



Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim ve İşlemler Yönetimi Bilim Dalı

İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİNDE ŞEHİR İÇİ DAĞITIM PLANLAMA

İsmail Nurullah MUTLU

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2023

İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİNDE ŞEHİR İÇİ DAĞITIM PLANLAMA

İsmail Nurullah MUTLU

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim ve İşlemler Yönetimi Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2023

KABUL VE ONAY

İsmail Nurullah Mutlu tarafından hazırlanan “İnsani Yardım Lojistiğinde Şehir İçi Dağıtım Planlama” başlıklı bu çalışma, 09/06/2023 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mine Ömürgönülşen (Başkan)

Doç. Dr. Mehmet Soysal (Danışman)

Doç. Dr. Sedat Belbağ (Üye)

Dr. Öğr. Üyesi Onur Koyuncu (Üye)

Dr. Öğr. Üyesi Bülent Çekiç (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⁾

09/06/2023

İsmail Nurullah MUTLU

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 zgn olduğunu, **Doç. Dr. Mehmet SOYSAL** danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.

Arş. Gör. İsmail Nurullah MUTLU



Eşime, Aileme ve Ülkeme

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının başından sonuna kadar emeğini, bilgisini ve zamanının esirgemeyen, bana yol gösteren, desteğini her zaman arkamda hissettiğim saygıdeğer danışmanım Doç. Dr. Mehmet SOYSAL’a teşekkürlerimi sunarım.

Kıymetli görüşleri ve katkılarından dolayı değerli hocalarım ve jüri üyelerim Prof. Dr. Mine ÖMÜRGÖNÜLŞEN’e, Doç. Dr. Mehmet SOYSAL’a, Doç. Dr. Sedat BELBAĞ’a, Dr. Öğr. Üyesi Onur KOYUNCU’ya ve Dr. Öğr. Üyesi Bülent ÇEKİÇ’e teşekkür ederim.

Çalışmamı başından sonuna kadar detaylıca inceleyip, zamanımı ve emeğini esirgemeyen ve verdiği desteklerle tezin bu hale gelmesini sağlayan Arş. Gör. Dr. Ergül KISA TOĞRUL’a teşekkür ederim. Tez sürecinde verdikleri desteklerden dolayı Arş. Gör. Müge ÇERÇİ’ye ve Kaan KILIÇ’a teşekkür ederim.

Çalışanı olduğum Düzce Üniversitesi İşletme Fakültesi’ndeki değerli hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca her zaman moral ve destek veren ve her anımda yanımda olan sevgili eşim Ayşenur MUTLU’ya, babam İbrahim MUTLU’ya, annem Hacer MUTLU’ya, abim Mustafa MUTLU’ya, ablam Ahsen MUTLU PAŞA’ya ve kardeşim Hamza Said MUTLU’ya teşekkür ederim.

ÖZET

MUTLU, İsmail Nurullah. *İnsani Yardım Lojistiğinde Şehir İçi Dağıtım Planlama*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2023.

Afetlerin sayısı yıllar geçtikçe artmaktadır ve afetler can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Meydana gelen kayıpların en aza indirilmesi için insani yardım lojistiğindeki faaliyetlerin etkin bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, afetzedelerin ihtiyaçlarının hızlı bir şekilde karşılanabilmesi için uygun dağıtım planları oluşturulmalıdır. İnsani yardım lojistiğinde yardım malzemesi dağıtımı için araç rotalama kararları verilirken, afetin neden olduğu altyapı hasarları gibi belirsizlikler göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Bu hasarlar, büyük tonajlı araçların gerekli yardım malzemelerini ulaştırmasına engel olabilmektedir. Bu tür hususlar göz önünde bulundurularak uygun dağıtım ağı oluşturulması gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı, insani yardım faaliyetlerinde bulunan kuruluşlara bir karar destek modeli önermektir. Bu amaç doğrultusunda, bu çalışmada insani yardım lojistiğinde İki Aşamalı Araç Rotalama Problemi (2A-ARP) için Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama (KTDP) modeli önerilmektedir. Bu modelin amacı toplam seyahat süresini en aza indirmektir. İstanbul ili Kartal ilçesinde meydana gelebilecek bir deprem senaryosu örneği ile modelin doğruluğu ve uygulanabilirliği gösterilmektedir. Afet sonrasında yolların kapanma durumu dikkate alınmaktadır. Söz konusu problemde dağıtım için heterojen araç filosu ve yayalara yer verilmektedir. Araç tiplerine göre araçların kapasiteleri, hızları ve yollarda ilerleme kabiliyetleri farklılık göstermektedir. Yolların kapanma ihtimali nedeniyle araçların ulaşamadığı talep noktalarına yayalar vasıtasıyla devretme noktaları kullanılarak teslimat yapılabilir. Bu çalışmanın literatüre katkısı, dağıtım filosunda farklı türdeki araçlara yer vermesi, araçların hızlarının ve yollardaki ilerleme kabiliyetlerinin birbirinden farklı olmasına ek olarak dağıtım için yayaların kullanımını önermesidir. Numerik analizler sonucunda toplam seyahat süresini en aza indirmek için, belirlenen araç turu kapanmama ihtimalleri dikkate alınarak uygun dağıtım şekli belirlenmektedir. Bu sayede, gerçek hayatta karar vericilere destek olabilecek durumlar üzerinde durulmaktadır.

Anahtar Sözcükler

İnsani Yardım Lojistiği, İki Aşamalı Araç Rotalama Problemi, Heterojen Filo, Yaya Taşıma, Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama



ABSTRACT

MUTLU, İsmail Nurullah. *Urban Distribution Planning in Humanitarian Aid Logistics*, Master's Thesis, Ankara, 2023.

The frequency of disasters is increasing over time, resulting in the loss of life and property. Effectively managing humanitarian aid logistics activities is crucial to minimize the incurred losses. Therefore, appropriate distribution plans must be developed to rapidly meet the needs of disaster victims. When making decisions regarding vehicle routing for the distribution of humanitarian aid materials, uncertainties such as infrastructure damage caused by the disaster need to be taken into account. These damages can impede the delivery of necessary aid materials by large-tonnage vehicles. Considering these factors, it is necessary to establish an appropriate distribution network. The objective of this study is to propose a decision-support model for organizations engaged in humanitarian aid activities. In line with this objective, this study proposes a Mixed Integer Linear Programming (MILP) model for the Two Echelon Vehicle Routing Problem (2E-VRP) in humanitarian aid logistics. This model aims to minimize the total travel time. The accuracy and applicability of the model are demonstrated through an earthquake scenario example that could occur in the Kartal district of Istanbul province. The closure of roads after a disaster is taken into account. The problem at hand includes a heterogeneous vehicle fleet for distribution and incorporates pedestrians. Capacities, speeds, and progress capabilities of vehicles differ according to vehicle types. Due to the possibility of road closures, deliveries can be made to unreachable demand points through transfer points using pedestrians. The contribution of this study to the literature is its inclusion of different types of vehicles in the distribution fleet, suggesting different speeds and progress capabilities of vehicles on roads, and proposing the use of pedestrians for distribution. Through numerical analysis, an appropriate distribution method is determined, taking into account the probabilities of the designated vehicle tours not being closed, to minimize the total travel time. Thus, the focus is on real-life scenarios that can provide support to decision-makers.

Key Words

Humanitarian Logistics, Two-Echelon Vehicle Routing Problem, Heterogeneous Fleet, Portering, Mixed Integer Linear Programming



İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI.....	ii
ETİK BEYAN.....	iii
TEŞEKKÜR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	x
TABLolar DİZİNİ.....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
GİRİŞ	1
1. BÖLÜM: LOJİSTİK VE İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİ	4
1.1. TEDARİK ZİNCİRİ VE LOJİSTİK YÖNETİMİ.....	4
1.2. İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİ.....	7
2. BÖLÜM: ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ VE İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİNDE ÇOK AŞAMALI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ LİTERATÜRÜ ...	14
2.1. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ	14
2.2. İKİ AŞAMALI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ	15
2.3. İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİNDE ÇOK AŞAMALI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ VE LİTERATÜRÜ	19
3. BÖLÜM: AFET SONRASI İKİ AŞAMALI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ	33
3.1. PROBLEM TANIMI.....	33
3.2. MATEMATİKSEL MODEL.....	38
4. BÖLÜM: NUMERİK ANALİZLER.....	41
4.1. ÖRNEK OLAYLARIN İNCELENMESİ.....	41
4.1.1. Veri Setinin Tanıtılması.....	41
4.1.2. Örnek Olayların Çözümü ve Analizi.....	48
4.2. SENARYO ANALİZLERİ	52
4.2.1. Araç turu kapanmama değerinin etkisi	52
4.2.2. Dağıtımda Yalnızca Devretme Noktalarının Kullanılmasının Etkisi.....	58
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	61
KAYNAKÇA.....	64

EK 1. DÜĞÜMLERE YÖNELİK KOORDİNAT BİLGİLERİ	74
EK 2. NOKTALAR ARASI MESAFE VERİSİ (M).....	75
EK 3. NOKTALAR ARASI ULAŞIM SÜRESİ (DK)	76
EK 4. MİNİVAN ARACA GÖRE NOKTALAR ARASI YOL KAPANMA İHTİMALİ...77	
EK 5. NOKTALAR ARASI YÜRÜME SÜRESİ (DK)	78
EK 6. TALEP NOKTALARININ DEVRETME NOKTALARINDAN ÜRÜN ÇEKME DURUMU	79
EK 7. TEMEL ÖRNEKLER İÇİN TAŞINAN (<i>Fijk</i>) VE BIRAKILAN (<i>Qik</i>) YÜK MİKTARLARI.....	80
EK 8. TEMEL ÖRNEKLER İÇİN DEVRETME NOKTALARINDAN TALEP NOKTALARINA GÖNDERİLEN YÜK MİKTARI (ADET).....	81
EK 9. ORJİNALLİK RAPORU.....	82
EK 10. ETİK KURUL MUAFİYET FORMU.....	83

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1: Afetlerin Sınıflandırılması (Van Wassenhove, 2006).....	7
Tablo 2: Dünya Geneline Yıllara Göre Afet Sayıları (<i>World Disaster Report</i> , 2020).....	8
Tablo 3: Dünya Geneline Yıllara Göre Afetlerdeki Can Kaybı Sayıları (<i>World Disaster Report</i> , 2020)	8
Tablo 4: İnsani Yardım Lojistiğinde Çok Aşamalı Araç Rotalama Problemini Ele Alan Çalışmalar	24
Tablo 5: İnsani Yardım Lojistiğinde Çok Aşamalı Araç Rotalama Problemi Çalışmalarında Dikkate Alınan Varsayımlar	28
Tablo 6: Varsayımlara ilişkin açıklamalar	29
Tablo 7: Notasyon tablosu	37
Tablo 8: Örnek olayda kullanılan parametre değerleri.....	48
Tablo 9: Filoların sahip olduğu araç sayıları.....	49
Tablo 10: Temel Örneklerle Ait Optimum Çözüm Sonuçları	50
Tablo 11: Senaryo Analizlerine Ait Optimum Sonuçlar	54
Tablo 12: Yalnızca Devretme Noktalarının Kullanılması Senaryosuna Yönelik Optimum Sonuçlar	58
Tablo 13: Talep Noktalarının Devretme Noktalarından Yük Çekme Durumu (Adet).....	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1: Lojistik Yönetimi Bileşenleri	6
Şekil 2: İnsani Yardım Lojistiği	11
Şekil 3: İki Aşamalı Araç Rotalama Problemi Örnek Çözümü	16
Şekil 4: Örnek çözüm gösterimi	36
Şekil 5: Düğümlerin haritadaki gösterimi	44
Şekil 6: Mw=7.5 Senaryo Depremi İçin Kartal İlçesi Yol Kapanma Dağılım Haritası	46
Şekil 7: Senaryo Analizlerine ve Temel Örneklere Ait Temel Performans Göstergeleri	57
Şekil 8: Temel Örnekler ve Yalnızca Devretme Noktalarının Kullanıldığı Senaryoya Yönelik Temel Performans Gösterge Değerleri	60



GİRİŞ

Lojistik, günümüz dünyasında gelişen teknoloji ile birlikte insanların günlük hayatında çok önemli bir yere sahiptir. Lojistik faaliyetleri, müşterilerin ihtiyaçlarını ve beklentilerini de göz önüne alarak planlama ve uygulama ile firmaların sektördeki diğer rakiplerine karşı avantaj sağlamasına yardımcı olmaktadır. Lojistik yönetimi; rekabet avantajı, müşteri memnuniyeti gibi birçok alanda işletmelere üstünlük sağlamaktadır. Ticari alanlardaki lojistiğe ek olarak, insan hayatının tehlikede olduğu zamanlarda insani yardım lojistiğinin planlama ve uygulaması da hayati derecede önem arz etmektedir.

Deprem, sel, heyelan, tsunami gibi doğal afetlerde her yıl binlerce kişi yaşamını yitirmekte ve insanlar, ülkeler maddi olarak zarara uğramaktadır. İnsani yardım lojistiği, afetlerden önce ve sonra gerekli planlama ve uygulamaları yaparak can ve mal kaybını en aza indirmek için oldukça kritik bir alandır. Afetlerden önce yardım ihtiyacını belirleme, yardım malzemesi ulaştırmaya yönelik rotalar oluşturma, afetlerden sonra bu malzemeleri kurulan tesislerden alıp ihtiyaç sahibi afetzedelere ulaştırmak hedeflenmektedir. Bu malzemeleri ulaştırırken uygun araçlarla, zamanında ve kullanılabilir yollar üzerinden göndermek için gerekli çalışmalar yapılması gerekmektedir. Afet sonrasında yolların kapanma ihtimalleri de göz önünde bulundurulması ve hasar gören yollarda hedefe gidebilecek araç seçimlerinin yapılması gerekmektedir. Eğer bu husus dikkate alınmazsa bazı araçlar hasar gören yollarda daha yavaş ilerleyip veya hiç ilerleyemeyip gerekli sürede yardım malzemelerini afetzedelere ulaştıramayabilir. Bu durum insani yardım lojistiğinin amacına ulaşamaması anlamına gelmektedir.

Temel Araç Rotalama Problemi (ARP), sınırlı kapasiteli araçlardan oluşan bir filo, farklı lokasyonlardaki bazı müşteriler ve merkezi bir depodan oluşmaktadır. ARP, araçların tüm müşterilere minimum maliyetle (seyahat süresi ve seyahat mesafesi) hizmet sunması için en iyi rotaları belirlemeyi amaçlar (Salehi Sarbijan & Behnamian, 2022). ARP üzerinde çalışmalar yıllar geçtikçe artmıştır ve çeşitli problem türleri literatüre kazandırılmıştır. Bunlardan biri de İki Aşamalı Araç Rotalama Problemi'dir (2A-ARP). Eve teslim

hizmetlerinin ve e-ticaretin güçlü büyümesi, şehir merkezlerine büyük bir mal akışına yol açmıştır. Bu durum, belli kısıtlamalara veya yasaklara rağmen şehir merkezlerine çevreyi kirleten büyük kamyonların şehirlere girmesine neden olmuştur. Dağıtım merkezlerinden müşterilere doğrudan teslimatlar için alternatif çözümler bulmak amacıyla Crainic vd. (2009) tarafından çok kademeli dağıtım ağları önerilmiştir. İki aşamalı dağıtım sistemi, bu dağıtım ağlarının en basit yapısıdır. Yük taşımacılığında kullanılan araçlar şehir merkezinin dışında birinci aşamada ilerlemekte ve ikinci aşamada ise son kilometre teslimatı için küçük ve çevre dostu araçlar kullanılmaktadır (Marques vd., 2022).

Bu çalışma, afet durumunda afetzedelere gerekli yardım malzemelerini ulaştırmayı hedefleyen kurumlara bir karar destek modeli önerisi sunmayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, araç rotalama problemi için toplam seyahat süresini en küçükleyen bir Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama (KTDP) modeli önerilmektedir. Söz konusu model yolların kapanma ihtimaline göre hangi araçların hangi rotada kullanılacağına ve en hızlı şekilde yardım malzemelerinin afetzedelere ulaştırılmasına karar vermektedir. Model, yolların kapanma ihtimallerini dikkate alarak heterojen yapıdaki araç filosu ile gerekli yardım malzemelerini doğrudan veya devretme noktasına bırakarak yayalar aracılığı ile afetzedelere en kısa sürede ulaşmayı hedeflemektedir. Önerilen model numerik analizlere yer verilerek doğrulanmaktadır. Bu çalışmanın literatüre katkısı, dağıtım filusunda farklı türdeki araçlara yer vermesi, araçların hızlarının ve yollardaki ilerleme kabiliyetlerinin birbirinden farklı olmasına ek olarak dağıtım için yayaların kullanımını önermesidir. Böylelikle afetzedelere her şekilde gerekli malzemeler ulaştırılmakta ve ihtiyaçları karşılanmaktadır. Bu tür dağıtım problemlerinde genellikle büyük araçlarla dağıtım yapıldığı için ve yolların kapanma durumundan büyük araçlar daha fazla etkileneceği için küçük araçlara ve yayalara yer vererek bir dağıtım planı oluşturulması amaçlanmıştır.

Çalışmanın ilk bölümünde, tedarik zinciri yönetimi, lojistik yönetimi ve insani yardım lojistiği konuları açıklanarak insani yardım lojistiğinin gerçek hayattaki önemine yer verilmektedir. İkinci bölümünde, ARP ile ilgili genel bilgiler verilmekte ve 2A-ARP ile ilgili örnek çalışmalar anlatılmaktadır. Sonrasında insani yardım lojistiğindeki araç rotalama problemleri hakkında çalışmalara yer verip insani yardım alanındaki çok aşamalı

araç rotalama problemleri üzerinde durulmaktadır ve bu alanda yapılan çalışmalar incelenerek literatüre yönelik detaylı bilgiler sunulmaktadır. Çalışmanın üçüncü bölümünde, afet sonrasında şehir içi dağıtım planlama problemi tanımından ve söz konusu problemin çözümüne yönelik geliştirilen model önerisinden bahsedilmektedir. Dördüncü bölümde ise modelin gerçek hayat örneği üzerinden çözümü gösterilmektedir. Daha sonra farklı senaryolar uygulanarak farklı çözümlere ve numerik analizlere yer verilmektedir. Sonuç bölümünde ise, temel örnekler ve senaryolar üzerinden genel değerlendirmelere yer verilmektedir. Ayrıca, çalışmanın kısıtlarından ve ileride yapılabilecek çalışmalara yönelik boşluklardan bahsedilmektedir.

1. BÖLÜM: LOJİSTİK VE İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİ

Bu bölümün ilk kısmında tedarik zinciri, lojistik ve lojistik yönetimi kavramları üzerinde durulmaktadır. Bölümün ikinci kısmında ise, insani yardım lojistiği açıklanarak afet öncesi ve sonrasında alınabilecek önlemlere ve uygulanabilecek çözümlere değinilmektedir.

1.1. TEDARİK ZİNCİRİ VE LOJİSTİK YÖNETİMİ

Tedarik zinciri, bir müşteri talebinin yerine getirilmesi için doğrudan veya dolaylı olarak süreç içinde yer alan tüm taraflardan oluşmaktadır. Tedarik zinciri sadece üretici ve tedarikçileri değil, aynı zamanda nakliyecileri, depoları, perakendecileri ve müşterileri de kapsamaktadır. Tedarik zinciri sadece bunlarla sınırlı olmamakla birlikte, yeni ürün geliştirme, pazarlama, operasyon, dağıtım, finans ve müşteri hizmetleri gibi birçok fonksiyonu da içerisinde barındırmaktadır (Chopra & Meindl, 2007).

Tedarik zinciri yönetimi, gelişen endüstriyel faaliyetlerle birlikte sanayi sektöründe kilit bir role sahip olmuştur. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, tedarik zincirinin önem kazanması ve bu konudaki çalışmaların artması 1980’li yıllardan sonra ivme kazanmıştır. Tedarik Zinciri Konseyi tarafından yapılan tanımdan hareketle, “Tedarik zinciri, tedarikçinin tedarikçisinden müşterinin müşterisine kadar nihai bir ürünün üretilmesi ve teslim edilmesiyle ilgili her türlü aşamayı kapsar” şeklinde ifade edilmektedir. Başka bir ifadeyle, tedarik zinciri arz ve talebin yönetimini, hammadde ve parça tedarikini, imalat ve montajı, depolama ve envanter takibini, sipariş girişi ve sipariş yönetimini, tüm kanallarda dağıtımı ve müşteriye teslimi içeren bu adımların hepsini içermektedir (Lummus & Vokurka, 1999). Nihai tedarik zinciri en geniş şekilde tedarikçinin tedarikçisinden müşterinin müşterisine kadar içerisinde finansal kaynak sağlayıcıları, üçüncü parti lojistik sağlayıcıları ve pazar durumunu araştıran firmaları da bulunduran bir zincir şekilde tanımlanabilmektedir (Mentzer vd., 2001).

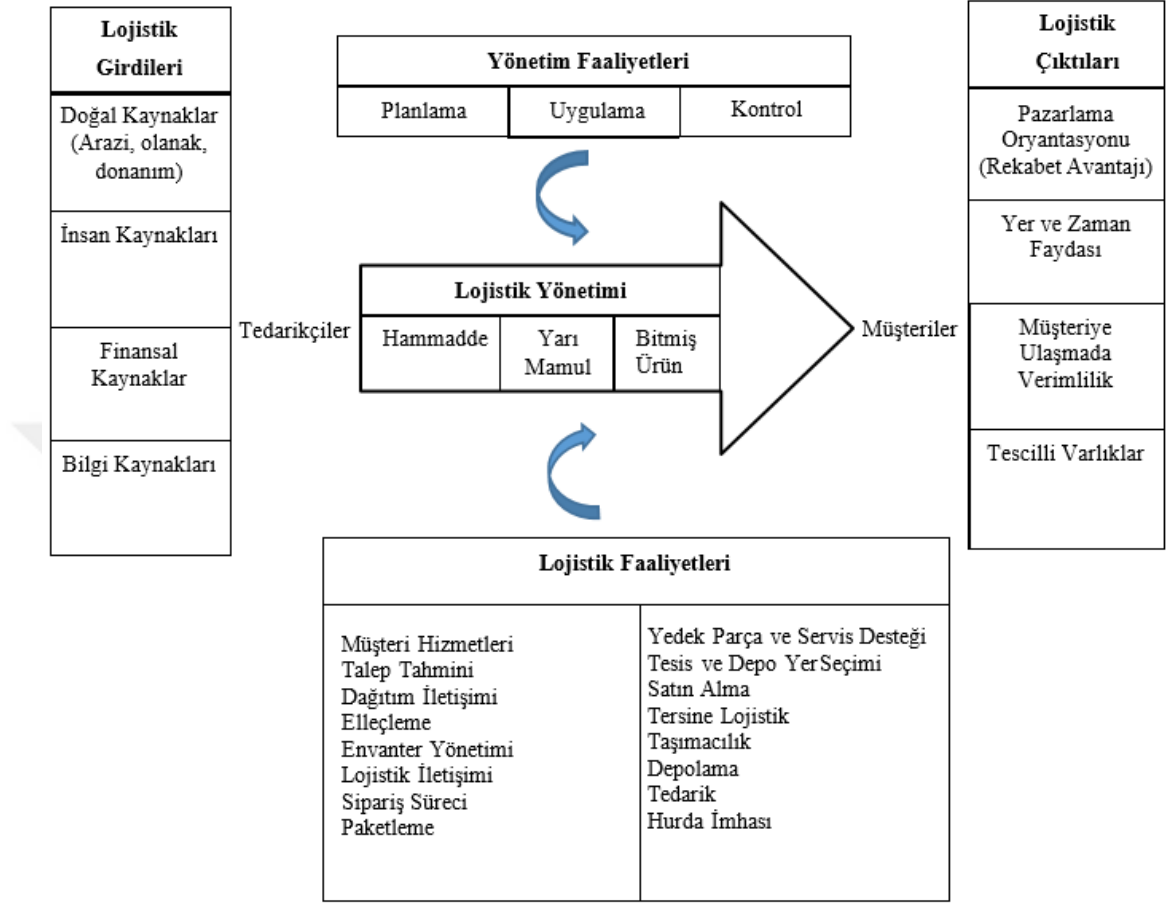
Lojistik kelimesi Yunanca “*logistikos*” kelimesinden gelmektedir. Eski Yunan’da bu kelime “*hesaplama*” ve “*mantık*” anlamlarında kullanılmıştır (Önsüz & Atalay, 2015).

Buna ilaveten lojistiğin farklı birçok alanda ve sistemde lojistik teriminin kullanılmasından dolayı lojistiğin tek bir tanımı bulunmamaktadır. Lojistik terimi bir eşyanın fiziksel olarak bir yerden başka bir yere taşınması için kullanılan yaygın bir ifadedir. Lojistik terimi ilk başlarda askeri alanlarda kullanılmaya başlanmış ve askeri birlikleri bir yerden başka bir yere hareket ettirmek için kullanılmıştır (Lummus vd., 2001). Lojistik, kullanım alanları, ürün çeşidi ve türüne göre farklı şekillerde tanımlanabilmektedir. Askeri alanlarda askeri birlikleri bölmek için kullanılırken endüstriyel alanda en sık akla gelen şekilde malzemelerin bir noktadan talep noktasına taşınması için kullanılmaktadır.

Literatürde birçok farklı lojistik tanımı görülmektedir. Günümüzde ise, daha çok endüstriyel bağlamda kullanılan tanımı öne çıkmaktadır. Lojistik hem kamu hem, de özel sektör kuruluşlarındaki malzeme akışlarının ve ilgili bilgilerin planlanması ve kontrolü ile ilgilenmektedir. Genel olarak baktıldığında, lojistiğin misyonu, belirli bir dizi kısıtı sağlayacak şekilde belirli bir performans ölçüsünü optimize etmek üzere (örneğin bir bütçe kısıtlamasını karşılayarak toplam işletme maliyetlerini en aza indirecek şekilde) doğru malzemeleri doğru zamanda doğru yere ulaştırmaktır (Ghiani vd., 2004). Diğer bir tanıma göre lojistik; malların, hizmetlerin ve ilgili bilgilerin çıkış noktasından müşterilerin gereksinimlerine kadar verimli, etkin akışını ve depolanmasını planlayan, uygulayan ve kontrol eden tedarik zinciri sürecinin bir parçası şeklinde ifade edilmektedir (Rutner & Langley, 2000).

Lojistik yönetimi, tedarik zinciri yönetiminin, müşteri gereksinimlerini karşılamak için üretim noktası ile tüketim noktası arasındaki mal, hizmet ve ilgili bilgilerin ileri ve geri akışını ve depolanmasını verimli, etkili bir şekilde planlayan, uygulayan ve kontrol eden bir parçasıdır (Rushton vd., 2022). Lojistik yönetiminin bileşenleri Şekil 1’de gösterilmektedir.

Şekil 1: Lojistik Yönetimi Bileşenleri



Kaynak: Lambert vd. (1998)

Şekil 1'e bakıldığında, lojistik girdi olarak doğal kaynaklar, insan gücü kaynağı, finansal kaynaklar ve bilgi kaynaklarına sahip olması gerekmektedir. Tedarikçi hammaddeyi sağlamakta ve bu hammadde işlenerek yarı mamul ve bitmiş ürün haline gelmektedir. Yönetim faaliyetleri, planlama, uygulama ve kontrol süreci aracılığıyla lojistik faaliyetler için akış sağlamaktadır. Lojistik çıktılarına bakarsak rekabet avantajı, yer ve zaman faydası, müşteriye verimli hareket ve tescilli varlıklardan oluşmaktadır. Bahsedilen çıktılar, Şekil 1'de gösterilen lojistik faaliyetlerinin etkin ve verimli performansı ile mümkün olmaktadır. Bahsedilen girdiler, işlemler, çıktılar ve faaliyetler Şekil 1'de detaylıca gösterilmektedir (Lambert vd., 1998).

1.2. İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİ

İnsanlık tarihinden itibaren afetler bütün dünyada çok ciddi can kayıplarına ve ekonomik kayıplara sebep olmuştur. Literatürde birçok farklı şekilde afet tanımı yapılmıştır. Önsüz ve Atalay (2015), yeryüzünde yaşayan insan veya diğer canlıların yaşamsal faaliyetlerini sekteye uğratan ve gerçekleşikten sonra büyük yıkıma ve hasara sebep olan ve yurt içinden veya yurt dışından alınan yardımlarla eski haline döndürülebilen ani gerçekleşen doğa olayları olarak tanımlamaktadır. Bir başka çalışmada ise afetin tanımı, etkilenen topluluğa içeriden veya dışarıdan olağanüstü bir müdahaleyi gerektirecek kadar yıkıma, hasara, ekolojik bozulmaya, can kaybına, insanların acı çekmesine veya sağlık sorunları yaşamasına ve sağlık hizmetlerinin bozulmasına sebep olan bir olay olarak yapılmıştır (Boonmee vd., 2017). Uluslararası Kızılhaç ve Kızılay Dernekleri Federasyonu, afeti, bir topluluğun veya toplumun işlevini ciddi şekilde baltalayan ve topluluk veya toplumun kullanma kapasitesinin ötesinde insani, maddi, ekonomik veya çevresel hasara neden olan ani, yıkıcı bir olay olarak tanımlamaktadır (IFRC, 2022).

Afetler doğal ve doğal olmayan şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Deprem, sel, tsunami, toprak kayması, kuraklık doğal afetlere örnek verilirken terör saldırıları, kimyasal sızıntılar, göçmen krizleri doğal olmayan afetlere örnek gösterilebilmektedir. Doğal afetler ve doğal olmayan afetler ani veya yavaş yavaş gerçekleşebilmektedir. Tsunami doğal ve ani gelişen bir afetken; kuraklık doğal ve yavaş gelişen bir afet olarak belirtilebilmektedir. Terör saldırısı doğal olmayan ve ani gelişen bir afetken göçmen krizleri doğal olmayan ve yavaş gelişen bir afet olarak gösterilebilmektedir. Tablo 1’de, afetlerin sınıflandırılması gösterilmektedir.

Tablo 1: Afetlerin Sınıflandırılması (Van Wassenhove, 2006)

	Doğal Afetler	Doğal Olmayan Afetler
Ani Gerçekleşen Afetler	Deprem Kasırga Hortum	Terörist Saldırısı Kimyasal Sızıntı
Yavaş Gerçekleşen Afetler	Kıtlık Kuraklık Yoksulluk	Politik Krizler Göçmen Krizi

Afetler 1950 yılından itibaren sayı ve etki olarak hızla artış göstermektedir (Oruc & Kara, 2018). Uluslararası Afet Veri tabanına göre Asya ve Amerika kıtaları sel, deprem, fırtına ve toprak kayması gibi afetlerden en çok etkilenen kıtalar olmuşlardır (Boonmee vd., 2017). Dünya Afet Raporu'na göre 1960 yılından itibaren gerçekleşen farklı türdeki afetlerin sayıları ve bu afetlerde yaşanan can kayıpları Tablo 2 ve Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 2: Dünya Geneline Yıllara Göre Afet Sayıları (*World Disaster Report, 2020*)

Yıllar	İklim ve Hava				Jeolojik		Biyolojik		Toplam
	Fırtına	Sel	Kuraklık	Diğer	Deprem	Diğer	Salgın	Diğer	
1960'lar	176	151	31	38	85	14	28	0	523
1970'ler	231	236	36	70	89	20	46	0	728
1980'ler	379	462	61	151	150	43	117	0	1363
1990'lar	603	789	71	290	217	60	369	2	2401
2000'ler	660	1499	121	371	249	59	535	1	3495
2010'lar	589	1298	106	362	231	43	220	1	2850
Toplam	2638	4435	426	1282	1021	239	1315	4	11360

Tablo 2'ye baktığımızda en çok artış sel afetinde görülmektedir. Bu durumun sebebi olarak iklim ve hava koşullarının yıllar geçtikçe değişip yağış dengelerinin bozulması gösterilebilir. Toplam afet sayısında baktığımızda iklim ve hava kaynaklı doğal afetler diğerleri ile kıyaslandığında çok daha fazla gerçekleşmiştir.

Tablo 3: Dünya Geneline Yıllara Göre Afetlerdeki Can Kaybı Sayıları (*World Disaster Report, 2020*)

Yıllar	İklim ve Hava				Jeolojik		Biyolojik		Toplam
	Fırtına	Sel	Kuraklık	Diğer	Deprem	Diğer	Salgın	Diğer	
1960'lar	133891	32394	1510650	6294	52080	5392	9457	0	1750158
1970'ler	357300	70746	119081	8977	439839	546	9894	0	1006383
1980'ler	45936	51512	557268	11934	59810	25250	43902	0	795612
1990'lar	210943	95401	3113	18687	103553	1637	93918	0	527252
2000'ler	171775	53813	1147	99795	453622	513	58574	0	839239
2010'lar	27592	46972	258035	86147	267663	1463	54864	0	742736
Toplam	947437	350838	2449294	231834	1376567	34801	270609	0	5661380

Tablo 3'e bakıldığında yakın zamanda en fazla can kaybına sebep olan afet deprem olarak görülmektedir. Deprem bugüne kadarki teknolojik gelişmelere rağmen hala öngörülemeyen ve en fazla can ve mal kaybına sebep olan afet olarak belirtilmektedir (Garrido & Aguirre, 2020). Her ne kadar önceden bilinemesse de teknolojik gelişmeler sayesinde bazı önlemler alarak can ve mal kaybını azaltmak mümkündür. Çok fazla depremle karşı karşıya kalan Japonya ve Şili gibi ülkeler inşaat sektöründe çok katı uygulamaları hayata geçirerek bina yıkılmalarını ve dolayısıyla can ve mal kayıplarını olabildiğince düşürmüşlerdir. Fakat bu ülkelerde gerçekleşen büyüklükte ve şiddette meydana gelen bir deprem başka ülkelerde gerçekleştiğinde inşaat sektöründe gerekli kontroller ve uygulamalar yapılmadığı için çok daha fazla can ve mal kaybına sebep olmaktadır. 1960 – 2018 yılları arasında Türkiye'de meydana gelen depremler, 58.202 can kaybına, 122.096 yaralanmaya neden olmuş ve yaklaşık 411.465 bina yıkılmış veya hasar görmüştür. Bu durumda ortalama olarak her yıl 1.003 can kaybı ve 7.094 bina hasarı meydana gelmektedir (AFAD, 2019).

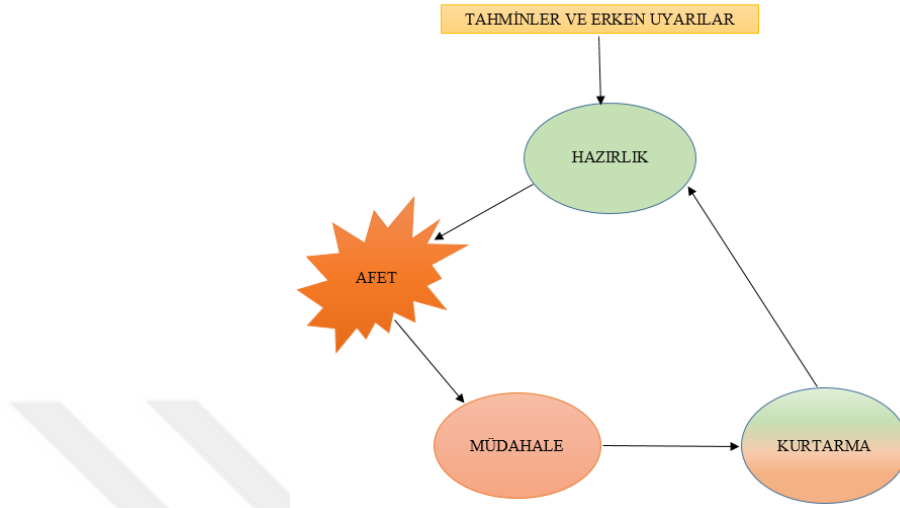
Salgın hastalıklar da biyolojik afet sınıfına girmektedir (AFAD, 2020). Covid-19, Wuhan şehrindeki bir deniz ürünleri pazarında Aralık 2019'da ortaya çıkmıştır. Hızla yayılan bu hastalık, Çin dışında bütün kıtalarına da sıçramıştır. (Şeker vd., 2020). DSÖ Başkanı Dr. Tedros Adhanom Ghebreyesus, salgın nedeniyle resmi rakamlara göre en az yedi milyon kişinin hayatını kaybettiğini belirtmiştir. Fakat gerçekte bu sayının yaklaşık üç katı olduğunu, yani yaklaşık 20 milyon insanın etkilendiğini ifade etmiştir. Ayrıca, virüsün hala ciddi bir tehdit oluşturduğunu ve dikkatli olunması gerektiğini vurgulamaktadır (BBC, 2023). Güncel sayılara göre Türkiye'de 102.174 kişi pandemiden dolayı vefat etmiştir (Worldometer, 2023).

6 Şubat 2023'te Kahramanmaraş ilinde 7,7 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Bu deprem, 1999'daki Marmara depreminden sonra Türkiye'de kaydedilen en büyük deprem olarak tarihe geçmiştir. Sadece Kahramanmaraş'ta değil, Suriye dahil olmak üzere fay hattı boyunca en az 10 ilde yıkıma yol açmıştır. Kilis, Diyarbakır, Adana, Osmaniye, Gaziantep, Şanlıurfa, Adıyaman, Malatya ve Hatay dahil olmak üzere birçok il büyük hasar almıştır. Depremden 9 saat sonra bölgede 7,6 büyüklüğünde ikinci bir deprem daha

yaşanmıştır. İkinci depremin, Kahramanmaraş kent merkezinin kuzeyinde kalan kesimi daha fazla etkilediği bilinmektedir. Bu depremde, ilk depremde önemli ölçüde sarsıntıya maruz kalan binaların büyük bir çoğunluğunun da yıkıldığı bilinmektedir. Depremler sonucu 45 bin 968 kişi hayatını kaybetmiştir. Depremler nedeniyle birçok bina hasar görmüştür ve birçok insan evsiz kalmıştır. Sismologlar, depremlerin son yıllarda meydana gelen en ölümcül depremlerden biri olduğunu söylemektedirler (Euronews, 2023a). Bu depremlerden bir süre sonra 20 Şubat 2023'te Hatay ilinde 6,4 büyüklüğünde deprem olmuştur ve toplamda 6 kişi hayatını kaybetmiştir (Euronews, 2023b).

Endüstriyel tedarik zincirleri genellikle maliyet, hız, kalite ve esneklik gibi göstergeler kullanılarak değerlendirilirken, acil durumlarda insani yardım tedarik zincirleri zaman içinde değişen bir hiyerarşik performans göstergesi setine sahiptir ve başlangıçta öncelikli hedef hızdır (Tomasini vd., 2009). İnsani yardım lojistiği, afetten etkilenen insanların acılarını hafifletmek amacıyla, gerekli malzemelerin ve bilgilerin çıkış noktasından tüketim noktasına kadar akışın verimli, uygun maliyetli ve yardım malzemelerinin depolanmasını planlama, dağıtma ve kontrol etme süreci olarak tanımlanmaktadır (Krajewski, 2022). Başka bir tanımda ise, insani yardım lojistiği, insanların afetten etkilenen bölgelerden güvenli yerlere tahliye edilmesi, malların ve malzemelerin verimli ve etkin kullanılması ve depolanmasının planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesi, aynı zamanda amaçlara yönelik olarak tedarik noktasından tüketim noktasına kadar bilgi toplanması sürecidir. (Boonmee vd., 2017) İnsani yardım lojistiğinin asıl amacı afet sonrasında gerekli yardım malzemelerini afetzedelere en kısa sürede ulaştırmak olmalıdır. Bunun için hem depo yerlerini belirlenmesi hem de depodan afetzedeye en kısa sürede hangi rota ve araçlar kullanılarak insani yardım malzemesinin taşınacağına karar verilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, afetle ilgili gerekli bilgi akışının yardım merkezlerine ulaşması da oldukça önemlidir. Afetzedelerin yaşı, cinsiyeti, herhangi bir hastalığının olup olmaması ve aciliyet durumunun öğrenilmesi standart acil yardım malzemelerine ek olarak gerekli ek yardım malzemelerini ulaştırmak için oldukça önemlidir. Şekil 2'de afet yardımı ile ilgili insani yardım lojistiği operasyonunu (hazırlık, müdahale ve kurtarma) ve bunlar arasındaki zamansal ilişkiyi gösterilmektedir.

Şekil 2: İnsani Yardım Lojistiği



Kaynak: (Krajewski, 2022)

Afet operasyonlarının döngüsü, afet öncesi, müdahale ve kurtarma operasyonları olmak üzere üçe ayrılmaktadır (Krajewski, 2022). Afet öncesi operasyonlar afetten kaçınmayı veya afetin etkisini azaltmak için önlemler almayı amaçlamaktadır. Müdahale aşaması, afet bölgesine ulaşmak, hayat kurtarmak ve daha fazla hasarı önlemek için kaynakların kullanıldığı aşamadır. Kurtarma faaliyetleri ise, normal bir durumu yeniden kurmayı amaçlayan afet sonrası operasyonlardır. Önlemler alınsa da afetler önlenemez ve öngörülebilir değildir. Bu nedenle afet yardım operasyonlarının önceden planlanması, afet ve afet sonrası aşamalarda uygulanması afetlerin yıkıcı etkilerinin azaltılması açısından önemlidir (Oruc & Kara, 2018). Meydana gelen afetlerden sonra en kısa sürede afetzedelerin ihtiyaçlarını karşılamak, afet sonrasında devam edebilecek can kayıplarını en aza indirmek açısından oldukça önemlidir. Örneğin, 2010 yılında meydana gelen Haiti depreminden yardım malzemelerinin afetzedelere ulaşması 2 gün sürmüştür (Oksuz & Satoglu, 2020). Haiti'deki depremten sonra Birleşmiş Milletler günde 20.000 kişiye yardım ulaştırabilecek 16 tane yardım noktası kurmayı planlamış fakat bunları kurması 20 gün sürmüştür (Loree & Aros-Vera, 2018). Bu ve benzeri trajik olaylar, son yıllarda

insani yardım lojistiğinin ve afet yönetiminin öneminin daha iyi anlaşılmasını sağlamış ve bu alandaki çalışmaları artırmıştır.

Afet sonrası insani yardım lojistiği, bir felaketin ardından insanların acısını ve kayıplarını azaltmak için hayati yardım malzemelerini hayatta kalanlara ulaştırmayı amaçlar. Su, yiyecek, ilaç gibi hayati malzemelerin ulaştırılmasını hükümet ve sivil toplum yardım kuruluşları da dahil olmak üzere yerel ve ulusal ajansların koordinasyonu ile sağlamak gerekmektedir. Bu karmaşık ve dinamik ortam, etkilenen toplumlara etkili ve zamanında yanıt verilmesinde zorluklar yaşatmaktadır (Loree & Aros-Vera, 2018).

İnsani yardım lojistiğinin normal iş lojistiğinden bazı farkları bulunmaktadır. Afetlerdeki belirsizlikler dolayısıyla çözümü daha karmaşık ve zor olabilmektedir. İlk olarak, taleple alakalı bilgiler örneğin hangi alanlarda hasar mevcut, bu hasar gören alanlardaki afetzedelerin profilleri, sayıları vb. bilgilere önceden ulaşılamayacağı için kesin bir çözüm yolu önceden belirlenmemektedir. İnsani yardım lojistiğinin iş lojistiğinden diğer bir farkı ise lojistik ağının çok kısıtlı bir zamanda acil olarak belirlenmesi gerekliliğidir. Ayrıca, yolların hasar görme durumları da göz önüne alınmak durumundadır. Güneydoğu Asya'da yaşanan tsunami zayıtı gibi çok büyük ölçekli afetler göz önüne alındığında, uluslararası yardım ve lojistik yardımlarının gerçekleştirilmesinde yaşanan yönetim problemleri bütün acil durum lojistik sistemini daha karmaşık hale getirmiştir (Sheu, 2007). İnsani yardım lojistiğinin asıl zorluğu afet sonrasındaki talep belirsizliği, kullanılabilen yolların bilinmemesi ve iletişim araçlarının etkisiz kalmasıdır. Bozuk yollar ve yolları kapatan molozlar, hem afetzedelere yardım dağıtımını hem de afetten etkilenen bölgelerde normal durumun yeniden sağlanması açısından başlıca engel sebepleridir (Oruc & Kara, 2018). Kurtarma araçlarının sayısı ve/veya kapasitesi gibi mevcut kaynaklardaki herhangi bir kısıtlama ve yol hasarları (yolların, köprülerin ve yüksek binaların yıkılması) gibi beklenmedik hasarlar, yardım malzemelerinin teslimatını engelleyebilir ve sonuç olarak etkilenen alanlarda etkili yardım operasyonlarını geciktirebilmektedir (Sabouhi vd., 2021).

Sel ve fırtına gibi bazı afetler gerçekleşmeden önce yeri, zamanı ve şiddeti hava durumuna göre bazen tahmin edilse de deprem ve yangın gibi afetler gerçekleşmeden önce hiçbir

şekilde yer ve zaman tahmini yapılamamaktadır. (Garrido & Aguirre, 2020). Bu durum talebin, rotaların ve seyahat sürelerinin belirsizliği gibi farklı durumlar için nihai kararları vermeyi zorlaştırmaktadır. Bahsedilen belirsizlik durumları insani yardım lojistiği sürecini daha da karmaşık hale getirmektedir (Zhong vd., 2020). Her ne kadar belirsizlikler olsa ve tahmin etmek zor olsa da doğru zamanda ve doğru yerde uygun araçların bulunması önemlidir (Garrido & Aguirre, 2020). Afet sonrasında yardım malzemesi dağıtım problemleri, bir veya birkaç depodan coğrafi olarak dağılmış bir dizi talep noktasına en uygun teslimat rotalarını oluşturmayı amaçlayan ARP literatüründe kendisine yer bulmaktadır. İnsani yardım lojistiğinde ARP, geleneksel Yöneylem Araştırması uygulamaları ile ilgilidir, ancak hasarlı ulaşım altyapısı, etkilenen nüfusa ilişkin kesin bilgi eksikliği ve karayolu seyahat süreleri hakkında sınırlı bilgi gibi benzersiz zorluklar ortaya çıkarmaktadır (Khorsi vd., 2022).

Deprem öncesinde herhangi bir tahmin yapılamaması sonucunda deprem gerçekleştiğinde sadece depremde yaşanan can kayıplarıyla kalmayıp depremden sonra enkazlar kaldırılana kadar su ve gıda yetersizliğinden kaynaklı can kayıpları da olmaktadır. Yeterli miktarda yardım malzemesinin bulunacağı varsayıldığında en önemli problem bu malzemelerin uygun araçlarla uygun rotalar üzerinden afetzedelere en kısa sürede ulaştırmaktır. Doğal afetlerin yol açtığı maddi zararların yanı sıra, can kayıplarını azaltmak amacıyla, hükümet, yardım kuruluşları, sivil toplum örgütleri, askeri kuruluşlar, bağış kuruluşları ve lojistik işletmelerin işbirliği içinde insani yardım lojistik faaliyetleri gerçekleştirmesi gereklidir. Bu nedenle, sistemin kurulması ve kurumsallaştırılması büyük önem taşımaktadır (Kuşçuoğlu & Çağlar, 2013). İnsani yardım lojistik faaliyetlerinin etkin bir şekilde yönetilmesi için Türkiye'de Kızılay gibi kamu kuruluşlarının yanı sıra, AKUT gibi özel girişimler de faaliyet göstermektedir. Bu çerçevede, Kızılay 2002 yılında Bölge Afet Müdahale Merkezleri kurarak etkinliği artırmayı amaçlamıştır (Keskin, 2011).

2. BÖLÜM: ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ VE İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİNDE ÇOK AŞAMALI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ LİTERATÜRÜ

Bu bölümde araç rotalama problemi ve çok aşamalı araç rotalama probleminin tanımı ve örnekleri hakkında bilgi verilmektedir. Daha sonra insani yardım lojistiğindeki araç rotalama problemlerine ve çok aşamalı araç rotalama problemi literatürüne yer verilmektedir.

2.1. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

Araç rotalama problemi “*vehicle routing problem*”, günümüz dünyasındaki geniş uygulama alanı nedeniyle çok yaygınlaşmıştır. ARP bir veya birkaç depodan, coğrafi olarak dağınık bir dizi şehir veya müşteriye, bazı kısıtlamalara tabi olarak optimal teslimat veya toplama rotaları tasarlama problemi olarak tanımlanabilir (Laporte, 1992). Bu problemin temeli ilk olarak Dantzig ve Ramser (1959) tarafından bir terminal ile terminal tarafından tedarik edilen yakıt istasyonları arasındaki yakıt dağıtım kamyon filosunun optimum rotasını bulmak için yapılan doğrusal programlama çalışması sayesinde atılmıştır. Daha sonra bu yapılan çalışma Clarke ve Wright (1964) tarafından doğrusal optimizasyona uygun şekilde modellenmiş ve bu alanda popülerlik kazanmıştır (Laporte, 2009). Araç rotalama problemleri teslim zamanındaki sapmalar, bazı belirsizlikler, kapasite kısıtları gibi nedenlerden dolayı gerçek hayata uygun olması için birçok değişikliğe uğramıştır. Bu sebepten dolayı kapasiteli ARP, periyodik ARP, zaman pencereli ARP, dinamik ARP, toplama ve teslimatlı ARP, çoklu depolu ARP, bölünmüş teslimatlı ARP, yeşil ARP gibi birçok araç rotalama problemi çeşidi ortaya çıkmıştır (Drexler, 2012). Ayrıca farklı ARP’lerin sınıflandırılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır (Eksioglu vd., 2009; Laporte, 2009).

2.2. İKİ AŞAMALI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

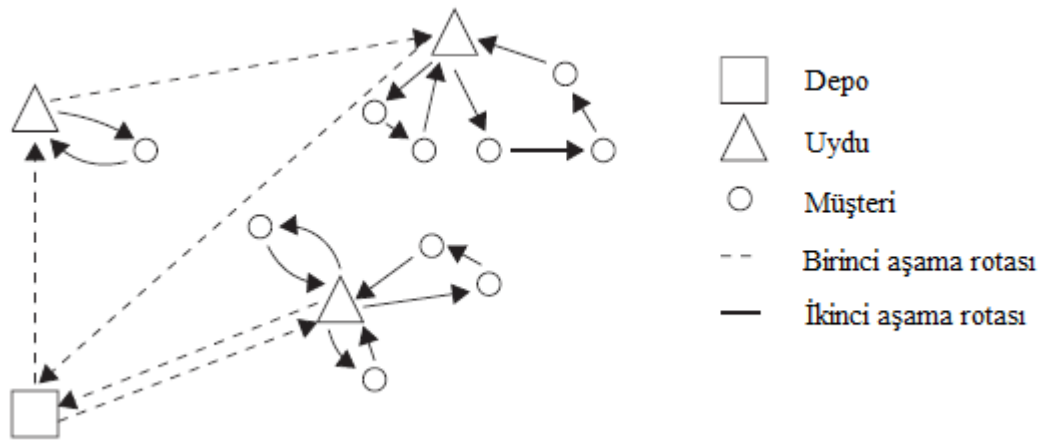
İki aşamalı araç rotalama problemi klasik araç rotalama probleminin zengin bir varyantı olarak tanımlanabilir. Günümüzün tedarik zincirlerinin karmaşık lojistik ve dağıtım altyapısı gereksinimleri nedeniyle, birçok dağıtım sistemi çok kademeli sistemler olarak tasarlanmaktadır. Çok kademeli dağıtım sistemlerinde, malların çıkış noktasından nihai varış noktasına teslimi, malların depolandığı, değiştirildiği, paketlenildiği veya birleştirildiği depolar, çapraz sevkiyatlar vb. gibi ara tesisler aracılığıyla sağlanır. Dağıtım ağının her bir seviyesi bir kademeyi ifade eder (Cuda vd., 2015). İki kademeli sistemlerin, gerçek hayattaki örneklerle uygulanabilirlikleri ve umut verici sonuçları nedeniyle son zamanlarda literatürde bu alanda çok sayıda çalışma görülmektedir. İki kademeli dağıtım ağları, üç ayrıık düğüm kümesi, depolar (tesisler veya menşeler), bölgesel depolar gibi ara tesisler olan uydular ve son olarak müşterilerden oluşmaktadır (Cuda vd., 2015).

Kentsel lojistik (şehir lojistiği), lojistik süreçleri ve kentsel alanlardaki mal ve hizmet akışlarının hareketlerini incelemek için tüm organizasyonel, davranışsal, düzenleme ve finansman unsurlarının yanı sıra işbirlikçi yaklaşımların bütünü olarak ifade edilmektedir (Ambrosini & Routhier, 2004; Anderson vd., 2005). Kentsel alanlarda yük trafiğindeki önemli artış ve trafik sıkışıklığının artması, ağır yüklü, büyük boyutlu araçların kullanımına yasal kısıtlamalar getirilmesini zorunlu kılmaktadır (Soysal vd., 2015). Şehirlerde araç rotası optimizasyonunu motive eden iki ana hedef vardır. Bunlardan ilki ve en yaygın olanı, kentsel alanlarda yük taşımacılığı hizmetlerinin hareketliliğini minimum maliyetle artırmak ve sıkışıklığı azaltmaktır. İkincisi, esas olarak sera gazı emisyonları açısından Kyoto hedeflerine ulaşılmasına katkıda bulunarak, kirliliği ve gürültüyü azaltarak veya şehir sakinlerinin yaşam koşullarını iyileştirerek çevreye ve sürdürülebilir kalkınmaya olumlu katkıda bulunmaktır (Cattaruzza vd., 2017; Dünder vd., 2021; Kazanç vd., 2021; Soysal & Bloemhof-Ruwaard, 2017). Yük trafiği hacmindeki büyümenin yanı sıra çevresel etki ve trafik sıkışıklığı gibi faktörlerin dikkate alınması ihtiyacı, son yıllarda araştırmaların çok kademeli dağıtım sistemlerine ve özellikle iki kademeli sistemlere odaklanmasına yol açmıştır (Perboli vd., 2018).

İki kademeli bir dağıtım ağında araçların rotalama problemi, iki aşamalı araç rotalama problemi (2A-ARP) olarak tanımlanmaktadır. 2A-ARP'nin ilk resmi tanımı Crainic vd. (2009) tarafından yapılmaktadır. Bu çalışmada yazarlar, birden fazla ürün ve depo, zamana bağımlılık ve araç senkronizasyonu içeren bir 2A-ARP probleminin zengin bir varyantını incelemektedir (Sluijk vd., 2022). İki aşamalı araç rotalama probleminde rotalama her iki kademedede önceden belirlenmiş depo ve uydular vasıtası ile yapılabilmektedir (Cuda vd., 2015). Birinci aşamada, ürünler büyük araçlar kullanılarak ana depolardan ara uydulara taşınır. İkinci aşamada ise ürünler bu uydu noktalarından, küçük kapasiteli veya çevre dostu araçlar kullanılarak müşterilere teslim edilmektedir (Crainic vd., 2012; Grangier vd., 2016; Liu vd., 2017). Ek olarak, dağıtım ağında bulunan tüm uydu noktalarının kullanımı zorunlu değildir (Jie vd., 2019).

Şekil 3'te iki aşamalı araç rotalama sistemi gösterilmektedir. Şekilde depo kare ile, uydular üçgen ile ve müşteriler çember ile gösterilmektedir. Ayrıca iki farklı rota türü bulunmaktadır. Kesikli olan çizgiler ilk aşama olan depodan uydulara gidiş ve uydulardan merkezi depoya dönüş rotalarını gösterirken düz çizgiler uydulardan müşterilere gidiş müşterilerden uydu noktalarına dönüş rotalarını göstermektedir. İlk aşamada kullanılan araçlar depodan uydulara gittikten sonra tekrar depoya geri dönerken ikinci aşamada ise uydulardan müşterilere giden araçlar tekrardan uydulara dönmektedir.

Şekil 3: İki Aşamalı Araç Rotalama Problemi Örnek Çözümü



Kaynak: Sluijk vd. (2022)

Gerçek hayatta uygulanan iki aşamalı araç rotalama örnekleri incelendiğinde iki aşamalı bir dağıtım sisteminde rotalamanın ilk uygulaması Jacobsen ve Madsen (1980) tarafından yapılan çalışmaya kadar gitmektedir (Sluijk vd., 2022). Jacobsen ve Madsen (1980), Batı Danimarka'da gazete dağıtma problemi üzerinde çalışmışlardır. İncelenen problemde birinci ve ikinci aşama rotalamalarına ek olarak, transfer noktalarının (uyduların) sayısına ve yerlerine ilişkin kararların alınması da gerekmektedir. Crainic vd. (2004), şehir merkezinde daha yüksek ortalama yük ve daha az boş koltukla yolculuk elde etmek için şehirlerin yakınında uyduların kullanılmasını önermektedir. Kentsel yük taşımacılığı için önerilen uydu organizasyonunun bir ön değerlendirmesi, Roma şehrinde alınan verilere dayanılarak yapılmıştır. Uyduların gerçekten de makul bir maliyetle daha iyi bir şehir ortamına katkıda bulunabileceğini gösterilmiştir.

Anderluh vd. (2017), ikinci kademede bisikletlerin olduğu bir dağıtım sistemi tasarlamıştır ve Viyana'ya dayalı gerçek dünyadan bir örnek önermiştir. Örnek problem, müşterileri temsil etmek için rastgele seçilen 100 eczane ve depo olarak bir eczane toptancısının yeri kullanılmıştır. Uydular, şehir merkezi sınırındaki potansiyel noktalara (park yerleri) ve bisiklet deposu şehir merkezinde yerleştirilmiştir. Bir başka çalışmada ise Tours'daki bir hastane kompleksi için bir lojistik problemi Kergosien vd. (2013) tarafından çalışılmıştır. Hastane birimleri şehrin farklı yerlerinde bulunmaktadır. Birinci aşama; ilaçları, temiz çarşafı, yemekleri, çeşitli malzemeleri, hasta dosyalarını teslim etmek ve atık ve kirli çamaşırları toplamak için farklı hastane birimleri arasında araçların rotalamasını sağlamaktadır. İkinci aşamada, bir birim içindeki farklı binalara teslim alma ve teslimat yolları inşa edilmektedir.

Mühlbauer ve Fontaine (2021), uydulardaki operasyonları kolaylaştırmak için bir paket dağıtım ağında takas konteynerlerinin kullanımını incelemektedir. Depoda, her ikinci aşama rotası için özel bir takas konteyneri yüklenmektedir. Uydularda, paketlerle birlikte takas konteynerleri doğrudan birinci aşama kamyonetlerinden ikinci aşama kargo bisikletlerine aktarılmaktadır. Ek olarak, asimetrik seyahat süreleri (i'den j'ye varış ile j'den i'ye varış sürelerinin eşit olmaması), tek yönlü caddeler, sola ve sağa dönüşler için farklı bekleme süreleri ve asimetrik tıkanıklık gibi gerçek hayattaki trafik durumları göz

önüne alınmaktadır. Gerçek hayattaki problem örnekleri, Münih'teki iki farklı bölgeyi kapsamaktadır. Örnekte şehirdeki müşterilerin kümelenmesini yansıtmak için bir telefon defterinden insanların adresleri rastgele seçilerek müşteri konumları belirlenmiştir.

Bazı çalışmalarda ise süpermarketler, toptancılar ve perakendecilerin tedarik zincirleri 2A-ARP olarak modellenmiştir. Örneğin, Belgin vd. (2018) ve Soysal vd. (2015), sırasıyla Türkiye ve Hollanda'daki süpermarket zincirleri üzerine vaka çalışmaları sunmuştur. Soysal vd. (2015), araç tipi, seyahat edilen mesafe, araç hızı, yük, çoklu zaman dilimleri ve emisyonları hesaba katan bir zaman bağımlı İki Aşamalı Kapasiteli Araç Rotalama Problemi (2A-KARP) için KTDP formülasyonu sunmaktadır. Hollanda'da faaliyet gösteren bir süpermarket zincirinde yapılan bir vaka çalışması, modelin gerçek bir yaşam problemine uygulanabilirliğini göstermektedir. Her biri amaç fonksiyonu açısından farklılık gösteren birkaç model versiyonu, mesafe, zaman, yakıt tüketimi ve maliyetle ilgili belirli performans göstergeleri üretmek için test edilmektedir. Çalışma, iki aşamalı dağıtım sistemlerinde çevre dostu araç rotalama hakkında bilgi sunmaktadır. Sonuçlar, çevre dostu bir çözümün iki aşamalı bir dağıtım sisteminin kullanımıyla elde edildiğini, tek seviyeli bir dağıtım sisteminin ise en düşük maliyetli çözümü sağladığını göstermektedir.

Kısa (2021), Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KKARP) ve Kapasite Kısıtlı İki-Aşamalı Araç Rotalama Problemi (KK2A-ARP) problemlerinin Türkiye'deki bir süpermarket zincirinin dağıtım ağı örneği üzerinden anahtar performans göstergelerine göre karşılaştırılması yapmaktadır. Çalışmada, iki aşamalı dağıtım sistemleri ile tek aşamalı dağıtım sistemleri, araç kiralama ve yatırım maliyetleri de dahil olmak üzere karşılaştırılmaktadır. Ayrıca, dağıtım faaliyetleri için Veri Zarflama Analizi ve 2A-ARP birleştirilmesi ile hibrit bir yöntem önerilmiş ve uygulanabilirliği gösterilmiştir. Bu çalışmanın amacı, dağıtım faaliyetlerinde yer seçimi ve rotalama kararlarının daha etkin bir şekilde verilmesine yardımcı olacak bir metot önermektir.

2.3. İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİNDE ÇOK AŞAMALI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ VE LİTERATÜRÜ

Ticari tedarik zincirleri kalite ve kârlılığa odaklanırken, insani tedarik zincirleri genellikle can kaybını ve acıyı en aza indirmeye odaklanmaktadır (Campbell vd., 2008). İnsani yardım lojistiği; gerekli yardımların verimli ve etkin bir şekilde afetzedelere iletilmesini sağlayarak afet sonrası dağıtım operasyonlarının ele alınmasını kapsamaktadır (Daud vd., 2016). İnsani yardım lojistiğinde ana faaliyetler yardım dağıtım noktalarının seçilmesi, hangi afetzedelerin hangi noktalardan malzeme alacağını tahsis edilmesi ve araç rotalarının belirlenmesidir. Yardım malzemelerinin bir dağıtım merkezinden birkaç kampa dağıtımını ele alan en eski çalışmalardan biri Knott (1987) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, nakliye maliyetlerini en aza indirirken teslimatları en üst düzeye çıkarmak için araç başına en uygun yolculuk sayısını bulmayı amaçlayan bir doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Ancak yazar, modele başka değişkenlerin dahil edilmesinin problemi çözme için daha zor hale getirebileceğini kaydetmiştir (Huang vd., 2012).

Dar yollar ve zorlu arazi nedeniyle, afet sonrası değerlendirmesi için kamyonlardan ziyade motosikletlerin konuşlandırılması uygun görünmektedir. Motosiklet, bir kamyonla daha az taşıma kapasitesine sahiptir, ancak motosiklet, kamyonla ulaşılabilen alanlara erişmek için daha fazla esnekliğe sahiptir (Redi vd., 2021). Bu sebepten dolayı her ne kadar kapasiteler azalsa da afet sonrasında hasarlı yollarda ilerlemek için küçük araçlar seçilmelidir.

Ulusal kaynaklara bakıldığında insani yardım lojistiğinde iki aşamalı araç rotalama problemine rastlanmamıştır. Bu çalışmaya benzer olarak Temiz (2020) tarafından yapılan çalışmada insani yardım lojistiğinde tesis yer seçimi ve rota planlama problemleri için iki amaçlı karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli önerilmektedir. Modelin amacı, maliyeti ve seyahat süresini minimize etmektir. Önerilen model, heterojen araç filosu ve afet sonrası yol kapanma durumunu dikkate almaktadır. Ayrıca, taleplerin belirsizliği göz önünde bulundurulmaktadır. Analizler, toplam maliyet ve seyahat süresi arasındaki ödünleşmeyi ortaya koymaktadır. Ayrıca, heterojen araç filosu kullanımının ve belirsiz taleplerin avantajları değerlendirilmektedir.

Kilci (2012) tarafından yapılan çalışmada ise afet sonrası çadırkent lokasyonlarının belirlenmesi için bir yöntem geliştirilmiştir. Türk Kızılayı, çadırkent lokasyonlarının seçiminden sorumludur. Yöntem, çadırkent aday lokasyonlarının belirlenmesiyle başlar. Bu lokasyonlar, on bir kriter kullanılarak sıralanır ve en iyi lokasyonlar kullanıma açılır. Türk Kızılayı, bu yöntemi iyileştirmek için matematiksel bir model ve bir karar destek sistemi geliştirmiştir. Bu model, çadırkent alanlarının kombinasyonunu seçer, kullanımını kontrol eder ve mahallelere en yakın çadırkenti atar. Bu sistem, problem çözme, başlangıç çözümü elde etme ve harita üzerinde görüntüleme gibi işlevlere sahiptir. İstanbul'un Anadolu Yakası'ndan elde edilen örnek verilerle model test edilmiştir.

Küçük ve Çavdur (2019) tarafından yapılan çalışmada afet sonrası yardım malzemesi dağıtımı için bir çözüm yaklaşımı önerilmektedir. Bu yaklaşım, Zaman Pencereci Bölünmüş-Dağıtımlı Araç Rotalama Problemi'ni temel alarak modellenmiştir. Çözüm yaklaşımı, stokastik programlama modelinin sonuçlarını kullanarak, yardım malzemelerinin önceden belirlenmiş geçici-afet-müdahale tesislerinden afetzedelere en düşük maliyetle dağıtımını amaçlamaktadır. Başlangıçta büyük boyuttaki dağıtım problemi, önerilen çözüm yaklaşımıyla daha küçük alt problemlere bölünmüştür. Bu alt problemler, Zaman Pencereci Bölünmüş-Dağıtımlı Araç Rotalama Problemi olarak çözülmüştür. Çalışma, Bursa'nın büyük bir ilçesi için geliştirilen bir örnek olay üzerinde gerçekleştirilmiş ve alt problemlerin kişisel bir bilgisayarda saniyeler içinde çözülebildiği görülmüştür.

Aliakbari vd. (2022), tedarik noktaları, dağıtım merkezleri veya yerel mağazalar, hastaneler, tıp merkezleri ve talep noktalarını içeren dört kademeli bir ağ üzerinde çalışmaktadır. Modelde hem hazırlık hem de müdahale aşamaları dikkate alınmaktadır. Amaç fonksiyonu, afet öncesi operasyonel maliyetler (sabit hazırlık, tutma ve tedarik maliyeti) ve afet sonrasında kritik mal ve hizmetleri alamamanın maliyeti dahil olmak üzere sosyal maliyetleri en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Önerilen model, kritik mal ve hizmetleri talep noktaları arasında adil bir şekilde dağıtmaktadır. Modelde, araçlar planlama ufku birkaç kez düğümlere girip çıkabilmektedir. Afet yönetiminde zamanın önemine göre, afetin giderilmesi için mevcut olan maksimum süre de dikkate alınmıştır.

Model hem mal teslimini hem de yaralıların hastanelere nakledilmesini dikkate almaktadır.

Heydar vd. (2016), toplu taşıma tabanlı tahliye ve çok depolu bölünmüş kamyonet rotalama probleminin özelliklerini bütünleştirmiştir ve toplu taşımayı kullanarak tahliye için bir plan oluşturmak için bir çözüm algoritması ile birlikte bir matematiksel model sunmaktadır. Matematiksel model, yaya ve araç olmak üzere iki ağı birleştirmektedir. İlki, tahliye edilenleri otoparklardan en kısa mesafeyi ve toplama noktası kapasitesini göz önünde bulundurarak toplama noktalarına atamaktadır ve ikincisi, toplu taşıma araçlarının insanları toplama noktalarından belirlenen barınağa taşımaları için rotalar belirlemektedir. Amaç, tüm tahliye edilenleri otoparklardan daha güvenli alana tahliye etmek için gereken toplam süreyi en aza indirmektir. Modelin girdileri, otoparkların talebi ve konumu, alım noktalarının kapasiteleri ve konumları, depoların sayısı ve konumları, filo büyüklüğü ve daha güvenli alanın konumudur. Çıkışlar, her bir toplama noktasındaki tahliye edilenlerin sayısı, otobüslerin güzergahları ve her bir otobüse atanan tahliye edilenlerin sayısıdır.

do C. Martins vd. (2021), başlangıçta bir depoda bulunan homojen araçlardan oluşan bir filonun iki kademeli bir ağda müşterilerin taleplerini karşılamak zorunda olduğu bir araç rotalama problemini ele almaktadır. Uygulama bağlamında, depo ilaç üretiminde kullanılan ham maddeleri içermektedir. Bu ham maddeler, acil durumlarda halka yardım eden sağlık personeli tarafından kullanılan ilaçların üretilmesi için gereklidir. İlaçlar, insansız hava araçları aracılığıyla elde edilen nihai noktalara teslim edilir. Bu nihai noktaları, afet bölgesindeki ilk yardım istasyonlarını içermektedir. İlk yardım istasyonları, afet bölgesindeki sensörler tarafından izlenmekte ve ihtiyaç duyulan ilaçların tedarik edilmesi için hızlı bir şekilde tepki verilmesi gerekmektedir. Etkilenen alan, sensörler tarafından izlenmekte ve ihtiyaçlar önceden belirlenmektedir. İnsansız hava araçları, depoda hazır olarak bulunmakta ve ham maddelerin depodan aracı merkezlere ve nihai noktalara teslim edilmesi için kullanılmaktadır. Böylece, toplam taşıma süresi en aza indirilmekte ve ilaçların yenilenmesi garanti altına alınmaktadır.

Çoğu çalışma, insani lojistik bağlamında yardım dağıtım problemini bir Araç Rotalama Problemi veya Gezgin Satıcı Problemi olarak incelemektedir (Ilabaca vd., 2022). İnsani

yardım lojistiğinin karmaşıklığı nedeniyle birçok çalışma sadece bir problemi ele alan modellere odaklanmışlardır (Al Theeb & Murray, 2017). Bazı çalışmalar yaralıların tahliyesini ele alırken bazı çalışmalar yaralı kurtarmayı amaçlamıştır. Bazı çalışmalar ise yaralılara gerekli yardım malzemelerini en kısa sürede ulaştırmayı veya gerekli talebi karşılamayı maksimize etmeyi amaçlamıştır.

Yaklaşık otuz beş yıllık çalışma sürecinde birçok kesin çözüm, sezgisel, meta sezgisel ve hibrit çözüm yolları gelişmesine rağmen deterministik çalışmalar hala bu alanda hâkim durumdadır. Fakat, gerçek hayat problemleri için belirsizlik içeren ve dinamik unsurların ele alınması gerekmektedir (de Vries & Van Wassenhove, 2017). Buna rağmen, az sayıda çalışma stokastik ve dinamik unsurların yanı sıra çok amaçlı, çok yolculuklu, bölünmüş teslimatlı ve zaman pencereli gibi içeriklere sahip zengin araç rotalama problemlerini ele almıştır. Ancak insani yardım problemlerini en iyi tanımlayan zengin ARP'ler için kesin çözüm yaklaşımlarını uygulamak zordur. Bunun sebebi de temel ARP'lerin NP-Zor problem kapsamına girmesidir (Anuar vd., 2021). Buna ek olarak, bu tez çalışmasının asıl konusu olan insani yardım lojistiğinde 2A-ARP'ler insani yardım lojistiğinde ARP veya Yer Seçimi ve Rotalama problemlerine göre daha az çalışılmıştır. Bu sebepten dolayı insani yardım lojistiğinde çok aşamalı araç rotalama problemleri açısından literatürde yeterli çalışma alanı bulunmaktadır.

İnsani yardım lojistiğinde şimdiye kadar yapılmış olan çok aşamalı araç rotalama problemlerini içeren çalışmalara belirli anahtar kelimeler kullanılarak ulaşılmıştır. Bu tez çalışmasında incelenen çalışmalar “Web of Science” veri tabanından alınmıştır. Öncelikli olarak aynı anda üç farklı “*topic*” (konu) esaslı arama yapılmıştır. İlk satırda “*humanitarian*” (insani) “*rescue*” (kurtarma) “*evacuation*” (tahliye) “*relief*” (yardım) “*disaster*” (afet) “*emergency*” (acil durum) kelimeleri kullanılmıştır. İkinci satırda “*vehicle routing*” (araç rotalama) ve “*vehicle routing problem*” (araç rotalama problemi) yazılarak arama yapılmıştır. Üçüncü satırda “*two echelon*” (iki kademeli), “*two stage*” (iki aşamalı), “*three echelon*” (üç kademeli), “*three stage*” (üç aşamalı), “*multi echelon*” (çok kademeli) ve “*multi stage*” (çok aşamalı) yazılarak üç farklı satır için bütün kombinasyonlarda aramalar yapılmıştır. Ortak makaleler çıkarıldıktan ve dil olarak

“*English*” (İngilizce) seçildikten sonra ve sadece “*article*” türü incelenmek üzere filtrelendiğinde 39 çalışmaya ulaşım sağlanmıştır. Söz konusu çalışmalardan konu ile ilgili olanlar çalışmaya dahil edilmiş ve konu kapsamındaki makalelerin kaynaklarından da faydalanılarak toplamda 16 adet nicel çalışma detaylı bir şekilde incelenmiştir. Tablo 4’te çalışmalara ait yazarlar, problem türü, faaliyet alanı, amaç fonksiyonu, hangi karar destek modellerinin kullanıldığı, afet türü ve veri setinin ne yolla oluşturulduğuna yer verilmektedir. Çalışmalarda ele alınan varsayımlara yönelik bilgiler Tablo 5’te, söz konusu varsayımlara yönelik açıklamalar ise Tablo 6’da sunulmaktadır.



Tablo 4: İnsani Yardım Lojistiğinde Çok Aşamalı Araç Rotalama Problemini Ele Alan Çalışmalar

NO	YAZARLAR	PROBLEM	FAALİYET	AMAÇ FONKSİYONU	KARAR DESTEK MODELLERİ	AFET TÜRÜ	VERİ SETİ
1	Zhang vd. (2015)	İki Aşamalı Araç Rotalama Problemi	Yardım Malzemesi Tedarik ve Teslimatı	-Afetzedeler için yardım kaynağı elde etmenin en aza indirilmesi için maksimum süreyi belirtmektedir	Matematiksel model / Min-Max metodu	Doğal Afet	Üretilmiş veri ¹
2	Sabouhi vd. (2016)	İki Aşamalı Araç Rotalama Problemi	Yardım Malzemesi Tedarik ve Teslimatı	-(1) araçların dağıtım merkezlerine ve sığınaklara toplam varış süresini minimize etmek. (2) kullanılan araç sayısını en aza indirmek.	Matematiksel model / Bulanık programlama metodu	Doğal Afet	Gerçek veri ² ve üretilmiş veri
3	Heydar vd. (2016)	İki Aşamalı Teslim Alma ve Teslim Etme Araç Rotalama Problemi	Afetzede Tahliyesi	-Tüm tahliye edilenleri otoparklardan daha güvenli alana tahliye etmek için gereken toplam süreyi en aza indirmek	KTDP ³ / Benzetilmiş tavlama algoritması	-	Üretilmiş veri
4	Tavana vd. (2018)	Çok Aşamalı Çok Depolu Araç Rotalama Problemi	Yardım Malzemesi Tedarik ve Teslimatı	-Afet öncesi ve sonrası maliyeti ve afet sonrası dağıtım süresini en aza indirmek	KTDP / Epsilon Kısıtlaması, baskın olmayan sıralama genetik algoritması,	Deprem	Üretilmiş veri
5	Kurt vd. (2018)	İki Aşamalı Çok Periyotlu Araç Rotalama Problemi	Yardım Malzemesi Tedarik ve Teslimatı	-Talep memnuniyetini en üst düzeye çıkarmak ve araçların kat ettiği toplam süreyi en aza indirmek	KTDP / Ayırıştırma tabanlı	-	Gerçek veri ve üretilmiş veri

¹ Üretilmiş veri: İnsanların bilinçli olarak oluşturduğu (hipotetik) verilerdir.

² Gerçek veri: Gerçek dünyada meydana gelen olaylar, durumlar veya ölçümlerden elde edilen verilerdir.

³ KTDP: Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama

Tablo 4'ün devamı

NO	YAZARLAR	PROBLEM	FAALİYET	AMAÇ FONKSİYONU	KARAR DESTEK MODELLERİ	AFET TÜRÜ	VERİ SETİ
6	Zhang vd. (2020)	İki Aşamalı Araç Rotalama Problemi	Yaralı Kurtarma	-Kurtarma ekiplerinin afetzedelere ulaşana kadar beklenen azami yardım süresini en aza indirmek	Matematiksel model / Genetik algoritma	Deprem	Üretilmiş veri
7	Saatchi vd. (2021)	İki Aşamalı Araç Rotalama Problemi	Yaralı Kurtarma	-Sistem güvenilirliğinin maksimize edilmesi ve yardım lojistik sisteminin toplam maliyetinin minimizasyonu.	KTP ⁴ / Simüle Tavlama ve Değişken Komşuluk Arama algoritmaları ile Domine Edilmemiş Sıralama Genetik Algoritması	Deprem	Üretilmiş veri
8	Sakiani vd. (2021)	İki Aşamalı Teslim Alma ve Teslim Etme Araç Rotalama Problemi	Yardım Malzemesi Tedarik ve Teslimatı	-Toplam maliyeti en aza indirmek ve etkilenen bölgeler arasında maksimum mal kıtlığını en aza indirmek	KTDP / Yuvarlanan ufuk yaklaşımı	Deprem	Gerçek veri ve üretilmiş veri
9	Nayeem ve Lee (2021)	İki Aşamalı Araç Rotalama Problemi	Yardım Malzemesi Tedarik ve Teslimatı	-Nakliye maliyeti, ek RDC maliyeti ve emtia kıtlığı toplamını en aza indirmek	SP ⁵ / Sağlam optimizasyon	Deprem ve diğer doğal afetler	Üretilmiş veri
10	do C. Martins vd. (2021)	İki Aşamalı Teslim Etme ve Teslim Alma Araç Rotalama Problemi	Yardım Malzemesi Tedarik ve Teslimatı	-Teslimat yollarının toplam süresini en aza indirmek	Tarafli randomize algoritması	-	Literatürden alınmış ⁶
11	Khare vd. (2021)	İki Aşamalı Ayrık Teslimatlı Kapasiteli Araç Rotalama Problemi	Yardım Malzemesi Tedarik ve Teslimatı	-Karşılanmayan talebi en aza indirmek	KTP / Ayrışmaya dayalı	Deprem	Gerçek veri ve üretilmiş veri

⁴ KTP: Karma Tamsayılı Programlama⁵ SP: Stokastik Programlama⁶ Literatürden alınmış veri: Daha önce yapılmış araştırmalar, raporlar, kitaplar veya diğer kaynaklardan alınan verilerdir.

Tablo 4'ün devamı

NO	YAZARLAR	PROBLEM	FAALİYET	AMAÇ FONKSİYONU	KARAR DESTEK MODELLERİ	AFET TÜRÜ	VERİ SETİ
12	Redi vd. (2021)	İki Aşamalı Araç Rotalama Problemi & İki Aşamalı İşbirlikçi Araç Rotalama Problemi	Yardım Malzemesi Tedarik ve Teslimatı	-İHA'yı taşımak için kara aracının seyahat süresi, İHA'nın uçuş süresi ve İHA'nın haritalama süresinden oluşan toplam operasyon süresini en aza indirmek	Matematiksel model / Tabu arama algoritması	Volkanik patlama	Gerçek veri ve üretilmiş veri
13	Aliakbari vd. (2022)	Çok Aşamalı Çok Periyotlu Çok Ürünli Araç Rotalama Problemi	Yaralı Kurtarma	-Afet öncesi ve sonrası operasyonel maliyetlerin ve afet sonrası yoksunluk maliyetlerinin iki bölümü dahil olmak üzere sosyal maliyetleri en aza indirmek	Matematiksel model / Senaryo tabanlı sağlam optimizasyon algoritması	-	Gerçek veri ve üretilmiş veri
14	Khorsi vd. (2022)	İki Aşamalı Çok Depolu Çok Yolculuk Kümülatif Kapasiteli Araç Rotalama Problemi	Yardım Malzemesi Tedarik ve Teslimatı	-Planlama sırasında talep düğümlerine araçların varış sürelerinin toplamını en aza indirmek	KTDP / Gruplandırma Bul - Düzelt - Bitir - Sömür - Analiz Et Algoritması ve En yakın komşuluk algoritması	-	Üretilmiş veri
15	Ghasemi vd. (2022)	Dört Aşamalı Çok Amaçlı Çok Ürünli ve Çok Periyotlu Araç Rotalama Problemi	Yardım Malzemesi Tedarik ve Teslimatı	-Tüm koalisyonlarda yardım süresini en aza indirmek	Şans kısıtlı programlama / Epsilon-Kısıtlama Algoritması ve Çok amaçlı stokastik fraktal arama algoritması	Deprem	Üretilmiş veri

Tablo 4'ün devamı

NO	YAZARLAR	PROBLEM	FAALİYET	AMAÇ FONKSİYONU	KARAR DESTEK MODELLERİ	AFET TÜRÜ	VERİ SETİ
16	Wang vd. (2023)	İki Aşamalı Zaman Pencereli Acil Durum Araç Rotalama Problemi	Yardım Malzemesi Tedarik ve Teslimatı	-İşletme maliyetini, teslimat süresini ve araç sayısını en aza indirmek	KTP / Bölünmüş algoritma ile çok amaçlı uyarlanabilir geniş komşuluk araması	Bulaşıcı hastalık	Gerçek veri ve üretilmiş veri
17	Bu çalışma (2023)	İki Aşamalı Araç Rotalama Problemi	Yardım Malzemesi Tedarik ve Teslimatı	-Toplam seyahat süresini en aza indirmek	KTDP / Ayrışmaya dayalı	Deprem	Gerçek veri ve üretilmiş veri

Tablo 5: İnsani Yardım Lojistiğinde Çok Aşamalı Araç Rotalama Problemi Çalışmalarında Dikkate Alınan Varsayımlar

Çalışmalar	Varsayım Numaraları																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Zhang vd. (2015)				✓		✓		✓					✓												✓
Sabouhi vd. (2016)			✓		✓	✓	✓		✓																✓
Heydar vd. (2016)			✓			✓	✓						✓				✓					✓			
Tavana vd. (2018)	✓				✓	✓				✓	✓							✓	✓	✓					✓
Kurt vd. (2018)	✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓															
Zhang vd. (2020)						✓		✓																	✓
Saatchi vd. (2021)						✓					✓														
Sakiani vd. (2021)	✓				✓	✓				✓	✓	✓										✓			✓
Nayeem & Lee (2021)	✓	✓	✓			✓		✓				✓		✓											✓
Martins vd. (2021)	✓								✓						✓							✓			
Khare vd. (2021)	✓				✓	✓	✓			✓		✓					✓								
Redi vd. (2021)			✓		✓										✓						✓				
Aliakbari vd. (2022)	✓	✓	✓		✓	✓				✓	✓	✓				✓						✓			✓
Khorsi vd. (2022)	✓					✓				✓			✓												✓
Ghasemi vd. (2022)	✓	✓		✓		✓		✓		✓															✓
Wang vd. (2023)			✓	✓	✓	✓						✓													✓
Bu Çalışma (2023)			✓		✓	✓	✓	✓	✓								✓						✓	✓	✓

Tablo 6: Varsayımlara ilişkin açıklamalar

Numara	Varsayım Açıklamaları
1	Birden fazla ürün çeşidi dağıtılmaktadır.
2	Müşteri talepleri belirsizdir.
3	Kullanılan filodaki araçlar farklı özelliklere sahiptir.
4	Talep veya uydu noktaları için zaman penceresi varsayılmaktadır.
5	Hizmet (bırakma-alma) süresi varsayılmaktadır.
6	Araç kapasitesi olduğu varsayılmaktadır.
7	Ayrık teslimata izin verilmektedir.
8	Yol kapanma ihtimali varsayılmıştır.
9	Taleplerin tamamını karşılamak zorunludur.
10	Birden fazla periyot bulunmaktadır.
11	Dağıtım için dağıtım maliyeti vardır.
12	Dağıtım için araç maliyeti vardır.
13	Dağıtım ağında birden fazla depo bulunmaktadır.
14	Belirsiz dağıtım merkezi (uydu) kapasitesi.
15	Dağıtım ağında hava aracı kullanılmaktadır.
16	Belirsiz seyahat süresi vardır.
17	Yayalar vasıtasıyla taşıma yapılmaktadır.
18	Rotalar için yol kapasitesi bulunmaktadır.
19	Dağıtılan ürün bozulabilir üründür.
20	Trafik durumu göz önüne alınmıştır.
21	Seyahat süresi için sınır vardır.
22	Araçlar hem teslim alma hem teslim etme yapabilir.
23	Araç tipine göre hız değişmektedir.
24	Araç tipine göre yol kapanma ihtimali değişmektedir.
25	Yükleri dağıtmak için uydu veya dağıtım noktaları bulunmaktadır.

İncelenen çalışmaların birçoğunda problem türü 2A-ARP olarak tanımlanmaktadır ve bazılarında farklı varsayımlar ile problem türü farklılık göstermektedir. İki aşamadan daha fazla aşama içeren çok aşamalı problemlere örnek olarak Aliakbari vd. (2022), Ghasemi vd. (2022), ve Tavana vd. (2018) verilebilir.

Çalışmaların faaliyet alanlarına bakıldığında, genellikle yardım malzemesi tedarik ve teslimatı alanındaki faaliyetlere odaklanılmaktadır. Heydar vd. (2016) afetzedelerin tahliyesi üzerine; Zhang vd. (2020), Saatchi vd. (2021) ve Aliakbari vd. (2022) yaralı kurtarmaya yönelik faaliyet üzerine çalışmışlardır.

Amaç fonksiyonları ele alındığında, çalışmalardan bir kısmı tek bir amaç fonksiyonuna odaklanmışken, çok amaçlı amaç fonksiyonu üzerine de çalışmalar mevcuttur. Ele alınan amaç fonksiyonları genellikle maliyeti minimize etmeyi, süreyi minimize etmeyi veya talebi en iyi şekilde karşılamayı amaçlamaktadır. Khare vd. (2021) çalışmasında amaç fonksiyonu karşılanmayan toplam talebi en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Saatchi vd. (2021), Sakiani vd. (2021), Nayeem ve Lee (2021) ve Aliakbari vd. (2022) çalışmalarında dağıtım, operasyonel veya tesis maliyeti gibi maliyet kalemlerini en aza indirmeyi amaçlamışlardır. Çok amaçlı amaç fonksiyonuna ilişkin çalışmalara örnek olarak Kurt vd. (2018) çalışmasında, yaralılara kan dağıtmak amacıyla dağıtım sürecinde araçların toplam seyahat süresini en aza indirmek ve talep memnuniyet düzeyini en üst düzeyde tutmak amaçlanmıştır.

Değerlendirilen çalışmalarda çeşitli model türlerinin ele alındığı görülmektedir. Çoğunlukla KTDP ve KTP modelinin kullanıldığı ve buna ek olarak, Şans Kısıtlı Programlama ve Stokastik Programlama gibi farklı modellere de yer verildiği görülmektedir.

Söz konusu çalışmalarda afet türü olarak genellikle deprem ele alınmıştır. Afet türü olarak depremden farklı olarak Redi vd. (2021) volkanik patlama ve Wang vd. (2023) bulaşıcı hastalık üzerine çalışmalar yapmışlardır.

İncelenen çalışmalardaki veri setleri genellikle gerçek veri ve üretilmiş verinin birlikte kullanılması sonucu oluşturulmuştur. Sadece üretilmiş veri ile yapılan çalışmalar da

bulunmaktadır. İncelemeler sonucunda sadece do C. Martins vd. (2021) çalışmasında ilgili veri literatürden alınmaktadır.

Çalışmalar değerlendirildiğinde, insani yardım lojistiğinde çeşitli varsayımların ele alındığı çok aşamalı araç rotalama problemlerinin olduğu görülmektedir. Örneğin teslim etme ve teslim alma (Aliakbari vd., 2022; do C. Martins vd., 2021; Heydar vd., 2016; Sakiani vd., 2021), çoklu depolu (Heydar vd., 2016; Khorsi vd., 2022; Zhang vd., 2015), işbirlikçi (Redi vd., 2021), zaman pencereli (Ghasemi vd., 2022; Kurt vd., 2018; Wang vd., 2023; Zhang vd., 2015) gibi çeşitli araç rotalama problemlerine literatürde yer verilmiştir.

İncelenen çalışmalarda dağıtım veya toplama yapılmak için seçilen araç çoğunlukla kara taşıtlarıdır. İncelenen çalışmalar arasında iki tanesinde hava taşıtlarına yer verilmiştir (do C. Martins vd., 2021; Redi vd., 2021). do C. Martins vd. (2021) tarafından incelenen problemde, ara tesisler (farmasötik laboratuvarları) afet bölgelerinde ihtiyaç duyulan ilaçların sınırlı envanterine sahiptir ve tek bir dağıtım merkezinden veya depodan hammadde ile hizmet verilmesi gerekmektedir. Öte yandan, bu ara tesisler, etkilenen bölgedeki nihai teslimat noktalarına mümkün olduğunca hızlı hizmet vermelidir. Her iki teslimat seviyesinde de aynı insansız hava aracı filosu kullanılmaktadır.

Çalışmalar incelendiğinde, belirsizliği ele alan problemlere deterministik problemlere göre daha az rastlanmıştır. Belirsizliğin ele alındığı çalışmalarda genellikle talep, yol durumu ve seyahat süresi belirsizliği öne çıkmaktadır. İncelenen çalışmalarda, Aliakbari vd. (2022) hem talep hem yol durumu belirsizliğini ele almıştır. Nayeem ve Lee (2021) ise hem talep hem dağıtım merkezi kapasitesini belirsizliğini ele almıştır.

İnsani yardım alanındaki çok aşamalı araç rotalama problemlerindeki kullanılan araç filolarında homojen ve heterojen yapıdaki çalışma sayıları birbirine yakındır. Fakat gerçek hayattaki insani yardım lojistiğinde yol şartlarından dolayı farklı araç tiplerine ihtiyaç duyulabilmektedir. Heterojen araç filosu içeren çalışmalara örnek olarak (Aliakbari vd., 2022; Heydar vd., 2016; Kurt vd., 2018; Nayeem & Lee, 2021; Redi vd., 2021; Sabouhi vd., 2016; Wang vd., 2023) verilebilir. Ayrıca çalışmaların büyük kısmında araçların kapasiteleri dikkate alınmaktadır. Khare vd. (2021) çalışmasında ise

ürünlerin dağıtımına yönelik araçlara ilaveten yayaların da rol aldığı görülmektedir. İlgili çalışmaların bir kısmında araçların seyahat maliyeti veya dağıtım maliyeti ele alınmıştır. İki çalışmada ise hem dağıtım hem araç maliyeti göz önünde bulundurulmuştur (Aliakbari vd., 2022; Sakiani vd., 2021).

Çalışmaların bazılarında teslimat sürecinde talep noktalarına çeşitli şekillerde gerekli malzemeler ulaştırılarak talebin birden fazla araç vasıtasıyla karşılanabildiği bölünmüş/ayrık teslimat sayesinde talepleri karşılanabilmektedir (Heydar vd., 2016; Khare vd., 2021; Kurt vd., 2018; Sabouhi vd., 2016). Ayrıca çalışmaların bazılarında hizmet süreleri de dikkate alınmaktadır ve bunlara Tavana vd. (2018) ve Redi vd. (2021) örnek olarak verilebilir.

Her ne kadar heterojen araç filosu, belirsizlik durumu, yol kapanma durumu gibi kimi varsayımlar bu tez çalışmasındaki varsayımlar ile ortak olsa da bu çalışmada gerçeğe olabildiğince yakınlaştırmak amacıyla çeşitli varsayımlar bir arada kullanılarak zenginleştirilmiştir. Bu tez çalışmasında gerçeğe yakın bir problem oluştururken heterojen yapıda araç filosu oluşturulmuş ve bu araç tiplerine göre seyahat hızı, yol kapanma ihtimali ve kapasite değişmektedir. Ayrıca bu tez çalışması kapsamında yük dağıtım aşamasında devretme noktalarından yayalar aracılığıyla da yük taşınabilmektedir. Böylelikle, her talep noktasına bir şekilde ulaşım mümkün olmaktadır. Araç çeşitlerine göre değişen parametreler ve yayaların dağıtımına yardımcı olması gibi durumlar göz önüne alındığında bu yapılan çalışma literatürdeki diğer çalışmalardan ayrılmakta ve literatüre katkı ortaya koymaktadır.

3. BÖLÜM: AFET SONRASI İKİ AŞAMALI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında ele alınan insani yardım lojistiğinde iki aşamalı araç rotalama probleminin detaylı tanımına ve sonrasında problem çözümü için önerilen matematiksel modele yer verilmektedir.

3.1. PROBLEM TANIMI

Ele alınan insani yardım lojistiği kavramı ile şehir içi dağıtım planlama probleminde olası bir afet sonrasında afetzedelere ihtiyaç duydukları yardım malzemelerini en kısa sürede ulaştırmak hedeflenmektedir. İnsani yardım malzemelerini ulaştırırken kullanılacak olan araç filosu heterojen yapıdadır. Bu yüzden araç kapasiteleri, hızları ve hasarlı yollarda gitme kabiliyetleri farklılık göstermektedir. Daha fazla yük taşıyabilen araçlar daha yavaş ve engebeli yollardan daha zor ilerlerken; küçük araçlar daha az yük taşımakta ve daha hızlı ve daha rahat ulaşım sağlamaktadır. Problemdeki yük dağıtım aşamasında belirli rotalarda daha fazla yol kapanma ihtimali bulunduğu ve araç turu kapanmama olasılığı kısıtı dikkate alındığından araçlar en düşük yol kapanma ihtimali olan şekilde afetzedelere ulaşmaya çalışmaktadır. İnsani yardım malzemelerinin tutulduğu merkezi depoya ve afetzedelere ek olarak devretme noktaları bulunmaktadır. Bu devretme noktalarına da yük bırakılıp birden fazla afetzedenin ihtiyacı bu devretme noktasından yayalar vasıtası ile karşılanabilmektedir. Devretme noktalarının ayrıca bir talebi bulunmamaktadır. Hangi devretme noktasından hangi afetzedelere gönderim yapılacaksa devretme noktalarına afetzedelerin toplam talebi kadar yük bırakılmaktadır. Problemdeki devretme noktalarından talep noktalarına malzemeleri götürecek olanlar yayalar olduğundan devretme noktasından yaya olarak afetzedeye gönderilen yükler taşınırken yol kapanma ihtimalleri 0 (sıfır) olarak alınmaktadır. Ancak bu tip taşımada insan yürüyüş hızı esas alınacağı için daha yavaş bir ulaştırma söz konusu olmaktadır. Yük dağıtımına çıkan araçlar afetzedelere veya devretme noktalarına uğradıktan sonra tekrardan merkezi depoya dönmektedirler. Afet sonrasında araç rotaları oluştururken gidilecek olan yolların

kapanma ihtimalleri araç tipine göre değişkenlik göstermekte ve araç turu kapanmama olasılığı dikkate alınarak uygun dağıtım rotası oluşturulmaktadır.

Bu problemde afetzedelerin yer aldığı talep noktası kümesi $C = \{1, \dots, |C|\}$, devretme noktalarının yer aldığı devretme noktası kümesi $H = \{1, \dots, |H|\}$ olarak tanımlanmaktadır. Bütün düğümlerin kümesi, depo $\{0\}$ dahil olmak üzere $N = \{0\} \cup H \cup C$ şeklinde gösterilmektedir. Düğümler arası yollar kümesi ise $A = (i, j): i, j \in N, i \neq j$ şeklinde gösterilmektedir. Yük dağıtımı için kullanılacak araçların kümesi $K = \{1, 2, \dots, |K|\}$ şeklinde tanımlanmaktadır. d_{ij} parametresi $(i, j) \in A$ yolunun mesafesini temsil etmektedir. $k \in K$ aracının $(i, j) \in A$ yolunu kat etmesi için ihtiyaç duyulan süre ise t_{ijk} olarak tanımlanmaktadır. r_i ($i \in C$) afetzedelerin talep miktarını göstermektedir. $(i, j) \in A$ yolunda gidecek olan araçların kapasitesi ise c_k ($k \in K$) olarak tanımlanmaktadır. θ_{ijk} parametresi $k \in K$ aracı $(i, j) \in A$ yolunda giderken yolun kapanma ihtimalini gösterirken; ω ise her araç turunun kapanmama olasılığını göstermektedir.

Yük dağıtımı yapılırken devretme noktalarına yük bırakılma ihtimalleri de göz önüne alınmaktadır. w_{hi} parametresi $h \in H$ devretme noktasından $i \in C$ talep noktasına gidilmesi için ihtiyaç duyulan süreyi göstermektedir. Ayrıca her afetzedeye belirli mesafedeki birden fazla devretme noktasından yardım malzemesi götürülebilmektedir. Bu yüzden l_{hi} parametresi $i \in C$ talep noktasının $h \in H$ devretme noktasından aralarındaki mesafeye, dolaylı olarak yürüyüş süresine göre ürün çekip çekemediğini belirlemektedir. Araçların talep veya devretme noktalarındaki yük indirmek için harcadıkları işlem süresi ise Δ_i ($i \in C \cup H$) şeklinde ifade edilmiştir. Yayalar için yük alma ve bırakma sürecinde ayrıca işlem süresi olmadığı varsayılmıştır.

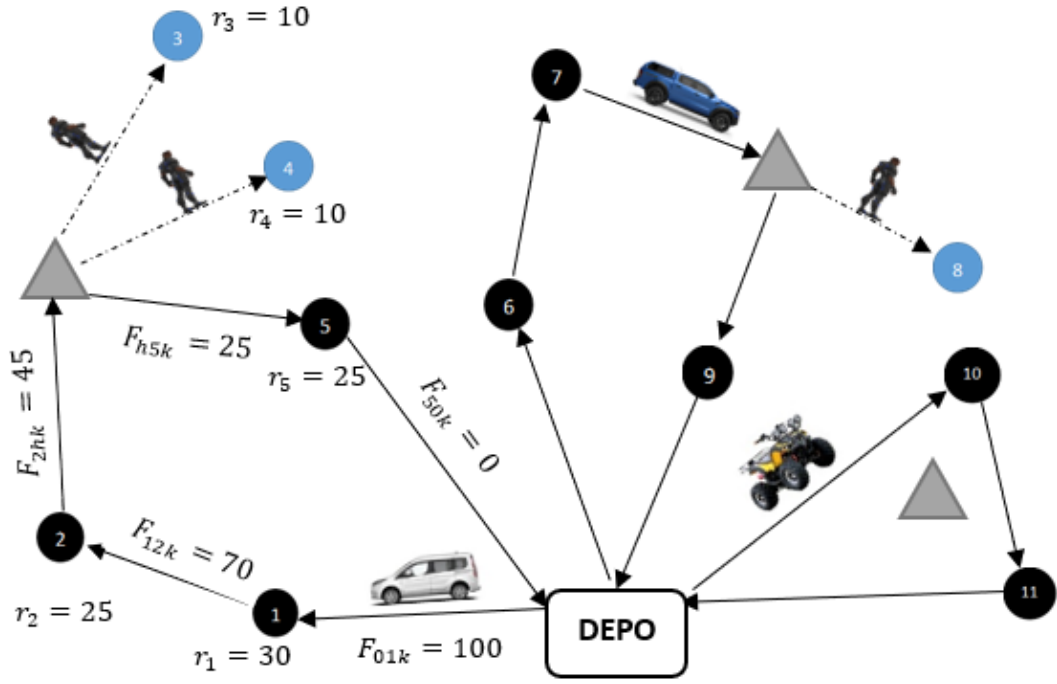
Problemde yer alan X_{ijk} karar değişkeni $k \in K$ aracının $(i, j) \in A$ yolunda seyahat edip etmediğine karar vermektedir. Bu yüzden bu karar değişkeni sadece 0 veya 1 değerini almaktadır. Diğer karar değişkeni olan F_{ijk} ise $(i, j) \in A$ yolunda $k \in K$ aracının taşıdığı yük miktarını adet bazında ifade etmektedir. Bir diğer karar değişkeni Q_{ik} ise $i \in C \cup H$ talep veya devretme noktasına $k \in K$ aracı ile ulaştırılan yük miktarını adet olarak göstermektedir. Başka bir karar değişkeni Z_{hi} ise $h \in H$ devretme noktasından $i \in C$ talep

noktasına gönderilen yük miktarını yine adet bazında göstermektedir. U_{ijk} karar değişkeni ise $k \in K$ aracının $i \in N$ noktasından $j \in C \cup H$ noktasına ulaştığı dakikayı belirleyerek afetzedelere yardım malzemelerinin belirtilen zaman aralığında ulaştırılmasını sağlamaktadır. Son olarak Y_{hi} karar değişkeni, $h \in H$ devretme noktasından $i \in C$ talep noktasına yük gönderilip gönderilemeyeceğine karar vermektedir. Bu yüzden bu karar değişkeni 0 veya 1 değerini almaktadır.

Üzerinde durulan problemde asıl amaç afetzedelere yardım malzemelerini ulaştırırken araçların ve yayaların düğümler arası seyahat sürelerinin toplamını ve araçlardan bırakılan yük için işlem sürelerinin toplamını içeren “*toplam seyahat süresini*” en aza indirmektir. Bu amaçla, gerekli talebi karşılamak için malzemelerin en kısa sürede afetzedelere ulaştırılmasını sağlayan araç ve/veya yaya rotalarının belirlenmesi planlanmaktadır. İlgili probleme ait örnek çözüm görseline Şekil 4’te yer verilmiştir. Rotalama problemi için önerilen matematiksel model için ihtiyaç duyulan notasyonlar Tablo 7’de yer almaktadır.

Şekil 4: Örnek çözüm gösterimi

- Birinci aşamadaki afetzede → Motorize araçlı rota
- İkinci aşamadaki afetzede ----> Motorize araçlı olmayan rota
- ▲ Devretme noktası



Tablo 7: Notasyon tablosu

Sembol	Açıklama	Birim
0	Depo	
H	Devretme noktası kümesi $H = \{1,2, \dots, H \}$	
C	Talep noktası kümesi $C = \{1,2, \dots, C \}$	
N	Tüm düğümlerin kümesi, $N = \{0\} \cup H \cup C$	
A	Düğümler arası yollar kümesi $A = (i,j): i,j \in N, i \neq j$	
K	Araç kümesi $\{1,2, \dots, K \}$	
d_{ij}	$(i,j) \in A$ yolunun mesafesi	Metre
r_i	i noktasının talep miktarı, $i \in C$	Adet
c_k	$k \in K$ aracının kapasitesi	Adet
θ_{ijk}	$k \in K$ aracı $(i,j) \in A$ yolunda giderken yolun kapanma ihtimali	[0-1)
ω	Her araç turunun kapanmama olasılığı	(0,1)
t_{ijk}	$k \in K$ aracının $(i,j) \in A$ yolunu kat etmesi için ihtiyaç duyulan süre	Dakika
w_{hi}	$h \in H$ devretme noktasından $i \in C$ talep noktasına gidilmesi için ihtiyaç duyulan süre	Dakika
l_{hi}	$i \in C$ talep noktası $h \in H$ devretme noktasından ürün çekebiliyorsa 1, çekemiyorsa 0	0-1
Δ_i	$i \in C \cup H$ noktasında aracın harcadığı işlem süresi	Dakika
M	Yeterli büyüklükte pozitif bir sayı	
Karar Değişkenleri		
X_{ijk}	$k \in K$ aracı $(i,j) \in A$ yolunda seyahat ediyorsa 1, etmiyorsa 0	0-1
F_{ijk}	$k \in K$ aracının $(i,j) \in A$ yolunda taşıdığı yük miktarı	Adet
Q_{ik}	$k \in K$ aracının $i \in C \cup H$ talep ve devretme noktasına bırakacağı yük miktarı	Adet
Z_{hi}	$h \in H$ devretme noktasından $i \in C$ talep noktasına gönderilen yük miktarı	Adet
U_{ijk}	$k \in K$ aracının i noktasından j noktasına $(i,j) \in A$ ulaştığı dakika	Dakika
Y_{hi}	$h \in H$ devretme noktasından $i \in C$ talep noktasına yük gönderiliyorsa 1, gönderilmiyorsa 0	0-1

3.2. MATEMATİKSEL MODEL

Bu bölümde ele alınan problemin çözümü için geliştirilen matematiksel modelin amaç fonksiyonu ve kısıtlarına yer verilmektedir.

En küçük (minimize)

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in C \cup H} U_{j0k} + \sum_{h \in H} \sum_{i \in C} w_{hi} Y_{hi} \quad (1)$$

Amaç fonksiyonu (1) toplam seyahat süresini minimize etmektedir. Fonksiyonun birinci parçası araçların düğümler arası seyahat sürelerinin toplamını ve araçlardan bırakılan yük için işlem sürelerinin toplamını; ikinci parçası ise yayaların seyahat süresinin toplamını temsil etmektedir.

Kısıtlar:

$$\sum_{i \in N: (i,j) \in A} X_{ijk} = \sum_{i \in N: (j,i) \in A} X_{jik}, \forall j \in C \cup H, k \in K \quad (2)$$

(2) numaralı kısıt bütün j noktalarına gelen ve bu j noktalarından giden araç sayılarını eşitleyerek akışın korunumunu sağlamaktadır.

$$\sum_{j \in N: (i,j) \in A} F_{ijk} = \sum_{j \in N: (j,i) \in A} F_{jik} - Q_{ik}, \forall i \in C \cup H, k \in K \quad (3)$$

(3) numaralı kısıt tüm yollarda araçtaki yük miktarını takip etmektedir.

$$\sum_{k \in K} Q_{hk} = \sum_{i \in C} Z_{hi}, \forall h \in H \quad (4)$$

(4) numaralı kısıt devretme noktasına bırakılan yükün devretme noktasından afetzedelere gönderilen yüke eşit olmasını sağlayarak gerekli talebi sağlamaktadır.

$$\sum_{k \in K} Q_{ik} + \sum_{h \in H} Z_{hi} l_{hi} = r_i, \forall i \in C \quad (5)$$

(5) numaralı kısıt afetzedelere gönderilecek olan birinci ve ikinci aşamadaki yükün toplam afetzede talebine eşit olmasını sağlamaktadır.

$$F_{ijk} \leq c_k X_{ijk}, \forall (i, j) \in A, k \in K \quad (6)$$

(6) numaralı kısıt her bir aracın kapasitesinden daha fazla yük taşıyamayacağını göstermektedir.

$$\sum_{j \in N: (i,j) \in A} X_{ijk} \leq 1, \forall i \in N, k \in K \quad (7)$$

(7) numaralı kısıt her bir aracın her noktaya en fazla bir defa girip çıkabileceğini göstermektedir.

$$Z_{hi} \leq Y_{hi} r_i, \forall h \in H, i \in C \quad (8)$$

(8) numaralı kısıt devretme noktasından afetzede yük gönderilmiyorsa taşıma yapılmamasını sağlamaktadır.

$$\sum_{j \in N: (i,j) \in A} U_{ijk} = \sum_{j \in N: (j,i) \in A} U_{jik} + \sum_{j \in N: (i,j) \in A} X_{ijk} (t_{ijk} + \Delta_i), \forall i \in C \cup H, k \in K \quad (9)$$

(9) numaralı kısıt noktalar arasında giden aracın hareket süresini düzenlemektedir.

$$U_{ijk} \leq M X_{ijk}, \forall (i, j) \in A, k \in K \quad (10)$$

(10) numaralı kısıt sadece araç hareket ediyorsa işlem süresini hesaplamaktadır.

$$U_{0jk} = t_{0jk} * X_{0jk}, \forall j \in C \cup H, k \in K \quad (11)$$

(11) numaralı kısıt depodan çıkan araçların afetzedelere ulaşma süresini düzenlemektedir.

$$\prod_{(i,j) \in A} (1 - \Theta_{ijk} X_{ijk}) \geq \omega, \forall k \in K \quad (12.1)$$

(12.1) numaralı kısıt afet olduktan sonra yolların kapanma ihtimallerini göz önüne almaktadır. Bu ihtimalleri göz önüne alarak uygun araç ve rota seçimi yapılmaktadır. Bahsedilen kısıt doğrusal yapıda değildir. Kısıtın doğrusal hale getirilmesinin adımları aşağıda verilmiştir:

$$\begin{aligned}
 \prod_{(i,j) \in A} (1 - \theta_{ijk} X_{ijk}) &= \prod_{(i,j) \in A} (1 - \theta_{ijk})^{X_{ijk}} \\
 \prod_{(i,j) \in A} (1 - \theta_{ijk} X_{ijk}) &\geq \omega \Leftrightarrow \prod_{(i,j) \in A} (1 - \theta_{ijk})^{X_{ijk}} \geq \omega \\
 \prod_{(i,j) \in A} (1 - \theta_{ijk})^{X_{ijk}} &\geq \omega \Leftrightarrow \sum_{(i,j) \in A} X_{ijk} \log(1 - \theta_{ijk}) \geq \log(\omega) \\
 \sum_{(i,j) \in A} X_{ijk} \log(1 - \theta_{ijk}) &\geq \log(\omega), \forall k \in K
 \end{aligned} \tag{12.2}$$

(12.2)'de (12.1)'deki kısıtın doğrusal hali gösterilmektedir (Temiz, 2020).

$$F_{i0k} \leq 0, \forall i \in C \cup H, k \in K \tag{13}$$

(13) numaralı kısıt her bir aracın depoya dönerken yükünü sıfırlaması gerektiğini göstermektedir.

$$X_{ijk} \in \{0,1\}, \forall (i,j) \in A, k \in K \tag{14}$$

$$F_{ijk} \geq 0, \forall (i,j) \in A, k \in K \tag{15}$$

$$Q_{ik} \geq 0, \forall i \in C, k \in K \tag{16}$$

$$Z_{hi} \geq 0, \forall h \in H, i \in C \tag{17}$$

$$U_{ijk} \geq 0, \forall (i,j) \in A, k \in K \tag{18}$$

$$Y_{hi} \in \{0,1\}, \forall h \in H, i \in C \tag{19}$$

(14) – (19) numaralı kısıtlarda modelde yer alan karar değişkenlerinin tanımlarına ilişkin kısıtlardır.

4. BÖLÜM: NUMERİK ANALİZLER

Çalışmanın bu bölümünde, geliştirilen insani yardım lojistiğinde Araç Rotalama Problemi modelinin uygulanabilirliğini göstermek amacıyla yapılan numerik analizlerin sonuçlarına yönelik bulgulara yer verilecektir. Bu bağlamda, ele alınan dört temel problem ve ele alınan senaryoların çözüm sonuçları detaylı bir şekilde sunulacaktır. Ayrıca, söz konusu problemlerin sonuçları, belirlenen temel performans göstergeleri (yaya süresi, araç süresi ve toplam süre) bağlamında karşılaştırılacaktır.

Problem IBM ILOG CPLEX 22.1.0 programı vasıtasıyla Intel i5-9400 2.9 Ghz işlemcili, 64 bit işletim sistemli, 8 GB RAM takılı bilgisayar ile çözülmüştür.

4.1. ÖRNEK OLAYLARIN İNCELENMESİ

Bu bölümde, gerçek hayat problemi üzerinden oluşturulmuş örnek olaylara yönelik veri setleri tanıtılacak ve daha sonra dört temel probleme yönelik çözüm sonuçları sunularak temel performans göstergeleri üzerinden değerlendirmeler yapılacaktır.

4.1.1. Veri Setinin Tanıtılması

Örnek olay olarak bir deprem ihtimalinde İstanbul'un Kartal ilçesi inceleme alanı olarak seçilmiştir. Kartal ilçesi geçmişten günümüze çeşitli depremler yaşamış ve beklenen büyük İstanbul depreminde büyük hasar görmesi muhtemel bir ilçedir. Kartal ilçesi diğer çoğu ilçeye nazaran deprem sonrası hasar alma açısından yüksek riske sahiptir (Kundak & Türkoğlu, 2007). Bu nedenle, söz konusu muhtemel İstanbul depreminde ihtiyaç sahibi afetzedelerin ihtiyaçlarını en kısa sürede karşılamak amacıyla İstanbul ili Kartal ilçesi üzerinden hazırlanmıştır.

Örnek probleme ait verilerden biri olan yol kapanma ihtimallerinin belirlendiği yol kapanma dağılımı haritası ve talebin orantılı varsayıldığı geçici barınma ihtiyacı sayıları İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü tarafından hazırlanan İstanbul İli Kartal İlçesi Olası deprem Kayıp Tahminleri Kitapçığından temin

edilmiştir (DEZİM, 2019). Bu rapora göre yol kapanması, binaların yol üzerine yıkılması nedeniyle, yol üzerinde araç geçişine izin vermeyecek şekilde dar geçitlerin olduğu durumu ifade eder. 7.5 büyüklüğündeki bir deprem senaryosu sonucunda, üzerinde bulundukları yolun üzerine devrilecek ve ulaşımı engelleyecek şekilde "Çok Ağır" düzeyde hasar göreceği tahmin edilen binaların analizi yapılarak yol kapanma sayıları belirlenmiştir. Talep noktaları ise Temiz (2020) ve Kilci (2012) tarafından yazılan tezlere benzer olarak Kartal ilçesindeki her mahallede bir talep noktası olacak şekilde belirlenmiştir.

Örnek olayda bir adet depo (*D*), yirmi adet talep noktası (*C*) ve beş adet devretme noktası (*H*) belirlenmiştir. Depo, Kartal ilçesinin merkezindeki çok şeritli yolların kesişim noktasının yakınındaki geniş alanda konumlandırılmıştır. Devretme noktaları ise talep noktalarının yakınlarındaki parklar olarak belirlenmiştir. Depo, talep noktası ve devretme noktalarının koordinatlarına Ek 3'te yer verilmektedir. Düğümlerin Google My Maps'teki konumları Şekil 5'te gösterilmektedir. Noktalar arasındaki mesafe matrisi Ek 4'te gösterilmektedir. Ek 2'deki mesafe verileri noktaların koordinatları Google Haritalara girilerek aralarındaki en kısa mesafe belirlenerek yazılmıştır.

Taşıma yapacak olan araçların ortalama bagaj hacmi büyük araç (minivan) için 1529 lt, orta araç (kasası kapalı arazi aracı) için 1131 lt ve küçük araç (ATV motor) için 160 lt olarak belirlenmiştir. Bu veriler araç tanıtım broşürlerinden ve ATV bagajı ilanından elde edilmiştir (Epey, 2022a, 2022b; N11, 2022). Her bir bagaj için toplam hacmin yaklaşık yarısı kadar paket alacağı varsayılmıştır. Bu bağlamda, büyük aracın yük taşıma kapasitesi 700 adet, orta aracın yük taşıma kapasitesi 500 adet, küçük aracın yük taşıma kapasitesi ise 75 adet olarak varsayılmıştır.

Örnek olayda araç filosu heterojen yapıdadır. Afet sonrasında yolların durumunun hasarlı olabileceği, yollarda afetzedeler ve hasarlı bina döküntüleri olabileceği ihtimalinden dolayı araçların seyahat hızının düşük olacağı varsayılmıştır. Yol kapanma ihtimallerinde olduğu gibi araç çeşidine göre hızlar değişebilmektedir. Arazi aracı minivan araca göre engebeli arazide daha rahat ve hızlı ilerleyebilirken ATV motor da arazi aracına göre daha rahat ve hızlı ilerleyebilmektedir. Bu nedenle, arazi aracının minivan araca göre %20,

ATV motorun da arazi aracına göre %20 daha hızlı yol aldığı varsayılmıştır. Araçların rota boyunca hızları minivan araç için sabit 500 metre/dakika, arazi aracı için sabit 600 metre/dakika, ATV motor için ise sabit 720 metre/dakika olarak belirlenmiştir. Minivan araca göre noktalar arası seyahat süresi Ek 5'te verilmiştir. Arazi aracı ve ATV motora yönelik seyahat süreleri de Ek 5'teki bilgiler üzerinden hesaplanmıştır.



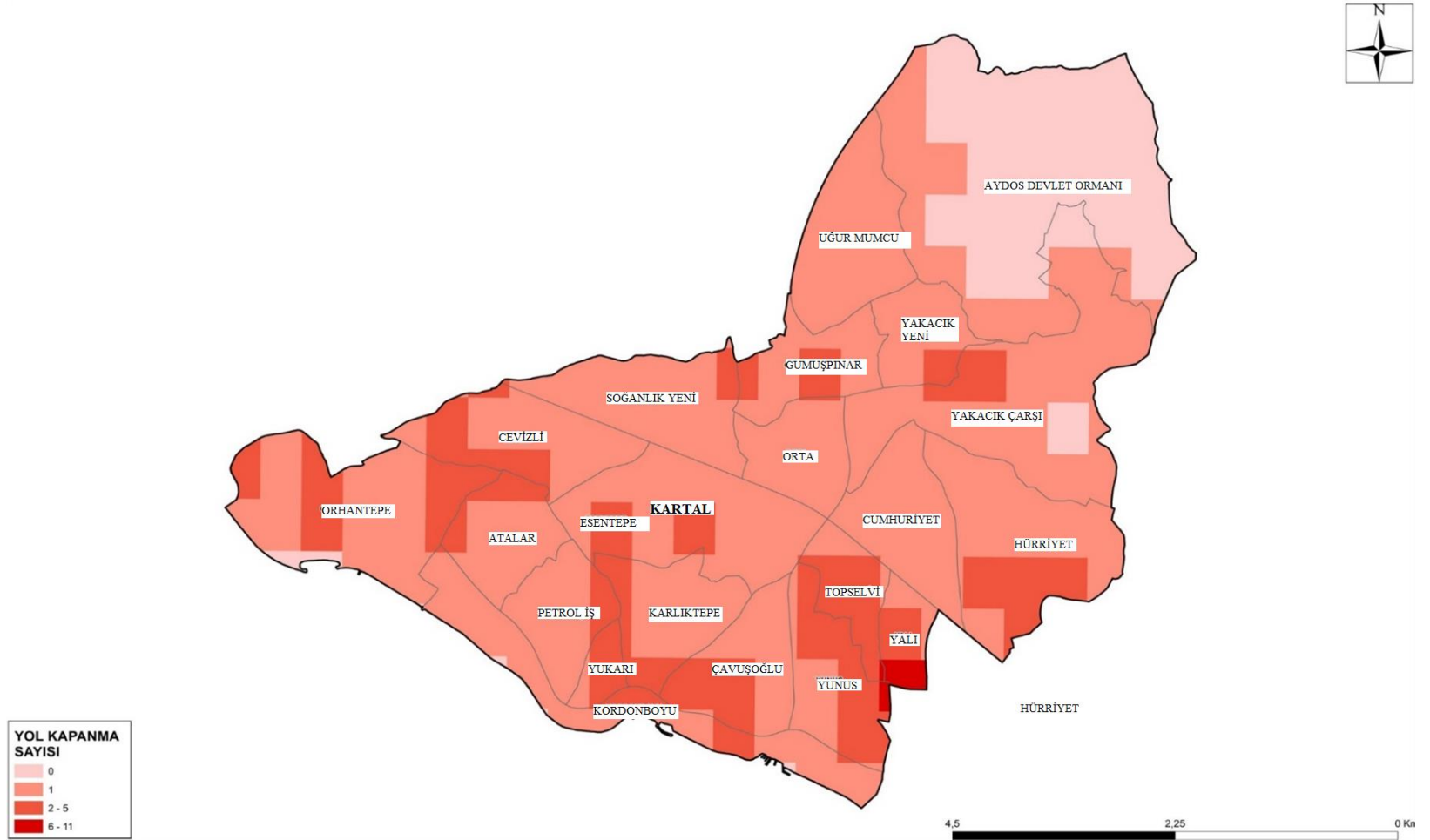
Şekil 5: Düğümlerin haritadaki gösterimi



Afetzedelerin talep tahminleri İstanbul İli Kartal İlçesi Olası Deprem Kayıp Tahminleri Kitapçığındaki depremde hasar gören hane sayıları ile orantılı olarak belirlenmiştir. Bu kitapçıktaki olası bilgiler 7,5 (Mw) büyüklüğündeki depreme göre hazırlanmıştır (DEZİM, 2019). Gönderilecek olan yardım paketlerinin içeriğinde acil ihtiyaç duyulabilecek sağlık malzemeleri ve gıda malzemeleri olacağı varsayılmıştır. Afetzedelere yönelik talep değerleri C1'den C20'ye sırasıyla 45, 81, 24, 60, 37, 66, 117, 61, 57, 56, 28, 61, 64, 61, 52, 44, 139, 52, 47, 60 adet olarak belirlenmiştir. Toplam talep miktarı 1212 adettir.

Talep ve devretme noktalarına ulaşım yollarının kapanma ihtimali, Kartal ilçesi deprem kitapçığındaki bilgiler doğrultusunda renklere göre belirlenmiştir ve Şekil 6 ile sunulmaktadır. Her bir yola ($ark(i, j)$) yönelik kapanma ihtimali arktaki başlangıç ve bitiş düğümlerinin kapanma ihtimallerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Haritadaki büyük çoğunluğu kapsayan açık renk için (0,04) değeri, daha koyu ton için (0,08) değeri, en koyu ton için ise (0,12) değeri baz alınmıştır. Örneğin Şekil 6'da gösterilen haritaya göre C12 talep noktasına (0,08) ve C11 talep noktasına ise (0,04) değeri atanmıştır. Bu iki nokta arasındaki yolun kapanma ihtimali (0,06) olarak hesaplanmaktadır. Ayrıca, yolların kapanma ihtimalleri araçların türüne göre değişiklik göstermektedir. Söz konusu hesaplamalardan elde edilen değerler, minivan araca yönelik değerler olarak kabul edilmekte ve bu değerler Ek 6'teki tablo ile verilmektedir. Arazi aracının noktalar arasındaki gidişinde yol kapanma ihtimali minivan araca göre %20 daha az, ATV motorun noktalar arasındaki gidişinde yol kapanma ihtimali ise arazi aracına göre %20 daha az olduğu varsayılmaktadır. Örneğin C12 ve C11 talep noktaları arasındaki yol kapanma ihtimali minivan araca göre (0,06) iken arazi aracına göre (0,048) ATV motora göre ise (0,0384) olarak belirlenmiştir. Örnek olayın problem çözümünde elde edilecek olan her bir rotanın %70 ihtimalle kapanmaması istenmektedir. Bu değer çok yükseltildiğinde araçlar rotayı tamamlayamamakta ve çok düşürüldüğünde ise yayalara ihtiyaç kalmadığı için %70 olarak belirlenmiştir.

Şekil 6: Mw=7.5 Senaryo Depremi İçin Kartal İlçesi Yol Kapanma Dağılım Haritası



Kaynak: DEZİM (2019)

Talep noktalarına ürünlerin ulaştırılması motorize araçların yanı sıra yaya olarak da mümkün olabilmektedir. Yaya sayısında herhangi bir kısıt belirlenmemiş ve yeteri kadar gönüllü olacağı varsayılmıştır. Bu sebepten dolayı modelde yaya olarak taşıma için yaya sayısı ve kapasitesi ile ilgili kısıt bulunmamaktadır. Yaya yürüyüş hızı için Naismith's kuralına göre yaklaşık olarak 12 dakikada 1000 metre yürüneceği varsayılmıştır (Khare vd., 2021). Devretme noktası ile talep noktası arasındaki mesafe yaya olarak 24 dk'dan az ya da mesafe olarak 2 km'den kısa ise devretme noktalarından afetzedelere ürün akışı yaya olarak gerçekleşebilmektedir. Bu durum devretme noktalarından ürün çekilebilirliğini göstermektedir. Bu bağlamda, ürün çekilebilirliğinin mümkün olduğu düğümler (devretme ve talep noktaları) arasındaki süre matrisi Ek 7 ile sunulmaktadır. Devretme noktalarından ürün çekilebilirliği bilgisi ise Ek 8'de gösterilmektedir. Burada 0 ürünün çekilemeyeceğini diğer bir deyişle ürünün yaya olarak ulaştırılamayacağını; 1 ise ürün çekilebilirliğini diğer bir deyişle ürünün yaya olarak ulaştırılabileceğini göstermektedir. Örnek olayda sadece noktalar arasındaki seyahat süreleri değil, aynı zamanda talep veya devretme noktalarına yük bırakma durumunda paket sayısı ile orantılı olacak şekilde işlem süresi (Δ_i) belirlenmiştir. Dakikada yirmi paket bırakılacağı varsayılmıştır. Devretme noktalarına ürün bırakılıp bırakılmayacağı belli olmadığı için devretme noktaları (H) için işlem süresi sabit 10 dakika olarak belirlenmiştir. Talep noktaları için işlem süreleri (Δ_i) C1'den C20'ye sırası ile 2.25, 4.05, 1.2, 3, 1.85, 3.3, 5.85, 3.05, 2.85, 2.8, 1.4, 3.05, 3.2, 3.05, 2.6, 2.2, 6.95, 2.6, 2.35 ve 3 dakika olarak belirlenmiştir. Modelde yer alan tüm parametre değerlerine ve söz konusu değerlerin kaynaklarına yönelik bilgiler Tablo 8'de gösterilmektedir.

Tablo 8: Örnek olayda kullanılan parametre değerleri

Parametre	Değerler	Kaynak
d_{ij}	Ek 2	Google Haritalar
r_i	Sf. 45	(DEZİM, 2019), Varsayımsal
c_k	Sf. 42	(Epey, 2022a, 2022b; N11, 2022), Varsayımsal
Θ_{ijk}	Ek 4	(DEZİM, 2019), Varsayımsal
ω	0,7	Varsayımsal
t_{ijk}	Ek 3	d_{ij} / Varsayımsal
w_{hi}	Ek 5	(Khare vd., 2021)
l_{hi}	Ek 6	Varsayımsal
Δ_i	Sf. 47	Varsayımsal

4.1.2. Örnek Olayların Çözümü ve Analizi

Bu bölümde muhtemel bir İstanbul depreminde Kartal ilçesinde afetzedelerin ihtiyaçlarını karşılamak için tasarlanan problemin çözümüne ve analizlerine yer verilecektir.

Örnek problemin çözümünde toplam seyahat süresini minimize etmek amaçlanmaktadır.

Toplam seyahat süresi minimizasyonu:

En küçük Amaç fonksiyonu (1):

Kısıt seti altında:

Kısıtlar (2) – (19)

Örnek problem olarak dört temel problem ele alınmıştır. Söz konusu problemler filoda bulunan araç özellikleri ve sayısı bakımından farklılık göstermektedir. Burada amaç, araçların sayı ve özelliklerinin araç rotalarını ve karar değişkeni değerlerini değiştirip değiştirmeyeceğini ve/veya ne yönde değiştireceğini irdelemektir. Bu bağlamda her bir filo tipi için rotalar, rotaların kapanmama ihtimalleri, yayaların ve araçların seyahat süresi toplamalarının karşılaştırılması yapılarak amaç fonksiyonu değerleri incelenecektir. Elde edilecek olan amaç fonksiyonu değerleri her bir filo tipi ve senaryo için olabilecek en yavaş rota tamamlama sonucu elde edilecek olan süreyi göstermektedir. Bunun sebebi ise

araçlar yükü devretme noktalarına bıraktıktan hemen sonra yaya olarak dağıtımın gerçekleşmeyeceği varsayılmakta ve en kötü senaryo için çözüm süresi elde edilmektedir. Dört farklı filoda her bir araç türünden büyük (minivan), orta (arazi aracı) ve küçük (ATV motor) farklı adetlerde bulunmaktadır. Filoların sahip oldukları araç sayıları Tablo 9’da gösterilmektedir.

Tablo 9: Filoların sahip olduğu araç sayıları

Araç Türü Filoları	Araç Türü		
	Büyük	Orta	Küçük
FL1	1	1	1
FL2	3	-	-
FL3	-	3	-
FL4	1	1	3

Her bir araçtan birer tane olan üç araçlık heterojen yapıdaki filo (FL1) ile çözüm yapılmıştır ve optimal çözüm süresi 41 dakika sürmüştür. Daha sonra üç adet büyük araçtan (minivan) oluşan homojen yapıdaki filo (FL2) ile çözüm yapılmıştır ve 43 saat 48 dakikada optimal çözüm elde edilmiştir. Üçüncü filo (FL3) ikinciye benzer olarak üç adet orta araç (arazi aracı) ile homojen yapıdan oluşmaktadır ve optimal çözüm süresi 47 dakika sürmüştür. Son olarak ilk filodaki üç farklı araca ek olarak iki adet daha küçük araç eklenerek beş araçlık filo (FL4) ile çözüm yapılmış ve optimal çözüm süresi 60 saat 11 dakika sürmüştür. Örnek olaylarda incelenen problemlerin çözüm rotaları, rotaların kapanmama ihtimalleri, afetzedelere teslim edilen yüklerin hangi yolla teslim edildiği ve bu miktarların toplam talebe oranı, kullanılan devretme noktaları, araçların toplam seyahat ve işlem süreleri, yayaların toplam dağıtım süreleri ve toplam süre olmak üzere temel performans göstergelerinin sonuçları Tablo 10’da sunulmaktadır.

Tablo 10: Temel Örneklerle Ait Optimum Çözüm Sonuçları

Filo	Araç	Motorize Rota	Araç Turu Kapanmama İhtimali	Afetzedelere Araçlarla Teslim Edilen Yük Yüzdesi	Kullanılan Devretme Noktası	Motorize Olmayan Rota	Afetzedelere Yayalarla Teslim Edilen Yük Yüzdesi	Araç seyahat ve işlem süresi toplamı (dk)	Yaya seyahat süresi toplamı (dk)	Toplam süre (dk)
FL1	Büyük	D0-H1-H5-C17-C16-C15-D0	71,95%	19,39%	H1	C1/C2/C3/C6/C9	22,52%	132,33	75,6	207,93
	Orta	D0-C10-C8-C7-C5-C4-C13-C14-C11-D0	72,17%	39,93%	H5	C18/C19/C20	13,12%			
	Küçük	D0-C12-D0	92,46%	5,03%						
FL2	Büyük	D0-H5-H1-C4-C7-C11-D0	75,00%	16,91%	H1	C1/C2/C3/C9	17,08%	155,3	52,6	207,9
	Büyük	D0-C16-C15-C14-C13-C12-D0	71,95%	23,27%	H5	C18/C19/C20	13,12%			
	Büyük	D0-C10-C8-C6-C5-C17-D0	71,92%	29,62%						
FL3	Orta	D0-C2-C6-C12-C13-C14-C15-D0	72,00%	31,77%	H5	C18/C19/C20	13,12%	150,15	15,6	165,75
	Orta	D0-C11-C8-C7-C4-C3-C1-D0	72,00%	27,64%						
	Orta	D0-C10-C9-C5-H5-C17-C16-D0	74,50%	27,48%						
FL4	Büyük	D0-H5-H1-C6-C7-C10-D0	71,95%	19,72%	H1	C2/C9	11,39%	163,02	30,6	193,6
	Orta	D0-C16-C17-C14-C13-C5-C4-C8-C11-D0	72,17%	40,76%	H5	C18/C19/C20	13,12%			
	Küçük	D0-C12-D0	92,46%	5,03%						
	Küçük	D0-C15-D0	92,46%	4,29%						
	Küçük	D0-C1-C3-D0	87,70%	5,69%						

Optimal çözümlerin amaç fonksiyonu değerleri incelendiğinde FL1 ve FL2 çözümleri için hemen hemen benzer sonuçlar elde edilmiştir ve yaklaşık olarak 208 dakikadır. FL3 çözümü bütün çözümler arasında en düşük değere sahiptir ve yaklaşık olarak 166 dakikadır. FL4 çözümü ise FL1 ve FL2'den daha düşük fakat FL3'e göre daha yüksek çıkmıştır ve toplam süresi yaklaşık 194 dakikadır. Yayaların toplam seyahat süreleri açısından değerlendirildiğinde ise en yüksek değer FL1 çözümüne aittir. Bu da FL1 çözümünde devretme noktalarından göreceli olarak daha çok afetzedeye ürün dağıtımının gerçekleşmesinden ve ilgili noktalar arasındaki yürüme sürelerinden kaynaklı olabilmektedir.

FL1 çözümünde büyük araç vasıtasıyla iki adet devretme noktasına (H1 ve H5) toplam talebin % 35,64'ü bırakılarak buradan da motorize olmayan (yaya olarak) şekilde toplam sekiz talep noktasına dağıtım yapılmıştır. C1, C2, C3, C6 ve C9 afetzedelerinin talepleri H1 devretme noktasından sağlanırken; C18, C19 ve C20 afetzedelerinin talepleri H5 devretme noktasından sağlanmaktadır. Toplam talebin %64,36'sı filodaki üç farklı araç vasıtasıyla doğrudan afetzedelere ulaştırılmıştır.

FL2 çözümünde ilk çözümde olduğu gibi filodaki üç büyük araçtan bir tanesi vasıtasıyla iki adet devretme noktasına (H1 ve H5) uğranarak toplam talebin %30,20'si bırakılarak buradan da motorize olmayan şekilde toplam yedi talep noktasına dağıtım yapılmıştır. C1, C2, C3 ve C9 afetzedelerinin talepleri H1 devretme noktasından sağlanırken; C18, C19 ve C20 afetzedelerinin talepleri H5 devretme noktasından sağlanmaktadır. Toplam talebin %69,80'i filodaki üç büyük araç vasıtasıyla doğrudan afetzedelere ulaştırılmıştır.

FL3 çözümünde ilk iki çözüme göre daha farklı bir çözüm elde edilmiştir. Filodaki üç orta araçtan bir tanesi bir devretme noktasına (H5) uğrayarak toplam talebin %13,12'sini bırakmıştır ve buradan da yaya olarak toplam üç talep noktasına dağıtım yapılmıştır. C18, C19 ve C20 afetzedelerinin talepleri H5 devretme noktasından sağlanmaktadır. Araçlar toplamda on yedi talep noktasına doğrudan uğrayarak toplam talebin %86,88'ini filodaki üç orta araç vasıtasıyla motorize şekilde karşılamaktadır.

FL4'te ise ilk çözüme benzer olarak büyük araç vasıtasıyla iki devretme noktasına (H1 ve H5) uğranarak toplam talebin %24,50'si bırakılarak buradan da motorize olmayan şekilde

toplam beş talep noktasına dağıtım yapılmıştır. C2 ve C9 afetzedelerinin talepleri H1 devretme noktasından sağlanırken; C18, C19 ve C20 afetzedelerinin talepleri H5 devretme noktasından sağlanmaktadır. Araçlar vasıtasıyla toplam talebin %75,50'si doğrudan afetzedelere ulaştırılmıştır.

Her bir çözüm için araç turu kapanmama ihtimalleri incelendiğinde temel örnekler için 0,70 olarak belirlenen araç turu kapanmama değerinden daha yüksek olarak hesaplanmıştır ve ilgili kısıtı sağlamaktadır.

Temel örneklerdeki çözümlerin tamamında hiçbir talep noktasına hem araçlardan hem de talep noktalarından olacak şekilde yük gönderilmemiştir. Ek 7'de her bir filo için araçların rotaları, rota boyunca taşınan yükler ve talep veya devretme noktalarına bırakılan yükler gösterilmektedir. Ek 8'de temel problemlerin çözümlerinde araçla yük gönderilemeyen talep noktalarına hangi devretme noktasından hangi talep noktasına ne kadar yük gönderildiği gösterilmektedir.

4.2. SENARYO ANALİZLERİ

Bu bölümün ilk kısmında, araç turu kapanmama olasılığındaki değişimin optimum sonuçlar üzerindeki etkisini analiz etmek amaçlanmaktadır. Bu bağlamda, temel analizlerde elde edilecek olan rotaların kapanmama ihtimali 0,7 olarak baz alınan değerde değişime gidilerek, temel analizlerde filolardaki araçların özellik ve sayılarında herhangi bir değişiklik yapılmaksızın, senaryo analizleri yapılmış ve sonuçları paylaşılmaktadır. İkinci kısımda ise yük dağıtımı için sadece devretme noktaları kullanılacak ve bütün talep noktalarına devretme noktalarından yaya olarak gerekli talep miktarları ulaştırılacaktır.

4.2.1. Araç turu kapanmama değerinin etkisi

Matematiksel modeldeki 12 numaralı kısıt olası bir afet durumunda afetzedelere yardım malzemesi ulaştırırken araçların seyahat rotasındaki yollarda kapanma ihtimallerini dikkate alarak dağıtım rotası oluşturulmasını sağlamaktadır. Temel örneklerde 0,7 olarak belirlenen araç turu kapanmama olasılığı (ω) 0,6 ve 0,8 olarak belirlenmiş ve senaryo

özmleri elde edilmiştir. Araç turu kapanmama değeri 0,6 olarak belirlenen problemlerin çözüm süreleri FL1, FL2, FL3 ve FL4 için sırası ile 1 saat 13 dakika, 7 dakika, 3 dakika ve 1 saat 6 dakika olarak elde edilmiştir. Araç turu kapanmama olasılığı 0,8 olarak belirlenen problemlerin çözüm süreleri FL1, FL2, FL3 ve FL4 için sırası ile 5 dakika, 1 saat 2 dakika, 1 saat ve 16 dakika olarak elde edilmiştir. Araç turu kapanmama değeri 0,6 ve 0,8 için incelenen problemlerin çözüm rotaları, afetzedelere teslim edilen yüklerin hangi yolla teslim edildiği ve bu miktarların yüzdesi ve kullanılan devretme noktaları Tablo 11’de gösterilmektedir.



Tablo 11: Senaryo Analizlerine Ait Optimum Sonuçlar

Araç Turu Kapanmama Değeri	Filo	Araç	Motorize Rota	Araç Turu Kapanmama İhtimali	Afetzedelere Araçlarla Teslim Edilen Yük Yüzdesi	Kullanılan Devretme Noktası	Motorize Olmayan Rota	Afetzedelere Yayalarla Teslim Edilen Yük Yüzdesi
0,6	FL1	Büyük	D0-C10-C9-C2-H5-C17-C15-C14-C13-D0	61,03%	42,08%	H5	C18/C19/C20	13,12%
		Orta	D0-C11-C8-C7-C6-C4-C5-C3-C1-C16-D0	63,20%	39,80%			
		Küçük	D0-C12-D0	92,46%	5,00%			
	FL2	Büyük	D0-C16-C17-C18-C19-C20-C2-C9-D0	60,90%	39,60%	H1 H2 H4 H5	C1/C2/C3/C9 C4/C6/C7/C8 C12/C15/C17 C18/C19/C20	17,08% 25,08% 20,79% 13,12% 17,08% 25,08% 19,39% 13,12% 17,08% 25,08% 13,12% 17,08% 25,08% 13,12%
		Büyük	D0-C15-C14-C13-C12-C11-C10-D0	69,00%	26,60%			
		Büyük	D0-C1-C3-C5-C4-C6-C7-C8-D0	60,90%	33,80%			
	FL3	Orta	D0-C16-C17-C18-C19-C20-C2-C9-D0	67,40%	39,60%			
		Orta	D0-C1-C3-C5-C4-C6-C7-C8-C10-D0	65,20%	38,45%			
		Orta	D0-C11-C12-C13-C14-C15-D0	76,90%	21,95%			
	FL4	Büyük	D0-C16-C17-C18-C2-C8-C7-C6-C10-D0	61,03%	50,83%			
		Orta	D0-C19-C20-C1-C3-C5-C4-C9-C13-C14-D0	61,09%	37,54%			
		Küçük	D0-C11-D0	94,90%	2,31%			
		Küçük	D0-C12-D0	92,46%	5,03%			
		Küçük	D0-C15-D0	92,46%	4,29%			
0,8	FL1	Büyük	D0-H5-H1-H2-D0	81,40%	0,00%	H1	C1/C2/C3/C9	17,08%
		Orta	D0-C16-H4-C14-C13-C10-D0	82,27%	18,56%	H2	C4/C6/C7/C8	25,08%
		Küçük	D0-C5-C11-D0	92,46%	5,36%	H4	C12/C15/C17	20,79%
						H5	C18/C19/C20	13,12%
	FL2	Büyük	D0-H1-H5-C11-D0	81,40%	2,31%	H1	C1/C2/C3/C9	17,08%
		Büyük	D0-H4-C12-C10-D0	81,40%	9,65%	H2	C4/C6/C7/C8	25,08%
		Büyük	D0-C14-C13-H2-C5-D0	81,50%	13,37%	H4	C15/C16/C17	19,39%
						H5	C18/C19/C20	13,12%
	FL3	Orta	D0-H1-H5-C13-C14-D0	82,20%	10,31%	H1	C1/C2/C3/C9	17,08%
		Orta	D0-C12-C10-H2-C5-D0	82,20%	12,71%	H2	C4/C6/C7/C8	25,08%
		Orta	D0-C11-C15-C17-C16-D0	82,20%	21,70%	H5	C18/C19/C20	13,12%
	FL4	Büyük	D0-H1-C5-H2-C10-D0	81,50%	7,67%	H1	C1/C2/C3/C9	17,08%
		Orta	D0-H5-C17-C14-C13-D0	82,20%	21,78%	H2	C4/C6/C7/C8	25,08%
		Küçük	D0-C12-D0	92,46%	5,03%	H5	C18/C19/C20	13,12%
		Küçük	D0-C15-D0	92,46%	4,29%			
		Küçük	D0-C11-C16-D0	92,50%	5,94%			

Araç turu kapanmama değeri 0,6 için FL1 örneğinin çözümünde on yedi noktanın talebi araçlarla karşılanmış ve sadece bir devretme noktası (H5) kullanılarak C18, C19 ve C20 noktalarının talebi yayalar vasıtasıyla karşılanmıştır. FL1 örneği için toplam talebin %86,88'i araçlar vasıtasıyla, %13,12'si yayalar vasıtasıyla afetzedelere ulaştırılmıştır. FL2, FL3 ve FL4 örneğinin çözümünde bütün talep noktalarına araçlarla ulaşım mümkün olmuştur ve herhangi bir devretme noktası kullanılmamıştır. FL2, FL3 ve FL4 örneği için toplam talebin tamamı motorize şekilde ulaştırılmıştır. Temel örneğe göre daha düşük araç turu kapanmama değeri belirlendiğinde daha fazla talep noktasına araçlarla gidiş mümkün olabilmektedir. Temel örneklere göre çok daha az devretme noktası kullanılmıştır ve taleplerin tamamına yakını motorize şekilde ulaştırılmıştır.

Araç turu kapanmama değeri 0,8 için FL1 ve FL2 örneğinde H3 devretme noktası hariç diğer dört devretme noktası (H1, H2, H4 ve H5) kullanılmış ve iki örnekte de toplamda on dört talep noktasına yaya olarak yük gönderimi yapılmıştır. FL1 örneği için toplam talebin %76,07'si motorize olmayan şekilde karşılanırken FL2 örneği için toplam talebin %74,67'si motorize olmayan şekilde karşılanmıştır. Araçlarla doğrudan talep karşılama oranı ise FL1 ve FL2 için sırası ile %23,93 ve %25,33 olarak elde edilmiştir. FL3 ve FL4 örneğinin çözümünde H1, H2 ve H5 devretme noktaları kullanılarak toplamda 11 talep noktasına yaya olarak ulaşım sağlanmıştır. FL3 ve FL4 örneği için motorize olmayan şekilde dağıtım yüzdesi sırası ile %55,28 ve %65,51 olarak elde edilmiştir. FL3 ve FL4 örneklerinin çözümünde motorize olarak karşılanan talep yüzdesi ise sırası ile %44,72 ve 34,49 olarak elde edilmiştir. Araç turu kapanmama değeri yükseldiği için araçlar talep noktalarının birçoğuna doğrudan yük bırakamamış ve yayalar sayesinde yükler ilgili talep noktalarına ulaştırılmıştır. Temel örneklere göre motorize olmayan şekilde yük dağıtımı artmış ve araçların doğrudan talep noktalarına gidiş sayısı azalmıştır.

Çözüm sonuçlarında elde edilen araç turu kapanmama ihtimalleri her bir aracın izlediği rotadaki yol kapanma ihtimalleri dikkate alınarak kısıt 12.1'e göre manuel olarak hesaplanmıştır ve belirlenen araç turu kapanmama olasılığı (ω) değerlerinden yüksek çıkmıştır. Böylelikle araçların yol kapanma değerlerine uygun olarak rota izledikleri görülmektedir.

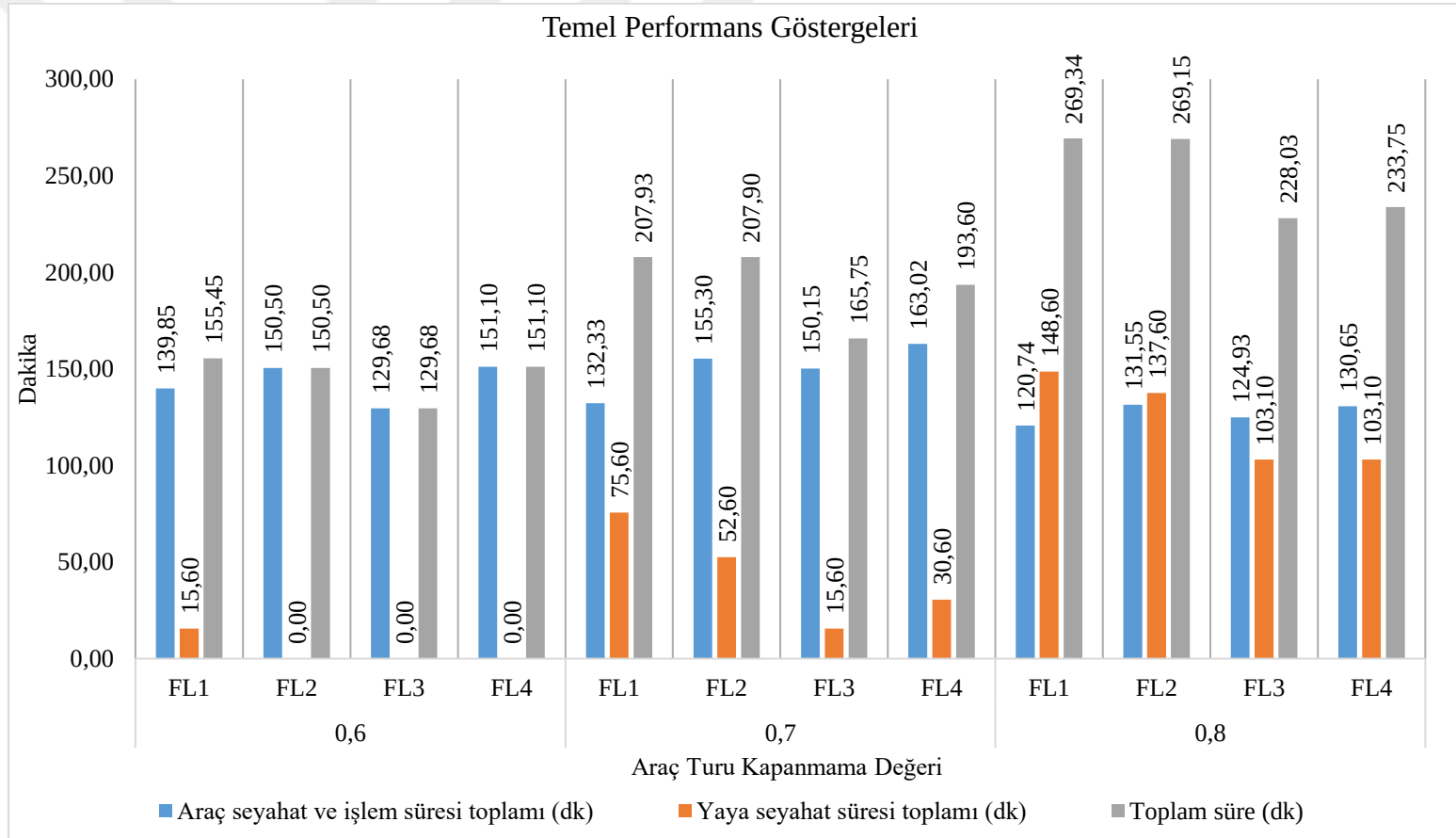
Örnek olaylardaki filolar üzerinden belirlenen 0,6 ve 0,8 araç turu kapanmama ihtimalinin çözümlerinde elde edilen toplam araç seyahat süresi, toplam yaya seyahat süresi ve toplam amaç fonksiyonu değerleri temel örneklerin sonuçları ile Şekil 7’de gösterilmektedir.

Araç turu kapanmama değeri 0,7’den 0,6’ya düşürüldüğünde devretme noktalarının kullanımı azalmaktadır. Sadece FL1 örneği için çözülen problemde bir adet devretme noktası kullanılarak yayalar sayesinde üç adet talep noktasına yük gönderimi yapılmıştır. Araç turu kapanmama değeri 0,6 için sadece FL1 çözümünde yaya seyahat süresi ortaya çıkmaktadır. Diğer üç problemde sadece araçlarla dağıtım yapılmış ve toplam süreye bakıldığında örnek olaya kıyasla daha düşük sürede dağıtım mümkün olmuştur.

Araç turu kapanmama değeri 0,7’den 0,8’e yükseltildiğinde her bir problemde dağıtım için devretme noktalarının kullanımı fark edilir şekilde artmıştır. Dolayısıyla yaya dağıtım süresinde büyük artış görülmüştür. FL1 ve FL2 çözümleri 0,7 araç turu kapanmama değerinde olduğu gibi 0,8 değerinde de toplam amaç fonksiyonu süresi için yakın sonuçlar elde edilmiştir fakat araç seyahat ve işlem süreleri ve yaya seyahat süreleri farklılık göstermektedir. FL3 ve FL4 problemlerinde temel örnekte olduğu gibi ilk iki filoya göre daha düşük süreler elde edilmiştir.

FL1, FL2, FL3 ve FL4 problemlerinin çözümleri araç turu kapanmama değeri 0,6 olarak belirlendiğinde amaç fonksiyonu değeri temel problemlere göre sırasıyla yaklaşık olarak %25, %28, %22 ve %22 azalmıştır. FL1, FL2, FL3 ve FL4 problemlerinin çözümleri araç turu kapanmama değeri 0,8 olarak belirlendiğinde ise amaç fonksiyonu değeri temel problemlere göre sırasıyla yaklaşık olarak %30, %29, %38 ve %21 artmıştır. Sonuç olarak, yaya olarak dağıtımdan ziyade motorize araçlar vasıtasıyla yapılan dağıtımlarda amaç fonksiyonu değeri bakımından daha verimli sonuçlar elde edilmektedir.

Şekil 7: Senaryo Analizlerine ve Temel Örneklere Ait Temel Performans Göstergeleri



4.2.2. Dağıtımda Yalnızca Devretme Noktalarının Kullanılmasının Etkisi

Temel problemde afetzedelere ürün dağıtımı hem motorize araçlar vasıtasıyla hem de yaya olarak gerçekleştirilebilmektedir. Öte yandan, motorize araçlar ile yalnızca devretme noktalarına dağıtım yapılabilmesi diğer bir deyişle motorize araçlar vasıtasıyla afetzedelere doğrudan dağıtıma izin verilmemesi durumu gözlemlenmeye çalışılmaktadır. Bu durumda, motorize araçlar yalnızca devretme noktalarına ürün dağıtımı yapmakta, araçların herhangi bir afetzedeye uğraması söz konusu olmamakta ve afetzedelere ürünlerin ulaştırılması ise devretme noktalarından yaya olarak gerçekleştirilmektedir. Filodaki tüm araçların yalnızca devretme noktalarına uğrayabileceğini ifade eden kısıt (20) aşağıda verilmektedir.

$$\sum_{j \in N: (j,i) \in A} X_{jik} = 0, \forall k \in K, i \in C \quad (20)$$

Araç filolarında, talep miktarlarında ve nokta koordinatlarında herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Araç turu kapanmama değeri olarak temel örneklerle karşılaştırma yapmak için 0,7 değeri belirlenmiştir. Söz konusu senaryoya yönelik optimum sonuçlar Tablo 12 ile sunulmaktadır.

Tablo 12: Yalnızca Devretme Noktalarının Kullanılması Senaryosuna Yönelik Optimum Sonuçlar

Filo	Araç	Rota	Araç Turu Kapanmama İhtimali
FL1	Büyük	D0-H3-H2-H1-D0	81,40%
	Orta	D0-H4-H5-D0	87,70%
	Küçük	D0-H3-D0	92,46%
FL2	Büyük	D0-H3-H4-H5-D0	78,00%
	Büyük	D0-H1-H2-D0	88,00%
	Büyük	-	-
FL3	Orta	D0-H1-H3-D0	87,70%
	Orta	D0-H2-H5-D0	87,70%
	Orta	D0-H4-D0	93,70%
FL4	Büyük	D0-H3-H2-H1-D0	81,40%
	Orta	D0-H5-H4-D0	87,70%
	Küçük	D0-H3-D0	92,46%
	Küçük	-	-
	Küçük	-	-

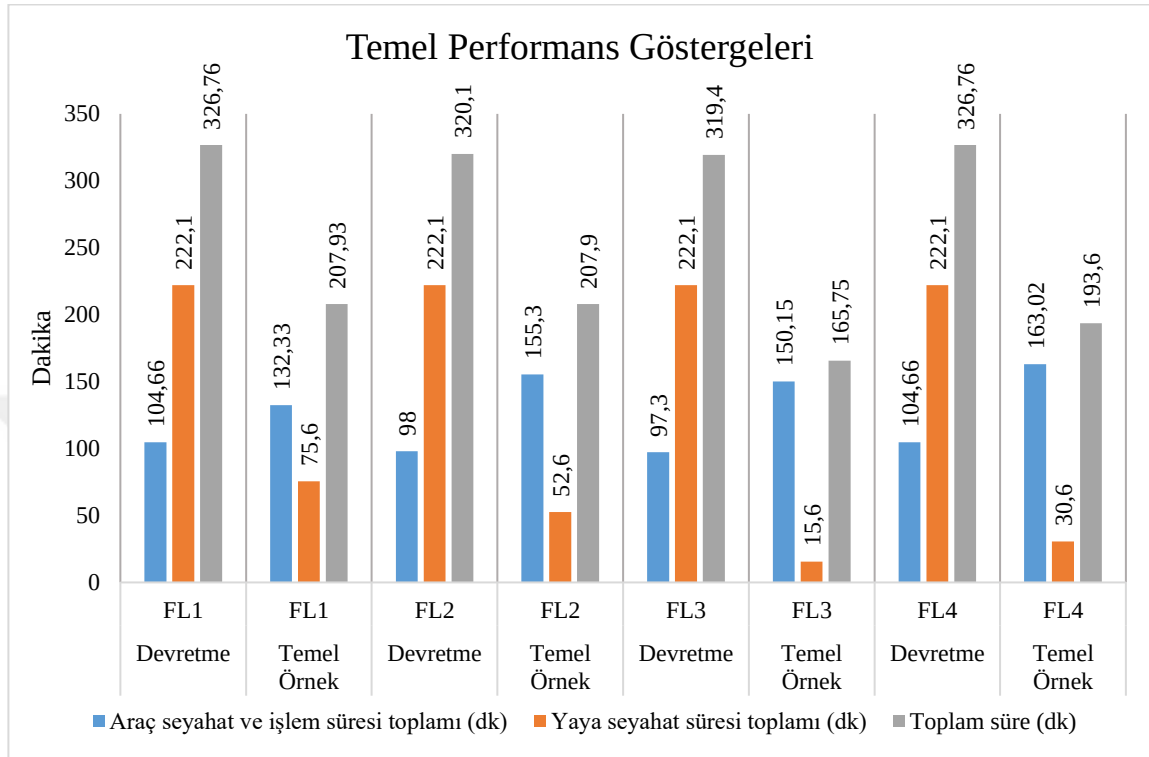
Çözüm sonuçlarına bakıldığında araçların uğradıkları noktalar çok kısıtlıdır ve bu yüzden FL2 ve FL4 filolarında olduğu gibi mevcut araç kapasitesinin talebin çok üstünde olduğu durumlarında devretme noktalarındaki işlem sürelerinden etkilenmemek için kullanılmayan araçlar olmuştur. Araçlar çok az sayıda noktaya uğradıkları için çözüm sonucunda elde edilen rotaların kapanmama ihtimalleri belirlenen 0,7 değerine göre oldukça yüksek çıkmaktadır. Dört farklı filonun çözümünde de yaya dağıtımı için aynı sonuçlar çıkmıştır ve hangi talep noktasının hangi devretme noktasından ne kadar ürün çektiği Tablo 13'te gösterilmektedir.

Tablo 13: Talep Noktalarının Devretme Noktalarından Yük Çekme Durumu (Adet)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
H1	45	81	24	0	0	0	0	0	57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H2	0	0	0	60	37	66	117	61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56	28	61	64	0	0	0	0	0	0	0
H4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	52	44	139	0	0	0
H5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	47	60

Dağıtım için sadece devretme noktalarının kullanıldığı senaryoda araç turu kapanmama değeri 0,7 için temel örneklerle karşılaştırma yapılacaktır ve araç süreleri, yaya süreleri ve toplam amaç fonksiyonu değerlerini karşılaştırılması Şekil 8'de gösterilmektedir.

Şekil 8: Temel Örnekler ve Yalnızca Devretme Noktalarının Kullanıldığı Senaryoya Yönelik Temel Performans Gösterge Değerleri



Dağıtım için sadece devretme noktalarının kullanıldığı çözümlerde yaya seyahat süresi ve toplam amaç fonksiyonu değerleri temel problemlerdeki aynı araç turu kapanmama değerine göre çok fazla artmıştır. Araç seyahat süresi ise afetzedeler yerine nispeten daha az sayıdaki devretme noktasına gidildiği için azalmıştır. Yalnızca devretme noktalarına uğrayarak dağıtım senaryosu için FL1, FL2, FL3 ve FL4 problemlerinin çözümlerine yönelik amaç fonksiyonlarında, motorize araçlar yerine yaya olarak dağıtımın doğal bir sonucu olarak, temel problemlere göre sırasıyla %57, %54, %93 ve %69 daha yüksek değerler gözlemlenmiştir.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Afetler her geçen yıl daha büyük kayıplara neden olmaktadır. İnsani yardım faaliyetleri ile, afetzedelere gerekli malzemeler ulaştırılmakta ve gerektiğinde bölgelerinden tahliye edilmeleri sağlanmaktadır. Bu sayede, afetlerin sebep olduğu zararların azaltılması hedeflenmektedir. Doğru planlanmış insani yardım lojistiği, malzemelerin ulaştırılmasının yanı sıra bu malzemelerin doğru şekilde depolanmasını ve uygun araç seçimini de kapsamaktadır.

Bu tez çalışmasında insani yardım lojistiğine 2A-ARP için tek amaçlı KTDP modeli önerilmektedir. Bu modelin amacı toplam seyahat süresini minimize etmektir. Toplam seyahat süresini en aza indirmenin amacı herhangi bir afet sonrasında ihtiyaç sahibi afetzedelere gerekli yardım malzemelerini en kısa sürede ulaştırarak afetzedelerin ihtiyaçlarını gidermek ve olası can kayıplarının önüne geçmektir. Söz konusu modelde yol kapanma belirsizliği ele alınmış ve kullanılan heterojen yapıdaki araçlara göre yol kapanma değerleri değişmektedir. Bu dağıtım sürecinde araçların hızları ilerledikleri yollarda sabit varsayılmıştır. Fakat araç tiplerine göre yollardaki hızlar değişmektedir. Ayrıca araç turu kapanmama değeri yüksek olduğu durumlarda araçlar her noktaya ulaşamamakta ve dağıtım süresi uzasa bile yayalar ile dağıtım sağlanabilmektedir.

Temiz (2020) tarafından yazılan tez çalışmasında dağıtım sürecinde araçlara göre yol kapanma ihtimalleri değişmemektedir ve dağıtım sürecinde yayalar dahil edilmemiştir. Ayrıca bu çalışmada dağıtım ağı tek aşamalı olarak planlanmıştır.

İncelenen çalışmalarda yayaların dağıtımına dahil edildiği tek çalışma Khare vd. (2021) olarak görülmektedir. İlgili çalışmada bu tez çalışmasına benzer olarak son mil taşımacılığı üzerinde çalışılmaktadır fakat bu problemde yolların kapanma ihtimali dikkate alınmamıştır. Bu çalışma çeşitli varsayımlar ile gerçek hayat problemine yaklaştırılmıştır. Bu tez çalışması, heterojen araç filosu, araç çeşitlerine göre hız, kapasite ve hareket kabiliyetinin farklılaşması, yayaların dağıtım ağına dahil edilmesi gibi varsayımlar ile literatürde yer alan çalışmalardan farklılık göstermektedir ve literatüre katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmada, olası bir İstanbul depreminde Kartal ilçesinin nasıl etkilenebileceği örnek olay üzerinden nümerik analizler vasıtasıyla incelenmiş ve modelin sağlayacağı faydalar gösterilmiştir. Analizler sonucunda, afet durumunda karşılaşılabilecek muhtemel senaryolar ele alınmış ve karar vericiler için yol gösterici bilgiler sunulmuştur. Tüm analizlerde belirlenen performans kriterleri açısından sonuçlar gösterilmiş ve senaryo analizleri için dağıtım planları sunulmuştur.

Yapılan analizler incelendiğinde farklı filo tipleri kullanılan temel örneklerde FL3 ve FL4 çözümlerinde amaç fonksiyonu değeri FL1 ve FL2'ye göre daha az çıkmıştır. FL4 örneği dikkate alındığında filodaki araç sayısı arttığında problemin çözüm süresi de uzamaktadır. Örnek olaylardaki çözümlere göre FL3 filosunun kullanıldığı yük dağıtım örneği hem hesaplama süresi olarak hem de amaç fonksiyonu değeri olarak daha avantajlı olmaktadır. Araç turu kapanmama değeri yükseldikçe araçların talep noktalarına ulaşması zorlaşmakta devretme noktalarını kullanma durumu artmaktadır. Bu durum amaç fonksiyonu değerinde artışa sebebiyet vermektedir. Her ne kadar amaç fonksiyonu değeri artsa da araçla ulaşamayan afetzedelere, devretme noktalarından yayalar vasıtasıyla ihtiyaç duydukları miktarda malzeme ulaştırılabilmektedir. Araç turu kapanmama değeri düştükçe devretme noktaları kullanılmamakta ve sadece araçlarla dağıtım sağlanabilmektedir. Bu senaryolarda amaç fonksiyonu değeri örnek olaylara göre daha düşük çıkmaktadır. Fakat afet sonrasında yol kapanma durumları net olarak bilinemeyeceği için bu değerın yüksek tutulması yük dağıtımında kesin sonuca ulaşmak için daha gerçekçi olabilir.

Saatchi vd. (2021) dağıtım sisteminin verimliliğini artırmak için çok modlu bir taşıma sistemi ele almıştır. Son mil taşımacılığında araçlar deprem sonrasında çoğunlukla şehir içinde mahalle aralarında ilerleyeceği için kamyon ve kamyonet yerine daha küçük tipli araçların seçilmesinin araçların yollardaki manevra kabiliyeti açısından daha verimli olacağı düşünülmüştür. Fakat en küçük araç olan ATV motorun kapasitesi diğer araçlara göre büyük oranda azaldığı için ve talebi karşılamak için çok fazla ATV motora ihtiyaç duyulacağından dolayı makul süreler içerisinde tamamı küçük araçtan oluşan filo ile problem çözümü elde edilememiştir. Taşıma aşamasında farklı mod olarak yayaların

kullanılması, elde edilecek olan rotaların kapanmama olasılığı yüksek olarak belirlense bile ilgili malzemeleri ihtiyaç sahiplerine ulaştırmak mümkün olmaktadır. Bütün sonuçlar incelendiğinde orta (arazi) araçların yük dağıtımı için hasarlı yollarda ilerleme kabiliyeti ve yük kapasitesi açısından diğer araçlara göre daha verimli olacağı görülmektedir.

Bu tez çalışmasında geliştirilen modeli afet sonrasında gerekli yardım malzemelerini afetzedelere ulaştırmayı amaçlayan devlet kurumları, sivil toplum kuruluşları gibi kurumlar kullanabilir. Söz konusu model sayesinde araçların giremeyeceği hasarlı alanlara yayalar vasıtasıyla yük gönderimi sağlayarak afetzedelerin ihtiyaçları en kısa sürede karşılanabilecektir. Bu sayede yardım bekleyen afetzedeler ihtiyaç duydukları malzemeleri elde ederek acil ihtiyaçlarını karşılayabilecektir.

Olası bir deprem afetinde söz konusu yol kapanma ihtimalleri gerçek bir afet durumuna göre düşük varsayılabilir. Bu nedenden dolayı yol kapanma durumu gerçek bir afette çok fazla olursa araçların seyahat yolları kapanabilir ve çok farklı dağıtım planlarına sebep olabilir. Ayrıca olası bir afet durumunda talep miktarı olarak varsayılan miktarlar asıl ihtiyaçlara göre çok kısıtlı kalabilir. Örnek olaydaki talep miktarları çok az bir kısmını karşılayarak yardım malzemelerinin dağıtımının sürekli olarak tekrarlanması gerekebilir.

İlgili tez çalışmasının kısıtı olarak araçların toplam kapasitesinin kamyonet veya kamyonlara göre çok daha az olması sebebiyle olası bir depremde talebin karşılanması için birden fazla rotalama gereksinimi ortaya çıkabilir. Bu durumda tez kapsamındaki model çok periyotlu olarak genişletilebilir. Daha büyük bir problem çözümüne ihtiyaç duyulması halinde daha hızlı sonuçlar elde etmek için sezgisel çözüm yöntemleri geliştirilebilir. Bu problemde araçların hızları sabit ve talep noktalarının talepleri belirli varsayılmıştır. İleride yapılacak çalışmalarda taleplerin belirsiz olduğu ve hızların değişken veya belirsiz olma durumları ele alınabilir.

KAYNAKÇA

- AFAD. (2019). *Deprem Nedir?* AFAD. Ulaşma Tarihi 02.01 <https://www.afad.gov.tr/deprem-nedir#>
- AFAD. (2020). *Doğal Afetler*. <https://www.afad.gov.tr/afadem/dogal-afetler>
- Al Theeb, N., & Murray, C. (2017). Vehicle routing and resource distribution in postdisaster humanitarian relief operations. *International Transactions in Operational Research*, 24(6), 1253-1284.
- Aliakbari, A., Rashidi Komijan, A., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Najafi, E. (2022). A new robust optimization model for relief logistics planning under uncertainty: a real-case study. *Soft Computing*, 26(8), 3883-3901.
- Ambrosini, C., & Routhier, J. I. (2004). Objectives, methods and results of surveys carried out in the field of urban freight transport: an international comparison. *Transport reviews*, 24(1), 57-77.
- Anderluh, A., Hemmelmayr, V. C., & Nolz, P. C. (2017). Synchronizing vans and cargo bikes in a city distribution network. *Central European Journal of Operations Research*, 25, 345-376.
- Anderson, S., Allen, J., & Browne, M. (2005). Urban logistics—how can it meet policy makers' sustainability objectives? *Journal of transport geography*, 13(1), 71-81.
- Anuar, W. K., Lee, L. S., Pickl, S., & Seow, H.-V. (2021). Vehicle routing optimisation in humanitarian operations: a survey on modelling and optimisation approaches. *Applied Sciences*, 11(2), 667.
- BBC. (2023). *Dünya Sağlık Örgütü: Covid-19 küresel acil durumu sona erdi*. <https://www.bbc.com/turkce/articles/cv2k804x19ro>
- Belgin, O., Karaoglan, I., & Altiparmak, F. (2018). Two-echelon vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery: Mathematical model and heuristic approach. *Computers & Industrial Engineering*, 115, 1-16.

- Boonmee, C., Arimura, M., & Asada, T. (2017). Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24, 485-498.
- Campbell, A. M., Vandenbussche, D., & Hermann, W. (2008). Routing for relief efforts. *Transportation science*, 42(2), 127-145.
- Cattaruzza, D., Absi, N., Feillet, D., & González-Feliu, J. (2017). Vehicle routing problems for city logistics. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 6(1), 51-79.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2007). *Supply chain management. Strategy, planning & operation*. Pearson.
- Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations research*, 12(4), 568-581.
- Crainic, T. G., Mancini, S., Perboli, G., & Tadei, R. (2012). Impact of generalized travel costs on satellite location in the two-echelon vehicle routing problem. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 39, 195-204.
- Crainic, T. G., Ricciardi, N., & Storchi, G. (2004). Advanced freight transportation systems for congested urban areas. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 12(2), 119-137.
- Crainic, T. G., Ricciardi, N., & Storchi, G. (2009). Models for evaluating and planning city logistics systems. *Transportation science*, 43(4), 432-454.
- Cuda, R., Guastaroba, G., & Speranza, M. G. (2015). A survey on two-echelon routing problems. *Computers & Operations Research*, 55, 185-199.
<https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.06.008>
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management science*, 6(1), 80-91.

- Daud, M. S. M., Hussein, M., Nasir, M. E., Abdullah, R., Kassim, R., Suliman, M., & Salu-Din, M. (2016). Humanitarian logistics and its challenges: the literature review. *International Journal of Supply Chain Management*, 5(3), 107-110.
- de Vries, H., & Van Wassenhove, L. N. (2017). Evidence-based vehicle planning for humanitarian field operations.
- DEZİM. (2019). Kartal İlçesi Olası Deprem Kayıp Tahminleri Kitapçığı. In Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı (Ed.).
- do C. Martins, L., Hirsch, P., & Juan, A. A. (2021). Agile optimization of a two-echelon vehicle routing problem with pickup and delivery. *International Transactions in Operational Research*, 28(1), 201-221.
- Drexl, M. (2012). Synchronization in vehicle routing—a survey of VRPs with multiple synchronization constraints. *Transportation science*, 46(3), 297-316.
- Dündar, H., Ömürgönülşen, M., & Soysal, M. (2021). A review on sustainable urban vehicle routing. *Journal of Cleaner Production*, 285, 125444.
- Eksioglu, B., Vural, A. V., & Reisman, A. (2009). The vehicle routing problem: A taxonomic review. *Computers & Industrial Engineering*, 57(4), 1472-1483.
- Epey. (2022a). 2017 Ford Ranger 2.2 TDCi 160 PS XLT (4x4). Epey. Ulaşma Tarihi 22.10.2022 <https://www.epey.com/araba/2017-ford-ranger-2-2-tdci-160-ps-xlt-4x4.html>
- Epey. (2022b). 2022 Ford Tourneo Connect 1.0 EcoBoost 100 PS Activ. Epey. Ulaşma Tarihi 22.10.2022 <https://www.epey.com/araba/2022-ford-tourneo-connect-1-0-ecoboost-100-ps-active.html>
- Euronews. (2023a). 6 Şubat depremlerinin birinci ayı: Toplam can kaybı ve eleştiriler. Ulaşma Tarihi 30.03.2023 <https://tr.euronews.com/2023/03/05/kahramanmaras-depremleri-hakkinda-neler-biliniyor>
- Euronews. (2023b). Hatay'da 6,4 büyüklüğünde deprem meydana geldi: 6 kişi hayatını kaybetti. <https://tr.euronews.com/2023/02/20/hatayda-buyuklugunde-deprem-meydana->

geldi#:~:text=Hatay%27da%20merkez%20üssü%20Defne,büyükülüğünde%20artçı%20sarsıntı%20meydana%20geldi.

- Garrido, R. A., & Aguirre, I. (2020). Emergency logistics for disaster management under spatio-temporal demand correlation: The earthquakes case. *Journal of Industrial & Management Optimization*, 16(5), 2369.
- Ghasemi, P., Goodarzian, F., Muñuzuri, J., & Abraham, A. (2022). A cooperative game theory approach for location-routing-inventory decisions in humanitarian relief chain incorporating stochastic planning. *Applied Mathematical Modelling*, 104, 750-781.
- Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2004). *Introduction to logistics systems planning and control*. John Wiley & Sons.
- Grangier, P., Gendreau, M., Lehuédé, F., & Rousseau, L.-M. (2016). An adaptive large neighborhood search for the two-echelon multiple-trip vehicle routing problem with satellite synchronization. *European Journal of Operational Research*, 254(1), 80-91.
- Heydar, M., Yu, J., Liu, Y., & Petering, M. E. (2016). Strategic evacuation planning with pedestrian guidance and bus routing: a mixed integer programming model and heuristic solution. *Journal of Advanced Transportation*, 50(7), 1314-1335.
- Huang, M., Smilowitz, K., & Balcik, B. (2012). Models for relief routing: Equity, efficiency and efficacy. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(1), 2-18.
- IFRC. (2022). *What is a disaster?* Ulaşma Tarihi 09.10.2022 <https://www.ifrc.org/our-work/disasters-climate-and-crises/what-disaster>
- Ilabaca, A., Paredes-Belmar, G., & Alvarez, P. P. (2022). Optimization of Humanitarian Aid Distribution in Case of an Earthquake and Tsunami in the City of Iquique, Chile. *Sustainability*, 14(2), 819.
- Jacobsen, S. K., & Madsen, O. B. (1980). A comparative study of heuristics for a two-level routing-location problem. *European Journal of Operational Research*, 5(6), 378-387.

- Jie, W., Yang, J., Zhang, M., & Huang, Y. (2019). The two-echelon capacitated electric vehicle routing problem with battery swapping stations: Formulation and efficient methodology. *European Journal of Operational Research*, 272(3), 879-904.
- Kazanç, H. C., Soysal, M., & Çimen, M. (2021). Modeling heterogeneous fleet vehicle allocation problem with emissions considerations. *The Open Transportation Journal*, 15(1).
- Kergosien, Y., Lenté, C., Billaut, J.-C., & Perrin, S. (2013). Metaheuristic algorithms for solving two interconnected vehicle routing problems in a hospital complex. *Computers & Operations Research*, 40(10), 2508-2518.
- Keskin, M. H. (2011). *Lojistik el kitabı ve küresel tedarik zinciri pratikleri: kavramlar, prensipler, uygulamalar*. Gazi Kitabevi.
- Khare, A., Batta, R., & Kang, J. E. (2021). On the analysis of last-mile relief delivery on a tree network: Application to the 2015 Nepal earthquake. *Journal of the Operational Research Society*, 72(4), 727-743.
- Khorsi, M., Chaharsooghi, S. K., Husseinzadeh Kashan, A., & Bozorgi-Amiri, A. (2022). Solving the humanitarian multi-trip cumulative capacitated routing problem via a grouping metaheuristic algorithm. *Annals of Operations Research*, 1-38.
- Kilci, F. (2012). A Decision Support System for Shelter Site Selection with GIS Integration: Case Study: Turkey. *A Master Thesis for Bilkent University*.
- Kısa, E. (2021). Araç Rotalama Problemi İle İki-Aşamalı Araç Rotalama Probleminin Karşılaştırılması ve Lokasyon Seçimi İçin Bir Hibrit Model Önerisi.
- Knott, R. (1987). The logistics of bulk relief supplies. *Disasters*, 11(2), 113-115.
- Krajewski, M. K. M. L. J. (2022). *Operations management: Processes and supply chains*. (13 ed.).
- Kundak, S., & Türkoğlu, H. (2007). İstanbul'da deprem riski analizi. *İTÜDERGİSİ/a*, 6(2).

- Kurt, A., Azizoglu, M., & Çetinkaya, F. C. (2018). Solution approaches to the blood distribution problem of the Turkish Red Crescent. *European Journal of Industrial Engineering*, 12(3), 405-441.
- Kuşcuoğlu, M., & Çağlar, B. (2013). İnsani yardım ve lojistik yönetimi. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*(29), 45-52.
- Küçük, M. K., & Cavdur, F. (2019). Zaman Pencereli Bölünmüş-Dağıtım Araç Rotalama İle Afet Sonrası Yardım Malzemesi Dağıtım Planlaması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(2), 127-146.
- Lambert, D. M., Stock, J. R., & Ellram, L. M. (1998). *Fundamentals of Logistics Management*. Irwin/McGraw-Hill. <https://books.google.com.tr/books?id=K8xXAAAAYAAJ>
- Laporte, G. (1992). The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59(3), 345-358. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(92\)90192-C](https://doi.org/10.1016/0377-2217(92)90192-C)
- Laporte, G. (2009). Fifty years of vehicle routing. *Transportation science*, 43(4), 408-416.
- Liu, R., Tao, Y., Hu, Q., & Xie, X. (2017). Simulation-based optimisation approach for the stochastic two-echelon logistics problem. *International Journal of Production Research*, 55(1), 187-201.
- Loree, N., & Aros-Vera, F. (2018). Points of distribution location and inventory management model for Post-Disaster Humanitarian Logistics. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 116, 1-24.
- Lummus, R. R., Krumwiede, D. W., & Vokurka, R. J. (2001). The relationship of logistics to supply chain management: developing a common industry definition. *Industrial Management & Data Systems*, 101(8), 426-431.
- Lummus, R. R., & Vokurka, R. J. (1999). Defining supply chain management: a historical perspective and practical guidelines. *Industrial Management & Data Systems*, 99(1), 11-17.

- Marques, G., Sadykov, R., Dupas, R., & Deschamps, J.-C. (2022). A branch-cut-and-price approach for the single-trip and multi-trip two-echelon vehicle routing problem with time windows. *Transportation science*, 56(6), 1598-1617.
- Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). Defining Supply Chain Management. *Journal of Business logistics*, 22(2), 1-25.
- Mühlbauer, F., & Fontaine, P. (2021). A parallelised large neighbourhood search heuristic for the asymmetric two-echelon vehicle routing problem with swap containers for cargo-bicycles. *European Journal of Operational Research*, 289(2), 742-757.
- N11. (2022). *Atv Çantası Arka 160 Lt Arwic*. OTOMOTOVİEA. Ulaşma Tarihi 20.10.2022 <https://www.n11.com/urun/atv-cantasi-arka-160-lt-arwic-552895273-21737082?magaza=otomotoviea>
- Nayeem, M. K., & Lee, G. M. (2021). Robust Design of Relief Distribution Networks Considering Uncertainty. *Sustainability*, 13(16), 9281.
- Oksuz, M. K., & Satoglu, S. I. (2020). A two-stage stochastic model for location planning of temporary medical centers for disaster response. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 44, 101426.
- Oruc, B. E., & Kara, B. Y. (2018). Post-disaster assessment routing problem. *Transportation research part B: methodological*, 116, 76-102.
- Önsüz, M. F., & Atalay, B. (2015). Afet lojistiği. *Osmangazi Tıp Dergisi*, 37(3), 1-6.
- Perboli, G., Rosano, M., Saint-Guillain, M., & Rizzo, P. (2018). Simulation–optimisation framework for City Logistics: an application on multimodal last-mile delivery. *IET Intelligent Transport Systems*, 12(4), 262-269. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2017.0357>
- Redi, A. A. N. P., Sopha, B. M., Asih, A. M. S., & Liperda, R. I. (2021). Collaborative hybrid aerial and ground vehicle routing for post-disaster assessment. *Sustainability*, 13(22), 12841.

- Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2022). *The handbook of logistics and distribution management: Understanding the supply chain*. Kogan Page Publishers.
- Rutner, S. M., & Langley, C. J. (2000). Logistics value: definition, process and measurement. *The International Journal of Logistics Management*.
- Saatchi, H. M., Khamseh, A. A., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2021). Solving a new bi-objective model for relief logistics in a humanitarian supply chain using bi-objective meta-heuristic algorithms. *SCIENTIA IRANICA*, 28(5), 2948-2971.
- Sabouhi, F., Bozorgi-Amiri, A., & Vaez, P. (2021). Stochastic optimization for transportation planning in disaster relief under disruption and uncertainty. *Kybernetes*, 50(9), 2632-2650.
- Sabouhi, F., Heydari, M., & Bozorgi-Amiri, A. (2016). Multi-objective routing and scheduling for relief distribution with split delivery in post-disaster response. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 9(3), 17-27.
- Sakiani, R., Seifi, A., & Khorshiddost, R. R. (2021). A novel structure to model the distribution of relief items in a post-disaster situation. *Journal of Modelling in Management*.
- Salehi Sarbijan, M., & Behnamian, J. (2022). Emerging Research Fields in Vehicle Routing Problem: A Short Review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 1-19.
- Sheu, J.-B. (2007). An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6), 687-709.
- Sluijk, N., Florio, A. M., Kinable, J., Dellaert, N., & Van Woensel, T. (2022). Two-echelon vehicle routing problems: A literature review. *European Journal of Operational Research*.
- Soysal, M., & Bloemhof-Ruwaard, J. M. (2017). Toward sustainable logistics. *Sustainable Logistics and Transportation: Optimization Models and Algorithms*, 1-17.

- Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., & Bektaş, T. (2015). The time-dependent two-echelon capacitated vehicle routing problem with environmental considerations. *International Journal of Production Economics*, 164, 366-378.
- Şeker, M., Özer, A., Tosun, Z., Korkut, C., & Doğrul, M. (2020). TUBA-COVID-19 Pandemi Değerlendirme Raporu; 2020 Erişim tarihi ve adresi 15 Mayıs 2020. In.
- Tavana, M., Abtahi, A.-R., Di Caprio, D., Hashemi, R., & Yousefi-Zenouz, R. (2018). An integrated location-inventory-routing humanitarian supply chain network with pre-and post-disaster management considerations. *Socio-Economic Planning Sciences*, 64, 21-37.
- Temiz, S. (2020). *İnsani Yardım Lojistiğinde Tesis Yeri Seçimi Ve Rotalama Problemi İçin Bir Matematiksel Model Önerisi* Hacettepe Üniversitesi]. Ankara.
- Tomasini, R., Van Wassenhove, L., & Van Wassenhove, L. (2009). *Humanitarian logistics*. Springer.
- Van Wassenhove, L. N. (2006). Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear. *Journal of the Operational Research Society*, 57(5), 475-489.
- Wang, Y., Wang, X., Fan, J., Wang, Z., & Zhen, L. (2023). Emergency logistics network optimization with time window assignment. *Expert Systems with Applications*, 214, 119145.
- World Disaster Report*. (2020). <https://media.ifrc.org/ifrc/world-disaster-report-2020>
- Worldometer. (2023). *Total Coronavirus Cases in Turkey*. <https://www.worldometers.info/coronavirus/country/turkey/>
- Zhang, H.-p., Liao, Y., & Luo, H.-x. (2015). Two-echelon emergency response problem and simulation considering secondary disasters. *Frontiers of Engineering Management*, 1(3), 318-321.
- Zhang, H., Wu, Y., Liao, Y., & Gajpal, Y. (2020). Cooperative Strategies in Two-Echelon Rescue Delivery Environment with Accessibility Uncertainty. *Sustainability*, 12(13), 5333.

Zhong, S., Cheng, R., Jiang, Y., Wang, Z., Larsen, A., & Nielsen, O. A. (2020). Risk-averse optimization of disaster relief facility location and vehicle routing under stochastic demand. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 141, 102015.



EK 1. DÜĞÜMLERE YÖNELİK KOORDİNAT BİLGİLERİ

İsim	Noktalar	Koordinatlar (Enlem, Boylam)
DEPO	D	40.90832, 29.20972
ÇAVUŞOĞLU	C1	40.8917, 29.19843
KARLIKTEPE	C2	40.8989, 29.19347
YUKARI	C3	40.89354, 29.18479
PETROL İŞ	C4	40.89718, 29.17712
KORDONBOYU	C5	40.89571, 29.17118
ATALAR	C6	40.90665, 29.17059
ORHANTEPE	C7	40.90697, 29.16238
CEVİZLİ	C8	40.91417, 29.16746
ESENTEPE	C9	40.90591, 29.19081
SOĞANLIK YENİ	C10	40.91713, 29.19538
ORTA	C11	40.91272, 29.20528
GÜMÜŞPINAR	C12	40.92081, 29.20777
UĞUR MUMCU	C13	40.92813, 29.21281
YAKACIK YENİ	C14	40.92488, 29.22025
YAKACIK ÇARŞI	C15	40.91806, 29.22342
CUMHURİYET	C16	40.90476, 29.22239
HÜRRİYET	C17	40.90311, 29.23273
YALI	C18	40.89541, 29.22019
TOPSELVİ	C19	40.89793, 29.21436
YUNUS	C20	40.89315, 29.21167
GÜNEŞ PARKI	H1	40.89718, 29.19033
LEYLAK PARKI	H2	40.90175, 29.17277
SOĞANLIK PARKI	H3	40.9201, 29.20347
FATİH SULTAN MEHMET PARKI	H4	40.91211, 29.22202
ATATÜRK PARKI	H5	40.89429, 29.21273

EK 2. NOKTALAR ARASI MESAFE VERİSİ (M)

	D	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	H1	H2	H3	H4	H5
D	-	3800	4300	4600	5400	6200	5900	6700	6000	4000	2100	1200	1800	3300	2900	2300	1900	3100	3900	3200	3500	4500	5900	1800	1800	3500
C1	3800	-	1400	1500	2100	3000	3200	3900	4200	2400	5200	3900	5100	5700	5800	5300	4300	5100	2400	1800	1600	1300	2800	5200	4800	1800
C2	4300	1400	-	1300	1800	3000	2500	3600	3400	1000	3400	3900	5100	5600	5800	5300	4300	5000	3000	2400	2500	400	2400	5200	4800	2600
C3	4600	1500	1300	-	1200	2100	2400	3000	3300	1900	3700	4800	5400	6100	6300	6400	5200	5900	3700	3100	2900	900	1900	4800	5700	3100
C4	5400	2100	1800	1200	-	1600	1400	2100	2500	2200	3500	4700	5200	5900	6100	6200	6100	6800	4500	3900	3800	1500	1000	4500	6600	4000
C5	6200	3000	3000	2100	1600	-	2700	3000	3900	3400	4800	5900	6500	7200	7400	7400	7200	8500	6500	6300	5500	2600	2200	5800	7700	5300
C6	5900	3200	2500	2400	1400	2700	-	1000	1100	2300	3100	4300	4800	5500	5700	5800	6200	6900	5600	5100	4800	2300	750	4100	6400	5000
C7	6700	3900	3600	3000	2100	3000	1000	-	1100	2900	3700	4900	5500	6100	6400	6300	6800	7500	7800	7200	5500	3100	1400	4700	7000	5700
C8	6000	4200	3400	3300	2500	3900	1100	1100	-	2700	3100	4300	4800	5600	5700	5800	6200	7000	7400	6600	6100	3600	1900	4200	6400	6300
C9	4000	2400	1000	1900	2200	3400	2300	2900	2700	-	2000	3700	4200	4900	5100	5200	4900	5600	4500	3900	3300	1100	2300	3400	5800	3700
C10	2100	5200	3400	3700	3500	4800	3100	3700	3100	2000	-	1800	1500	3000	2900	2700	3800	4600	5000	4200	4500	3500	3100	1100	3100	4500
C11	1200	3900	3900	4800	4700	5900	4300	4900	4300	3700	1800	-	1300	3700	2600	2400	2900	3600	4000	3200	3500	4400	4100	1100	2500	3500
C12	1800	5100	5100	5400	5200	6500	4800	5500	4800	4200	1500	1300	-	1700	1800	1800	3100	3600	5300	4500	4800	5000	4700	550	2100	4800
C13	3300	5700	5600	6100	5900	7200	5500	6100	5600	4900	3000	3700	1700	-	1800	2600	3900	4700	5600	4800	5100	5800	5500	1800	3200	5100
C14	2900	5800	5800	6300	6100	7400	5700	6400	5700	5100	2900	2600	1800	1800	-	1000	2600	3200	5700	4500	4800	5900	5600	1900	1700	4800
C15	2300	5300	5300	6400	6200	7400	5800	6300	5800	5200	2700	2400	1800	2600	1000	-	1700	2200	3900	3600	3900	5000	6300	2000	750	3900
C16	1900	4300	4300	5200	6100	7200	6200	6800	6200	4900	3800	2900	3100	3900	2600	1700	-	1100	2500	3500	3600	4900	6300	3500	1000	3600
C17	3100	5100	5000	5900	6800	8500	6900	7500	7000	5600	4600	3600	3600	4700	3200	2200	1100	-	2400	3700	3300	5900	7900	4300	1700	3100
C18	3900	2400	3000	3700	4500	6500	5600	7800	7400	4500	5000	4000	5300	5600	5700	3900	2500	2400	-	800	1000	3600	5200	4900	3300	800
C19	3200	1800	2400	3100	3900	6300	5100	7200	6600	3900	4200	3200	4500	4800	4500	3600	3500	3700	800	-	750	2900	4400	4500	4100	550
C20	3500	1600	2500	2900	3800	5500	4800	5500	6100	3300	4500	3500	4800	5100	4800	3900	3600	3300	1000	750	-	3300	4800	5100	4700	210
H1	4500	1300	400	900	1500	2600	2300	3100	3600	1100	3500	4400	5000	5800	5900	5000	4900	5900	3600	2900	3300	-	2100	4500	5400	2800
H2	5900	2800	2400	1900	1000	2200	750	1400	1900	2300	3100	4100	4700	5500	5600	6300	6300	7900	5200	4400	4800	2100	-	4100	6300	4600
H3	1800	5200	5200	4800	4500	5800	4100	4700	4200	3400	1100	1100	550	1800	1900	2000	3500	4300	4900	4500	5100	4500	4100	-	2700	5000
H4	1800	4800	4800	5700	6600	7700	6400	7000	6400	5800	3100	2500	2100	3200	1700	750	1000	1700	3300	4100	4700	5400	6300	2700	-	3500
H5	3500	1800	2600	3100	4000	5300	5000	5700	6300	3700	4500	3500	4800	5100	4800	3900	3600	3100	800	550	210	2800	4600	5000	3500	-

EK 3. NOKTALAR ARASI ULAŞIM SÜRESİ (DK)

	D0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	H1	H2	H3	H4	H5
D0	-	7,6	8,6	9,2	10,8	12,4	11,8	13,4	12	8	4,2	2,4	3,6	6,6	5,8	4,6	3,8	6,2	7,8	6,4	7	9	11,8	3,6	3,6	7
C1	7,6	-	2,8	3	4,2	6	6,4	7,8	8,4	4,8	10,4	7,8	10,2	11,4	11,6	10,6	8,6	10,2	4,8	3,6	3,2	2,6	5,6	10,4	9,6	3,6
C2	8,6	2,8	-	2,6	3,6	6	5	7,2	6,8	2	6,8	7,8	10,2	11,2	11,6	10,6	8,6	10	6	4,8	5	0,8	4,8	10,4	9,6	5,2
C3	9,2	3	2,6	-	2,4	4,2	4,8	6	6,6	3,8	7,4	9,6	10,8	12,2	12,6	12,8	10,4	11,8	7,4	6,2	5,8	1,8	3,8	9,6	11,4	6,2
C4	10,8	4,2	3,6	2,4	-	3,2	2,8	4,2	5	4,4	7	9,4	10,4	11,8	12,2	12,4	12,2	13,6	9	7,8	7,6	3	2	9	13,2	8
C5	12,4	6	6	4,2	3,2	-	5,4	6	7,8	6,8	9,6	11,8	13	14,4	14,8	14,8	14,4	17	13	12,6	11	5,2	4,4	11,6	15,4	10,6
C6	11,8	6,4	5	4,8	2,8	5,4	-	2	2,2	4,6	6,2	8,6	9,6	11	11,4	11,6	12,4	13,8	11,2	10,2	9,6	4,6	1,5	8,2	12,8	10
C7	13,4	7,8	7,2	6	4,2	6	2	-	2,2	5,8	7,4	9,8	11	12,2	12,8	12,6	13,6	15	15,6	14,4	11	6,2	2,8	9,4	14	11,4
C8	12	8,4	6,8	6,6	5	7,8	2,2	2,2	-	5,4	6,2	8,6	9,6	11,2	11,4	11,6	12,4	14	14,8	13,2	12,2	7,2	3,8	8,4	12,8	12,6
C9	8	4,8	2	3,8	4,4	6,8	4,6	5,8	5,4	-	4	7,4	8,4	9,8	10,2	10,4	9,8	11,2	9	7,8	6,6	2,2	4,6	6,8	11,6	7,4
C10	4,2	10,4	6,8	7,4	7	9,6	6,2	7,4	6,2	4	-	3,6	3	6	5,8	5,4	7,6	9,2	10	8,4	9	7	6,2	2,2	6,2	9
C11	2,4	7,8	7,8	9,6	9,4	11,8	8,6	9,8	8,6	7,4	3,6	-	2,6	7,4	5,2	4,8	5,8	7,2	8	6,4	7	8,8	8,2	2,2	5	7
C12	3,6	10,2	10,2	10,8	10,4	13	9,6	11	9,6	8,4	3	2,6	-	3,4	3,6	3,6	6,2	7,2	10,6	9	9,6	10	9,4	1,1	4,2	9,6
C13	6,6	11,4	11,2	12,2	11,8	14,4	11	12,2	11,2	9,8	6	7,4	3,4	-	3,6	5,2	7,8	9,4	11,2	9,6	10,2	11,6	11	3,6	6,4	10,2
C14	5,8	11,6	11,6	12,6	12,2	14,8	11,4	12,8	11,4	10,2	5,8	5,2	3,6	3,6	-	2	5,2	6,4	11,4	9	9,6	11,8	11,2	3,8	3,4	9,6
C15	4,6	10,6	10,6	12,8	12,4	14,8	11,6	12,6	11,6	10,4	5,4	4,8	3,6	5,2	2	-	3,4	4,4	7,8	7,2	7,8	10	12,6	4	1,5	7,8
C16	3,8	8,6	8,6	10,4	12,2	14,4	12,4	13,6	12,4	9,8	7,6	5,8	6,2	7,8	5,2	3,4	-	2,2	5	7	7,2	9,8	12,6	7	2	7,2
C17	6,2	10,2	10	11,8	13,6	17	13,8	15	14	11,2	9,2	7,2	7,2	9,4	6,4	4,4	2,2	-	4,8	7,4	6,6	11,8	15,8	8,6	3,4	6,2
C18	7,8	4,8	6	7,4	9	13	11,2	15,6	14,8	9	10	8	10,6	11,2	11,4	7,8	5	4,8	-	1,6	2	7,2	10,4	9,8	6,6	1,6
C19	6,4	3,6	4,8	6,2	7,8	12,6	10,2	14,4	13,2	7,8	8,4	6,4	9	9,6	9	7,2	7	7,4	1,6	-	1,5	5,8	8,8	9	8,2	1,1
C20	7	3,2	5	5,8	7,6	11	9,6	11	12,2	6,6	9	7	9,6	10,2	9,6	7,8	7,2	6,6	2	1,5	-	6,6	9,6	10,2	9,4	0,42
H1	9	2,6	0,8	1,8	3	5,2	4,6	6,2	7,2	2,2	7	8,8	10	11,6	11,8	10	9,8	11,8	7,2	5,8	6,6	-	4,2	9	10,8	5,6
H2	11,8	5,6	4,8	3,8	2	4,4	1,5	2,8	3,8	4,6	6,2	8,2	9,4	11	11,2	12,6	12,6	15,8	10,4	8,8	9,6	4,2	-	8,2	12,6	9,2
H3	3,6	10,4	10,4	9,6	9	11,6	8,2	9,4	8,4	6,8	2,2	2,2	1,1	3,6	3,8	4	7	8,6	9,8	9	10,2	9	8,2	-	5,4	10
H4	3,6	9,6	9,6	11,4	13,2	15,4	12,8	14	12,8	11,6	6,2	5	4,2	6,4	3,4	1,5	2	3,4	6,6	8,2	9,4	10,8	12,6	5,4	-	7
H5	7	3,6	5,2	6,2	8	10,6	10	11,4	12,6	7,4	9	7	9,6	10,2	9,6	7,8	7,2	6,2	1,6	1,1	0,42	5,6	9,2	10	7	-

EK 4. MİNİVAN ARACA GÖRE NOKTALAR ARASI YOL KAPANMA İHTİMALİ

	D0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	H1	H2	H3	H4	H5
D0	-	0,06	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06
C1	0,06	-	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,08
C2	0,04	0,06	-	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06
C3	0,06	0,08	0,06	-	0,06	0,06	0,08	0,06	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,08
C4	0,04	0,06	0,04	0,06	-	0,04	0,06	0,04	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06
C5	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	-	0,06	0,04	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06
C6	0,06	0,08	0,06	0,08	0,06	0,06	-	0,06	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,08
C7	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	-	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06
C8	0,06	0,08	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	-	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,08
C9	0,06	0,08	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,08	-	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,08
C10	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06	0,06	-	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06
C11	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06	0,06	0,04	-	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06
C12	0,06	0,08	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,08	0,08	0,06	0,06	-	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,08
C13	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	-	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06
C14	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	-	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06
C15	0,06	0,08	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	-	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,08
C16	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	-	0,04	0,06	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06
C17	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	-	0,06	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06
C18	0,06	0,08	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	-	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,08
C19	0,06	0,08	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	-	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,08
C20	0,06	0,08	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,08	-	0,06	0,06	0,08	0,06	0,08
H1	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	-	0,04	0,06	0,04	0,06
H2	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,04	-	0,06	0,04	0,06
H3	0,06	0,08	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06	-	0,06	0,08
H4	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	-	0,06
H5	0,06	0,08	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	-

EK 5. NOKTALAR ARASI YÜRÜME SÜRESİ (DK)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
H1	13,0	4,0	9,0	15,0	26,0	23,0	31,0	36,0	11,0	35,0	44,0	50,0	58,0	59,0	50,0	49,0	59,0	36,0	29,0	33,0
H2	28,0	24,0	19,0	10,0	22,0	7,5	14,0	19,0	23,0	31,0	41,0	47,0	55,0	56,0	63,0	63,0	79,0	52,0	44,0	48,0
H3	52,0	52,0	48,0	45,0	58,0	41,0	47,0	42,0	34,0	11,0	11,0	5,5	18,0	19,0	20,0	35,0	43,0	49,0	45,0	51,0
H4	48,0	48,0	57,0	66,0	77,0	64,0	70,0	64,0	58,0	31,0	25,0	21,0	32,0	17,0	7,5	10,0	17,0	33,0	41,0	47,0
H5	18,0	26,0	31,0	40,0	53,0	50,0	57,0	63,0	37,0	45,0	35,0	48,0	51,0	48,0	39,0	36,0	31,0	8,0	5,5	2,1

EK 6. TALEP NOKTALARININ DEVRETME NOKTALARINDAN ÜRÜN ÇEKME DURUMU

[illegible]

EK 7. TEMEL ÖRNEKLER İÇİN TAŞINAN (F_{ijk}) VE BIRAKILAN (Q_{ik}) YÜK MİKTARLARI

Filo	Araç	Rota
FL1	Büyük	Rota D0-H1-H5-C17-C16-C15-D0
		Taşınan Yük 667-394-235-96-52-0
		Bırakılan Yük 273-159-139-44-52-0
	Orta	Rota D0-C10-C8-C7-C5-C4-C13-C14-C11-D0
		Taşınan Yük 484-428-367-250-213-153-89-28-0
		Bırakılan Yük 56-61-117-37-60-64-61-28-0
	Küçük	Rota D0-C12-D0
		Taşınan Yük 61-0
		Bırakılan Yük 61-0
FL2	Büyük	Rota D0-H5-H1-C4-C7-C11-D0
		Taşınan Yük 571-412-205-145-28-0
		Bırakılan Yük 159-207-60-117-28-0
	Büyük	Rota D0-C16-C15-C14-C13-C12-D0
		Taşınan Yük 282-238-186-125-61-0
		Bırakılan Yük 44-52-61-64-61-0
	Büyük	Rota D0-C10-C8-C6-C5-C17-D0
		Taşınan Yük 359-303-242-176-139-0
		Bırakılan Yük 56-61-66-37-139-0
FL3	Orta	Rota D0-C2-C6-C12-C13-C14-C15-D0
		Taşınan Yük 385-304-238-177-113-52-0
		Bırakılan Yük 81-66-61-64-61-52-0
	Orta	Rota D0-C11-C8-C7-C4-C3-C1-D0
		Taşınan Yük 335-307-247-129-69-45-0
		Bırakılan Yük 28-61-117-60-24-45-0
	Orta	Rota D0-C10-C9-C5-H5-C17-C16-D0
		Taşınan Yük 492-436-379-342-183-44-0
		Bırakılan Yük 56-57-37-159-139-44-0
FL4	Büyük	Rota D0-H5-H1-C6-C7-C10-D0
		Taşınan Yük 536-377-239-173-56-0
		Bırakılan Yük 159-138-66-117-56-0
	Orta	Rota D0-C16-C17-C14-C13-C5-C4-C8-C11-D0
		Taşınan Yük 494-450-311-250-186-149-89-28-0
		Bırakılan Yük 44-139-61-64-37-60-61-28-0
	Küçük	Rota D0-C12-D0
		Taşınan Yük 61-0
		Bırakılan Yük 61-1
	Küçük	Rota D0-C15-D0
		Taşınan Yük 52-0
		Bırakılan Yük 52-1
	Küçük	Rota D0-C1-C3-D0
		Taşınan Yük 69-24-0
		Bırakılan Yük 45-24-0

**EK 8. TEMEL ÖRNEKLER İÇİN DEVRETME NOKTALARINDAN
TALEP NOKTALARINA GÖNDERİLEN YÜK MİKTARI (ADET)**

Filo	Noktalar		Gönderilen Yük Miktarı (Z_{hi})
	h	i	
FL1	H1	C1	45
	H1	C2	81
	H1	C3	24
	H1	C6	66
	H1	C9	57
	H5	C18	52
	H5	C19	47
	H5	C20	60
FL2	H1	C1	45
	H1	C2	81
	H1	C3	24
	H1	C9	57
	H5	C18	52
	H5	C19	47
	H5	C20	60
FL3	H5	C18	52
	H5	C19	47
	H5	C20	60
FL4	H1	C2	81
	H1	C9	57
	H5	C18	52
	H5	C19	47
	H5	C20	60

EK 9. ORJİNALLİK RAPORU

 HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA
Tarih: 22/06/2023
Tez Başlığı : İnsani Yardım Lojistiğinde Şehir İçi Dağıtım Planlama Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 99 sayfalık kısmına ilişkin, 19/06/2023 tarihinde çalışmam/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda işaretlenmiş filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 10 'dur. 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 tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim. Gereğini saygılarımla arz ederim. Tarih ve İmza Adı Soyadı: İsmail Nurullah Mutlu Öğrenci No: N20136506 Anabilim Dalı: İşletme Programı: Üretim ve İşlemler Yönetimi Tezli Yüksek Lisans
<u>DANIŞMAN ONAYI</u> UYGUNDUR. Doç. Dr. Mehmet SOYSAL

EK 10. ETİK KURUL MUAFİYET FORMU

	HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ TEZ ÇALIŞMASI ETİK KOMİSYON MUAFİYETİ FORMU
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA	
Tarih: 22/06/2023	
Tez Başlığı: İnsani Yardım Lojistiğinde Şehir İçi Dağıtım Planlama Yukarıda başlığı gösterilen 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 müdahale içermemektedir. 4. Gözlemsel ve betimsel araştırma (anket, mülakat, ölçek/skala çalışmaları, dosya taramaları, veri kaynakları taraması, sistem-model geliştirme çalışmaları) niteliğinde değildir. Hacettepe Üniversitesi Etik Kurullar ve Komisyonlarının Yönergelerini inceledim ve bunlara göre tez çalışmamın yürütülebilmesi için herhangi bir Etik Kurul/Komisyon'dan 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.	
Tarih ve İmza	
Adı Soyadı: İsmail Nurullah Mutlu Öğrenci No: N20136506 Anabilim Dalı: İşletme Programı: Üretim ve İşlemler Yönetimi Tezli Yüksek Lisans Statüsü: ☒ Yüksek Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Doktora	
<u>DANIŞMAN GÖRÜŞÜ VE ONAYI</u>	
UYGUNDUR.	
Doç. Dr. Mehmet SOYSAL	