENÇ PELİT
	Student Number	N23133022
	Department	Business Administration
	Programme	Production and Operations Management

SUPERVISOR'S APPROVAL

APPROVED

Prof. Dr. Mehmet SOYSAL