



Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

**İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİNDE TESİS YER SEÇİMİ VE  
ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN BİR MATEMATİKSEL MODEL  
ÖNERİSİ**

Sedanur TEMİZ

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2021

İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİNDE TESİS YER SEÇİMİ VE ROTALAMA PROBLEMİ  
İÇİN BİR MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİSİ

Sedanur TEMİZ

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2021

## KABUL VE ONAY

Sedanur TEMİZ tarafından hazırlanan "İnsani Yardım Lojistiğinde Tesis Yer Seçimi ve Rotalama Problemi İçin Bir Matematiksel Model Önerisi" başlıklı bu çalışma, 17 Haziran 2021 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

---

Doç. Dr. Mine ÖMÜRGÖNÜLŞEN (Başkan)

---

Doç. Dr. Mehmet SOYSAL (Danışman)

---

Doç. Dr. Sedat BELBAĞ (Üye)

---

Dr. Öğr. Üyesi Bülent ÇEKİÇ (Üye)

---

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÇİMEN (Üye)

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.

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

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

**Sedanur TEMİZ**

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

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

## ETİK BEYAN

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

***Sedanur TEMİZ***

*Ülkeme ve Aileme*

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının her aşamasında benden emeğini, vaktini ve bilgisini esirgemeyen, bu süreçte her zaman desteğini hissettiğim, akademik anlamda bana yol gösterici olan saygıdeğer danışmanım Doç. Dr. Mehmet Soysal 'a içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez jürimde yer alan ve bu tez çalışmasına değerli katkılarda bulunan sayın hocalarım Doç. Dr. Mine Ömürgönülşen'e, Doç. Dr. Sedat Belbağ'a, Dr. Öğr. Üyesi Bülent Çekiç'e ve Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Çimen'e teşekkür ederim.

Çalışanı olduğum Beykent Üniversitesi Lojistik Yönetimi Bölümü'ndeki değerli hocalarıma teşekkür ederim.

Bu tez çalışması boyunca yanımda olan sevgili arkadaşım Hande Cansın Kazanç'a desteği için çok teşekkür ederim.

Üzerimde sonsuz emekleri olan sevgi ve ilgiyle beni bugünlere getiren, her zaman olduğu gibi bu süreçte de hep yanımda olan, desteklerini daima hissettiğim çok sevgili babam Yusuf Temiz'e, annem Rahile Temiz'e ve kardeşim Hatice Sena Temiz'e sonsuz teşekkür ederim.

## ÖZET

TEMİZ, Sedanur. *İnsani yardım lojistiğinde tesis yer seçimi ve rotalama problemi için bir matematiksel model önerisi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2021

Sayıları giderek artan afetler, çok sayıda can ve mal kaybına neden olmaktadır. Bu kayıpların en aza indirilmesi amacıyla sürdürülen insani yardım lojistik faaliyetlerinin etkili bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda afetzedelerin ihtiyaçlarının en hızlı ve en uygun maliyetle karşılanması için tesis konumlarının belirlenmesi ve buna bağlı olarak dağıtım planı oluşturulması gerekmektedir. İnsani yardım lojistiğinde tesis konumu ve araç rotalama kararları verilmesinde afetin sebep olduğu altyapı hasarlarının ve talebin belirsizliği gibi belirsizliklerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu tez çalışmasının amacı, insani yardım faaliyetlerinde bulunan kuruluşlara bir karar destek model önerisi sunmaktır. Bu kapsamda insani yardım lojistiğinde tesis yer seçimi ve rotalama problemi için olasılıklı iki amaçlı karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli önerilmektedir. Bu modelin amaçlarından birini maliyet minimizasyonu, diğerini ise seyahat süresi minimizasyonu oluşturmaktadır. Maliyet minimizasyonu; araç sabit maliyetini, tesis sabit maliyetini ve yakıt maliyetini içermektedir. Bu doğrultuda yakıt tüketiminin hesaplamasına ilişkin değerlendirmelerde bulunmaktadır. Önerilen model heterojen araç filo yapısını ve afet sonrasında yolların kapanma durumunu dikkate almaktadır. Bununla birlikte afetzedelerin taleplerinin belirsizliği de göz önünde bulundurulmaktadır. Modelin doğruluğu ve uygulanabilirliği, İstanbul ili Kartal ilçesinde meydana gelebilecek olası bir depremi ele alan örnek olay ve sonrasında yapılan nümerik analizlerle gösterilmektedir. Bu çerçevede yapılan nümerik analizlerle gerçek hayatta karar vericilere destek niteliğinde karşılaşılabilecek durumlar üzerinde durulmaktadır. Nümerik analizler toplam maliyet ve seyahat süresi arasındaki ödünleşmeyi ortaya koymaktadır. Ayrıca, heterojen araç filosu kullanma, talebin belirsizliği ile yol kapanma durumunun dikkate alınmasının sağladığı avantajlar değerlendirilmektedir.



**Anahtar Sözcükler**

İnsani Yardım Lojistiği, Yer Seçimi ve Rotalama Problemi, Yakıt Tüketimi, Heterojen Araç Filosu, İki Amaçlı Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama

## ABSTRACT

TEMİZ, Sedanur. *A quantitative model proposal for location routing problem in humanitarian logistics*, Master's Thesis, Ankara, 2021

The increasing number of disasters causes loss of life and property. To minimize these losses, humanitarian aid logistics activities need to be managed effectively. Accordingly, facility locations should be determined, and a distribution plan should be created to meet the needs of disaster victims in the fastest and most cost-effective way. In making facility location and vehicle routing decisions in humanitarian logistics, uncertainties such as infrastructure damage caused by the disaster and the uncertainty of demand should be considered. The aim of this study is to propose a decision support model to organizations engaged in humanitarian aid activities. In this context, a probabilistic bi-objective mixed integer linear programming model is proposed for a facility location routing problem confronted in humanitarian logistics. One of the objectives of this model is to minimize total cost, and the other one is to minimize total travel time. Cost minimization includes vehicle fixed cost, facility fixed cost and fuel cost. Therefore, evaluations are made regarding the calculation of fuel consumption. The proposed model considers the heterogeneous vehicle fleet structure and the closure of roads after a disaster. Moreover, the uncertainty of the demands of the victims is also respected. The accuracy and applicability of the model are demonstrated by a case study and subsequent numerical analysis. The case study is about a possible earthquake in the Kartal district of Istanbul. The numerical analyses emphasize the situations that can be encountered in real life as a support for decision-makers. The obtained results reveal the tradeoff between total cost and travel time. In addition, the advantages of using a heterogeneous vehicle fleet, the uncertainty of demand and road closure are evaluated.

**Keywords**

Humanitarian Logistics, Location Routing Problem, Fuel Consumption, Heterogeneous Vehicle Fleet, Probabilistic Bi-Objective 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 .....	xv
GİRİŞ .....	1
1. BÖLÜM: LOJİSTİK YÖNETİMİ.....	4
1.1. İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİ.....	7
2. BÖLÜM: YER SEÇİMİ VE ROTALAMA PROBLEMİ.....	12
2.1. İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİNDE YER SEÇİMİ VE ROTALAMA PROBLEMİ .....	14
2.2. İLGİLİ LİTERATÜR .....	14
3. BÖLÜM: YER SEÇİMİ VE ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ.....	31
3.1. PROBLEM TANIMI ve MODEL ÖNERİSİ.....	31
3.2. YAKIT TÜKETİMİ HESAPLAMASI.....	38
4. BÖLÜM: NÜMERİK ANALİZLER .....	40
4.1. KÜÇÜK BİR ÖRNEK ÜZERİNDE MODELİN DOĞRULANMASI.....	41
4.1.1. Küçük Örnek Veri Setinin Tanıtılması .....	41
4.1.2. Sonuçlar .....	45

<b>4.2. ÖRNEK OLAY İNCELEMESİ .....</b>	<b>49</b>
<b>4.2.1. Örnek Olay Veri Setinin Tanıtılması .....</b>	<b>49</b>
<b>4.2.2. Örnek Olay Çözümü ve Analizi.....</b>	<b>57</b>
<b>4.3. ÖRNEK OLAY ÜZERİNDE SENARYO ANALİZLERİ.....</b>	<b>66</b>
<b>4.3.1. Toplam Maliyetin Ödünleşme Analizi .....</b>	<b>66</b>
<b>4.3.2. Toplam Seyahat Süresinin Ödünleşme Analizi.....</b>	<b>70</b>
<b>4.3.3. Araç Turlarının Farklı Kapanmama Olasılıklarında Amaç Fonksiyonlarının Analizi.....</b>	<b>73</b>
<b>4.3.4. Farklı Araç Filolarında Amaç Fonksiyonlarının Analizi.....</b>	<b>76</b>
<b>4.3.5. Talebin Farklı Belirsizlik Durumlarında Amaç Fonksiyonlarının Analizi .....</b>	<b>79</b>
<b>SONUÇ.....</b>	<b>82</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>85</b>
<b>EK 1. NOKTALARIN İSİMLERİ VE KOORDİNATLARI.....</b>	<b>107</b>
<b>EK 2. NOKTALAR ARASI MESAFE (<math>a_{ij}</math>).....</b>	<b>108</b>
<b>EK 3. NOKTALAR ARASI SEYAHAT SÜRESİ (<math>t_{ij}</math>).....</b>	<b>109</b>
<b>EK 4. NOKTALAR ARASI HIZ (<math>g_{ij}</math>) .....</b>	<b>110</b>
<b>EK 5. YOL KAPANMA İHTİMALLERİ (<math>N_{ij}</math>) .....</b>	<b>111</b>
<b>EK 6. TEZ KAPSAMININDA ÖNERİLEN MODELİN KODU.....</b>	<b>112</b>
<b>EK 7. ORİJİNALLİK RAPORU .....</b>	<b>116</b>
<b>EK 8. ETİK KURUL MUAFİYET FORMU.....</b>	<b>117</b>

## TABLOLAR DİZİNİ

- Tablo 1 Afetlerin Sınıflandırılması (Van Wassenhove, 2006)
- Tablo 2 Yer Seçimi ve Rotalama Probleminde Yakıt Tüketimini Ele Alan Literatür İnceleme Tablosu
- Tablo 3 Yer Seçimi ve Rotalama Probleminde Belirsizliği Ele Alan Literatür İnceleme Tablosu
- Tablo 4 Notasyon Tablosu
- Tablo 5 Küçük Örnek Talep Değerleri (kg)
- Tablo 6 Küçük Örnekte Noktalar Arası Mesafe (m)
- Tablo 7 Küçük Örnekte Noktalar Arası Seyahat Süresi (sn)
- Tablo 8 Küçük Örnekte Noktalar Arası Hız (m/sn)
- Tablo 9 Küçük Örnekte Noktalar Arası Yol Kapanma İhtimalleri ( $N_{ij}$ )
- Tablo 10 Küçük Örnekte Potansiyel Tesis Açma Sabit Maliyetleri (€)
- Tablo 11 Tüm Araç Tipleri İçin Geçerli Yakıt Hesaplama Parametreleri
- Tablo 12 Araç Tiplerine Göre Değişiklik Gösteren Yakıt Hesaplama Parametreleri
- Tablo 13 Teknik Parametrelerin Hesaplanan Değerleri
- Tablo 14 Araç Tiplerine Göre Değişiklik Gösteren Teknik Parametrelerin Hesaplanan Değerleri
- Tablo 15 Araç Kapasiteleri ve Maliyetleri
- Tablo 16 Küçük Örnek Performans Kriterleri Değerleri
- Tablo 17 Küçük Örnek İçin Maliyet Minimizasyonu Durumu Dağıtım Planı
- Tablo 18 Küçük Örnek İçin Maliyet Minimizasyonu Durumunda Taşınan Yük Miktarı ( $F_{ijms}$ ) (kg)

- Tablo 19 Küçük Örnek İçin Maliyet Minimizasyonu Durumunda Bırakılan Yük Miktarı ( $Q_{inms}$ ) (kg)
- Tablo 20 Küçük Örnek İçin Seyahat Süresi Minimizasyonu Durumunda Oluşan Dağıtım Planı
- Tablo 21 Küçük Örnek İçin Seyahat Süresi Minimizasyonu Durumunda Taşınan Yük Miktarı ( $F_{ijnms}$ ) (kg)
- Tablo 22 Küçük Örnek İçin Seyahat Süresi Minimizasyonu Durumunda Bırakılan Yük Miktarı ( $Q_{inms}$ ) (kg)
- Tablo 23 Depremden Hasar Gören Hane Sayısı
- Tablo 24 Örnek Olay Talep Değerleri (kg)
- Tablo 25 Örnek Olay Potansiyel Tesis Açma Sabit Maliyetleri (€)
- Tablo 26 Matematiksel Modelde Kullanılan Parametre Değerleri
- Tablo 27 Örnek Olay İçin Temel Performans Kriterleri Değerleri
- Tablo 28 Örnek Olay İçin Her İki Durumda Elde Edilen Araç Rotaları
- Tablo 29 Örnek Olay İçin Maliyet Minimizasyonu Durumunda Taşınan Yük Miktarları ( $F_{ijnms}$ ) (kg)
- Tablo 30 Örnek Olay İçin Maliyet Minimizasyonu Durumunda Bırakılan Yük Miktarları ( $Q_{inms}$ ) (kg)
- Tablo 31 Örnek Olay İçin Toplam Seyahat Süresi Minimizasyonu Durumunda Taşınan Yük Miktarları ( $F_{ijnms}$ ) (kg)
- Tablo 32 Örnek Olay İçin Toplam Seyahat Süresi Minimizasyonu Durumunda Bırakılan Yük Miktarları ( $Q_{inms}$ ) (kg)
- Tablo 33 Rotaların Yol Kapanmama Değerleri
- Tablo 34 Toplam Maliyetin Ödünleşme Analizi Performans Kriterleri Değerleri
- Tablo 35 Toplam Seyahat Süresi Ödünleşme Analizi Temel Performans Kriterleri Değerleri

- Tablo 36 Araç Turunun Farklı Kapanmama Olasılıklarında Temel Performans Kriterleri Değerleri
- Tablo 37 Araç Turunun Farklı Kapanmama Olasılıklarında Dağıtım Planı
- Tablo 38 Farklı Araç Filolarında Temel Performans Kriterleri Değerleri
- Tablo 39 Farklı Araç Filolarında Oluşan Dağıtım Planı
- Tablo 40 Farklı Talep Belirsizliği Durumlarında Temel Performans Kriterleri Değerleri
- Tablo 41 Talebin Farklı Belirsizlik Durumlarında Elde Edilen Araç Rotaları



## ŞEKİLLER DİZİNİ

- Şekil 1 Lojistik Yönetimi Bileşenleri (*Stock ve Lambert, 2001*)
- Şekil 2 Problemlerin Genel Gösterimleri (*Hauder vd., 2018*)
- Şekil 3 Yıllara Göre Makale Sayısı Dağılım Grafiği
- Şekil 4 Potansiyel Tesis ve Talep Noktalarının Haritada Gösterimi
- Şekil 5  $M_w=7,5$  Şiddetinde Bir Deprem Meydana Geldiğinde Yol Kapanma Dağılım Haritası
- Şekil 6 Örnek Olay İçin Maliyet Minimizasyonu Durumunda Dağıtım Planı
- Şekil 7 Örnek Olay İçin Toplam Seyahat Süresi Minimizasyonu Durumunda Dağıtım Planı
- Şekil 8 Toplam Maliyetin Ödünleşme Analizi Grafiği
- Şekil 9 Toplam Seyahat Süresi Ödünleşme Analizi Grafiği

## GİRİŞ

Lojistik, günümüzde küreselleşmenin de etkisiyle oldukça önemli bir yere sahiptir. Lojistik faaliyetlerin etkin bir şekilde planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesiyle müşteri ihtiyaç ve beklentilerinin karşılanmasını sağlayan lojistik yönetimi, rekabet avantajı gibi pek çok avantajın elde edilmesine imkân tanımaktadır. Lojistik yönetimi, işletmelere sağladığı bu avantajlar ile kritik bir öneme sahip olmuştur. İşletme lojistiğinin yanı sıra, temelinde lojistik faaliyetler olan insani yardım faaliyetlerinin iyi bir şekilde planlanması hayati önem taşımaktadır.

Afetler, her yıl çok sayıda can ve mal kaybına sebep olmaktadır. İnsani yardım; deprem, tsunami, sel gibi doğal afetler meydana geldiğinde, bu kayıpların en aza indirilmesi amacıyla sürdürülen faaliyetleri kapsamaktadır. Afet yönetiminin temel bileşenlerinden biri; insani yardımın kayıpları en aza indirme amacının gerçekleştirilmesinde oldukça önemli bir yere sahip olan insani yardım lojistiğidir. Dolayısıyla, bir afet meydana gelmeden lojistik faaliyetlerin planlanması gerekmektedir. Bu kapsamda tesis konumlarının belirlenmesi kararının öncelik arz etmesi gerekmektedir. Tesis konum kararlarına bağlı olarak dağıtım planının oluşturulması gerekmektedir. Tesis yer seçimi ve dağıtım planının oluşturulması kararlarında, yardım malzemelerinin doğru zaman ve doğru yerde afetzedelere ulaştırılmasında, afetin beraberinde getirdiği zorlukların göz önüne bulundurulması gerekmektedir. Afetzedelerin taleplerinin belirsiz olması ve afetlerin neden olduğu hasarlar dikkate alınması gereken zorluklar arasında sayılabilmektedir. Örneğin; hasar gören yollar sebebiyle afetzedelerin ihtiyaçlarının giderilmesi noktasında gecikmeler meydana gelebilmektedir. Bu durum ise kayıpların azaltılması hedefi ile örtüşmemektedir.

Bu tez çalışmasında amaç; insani yardım faaliyetleri sürdüren kurum ve kuruluşlara bir karar destek model önerisi sunulmasıdır. Bu doğrultuda, yer seçimi ve rotalama problemi için hedefleri toplam maliyetin ve toplam seyahat süresinin en küçüklenmesi olan

olasılıklı iki amaçlı karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli önerilmektedir. Söz konusu amaçlardan toplam maliyetin minimizasyonu; yakıt maliyetini, tesis sabit maliyetini ve araç sabit maliyetini içermektedir. Ayrıca model kapsamında bir afet meydana geldiğinde afetzedelerin talepleri ve yol hasarları sebebiyle kapanan yollara ilişkin belirsizlik durumu dikkate alınmaktadır. İhtiyaç sahiplerinin taleplerinin karşılanmasında araç filosunun farklı araçlardan oluştuğu heterojen yapı ele alınmaktadır. Modelin bahsedilen belirsizlikleri ele alması, heterojen araç filosu ile çalışılması, yakıt tüketimi hesaplamasını içermesi sebebiyle literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu tez çalışmasında İstanbul ili Kartal ilçesinde meydana gelebilecek moment büyüklüğü 7,5 olan olası bir deprem durumu örnek olay olarak ele alınmaktadır. Önerilen modelin doğrulanması ve sağlayacağı faydanın gösterilmesi adına örnek olaya ilişkin nümerik analizlere yer verilmektedir.

Çalışmanın ilk bölümünde, lojistik yönetimi kavramı ele alınmaktadır. Lojistik kavramına, lojistik yönetimine ilişkin literatürde yer alan tanımlara yer verilmektedir. Ayrıca insani yardım lojistiği tanımı yapılacak olup insani yardım lojistiğinin önemi tartışılmaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, yer seçimi ve rotalama problemlerine ilişkin genel bilgiler verilmektedir. İnsani yardım lojistiğinde yer seçimi ve rotalama problemi üzerinde durulmaktadır. Sonrasında bu konuya ilişkin ilgili literatür sunulmaktadır.

Üçüncü bölümde ise insani yardım lojistiğinde yer seçimi ve rotalama problemi için problem tanımına ve çözümü için önerilen modele yer verilmektedir. Ayrıca toplam maliyeti oluşturan bileşenlerden yakıt maliyetinin hesaplanması sunulmaktadır.

Dördüncü bölümde, yapılan nümerik analizlerin sonuçlarına yer verilmektedir. Öncelikle küçük örnek üzerinde modelin doğrulanması sunulmaktadır. Sonrasında ise örnek olaya

ilişkin veri setinin tanıtılmasına ve örnek olayın analizine ve çözümüne yer verilmektedir. Örnek analiz üzerinde bazı senaryo analizleri sunulmaktadır.

Sonuç bölümünde ise tez çalışması üzerine genel değerlendirmelere yer verilmektedir.

## 1. BÖLÜM: LOJİSTİK YÖNETİMİ

Bu bölümde lojistik yönetimi ve insani yardım lojistiği hakkında genel bilgiler verilmektedir.

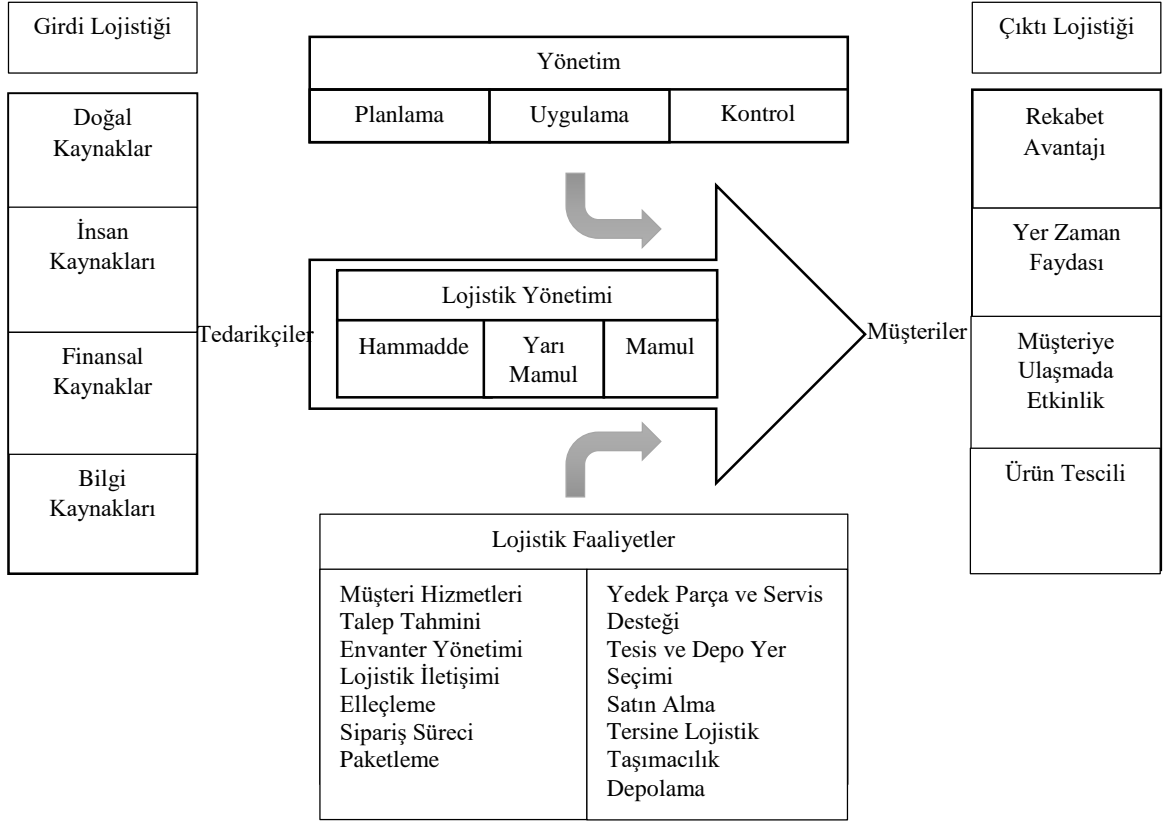
Lojistik kelimesinin kökeni Yunanca “*hesaplamada yetenekli olan*” anlamına gelen “*logistikos*” tan gelmektedir (Van Wassenhove, 2006). Çok eskilere dayanan bu terim sonrasında askeri alanlarda yer almasıyla savaş gibi kritik zamanlarda malzemelerin, insanların taşınması ve bunlara ilişkin süreçlerin tanımlanmasında kullanılmıştır (Van Wassenhove, 2006). Askeri alanda kullanılan bu terim sonrasında iş alanında kullanılmaya başlanmış olup akademide de çalışmalara yer verilmiş, aynı isimle programlar açılmıştır (Nahmias ve Olsen, 2015).

Sistemlerin, ürünlerin farklılık göstermesi sebebiyle lojistiğin tek ve kesin bir tanımı bulunmamaktadır. Lojistik var olduğu bağlamda dinamik yapısıyla farklı işlevlere sahip olmaktadır. Bu yüzden de literatürde farklı lojistik tanımlarına yer verilmektedir. Bu tanımlardan bir tanesi lojistiğin hammadde kaynağından başlayarak nihai ürünün teslimine kadar olan tüm süreçlerde ürünün fiziksel akışının yanı sıra ürüne ilişkin bilgi, kaynak akışı ile depolamanın sağlanması şeklinde ifade edilmektedir (Rushton vd., 2006). Kaynağın doğru zaman, doğru yer, doğru maliyet ve doğru kalite dikkate alınarak konumlandırılması yine lojistik tanımı olarak sunulmaktadır (Rushton vd., 2006). Bir başka tanımda ise lojistik; müşteri beklentilerini karşılamak üzere tedarik noktasından çıkan malların önce üretim noktalarına daha sonra son kullanıcıya ulaştırılmasında tüm faaliyetlerin maliyet etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi olarak ifade edilmektedir (Barber, 2011; Stock ve Lambert, 2001). Genel olarak bu tanımları derleyen ve literatürde yer alan Tedarik Zinciri Yönetimi Profesyonelleri Konseyi tarafından yapılan lojistik tanımı: “*Müşteri gereksinimlerini karşılamak amacıyla malların ve bunlara ilişkin bilgilerin menşe noktasından tüketim noktasına kadar verimli ve etkin bir şekilde taşınması ve depolanması için prosedürlerin planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesi sürecidir.*” şeklindedir (CSCMP, 2013). Aynı konsey lojistik yönetimini; müşteri

ihtiyaçlarını karşılamak için malların, hizmetlerin ve bunlara ilişkin bilgilerin ileri ve geri akışını, depolanmasını etkin ve verimli bir şekilde planlayan, uygulayan ve kontrol eden tedarik zinciri yönetiminin bir bölümü olarak tanımlamaktadır (CSCMP, 2013).

Lojistik yönetiminin bileşenlerine yer verilen Şekil 1’de görüldüğü üzere lojistik yönetimi hammadde, yarı mamul ve nihai ürünü tedarikçilerden müşterilere ulaştırmaktadır. Bu doğrultuda girdi olarak sürece dahil edilen kaynaklar ile (doğal kaynaklar, insan kaynakları, finansal kaynaklar, bilgi kaynakları) Şekil 1’de yer alan lojistik faaliyetlerin etkin ve verimli bir şekilde yürütülmesi sonucunda rekabet avantajı, yer-zaman faydası gibi çıktıların elde edilmesi sağlanmaktadır. Tüm bu sistem yönetimin planlama, uygulama ve kontrol etme işlevlerini kapsamaktadır (Stock ve Lambert, 2001).

**Şekil 1.** Lojistik Yönetimi Bileşenleri (Stock ve Lambert, 2001)



Bir sistem olarak lojistik birbirine bağı tesisler kümesinden oluşmaktadır. Malzemeler bu tesislerde depolanmakta ve işlenmektedir. Söz konusu tesisler arasında malzemelerin akışı taşıma ekipmanları ile sağlanmaktadır. Lojistik sistemlerin temel faaliyetleri sipariş işleme, envanter yönetimi ve yük taşımacılığı olarak ifade edilmektedir. Söz konusu faaliyetleri içeren tüm bu sistem ele alındığında sistemin tasarlanması ve çalıştırılmasında önemli sorunlar ile karşılaşmaktadır. Bu sorunlar için alınan lojistik kararlar planlama ufku dikkate alınarak stratejik, taktik ve operasyonel olmak üzere seviyelendirilmektedir. Stratejik seviye kararlar, bir lojistik sistemde alınan uzun dönemli kararlardır. Dolayısıyla etkileri uzun yıllar sürmektedir. Bu kararlara tesis yeri ve büyüklüğü, tesis ve depo yerleşimi, filo büyüklüğü örnek verilebilmektedir. Orta vadeli olarak ifade edilen kararlar ise taktik seviye kararlardır. Depo tahsis ve ulaştırma modu kararları bu seviyede verilen kararlara örnek gösterilmektedir. Son olarak, daha kısa bir zaman dilimi için etkili olan kararlar, operasyonel kararlar olarak ifade edilmektedir. Bu seviyede sipariş toplama ve sevkiyat kararları gibi kararlar alınmaktadır. Lojistik sistemlerde doğru kararların alınmasında karar destek yöntemleri oldukça önemlidir. Bu noktada nicel analizler karar vericilere optimizasyon, simülasyon gibi çeşitli planlama araçları sağlamaktadır (Ghani vd., 2013).

Lojistik ve lojistik yönetimine ilişkin yapılan tanım ve açıklamalardan görüldüğü üzere lojistik, tedarik zincirinin bir parçası olarak ifade edilmektedir. Bu doğrultuda lojistiğin daha iyi anlaşılması adına tedarik zincirinin ele alınması önemlidir. Tedarik zinciri; ürün/hizmet üreten girdileri müşteri memnuniyeti elde etmek amacıyla müşteri taleplerine uygun çıktılara dönüştüren birbirleriyle bağlantılı süreçler dizisidir. Bu süreçler hem firma içerisinde hem de farklı firmalar boyunca var olan süreçlerdir (Krajewski vd., 2009). Bu doğrultuda talebin karşılanmasında doğrudan ve dolaylı ilgili tüm taraflardan oluşmaktadır. Tedarik zinciri; müşteri, perakendeci, toptancı/dağıtıcı, üretici ve hammadde tedarikçilerini içeren aşamalardan oluşabilmektedir. Her aşama her tedarik zincirinde bulunmak durumunda değildir. Var olan aşamalar arasında ürün, bilgi, paranın iki yönlü akışı söz konusudur (Chopra ve Meindl, 2017). Tedarik zinciri yönetimi ise bir firmanın süreçlerinin müşteri ve tedarikçi süreçleri ile senkronize edilmesini ifade

etmektedir. Bunu yaparken müşteri taleplerine cevap verebilecek malzeme, hizmet, bilgi akışlarının uyumlaştırılması hedeflenmektedir (Krajewski vd., 2009).

## 1.1. İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİ

Afetler tüm dünyada çok sayıda can kaybına ve büyük miktarlarda ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Boonmee vd.'nin 2017'deki çalışmasına göre afet *“zarar, yıkım, ekolojik bozulma, insan hayatının kaybı, insanların acı çekmesi veya sağlık ve sağlık hizmetlerinin, etkilenen topluluk veya bölge dışından olağanüstü bir müdahaleyi gerektirecek ölçekte bozulmasına neden olan herhangi bir olaydır”* şeklinde tanımlanmaktadır (Boonmee vd., 2017). Bir başka tanımda afet *“Bir topluluğun veya toplumun işlevini ciddi şekilde zayıflatan ve topluluğun veya toplumun kapasitesinin ötesinde insan, maddi, ekonomik veya çevresel zarara neden olan ani, yıkıcı bir olaydır”* şeklinde ifade edilmektedir (Geng vd., 2020). Afetler; doğal afetler ve doğal olmayan afetler olmak üzere kategorize edilmektedir. Deprem, tsunami, sel doğal afetlere örnek verilirken; terör saldırıları doğal olmayan afetlere örnek verilebilir. Söz konusu doğal ve doğal olmayan afetler ani bir şekilde meydana gelebileceği gibi yavaş bir şekilde de gelişebilmektedir. Afetlerin bu şekilde kategorize edilmesi Tablo 1’de gösterilmektedir (Van Wassenhove, 2006).

**Tablo 1.** Afetlerin Sınıflandırılması (Van Wassenhove, 2006)

	Doğal Afetler	İnsan Kaynaklı Afetler (Doğal Olmayan Afetler)
Ani Gelişen Doğal Afetler	Deprem, Kasırga, Hortum	Terör Saldırıları, Kimyasal Sızıntı
Yavaş Gelişen Doğal Afetler	Kıtlık, Kuraklık, Yoksulluk	Politik Krizler, Göçmen Krizleri

Doğal afetler boyut ve sayı bakımından 1950’li yıllardan beri giderek artış göstermektedir (Boonmee vd., 2017; Mansoori vd., 2020; Oruc ve Kara, 2018). Hem sosyal hem de ekonomik olarak büyük kayıplarla sonuçlanan doğal afetler, tüm dünyada her yıl 70000 insanın ölümüne sebep olurken, yılda ortalama 200 milyonu aşkın insanı etkilemektedir



(Boonmee vd., 2017; Oksuz ve Satoglu, 2020). Meydana gelen bu afetlerin yıkıcı etkilerine en çok maruz kalan iki kıta Asya ve Amerika kıtalarıdır (Boonmee vd., 2017). İnsani krizleri ve afetlerin risklerini 191 ülke için ölçen ve sıralama yapan INFORM Küresel Risk Endeksi raporunda 2019 verileri Türkiye açısından durumu değerlendirmede gösterge niteliğindedir. Bu raporda Türkiye ele alınan ülkeler arasında tehlike ve maruziyet puanına bakılarak en riskli onuncu ülke olarak gösterilmektedir (AFAD, 2020). Bu doğrultuda Türkiye, özellikle bir deprem bölgesi olması sebebiyle çok büyük kayıplarla sonuçlanan afet geçmişine sahiptir. Örneğin, 1999 yılında meydana gelen moment büyüklüğü (Mw) 7,6 şiddetindeki Marmara depremi 17000 can kaybının yanı sıra 20 milyar dolarlık maddi kayba yol açmıştır (Oksuz ve Satoglu, 2020). Deprem sebebiyle Türkiye’de son 58 yılda 58202 can kaybı yaşanmıştır. Her yıl ortalama 1001 insan ölmektedir. Ölüm oranlarının yanı sıra yine son 58 yılda 122096 vatandaş deprem sebebiyle yaralanmıştır. Yıkılmış veya ağır hasar almış 411465 bina mevcuttur (AFAD, 2019).

Afetzedelerin ihtiyaçlarının en kısa sürede karşılanması, bahsedilen büyük kayıpların en aza indirilmesinde oldukça önemlidir. Bu noktada, afet sonrasında ölüm oranlarının azaltılmasında yardım malzemeleri hayati önem taşımaktadır (Mansoori vd., 2020). 2010 Haiti depremi bu önemi gözler önüne sermektedir. Yardım malzemelerinin ulaştırılması, dağıtımı ve tesislerin kurulumu alanlarında bu deprem ders niteliği taşımaktadır. Haiti depreminde yardım malzemeleri ancak 2 gün sonra afet bölgesine ulaşmaya başlamıştır (Oksuz ve Satoglu, 2020). Bununla birlikte Birleşmiş Milletler bu olayda günde 20000 afetzedeye hizmet vermeyi planladığı 16 dağıtım noktasını kurmak için en azından 20 güne ihtiyaç duymuştur. Üstelik söz konusu kapasite 2 milyon afetzede için oldukça yetersizdir (Loree ve Aros-Vera, 2018). Yardımların dağıtımında ise yardım bekleyen insan sayısının fazlalığından, insanların birbirlerini ezdiği dolayısıyla bir süre dağıtıma ara verildiği bilinmektedir (Ozen ve Krishnamurthy, 2018). Bir afet meydana geldiğinde sonrasında yapılan lojistik faaliyetlerin afetzedelerin acılarının dindirilmesi ve canlarının kurtarılması için yürütülmesi gerekmektedir (Oruc ve Kara, 2018).

İnsani yardım lojistiği, yardım malzemelerinin optimal maliyetle verimli bir şekilde hem akışının hem de depolanmasının planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesine yönelik faaliyetler bütünüdür. Bu faaliyetlerin yanı sıra malzemenin tedarikinden son kullanıcıya ulaşmasına kadar olan tüm süreçlerde bilginin toplanmasını ve akışını da sağlamaktadır. Sadece malzemenin akışı değil aynı zamanda insani yardım lojistiği afet sonrasında insanların buldukları afet bölgesinden güvende olacakları bölgelere tahliye edilmesine yönelik akışı da içermektedir (Boonmee vd., 2017; Oruc ve Kara, 2018).

İnsani yardım lojistiği pek çok açıdan işletme lojistiğinden farklılık göstermektedir. Örneğin; işletme lojistiğinde talep istikrarlı ve tahmin edilebilirken insani yardım lojistiğinde talep değişkenlik göstermektedir. Aynı şekilde arz işletme lojistiğinde tahmin edilebilir olmasına rağmen, insani yardım lojistiğinde yapılan bağışlar göz önünde bulundurulduğunda tahmin edilmesi güçtür. Ayrıca işletme lojistiğinde ticari ürünlerin akışı söz konusuysen insani yardım lojistiğinde yiyecek, çadır, hijyen kitleri gibi yardım malzemelerinin akışı gerçekleştirilmektedir. Teknoloji ve bilgi sistemleri açısından değerlendirildiğinde ise işletme lojistiğinde yüksek teknolojiden faydalandığı ancak insani yardım lojistiğinde veri ağının mevcut olmadığı ve işletme lojistiğine kıyasla daha az teknolojiden faydalandığı belirtilmektedir (Ertem vd., 2010).

İnsani yardım lojistik operasyonlarının sürdürülmesinde ve ihtiyaç sahiplerine cevap verilebilirlikte, işletme lojistiğinden insani yardım lojistiğinin farkını ortaya koyan pek çok zorluk ile karşılaşmaktadır (Sheu, 2007). Bunun en önemli sebeplerinden birisi afetten sonra bölgenin yol, su, elektrik gibi altyapı hasarları almasıdır. Bu tür hasarlar hem maliyeti arttırmakta hem de lojistik faaliyetleri zorlaştırmaktadır (Loree ve Aros-Vera, 2018; Oruc ve Kara, 2018). Hasarların maliyet artışına etkilerine 2005 yılında gerçekleşen Katrina Kasırgası örnek olarak verilebilmektedir. Katrina Kasırgası'nda, afet ile ilgili toplam maliyetlerin yaklaşık %27'sini enkazın temizlenmesi oluşturmuştur. Bir başka örnek ise, afetin neden olduğu altyapı hasar maliyetinin 33 milyar dolara ulaştığı Sandy Kasırgası'dır (Aslan ve Çelik, 2019). Özellikle afetin geride bıraktığı hasarlı yollar lojistik operasyonlarda malzeme teslimatını güçleştirmektedir (Sabouhi vd., 2020).

Ayrıca normal şartlarda malzeme sağlayan kaynakların afet sonrası malzeme sağlayamaması, farklı kaynaklardan malzeme ihtiyaçlarının koordineli bir şekilde bölgeye ulaşmasının gerekliliği de zorluklar arasında sayılabilmektedir (Loree ve Aros-Vera, 2018).

Afet karakteristiğinin belirsiz yapısı söz konusudur. Belirsizliğin en çok ön plana çıktığı doğal afetlerden biri depremdir. Burada konum, zamanlama ve büyüklük boyutlarında öngörülebilir bulunulamaz (Garrido ve Aguirre, 2020). Dolayısıyla bu boyutlar, talebin belirsizliği, seyahat süresi gibi farklı belirsizlikleri beraberinde getirmektedir. Özellikle yardım malzemelerinin afetzedelere sağlanamaması kayıpların artmasına sebep olmaktadır. Bu yönüyle en önemli faktörlerden biri talebin belirsizliği olarak ifade edilmektedir. Söz konusu belirsizlikler lojistik operasyonlar için karmaşık bir yapı sunmaktadır (Oruc ve Kara, 2018; Zhong vd., 2020). Tahmin etmedeki güçlüklerle rağmen; doğru zamanda, doğru yerde yardım araçlarının bulunması amacının gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Garrido ve Aguirre, 2020).

Afetleri sistemli bir şekilde ele alan afet yönetiminin aşamaları hafifletme, hazırlık, müdahale, kurtarma şeklinde sınıflandırılmaktadır. Yardım araçlarının doğru zamanda, doğru yerde bulunması amacının gerçekleştirilmesi için ise acil durum planlarının, hazırlık aşamasında oluşturulması gerekmektedir. (Ahmadi vd., 2015). İkinci aşama olan hazırlık aşamasında gerçekleşen afetlerin analizi yapılmaktadır. Böylelikle sonraki dönemler için stratejiler belirlenmektedir (Bharandev ve Ali, 2016). Hazırlık aşamasında yöneticiler tarafından kurulan yaklaşımların, etkili müdahale süresini ve lojistik maliyetleri en aza indirilmesi amaçlarını içermesi gerekmektedir. Ayrıca afetzedelerin memnuniyetlerinin maksimize edilmesi amacı da ele alınabilmektedir. Dolayısıyla insani yardım lojistiği bu amaçları göz önünde bulunduran çok amaçlı bir problem olarak modellenebilmektedir (Saylam ve Şen, 2020). Bu kapsamda tesislerin doğru konumlandırılması gerekliliğinin göz önünde bulundurulması ve belirlenen tesislerden yardım malzemelerinin talep noktalarına dağıtımının sağlanması kapsamında araç rotalarının belirlenmesi gerekmektedir. Sonrasında, afetin getirdiği karmaşık yapıda

faaliyetlerin sürdürülmesi için hasar değerlendirmesi önemli rol oynamaktadır. Bunun erken aşamalarda tamamlanması gerekmektedir (Oruc ve Kara, 2018). Ayrıca bu konuda verilecek doğru kararlar, karmaşık yapıda faaliyetlerin sürdürülmesinde destek niteliğindedir.

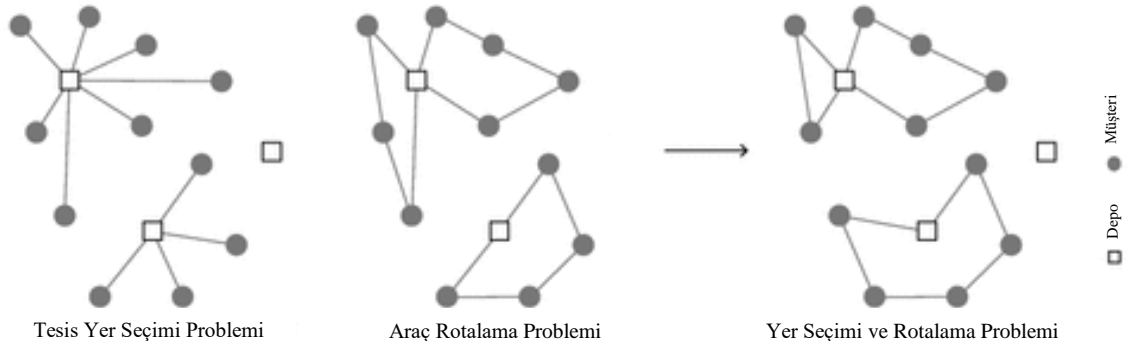
Afetin neden olduğu ekonomik hasarın yanı sıra can kayıplarının azaltılması amacıyla insani yardım lojistik faaliyetlerinin hükümet, yardım kuruluşları, sivil toplum kuruluşları, askeri kuruluşlar, bağış kuruluşları ve lojistik işletmeler tarafından işbirliği içerisinde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda sistemin oluşturulması ve kurumsallaştırılması önem arz etmektedir (Çağlar ve Kuşçuoğlu, 2013). Uluslararası insani yardım kuruluşları da insanların acılarının hafifletilmesi amacıyla faaliyette bulunmaktadır. Bunun için kalkınma programları ile afet müdahalesini bir arada ele almaktadırlar (Rachaniotis vd., 2013). İnsani yardım lojistik faaliyetlerinin etkin bir şekilde yönetilmesi için Türkiye’de Kızılay gibi kamu kuruluşlarının yanı sıra AKUT gibi özel girişimler de mevcuttur. Bu kapsamda Kızılay 2002 yılında Bölge Afet Müdahale Merkezleri kurmuştur. Böylelikle etkinliğin artırılması hedeflenmektedir (Keskin, 2011).

## 2. BÖLÜM: YER SEÇİMİ VE ROTALAMA PROBLEMİ

Bu bölümde insani yardım lojistiğinde yer seçimi ve rotalama problemine ilişkin genel bilgilere yer verilmektedir. Bölüm devamında ilgili literatür sunulmaktadır.

Yer seçimi ve rotalama problemleri “*location routing problem*”, birbirine bağlı yer seçimi ve araç rotası kararlarının ikisini de içermektedir (Nasrollahi vd., 2018; Leng, vd., 2020b). Yer seçimi ve rotalama problemi, yer seçimi problemi “*facility location problem*” ile araç rotalama probleminin “*vehicle routing problem*” birlikte ele alınmasının içermektedir. Böylelikle ayrı ele alınması durumunda yetersiz çözümlerle karşılaşmanın önüne geçilmek istenmektedir (Dukkanci vd., 2019). Söz konusu problemlerden tesis konum problemleri hem açılacak yeni tesisleri hem de var olan mevcut tesisleri içermektedir. Yeni tesisler için konum kararları başta olmak üzere açılacak tesisin boyut, ekipman ve sayısını ele almaktadır. Ayrıca mevcut tesislerin kapatılma ve lokasyonlarının değiştirilmesi kararlarının yanı sıra boyutları ile ilgili kararları da içermektedir (Ghiani vd., 2013). Araç rotalama problemi ise, teslimat gerçekleştirecek araçlar için dağıtım planı oluşturmaktadır. Burada teslimat belirli bir malın, belirli kapasitedeki araçlarla, belirli talebe sahip müşterilere depodan tedarik edilmesidir. Bu doğrultuda araç rotalama problemleri toplam mesafenin en aza indirgenmesi gibi çeşitli amaçlar için oluşturulmaktadır. Her iki problemde NP zor olduğundan yer seçimi ve rotalama problemi NP zor problem sınıfına girmektedir (Leng vd., 2018; Nasrollahi vd., 2018). Rotalama problemi, yer seçimi problemi ve yer seçimi-rotalama problemine ilişkin genel gösterim Hauder vd.’nin (2018) çalışmasından uyarlanan Şekil 2’ de verilmektedir.

Şekil 2. Problemlerin Genel Gösterimleri (Hauder vd., 2018)



Yer seçimi ve rotalama problemi temelde sabit maliyeti ve rota maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlarken tüketici taleplerinin karşılanması için tesis konumlarının belirlenmesi ve araç filolarının dağıtım planlarının belirlenen tesisler doğrultusunda oluşturulmasını kapsamaktadır (Dukkanci vd., 2019; Nasrollahi vd., 2018).

Yer seçimi ve rotalama problemleri lojistik sistemlerin planlanmasında kullanılmaktadır. Bu amaçla kullanılan en önemli optimizasyon problemlerinden biri olma özelliği taşımaktadır (Zhang C. vd., 2020). Yer seçimi ve rotalama problemi olarak literatürde yer alması 1961 yılında ilk kez Von Boventer tarafından önerilmesine dayanmaktadır (Koç vd., 2016; Von Boventer, 1961). Sonrasında problem zamanla bugünkü haline dönüşmüştür. Dolayısıyla yer seçimi ve tesis problemlerinin entegre bir şekilde yer seçimi-rotalama problemi olarak ele alınmasının önemini anlaşılmaya 1970'li yılları bulmuştur (Zhang C. vd., 2020).

Daha öncesinde Dantzig ve Ramser tarafından sunulan araç rotalama problemlerinin bir çeşidi olan yer seçimi ve rotalama probleminin literatürde kapasiteli, yeşil gibi çeşitli varyantları mevcuttur (Akararungruangkul ve Kaewman, 2018; Dantzig ve Ramser, 1959).

## 2.1. İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİNDE YER SEÇİMİ VE ROTALAMA PROBLEMİ

İnsani yardım lojistiğinde bir afet meydana geldiğinde yardım malzemelerinin en kısa süre afetzedelere ulaştırılması kritiktir. Bu doğrultuda afetzedelerin temel ihtiyaçlarını içeren yardım paketlerinin taşınması ve ihtiyaç sahibine teslim edilmesine yönelik faaliyetler oldukça önemlidir (Moshref-Javadi ve Lee, 2016). Ancak bu faaliyetlerin gerçekleştirilmesinde olağanüstü durumun getirdiği zorluklar söz konusudur. Bu zorluklar, insani yardım lojistiği faaliyetlerini sekteye uğratabilmektedir. Güçlüklerle başa çıkabilmek ve dolayısıyla ihtiyaç sahiplerinin taleplerini karşılamak üzere dağıtım sistemlerinin tasarlanması gerekmektedir (Sabouhi vd., 2020).

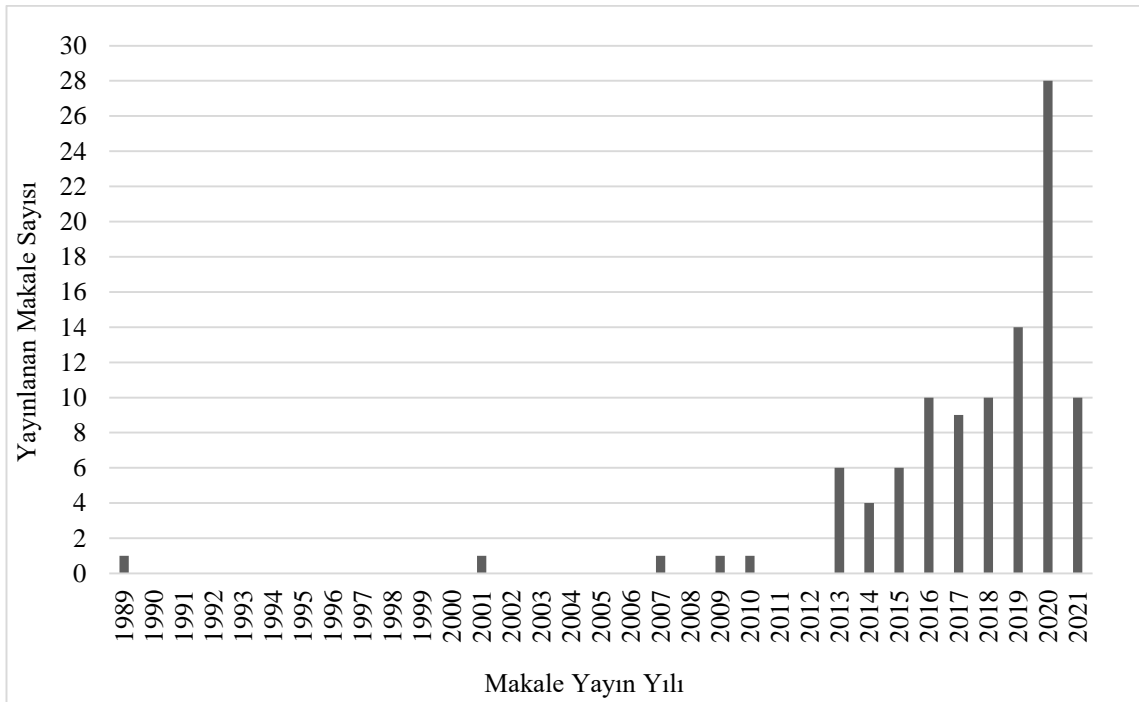
Dağıtım sistemlerinin tasarlanmasında çeşitli kararların alınması gerekmektedir. Tesis konumunun belirlenmesi stratejik seviye bir karar iken, araç rotalarının belirlenmesi ise taktik seviye kararlardır. Yer seçimi ve rotalama problemi bu iki kararı koordineli bir şekilde ele almaktadır (Ahmadi vd., 2015; Nekooghadirli vd., 2014; Zhong vd., 2020). Öncelikle potansiyel noktalar arasından en uygun tesis yerlerinin belirlenmesini sağlamaktadır. Tesis yer seçimi kararları dağıtım zamanının kısaltılması, maliyetlerin azaltılmasıyla sağlanan yardım zincirinin verimliliği açısından önemlidir (Moshref-Javadi ve Lee, 2016; Nagy ve Salhi, 2007). Yardım zincirinde etkili olan bir diğer karar ise araç rotalarına ilişkin kararlardır. Araç rotaları, yardım malzemelerinin yolların kapanması gibi afetin getirdiği zorlu koşullar altında afetten etkilenen bölgelere ulaşım sağlanıp ihtiyaç sahiplerine yardım malzemelerinin dağıtımının sağlanmasına yöneliktir (Ahmadi vd., 2015).

## 2.2. İLGİLİ LİTERATÜR

Bu çalışmada yapılan ilgili literatür taraması için veri tabanı olarak “Web of Science” kullanılmaktadır. Bu veri tabanında öncelikli olarak tarama “*location routing*” anahtar

sözcüğü ile konu “*topic*” esaslı arama yapılmıştır. Yapılan arama sonucunda 720 çalışmaya ulaşılmıştır. Sonrasında, bu alandaki çalışmalar tüm zaman dilimlerinde sırasıyla; “*fuel consumption*”, “*uncertainty*” ve “*stochastic*” sözcükleri ile ayrı ayrı filtrelenmiştir. Tarama sonucunda “*fuel consumption*” ile 19, “*uncertainty*” ile 54 ve son olarak “*stochastic*” sözcüğü ile yapılan tarama sonucunda 53 makaleye ulaşılmıştır. Üç taramada da yer alan ortak makaleler çıkarıldığında literatürde toplam 108 makale yer almaktadır. Bu çalışmalardan 102 makale bu bölümde detaylı olarak incelenmektedir. Söz konusu çalışmaların Web of Science üzerinden elde edilen yıllara göre yayınlanan makale sayısı dağılımını gösteren grafik Şekil 2’de verilmektedir.

**Şekil 3.** Yıllara Göre Makale Sayısı Dağılım Grafiği



Şekil 3’te görüldüğü üzere incelenen 102 makalenin yayınladığı yıllar ele alındığında son yıllarda, tarama yapılan konuda ve filtrelerde çalışma sayısında genel olarak artış gözlemlenmektedir.



Literatür taraması sonucunda incelenen makaleler nicel çalışmalardır. Yapılan tarama sonucunda Tablo 2’de “*fuel consumption*”, Tablo 3’te “*uncertainty*” ve “*stochastic*” sözcükleri ile filtreleme ile elde edilen makaleler gösterilmektedir. Tablo 2 ve Tablo 3’te nicel çalışmalarda yer alan model tipi, belirsizlik durumu, yakıt hesaplamasına ve araç filosunun heterojen ya da homojen olmasına ilişkin bilgilere yer verilmektedir.

**Tablo 2.** Yer Seçimi ve Rotalama Probleminde Yakıt Tüketimini Ele Alan Literatür İnceleme Tablosu

#	Yazar	Model	Yakıt Hesaplama	Heterojen/ Homojen	Belirsizlik
1	Wu vd., 2021	Karışık Tam Sayılı Doğrusal Olmayan Programlama	Barth vd., 2005	Homojen	-
2	Farrokhi vd., 2020	Çok Amaçlı Optimizasyon Modeli	Xiao vd., 2012	Heterojen	-
3	Leng vd., 2020a	Çok Amaçlı Optimizasyon Modeli	Demir vd., 2011; Demir vd., 2014	Heterojen	-
4	Leng vd., 2020b	Çift Amaçlı Optimizasyon Modeli	Demir vd., 2014	Heterojen	-
5	Leng vd., 2020c	Çok Amaçlı Optimizasyon Modeli	Demir vd., 2011	Heterojen	-
6	Pitakaso vd., 2020	Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama	Akararungruangkul ve Kaewman 2018	Homojen	-
7	Wang vd.,2020	Çok Amaçlı Optimizasyon Modeli	Xiao vd., 2012	Homojen	-
8	Zhang C. vd.,2020	Çok Amaçlı Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama	Barth vd., 2005	Homojen	-
9	Leng vd., 2019b	Çok Amaçlı Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama	Koç vd., 2016; Leng, vd., 2018	Heterojen	-
10	Dukkanci vd., 2019	Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama	Scora ve Barth 2006; Barth vd., 2005; Barth ve Boriboonsomsin 2008	Homojen	-

#	Yazar	Model	Yakıt Hesaplama	Heterojen/ Homojen	Belirsizlik
11	Leng vd.,2019a	Çift Amaçlı Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama	Koç vd., 2016; Leng vd., 2018	Heterojen	-
12	Koç, 2019	Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama	Barth ve Boriboonsomsin 2009	Homojen	-
13	Akararungruangkul ve Kaewman, 2018	-	+ <sup>1</sup>	Homojen	-
14	Nasrollahi vd., 2018	Çok Amaçlı Matematiksel Programlama Modeli	+	Heterojen	Talep ve Yakıt Tüketimi
15	Leng vd., 2018	Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama	Demir vd., 2014	Heterojen	-
16	Toro vd., 2017a	Çok Amaçlı Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama	+	Homojen	-
17	Toro vd., 2017b	Çok Amaçlı Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama	+	Homojen	-
18	Zhalechian vd., 2016	Stokastik-Olasılıklı Çok Amaçlı Karışık Tam Sayılı Doğrusal Olmayan Programlama	+	Homojen	Talep
19	Koç vd., 2016	Tam Sayılı Doğrusal Programlama	Barth vd., 2005, Scora ve Barth 2006, Barth ve Boriboonsomsin 2008	Heterojen	-

<sup>1</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel\\_economy\\_in\\_automobiles](https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_economy_in_automobiles)

**Tablo 3.** Yer Seçimi ve Rotalama Probleminde Belirsizliği Ele Alan Literatür İnceleme Tablosu

#	Yazar	Model	Yakıt Hesaplama	Heterojen/ Homojen	Belirsizlik
1	Araghi vd., 2021	Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama	-	Homojen	Müşteri Yerleri
2	Beiki vd., 2021	Çok Amaçlı Karışık Tam Sayılı Matematiksel Model	-	Homojen	Zaman
3	Li vd., 2021	İki Aşamalı Stokastik Programlama	-	Heterojen	Aralık
4	Tordecilla vd., 2021	Tam Sayılı Programlama	-	Homojen	Talep
5	Tönissen vd., 2021	İki Aşamalı Stokastik Programlama	-	-	Hat Planı
6	Vural vd., 2021	İki Aşamalı Stokastik Tam Sayılı Doğrusal Programlama	-	Homojen	Hava Koşulları -Görevler
7	Yazdani vd., 2021	Simülasyon	-	Homojen	Seyahat Süresi
8	Zhang vd., 2021	İki Aşamalı Model	-	Heterojen	Talep, Ulaşım Ağlarının Durumu
9	Ziaei ve Jabbarzadeh, 2021	Çok Amaçlı Model	-	Heterojen (Çok Modlu)	Kaza Olasılıkları, CO <sub>2</sub> Emisyon Faktörleri, Transfer Noktaları Kurma Maliyeti
10	Adarang vd., 2020	Sağlam Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama	+	Heterojen (Ambulans-Helikopter)	Talep
11	Beiki vd., 2020a	Çok Amaçlı Senaryo Tabanlı Doğrusal Tam Sayılı Model	-	Heterojen	Talep, Afet Zamanı, Altyapıya olası Hasarlar

#	Yazar	Model	Yakıt Hesaplama	Heterojen/ Homojen	Belirsizlik
12	Beiki vd., 2020b	Çok Amaçlı Bulanık Model	-	Heterojen	Arz, Talep
13	Delfani vd., 2020	Çok Amaçlı Programlama	-	Heterojen	Bütçe
14	Geismar vd., 2020	Karışık Tam Sayılı Programlama	-	-	Arz
15	Govindan vd., 2020	Çok Amaçlı Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama	+	Heterojen	Talep
16	Mansoori vd., 2020	Çok Amaçlı Matematiksel Model	-	Heterojen	Etkilenenlerin ve Evsizlerin Sayısı, Talep ve Seyahat Süresi
17	Mirzaei-khafri vd., 2020	Karışık Tam Sayılı Programlama	-	Heterojen	Talep
18	Nikzamir ve Baradaran, 2020	Çift Amaçlı Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama	+	Heterojen	Kirlilik Emisyonu
19	Perdana vd., 2020	Çok Amaçlı Matematiksel Model	+	-	Yiyecek Talebi, Üretim Kapasitesi ve Dağıtım Maliyeti
20	Rabbani vd., 2020	Karışık Tam Sayılı Doğrusal Olmayan Programlama	-	Homojen	Atık Miktarı
21	Sabouhi vd., 2020	İki Aşamalı Stokastik Programlama	-	Heterojen	Talep ve Kesintiye Uğramış Rotalar
22	Saeidi-Mobarakeh vd., 2020	Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama	Heidari vd., 2019	Heterojen	Atık üretim oranları

#	Yazar	Model	Yakıt Hesaplama	Heterojen/ Homojen	Belirsizlik
23	Santander vd., 2020	Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama	-	Heterojen (Araba, motosiklet)	Mevcut Plastik Atık
24	Snoeck ve Winkenbach 2020	Büyük Ölçekli Stokastik Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama Modeli	-	Heterojen	Talep
25	Soysal vd., 2020	Şans Kısıtlı Karışık Tam Sayılı Doğrusal Olmayan Programlama	-	Homojen	Pil Tükenmesi
26	Tönissen ve Arts, 2020	İki Aşamalı Stokastik Karışık Tam Sayılı	-	Heterojen	Bakım
27	Yu vd., 2020	Stokastik Çift Amaçlı Karışık Tam Sayılı Programlama	-	-	Tehlikeli atık oluşumu ve bileşimi
28	Zandkarimkhani vd., 2020	Çift Amaçlı Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama	+	Heterojen	Talep
29	Zhang H. vd., 2020	Bulanık Şans Kısıtlı Programlama	-	Homojen	Talep
30	Zhong vd., 2020	Çift Amaçlı Karışık Tam Sayılı Doğrusal Olmayan Programlama	-	Heterojen	Talep
31	Aslan ve Çelik, 2019	İki Aşamalı Stokastik Programlama	-	-	Talep, Ağ Hasarları
32	Ghaderi ve Burdett, 2019	İki Aşamalı Stokastik Programlama	-	Heterojen (Çok Modlu)	Transfer Alanlarında Kesinti Riski
33	Heidari, vd., 2019	Bulanık Çok Amaçlı Karışık Tam Sayılı Doğrusal Olmayan Programlama	+	Heterojen	Atık Miktarı, Maliyet Katsayıları

#	Yazar	Model	Yakıt Hesaplama	Heterojen/ Homojen	Belirsizlik
34	Kaveh vd., 2019	Çok Amaçlı Programlama	-	Heterojen (Çok Modlu)	Ulaşım Maliyetleri, Hub İstasyon Kapasitesi, Hub Bağlantılarının Kapasitesi Taşıma Süresi ve Bekleme Süresi
35	Pekel ve Kara, 2019	Çok Amaçlı Programlama	-	Homojen +Heterojen	Talep
36	Rabbani vd., 2019	Karışık Tam Sayılı Doğrusal Olmayan Programlama	-	Heterojen	Atık Miktarı, Risk Altındaki Kişi Sayısı
37	Shen vd., 2019	Çok Amaçlı Programlama	Xiao vd., 2012	Heterojen	Talep
38	Tönissen vd., 2019	Karışık Tam Sayılı Programlama	-	-	Hat Planlaması, Filo Planlaması vb.
39	Xiong vd., 2019	Çok Amaçlı Programlama	-	Heterojen	Sürtüş Süresi
40	Zhang vd., 2019	Stokastik Programlama	-	Homojen	Talep
41	Karimi ve Setak, 2018	Tam Sayılı Programlama	-	Homojen	Zaman
42	Rafie-Majd vd., 2018	Karışık Tam Sayılı Doğrusal Olmayan Programlama	Soysal vd., 2015	Heterojen	Talep
43	Schiffer ve Walther, 2018	Sağlam Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama	-	Homojen	Müşteri Modelleri (Müşteri Dağılımı, Talep vb.)
44	Shahparvari ve Bodaghi, 2018	Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama	-	Heterojen	Nakliye Maliyetleri, Riskler, Hayati Yardım Maddelerinin Çabuk Bozulan Doğası

#	Yazar	Model	Yakıt Hesaplama	Heterojen/ Homojen	Belirsizlik
45	Vahdani vd., 2018	İki Aşamalı Çok Amaçlı Karışık Tam Sayılı Programlama	-	Heterojen	Depolama Kapasitesi, Rotaların Hasar Görmesi
46	Veysmoradi vd., 2018	Karışık Tam Sayılı Doğrusal Olmayan Programlama	-	Heterojen	Mevcut Yardımın Maliyeti ve Miktarı
47	Zhang vd., 2018	Karışık Tam Sayılı Doğrusal Olmayan Programlama	-	Homojen	Seyahat Mesafesi, Talep, Depo Açma Maliyeti
48	Chang vd., 2017	Çok Amaçlı Doğrusal Olmayan Programlama	-	Heterojen	Talep
49	Gholamian ve Heydari, 2017	Karışık Tam Sayılı Stokastik Programlama	-	Homojen	Talep, Teslim Süresi
50	He ve Hu, 2017	Karışık Doğrusal Olmayan Programlama	-	-	Talep, Kalma süresi
51	Mousavi ve Vahdani, 2017	İki Aşamalı Karışık Tam Sayılı Programlama	-	Heterojen	Maliyetler (Elde Tutma Maliyeti, Sabit Tesis Açma Maliyet, Nakliye Maliyetleri), Mesafe, Araç Kapasitesi, Teslim Alma ve Teslim Sürecindeki Her Aracın Çalışma Süresi
52	Nakhjirkan ve Mokhtab Rafiei, 2017	Karışık Tamsayı Doğrusal Olmayan Programlama	-	Heterojen	Talep
53	Rabbani vd., 2017	Çok Amaçlı Programlama	-	Heterojen	Kan Potansiyeli
54	Shiripour vd., 2017	Karışık Tamsayı Doğrusal Olmayan Programlama	-	-	Seyahat Süresi



#	Yazar	Model	Yakıt Hesaplama	Heterojen/ Homojen	Belirsizlik
55	Bozorgi-Amiri,ve Khorsi, 2016	Çok Amaçlı Dinamik Stokastik Programlama	-	Heterojen	Seyahat Süresi, Talep, Arz ve Maliyet
56	Caunhye vd., 2016	İki Aşamalı Karışık Tam Sayılı Programlama	-	Homojen	Talep, Altyapı Durumu
57	Marinakis vd., 2016	Karışık Tam Sayılı Programlama	-	Homojen	Talep
58	Shiripour vd., 2016	Karışık Tam Sayılı Doğrusal Olmayan Programlama	-	-	Seyahat Süresi
59	Tajabadi ve Kazemi, 2016	Çok Amaçlı Tam Sayılı Doğrusal Programlama	-	Heterojen	Belirtilmemiş
60	Torfi vd., 2016	Bulanık Çok Kriterli Karar Destek Yaklaşımı	-	Homojen	Talep
61	Xu vd., 2016	İki Aşamalı Çok Amaçlı Programlama	-	Homojen	Yol Durumu
62	Yuchi vd., 2016	Karışık Tam Sayılı Doğrusal Olmayan Programlama	-	Homojen	Belirtilmemiş
63	Ahmadi vd., 2015	Karışık Tamsayı Doğrusal Olmayan Programlama	-	Homojen	Seyahat Süresi
64	Herazo-Padilla vd., 2015	Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama	-	Homojen	Ulaştırma Maliyeti Seyahat Süresi
65	Huang, 2015	Stokastik Programlama	-	Homojen	Talep
66	Marinakis, 2015	İki Aşamalı Programlama	-	Homojen	Talep

#	Yazar	Model	Yakıt Hesaplama	Heterojen/ Homojen	Belirsizlik
67	Shiripour vd., 2015	Karışık Tam Sayılı Doğrusal Olmayan Programlama	-	-	Seyahat Süresi
68	Zhang vd., 2015	Senaryo Tabanlı Karışık Tam Sayılı Programlama	-	Homojen	Depo
69	Berglund ve Kwon, 2014	Karışık Tam Sayılı Programlama	-	-	Talep ve Risk
70	Nadizadeh ve Nasab, 2014	Bulanık Şans Kısıtlı Programlama	-	Heterojen	Talep
71	Nekooghadirli vd., 2014	Çift Amaçlı	-	Heterojen	Talep ve Seyahat Süresi
72	Zarandi vd., 2014	Bulanık Şans Kısıtlı Programlama	-	Homojen	Talep
73	Azad ve Davoudpour, 2013	Konveks Karışık Tam Sayılı Programlama	-	Homojen	Talep
74	Ghaffari-Nasab vd., 2013a	Bulanık Şans Kısıtlı Programlama	-	Homojen	Talep
75	Ghaffari-Nasab vd., 2013b	Çift Amaçlı Matematiksel Programlama	-	Homojen	Seyahat Süresi
76	Mehrjerdi ve Nadizadeh, 2013	Bulanık Şans Kısıtlı Programlama	-	Homojen	Talep
77	Mohammadi vd., 2013	Çok Amaçlı Karışık Tam Sayılı Programlama	-	Heterojen	Araçların Bekleme Süresi
78	Zarandi vd., 2013	Bulanık Şans Kısıtlı Programlama	-	Homojen	Talep ve Seyahat Süresi
79	Javid ve Azad, 2010	Konveks Karışık Tam Sayılı Programlama	-	Homojen	Talep

#	Yazar	Model	Yakıt Hesaplama	Heterojen/ Homojen	Belirsizlik
80	Hassan-Pour vd., 2009	Çok Amaçlı Programlama	-	Homojen	Tesislerin ve Rotaların Uygunluğu
81	Albareda-Sambola vd., 2007	İki Aşamalı Model	-	-	Talep
82	Chan vd., 2001	A Priori Optimizasyon	-	Heterojen	Talep
83	Laporte vd., 1989	Tam Sayılı Doğrusal Programlama	-	Homojen	Belirtilmemiş
84	Bu çalışma	Olasılıklı İki Amaçlı Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama	Koç vd., 2016	Heterojen	Talep ve Yol Durumu

Yapılan literatür taraması sonucunda gözlemlendiği üzere çalışmalar, yer seçimi rotalama problemlerini farklı açılardan ele almaktadır. Örneğin; yeşil (Dukkanci vd., 2019; Pitakaso vd., 2020; Zhang C. vd., 2020), açık (Toro vd., 2017b), kapasiteli (Toro vd., 2017a), iki aşamalı (Pitakaso vd.,2020) gibi yer seçimi-rotalama probleminin varyantlarını ortaya koymaktadır.

Literatürde yer alan çalışmalarda birbirinden farklı modeller kullanılmaktadır. Çalışmaların büyük bir kısmında model, çok amaçlı olarak oluşturulmuştur. Chang vd. 'nin (2017) çalışması, afet lojistiği alanında çok amaçlı oluşturulan modellere örnek olarak gösterilebilir. Bu çalışmada, amaçlardan biri toplam dağıtım maliyetinin en aza indirilmesi iken diğer amaçlar en kötü yol memnuniyet oranları ile en kötü yol taşıma kapasitelerinin maksimize edilmesidir. Çok amaçlı modeller ile birlikte karışık tam sayılı doğrusal programlama modelinin de literatürde sayıca fazla kullanıldığı görülmektedir. Tablo 3'te yer alan çalışmalar belirsizliği dikkate almaktadır. Bu çalışmalar belirsizliği farklı şekillerde ele almaktadır. Çalışmaların bir kısmı belirsiz parametreleri bulanık temelli bir yaklaşımla ele alırken geneli stokastik yaklaşım ile ele almaktadır. Söz konusu çalışmalarda birbirinden farklı belirsiz parametrelerin yer aldığı görülmektedir. En çok talebin belirsizliğini dikkate alan çalışmalar, ayrıca seyahat sürelerinin, kapasite, maliyet, yakıt tüketimi gibi belirsizlikleri de ele almaktadır. Bu çalışmalardan Aslan ve Çelik (2018) talep ve ağ hasarlarının belirsizliklerini birlikte dikkate almaktadır. Ağ hasarı kapsamında, yolların hasarları durumuna değinmektedir. Bu yönüyle bu tez çalışmasına benzese de yol hasarlarını seyahat süresi ile ilişkilendirmesi ve yakıt tüketimini içermemesi gibi açılardan bu tez çalışmasından ayrılmaktadır.

Tablo 2 ve Tablo 3' teki makalelere bakıldığında birbirinden farklı yakıt hesaplama modellerine ait referanslar görülmektedir. Bu modellerden en yaygın olarak kullanılan model "*comprehensive modal emission model (CMEM)*" olmuştur. Barth vd. (2005), Barth ve Boriboonsomsin (2008), Demir vd. (2011), Demir vd. (2014), Koç vd. (2016), Leng, vd. (2018), Scora ve Barth (2006) kapsamlı emisyon modeli (CMEM) için makalelerde gösterilen referanslardır. Tablolarda yer alan çalışmalarda yakıt hesaplaması

için bahsedilen bu çalışmaları referans göstermeyen fakat yakıt hesaplamasına değinen çalışmalar literatür tablosunda yakıt hesaplama sütununda “+” ile gösterilmektedir (Tablo 2, Tablo 3). Bu çalışmalardan Akararungruangkul ve Kaewman, (2018) yakıt tüketimi hesaplamasında seyahat mesafesi ve yol durumunu dikkate almaktadır. Yakıtı tüketimi hesaplamasında kullandığı yakıt tüketim oranını ise Tablo 2’de işaret edilen dipnot olarak gösterilen kaynaktan yola çıkarak hesaplamaktadır<sup>1</sup>. Bu çalışma aynı zamanda hesaplanan toplam yakıt tüketimini en küçüklemeyi hedeflemektedir. Nasrollahi vd.’nin (2018) hem belirsizliği hem de yakıt tüketimini ele alan çalışmasında ise yakıt tüketimi yine seyahat mesafesine bununla birlikte araç, yol koşulları ve yüke bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu çalışma çift amaç fonksiyonuna sahip olmakla beraber bir amaç fonksiyonu toplam maliyetin minimizasyonu durumunu ele alırken bir diğeri yakıt tüketimini en küçüklemeyi hedeflemektedir. Bu çalışmada talep, mesafe ve yüke bağlı birim başı yakıt tüketimi belirsiz olarak ele alındığından yakıt tüketimine ilişkin bileşenler bulanık sayılar ile ifade edilmektedir. Yine Tablo 2’de yer alan çalışmalardan Toro vd. (2017a), yakıt tüketimi hesaplamada her bir araca etki eden temel kuvvetleri dikkate alan yeni bir matematiksel model sunmaktadır. Toro vd. (2017b) ise yine yakıt tüketimi hesaplamada her bir araca etki eden temel kuvvetleri dikkate almaktadır. Ayrıca Zhalechian vd. (2016), sunduğu matematiksel modelde yakıt tüketiminin çevresel etkilerini ölçmektedir.

Tablo 3’teki çalışmalardan yakıt tüketimine değinilen çalışmalarda, yakıt tüketim hesaplamasına ilişkin referans gösteren 3 makale bulunmaktadır (Rafie-Majd vd., 2018; Saeidi-Mobarakeh vd., 2020; Shen vd., 2019). Bu 3 çalışmanın dışında yakıt tüketimine değinen ancak bunun için başka bir çalışmayı referans göstermeyen makaleler de bulunmaktadır. Bu makaleler yine yakıt hesaplama sütununda “+” sembolü ile gösterilmektedir. Adarang vd. (2020) afet anında yardım operasyonlarında yer alan araçların yakıt ikmaline gerek duyması durumunda meydana gelebilecek aksamaları önlemek amacıyla yakıt tüketimine değinmektedir. Burada her ambulansa yakıt tüketim limiti verilmektedir ve her ambulans için atanan rotada yakıt tüketim miktarı hesaplanması matematiksel modelde kısıt olarak yer almaktadır. Govindan vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada araca göre mesafe birim başına yakıt tüketim miktarı

parametre olarak modelde yer almaktadır. Nikzamir ve Baradaran (2020), çalışmasında ilk amaç toplam maliyeti minimize etmektir. Toplam maliyeti oluşturan maliyet kalemlerinden biri de kullanılan araçlar için yakıt maliyetidir. Yine Zandkarimkhani vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada da ilk amaç fonksiyonu toplam maliyetin minimizasyonu durumunu ele almakta ve bu kapsamda yakıt tüketim maliyetini hesaplamaktadır. Yakıt tüketim maliyeti ve araç tipine göre mesafe birim başına yakıt tüketim miktarları modelde parametre olarak yer almaktadır. Bu çalışma belirsizliği dikkate alırken yakıt tüketimine değinmekte ve heterojen araç filosu ile çalışmaktadır. Bu bakımdan bu tez çalışması ile örtüşmekte ancak konu ve ele alış bakımından iki çalışma birbirinden ayrılmaktadır. Heidari, vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada ise taşıma maliyetinin hesaplanmasında yakıt maliyeti ele alınmaktadır. Taşıma maliyeti, kilometre başına yakıt fiyatı merkezi değer olmak üzere bulanık sayılarla modelleme yapılmıştır.

Literatür, araç filosunun homojen/heterojen araçlardan oluşmasına göre de incelenmiştir. Bazı makaleler Pekel ve Kara (2019) tarafından yapılan çalışmada olduğu gibi araç filosundaki araçların homojen ve heterojen olması durumunda elde edilen sonuçları birlikte göstermektedir. Bununla birlikte homojen filo ile çalışma yapan Zarandi vd. (2013) ve Zarandi vd. (2014) gibi bazı makalelerde gelecek çalışmalar için heterojen filo ile çalışılmasını önermektedir.

Bu tez çalışmasında, yer seçimi ve rotalama problemi için hem maliyetlerin hem de insani yardım lojistiğinde hayati önem taşıyan seyahat süresinin minimizasyonu durumlarının her ikisinin de ele alınmasının karar vericiler için fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca, bu çalışmada talebin belirsizliğinin dikkate alınması ve yol kapanma durumlarının göz önünde bulundurulması gerçek hayatta karşılaşılabilecek problemlerde karar vermede önem taşımaktadır. Literatür taraması kapsamında incelenen çalışmalarda, talebin belirsizliği ve yol durumunu birlikte ele alan aynı zamanda yakıt tüketimi hesaplaması ile heterojen araç filosunu içeren bir model bilinebildiği kadarıyla bulunmamaktadır. Bahsedilen durumların bir ya da birkaçını dikkate alan çalışmalar literatürde yer alsa da, tamamını birlikte ele alan bir model bulunmamaktadır. Bu durum

literatürde yer alan diğerk çalışmalardan bu çalışmayı ayırarak, çalışmanın literatüre katkısını ortaya koymaktadır.

### 3. BÖLÜM: YER SEÇİMİ VE ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ

Bu bölümün ilk kısmında, bir önceki bölümde literatürdeki örnekleri sunulan yer seçimi ve rotalama problemleri ile ilgili olarak tez çalışması kapsamında ortaya koyulan problemin tanımı ve model önerisine yer verilmektedir. Sonrasında ise yakıt tüketimi hesaplaması sunulmaktadır.

#### 3.1. PROBLEM TANIMI ve MODEL ÖNERİSİ

İncelenecek olan insani yardım lojistiği olasılıklı yer seçimi ve rotalama probleminde,  $V_F = \{1, 2, \dots, |V_F|\}$  kümesi potansiyel tesis veya çapraz sevkiyat noktası kümesi,  $V_C = \{1, 2, \dots, |V_C|\}$  talep noktası kümesi ve  $K_n = \{1, 2, \dots, |K_n|\}$  her bir  $n \in V_F$  tesisinde yer alan araçlar kümesi olarak tanımlanmaktadır. Dğümler arası yollar kümesi ise  $A = (i, j) \in V_F \cup V_C : i \in V_F, j \in V_C$  ya da  $i \in V_C, j \in V_F \cup V_C$  şeklinde tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, acil bir durum meydana geldiğinde ihtiyaç sahiplerinin taleplerinin karşılanması hedeflenmektedir. Bunun içinde tesis yer seçimi ve rotalama kararlarının verilmesi planlanmaktadır.

Problem herhangi bir acil durum veya afet durumunda ihtiyaç sahiplerinin konumlarına yardım dağıtılmak üzere açılması planlanan tesisleri içermektedir. Bu çerçevede tesislerin nerelere kurulacağına karar verilmektedir. Ayrıca rotalama yapılması da planlanmaktadır. Tesis kümesine tanımlı her bir çapraz sevkiyat noktasında araçlar bulunmaktadır. Araçların belirli bir kapasitesi bulunmakta ve araçlar bu kapasite kadar yük taşıyabilmektedirler. Araçlar problemin çözümü doğrultusunda oluşan rotayı tamamlandıktan sonra başladıkları noktalara geri dönmektedirler. Araç rotaları oluşturulurken herhangi bir acil durum meydana geldiğinde yolların kapanma olasılıkları dikkate alınmaktadır.



Acil durumda talep kesin olarak tahmin edilemeyeceği için ihtiyaç sahiplerinin talepleri belirsizlik içermektedir. Söz konusu belirsizlik için senaryolar tasarlanmıştır. Senaryolar aynı zamanda yükleri de etkilemektedir. İhtiyaç sahiplerinin talepleri bir ya da birden fazla tesis veya çapraz sevkiyat noktası tarafından karşılanabilmektedir.

Günlük ortalama tahmin edilen talep miktarı  $d_{is}$  ( $s \in S, i \in V_F$ ) olarak ifade edilmektedir. Ayrıca  $s \in S$  senaryosunun ortaya çıkma olasılığı  $p_s$  ile ifade edilmektedir. Potansiyel tesis açma sabit maliyeti  $z_i$  ( $i \in V_F$ ) olarak ifade edilmektedir. Döğümler arası yollar kümesine tanımlı olan  $t_{ij}$  ( $(i, j) \in A$ ) döğümler arası mesafenin katedilmesi için ihtiyaç duyulan süreyi ifade ederken yine döğümler arası yollar kümesine tanımlı olan  $a_{ij}$  ( $(i, j) \in A$ ) mesafeyi ifade etmektedir. Aracın hızı  $g_{ij}$ , ( $(i, j) \in A$ ) ile ifade edilmektedir. Ayrıca,  $b_{nm}$ ,  $n \in V_F$  çapraz sevkiyat noktasında yer alan  $m \in K_n$  aracının kapasitesini göstermektedir. Bununla birlikte  $\pi_{im}$ ,  $i \in V_F$  tesisinden çıkan  $m \in K_n$  aracının sabit maliyetini ifade ederken ( $i, j) \in A$  yolunun kapanma ihtimali  $[0-1]$  arasında değer alan  $N_{ij}$  ile gösterilmektedir.

Problemdede yer alan karar değışkenlerinden  $X_{ijnm}$  değışkeni ( $i, j) \in A$  yayında  $n \in V_F$  çapraz sevkiyat noktasından çıkan  $m \in K_n$  aracının seyahat etme kararını ifade etmektedir. Söz konusu değışken 0-1 ikili değışkeni olarak tanımlanmıştır. Bir diğere karar değışkeni olan  $Y_i$  ise yine 0-1 ikili değışkeni olarak tanımlanmış olup  $i \in V_F$  potansiyel tesisin açılması kararını ifade etmektedir. Değışken potansiyel tesis açılırsa 1, açılmazsa 0 değışkenini almaktadır. Karar değışkenlerinden  $F_{ijnms}$  ise ( $i, j) \in A$  yayında  $n \in V_F$  çapraz sevkiyat noktasından çıkan  $m \in K_n$  aracının  $s \in S$  senaryosunda taşıdığı yük miktarını ifade ederken,  $Q_{inms}$  değışkeni  $i \in V_C$  talep noktasına  $n \in V_F$  çapraz sevkiyat noktasından çıkan  $m \in K_n$  aracının  $s \in S$  senaryosunda bıraktığı yük miktarını ifade etmektedir.

Üzerinde durulan problemin iki amacı bulunmaktadır. İlk amaç, araçların yakıt maliyeti ile tesis sabit ve araç sabit maliyetlerini minimize etmektedir. İkinci amaç ise, toplam seyahat süresini minimize etmektir. Burada seyahat süresinin en küçüklenmesi ile afet gerçekleşikten hemen sonra afetzedelerin ihtiyaçlarının en kısa sürede karşılanması

hedeflenirken, maliyet minimizasyonu ile ise sonrasında gerçekleştirilecek operasyonlar için yardım zincirinin verimliliğinin sağlanması hedeflenmektedir.

Yukarıda tanıtilan problem olasılıklı iki amaçlı karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli (probabilistic bi-objective mixed integer linear programming model) yöntemi kullanılarak matematiksel olarak ifade edilmiş ve e-kısıt yöntemi aracılığıyla çözülmüştür.

Olasılıklı çift amaçlı yer seçimi ve rotalama probleminin çözümü için önerilen modele ait notasyon tablosuna (küme, parametre, değişken tanımlamaları) Tablo 4'te yer verilmiştir.

**Tablo 4.** Notasyon Tablosu

Sembol	Açıklama	Birim
i	Tesis Noktası	
j	Talep Noktası	
n	Çapraz Sevkiyat Noktası	
m	Araç	
s	Senaryo	
$V_F$	Potansiyel tesis ve çapraz sevkiyat merkezi kümesi $\{1,2, \dots,  V_F \}$	Adet
$V_C$	Talep noktası kümesi $\{1,2, \dots,  V_C \}$	Adet
$K_n$	Her bir $n \in V_F$ tesisinde yer alan araçlar kümesi $\{1,2, \dots,  K_n \}$	Adet
A	Düğümmler arası yollar kümesi $(i, j) \in V_F \cup V_C: i \in V_F, j \in V_C$ ya da $i \in V_C, j \in V_F \cup V_C$	Adet
S	Senaryo kümesi $\{1,2, \dots,  S \}$	Adet

Sembol	Açıklama	Birim
$d_{is}$	$s \in S$ senaryosu meydana geldiğinde $i \in V_F$ tesisinden karşılanan günlük ortalama tahmin edilen talep miktarı	Kg
$t_{ij}$	$(i, j) \in A$ yolunun kat edilmesi için ihtiyaç duyulan süre	Saat
$z_i$	$i \in V_F$ potansiyel tesis açma sabit maliyeti	€
$p_s$	$s \in S$ senaryosunun ortaya çıkma olasılığı	
$b_{nm}$	$n \in V_F$ çapraz sevkiyat noktasında yer alan $m \in K_n$ aracının kapasitesi	Kg
$a_{ij}$	$(i, j) \in A$ yolunun mesafesi	Metre
$g_{ij}$	$(i, j) \in A$ yayında aracın hızı	m/s
$\pi_{im}$	$i \in V_F$ tesisinden çıkan $m \in K_n$ aracının sabit maliyeti	€
$N_{ij}$	$(i, j) \in A$ yolunun kapanma ihtimali	[0-1)
$\Upsilon$	Her araç turunun kapanmama olasılığı	(0,1)
$\lambda$	Teknik parametre, $\xi/\kappa\psi$	
$y_{nm}$	Teknik parametre, $k_{nm}V_{nm}N_{nm}$	
$\beta_{nm}$	Teknik parametre, $0.5C_{nmd}A_{nm}\rho$	Kg
$\gamma$	Teknik parametre, $1/(1000 \eta_{tf})$	€/litre
$X_{ijnm}$	$(i, j) \in A$ yayında $n \in V_F$ çapraz sevkiyat noktasından çıkan $m \in K_n$ aracı seyahat etme kararı, 0-1 değişkeni	0-1
$Y_i$	$i \in V_F$ potansiyel tesisin açılması kararı, 0-1 değişkeni	0-1
$F_{ijnms}$	$(i, j) \in A$ yayında $n \in V_F$ çapraz sevkiyat noktasından çıkan $m \in K_n$ aracının $s \in S$ senaryosunda taşıdığı yük miktarı	Kg
$Q_{inms}$	$i \in V_C$ talep noktasına $n \in V_F$ çapraz sevkiyat noktasından çıkan $m \in K_n$ aracının $s \in S$ senaryosunda bıraktığı yük miktarı	Kg

En küçükle (Minimize)

$$\begin{aligned}
& \sum_{(i,j) \in A} \sum_{n \in V_F} \sum_{m \in K_n} \sum_{s \in S} p_s \left[ \lambda \left( y_{nm} \left( \frac{a_{ij}}{g_{ij}} \right) X_{ijnm} + \gamma \beta_{nm} a_{ij} g_{ij}^2 X_{ijnm} \right. \right. \\
& \left. \left. + \gamma r (\mu_{nm} X_{ijnm} + F_{ijnms}) a_{ij} \right) \right] l + \sum_{i \in V_F} z_i Y_i \\
& + \sum_{i \in V_F} \sum_{j \in V_C: (i,j) \in A} \sum_{m \in K_n} X_{ijim} \pi_{im} \tag{1.1}
\end{aligned}$$

Amaç fonksiyonu (1.1) araç yakıt maliyeti ile tesis sabit ve araç sabit maliyetlerini içermektedir.

En küçükle (Minimize)

$$\sum_{(i,j) \in A} \sum_{n \in V_F} \sum_{m \in K_n} X_{ijnm} t_{ij} \tag{1.2}$$

Amaç fonksiyonu (1.2) toplam seyahat süresini içermektedir.

Kısıtlar

$$\sum_{n \in V_F} \sum_{m \in K_n} Q_{inms} = d_{is}, \quad \forall i \in V_C, s \in S \tag{2}$$

(2) numaralı kısıt kümesi tüm senaryolarda ihtiyaç noktalarının taleplerinin karşılanmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{j \in V_C: (i,j) \in A} \sum_{m \in K_n} F_{ijnms} \leq \sum_{m \in K_n} b_{nm} Y_i, \quad \forall i \in V_F, s \in S, n = i \tag{3}$$

(3) numaralı kısıt kümesi açılan her bir tesisten gönderilen toplam yük miktarının o tesisin kapasitesini geçmemesini sağlamaktadır.

$$\sum_{j \in V_F \cup V_C: (i,j) \in A} \sum_{m \in K_n} X_{ijnm} \leq 0, \quad \forall i \in V_F, n \in V_F, n \neq i \tag{4}$$

(4) numaralı kısıt kümesi her bir tesis için çıkan bütün araçların o tesisten başka bir çapraz sevkiyat noktalarına gitmesini engellemektedir.

$$\sum_{j \in V_F \cup V_C: (i,j) \in A} \sum_{m \in K_n} X_{jinm} \leq 0, \quad \forall i \in V_F, n \in V_F, n \neq i \quad (5)$$

(5) numaralı kısıt kümesi bütün araçların bütün noktalardan kendi rotasındaki çapraz sevkiyat noktasına dönmesini sağlamaktadır.

$$\sum_{j \in V_F \cup V_C: (i,j) \in A} X_{ijnm} \leq Y_i, \quad \forall i \in V_F, n \in V_F, n = i, m \in K_n \quad (6)$$

(6) numaralı kısıt kümesi açılmayan tesislerden akışı engellemektedir.

$$\sum_{j \in V_F \cup V_C: (i,j) \in A} X_{jinm} = \sum_{j \in V_F \cup V_C: (i,j) \in A} X_{ijnm}, \quad \forall i \in V_C, n \in V_F, m \in K_n \quad (7)$$

$$\sum_{j \in V_C: (i,j) \in A} X_{ijnm} = \sum_{j \in V_C: (i,j) \in A} X_{jinm}, \quad \forall i \in V_F, n = i, m \in K_n \quad (8)$$

(7) ve (8) numaralı kısıt kümeleri akışın korunumunu sağlamaktadır. Bu doğrultuda (7) numaralı kısıt kümesi bütün j noktalarına gelen araç sayısını giden araç sayısına eşitlemektedir. (8) numaralı kısıt kümesi ilgili çapraz sevkiyat noktasından çıkan aracın bütün talep noktalarından geri gelmesini sağlamaktadır.

$$\sum_{j \in V_F \cup V_C: (i,j) \in A} X_{ijnm} \leq 1, \quad \forall i \in V_F \cup V_C, n \in V_F, m \in K_n \quad (9)$$

(9) numaralı kısıt kümesi her aracın her bir noktayı en fazla bir kez ziyaret edebileceğini göstermektedir.

$$\sum_{j \in V_F \cup V_C: (i,j) \in A} F_{ijnms} = \sum_{j \in V_F \cup V_C: (i,j) \in A} F_{jinms} - Q_{inms}, \quad \forall i \in V_C, s \in S, n \in V_F, m \in K_n \quad (10)$$

$$F_{ijnms} \leq X_{ijnm} b_{nm}, \quad \forall s \in S, n \in V_F, m \in K_n, (i,j) \in A \quad (11)$$

(10) ve (11) numaralı kısıtlar kapasite kısıtlarıdır. (10) numaralı kısıt kümesi tüm senaryolarda aracın yükünü takip etmektedir. (11) numaralı kısıt kümesine göre çapraz

sevkiyat noktasından çıkan araç tesisten talep noktasına gitmiyorsa bu iki nokta arasında yük taşımamaktadır. Dolayısıyla her bir senaryo, çapraz sevkiyat noktası ve yay için her aracın taşıdığı yük miktarı en fazla o aracın kapasitesi kadardır.

$$\prod_{(i,j) \in A} (1 - N_{ij} X_{ijnm}) \geq \mathcal{Y}, \quad \forall n \in V_F, m \in K_n \quad (12.1)$$

(12.1) numaralı kısıt kümesi acil bir durumda yolların kapanma olasılıklarını göz önünde bulundurmaktadır. Böylelikle rota oluşturulurken acil durumda kapanan yolları dikkate almaktadır. Söz konusu kısıt kümesi doğrusal yapıda değildir. Yukarıdaki kısıt kümesinin doğrusal hale getirilmesi;

$$\begin{aligned} \prod_{(i,j) \in A} (1 - N_{ij} X_{ijnm}) &= \prod_{(i,j) \in A} (1 - N_{ij})^{X_{ijnm}} \\ \prod_{(i,j) \in A} (1 - N_{ij} X_{ijnm}) \geq \mathcal{Y} &\Leftrightarrow \prod_{(i,j) \in A} (1 - N_{ij})^{X_{ijnm}} \geq \mathcal{Y} \\ \prod_{(i,j) \in A} (1 - N_{ij})^{X_{ijnm}} \geq \mathcal{Y} &\Leftrightarrow \sum_{(i,j) \in A} X_{ijnm} \log(1 - N_{ij}) \geq \log(\mathcal{Y}) \\ \sum_{(i,j) \in A} X_{ijnm} \log(1 - N_{ij}) &\geq \log(\mathcal{Y}), \quad \forall n \in V_F, m \in K_n \end{aligned} \quad (12.2)$$

(12.2)'de, (12.1)'de verilen kısıt kümesinin doğrusal hali gösterilmektedir.

$$X_{ijnm} \in \{0,1\}, \quad \forall (i,j) \in A, n \in V_F, m \in K_n, s \in S \quad (13)$$

$$Y_i \in \{0,1\}, \quad \forall i \in V_F \quad (14)$$

$$F_{ijnms} \geq 0, \quad \forall (i,j) \in A, n \in V_F, m \in K_n, s \in S \quad (15)$$

$$Q_{inms} \geq 0, \quad \forall i \in V_F, n \in V_F, m \in K_n, s \in S \quad (16)$$

Modelde yer alan karar değişkenlerinin üzerindeki değersel kısıtlar (13)-(16) kısıt kümelerinde verilmiştir.

### 3.2. YAKIT TÜKETİMİ HESAPLAMASI

Bir amacı toplam maliyetin en aza indirilmesi olan modelde toplam maliyet; yakıt maliyetini, araç maliyetini ve tesis sabit maliyetini içermektedir. Bu bölümde yakıt maliyetinin hesaplanması adına yakıt tüketiminin hesaplanmasına yer verilecektir. Yakıt tüketimi yer seçimi ve rotalama problemlerinde tahmin edilmesi gereken önemli unsurlarındandır. Doğru hesaplanması lojistik sistemler için verimliliğin artmasına sebep olmaktadır. Söz konusu yakıt tüketiminin hesaplanmasında farklı tahmin etme modelleri kullanılmaktadır. Bu modeller faktör, makro ve mikro modeller olarak üç başlıkta sınıflandırılmaktadır. Bu modellerden performansa göre sırasıyla en iyisi mikro modeller, sonrasında makro modeller ve en kötüsü olarak nitelendirilen faktör modelleri yer almaktadır (Leng vd., 2019b). Mikro modeller daha ayrıntılı parametreler ile çalışma imkanı sunmaktadır. Kapsamlı emisyon modeli (CMEM) mikro modellere örnek gösterilmektedir (Leng vd., 2019b). Kapsamlı emisyon modeli Barth vd. tarafından 2005 yılında önerilmiştir.

Bu tez çalışmasında araçların yakıt tüketiminin hesaplanmasında heterojen araç filo yapısı göz önünde bulundurularak, yer seçimi ve rotalama problemini ele alan Koç vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada yer alan kapsamlı emisyon modelinden yararlanılmaktadır (Koç vd., 2016).

Yakıt tüketimi eşitliği yazılırken ifadeleri sadeleştirmek adına  $\lambda = \frac{\xi}{\kappa\psi}$ ;  $y_{nm} = k_{nm}V_{nm}N_{nm}$ ;  $\gamma = \frac{1}{1000\eta_{n\tau}}$ ;  $\beta_{nm} = 0.5C_{nmd}A_{nm}\rho$ ;  $r = \tau + \delta\sin\phi + \delta H_r\cos\phi$  eşitliklerinden faydalanılmaktadır.

$$\text{Yakıt Tüketimi} = \lambda \left( y_{nm} \frac{a_{ij}}{g_{ij}} \right) + \gamma \beta_{nm} a_{ij} g_{ij}^2 + \gamma r M_{nm} a_{ij}$$

Yakıt tüketimi hesaplamasında; mesafe  $a_{ij}$ , hız  $g_{ij}$  değerlerinin bölünmesiyle ( $a_{ij}/g_{ij}$ ) seyahat süresi elde edilmektedir. Hesaplama yer alan  $M_{nm}$  toplam yük miktarını ifade etmektedir. Dolayısıyla bu ifade bu tez çalışmasında  $M_{nm} = \mu_{nm} + F_{ijnms}$  eşittir. Bu doğrultuda modelde toplam maliyetin bir unsuru olan yakıt tüketim maliyetinin (YTM) hesaplanmasında modelde aşağıdaki eşitlikten faydalanılmıştır.

$$YTM_{ijnms} = \lambda \left( y_{nm} \left( \frac{a_{ij}}{g_{ij}} \right) X_{ijnm} + \gamma \beta_{nm} a_{ij} g_{ij}^2 X_{ijnm} + \gamma r (\mu_{nm} X_{ijnm} + F_{ijnms}) a_{ij} \right) l$$



## 4. BÖLÜM: NÜMERİK ANALİZLER

Çalışmanın bu bölümünde yapılan nümerik analizlere ve bu analizlerin sonuçlarına yer verilecektir. Nümerik analizlerle modelin uygulanabilirliğinin gösterilmesi amaçlanmaktadır. Bununla birlikte belirlenen temel performans kriterleri üzerinden değerlendirmeler yapılacaktır.

Öncelikle küçük bir veri seti kullanılarak oluşturulan örnek problem çözülecektir ve sonuçlar değerlendirilecektir. Problem IBM OPL ILOG CPLEX 12.10 kullanılarak Intelcore i5-4210u, 64 bit işletim sistemli, 8 GB RAM takılı bilgisayar ile çözülmüştür. Sonrasında örnek olay çözülecek ve sonuçlara ilişkin değerlendirmelerde bulunulacaktır. Küçük örnekte, küçük boyuttaki veri seti ile modelin test edilmesi ve doğrulanması sağlandıktan sonra küçük örneğe kıyasla daha büyük boyuttaki örnek olay ile modelin uygulanabilirliği sunulacaktır.

Söz konusu model çift amaç fonksiyonuna sahip olduğundan e-kısıt yaklaşımından faydalanılmıştır. Bu doğrultuda amaç fonksiyonlarından birinin kısıt olarak yazılmasını ve sonrasında bu kısıta alabileceği değerlerin epsilon değeri olarak atanmasını sağlamaktadır (Andersson, 2000). Epsilon değeri ile e-kısıt sınırlandırılmaktadır.

Toplam maliyetin minimizasyonu ve toplam seyahat süresinin minimizasyonu olmak üzere çift amaç fonksiyonuna sahip olan modelin matematiksel olarak ifade edilmiş hali şu şekildedir:

**Toplam maliyet minimizasyonu durumu:**

*En küçük* Amaç fonksiyonu (1.1.):

Kısıt seti altında

Kısıtlar (2)-(16)

Amaç fonksiyonu (1.2.)  $\leq \epsilon_1$  (E-kısıt)

**Toplam seyahat süresi minimizasyonu durumu:**

*En küçük* Amaç fonksiyonu (1.2.):

Kısıt seti altında

Kısıtlar (2)-(16)

Amaç fonksiyonu (1.1.)  $\leq \epsilon_2$  (E-kısıt)

#### **4.1. KÜÇÜK BİR ÖRNEK ÜZERİNDE MODELİN DOĞRULANMASI**

Bu bölümde, küçük bir veri seti oluşturularak bir önceki bölümde sunulan modelin test edilmesi ve doğrulanması amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda oluşturulan veri seti ile elde edilen sonuçlara ilişkin değerlendirmeler yapılmaktadır.

##### **4.1.1. Küçük Örnek Veri Setinin Tanıtılması**

Modeli uygulayacağımız küçük örnekteki veri setine baktığımızda her bir çapraz sevkiyat noktasında birbirinden farklı kapasite ve büyüklükte küçük, orta, büyük olmak üzere 3 tip araç ( $K_n = \{1, 2, \dots, |K_n|\}$ ) bulunmaktadır.

Talep noktalarının talebi kesin olarak tahmin edilemeyeceği için 5 ( $|S| = 5$ ) senaryo ( $p_s = 0.2$ ,  $s \in S$ ) tasarlanmıştır. Tablo 5'te senaryolara bağlı talep noktalarının talep değerlerine yer verilmektedir.

**Tablo 5.** Küçük Örnek Talep Değerleri (kg)

Talep Noktaları	Senaryolar				
	1	2	3	4	5
DP1	3600	3800	3600	3400	3600
DP2	4200	4400	4000	4200	4400
DP3	3400	3600	3000	3200	3200
DP4	3000	2800	3000	3400	2700
DP5	2500	3100	3100	3200	3400
DP6	2800	3000	3200	3200	2500

Her araç turunun kapanmama olasılığının ( $\Upsilon$ ) 0,7 olması gerekmektedir. Aşağıdaki tablolarda noktalar arasındaki mesafe (m), seyahat süreleri (sn), hız (m/sn) ve noktalar arası yolların kapanma ihtimali verilmiştir (Tablo 6, Tablo 7, Tablo 8, Tablo 9).

**Tablo 6.** Küçük Örnekte Noktalar Arası Mesafe (m)

	F0	F1	F2	DP1	DP2	DP3	DP4	DP5	DP6
F0	0	0	0	14400	21900	20700	6200	13000	7000
F1	0	0	0	17100	29900	34800	20400	21700	9300
F2	0	0	0	11600	24300	29100	14600	21400	4500
DP1	14400	17100	11600	0	13000	20700	16500	28400	16400
DP2	21900	29900	24300	13000	0	19700	24000	34300	29100
DP3	20700	34800	29100	20700	19700	0	16000	22300	26000
DP4	6200	20400	14600	16500	24000	16000	0	15500	13200
DP5	13000	21700	21400	28400	34300	22300	15500	0	18100
DP6	7000	9300	4500	16400	29100	26000	13200	18100	0

**Tablo 7.** Küçük Örnekte Noktalar Arası Seyahat Süresi (sn)

	F0	F1	F2	DP1	DP2	DP3	DP4	DP5	DP6
F0	0	0	0	1028,6	1288,2	1035	269,57	565,22	318,18
F1	0	0	0	712,5	1573,68	1657,14	1569,23	943,48	422,73
F2	0	0	0	682,35	1350	1119,23	695,24	1646,15	281,25
DP1	685,71	743,48	828,57	0	565,22	1380	868,42	1183,33	713,04
DP2	1460	1196	1157,1	520	0	1231,25	1411,76	2638,46	2238,46
DP3	900	1933,3	1265,2	796,15	1036,8	0	666,68	1238,89	1368,42

	F0	F1	F2	DP1	DP2	DP3	DP4	DP5	DP6
DP4	413,3	1020	768,42	916,67	923,08	615,38	0	911,77	550
DP5	590,9	834,6	972,73	1577,8	1429,2	1592,9	911,76	0	1005,56
DP6	318,18	620	180	1093,3	1616,7	1444,4	694,74	1206,7	0

**Tablo 8.** Küçük Örnekte Noktalar Arası Hız (m/sn)

	F0	F1	F2	DP1	DP2	DP3	DP4	DP5	DP6
F0	0	0	0	14	17	20	23	23	22
F1	0	0	0	24	19	21	13	23	22
F2	0	0	0	17	18	26	21	13	16
DP1	21	23	14	0	23	15	19	24	23
DP2	15	25	21	25	0	16	17	13	13
DP3	23	18	23	26	19	0	24	18	19
DP4	15	20	19	18	26	26	0	17	24
DP5	22	26	22	18	24	14	17	0	18
DP6	22	15	25	15	18	18	19	15	0

**Tablo 9.** Küçük Örnekte Noktalar Arası Yol Kapanma İhtimalleri ( $N_{ij}$ )

	F0	F1	F2	DP1	DP2	DP3	DP4	DP5	DP6
F0	0	0	0	0,04	0,14	0,004	0,07	0,18	0,08
F1	0	0	0	0,14	0,03	0,003	0,02	0,01	0,14
F2	0	0	0	0,05	0,19	0,15	0,002	0,04	0,06
DP1	0,17	0,19	0,18	0	0,14	0,03	0,18	0,12	0,06
DP2	0,19	0,01	0,07	0,1	0	0,11	0,11	0,02	0,07
DP3	0,2	0,06	0,19	0,2	0,01	0	0,05	0,19	0,15
DP4	0,05	0,02	0,003	0,06	0,08	0,16	0	0,1	0,16
DP5	0,16	0,13	0,01	0,01	0,02	0,01	0,07	0	0,08
DP6	0,15	0,1	0,11	0,14	0,16	0,13	0,09	0,05	0

Potansiyel her bir tesisin kapasiteleri (kg) ve tesis açma sabit maliyetleri (€) Tablo 10'da verilmektedir.

**Tablo 10.** Küçük Örnekte Potansiyel Tesis Açma Sabit Maliyetleri (€)

Potansiyel Tesisler	Sabit Maliyet (€)
F0	330
F1	350
F2	415

Tablo 11 ve Tablo 12’de yakıt hesaplamasına ilişkin parametre değerlerine yer verilmektedir. Kullanılan teknik parametrelerin hesaplanan değerleri ise Tablo 13 ve Tablo 14’te gösterilmektedir. Tablo 15’te verilen araç kapasiteleri ve araç sabit maliyetleri de dahil olmak üzere yakıt hesaplamasına ilişkin tüm parametre değerleri Koç vd. (2016)’ nin çalışmasından uyarlanmış, para birimi € olarak dönüştürülmüştür.

**Tablo 11.** Tüm Araç Tipleri İçin Geçerli Yakıt Hesaplama Parametreleri

SEMBOL	DEĞER	AÇIKLAMA
$\xi$	1	Yakıt – hava kütle oranı
$\delta$	9,81	Yer çekimi sabiti (m/sn <sup>2</sup> )
$\rho$	1,20	Hava yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )
$C_r$	0,01	Dönme direnci katsayısı
$\eta$	0,45	Dizel motorlar için verim parametresi
$l$	1,57	Yakıt ve emisyon maliyeti
$\kappa$	44	Dizel yakıtın ısıtma değeri (kJ/g)
$\Psi$	737	Dönüşüm faktörü (gramdan litreye) (g/l)
$n_{tf}$	0,45	Aktarma organı verimliliği
$\theta$	0	Yol açısı
$\tau$	0	Hızlanma(m/sn <sup>2</sup> )

**Tablo 12.** Araç Tiplerine Göre Değişiklik Gösteren Yakıt Hesaplama Parametreleri

Sembol	Açıklama	Küçük (1)	Orta (2)	Büyük (3)
$\mu_{nm}$	Boş ağırlık (kg)	3500	4500	5500
$k_{nm}$	Motor sürtünme faktörü (kj/rev/l)	0,25	0,23	0,20
$N_{nm}$	Motor hızı (rev/s)	38,34	37,45	36,67
$V_{nm}$	Motor hacmi (l)	4,5	4,5	6,9
$C_{nmd}$	Aerodinamik sürtünme katsayısı	0,6	0,64	0,7
$A_{nm}$	Ön yüzey alanı (m2)	7	7,4	8

**Tablo 13.** Teknik Parametrelerin Hesaplanan Değerleri

$\lambda$	0,00003
$\gamma$	0,0049
$r$	0,098
$l$ (€)	1,57

**Tablo 14.** Araç Tiplerine Göre Değişiklik Gösteren Teknik Parametrelerin Hesaplanan Değerleri

Araç	$\gamma_{nm}$	$\beta_{nm}$
Küçük (1)	43,13	2,53
Orta (2)	38,76	2,85
Büyük (3)	50,64	3,37

**Tablo 15.** Araç Kapasiteleri ve Maliyetleri

Araç	Araç kapasitesi (kg)	Araç Sabit Maliyetleri (€)
Küçük (1)	4000	47,2
Orta (2)	7500	55,07
Büyük (3)	12500	67,43

#### 4.1.2. Sonuçlar

Tanımlanan veri seti kullanılarak model CPLEX (12.10) ile ortalama 1 dakikada çözülmüştür. Maliyet minimize edilirken seyahat süresi kısıtı için kullanılan epsilon değeri ( $\epsilon_1$ ) 1000000 saniyedir. Performans kriterlerine ilişkin değerler Tablo 16' da verilmektedir. Maliyetin minimize edildiği durumda elde edilen sonuçlar doğrultusunda tesis açma optimal kararı 1. tesisin (F0) açılmasıdır. Bu doğrultuda optimal toplam yakıt, araç ve sabit maliyet 572,07 € olarak bulunmuştur. Seyahat süresinin minimize edilmesi durumunda yakıt, araç ve sabit maliyet kısıtı için kullanılan epsilon değeri ( $\epsilon_2$ ) 1000000'dur. Burada da üç tesisin (F0, F1, F2) açılması kararı optimal kararken optimal toplam seyahat süresi 5629,1 saniye olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 16.** Küçük Örnek Performans Kriterleri Değerleri

	Toplam Maliyet Minimizasyonu	Toplam Seyahat Süresi Minimizasyonu
Toplam sabit tesis maliyeti (€)	330	1095
Toplam araç maliyeti (€)	169,7	189,93
Toplam yakıt maliyeti (€)	72,37	75,6
Toplam maliyet (€)	572,07	1363,53
Seyahat süresi (sn)	7704,1	5629,1
Açılan tesisler	F0	F0, F1, F2

Aşağıdaki tablolarda maliyet minimizasyonu durumunda (yakıt maliyeti, sabit maliyet ve araç maliyeti), senaryolara bağlı olarak açılan tesislerden talep noktalarına 3 tip aracın taşıdığı, bıraktığı yük miktarlarına ve oluşan rotalara ilişkin tablolara yer verilmiştir (Tablo 17, Tablo 18, Tablo 19).

**Tablo 17.** Küçük Örnek İçin Maliyet Minimizasyonu Durumu Dağıtım Planı

Rota	Araç
F0-DP4-F0	Küçük (1)
F0-DP6-DP5-F0	Orta (2)
F0-DP1-DP3-DP2-F0	Büyük (3)

**Tablo 18.** Küçük Örnek İçin Maliyet Minimizasyonu Durumunda Taşınan Yük Miktarı ( $F_{ijnms}$ ) (kg)

Çapraz Sevkiyat Noktaları	Araç	Noktalar		Senaryo				
		i	j	1	2	3	4	5
F0	1	F0	DP4	3000	2800	3000	3400	2700
		DP4	F0	0	0	0	0	0
F0	2	F0	DP6	5300	6100	6300	6400	5900
		DP6	DP5	2500	3100	3100	3200	3400
		DP5	F0	0	0	0	0	0
F0	3	F0	DP1	11200	11800	10600	10800	11200
		DP1	DP3	7600	8000	7000	7400	7600
		DP3	DP2	4200	4400	4000	4200	4400
		DP2	F0	0	0	0	0	0

**Tablo 19.** Küçük Örnek İçin Maliyet Minimizasyonu Durumunda Bırakılan Yük Miktarı ( $Q_{inms}$ ) (kg)

Araç	Çapraz Sevkiyat Noktaları	Talep Noktası	Senaryo				
			1	2	3	4	5
1	F0	DP4	3000	2800	3000	3400	2700
2	F0	DP5	2500	3100	3100	3200	3400
		DP6	2800	3000	3200	3200	2500
3	F0	DP1	3600	3800	3600	3400	3600
		DP2	4200	4400	4000	4200	4400
		DP3	3400	3600	3000	3200	3200

Toplam seyahat süresinin minimizasyonu durumunda açılan tesislerden talep noktalarına 3 tip aracın taşıdığı, bıraktığı yük miktarlarına ve oluşan rotaya ilişkin aşağıda verilen tablolarda gösterilmektedir (Tablo 20, Tablo 21, Tablo 22).

**Tablo 20.** Küçük Örnek İçin Seyahat Süresi Minimizasyonu Durumunda Oluşan Dağıtım Planı

Rota	Araç
F2-DP6-F2	3
F0-DP5-DP4-F0	2
F0-DP3-DP2-DP1-F0	3



**Tablo 21.** Küçük Örnek İçin Seyahat Süresi Minimizasyonu Durumunda Taşınan Yük Miktarı ( $F_{ijnms}$ ) (kg)

Çapraz Sevkiyat Noktaları	Araç	Noktalar		Senaryo				
		i	j	1	2	3	4	5
F2	3	F2	DP6	2800	3000	3200	3200	2500
		DP6	F2	0	0	0	0	0
F0	2	F0	DP5	5500	5900	6100	6600	6100
		DP5	DP4	3000	2800	3000	3400	2700
		DP4	F0	0	0	0	0	0
F0	3	F0	DP3	11200	11800	10600	10800	11200
		DP3	DP2	7800	8200	7600	7600	8000
		DP2	DP1	3600	3800	3600	3400	3600
		DP1	F0	0	0	0	0	0

**Tablo 22.** Küçük Örnek İçin Seyahat Süresi Minimizasyonu Durumunda Bırakılan Yük Miktarı ( $Q_{inms}$ ) (kg)

Talep Noktası	Tesis	Araç	Senaryo				
			1	2	3	4	5
DP1	F0	3	3600	3800	3600	3400	3600
DP2	F0	3	4200	4400	4000	4200	4400
DP3	F0	3	3400	3600	3000	3200	3200
DP4	F0	2	3000	2800	3000	3400	2700
DP5	F0	2	2500	3100	3100	3200	3400
DP6	F2	3	2800	3000	3200	3200	2500

Küçük örneğin çözümünden elde edilen sonuçlar doğrultusunda Tablo 16'da verilen performans kriterleri değerleri göz önünde bulundurulduğunda toplam maliyetin minimizasyonu durumunda, toplam seyahat süresinin minimizasyonuna göre toplam seyahat süresinin %36,86 daha fazla olduğu, bununla birlikte toplam maliyetin %58,04 oranında azaldığı gözlemlenmektedir.

## 4.2. ÖRNEK OLAY İNCELEMESİ

Bu bölümde, öncelikle örnek olayın veri seti tanıtılacak olup daha sonra örnek olayın çözüm ve analize yer verilecektir.

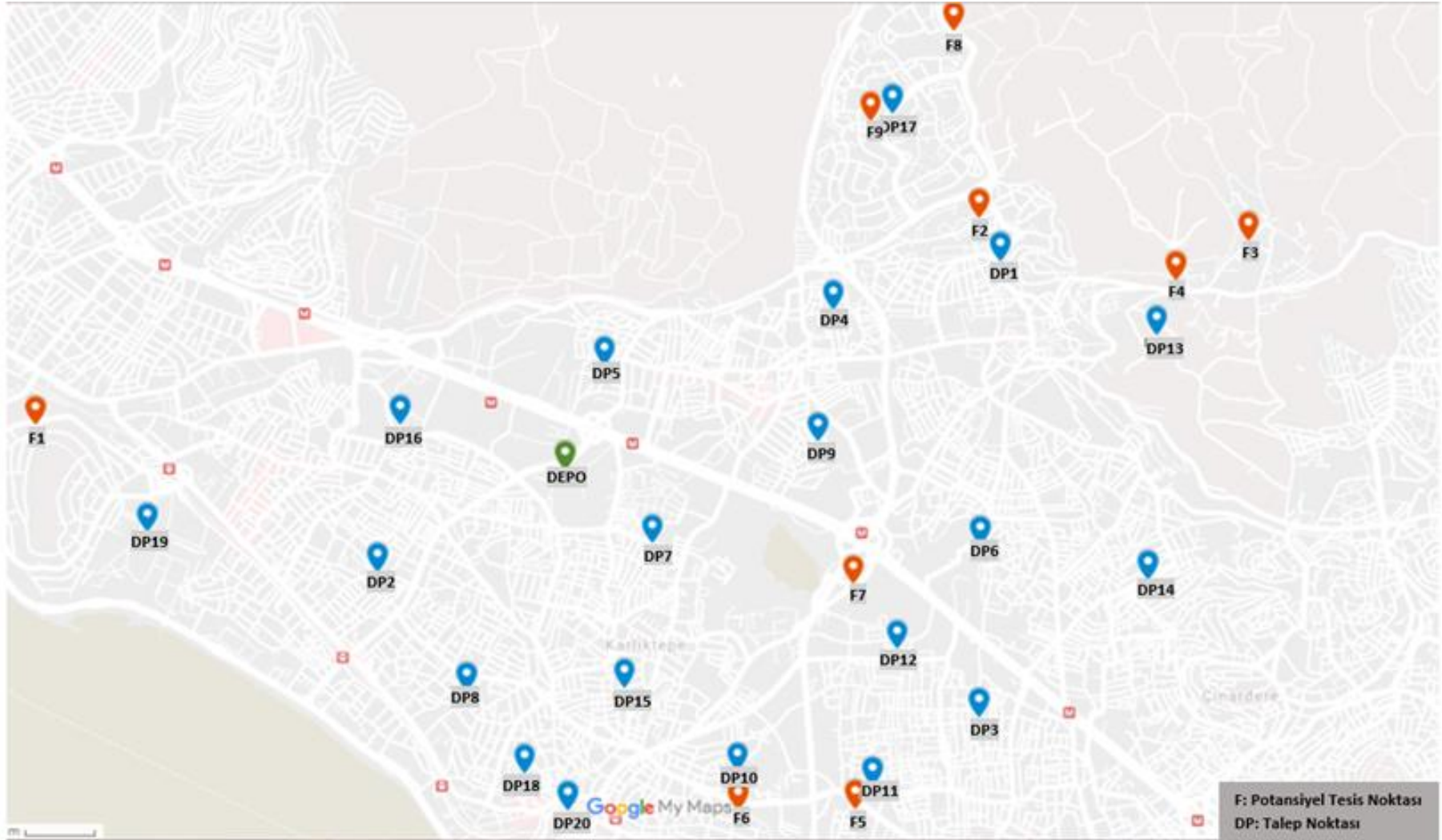
### 4.2.1. Örnek Olay Veri Setinin Tanıtılması

Bu bölümde, örnek olay kapsamında bir deprem durumunda İstanbul'un Kartal ilçesi çalışma alanı olarak ele alınmaktadır. Kartal, geçmişten beri büyük yıkımlarla sonuçlanan çok sayıda deprem yaşamış olan ve tekrar deprem yaşaması beklenen İstanbul'un 470676 nüfusa sahip olan ilçesidir (DEZİM, 2020; Kundak ve Türkoğlu, 2007). Kartal ilçesi şehrin diğer ilçelerine kıyasla daha riskli ilçelerdendir (Kundak ve Türkoğlu, 2007). Bu sebeple olası İstanbul depreminde en düşük maliyetle, en kısa sürede afetzedelerin ihtiyaçlarını gidermek amacıyla oluşturulan bu problem için Kartal ilçesi kapsamında veri seti hazırlanmıştır.

Örnek olay kapsamında, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı, Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü (DEZİM) tarafından hazırlanan "İstanbul İli Kartal İlçesi Olası Deprem Kayıp Tahminleri Kitapçığı" ile birlikte 2011 yılında Ünal ve 2012 yılında Kılıcı tarafından yazılan doktora tezleri başta olmak üzere çeşitli kaynaklardan veriler elde edilmiştir (DEZİM, 2020; Kılıcı, 2012; Ünal, 2011). Ünal (2011) ve Kılıcı (2012) tarafından yazılan doktora tezlerinde Kartal ilçesi için potansiyel noktalar belirlenmiştir. Bu noktalar arasından boş alan olan 9 potansiyel tesis ya da çapraz sevkiyat noktası ( $V_F$ ) seçilmiştir. Bununla birlikte İstanbul Kartal ilçesinde 20 mahalle bulunmaktadır. Talep noktası olarak bu 20 mahalle ( $V_C$ ) ele alınmıştır (Kılıcı, 2012; Ünal, 2011). Ayrıca her bir çapraz sevkiyat noktasında F1, F4, F7 çapraz sevkiyat noktalarında küçük; F2, F5, F8 çapraz sevkiyat noktalarında orta ve F3, F6, F9 çapraz sevkiyat noktalarında büyük olmak üzere birer tane araç bulunduğu varsayılmaktadır. Talep noktalarının ve potansiyel tesislerin isimlerine ve

koordinatlarına Ek 1’de yer verilmektedir (Kılıcı, 2012; Ünal, 2011). Mavi ile işaretlenen yerler talep noktaları, sarı ile işaretlenen yerler potansiyel tesis noktaları olmak üzere bütün noktalar Google Maps’ te hazırlanan harita üzerinde Şekil 4’te gösterilmektedir.

Şekil 4. Potansiyel Tesis ve Talep Noktalarının Haritada Gösterimi



Talep noktalarının talep değerleri “Olası Deprem Kayıp Tahminleri Kitapçığı” dikkate alınarak belirlenmiştir (DEZİM, 2020). Bu değerler olası İstanbul depreminde moment büyüklüğü ( $M_w$ ) 7,5 şiddetinde binaların çok ağır hasarlı, ağır hasarlı, orta hasarlı ve hafif hasarlı olmak üzere hasar durumuna göre 4 ( $|S| = 4$ ) senaryo ( $p_s = 0,25$ ,  $s \in S$ ) şeklinde tasarlanmıştır (DEZİM, 2020). Talep miktarları ( $d_{is}$ ) her senaryoya göre hane başına 3,75 kişiye yardım paketleri sağlanacak şekilde hesaplanmıştır (Ünal, 2011). Her bir yardım paketinin ağırlığı 1 kilogram olacak şekilde varsayılmıştır. Hesaplama sonrasında elde edilen rakamlar yukarı yuvarlanmıştır. Tablo 23’te senaryolara göre hane sayıları, Tablo 24’te talep değerlerine ilişkin veriler yer almaktadır (DEZİM, 2020).

**Tablo 23.** Depremden Hasar Gören Hane Sayısı

Talep Noktaları	Senaryolar			
	1	2	3	4
DP1	9	32	152	314
DP2	8	19	31	438
DP3	13	31	148	279
DP4	6	22	133	366
DP5	6	21	133	397
DP6	5	21	141	407
DP7	9	32	209	564
DP8	7	17	109	377
DP9	3	10	72	255
DP10	12	33	170	373
DP11	17	47	252	483
DP12	10	29	167	325
DP13	13	44	199	441
DP14	19	72	401	948
DP15	12	31	185	517
DP16	8	22	151	435
DP17	4	9	42	194
DP18	6	15	73	188
DP19	22	62	309	618
DP20	10	24	105	254

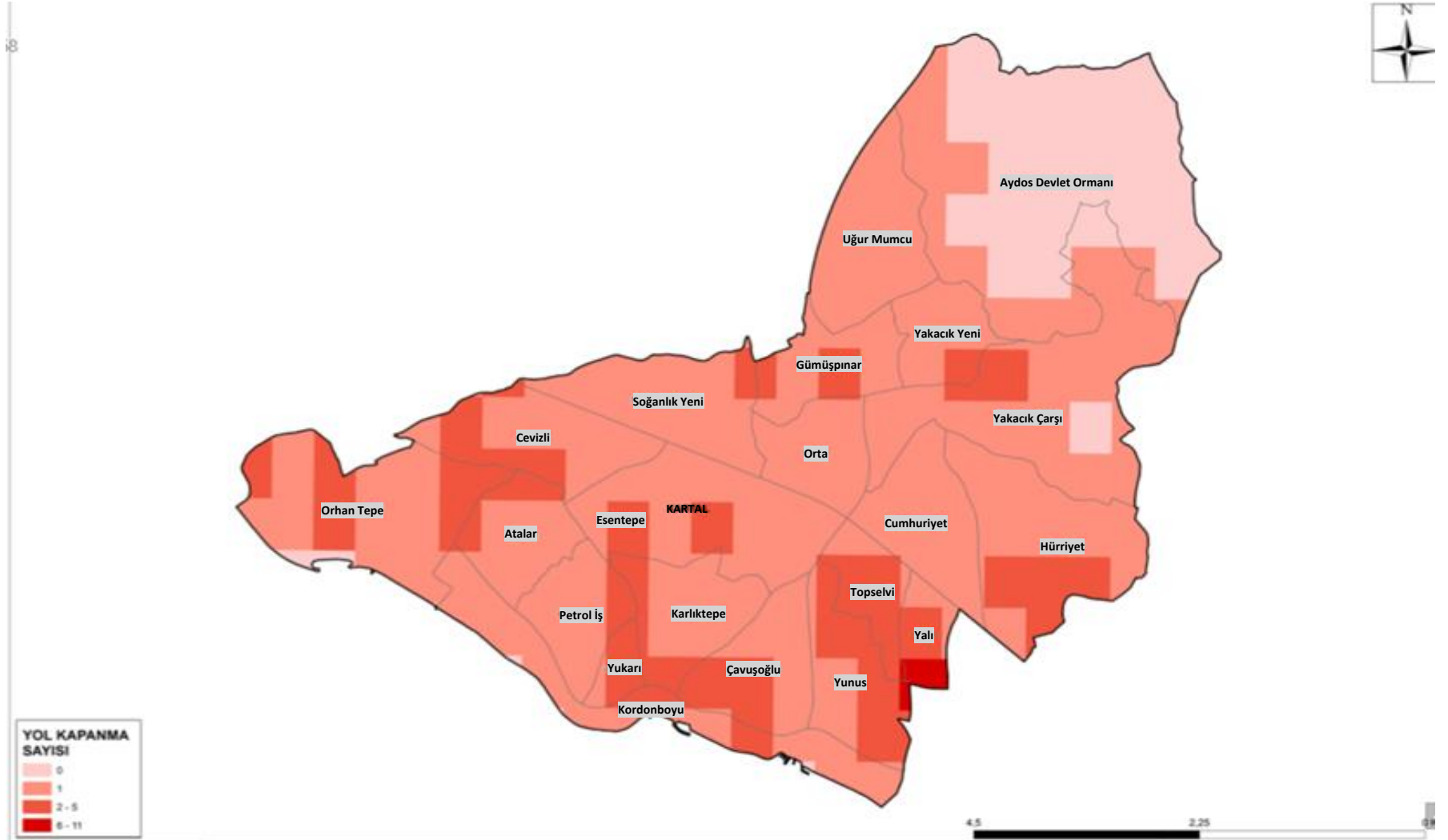
**Tablo 24.** Örnek Olay Talep Değerleri (kg)

Talep Noktaları	Senaryolar			
	1	2	3	4
DP1	34	120	570	1178
DP2	30	71	116	1643
DP3	49	116	555	1046
DP4	23	83	499	1373
DP5	23	79	499	1489
DP6	19	79	529	1526
DP7	34	120	784	2115
DP8	26	64	409	1414
DP9	11	38	270	956
DP10	45	124	638	1399
DP11	64	176	945	1811
DP12	38	109	626	1219
DP13	49	165	746	1654
DP14	71	270	1504	3555
DP15	45	116	694	1939
DP16	30	83	566	1631
DP17	15	34	158	728
DP18	23	56	274	705
DP19	83	233	1160	2318
DP20	38	90	394	953

Noktalar arasındaki mesafeye ( $a_{ij}$ ) ilişkin veriler yollar arasındaki bağlantı durumu dikkate alınarak hazırlanan yollar doğrultusunda düzenlenmiştir (Kılıcı, 2012). Söz konusu mesafelerle birlikte hız parametresi ( $g_{ij}$ ) 50-90 km/s aralığında Excel üzerinden rassal olarak üretilmiş olup metre cinsinden hesaplanarak oluşturulmuştur. Mesafe ve hız parametreleri kullanılarak seyahat süresi ( $t_{ij}$ ) hesaplanmıştır. Mesafe (m), seyahat sürelerine (sn) ve hıza (m/sn) ilişkin veriler sırasıyla Ek 2, Ek 3 ve Ek 4'te görülmektedir.

Noktalar arası bağlantısı olan yollar için atanan yol kapanma olasılıkları, İstanbul ili Kartal ilçesinde  $M_w = 7,5$  şiddetinde bir deprem meydana geldiğinde tahmini hasar alan hane sayısı dikkate alınarak hazırlanan şekildeki haritadan yola çıkarak hesaplanmıştır. Bu haritaya Şekil 5'te yer verilmektedir (DEZİM, 2020).

Şekil 5. Mw=7,5 Şiddetinde Bir Deprem Meydana Geldiğinde Yol Kapanma Dağılım Haritası





Bu harita doğrultusunda talep noktaları ve potansiyel tesis noktalarının haritadaki konumlarının renklerine göre her bir noktaya 0 ile 1 arasında bir değer atanmıştır. Her bir yolun kapanma ihtimali ( $N_{ij}$ ) talep noktasının ve potansiyel tesis noktasının atanan değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Örneğin; Şekil 4'te gösterilen talep noktası olan DP3 Yalı mahallesinden potansiyel tesis noktası F2 arasındaki yolun yol kapanma olasılığının hesaplanmasında Şekil 5'te yer alan haritada noktaların yer aldığı renkler belirlenir. Bu renklere göre DP3 noktasına atanan değer 0,06, F2 potansiyel tesis noktasına atanan değer 0,04'tür. Bu iki değerlerin ortalaması alınarak 0,05 değeri elde edilmiştir. Bu değer F2 potansiyel tesis noktası ile DP3 talep noktası arasındaki yolun kapanma olasılığı olarak varsayılmaktadır. Tüm noktalar için örnekteki gibi elde edilen değerlere Ek 5'te yer verilmektedir. Bununla birlikte her araç turunun kapanmama olasılığı ( $\gamma$ ) %60 olarak varsayılmaktadır.

Tesis sabit maliyetinin ( $z_i$ ) hesaplanmasında, her bir potansiyel çapraz sevkiyat noktası için 150 € tesis açma maliyeti varsayılmıştır. Ek olarak Kartal ilçesinde Şekil 4'teki haritada yeşil işaret ile gösterilen ana depodan potansiyel çapraz sevkiyat noktalarına olan ulaştırma maliyeti hesaplanmıştır. Bu hesaplama yapılırken litre başı yakıt fiyatı 1,57 € olmak üzere 100 km mesafe için aracın 20 litre yakıt tükettiği varsayılmaktadır. Elde edilen değerlere ilişkin sonuçlar Tablo 25' te sunulmaktadır.

**Tablo 25.** Örnek Olay Potansiyel Tesis Açma Sabit Maliyetleri (€)

Potansiyel Tesisler	Sabit Maliyet (€)
F1	200,24
F2	209,66
F3	215,94
F4	212,8
F5	187,68
F6	184,54
F7	175,12
F8	225,36
F9	215,94

Problemde, her bir çapraz sevkiyat noktasında yer alan toplam 9 araçtan oluşan heterojen filo yapısı ele alınmıştır. Küçük, orta ve büyük olmak üzere üç farklı kapasiteye sahip araçların kapasiteleri ( $b_{nm}$ ) ve maliyetlerine ( $\pi_{im}$ ) ilişkin değerler Tablo 15’te verilmektedir. Bu doğrultuda küçük araçlar F1, F4, F7 çapraz sevkiyat noktalarında; orta araçlar F2, F5, F8 çapraz sevkiyat noktalarında ve büyük araçlar F3, F6, F9 çapraz sevkiyat noktalarında yer almaktadır. Yakıt maliyetini ele alan bu problem, yakıt hesaplaması için heterojen filo yapısını dikkate almaktadır. Yakıt hesaplanmasında kullanılan teknik parametre değerlerine ilişkin veriler Tablo 13 ve Tablo 14’ te verilmektedir. Matematiksel modelde kullanılan teknik parametreler dışındaki parametre değerleri Tablo 26’da verilmektedir.

**Tablo 26.** Matematiksel Modelde Kullanılan Parametre Değerleri

Parametre	Değerler	Kaynak
$d_{is}$	Tablo 24	(DEZİM, 2020); (Ünal, 2011); Varsayımsal
$t_{ij}$	EK 3	$a_{ij}/g_{ij}$
$z_i$	Tablo 25	(Kılıcı, 2012); Varsayımsal
$p_s$	0,25	Varsayımsal
$b_{nm}$	Tablo 15	(Koç vd., 2016)
$a_{ij}$	EK 2	(Kılıcı, 2012)
$g_{ij}$	EK 4	Varsayımsal
$\pi_{im}$	Tablo 15	(Koç vd., 2016)
$N_{ij}$	EK 5	Varsayımsal
$\gamma$	0,6	Varsayımsal

#### 4.2.2. Örnek Olay Çözümü ve Analizi

Olası bir depremde İstanbul Kartal ilçesinde ihtiyaç sahiplerinin taleplerini karşılamaya yönelik olan problemin çözümüne bu bölümde yer verilip, çözüm değerlendirilecektir.

Örnek olayın çözümünde toplam maliyetin minimizasyonu ve toplam seyahat süresinin minimizasyonu durumlarının her ikisi de ele alınmaktadır. Çözüme ilişkin her iki durumun modeli aşağıda verilmektedir.

**Toplam maliyet minimizasyonu durumu:**

*En küçük* Amaç fonksiyonu (1.1):

Kısıt seti altında

Kısıtlar (2)-(16)

Amaç fonksiyonu (1.2.)  $\leq \epsilon_1$  (1000000)

**Toplam seyahat süresi minimizasyonu durumu:**

*En küçük* Amaç fonksiyonu (1.2.):

Kısıt seti altında

Kısıtlar (2)-(16)

Amaç fonksiyonu (1.1.)  $\leq \epsilon_2$  (1000000)

Bu problemde çözüm için CPLEX 20.1 kullanılmıştır. Problemin CPLEX ile çözümü yaklaşık 45 dakika sürmektedir. Temel olarak ele alınan örnek problemde araç turunun kapanmama olasılığının %60 olması gerekmektedir. Bu doğrultuda çözülen problemin toplam maliyet minimizasyonunda 1000000 saniye olan epsilon değeri ( $\epsilon_1$ ), toplam seyahat süresinin minimizasyonu durumunda epsilon değeri ( $\epsilon_2$ ) 1000000 €'dür. Her iki durum için temel performans kriterlerinin değerleri Tablo 27'de verilmektedir.

**Tablo 27.** Örnek Olay İçin Temel Performans Kriterleri Değerleri

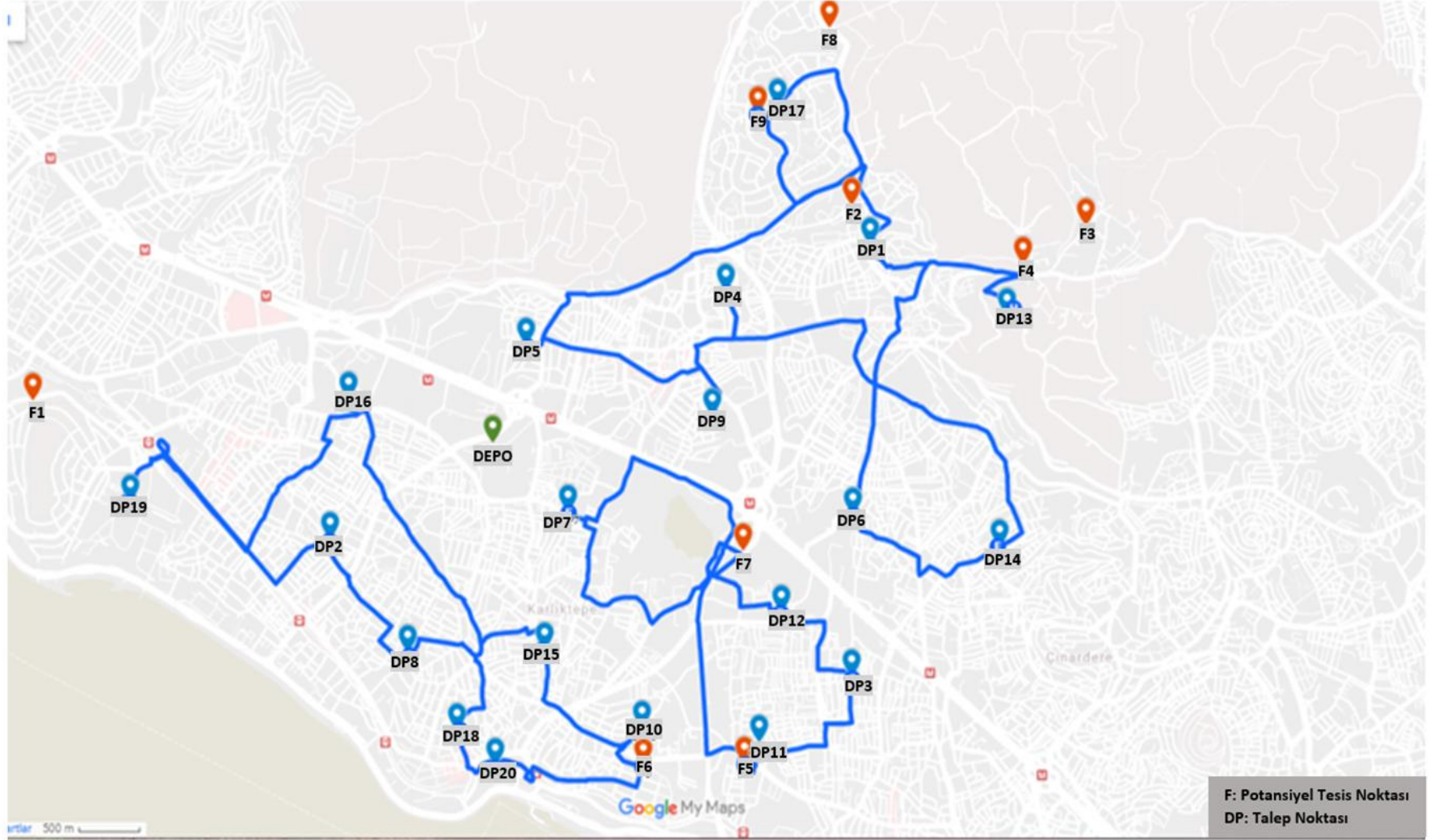
	Toplam Maliyet Minimizasyonu	Toplam Seyahat Süresi Minimizasyonu
Toplam sabit tesis maliyeti (€)	588,16	1827,3
Toplam araç maliyeti (€)	189,93	284,33
Toplam yakıt maliyeti (€)	68,64	72,97
Toplam maliyet (€)	846,73	2184,6
Seyahat süresi (sn)	6954,1	5317,58
Açılan tesisler	F5, F6, F9	F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9

İlk olarak toplam maliyetin minimize edildiği durumda elde edilen optimal sonuç 846,73 € olarak hesaplanmıştır. Bu değer toplam seyahat süresi minimizasyonu durumunda elde edilen toplam maliyet değerinden 1337,87 € daha azdır. Sonrasında toplam seyahat süresini minimize edildiği durumda elde edilen optimal çözüm değeri 5317,58 saniye olarak hesaplanmıştır. Toplam maliyetin minimizasyonu durumunda elde edilen seyahat süresi ise 6954,1 saniyedir. Toplam seyahat süresinin minimizasyonu durumunda, toplam maliyetin minimizasyonu durumuna kıyasla seyahat süresinde 1636,52 saniye avantaj sağlandığı gözlemlenmektedir. Elde edilen rotalara ilişkin tablo aşağıda verilmektedir (Tablo 28). Söz konusu rotalar harita üzerinde toplam maliyet minimizasyonu durumu için Şekil 6 ve toplam seyahat süresi minimizasyonu için Şekil 7’de gösterilmektedir.

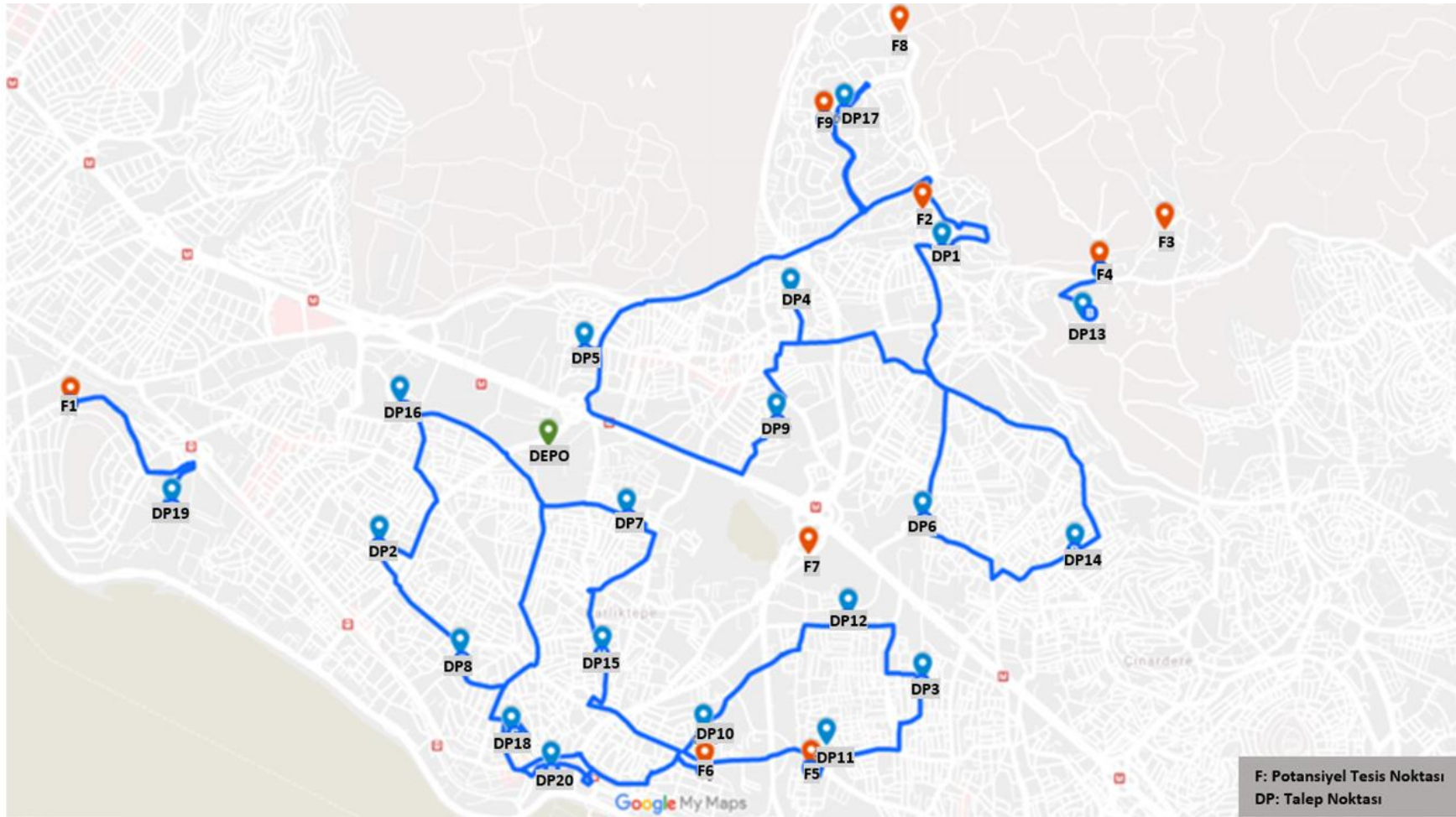
**Tablo 28.** Örnek Olay İçin Her İki Durumda Elde Edilen Araç Rotaları

Maliyet Minimizasyonu Durumu	1. Rota	F5	DP11	DP3	DP12	DP7	F5				
	2. Rota	F6	DP10	DP15	DP8	DP2	DP19	DP16	DP18	DP20	F6
	3. Rota	F9	DP17	DP5	DP9	DP4	DP14	DP6	DP13	DP1	F9
Toplam Seyahat Süresi Minimizasyonu Durumu	1. Rota	F1	DP19	F1							
	2. Rota	F4	DP13	F4							
	3. Rota	F5	DP10	DP12	DP3	DP11	F5				
	4. Rota	F6	DP20	DP18	DP16	DP2	DP8	DP7	DP15	F6	
	5. Rota	F9	DP1	DP6	DP14	DP4	DP9	DP5	DP17	F9	

Şekil 6. Örnek Olay İçin Maliyet Minimizasyonu Durumunda Dağıtım Planı



Şekil 7. Örnek Olay İçin Toplam Seyahat Süresi Minimizasyonu Durumunda Dağıtım Planı



Maliyet minimizasyonu durumunda taşınan ve bırakılan yük miktarlarına ilişkin değerler Tablo 29 ve Tablo 30’da gösterilmektedir.

**Tablo 29.** Örnek Olay İçin Maliyet Minimizasyonu Durumunda Taşınan Yük Miktarları ( $F_{ijnms}$ ) (kg)

Noktalar		Senaryolar			
i	j	1	2	3	4
F5	DP11	185	521	2910	6191
DP11	DP3	121	345	1965	4380
DP3	DP12	72	229	1410	3334
DP12	DP7	34	120	784	2115
DP7	F5	0	0	0	0
F6	DP10	320	837	4251	12002
DP10	DP15	275	713	3613	10603
DP15	DP8	230	597	2919	8664
DP8	DP2	204	533	2510	7250
DP2	DP19	174	462	2394	5607
DP19	DP16	91	229	1234	3289
DP16	DP18	61	146	668	1658
DP18	DP20	38	90	394	953
DP20	F6	0	0	0	0
F9	DP17	245	868	4775	12459
DP17	DP5	230	834	4617	11731
DP5	DP9	207	755	4118	10242
DP9	DP4	196	717	3848	9286
DP4	DP14	173	634	3349	7913
DP14	DP6	102	364	1845	4358
DP6	DP13	83	285	1316	2832
DP13	DP1	34	120	570	1178
DP1	F9	0	0	0	0

**Tablo 30.** Örnek Olay İçin Maliyet Minimizasyonu Durumunda Bırakılan Yük Miktarları ( $Q_{inms}$ ) (kg)

Çapraz Sevkiyat Noktası	Talep Noktası	Senaryo			
		1	2	3	4
F5	DP3	49	116	555	1046
	DP7	34	120	784	2115
	DP11	64	176	945	1811
	DP12	38	109	626	1219
F6	DP2	30	71	116	1643
	DP8	26	64	409	1414
	DP10	45	124	638	1399
	DP15	45	116	694	1939
	DP16	30	83	566	1631
	DP18	23	56	274	705
	DP19	83	233	1160	2318
F9	DP20	38	90	394	953
	DP1	34	120	570	1178
	DP4	23	83	499	1373
	DP5	23	79	499	1489
	DP6	19	79	529	1526
	DP9	11	38	270	956
	DP13	49	165	746	1654
	DP14	71	270	1504	3555
DP17	15	34	158	728	

Toplam seyahat süresi minimizasyonu durumunda taşınan ve bırakılan yük miktarlarına ilişkin değerler Tablo 31 ve Tablo 32’de gösterilmektedir.



**Tablo 31.** Örnek Olay İçin Toplam Seyahat Süresi Minimizasyonu Durumunda Taşınan Yük Miktarları ( $F_{ijnms}$ ) (kg)

Noktalar		Senaryolar			
i	j	1	2	3	4
F1	DP19	83	233	1160	2318
DP9	F1	0	0	0	0
F4	DP13	4000	165	746	1654
DP13	F4	3951	0	0	0
F5	DP10	196	525	2764	5475
DP10	DP12	151	401	2126	4076
DP12	DP3	113	292	1500	2857
DP3	DP11	64	176	945	1811
DP11	F5	0	0	0	0
F6	DP20	226	600	3237	10400
DP20	DP18	188	510	2843	9447
DP18	DP16	165	454	2569	8742
DP16	DP2	135	371	2003	7111
DP2	DP8	105	300	1887	5468
DP8	DP7	79	236	1478	4054
DP7	DP15	45	116	694	1939
DP15	F6	0	0	0	0
F9	DP1	196	703	4029	10805
DP1	DP6	162	583	3459	9627
DP6	DP14	143	504	2930	8101
DP14	DP4	72	234	1426	4546
DP4	DP9	49	151	927	3173
DP9	DP5	38	113	657	2217
DP5	DP17	15	34	158	728
DP17	F9	0	0	0	0

**Tablo 32.** Örnek Olay İçin Toplam Seyahat Süresi Minimizasyonu Durumunda Bırakılan Yük Miktarları ( $Q_{inms}$ ) (kg)

Talep Noktası	Çapraz Sevkiyat Noktası	Senaryo			
		1	2	3	4
F1	DP19	83	233	1160	2318
F4	DP13	49	165	746	1654
F5	DP12	49	116	555	1046
	DP10	45	124	638	1399
	DP11	64	176	945	1811
	DP12	38	109	626	1219
F6	DP2	30	71	116	1643
	DP7	34	120	784	2115
	DP8	26	64	409	1414
	DP15	45	116	694	1939
	DP16	30	83	566	1631
	DP18	23	56	274	705
	DP20	38	90	394	953
F9	DP1	34	120	570	1178
	DP4	23	83	499	1373
	DP5	23	79	499	1489
	DP6	19	79	529	1526
	DP9	11	38	270	956
	DP14	71	270	1504	3555
	DP17	15	34	158	728

Çözüm sonucunda oluşan araç rotaları toplam yol kapanmama olasılıklarına ilişkin değerler maliyet minimizasyonu durumu ve seyahat süresi minimizasyonu durumu için Tablo 33' te gösterilmektedir. Bu değerlerin her araç turunun %60 kapanmama olasılığından ( $\bar{Y}$ ) daha büyük olduğu gözlemlenmektedir.

**Tablo 33.** Rotaların Yol Kapanmama Değerleri

	<b>Rotalar</b>	<b>Toplam Yol Kapanmama Olasılıkları</b>
<b>Maliyet Minimizasyonu Durumu</b>	1. Rota	0,76
	2. Rota	0,63
	3. Rota	0,68
<b>Toplam Seyahat Süresi Minimizasyonu Durumu</b>	1. Rota	0,91
	2. Rota	0,91
	3. Rota	0,76
	4. Rota	0,66
	5. Rota	0,71

### 4.3. ÖRNEK OLAY ÜZERİNDE SENARYO ANALİZLERİ

Bu bölümde, örnek olay veri seti kullanılarak olası bir afette gerçek hayatta meydana gelebilecek araç turunun farklı kapanmama olasılıkları ile araç filo yapısının homojen/heterojen olma durumları ele alınmaktadır. Bununla birlikte çift amaç fonksiyonu olan modelin hem toplam maliyet hem de toplam seyahat süresi bakımından ödünleşme analizlerine yer verilmektedir. Analizler sonucunda elde edilen sonuca ilişkin değerlerin performans kriterlerine etkileri gösterilmektedir.

Senaryo analizlerinde aksi belirtilmedikçe kullanılan maliyet minimizasyonu durumu için epsilon değeri ( $\epsilon_1$ ) 1000000 saniye, toplam seyahat süresi minimizasyonu için epsilon değeri ( $\epsilon_2$ ) 1000000 € olarak kabul edilmiştir.

#### 4.3.1. Toplam Maliyetin Ödünleşme Analizi

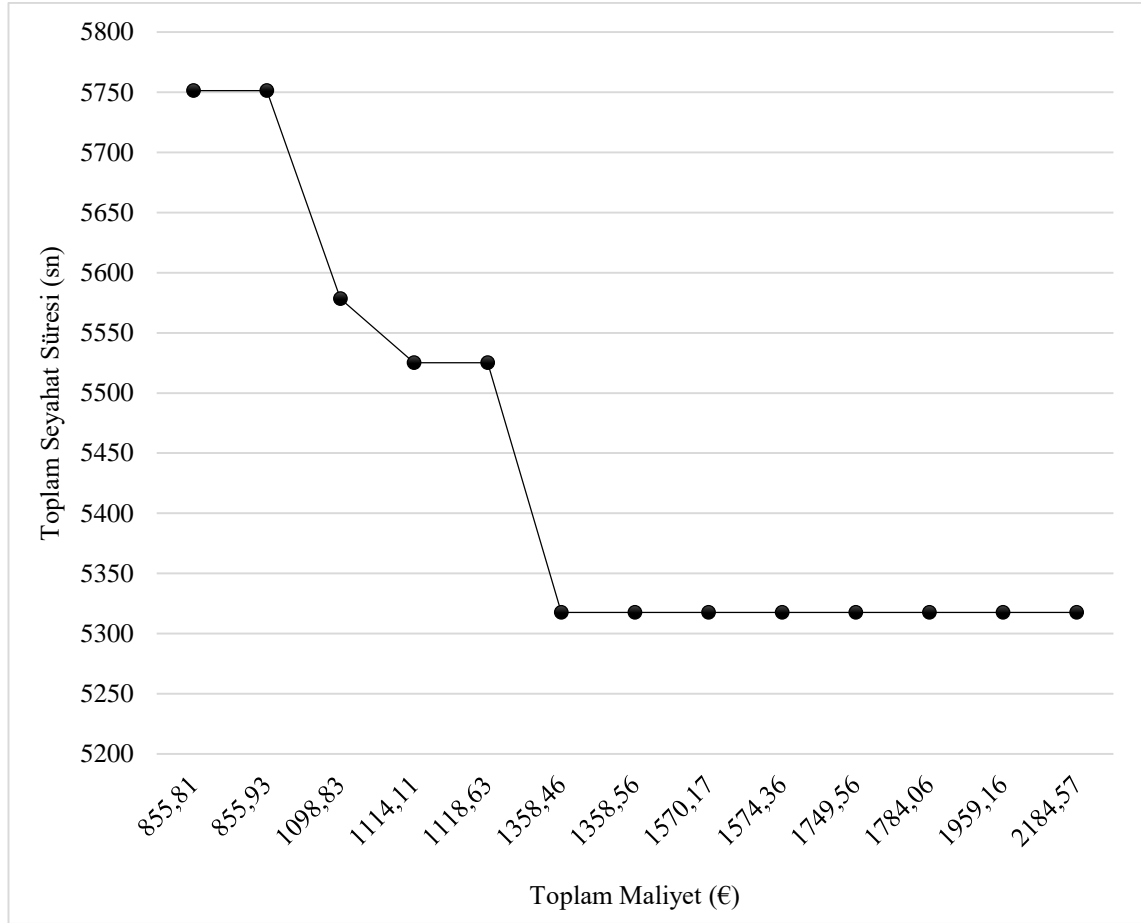
Toplam maliyetin ödünleşme analizinde, toplam seyahat süresinin minimizasyonu durumu ele alınmaktadır. Bu noktada toplam maliyet e-kısıt olarak kabul edilmektedir. E-kısıta atanan maliyetin farklı epsilon değerleri için seyahat süresinde meydana gelen değişimler incelenmektedir.

Örnek analizde 1000000 € olarak belirlenen epsilon değeri ( $\epsilon_2$ ), toplam maliyetin ödünleşme analizinde 900 €'dan başlayarak 2000 €'ya kadar 100 €'luk artışlarla farklı maliyet epsilon değerlerinde çözümler elde edilmiştir. Bu çözümlerin performans kriterlerine ilişkin değerleri Tablo 34'te sunulmaktadır. Bununla birlikte Şekil 8'de farklı maliyet seviyelerinde ortaya çıkan seyahat sürelerinin değerlerine ilişkin grafiğe yer verilmektedir.

**Tablo 34.** Toplam Maliyetin Ödünleşme Analizi Performans Kriterleri Değerleri

	€ <sub>2</sub> =900	€ <sub>2</sub> =1000	€ <sub>2</sub> =1100	€ <sub>2</sub> =1200	€ <sub>2</sub> =1300	€ <sub>2</sub> =1400	€ <sub>2</sub> =1500	€ <sub>2</sub> =1600	€ <sub>2</sub> =1700	€ <sub>2</sub> =1800	€ <sub>2</sub> =1900	€ <sub>2</sub> =2000	€ <sub>2</sub> =1000000
<b>Toplam Sabit Tesis Maliyeti (€)</b>	588,16	588,16	788,4	800,96	800,96	1001,2	1001,2	1217,1	1210,9	1392,3	1426,8	1601,9	1827,3
<b>Toplam Araç Maliyeti (€)</b>	189,93	189,93	237,13	237,13	237,13	284,33	284,33	284,33	284,33	284,33	284,33	284,33	284,33
<b>Toplam Yakıt Maliyeti (€)</b>	77,85	77,72	73,3	76,02	80,54	73,03	72,93	72,93	74,94	72,93	72,93	72,93	72,94
<b>Toplam Maliyet (€)</b>	855,93	855,81	1098,83	1114,11	1118,63	1358,56	1358,46	1574,36	1570,17	1749,56	1784,06	1959,16	2184,57
<b>Seyahat Süresi (Saniye)</b>	5751,4	5751,45	5578,5	5525,1	5525,1	5317,6	5317,6	5317,6	5317,6	5317,6	5317,6	5317,6	5317,6
<b>Açılan Tesisler</b>	F5, F6, F9	F5, F6, F9	F1, F5, F6, F9	F4, F5, F6, F9	F4, F5, F6, F9	F1, F4, F5, F6, F9	F1, F4, F5, F6, F9	F1, F3, F4, F5, F6, F9	F1, F2, F4, F5, F6, F9	F1, F3, F4, F5, F6, F7, F9	F1, F2, F3, F4, F5, F6, F9	F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F9	F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9

**Şekil 8.** Toplam Maliyetin Ödünleşme Analizi Grafiği



Tablo 34’te yer alan performans kriterleri değerleri incelendiğinde epsilon değerleri ( $\epsilon_2$ ) arttıkça toplam seyahat sürelerinde genel bir azalma olduğu gözlemlenmektedir. Toplam maliyetin ödünleşme analizi grafiği (Şekil 8) incelendiğinde toplam maliyetin 1358,46 €’dan yüksek maliyet değerlerinde toplam seyahat süresinin aynı seviyede kaldığı gözlemlenmektedir. Bundan daha düşük toplam maliyet değerlerinin farklı seviyelerinde 853,93 € - 1114,11 € aralığında olduğu gibi toplam seyahat süresinde değişim meydana gelmektedir. Toplam maliyetin ödünleşme analizi grafiği incelendiğinde genel olarak maliyetteki artış, seyahat süresinde azalmayla sonuçlanmaktadır.

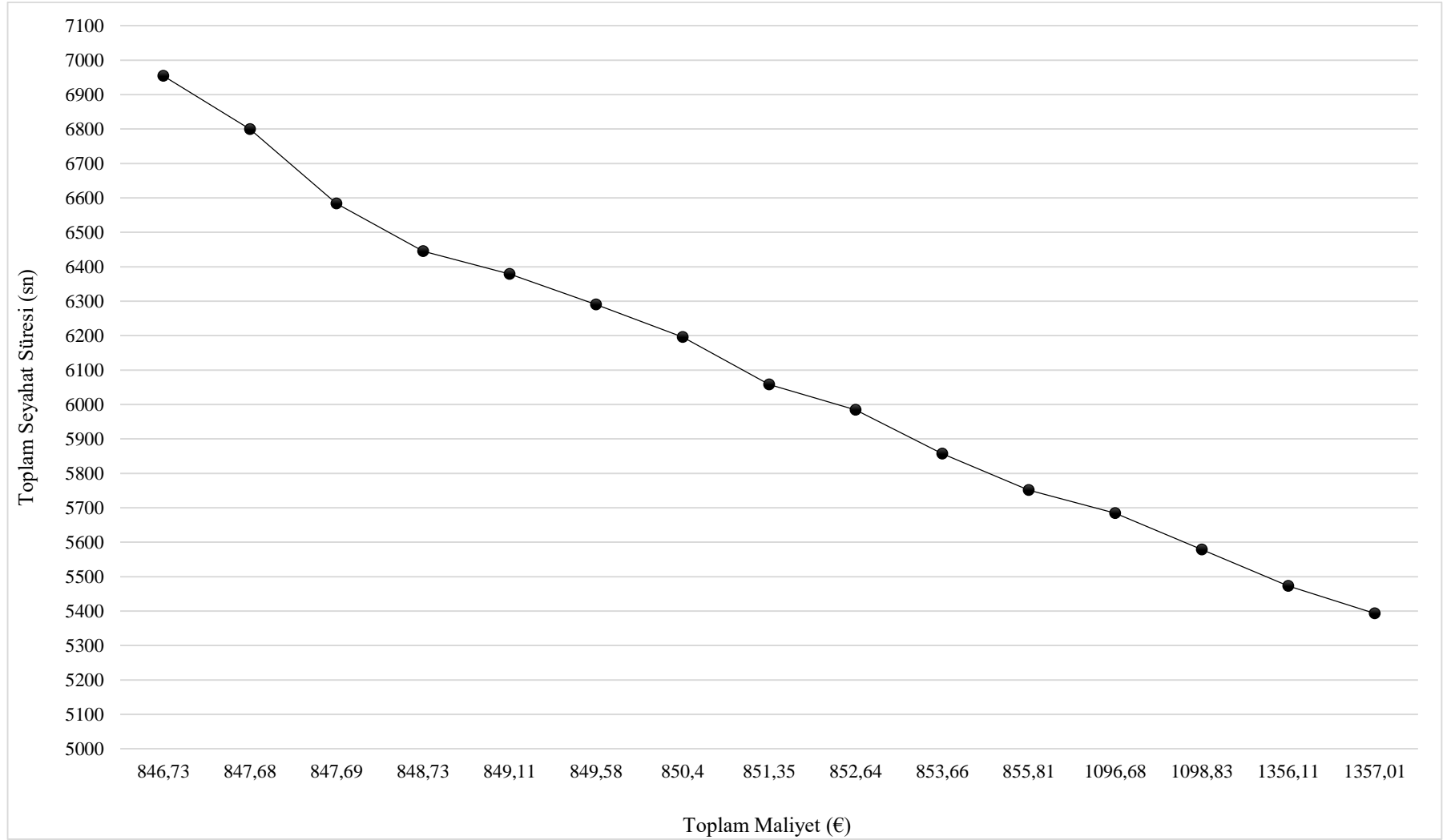
### 4.3.2. Toplam Seyahat Süresinin Ödünleşme Analizi

Toplam seyahat süresinin ödünleşme analizinde toplam maliyet minimizasyonu durumda e-kısıt olarak kabul edilen toplam seyahat süresine farklı epsilon değerleri ( $\epsilon_1$ ) verilerek toplam maliyete etkisi incelenmektedir. Bu doğrultuda 5400 saniyeden başlayarak 7000 saniyeye kadar 100'er saniyelik aralıklarla toplam seyahat süresi e-kısıtına epsilon değerleri verilmiştir. Farklı toplam seyahat süresi epsilon değerlerinde elde edilen çözümlere ilişkin performans kriterleri değerleri Tablo 35'te gösterilmektedir. Farklı epsilon seviyelerinde meydana gelen toplam maliyetteki değişimler Şekil 9'da grafikte sunulmaktadır.





Şekil 9. Toplam Seyahat Süresi Ödünleşme Analizi Grafiği



Şekil 9’da verilen grafikte görüldüğü üzere toplam seyahat süresinde meydana gelen artışların toplam maliyette düşüğe sebep olduğu gözlemlenmektedir.

Tablo 35’te yer alan temel performans kriterleri değerleri incelendiğinde epsilon değerlerinin ( $\epsilon_1$ ) 5400 ve 5500 saniye olduğu verilen en düşük seviyelerde açılan tesis sayılarında artış söz konusu olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum tesis sabit maliyetlerinde ve araç maliyetinde artışa sebep olmaktadır. Yakıt maliyetinde farklı epsilon seviyelerinde 5500 saniyede elde edilen değer 5600 saniyeye kıyasla daha düşük olduğu gözlemlense de toplam maliyet en yüksek değerleri 5400 saniye ve sonrasında 5500 saniye seviyelerinde almaktadır.

#### **4.3.3. Araç Turlarının Farklı Kapanmama Olasılıklarında Amaç Fonksiyonlarının Analizi**

Modelde yer alan 12 numaralı kısıt seti bir afet durumunda araç rotalarının yollarda meydana gelebilecek kapanma durumunu dikkate alarak oluşturulmasını sağlamaktadır. Bu noktada, örnek olayda her araç turunun kapanmama olasılığı ( $\Upsilon$ ) 0,6 kabul edilerek bir çözüm elde edilmektedir. Bu bölümde, örnek olayda 0,6 olması gereken bu olasılık yerine 0,5 ve 0,7 olmak üzere iki farklı olasılık ele alınarak optimal çözüm değerleri elde edilmektedir. Yeni atanan olasılıklar kapsamında temel performans kriterleri açısından sonuçlar Tablo 36’da gösterilmektedir. Bu doğrultuda elde edilen çözüme ilişkin dağıtım planı Tablo 37’de verilmektedir.

**Tablo 36.** Araç Turunun Farklı Kapanmama Olasılıklarında Temel Performans Kriterleri Değerleri

	Toplam Maliyet Minimizasyonu			Toplam Seyahat Süresi Minimizasyonu		
	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 0,6$	$\gamma = 0,7$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 0,6$	$\gamma = 0,7$
<b>Toplam sabit tesis maliyeti (€)</b>	588,16	588,16	763,28	1827,3	1827,3	1827,3
<b>Toplam araç maliyeti (€)</b>	189,93	189,93	237,13	284,33	284,33	331,53
<b>Toplam yakıt maliyeti (€)</b>	68,64	68,64	72,83	72,93	72,97	74,42
<b>Toplam maliyet (€)</b>	846,73	846,73	1073,24	2184,56	2184,6	2233,25
<b>Seyahat süresi (saniye)</b>	6954,1	6954,1	8050,2	5317,6	5317,58	5685,9
<b>Açılan tesisler</b>	F5, F6, F9	F5, F6, F9	F5, F6, F7, F9	F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9	F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9	F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9

**Tablo 37.** Araç Turunun Farklı Kapanmama Olasılıklarında Dağıtım Planı

Toplam Maliyet Minimizasyonu	$\Upsilon = 0,5$	F5 DP11 DP3 DP12 DP7 F5	
		F6 DP10 DP15 DP8 DP2 DP19 DP16 DP18 DP20 F6	
		F9 DP17 DP5 DP9 DP4 DP14 DP6 DP13 DP1 F9	
	$\Upsilon = 0,6$	F5 DP11 DP3 DP12 DP7 F5	
		F6 DP10 DP15 DP8 DP2 DP19 DP16 DP18 DP20 F6	
		F9 DP17 DP5 DP9 DP4 DP14 DP6 DP13 DP1 F9	
	$\Upsilon = 0,7$	F5 DP11 DP10 DP20 DP7 F5	
		F6 DP15 DP8 DP2 DP19 DP16 DP18 F6	
		F7 DP6 DP3 DP12 F7	
		F9 DP17 DP5 DP9 DP4 DP14 DP13 DP1 F9	
Toplam Seyahat Süresi Minimizasyonu	$\Upsilon = 0,5$	F1 DP19 F1	
		F4 DP13 F4	
		F5 DP10 DP12 DP3 DP11 F5	
	$\Upsilon = 0,6$	F6 DP20 DP18 DP16 DP2 DP8 DP7 DP15 F6	
		F9 DP1 DP6 DP14 DP4 DP9 DP5 DP17 F9	
		F1 DP19 F1	
	$\Upsilon = 0,7$	F4 DP13 F4	
		F5 DP10 DP12 DP3 DP11 F5	
		F6 DP20 DP18 DP16 DP2 DP8 DP7 DP15 F6	
			F9 DP1 DP6 DP14 DP4 DP9 DP5 DP17 F9
	$\Upsilon = 0,7$	F1 DP19 F1	
		F4 DP13 F4	
F5 DP11 DP7 DP15 DP10 F5			
		F6 DP20 DP18 DP8 DP2 DP16 F6	
		F7 DP12 DP3 F7	
		F9 DP1 DP6 DP14 DP4 DP9 DP5 DP17 F9	

Toplam maliyet minimizasyonu durumunda atanan 0,5 ve 0,7 araç turunun kapanmama olasılıkları ( $\Upsilon$ ) toplam maliyet değerinde örnek analizle karşılaştırıldığında 0,5 değeri için herhangi bir değişim gözlemlenmemiştir. 0,7 değeri için 12 saat sonunda %2,81 aralık “gap” değeri ile çözüm elde edilmiştir. Bu doğrultuda elde edilen optimal toplam maliyet değeri 1073,24 € olarak hesaplanmıştır. Burada örnek analize kıyasla toplam maliyeti oluşturan yakıt maliyeti, sabit tesis maliyeti ve araç maliyetinin her birinde artış söz konusudur. Ayrıca toplama seyahat süresi örnek analizde 6954,1 saniye iken araç turunun kapanmama olasılığının 0,7 olduğu bu analizde 8050,2 saniyeye yükselmektedir.

Toplam seyahat süresinin minimizasyonu durumunda ise 0,5 ve 0,7 olmak üzere farklı araç turunun kapanmama olasılıklarının performans kriterleri üzerinde ve dağıtım planında etkisi gözlemlenmiştir. Öncelikle 0,5 oranında örnek analize kıyasla dağıtım planında bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Örnek analize kıyasla 0,04 €'luk yakıt maliyetinde gerçekleşen artış, toplam maliyete yansımaktadır. Araç turunun 0,7 kapanmama olasılığında ise örnek analize kıyasla dağıtım planında değişikliklerin meydana geldiği gözlemlenmiştir. Örnek analizde beş olan rota sayısı 0,7 oranında altıya yükselmektedir. Bu durumun yakıt maliyeti ve araç maliyetinde artışa sebep olduğu gözlemlenmektedir. Ancak tesis sabit maliyetinde bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Yakıt ve araç sabit maliyetlerindeki artış toplam maliyette artış ile sonuçlanmaktadır. Aynı zamanda örnek analize kıyasla toplam seyahat süresinde de artış gözlemlenmektedir.

#### **4.3.4. Farklı Araç Filolarında Amaç Fonksiyonlarının Analizi**

Bu bölümde, araç filosunun homojen olduğu varsayımı altında elde ettiğimiz çözüme ilişkin değerler sunulacaktır. Temel problemde, araç filosu heterojen kabul edilmiş olup, araç kapasitelerinin ve maliyetlerinin Tablo 15'te gösterildiği gibi birbirinden farklı küçük, orta ve büyük araçların mevcut olduğu kabul edilmektedir. Bu heterojen araç filosu yakıt maliyetinin hesaplanmasında da dikkate alınmaktadır. Bu bölümde ise araç filosu homojen kabul edilerek tüm araçların orta araç olduğu varsayılmıştır. Bu doğrultuda elde edilen çözüme ilişkin değerler Tablo 38'de, oluşan dağıtım planı ise Tablo 39'de gösterilmektedir.

**Tablo 38.** Farklı Araç Filolarında Temel Performans Kriterleri Değerleri

	Toplam Maliyet Minimizasyonu		Toplam Seyahat Süresi Minimizasyonu	
	Homojen Araç Filosu	Heterojen Araç Filosu	Homojen Araç Filosu	Heterojen Araç Filosu
<b>Toplam sabit tesis maliyeti (€)</b>	957,24	588,16	1827,3	1827,3
<b>Toplam araç maliyeti (€)</b>	275,35	189,93	385,49	284,33
<b>Toplam yakıt maliyeti (€)</b>	57,49	68,64	59,6	72,97
<b>Toplam maliyet (€)</b>	1290,08	846,73	2272,39	2184,6
<b>Seyahat süresi (saniye)</b>	7230,8	6954,1	5508,86	5317,58
<b>Açılan tesisler</b>	F1, F2, F5, F6, F7	F5, F6, F9	F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9	F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9

**Tablo 39.** Farklı Araç Filolarında Oluşan Dağıtım Planı

Maliyet Minimizasyonu Durumu	Heterojen Araç Filosu	1. Rota F5 DP11 DP3 DP12 DP7 F5										
				2. Rota F6 DP10 DP15 DP8 DP2 DP19 DP16 DP18 DP20 F6								
		3. Rota F9 DP17 DP5 DP9 DP4 DP14 DP6 DP13 DP1 F9										
Maliyet Minimizasyonu Durumu	Homojen Araç Filosu	1. Rota F1 DP19 F1										
		2. Rota F2 DP17 DP5 DP9 DP4 DP13 DP1 F2										
		3. Rota F5 DP11 DP10 DP15 DP7 F5										
		4. Rota F6 DP8 DP2 DP16 DP18 DP20 F6										
		5. Rota F7 DP6 DP14 DP3 DP12 F7										
Toplam Seyahat Süresi Minimizasyonu Durumu	Heterojen Araç Filosu	1. Rota F1 DP19 F1										
		2. Rota F4 DP13 F4										
		3. Rota F5 DP10 DP12 DP3 DP11 F5										
		4. Rota F6 DP20 DP18 DP16 DP2 DP8 DP7 DP15 F6										
		5. Rota F9 DP1 DP6 DP14 DP4 DP9 DP5 DP17 F9										
	Homojen Araç Filosu	1. Rota F1 DP19 DP2 DP16 F1										
		2. Rota F2 DP9 DP5 DP4 DP1 F2										
		3. Rota F4 DP13 F4										
		4. Rota F5 DP11 DP10 F5										
		5. Rota F6 DP20 DP18 DP8 DP7 DP15 F6										
		6. Rota F7 DP12 DP3 DP14 DP6 F7										
		7. Rota F9 DP17 F9										

Örnek olay analizinde araç filo yapısının heterojen olarak belirlenmesi durumunda maliyet minimizasyonu yapıldığında elde edilen toplam maliyet 846,73 € iken tüm araçların orta sınıfta kabul edildiği homojen araç filosu varsayımı ile elde edilen toplam maliyet değerinin 1290,08 € olduğu gözlemlenmiştir. Homojen araçlar kullanıldığında örnek analizde kullanılan heterojen filo yapısına kıyasla toplam maliyet değerinde %52,36 artış söz konusudur. Toplam maliyeti oluşturan unsurlardan tesis maliyeti, araç maliyeti ve toplam yakıt maliyeti ayrı ayrı değerlendirildiğinde öncelikle açılan tesis sayısında gözlenen artış doğrultusunda toplam tesis sabit maliyetlerinde artış söz konusudur. Örnek analizde 588,16 € olan tesis sabit maliyetinin, homojen araç filo yapısında 957,24 €'ya ulaştığı gözlemlenmektedir. Örnek analizde 189,93 € araç maliyetleri, homojen filo yapısında 275,35 €'ya çıkmaktadır. Burada toplam maliyeti oluşturan maliyetlerden yakıt maliyeti örnek analize kıyasla azalış göstermektedir. Yakıt maliyeti örnek analizde heterojen araçlarda 68,64 € iken homojen araçlar kullanıldığında 57,49 €'ya düştüğü hesaplanmaktadır. Maliyet unsurlarında homojen yapının pozitif etkisinden bahsedebileceğimiz tek unsur yakıt maliyeti olduğu gözlemlenmiştir. Yine toplam maliyetin minimizasyonu durumunda seyahat süresinde örnek analizde 6954,1 saniye iken homojen araçlar kullanıldığında 7230,8 saniyeye çıkmıştır.

Toplam seyahat süresi minimizasyonu durumunda homojen/heterojen araç filolarının toplam seyahat süresinde değişikliğe yol açtığı gözlemlenmiştir. Örnek analizde 5317,58 saniye olan toplam seyahat süresi homojen araçlar kullanıldığında 5508,86 saniyeye çıkmıştır. Farklı filolarda yüzde olarak artış değeri %3,59'tur. Burada her iki filo yapısında da bütün tesisler açıldığından, örnek analizde olduğu gibi, homojen araçlar için elde edilen çözümde de toplam tesis sabit maliyeti aynı olup 1827,3 €'dur. Örnek analizde 284,33 € olan toplam araç maliyetinin bu analizde 385,49 €'ya çıktığı gözlemlenmektedir. Yakıt maliyetinin hesaplanmasında homojen araçların kullanıldığı bu analizde toplam maliyetin minimizasyonu durumunda olduğu gibi yakıt maliyetinin örnek analize kıyasla 72,97 €'dan 59,51 €'ya düştüğü gözlemlenmektedir. Dolayısıyla homojen/heterojen araç filolarının toplam maliyetler üzerinde etkisi söz konusudur. Örnek analizde 2184,6 € olan toplam maliyetin bu analizde 2272,31 €'ya artmış olduğu gözlemlenmektedir.

### 4.3.5. Talebin Farklı Belirsizlik Durumlarında Amaç Fonksiyonlarının Analizi

Örnek analizde talebin belirsizliği ele alınmaktadır. Bu belirsizlikle başa çıkabilmek adına talep senaryolarına bağlanmaktadır. Talebin senaryolarına bağlı olduğu bu yapıda senaryolar Kartal ilçesinde  $M_w=7,5$  şiddetinde meydana gelebilecek olası bir depremde binaların hasar durumu dikkate alınarak talep miktarları hesaplanmaktadır. Talebin deterministik olduğu varsayımı ile Kartal ilçesinde olası bir deprem meydana geldiğinde mahallelerin yani talep noktalarının talep miktarlarının bilindiği kabul edilmektedir. Söz konusu talep miktarları, hasar durumlarına göre oluşturulan her senaryodaki değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Bu doğrultuda elde edilen talep değerleri ile problem çözülmüştür. Çözüme ilişkin performans kriterleri değerleri Tablo 40'ta, elde edilen araç rotaları ise Tablo 41'de verilmektedir.

**Tablo 40.** Farklı Talep Belirsizliği Durumlarında Temel Performans Kriterleri Değerleri

	Toplam Maliyet Minimizasyonu		Toplam Seyahat Süresi Minimizasyonu	
	Deterministik	Senaryo Bazlı	Deterministik	Senaryo Bazlı
<b>Toplam sabit tesis maliyeti (€)</b>	563,04	588,16	1827,3	1827,3
<b>Toplam araç maliyeti (€)</b>	149,47	189,93	292,2	284,33
<b>Toplam yakıt maliyeti (€)</b>	60,59	68,64	68,26	72,97
<b>Toplam maliyet (€)</b>	773,1	846,73	2187,76	2184,6
<b>Seyahat süresi (sn)</b>	6813,8	6954,1	5148,12	5317,58
<b>Açılan tesisler</b>	F1, F5, F7	F5, F6, F9	F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9	F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9



**Tablo 41.** Talebin Farklı Belirsizlik Durumlarında Elde Edilen Araç Rotaları

Maliyet Minimizasyonu Durumu	Senaryo Bazlı	
	1. Rota	2. Rota
Deterministik	1. Rota	F5 DP11 DP3 DP12 DP7 F5
	2. Rota	F6 DP10 DP15 DP8 DP2 DP19 DP16 DP18 DP20 F6
	3. Rota	F9 DP17 DP5 DP9 DP4 DP14 DP6 DP13 DP1 F9
	1. Rota	F1 DP16 DP2 DP19 F1
	2. Rota	F5 DP11 DP3 DP14 DP6 DP1 DP13 DP17 DP4 DP5 DP9 F5
	3. Rota	F7 DP12 DP10 P20 DP18 DP8 DP15 DP7 F7
Toplam Seyahat Süresi Minimizasyonu Durumu	Senaryo Bazlı	
	1. Rota	F1 DP19 F1
	2. Rota	F4 DP13 F4
	3. Rota	F5 DP10 DP12 DP3 DP11 F5
	4. Rota	F6 DP20 DP18 DP16 DP2 DP8 DP7 DP15 F6
	5. Rota	F9 DP1 DP6 DP14 DP4 DP9 DP5 DP17 F9
	Deterministik	
	1. Rota	F2 DP1 DP6 DP14 DP3 DP12 DP7 DP9 DP5 DP4 F2
	2. Rota	F4 DP13 F4
	3. Rota	F5 DP11 F5
4. Rota	F6 DP20 DP18 DP8 DP2 DP16 DP19 DP15 DP10 F6	
5. Rota	F9 DP17 F9	

Tablo 40' ta yer alan sonuçlar doğrultusunda toplam seyahat süresi minimizasyonu durumunda örnek analize kıyasla toplam maliyet değerinde 3,16 € değerinde bir artış gözlemlenmiştir. Ancak toplam seyahat süresinin örnek analize kıyasla 5317,58 saniyeden 5148,12 saniyeye düştüğü gözlemlenmiştir.

Toplam maliyetin minimizasyonu durumunda ise talebin deterministik kabul edildiği analizde Cplex üzerinden 12 saat sonunda %4,2 aralık “*gap*” değeri ile elde edilen toplam maliyet değeri 773,1 € ‘dur. Bu doğrultuda temel performans kriterleri değerleri Tablo 40’ta verilmektedir. Örnek analize kıyasla bu analizde toplam maliyet değerinin daha düşük olduğu gözlemlenmektedir. Ancak bu tez çalışması kapsamında örnek analizde talebin senaryolara bağlı olduğu varsayımı ile elde edilen sonuçlar deterministik yaklaşıma kıyasla gerçeğe daha yakındır. Deterministik yaklaşım ile sabit olarak ele aldığımız talep değerleri sonucunda verilen kararların değeri örneğin maliyetin minimizasyonu durumu için 773,1 € gibi görünse de aslında bu kararların beklenen değeri senaryo bazlı durum için elde edilen optimal değer olan 846,73 €’dan daha fazladır. Dolayısıyla bu tez çalışmasında senaryo bazlı olarak çözümün elde edilmesi modelin gerçeğe yaklaştırılması açısından oldukça önemlidir.

## SONUÇ

Afetler her yıl giderek artan bir şekilde büyük kayıplara sebep olmaktadır. İnsani yardım faaliyetleri ile ihtiyaç sahiplerine yardım malzemelerinin ulaştırılması, afetzedelerin buldukları bölgelerden gerekli durumlarda tahliye edilmesi sağlanmaktadır. Böylelikle afetlerin sebep olduğu kayıpların en aza indirilmesi hedeflenmektedir. İnsani yardımda lojistik faaliyetlerin doğru planlanarak sürdürülmesi bu amaca hizmet etmektedir. İnsani yardım lojistiği yardım malzemelerinin ulaştırılmasının yanı sıra bu malzemeler ile ilgili tüm akışı ve depolama faaliyetlerini de kapsamaktadır.

Bu tez çalışmasında insani yardım lojistiğinde yer seçimi ve rotalama problemi için olasılıklı iki amaçlı karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli önerilmektedir. Toplam maliyetin minimizasyonu ve toplam seyahat süresinin minimizasyonu olmak üzere iki amaca sahip olan model, toplam maliyet kapsamında tesis sabit maliyetini, araç maliyetini ve yakıt maliyetini ele almaktadır. Modelin seyahat süresinin minimizasyonu amacı, insani yardım bağlamında can ve mal kaybının azaltılması için en kısa sürede afetzedelerin ihtiyaçlarının giderilmesini sağlaması açısından önem arz etmektedir. Bununla birlikte toplam maliyetin en aza indirilmesi amacı ticari faaliyetlerde olduğu gibi insani yardımda da önem arz etmektedir. Afet anında kaynakların verimli bir şekilde kullanılması daha çok afetzedenin ihtiyacının giderilmesi adına oldukça önemlidir. Ayrıca model talebin belirsizliğini ve yol kapanma durumunu dikkate almaktadır. Bununla birlikte heterojen araç filo yapısı da ele alınmaktadır.

Yer seçimi ve rotalama problemi kapsamında literatürde incelenen çalışmalardan Aslan ve Çelik (2018) tarafından yapılan çalışmada yol durumu ve talebin belirsizliği durumları dikkate alınmaktadır. Ancak bu tez çalışması, Aslan ve Çelik (2018) tarafından yapılan çalışma ile kıyaslandığında ayrıca yakıt tüketimini içermesi gibi bazı açılardan farklılık göstermektedir. Bu bakımdan, bu tez çalışmasında önerilen modelde olduğu gibi maliyet ve seyahat süresi minimizasyonu olmak üzere bu iki amacı ele alan, araç filusunun heterojen kabul edildiği, yakıt tüketimi hesaplamasının yapıldığı, aynı zamanda yol

kapanma durumu ve talep belirsizliğinin birlikte dikkate alındığı model önerisi içeren bir çalışma bulunmamaktadır. Bu sebeple önerilen modeli gerçeğe yaklaştıran bu özelliklerin, bir afet durumunda karar vericiler için destek niteliği taşıyacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada olası bir İstanbul depremi için Kartal ilçesini ele alan örnek olay üzerinde yapılan nümerik analizler ile modelin sağlayacağı fayda gösterilmektedir. Yapılan örnek olaya ilişkin analiz ve sonrasında sunulan senaryo analizleri ile karar vericiler için bir afet durumunda gerçek hayatta karşılaşılabilecek çeşitli durumlar ele alınmıştır. Yapılan tüm analizlerde belirlenen performans kriterleri açısından sonuçlar gösterilmiştir. Ayrıca örnek analizde olduğu gibi senaryo analizlerinin birçoğunda dağıtım planları sunulmaktadır.

Yapılan analizler sonucunda; örnek olaya ilişkin analiz incelendiğinde, toplam seyahat süresi minimizasyonu durumunda ortaya çıkan toplam seyahat süresi, maliyet minimizasyonu durumunda elde edilen toplam seyahat süresinden 1636,52 saniye daha azdır. Ayrıca seyahat süresi minimizasyonu durumunda elde edilen toplam maliyetin, maliyetin minimizasyonu durumunda elde edilen toplam maliyete kıyasla 2,58 kat daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Her iki durum içinde oluşan araç rotalarının yol kapanmama olasılıkları, örnek analizde %60 olması gereken her araç turunun kapanmama olasılığından daha büyük olacak şekilde araç rotaları elde edilmiştir. Bunun için farklı araç turlarının kapanmama olasılıkları ile yapılan senaryo analizinde, olasılıkta meydana gelen artışın toplam maliyet ve seyahat sürelerinde artışa neden olduğu gözlemlenmektedir. Bununla birlikte, modelde ele alınan heterojen araç filosu, araç filosunun homojen kabul edildiği varsayıma kıyasla, senaryo analizlerinde gözlemlendiği üzere, toplam maliyet ve seyahat süresi üzerinde her iki durumda da pozitif etkiye sahip olmaktadır. Ek olarak, talep belirsizliğini dikkate almanın ilgili dağıtım planlarını değiştirdiği ve temel performans kriterleri üzerinde etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Talebin senaryolara bağlı olarak ele alınması problemi gerçeğe yaklaştırmaktadır.

Bu tez çalışmasının kısıtı olarak örnek analizde ele alınan Kartal ilçesi ile sınırlı kalınması gösterilmektedir. Gelecek çalışmalar için model daha büyük alanlar için uygulanabilir ve sezgisel çözüm yöntemlerinden yararlanılabilir. Ayrıca ileride bu konuda yapılacak çalışmalarda, insani yardımın getirdiği belirsizlikle mücadele edebilmek adına talebin ve yol durumunun belirsiz yapısının yanı sıra hız gibi diğer parametrelerin belirsiz olarak ele alınması ile modelin gerçeğe daha da yaklaştırılması sağlanabilir. Ayrıca model ana depodan çapraz sevkiyat noktalarına olan rotalama problemini de dikkate alarak iki aşamalı olacak şekilde genişletilebilir.

## KAYNAKÇA

- Adarang, H., Bozorgi-Amiri, A., Khalili-Damghani, K., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2020). A robust bi-objective location-routing model for providing emergency medical services. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 10(3), 285–319.
- AFAD (2019). *Deprem Nedir?* <https://www.afad.gov.tr/deprem-nedir>
- AFAD (2020). *Türkiye'de afet yönetimi ve doğa kaynaklı afet istatistikleri raporu.*
- Ahmadi, M., Seifi, A., & Tootooni, B. (2015). A humanitarian logistics model for disaster relief operation considering network failure and standard relief time : A case study on San Francisco district. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 75, 145–163.
- Akararungruangkul, R., & Kaewman, S. (2018). Modified differential evolution algorithm solving the special case of location routing problem. *Mathematical and Computational Applications*, 23(3), 34.
- Albareda-Sambola, M., Fernández, E., & Laporte, G. (2007). Heuristic and lower bound for a stochastic location-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 179(3).
- Andersson, J. (2000). A survey of multiobjective optimization in engineering design. Technical Report. Department of Mechanical Engineering Linktjping University, Linköping, Sweden.

- Araghi, M. E. T., Tavakkoli-Moghaddam, R., Jolai, F., & Molana, S. M. H. (2021). A green multi-facilities open location-routing problem with planar facility locations and uncertain customer. *Journal of Cleaner Production*, 282, 124343.
- Aslan, E., & Çelik, M. (2019). Pre-positioning of relief items under road / facility vulnerability with concurrent restoration and relief transportation. *IIE Transactions*, 51(8), 847–868.
- Azad, N., & Davoudpour, H. (2013). Designing a stochastic distribution network model under risk. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 64(1-4), 23-40.
- Barber, E. (2011). Military Involvement in Humanitarian Supply Chains. G. Kovács, & K. M. Spens (Ed.), *Relief Supply Chain Management for Disasters: Humanitarian, Aid and Emergency Logistics*.
- Barth, M., & Boriboonsomsin, K. (2008). Real-world carbon dioxide impacts of traffic congestion. *Transportation Research Record*, 2058(1), 163-171.
- Barth, M., & Boriboonsomsin, K. (2009). Energy and emissions impacts of a freeway-based dynamic eco-driving system. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(6), 400-410.
- Barth, M., Younglove, T., & Scora, G. (2005). Development of a heavy-duty diesel modal emissions and fuel consumption model.
- Beiki, H., Seyedhosseini, S. M., Ghezavati, V. R., & Seyedaliakbar, S. M. (2020a). A location-

routing model for assessment of the injured people and relief distribution under uncertainty. *International Journal of Engineering*, 33(7), 1274–1284.

Beiki, H., Seyedhosseini, S. M., Ghezavati, V. R., & Seyedaliakbar, S. M. (2020b). Multi-objective optimization of multi-vehicle relief logistics considering satisfaction levels under uncertainty. *International Journal of Engineering*, 33(5), 814–824.

Beiki, H., Seyedhosseini, S. M., Mihardjo, L. W. & Seyedaliakbar, S. M. (2021). Multiobjective location-routing problem of relief commodities with reliability. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-10.

Berglund, P. G., & Kwon, C. (2014). Robust facility location problem for hazardous waste transportation. *Networks and Spatial Economics*, 14(1), 91–116.

Bharandev, S., & Ali, S. M. (2016). Logistics Planning in Natural Disasters. Sahay, B. S., Gupta, S., & Menon, V. C. (Ed.), *Managing Humanitarian Logistics* (s. 23-31). Springer.

Boonmee, C., Arimura, M., & Asada, T. (2017). Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24, 485-498.

Bozorgi-Amiri, A., & Khorsi, M. (2016). A dynamic multi-objective location–routing model for relief logistic planning under uncertainty on demand, travel time, and cost parameters. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 85(5), 1633-1648.



- Caunhye, A. M., Zhang, Y., Li, M., & Nie, X. (2016). A location-routing model for prepositioning and distributing emergency supplies. *Transportation Research Part E Logistics and Transportation Review*, *90*, 161–176.
- Chan, Y., Carter, W. B., & Burnes, M. D. (2001). A multiple-depot, multiple-vehicle, location-routing problem with stochastically processed demands. *Computers & Operations Research*, *28*(8), 803-826.
- Chang, K., Zhou, H., Chen, G., & Chen, H. (2017). Multiobjective location routing problem considering uncertain data after disasters. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, *2017*.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2017). *Tedarik Zinciri Yönetimi: Strateji, Planlama ve Operasyon*. (E. Bulut, Çev.) Nobel.
- CSCMP. (2013). *Supply Chain Management Definitions and Glossary*. [https://cscmp.org/CSCMP/Academia/SCM\\_Definitions\\_and\\_Glossary\\_of\\_Terms/CSCMP/Educate/SCM\\_Definitions\\_and\\_Glossary\\_of\\_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921](https://cscmp.org/CSCMP/Academia/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921)
- Çağlar, B. & Kuşcuoğlu, M. (2013). İnsani yardım ve lojistik yönetimi. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, (29), 45-52.
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, *6*(1), 80-91.

- Delfani, F., Kazemi, A., Seyedhosseini, S. M., & Niaki, S. T. A. (2020). A green hazardous waste location-routing problem considering the risks associated with transportation and population, *International Journal of Engineering*, 33(11), 2272–2284.
- Demir, E., Bektaş, T., & Laporte, G. (2011). A comparative analysis of several vehicle emission models for road freight transportation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16(5), 347-357.
- Demir, E., Bektaş, T., & Laporte, G. (2014). A review of recent research on green road freight transportation. *European Journal of Operational Research*, 237(3), 775-793.
- DEZİM. (2020). *Kartal olası deprem kayıp tahminleri kitapçığı*. İstanbul.
- Dukkanci, O., Kara, B. Y., & Bektaş, T. (2019). The green location-routing problem. *Computers and Operations Research*, 105, 187–202.
- Ertem, M. A., Buyurgan, N., & Rossetti, M. D. (2010). Multiple-buyer procurement auctions framework for humanitarian supply chain management. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.40(3).
- Farrokhi-Asl, H., Makui, A., Jabbarzadeh, A., & Barzinpour, F. (2020). Solving a multi-objective sustainable waste collection problem considering a new collection network, *Operational Research*, 20(4), 1977-2015.
- Garrido, R. A., & Aguirre, I. (2020). Emergency logistics for disaster management under

spatio-temporal demand correlation: The earthquakes case. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 16(5), 2369.

Geismar, H. N., Huang, Y., Pillai, S. D., Sriskandarajah, C., & Youn, S. (2020). Location-routing with conflicting objectives: Coordinating ebeam phytosanitary treatment and distribution of Mexican import commodities. *Production and Operations Management*, 29(6), 1506-1531.

Geng, S., Hou, H., & Zhang, S. (2020). Multi-criteria location model of emergency shelters in humanitarian logistics. *Sustainability*, 12(5).

Ghaderi, A., & Burdett, R. L. (2019). An integrated location and routing approach for transporting hazardous materials in a bi-modal transportation network. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 127, 49–65.

Ghaffari-Nasab, N., Ahari, S. G., & Ghazanfari, M. (2013a). A hybrid simulated annealing based heuristic for solving the location-routing problem with fuzzy demands. *Scientia Iranica*, 20(3), 919-930.

Ghaffari-Nasab, N., Jabalameli, M. S., Aryanezhad, M. B., & Makui, A. (2013b). Modeling and solving the bi-objective capacitated location-routing problem with probabilistic travel times. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67(9-12), 2007-2019.

Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2013). Introduction to logistics systems management. John Wiley & Sons.

- Gholamian, M. R., & Heydari, M. (2017). An inventory model with METRIC approach in location-routing-inventory problem. *Advances in Production Engineering & Management*, 12(2).
- Govindan, K., Mina, H., Esmaeili, A., & Gholami-Zanjani, S. M. (2020). An integrated hybrid approach for circular supplier selection and closed loop supply chain network design under uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118317.
- Hassan-Pour, H. A., Mosadegh-Khah, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2009). Solving a multi-objective multi-depot stochastic location-routing problem by a hybrid simulated annealing algorithm. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 223(8), 1045-1054.
- Hauder V.A., Karder J., Beham A., Wagner S. & Affenzeller M. (2018). A general solution approach for the location routing problem. Moreno-Díaz R., Pichler F. & Quesada-Arencibia A. (Ed), *Computer Aided Systems Theory – EUROCAST 2017*.
- He, X., & Hu, W. (2017). A two-stage queue model to optimize layout of urban drainage system considering extreme rainstorms. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017.
- Heidari, R., Yazdanparast, R., & Jabbarzadeh, A. (2019). Sustainable design of a municipal solid waste management system considering waste separators: A real-world application. *Sustainable Cities and Society*, 47, 101457.
- Herazo-Padilla, N., Montoya-Torres, J. R., Isaza, S. N., & Alvarado-Valencia, J. (2015). Simulation-optimization approach for the stochastic location-routing problem. *Journal of*

*Simulation*, 9(4), 296-311.

Huang, S. H. (2015). Solving the multi-compartment capacitated location routing problem with pickup–delivery routes and stochastic demands. *Computers & Industrial Engineering*, 87, 104-113.

Javid, A. A., & Azad, N. (2010). Incorporating location, routing and inventory decisions in supply chain network design. *Transportation Research Part E- Logistics and Transportation Review*, 46(5), 582–597.

Karimi, H., & Setak, M. (2018). A bi-objective incomplete hub location-routing problem with flow shipment scheduling. *Applied Mathematical Modelling*, 57, 406–431.

Kaveh, F., Tavakkoli-Moghaddam, R., Triki, C., Rahimi, Y., & Jamili, A. (2019). A new bi-objective model of the urban public transportation hub network design under uncertainty. *Annals of Operations Research*, 1-32.

Keskin, M. H. (2011). *Lojistik el kitabı ve küresel tedarik zinciri pratikleri: kavramlar, prensipler, uygulamalar*. Gazi Kitabevi.

Kılıcı, F. (2012). *A decision support system for shelter site selection with gis integration: Case for Turkey*. Yüksek Lisans Tezi. Bilkent Üniversitesi, Ankara.

Koç, Çağrı, Bektaş, T., Jabali, O., & Laporte, G. (2016). The impact of depot location, fleet composition and routing on emissions in city logistics. *Transportation Research Part B:*

*Methodological*, 84, 81–102.

Koç, Çağrı. (2019). Analysis of vehicle emissions in location-routing problem. *Flexible Services and Manufacturing Journal* 31(1), 1-33.

Krajewski, L. J., Ritzman, L., & Malhotra, M. (2009). *Operations Management Process and Supply Chains* (9. bs.).

Kundak, S., & Türkoğlu, H. (2006). İstanbul'da deprem riski analizi. *İTÜDERGİSİ/a*, 6(2).

Laporte, G., Louveaux, F., & Mercure, H. (1989). Models and exact solutions for a class of stochastic location-routing problems. *European Journal of Operational Research*, 39(1), 71-78.

Leng, L., Zhang, C., Zhao, Y., Wang, W., Zhang, J., & Li, G. (2020a). Biobjective low-carbon location-routing problem for cold chain logistics: Formulation and heuristic approaches. *Journal of Cleaner Production*, 273, 122801.

Leng, L., Zhang, J., Zhang, C., Zhao, Y., Wang, W., & Li, G. (2020b). A novel bi-objective model of cold chain logistics considering location-routing decision and environmental effects. *PLoS one*, 15(4).

Leng, L., Zhang, J., Zhang, C., Zhao, Y., Wang, W., & Li, G. (2020c). Decomposition-based hyperheuristic approaches for the bi-objective cold chain considering environmental effects. *Computers and Operations Research*, 123, 105043.

- Leng, L., Zhao, Y., Wang, Z., Wang, H., & Zhang, J. (2018). Shared mechanism-based self-adaptive hyperheuristic for regional low-carbon location-routing problem with time windows. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018.
- Leng, L., Zhao, Y., Wang, Z., Zhang, J., Wang, W., & Zhang, C. (2019a). A novel hyperheuristic for the biobjective regional low-carbon location-routing problem with multiple constraints. *Sustainability*, 11(6).
- Leng, L., Zhao, Y., Zhang, J., & Zhang, C. (2019b). An effective approach for the multiobjective regional low-carbon location-routing problem. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(11).
- Li, L., Lo, H. K., Huang, W., & Xiao, F. (2021). Mixed bus fleet location-routing-scheduling under range uncertainty. *Transportation Research Part B: Methodological*, 146, 155–179.
- 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.
- Mansoori, S., Bozorgi-Amiri, A., & Pishvaei, M. S. (2020). A robust multi-objective humanitarian relief chain network design for earthquake response, with evacuation assumption under uncertainties. *Neural Computing and Applications*, 32(7), 2183–2203.
- Marinakis, Y. (2015). An improved particle swarm optimization algorithm for the capacitated location routing problem and for the location routing problem with stochastic demands.

*Applied Soft Computing Journal*, 37, 680–701.

Marinakis, Y., Marinaki, M., & Migdalas, A. (2016). A hybrid clonal selection algorithm for the location routing problem with stochastic demands. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 76(1-2), 121-142.

Mehrjerdi, Y. Z., & Nadizadeh, A. (2013). Using greedy clustering method to solve capacitated location-routing problem with fuzzy demands. *European Journal of Operational Research*, 229(1), 75-84.

Mirzaei-khafri, S., Bashiri, M., & Soltani, R. (2020). A robust optimization model for a location-arc routing problem. *International Journal of Industrial Engineering-Theory Applications And Practice*, 27(2), 288–307.

Mohammadi, M., Razmi, J., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2013). Multi-objective invasive weed optimization for stochastic green hub location routing problem with simultaneous pick-ups and deliveries. *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, 47(3).

Moshref-Javadi, M., & Lee, S. (2016). The latency location-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 255(2), 604-619.

Mousavi, S. M., & Vahdani, B. (2017). A robust approach to multiple vehicle location-routing problems with time windows for optimization of cross-docking under uncertainty. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 32(1), 49–62.



- Nadizadeh, A., & Nasab, H. H. (2014). Solving the dynamic capacitated location-routing problem with fuzzy demands by hybrid heuristic algorithm. *European Journal of Operational Research*, 238(2), 458–470
- Nagy, G., & Salhi, S. (2007). Location-routing: Issues, models and methods. *European Journal of Operational Research*, 177(2), 649-672.
- Nahmias, S., & Olsen, T. L. (2015). *Production and operations analysis*. Waveland Press.
- Nakhjirkan, S., & Mokhatab Rafiei, F. (2017). An integrated multi-echelon supply chain network design considering stochastic demand: A genetic algorithm based solution. *Promet-Traffic&Transportation*, 29(4), 391-400.
- Nasrollahi, M., Razmi, J., & Ghodsi, R. (2018). A computational method for measuring transport related carbon emissions in a healthcare supply network under mixed uncertainty: An empirical study. *Promet-Traffic&Transportation*, 30(6), 693–708.
- Nekooghadirli, N., Tavakkoli-Moghaddam, R., Ghezavati, V. R., & Javanmard, A. S. (2014). Solving a new bi-objective location-routing-inventory problem in a distribution network by meta-heuristics. *Computers & Industrial Engineering*, 76, 204-221.
- Nikzamir, M., & Baradaran, V. (2020). A healthcare logistic network considering stochastic emission of contamination: Bi-objective model and solution algorithm. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 142, 102060.

- Oksuz, M. K., & Satoglu, S. (2020). A two-stage stochastic model for location planning of temporary medical centers for disaster response. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 44.
- Oruc, B. E., & Kara, B. (2018). Post-disaster assessment routing problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 116, 76-102.
- Ozen, M., & Krishnamurthy, A. (2018). Evaluating relief center designs for disaster relief distribution. *Journal of Humanitarian Logistics And Supply Chain Management*, 8(1), 22-48.
- Pekel, E., & Kara, S. S. (2019). Solving fuzzy capacitated location routing problem using hybrid variable neighborhood search and evolutionary local search. *Applied Soft Computing*, 83, 105665.
- Perdana, T., Chaerani, D., Achmad, A. L. H., & Hermiatin, F. R. (2020). Scenarios for handling the impact of COVID-19 based on food supply network through regional food hubs under uncertainty. *Heliyon*, 6(10), e05128.
- Pitakaso, R., Sethanan, K., & Theeraviriya, C. (2020). Variable neighborhood strategy adaptive search for solving green 2-echelon location routing problem. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105406.
- Rabbani, M., Heidari, R., & Yazdanparast, R. (2019). A stochastic multi-period industrial

hazardous waste location-routing problem: Integrating NSGA-II and Monte Carlo simulation. *European Journal of Operational Research*, 272(3), 945–961.

Rabbani, M., Aghabegloo, M., & Farrokhi-Asl, H. (2017). Solving a bi-objective mathematical programming model for bloodmobiles location routing problem. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 8(1), 19–32.

Rabbani, M., Hashemi, P., Bineshpour, P., & Farrokhi-Asl, H. (2020). Municipal solid waste management considering NGO's role in consumer environmental awareness and government regulations for air pollution. *Journal of Modelling in Management*. 15(3), 783–807.

Rachaniotis, N. P., Dasaklis, T., Pappis, C. P., & Van Wassenhove, L. N. (2013). Multiple location and routing models in humanitarian logistics. Zeimpekis, V., Ichoua, S., & Minis, I. (Ed.) *Humanitarian and Relief Logistics: Research issues, case studies and future trends* (s. 43-59).

Rafie-Majd, Z., Pasandideh, S. H. R., & Naderi, B. (2018). Modelling and solving the integrated inventory-location-routing problem in a multi-period and multi-perishable product supply chain with uncertainty: Lagrangian relaxation algorithm. *Computers and Chemical Engineering*, 109, 9–22.

Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2006). *The handbook of logistics distribution management* (3. bs.). Kogan Page.

Sabouhi, F., Bozorgi-Amiri, A., & Vaez, P. (2020). Stochastic optimization for transportation

planning in disaster relief under disruption and uncertainty. *Kybernetes*.

Saeidi-Mobarakeh, Z., Tavakkoli-Moghaddam, R., Navabakhsh, M., & Amoozad-Khalili, H. (2020). A bi-level and robust optimization-based framework for a hazardous waste management problem: A real-world application. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119830.

Santander, P., Sanchez, F. A. C., Boudaoud, H., & Camargo, M. (2020). Closed loop supply chain network for local and distributed plastic recycling for 3D printing: A MILP-based optimization approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 154, 104531.

Schiffer, M., & Walther, G. (2018). Strategic planning of electric logistics fleet networks: A robust location-routing approach. *Omega*, 80, 31–42.

Scora, G., & Barth, M. (2006). Comprehensive modal emissions model (cmem), version 3.01. *User guide*. Centre for environmental research and technology. University of California, Riverside, 1070, 79.

Shahparvari, S., & Bodaghi, B. (2018). Risk reduction for distribution of the perishable rescue items; A possibilistic programming approach. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31, 886–901.

Shen, L., Tao, F., Shi, Y., & Qin, R. (2019). Optimization of location-routing problem in emergency logistics considering carbon emissions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(16).

- 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.
- Shiripour, S., Mahdavi-amiri, N., & Mahdavi, I. (2015). A nonlinear model for a capacitated random transportation network. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 32(8), 500–515.
- Shiripour, S., Mahdavi-Amiri, N., & Mahdavi, I. (2017). A transportation network model with intelligent probabilistic travel times and two hybrid algorithms. *Transportation Letters*, 9(2), 90-122.
- Shiripour, S., Mahdavi, I., & Mahdavi-Amiri, N. (2016). A nonlinear model for a capacitated stochastic transportation network using multiple linear regression. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 11(4), 252-261.
- Snoeck, A., & Winkenbach, M. (2020). The value of physical distribution flexibility in serving dense and uncertain urban markets. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 136, 151–177.
- Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Haijema, R., & Van Der Vorst, J. G. (2015). Modeling an inventory routing problem for perishable products with environmental considerations and demand uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 164, 118-133.
- Soysal, M., Çimen, M., & Belbağ, S. (2020). Pickup and delivery with electric vehicles under stochastic battery depletion. *Computers & Industrial Engineering*, 146, 106512.

Stock, J., & Lambert, D. (2001). *Strategic Logistics Management* (4. bs.). McGraw Hill.

Saylam, S., & Şen, C. (2020). İnsani yardım lojistiğinde stratejik yönetim. K. Arun, & S. Gebeç (Ed.), *Stratejik Lojistik Yönetimi Kitabı* (s. 377-404). Nobel Akademik Yayıncılık.

Tajabadi, F. Z., & Kazemi, A. (2016). To develop an integrated model for green supply chain. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 8(3), 1340-1365.

Tordecilla, R. D., Copado-Méndez, P. J., Panadero, J., Quintero-Araujo, C. L., Montoya-Torres, J. R., & Juan, A. A. (2021). Combining heuristics with simulation and fuzzy logic to solve a flexible-size location routing problem under uncertainty. *Algorithms*, 14(2), 45.

Torfi, F., Farahani, R. Z., & Mahdavi, I. (2016). Fuzzy MCDM for weight of object's phrase in location routing problem. *Applied Mathematical Modelling*, 40(1), 526-541.

Toro, E. M., Franco, J. F., Echeverri, M. G., & Guimarães, F. G. (2017a). A multi-objective model for the green capacitated location-routing problem considering environmental impact. *Computers and Industrial Engineering*, 110, 114–125.

Toro, E., Franco, J., Echeverri, M., Guimarães, F., & Rendón, R. (2017b). Green open location-routing problem considering economic and environmental costs. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 8(2), 203-216.

Tönissen, D. D., Arts, J. J., & Shen, Z. J. (2019). Maintenance location routing for rolling stock under line and fleet planning uncertainty. *Transportation Science*, 53(5), 1252-1270.

- Tönissen, D D, & Arts, J. J. (2020). The stochastic maintenance location routing allocation problem for rolling stock. *International Journal of Production Economics*, 230, 107826.
- Tönissen, D. D., Arts, J. J., & Shen, Z. J. M. (2021). A column-and-constraint generation algorithm for two-stage stochastic programming problems. *TOP*, 1-18.
- Ünal, G. (2011). *Acil Lojistik Yardım Operasyonu Deprem Lojistiği Karar Destek Sistemi: Alyo-Dlkds (Olası İstanbul Depremi Uygulaması)*. Doktora Tezi. Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Vahdani, B., Veysmoradi, D., Noori, F., & Mansour, F. (2018). Two-stage multi-objective location-routing-inventory model for humanitarian logistics network design under uncertainty. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 27, 290–306.
- Von Boventer, E. (1961). The relationship between transportation costs and location rent in transportation problems. *Journal of Regional Science*, 3(2), 27-40.
- Van Wassenhove, L. N. (2006). Humanitarian aid logistics: Supply chain management in high gear. *Journal of The Operational Research Society*, 57(5), 475-489.
- Veysmoradi, D., Vahdani, B., Farhadi Sartangi, M., & Mousavi, S. M. (2018). Multi-objective open location-routing model for relief distribution networks with split delivery and multi-mode transportation under uncertainty. *Scientia Iranica*, 25(6), 3635–3653.
- Vural, D., Dell, R. F., & Kose, E. (2021). Locating unmanned aircraft systems for multiple

missions under different weather conditions. *Operational Research*, 21(1), 725–744.

Wang, Z., Leng, L., Wang, S., Li, G., & Zhao, Y. (2020). A hyperheuristic approach for location-routing problem of cold chain logistics considering fuel consumption. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2020.

Wu, W., Zhou, W., Lin, Y., Xie, Y., & Jin, W. (2021). A hybrid metaheuristic algorithm for location inventory routing problem with time windows and fuel consumption. *Expert Systems with Applications*, 166, 114034.

Xiao, Y., Zhao, Q., Kaku, I., & Xu, Y. (2012). Development of a fuel consumption optimization model for the capacitated vehicle routing problem. *Computers & operations research*, 39(7), 1419-1431.

Xiong, X., Zhao, F., Wang, Y., & Wang, Y. (2019). Research on the model and algorithm for multimodal distribution of emergency supplies after earthquake in the perspective of fairness. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019.

Xu, J., Wang, Z., Zhang, M., & Tu, Y. (2016). A new model for a 72-h post-earthquake emergency logistics location-routing problem under a random fuzzy environment. *Transportation Letters*, 8(5), 270–285.

Yazdani, M., Kabirifar, K., Frimpong, B. E., Shariati, M., Mirmozaffari, M., & Boskabadi, A. (2021). Improving construction and demolition waste collection service in an urban area using a simheuristic approach: A case study in Sydney, Australia. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124138.



- Yu, H., Sun, X., Solvang, W. D., Laporte, G., & Lee, C. K. M. (2020). A stochastic network design problem for hazardous waste management. *Journal Of Cleaner Production*, 277, 123566.
- Yuchi, Q., He, Z., Yang, Z., & Wang, N. (2016). A location-inventory-routing problem in forward and reverse logistics network design. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2016.
- Zandkarimkhani, S., Mina, H., Biuki, M., & Govindan, K. (2020). A chance constrained fuzzy goal programming approach for perishable pharmaceutical supply chain network design. *Annals of Operations Research*, 295(1), 425–452.
- Zarandi, M. H. F., Hemmati, A., Davari, S., & Turksen, I. B. (2013). Capacitated location-routing problem with time windows under uncertainty. *Knowledge-Based Systems*, 37, 480-489.
- Zarandi, M. H. F., Hemmati, A., Davari, S., & Turksen, I. B. (2014). A simulated annealing algorithm for routing problems with fuzzy constrains. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 26(6), 2649-2660.
- Zhalechian, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Zahiri, B., & Mohammadi, M. (2016). Sustainable design of a closed-loop location-routing-inventory supply chain network under mixed uncertainty. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 89, 182–214.
- Zhang, B., Li, H., Li, S., & Peng, J. (2018). Sustainable multi-depot emergency facilities

location-routing problem with uncertain information. *Applied Mathematics and Computation*, 333, 506-520.

Zhang, C., Zhao, Y., & Leng, L. (2020). A hyper-heuristic algorithm for time-dependent green location routing problem with time windows. *IEEE Access*, 8.

Zhang, H., Liu, F., Ma, L., & Zhang, Z. (2020). A hybrid heuristic based on a particle swarm algorithm to solve the capacitated location-routing problem with fuzzy demands. *IEEE Access*, 8, 153671-153691.

Zhang, L., Lu, J., & Yang, Z. (2021). Dynamic optimization of emergency resource scheduling in a large-scale maritime oil spill accident. *Computers and Industrial Engineering*, 152, 107028.

Zhang, S., Chen, M., & Zhang, W. (2019). A novel location-routing problem in electric vehicle transportation with stochastic demands. *Journal of Cleaner Production*, 221, 567–581.

Zhang, Y., Qi, M., Lin, W. H., & Miao, L. (2015). A metaheuristic approach to the reliable location routing problem under disruptions. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 83, 90–110.

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.

Ziaei, Z., & Jabbarzadeh, A. (2021). A multi-objective robust optimization approach for green location-routing planning of multi-modal transportation systems under uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, 291, 125293.

## EK 1. NOKTALARIN İSİMLERİ VE KOORDİNATLARI

Noktalar	İsimleri	Koordinat Noktaları	
		Enlem	Boylam
<b>F1</b>	B1- Boş Alan	29,14450717	40,91348132
<b>F2</b>	B26- Boş Alan	29,22052000	40,92667000
<b>F3</b>	B23- Boş Alan	29,24223318	40,92523470
<b>F4</b>	B20- Boş Alan	29,23639000	40,92274000
<b>F5</b>	B14- Boş Alan	29,21055000	40,88903000
<b>F6</b>	B13- Boş Alan	29,20112000	40,88899000
<b>F7</b>	B10- Boş Alan	29,21039000	40,90339000
<b>F8</b>	B8- Boş Alan	29,21851000	40,93864000
<b>F9</b>	B7- Boş Alan	29,21179000	40,93281000
<b>DP1</b>	Yakacık Yeni	29,22225748	40,92394946
<b>DP2</b>	Atalar	29,17201089	40,90419900
<b>DP3</b>	Yalı	29,22051393	40,89492173
<b>DP4</b>	Gümüşpınar	29,20878937	40,92085463
<b>DP5</b>	Soğanlık Yeni	29,19033875	40,91728078
<b>DP6</b>	Cumhuriyet	29,22067117	40,90588858
<b>DP7</b>	Esentepe	29,19423380	40,90596854
<b>DP8</b>	Petrol-iş	29,17926406	40,89660329
<b>DP9</b>	Orta	29,20760420	40,91244742
<b>DP10</b>	Çavuşoğlu	29,20107503	40,89145270
<b>DP11</b>	Yunus	29,21195509	40,89053969
<b>DP12</b>	Topselvi	29,21391999	40,89924885
<b>DP13</b>	Çarşı	29,23486770	40,91919557
<b>DP14</b>	Hürriyet	29,23422293	40,90365159
<b>DP15</b>	Karlıkepe	29,19200020	40,89679166
<b>DP16</b>	Cevizli	29,17389365	40,91357537
<b>DP17</b>	Uğurmumcu	29,21363263	40,93332552
<b>DP18</b>	Yukarı	29,18392159	40,89129606
<b>DP19</b>	Orhantepe	29,15351936	40,90670641
<b>DP20</b>	Kordonboyu	29,18745481	40,88901984
<b>DEPO</b>	T6	29,18712000	40,91069000

## EK 2. NOKTALAR ARASI MESAFE ( $a_{ij}$ )

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	DP1	DP2	DP3	DP4	DP5	DP6	DP7	DP8	DP9	DP10	DP11	DP12	DP13	DP14	DP15	DP16	DP17	DP18	DP19	DP20	
F1													21000	16000	26000	15000		21000							10000		14000	5000	15000	
F2										2000	21000	15000	6000	10000	8000			8000	15000	15000	13000		10000		18000	5000			18000	
F3													10000	14000	10000	20000		11000	17000		15000	2000	10000			11000				
F4										4000		15000	9000	13000	9000			10000	16000	16000	14000	1000	10000					27000	19000	
F5										15000		4000	14000	15000		8000		12000	3000	1000			10000			17000		19000	7000	
F6										15000					12000		7000	12000	2000	4000	6000	17000		4000	12000	18000	5000		4000	
F7										10000	12000	5000	10000	11000	7000	7000		7000	5000	6000	3000	12000			12000	13000				
F8											25000	19000	9000		12000		25000	12000				10000	14000							
F9										6000			7000	11000	12000	19000		10000	17000	17000	15000		14000			1000			20000	
DP1		2000		4000	15000	15000	10000		6000			14000	6000	10000	7000			8000	14000	15000	12000	4000	9000						17000	
DP2		21000					12000	25000					17000	13000			3000	17000							4000	23000		7000		
DP3		15000		15000	4000		5000	19000		14000			13000	15000	8000			11000		4000	3000		7000							
DP4	21000	6000	10000	9000	14000		10000	9000	7000	6000	17000	13000		6000	8000	15000		4000	13000	14000	11000	9000	10000	14000	14000	7000			16000	
DP5	16000	10000	14000	13000	15000		11000		11000	10000	13000	15000	6000		11000	15000		6000	14000	15000	13000	13000			10000	11000				
DP6	26000	8000	10000	9000		12000	7000	12000	12000	7000		8000	8000	11000					11000	10000	9000	9000	4000			12000			14000	
DP7	15000		20000		8000		7000		19000				15000	15000			7000	13000		8000	8000			4000			7000		7000	
DP8						7000		25000			3000					7000		7000					19000	4000			3000		4000	
DP9	21000	8000	11000	10000	12000	12000	7000	12000	10000	8000	17000	11000	4000	6000		13000					9000	10000			15000	10000				
DP10		15000	17000	16000	3000	2000	5000		17000	14000			13000	14000	11000		7000			3000	5000	16000		4000		17000	5000		5000	
DP11		15000		16000	1000	4000	6000		17000	15000		4000	14000	15000	10000	8000			3000		4000		10000			17000				
DP12		13000	15000	14000		6000	3000		15000	12000		3000	11000	13000	9000	8000		9000	5000	4000		14000	9000			15000				
DP13			2000	1000		17000	12000	10000		4000			9000	13000	9000			10000	16000		14000		10000			10000			19000	
DP14		10000	10000	10000	10000			14000	14000	9000		7000	10000		4000		19000			10000	9000	10000							28000	
DP15						4000							14000			4000	4000		4000								4000	13000	4000	
DP16	10000	18000				12000	12000				4000		14000	10000				15000								20000	9000	8000	10000	
DP17		5000	11000		17000	18000	13000		1000		23000		7000	11000	12000			10000	17000	17000	15000	10000				20000		25000	20000	
DP18	14000					5000										7000	3000		5000					4000	9000			12000	2000	
DP19	5000			27000	19000						7000													28000	13000	8000	25000	12000		
DP20	15000	18000		19000	7000	4000			20000	17000			16000		14000	7000	4000		5000				19000		4000	10000	20000	2000		

### EK 3. NOKTALAR ARASI SEYAHAT SÜRESİ ( $t_{ij}$ )

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	DP1	DP2	DP3	DP4	DP5	DP6	DP7	DP8	DP9	DP10	DP11	DP12	DP13	DP14	DP15	DP16	DP17	DP18	DP19	DP20	
F1													868.96 55	834.78 26	1200	750		1128.3 58							450		592.94 12	240	692.30 77	
F2										86.746 99	1050	710.52 63	295.89 04	413.79 31	400			423.52 94	600	760.56 34	936		423.52 94		912.67 61	315.78 95			753.48 84	
F3													529.41 18	950.94 34	705.88 24	800		565.71 43	728.57 14		675	105.88 24	450			450				
F4										208.69 57		830.76 92	648	557.14 29	568.42 11			450	976.27 12	811.26 76	741.17 65	50.704 23	467.53 25				1705.2 63	1290.5 66		
F5										675	200	787.5	1038.4 62			411.42 86		561.03 9	150	40				486.48 65		827.02 7		1036.3 64	286.36 36	
F6										915.25 42					815.09 43		370.58 82	685.71 43	116.12 9	197.26 03	240	1133.3 33		225	520.48 19	981.81 82	225		189.47 37	
F7										562.5	771.42 86	310.34 48	553.84 62	776.47 06	466.66 67	420		307.31 71	300	400	186.20 69	617.14 29			685.71 43	525.84 27				
F8											1323.5 29	855	437.83 78		608.45 07		1800	576				692.30 77	579.31 03							
F9									240				475.47 17	535.13 51	546.83 54	912		428.57 52	794.80 52	1092.8 57	843.75		933.33 33		41.379 31			818.18 18		
DP1		90		271.69 81	931.03 45	600	473.68 42			276.92 31			752.23 88	354.09 84	413.79 31	300		553.84 62	969.23 08	739.72 6	583.78 38	232.25 81	376.74 42						1133.3 33	
DP2		868.96 55					583.78 38	1200					913.43 28	866.66 67			189.47 37	680							221.53 85	1427.5 86		354.92 96		
DP3		1038.4 62		701.29 87	276.92 31		360	977.14 29		840			577.77 78	635.29 41	417.39 13			694.73 68		173.49 4	200		307.31 71							
DP4	1239.3 44	280.51 95	439.02 44	360	600		423.52 94	589.09 09	442.10 53	300	971.42 86	742.85 71		337.5	405.63 38	857.14 29		218.18 18	520	916.36 36	776.47 06	635.29 41	654.54 55	709.85 92	763.63 64	327.27 27			960	
DP5	720	461.53 85	741.17 65	780	843.75		450		550	679.24 53	754.83 87	805.97 01	266.66 67		649.18 03	885.24 59		332.30 77	868.96 55	627.90 7	668.57 14	615.78 95			642.85 71	477.10 84				
DP6	1560	505.26 32	409.09 09	376.74 42		847.05 88	458.18 18	502.32 56	708.19 67	484.61 54		523.63 64	400	707.14 29					507.69 23	692.30 77	531.14 75	456.33 8	205.71 43			608.45 07			709.85 92	
DP7	675		837.20 93		553.84 62		381.81 82		824.09 64				650.60 24	613.63 64				360	525.84 27		523.63 64	374.02 6		160			381.81 82	296.47 06		
DP8						296.47 06		1730.7 69					138.46 15				293.02 33			311.11 11			1221.4 29	202.81 69			216		161.79 78	
DP9	1050	464.51 61	591.04 48	600	664.61 54	708.19 67	300	635.29 41	631.57 89	564.70 59	703.44 83	565.71 43	236.06 56	263.41 46		883.01 89					469.56 52	433.73 49			627.90 7	486.48 65				
DP10		830.76 92	886.95 65	872.72 73	130.12 05	87.804 88	214.28 57		784.61 54	800			600	560	501.26 58		315				144	230.76 92	800		214.92 54		784.61 54	240		339.62 26
DP11		1058.8 24		960	41.860 47	282.35 29	400		838.35 62	1038.4 62		208.69 57	681.08 11	606.74 16	562.5	360				150		282.35 29		433.73 49			755.55 56			
DP12		563.85 54	666.66 67	681.08 11		385.71 43	211.76 47		830.76 92	664.61 54		131.70 73	707.14 29	632.43 24	498.46 15	334.88 37			611.32 08	216.86 75	248.27 59		672	623.07 69		1080				
DP13			104.34 78	72		728.57 14	635.29 41	521.73 91		177.77 78			514.28 57	806.89 66	635.29 41				529.41 18	929.03 23		900		413.79 31		545.45 45			977.14 29	
DP14		610.16 95	439.02 44	590.16 39	642.85 71		600	654.54 55	405			296.47 06	423.52 94		232.25 81			1140				507.04 23	368.18 18	423.52 94					1292.3 08	
DP15						187.01 3							969.23 08			200					171.42 86						288	525.84 27	192	
DP16		400	996.92 31			496.55 17	617.14 29				160		840	433.73 49				1038.4 62								1384.6 15	611.32 08	443.07 69	455.69 62	
DP17		225	638.70 97		987.09 68	1157.1 43	850.90 91		49.315 07		1427.5 86		376.11 94	733.33 33	732.20 34			545.45 45	941.53 85	1020	805.97 01	413.79 31			1180.3 28		1153.8 46	827.58 62		
DP18		654.54 55				204.54 55										365.21 74	145.94 59					246.57 53			192	456.33 8		520.48 19	109.09 09	
DP19		290.32 26		1331.5 07	1052.3 08						354.92 96												1229.2 68	570.73 17	464.51 61	1475.4 1	533.33 33			
DP20		750	744.82 76		1005.8 82	286.36 36	189.47 37			1384.6 15	765		976.27 12		586.04 65	413.11 48	257.14 29						1179.3 1		169.41 18	537.31 34	1107.6 92	124.13 79		

## EK 4. NOKTALAR ARASI HIZ ( $g_{ij}$ )

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	DP1	DP2	DP3	DP4	DP5	DP6	DP7	DP8	DP9	DP10	DP11	DP12	DP13	DP14	DP15	DP16	DP17	DP18	DP19	DP20
F1													24.1666 7	19.1666 7	21.6666 7	20		18.6111 1							22.2222 2	23.6111 1	20.8333 3	21.6666 7	
F2										23.0555 6	20	21.1111 1	20.2777 8	24.1666 7		20		18.8888 9	25	19.7222 2	13.8888 9		23.6111 1		19.7222 2	15.8333 3		23.8889 9	
F3												18.8888 9	14.7222 2	14.1666 7		25		19.4444 4	23.3333 3		22.2222 2	18.8888 9	19.7222 2	21.3888 9		24.4444 4			
F4										19.1666 7		18.0555 6	13.8888 9	23.3333 3	15.8333 3			22.2222 2	16.3888 9	19.7222 2	18.8888 9	19.7222 2	21.3888 9				15.8333 3	14.7222 2	
F5										22.2222 2		20	17.7777 8	14.4444 4		19.4444 4		21.3888 9	20	25				20.5555 6			18.3333 3	24.4444 4	
F6										16.3888 9					14.7222 2		18.8888 9	17.5	17.2222 2	20.2777 8	25	15		17.7778	23.0555 6	18.3333 3	22.2222 2	21.1111 1	
F7										17.7777 8	15.5555 6	16.1111 1	18.0555 6	14.1666 7		15	16.6666 7		22.7777 8	16.6666 7	15	16.1111 1	19.4444 4						
F8											18.8888 9	22.2222 2	20.5555 6			19.7222 2		13.8888 9	20.8333 3				14.4444 4	24.1666 7					
F9										25			14.7222 2	20.5555 6	21.9444 4	20.8333 3		23.3333 3	21.3888 9	15.5555 6	17.7777 8		15			24.1666 7	24.4444 4		
DP1		22.2222 2		14.722222 2	16.111111 1	25	21.111111 1			21.6666 7			18.6111 1	16.9444 4	24.1666 7	23.3333 3		14.4444 4	14.4444 4	20.2777 8	20.5555 6	17.2222 2	23.8888 9					15	
DP2		24.1666 7					20.555555 6	20.833333 3				18.6111 1	15				15.8333 3	25							18.0555 6	16.1111 1		19.7222 2	
DP3		14.4444 4		21.38889	14.44444		13.88889	19.44444		16.6666 7			22.5	23.6111 1	19.1666 7			15.8333 3		23.0555 6	15			22.77					
DP4	16,94	21.3888 9	22.7777 8	25	23.33333		23.61111	15.27778	15.8333 3	20	17,5	17,5		17.7777 8	19.7222 2	17,5		18.3333 3	25	15.2777 8	14.1666 7	14.1666 7	15.2777 8	19.7222 2	18.3333 3	21.3888 9		16.6667	
DP5	22.2222 2	21.6666 7	18.8888 9	16.66667	17.77778		24.44444		20	14.7222 2	17.2222 2	18.6111 1	22,5		16.9444 4	16.9444 4		18.0555 6	16.1111 1	23.8888 9	19.4444 4	21.1111 1			15.5555 6	23.0555 6			
DP6	16.6666 7	15.8333 3	24.4444 4	23.88889		14.1666 7	15.27778	23.88889	16.9444 4	14.4444 4		15.2777 8	20	15.5555 6				21.6666 7	14.4444 4	16.9444 4	19.7222 2	19.4444 4			19.7222 2			19.7222 2	
DP7	22.2222 2		23.8888 9		14.44444		18.33333			23.0555 6				23.0555 6	24.4444 4			19.4444 4	24.7222 2					25			18.3333 3	23.6111 1	
DP8						23.6111 1		14.44444			21.6666 7					23.8888 9								15.5555 6	19.7222 2			13.8888 9	24.7222 2
DP9	20	17.2222 2	18.6111 1	16.66667	18.05556	16.9444 4	23.33333	18.88889	15.8333 3	14.1666 7	24.1666 7	19.4444 4	16.9444 4	22.7777 8		14.7222 2						19.1666 7	23.0555 6		23.8889	20.5555 6			
DP10		18.0555 6	19.1666 7	18.33333	23.05556	22.7777 8	23.33333		21.6666 7	17,5			21.6666 7	25	21.9444 4		22.2222 2			20.8333 3	21.6666 7	20			18.6111 1	21.6666 7	20.8333 3		14.7222 2
DP11		14.1666 7		16.66667	23.88889	14.1666 7	15		20.2777 8	14.4444 4		19.1666 7	20.5555 6	24.7222 2	17.7777 8	22.2222 2			20			14.1666 7		23.0555 6		22,5			
DP12		23.0555 6	22,5	20.55556		15.5555 6	14.16667		18.0555 6	18.0555 6			22.7777 8	15.5555 6	20.5555 6	18.0555 6	23.8888 9		14.7222 2	23.0555 6	16.1111 1		20.8333 3	14.4444 4			13.8888 9		
DP13			19.1666 7	13.88889		23.3333 3	18.88889	19.16667			22,5		17,5	16.1111 1	14.1666 7			18.8888 9	17.2222 2		15.5555 6		24.1666 7			18.3333 3		19.4444 4	
DP14		16.3888 9	22.7777 8	16.94444	15.55556			23.33333	21.3888 9	22.2222 2		23.6111 1	23.6111 1		17.2222 2		16.6666 7				19.7222 2	24.4444 4	23.6111 1				21.66667		
DP15						21.3888 9						14.4444 4				20	14.4444 4					23.3333 3					13.8888 9	24.7222 2	20.8333 3
DP16	25	18.0555 6				24.1666 7	19.44444					25		16.6666 7	23.0555 6			14.4444 4							14.4444 4	14.7222 2	18.0555 6	21.9444 4	
DP17		22.2222 2	17.2222 2		17.22222	15.5555 6	15.27778		20.2777 8	16.1111 1		18.6111 1	15	16.3888 9				18.3333 3	18.0555 6	16.6666 7	18.6111 1	24.1666 7			16.9444 4		21.66667	24.16667	
DP18	21.3888 9					24.4444 4										19.1666 7	20.5555 6							20.833333 3	19.722222 2		23.055555 6	18.333333 3	
DP19	17.2222 2			20.27778	18.05556							19.7222 2												22.7777 8	22.7778	17.22222	16.9444 4	22,5	
DP20	20	24.1666 7		18.88889	24.44444	21.1111 1			14.4444 4	22.2222 2		16.3888 9		23.8888 9	16.9444 4	15.5555 6		23.6111 1				16.1111 1			23.6111 1	18.6111 1	18.0555 6	16.1111 1	

## EK 5. YOL KAPANMA İHTİMALLERİ ( $N_{ij}$ )

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	DP1	DP2	DP3	DP4	DP5	DP6	DP7	DP8	DP9	DP10	DP11	DP12	DP13	DP14	DP15	DP16	DP17	DP18	DP19	DP20	
F1													0,05	0,04	0,04	0,05		0,04							0,045		0,05	0,45	0,045	
F2										0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04			0,04	0,05	0,045	0,05		0,04		0,045	0,04			0,045	
F3													0,05	0,04	0,04	0,05		0,04	0,05		0,05	0,04	0,04			0,04				
F4										0,04		0,05	0,05	0,04	0,04			0,04	0,05	0,045	0,05	0,04	0,04					0,45	0,045	
F5										0,04		0,05	0,05	0,04		0,05		0,04	0,05	0,045			0,04			0,04		0,45	0,045	
F6										0,05					0,05		0,05	0,05	0,06	0,055	0,06	0,05		0,05	0,055	0,05	0,06		0,055	
F7										0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05		0,04	0,05	0,045	0,05	0,04			0,045	0,04				
F8											0,04	0,05	0,05			0,04		0,04				0,04	0,04							
F9										0,04			0,05	0,04	0,04	0,05		0,04	0,05	0,045	0,05		0,04				0,04		0,045	
DP1		0,04		0,04	0,04	0,05	0,04		0,04			0,05	0,05	0,04	0,04			0,04	0,05	0,045	0,05	0,04	0,04						0,045	
DP2		0,04					0,04	0,04					0,05	0,04			0,04	0,04							0,045	0,04		0,45		
DP3		0,05		0,05	0,05		0,05	0,05		0,05			0,06	0,05	0,05			0,05		0,055	0,06		0,05			0,04				
DP4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05		0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06		0,05	0,05	0,06		0,05	0,06	0,055	0,06	0,05	0,05	0,05	0,055	0,05			0,055	
DP5	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04		0,04		0,04	0,04	0,04	0,05	0,05		0,04	0,05		0,04	0,05	0,045	0,05	0,04			0,045	0,04				
DP6	0,04	0,04	0,04	0,04		0,05	0,04	0,04	0,04	0,04		0,05	0,05	0,04				0,05	0,045	0,05	0,04	0,04				0,04			0,045	
DP7	0,05		0,05		0,05	0,05	0,05	0,05		0,05			0,06	0,05				0,05	0,05	0,055	0,06		0,05				0,06		0,055	
DP8						0,05		0,04			0,04					0,05		0,05					0,04	0,04			0,05		0,045	
DP9	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04		0,05				0,055	0,06	0,05		0,05	0,045	0,04				
DP10		0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05		0,05	0,05			0,06	0,05	0,05	0,05				0,055	0,06	0,05		0,05		0,05	0,06		0,055	
DP11		0,045		0,045	0,045	0,055	0,045		0,045	0,045		0,055	0,055	0,045	0,045	0,055			0,055		0,055	0,05		0,05		0,045		0,045		
DP12		0,05	0,05	0,05		0,06	0,05		0,05	0,05		0,06	0,06	0,05	0,05	0,06		0,05	0,06	0,055		0,05	0,05			0,05				
DP13			0,04	0,04		0,05	0,04	0,04		0,04			0,05	0,04	0,04			0,04	0,05		0,05		0,04			0,04			0,045	
DP14		0,04	0,04	0,04	0,04			0,04	0,04	0,04		0,05	0,05		0,04		0,04		0,045	0,05	0,04							0,45		
DP15						0,05							0,05			0,05	0,04		0,05								0,05	0,45	0,045	
DP16	0,045	0,045				0,055	0,045				0,045		0,055	0,045				0,045							0,045	0,055	0,5	0,05		
DP17		0,04	0,04		0,04	0,05	0,04		0,04		0,04		0,05	0,04	0,04			0,04	0,05	0,045	0,05	0,04			0,045		0,45	0,045		
DP18	0,05					0,06										0,06	0,05		0,06					0,05	0,055		0,55	0,055		
DP19	0,045			0,045	0,045					0,045												0,045	0,045	0,05	0,045	0,055				
DP20	0,045	0,045		0,045	0,045	0,055		0,045	0,045				0,055		0,045	0,055	0,045		0,055			0,045		0,045	0,05	0,045	0,055			



## EK 6. TEZ KAPSAMANINDA ÖNERİLEN MODELİN KODU

```

{int} VF=...;
{int} VC=...;
{int} K=...;
{int} S=...;
tuple Arc {
  int i;
  int j;
}
{Arc} Arcs = ...;
int a[Arcs]=...;
float t[Arcs]=...;
float g[Arcs]=...;
float traf[Arcs]=...;
tuple Demand {
  int i;
  int s;
}
{Demand} Demands = ...;
int d[Demands]= ...;
tuple Capacity {
  int n;
  int m;
}
{Capacity} Capacities = ...;
int b[Capacities] = ...;
float y[Capacities] = ...;
float beta[Capacities] = ...;
float mu[Capacities] = ...;

```

```

tuple Vehicle {
  int i;
  int m;
}
{Vehicle} Vehicles = ...;
float pi[Vehicles] = ...;
float z[VF]= ...;
float p[S]= ...;
float landa = ...;
float gamma = ...;
float r = ...;
float l = ...;
dvar boolean X[Arcs][VF][K];
dvar boolean Y[VF];
dvar float+ F[Arcs][VF][K][S];
dvar float+ Q[VC][VF][K][S];
dexpr float zaman = sum(<i,j> in Arcs, n in VF, m in K)X[<i,j>][n][m]*t[<i,j>];
dexpr float yakit = sum(<i,j> in Arcs, n in VF, m in K, s in S)p[s]*(landa*(y[<n,m>]*(a[<i,j>]/g[<i,j>])*X[<i,j>][n][m]+
  gamma*beta[<n,m>]*a[<i,j>]*(g[<i,j>]*g[<i,j>])*X[<i,j>][n][m]+
  gamma*r*(mu[<n,m>]*X[<i,j>][n][m]+F[<i,j>][n][m][s])*a[<i,j>]))*l;
dexpr float sabit = sum(i in VF)z[i]*Y[i];
dexpr float arac = sum(i in VF,j in VC:<i,j> in Arcs,m in K)X[<i,j>][i][m]*pi[<i,m>];
dexpr float soltaraf[n in VF][m in K] = sum(a in Arcs)log(1-traf[a])*X[a][n][m];
minimize
  sabit+arac+yakit;
subject to
{
  zaman <= 1000000;
  forall(i in VC, s in S){
    sum(n in VF, m in K)Q[i][n][m][s] == d[<i,s>];
  }
}

```

```

forall(i in VF, s in S){
    sum(j in VC:<i,j> in Arcs,m in K)F[<i,j>][i][m][s] <= sum(m in
K)b[<i,m>]*Y[i];
}

forall(i in VF, n in VF:n!=i){
    sum(j in VF union VC:<i,j> in Arcs,m in K)X[<i,j>][n][m] <= 0;
}

forall(i in VF, n in VF:n!=i){
    sum(j in VF union VC:<i,j> in Arcs,m in K)X[<j,i>][n][m] <= 0;
}

forall(i in VF, n in VF, m in K){
    sum(j in VF union VC:<i,j> in Arcs)X[<i,j>][i][m] <= Y[i];
}

forall(i in VC, n in VF, m in K){
    sum(j in VF union VC:<i,j> in Arcs)X[<j,i>][n][m] == sum(j in VF union
VC:<i,j> in Arcs)X[<i,j>][n][m];
}

forall(i in VF, m in K){
    sum(j in VC:<i,j> in Arcs)X[<i,j>][i][m] == sum(j in VC:<i,j> in
Arcs)X[<j,i>][i][m];
}

forall(i in VF union VC, n in VF, m in K){
    sum(j in VF union VC:<i,j> in Arcs)X[<i,j>][n][m] <= 1;
}

forall(i in VC, s in S,n in VF, m in K){
    sum(j in VF union VC:<i,j> in Arcs)F[<i,j>][n][m][s] == sum(j in VF
union VC:<i,j> in Arcs)F[<j,i>][n][m][s] - Q[i][n][m][s];
}

forall(s in S, n in VF, m in K, <i,j> in Arcs){
    F[<i,j>][n][m][s] <= X[<i,j>][n][m]*b[<n,m>];
}

forall(n in VF, m in K){

```

```
soltaraf[n][m] >= log(0.7);
```

```
}
```

```
}
```



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 12/07/2021

Tez Başlığı: İnsani yardım lojistiğinde tesis yer seçimi ve rotalama problemi için bir matematiksel model önerisi

Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 115 sayfalık kısmına ilişkin, 12/07/2021 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda işaretlenmiş filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 9 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç
- Kaynakça hariç
- Alıntılar hariç
- Alıntılar dâhil
- 5 kelimedenden 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:** Sedanur Temiz

**Öğrenci No:** N19130797

**Anabilim Dalı:** İşletme

**Programı:** Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler

**DANIŞMAN ONAYI**

UYGUNDUR.

Doç. Dr. Mehmet Soysal  
(Unvan, Ad Soyad, İmza)



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
TEZ ÇALIŞMASI ETİK KOMİSYON MUAFİYETİ FORMU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 12/07/2021

Tez Başlığı: İnsani yardım lojistiğinde tesis yer seçimi ve rotalama problemi için bir matematiksel model önerisi

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: Sedanur Temiz

Öğrenci No: N19130797

Anabilim Dalı: İşletme

Programı: Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler

Statüsü:  Yüksek Lisans  Doktora  Bütünleşik Doktora

**DANIŞMAN GÖRÜŞÜ VE ONAYI**

Doç. Dr. Mehmet SOYSAL

(Unvan, Ad Soyad, İmza)

Detaylı Bilgi: <http://www.sosyalbilimler.hacettepe.edu.tr>

Telefon: 0-312-2976860

Faks: 0-3122992147

E-posta: [sosyalbilimler@hacettepe.edu.tr](mailto:sosyalbilimler@hacettepe.edu.tr)