



T.C.

BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ACİL DURUM VE AFET YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

ACİL DURUM VE AFET YÖNETİMİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**SÜRDÜRÜLEBİLİR AFET YÖNETİMİNDE DEPO YERİ SEÇİMİ, İSTANBUL İLİ
ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOLGA SAVAŞ

TEZ DANIŞMANI

DOÇ. DR. MELİS ALPASLAN TAKAN

BİLECİK, 2026

10759461

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ACİL DURUM VE AFET YÖNETİMİ ANABİLİM DALI
ACİL DURUM VE AFET YÖNETİMİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**SÜRDÜRÜLEBİLİR AFET YÖNETİMİNDE DEPO YERİ SEÇİMİ, İSTANBUL İLİ
ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOLGA SAVAŞ

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. MELİS ALPASLAN TAKAN

BİLECİK, 2026

10759461

BEYAN

Sürdürülebilir Afet Yönetiminde Depo Yeri Seçimi, İstanbul İli Örneği başlıklı yüksek lisans tezinin hazırlık ve yazım aşamasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, [Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Faaliyetlerinde Üretken Yapay Zekâ Kullanımına Dair Etik Rehberine](#) uygun olarak tez/dönem projemi hazırladığımı, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel etik kurallarına uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, çalışmamın herhangi bir kısmının başka bir tez/dönem projesi olarak sunulmadığını, aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Tolga Savaş

../../2026

İmza:

	YAPAY ZEKÂ KULLANIMINA İLİŞKİN ÖĞRENCİ BEYAN FORMU	BŞEÜ-KAYSİS Belge	DFR-516
		İlk Yayın Tarihi/Sayısı	30.04.2026/16
		Revizyon Tarihi	00
		Revizyon No.su	00
		Toplam Sayfa	1

Bölüm I. Yapay Zekâ Kullanım Durumu
☒ Bu tezin/projenin yazım süreçlerinde yapay zekâ tabanlı araçlardan faydalandım .
☐ Bu tezin/projenin yazım süreçlerinde yapay zekâ tabanlı herhangi bir araçtan faydalanmadım .

Bölüm II. Yapay Zekâ Kullanım Detayları
<i>*Bu bölüm yalnızca yapay zekâ kullanımı beyan edilmiş ise doldurulacaktır. Aksi durumda boş bırakılmalıdır.</i>
Tezinizde/projenizde kullandığınız <u>yapay zekâ araçlarını</u> ve <u>sürümünü</u> listeleyiniz:
ChatGPT 5.5 ve Gemini 3.6 Flash
Yapay zekâ araçlarını tezin/projenin aşağıdaki aşamalarında ilgili amaçlar için kullandım. (Birden fazla seçenek işaretlenebilir):
☐ Cümle oluşturma ☒ Literatür tarama ☐ Çeviri ☐ Düzenleme/dil kontrolü ☐ Veri işleme ve analizi ☐ Veri görselleştirme ☒ Görüntü üretme ☐ Kaynakça düzenleme ☐ Diğer (Belirtiniz):.....
Bu çalışmada yapay zekâ kullanımı Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Faaliyetlerinde Üretken Yapay Zekâ Kullanımına Dair Etik Rehber'e ve akademik dürüstlük ilkelerine uygun şekilde gerçekleştirilmiş olup yapay zekâ araçlarından alınan destek, etik kurallar ve kaynak gösterme esaslarına uygun biçimde belirtilmiştir. Yapay zekâ kullanımı, çalışmanın özgünlüğüne, bilimsel etik kurallarına ve ilgili mevzuata aykırı olmayacak biçimde gerçekleştirilmiştir. Usulsüz yapay zekâ kullanımı (örneğin: kaynak göstermeksizin metin üretimi, otomatik içerik üretiminin özgün eser gibi sunulması, yanıltıcı kaynak gösterimi vb.) tarafımdan kesinlikle yapılmamıştır. Yapay zekâ araçlarının sağladığı bilgilerin doğruluğunu kontrol ettiğimi, yanlış veya eksik bilgi bulunması halinde tüm sorumluluğun tarafıma ait olduğunu; ayrıca çalışmamla ilgili bu beyana aykırı bir durumun herhangi bir zamanda tespit edilmesi durumunda ortaya çıkabilecek akademik ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi beyan ederim.

Tolga Savaş

.././2026

İmza:

ÖN SÖZ

Tez çalışmamın planlanması, yürütülmesi ve tamamlanması sürecinde bilgi, deneyim ve değerli görüşleriyle her aşamada yol gösteren, akademik bakış açısı, bilimsel yöntem ve yapıcı eleştirileriyle çalışmaya önemli katkılar sağlayan kıymetli danışmanım Doç. Dr. Melis Alpaslan Takan'a içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte her zaman destekleriyle yanımda olan, anlayışları ve motivasyonlarıyla bana güç veren aileme; özellikle hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her koşulda yanımda olan anneme, babama ve kardeşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma süresince sabır, anlayış ve destekleriyle bana güç veren tüm sevdiklerime de ayrıca teşekkür ederim.

ÖZET

Dünya genelinde toplumsal yaşamı, fiziksel, sosyal ve ekonomik açılardan sarsan doğa kaynaklı afetlerin başında, öngörülemeyen ve ani gelişen yapılarıyla depremler gelmektedir. Geçmişte yaşanan acı tecrübeler, afet sonrasında ihtiyaç duyulan insani yardımların bölgeye ulaştırılamaması ya da yanlış sevk edilmesi gibi ciddi koordinasyon ve yönetim krizlerini ortaya koymuştur. Bu olumsuz etkilerin en aza indirilmesi ise, ancak afet öncesi dönemde stratejik bir lojistik planlamanın yapılmasıyla mümkündür. Özellikle İstanbul ilinin karşı karşıya olduğu yüksek deprem riski göz önünde bulundurulduğunda, bu bölgeye yönelik bilimsel ve sürdürülebilir afet lojistiği hazırlıklarının yapılması, hayati bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu noktada ise olası bir İstanbul depremi kapsamında, afet lojistiği ve insani yardım dağıtım süreçlerinin belirli amaç ve kısıtlar çerçevesinde optimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, stratejik düzeydeki depo yer seçimi kararları ile operasyonel düzeydeki heterojen araç rotalama kararlarını eş zamanlı olarak optimize eden, çok ürünlü ve sürdürülebilir bir Lokasyon Rotalama Problemi (LRP) matematiksel modeli geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında öncelikle, çok kriterli karar verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılarak afet lojistik merkezlerinin kurulabileceği en uygun lokasyonlar belirlenmiş ve matematiksel olarak ağırlıklandırılmıştır. Ardından, belirlenen bu afet lojistik merkezlerden talep noktalarına (kaymakamlık yerleşkeleri) yapılacak sevkiyatlar için LRP yaklaşımı kullanılarak toplam mesafe, araç ve depo sabit kurulum giderleri ile karbon fiyatlandırma mekanizmasına dayalı çevresel emisyon maliyetlerinin en küçüklenmesi hedeflenmiş, diğer taraftan yüksek altyapı ve erişilebilirlik kalitesine sahip depoların seçilmesini sağlayan stratejik AHS kazanımını maksimize edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, operasyonların çevreye olan olumsuz etkilerini azaltmak adına karbon emisyonlarının asgari düzeye indirilmesi ve sürdürülebilirlik ilkelerinin afet yönetimine entegre edilmesi, çalışmanın önemli bir diğer boyutunu oluşturmaktadır. Tüm bu yönleriyle çalışma; çok kriterli karar verme, depo seçimi, araç yükleme, sürücü atama ve lokasyon rotalama problemini bütüncül bir yaklaşımla ele alarak literatüre metodolojik bir katkı sunmakta; aynı zamanda karar vericiler ve ilgili kurumlar için afet öncesi hazırlık ve afet sonrası lojistik müdahale süreçlerine yönelik bilimsel temelli bir rehber niteliği taşımaktadır. Tez kapsamında geliştirilen matematiksel model öncelikle küçük boyutlu bir örnek problem üzerinde analiz edilmiştir. Daha sonra büyük boyutlu gerçek hayat problemi (İstanbul ili örneği) önerilen değişken komşuluk araması-tabu arama melez yöntemi ile çözdürülmüş ve tüm hesaplamalı sonuçlar detaylıca raporlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Afet lojistiği, İstanbul depremi, AHS, LRP, melez algoritma

ABSTRACT

Among the natural disasters that disrupt social life globally from physical, social, and economic perspectives, earthquakes rank first due to their unpredictable and sudden onset. Past painful experiences have revealed serious coordination and management crises, such as the inability to deliver required humanitarian aid to the affected region or the misdirection of these supplies. Minimizing these adverse impacts is possible only through strategic logistics planning conducted in the pre-disaster period. Given the high earthquake risk faced by Istanbul province in particular, preparing scientific and sustainable disaster logistics plans for this region has become a vital necessity. Within the context of a potential Istanbul earthquake, this study aims to optimize disaster logistics and humanitarian aid distribution processes under specific objectives and constraints. Accordingly, a multi-product and sustainable Location-Routing Problem (LRP) mathematical model has been developed, simultaneously optimizing strategic-level warehouse location decisions and operational-level heterogeneous vehicle routing decisions. Within the scope of the study, the Analytic Hierarchy Process (AHS), one of the multi-criteria decision-making methods, was first utilized to determine and mathematically weight the most suitable locations for establishing disaster logistics centers. Subsequently, using the LRP approach for shipments from these identified logistics centers to demand points (district governorship campuses), the model aimed to minimize total distance, fixed setup costs for vehicles and warehouses, and environmental emission costs based on a carbon pricing mechanism, while maximizing strategic AHS gains that ensure the selection of warehouses with high infrastructure and accessibility quality. Furthermore, reducing carbon emissions to a minimum level to mitigate the negative environmental impacts of operations and integrating sustainability principles into disaster management constitute another significant dimension of the study. In all these aspects, the study offers a methodological contribution to the literature by addressing the problem of multi-criteria decision making, warehouse selection, vehicle loading, driver assignment, and location routing with a holistic approach; simultaneously, it serves as a scientifically grounded guide for decision-makers and relevant institutions regarding pre-disaster preparedness and post-disaster logistical response processes. The mathematical model developed within the thesis was first analyzed on a small-scale sample problem. Subsequently, a large-scale real-life problem (the Istanbul case) was solved using the proposed hybrid variable neighborhood search-tabu search algorithm, and all computational results were reported in detail.

Keywords: Disaster logistics, Istanbul earthquake, AHS, LRP, hybrid algorithm

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖN SÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. LOJİSTİK VE TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ KAVRAMLARI.....	3
3. AFET LOJİSTİĞİ YÖNETİMİNDE SÜREÇLER, STRATEJİLER VE YAKLAŞIMLAR	6
3.1. Bütünleşik Afet Yönetim Sistemi ve Afet Lojistiği	6
3.2. Türkiye Afet Müdahale Planı'nda Afet Lojistiği.....	7
3.3. Afet Lojistiğinde Risk Analizi ve Önceliklendirme	9
3.4. Afet ve Acil Durum Lojistiği Süreçleri	10
3.4.1. Afet öncesi hazırlık süreci.....	10
3.4.2. Afet müdahale süreci	10
3.4.3. Afet müdahale sonrası	10
3.5. Afet ve Acil Durumlarda Lojistik Depoların Önemi.....	10
3.6. Afet Lojistiğinde Karşılaşılan Zorluklar	11
3.7. Afet Lojistiğinde Özel Sektör ve STK'ların Rolü.....	13
4. SÜRDÜRÜLEBİLİR AFET LOJİSTİĞİ	14
4.1. Sürdürülebilir Afet Lojistiğinin Çevresel Etkileri	15
5. OLASI İSTANBUL DEPREMİ VE İSTANBUL İLİ LOJİSTİK ALTYAPISI	17
5.1. İstanbul İlçelerinin Deprem Risk Düzeyleri	17

5.2. Olası İstanbul Depremi Çerçevesinde Acil Ulaşım Yollarının Değerlendirilmesi.....	19
5.3. Olası İstanbul Depremi Kapsamında Kullanılacak Lojistik Merkezlerin Değerlendirilmesi.....	20
6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	23
7. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ VE LOKASYON ROTALAMA PROBLEMİ .	30
7.1. Araç Rotalama Problemi	30
7.2. Lokasyon Rotalama Problemi	31
7.3. Lokasyon Rotalama Problemi ve Afet Lojistiği İlişkisinin Kurulması	31
7.4. AHS ve LRP Entegrasyonuna Dayalı Sürdürülebilir Afet Lojistiği Yaklaşımı.....	36
8. TEZ KAPSAMINDA ELE ALINAN PROBLEM	38
8.1. Tez Kapsamında Geliştirilen Matematiksel Model.....	39
9. ÇALIŞMADA KULLANILAN AHS YÖNTEMİ	45
9.1. Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri.....	45
9.1.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS).....	45
9.1.2. AHS'nin uygulama adımları	46
9.1.2.1. Hiyerarşik yapının oluşturulması	47
9.1.2.2. İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulması.....	47
9.1.2.3. Normalize edilmiş karşılaştırma matrisinin oluşturulması	48
9.1.2.4. Kriterlerin göreceli değerlerinin hesaplanması.....	48
9.1.2.5. Tutarlılık oranının hesaplanması.....	49
9.1.2.6. Kriterlere göre alternatiflerin ağırlıklarının ve tutarlılıklarının hesaplanması.....	50
9.1.3. AHS ile afet lojistiği ilişkisinin kurulması.....	50
9.1.4. AHS'nin probleme uygulanması.....	52
9.1.4.1. Hiyerarşik yapının oluşturulması	52
9.1.4.2. İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulması.....	53
9.1.4.3. Normalize edilmiş karşılaştırma matrisinin oluşturulması	53
9.1.4.4. Kriterlerin göreceli değerlerinin hesaplanması.....	54

9.1.4.5. Tutarlılık oranının hesaplanması.....	54
9.1.4.6. Kriterlere göre alternatiflerin ağırlıklarının ve tutarlılıklarının hesaplanması.....	55
10. TEZ KAPSAMINDA UYGULANAN HİBRİT DKA-TA YÖNTEMİ.....	57
10.1. Melez Algoritmada Kullanılacak Veri Setinin Oluşturulması	59
10.1.1. Afet lojistik merkezlerinin belirlenmesi ve mesafe matrisinin oluşturulması	59
11. ELE ALINAN PROBLEMLER VE ÇÖZÜMLERİ	62
11.1. Ele Alınan Küçük Boyutlu Örnek Problem ve Çözümü	62
11.2. Ele Alınan Büyük Boyutlu Gerçek Problem ve Çözümü	65
12. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	69
KAYNAKÇA	71
EKLER.....	75

TABLÖLER LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 8. 1. Karar değişkenleri ve açıklamaları.....	41
Tablo 9.1. Saaty ölçeğine göre karşılık gelen değerler ve anlamları.....	48
Tablo 9.2. Matris boyutuna bağlı rastgele indeks değerleri	49
Tablo 9.3. Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi.....	53
Tablo 9.4. Normalize edilmiş karşılaştırma matrisi	53
Tablo 9.5. Kriterlerin göreceli değerleri	54
Tablo 9.6. Kriterlerin ağırlık vektörleri	54
Tablo 9.7. λ_{max} değeri	54
Tablo 9.8. Alternatiflerin nihai ağırlıkları	55
Tablo 11.1. Araç parametreleri.....	63
Tablo 11.2. Depo parametreleri	63
Tablo 11.3. Küçük boyutlu problem için hesaplamalı sonuçlar (CP=4.5)	64
Tablo 11.4. Küçük boyutlu problem için hesaplamalı sonuçlar (CP=9)	64
Tablo 11.5. İstanbul ilindeki ilçe ID ve talep miktarı bilgileri	65
Tablo 11.6. Araç parametreleri.....	66
Tablo 11.7. Depo parametreleri.....	67
Tablo 11.8. Büyük boyutlu problemin rota bazlı tüm sonuçları (CP=4.5 İçin).....	67

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Bütünleşik afet yönetim döngüsü	7
Şekil 3.2. Afet müdahale seviyeleri	8
Şekil 3.3. Aynı bağış, depo yönetiminden sorumlu ana çözüm ortakları ve destek çözüm ortakları.	8
Şekil 5.1. İstanbul ilçeleri ve Kuzey Anadolu Fayı'nın uzanış doğrultusu.....	17
Şekil 5.2. İstanbul ilçelerinin tahmini deprem risk derecesi dağılımı.....	19
Şekil 5.3. İstanbul deprem çalışma grubu toplantısında planlanan lojistik merkezler.....	21
Şekil 5.4. AFAD lojistik merkezleri ve cep depoları	22
Şekil 5.5. Türk Kızılay afet müdahale merkezleri	22
Şekil 7.1. Afet lojistiği ve LRP arasındaki ilişki.....	36
Şekil 7.2. Çalışmada kullanılan yöntem ve süreçleri	37
Şekil 9.1. ÇKKV problemlerinin sınıflandırılması	45
Şekil 9.2. AHS'nin adımları.....	47
Şekil 9.3. AHS'nin hiyerarşik yapısı	47
Şekil 9.4. Afet lojistiği ve AHS arasındaki ilişki.....	52
Şekil 9.5. Afet deposu seçimi kapsamında oluşturulan hiyerarşik yapı.....	53
Şekil 10.1. Veri setinin oluşturulma süreci	59
Şekil 10.2. Talebi karşılayacak afet lojistik merkezlerinin harita üzerindeki konumları	60
Şekil 10.3. Talep noktalarının harita üzerindeki konumları.....	61
Şekil 10.4. Talebi karşılayacak afet lojistik merkezleri ve talep noktaları arasındaki mesafenin belirlenmesi.....	61
Şekil 11.1. Küçük boyutlu örnek problemin çözüm rotalarının görseli	65
Şekil 11.2. Büyük boyutlu problemin çözüm rotalarının görseli	68

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

AHS : Analitik Hiyerarşi Süreci

ANP : Analitik Ağ Süreci

ARP : Araç Rotalama Problemi

AFAD : Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

AB : Avrupa Birliği

CBS : Coğrafi Bilgi Sistemleri

ÇKKV : Çok Kriterli Karar Verme

DKA : Değişken Komşuluk Arama

GSP : Gezgin Satıcı Problemi

GPS : Küresel Konumlama Sistemi

İBB : İstanbul Büyükşehir Belediyesi

İRAP : İstanbul Risk Azaltma Planı

İTZ : İnsani Tedarik Zinciri

KAF : Kuzey Anadolu Fayı

LRP : Lokasyon Rotalama Problemi

MIP : Karma Tamsayılı rogramlama

TA : Tabu Arama

TAMP : Türkiye Afet Müdahale Planı

TZY : Tedarik Zinciri Yönetimi

1. GİRİŞ

Dünya üzerinde insanların hayatlarını olumsuz yönde etkileyen birçok afet görülmektedir. Yaşanan bu afetler, birçok can ve mal kaybına sebep olarak toplumların yaşamını fiziksel, sosyal ve ekonomik anlamda etkilemektedir. Özellikle depremler, dünya üzerinde en fazla can ve mal kaybına neden olan doğa kaynaklı bir afet türüdür. Ülkemizin son yıllarda yaşamış olduğu depremler göz önünde bulundurulduğunda afet öncesi dönemde iyi bir hazırlık yapılması, yaşanabilecek olası afetlerin olumsuz etkilerinin daha az hissedilmesini sağlayacaktır.

Deprem, tahmin edilemeyen ve aniden ortaya çıkan bir afet olmakla birlikte deprem sonrası afetzedelerin ihtiyaç duyacağı yardım ve gıda malzemelerinin afet bölgesine gönderilememesi veya yanlış yerlere gönderilmesine bağlı olarak ciddi düzeyde afet yönetim problemleri yaşanabilmektedir. Bu noktada ise, afet ve acil durumlarda kullanılacak olan lojistik noktaların afet öncesi dönemde belirlenmesi büyük önem arz etmektedir.

Afet lojistiği, afetlerden etkilenen vatandaşlara yardım etmek için malzeme ve kaynakların etkin bir şekilde yönetilmesi sürecidir. Afet bölgesinde etkili ve hızlı bir müdahale ortaya koyabilmek için afet lojistiği faaliyetlerinin doğru bir şekilde yürütülmesi elzemdir. Ülkemizde 6 Şubat 2023 tarihinde yaşanan depremlerin etkisi hala devam etmekte olup İstanbul ilinin mevcut deprem riski düşünüldüğünde, İstanbul özelinde bir hazırlık yapılması ve bu hazırlık çalışmalarında kullanılabilecek lojistik noktaların belirlenmesi oldukça önemli bir yere sahiptir. Bununla birlikte afetzedelere yönelik etkili bir insani yardım malzemesi tedariği sağlayabilmek için belirlenen lojistik merkezlerinden talep noktalarına hareket eden insani yardım araçlarının kullanılabileceği araç rotalarının optimize edilmesi gerekmektedir. Buna ek olarak afetin yaşandığı bölgede sürdürülebilirliğin sağlanması ve doğaya zarar vermeyen lojistik sistemler ile süreçlerin planlanması dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli noktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, olası bir İstanbul depremi kapsamında, afet lojistiği süreçlerinin daha etkin ve sürdürülebilir bir şekilde planlanmasına katkı sağlamaktır. Bu çerçevede, afet lojistik merkezlerinin seçimi ve insani yardım malzemesi dağıtım süreçlerinin optimize edilmesi ele alınmıştır. Çalışmada, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılarak lojistik merkezlerin matematiksel olarak ağırlıklandırılması sağlanmış, ardından Lokasyon- Rotalama Problemi (LRP) ile belirlenen afet lojistik merkezlerinden (merkez depolar) talep noktalarına (ilçe depolar) yönelik en uygun dağıtım rotaları oluşturulmuştur. Böylece hem stratejik (yer seçimi) hem de

operasyonel (rota optimizasyonu) karar süreçleri bütünleşik bir yaklaşımla ele alınmıştır.

Bu çalışmada kullanılan yöntemler sayesinde, afet sonrası yardım dağıtım süreçlerinde zaman, maliyet ve kaynak kullanımının optimize edilmesi hedeflenmektedir. Aynı zamanda, karbon emisyonlarının azaltılması ve sürdürülebilir afet lojistiği anlayışının afet yönetimine entegre edilmesi de çalışmanın önemli bileşenlerinden biridir. Bu yönüyle çalışma, yalnızca hızlı müdahale kapasitesini arttırmayı değil, aynı zamanda çevresel etkileri de dikkate alan bütüncül bir afet lojistiği yaklaşımı sunmaktadır.

Özetle, çalışmanın afet yönetimi literatürüne; ÇKKV yöntemleri ile LRP'nin birlikte kullanıldığı bütünleşik bir model önermesi bakımından katkı sağlaması beklenmektedir. Ayrıca, uygulama çıktılarının karar vericilere afet öncesi hazırlık ve afet sonrası müdahale süreçlerinde bilimsel temelli bir rehber sunacağı ve benzer çalışmalar için örnek teşkil edeceği değerlendirilmektedir.

2. LOJİSTİK VE TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ KAVRAMLARI

Lojistik yönetimi, temel olarak ham maddelerin başlangıç noktasından nihai tüketim noktasına kadar olan hareketini, depolanmasını ve hizmet/bilgi akışını verimli bir şekilde planlama, uygulama ve kontrol etme sürecidir. Lojistik; taşıma, depolama, envanter yönetimi ve paketleme gibi daha çok operasyonel ve işletme içi süreçlere odaklanır.

Lojistik kavramı, operasyonel bir araç olmanın ötesinde, modern operasyonel araştırmaların ve endüstri mühendisliğinin en yoğun matematiksel modelleme gerektiren stratejik alanlarından biridir. Lojistik literatürü, kararları zaman ufku ve etki derecesine göre üç temel hiyerarşik seviyede incelemektedir (Genç, 2010).

- *Stratejik Seviye (Uzun Vadeli)*: Tesislerin coğrafi konumlarının seçimi, depo kapasitesi belirleme ve lojistik ağ tasarımı (Network Design) gibi yüksek sermaye gerektiren ve geri dönüşü zor kararları kapsar.
- *Taktik Seviye (Orta Vadeli)*: Filo büyüklüğünün belirlenmesi, malzeme ihtiyaç planlaması, envanter politikalarının (örneğin güvenlik stoku seviyelerinin) oluşturulması ve ana taşıma modlarının seçimi bu gruptadır.
- *Operasyonel Seviye (Kısa Vadeli)*: Günlük yükleme planları, araç rotalama, iş çizelgeleme ve depo içi sipariş toplama (order picking) sıralamaları gibi dinamik ve hızlı aksiyon gerektiren süreçleri inceler.

Akademik lojistik çalışmaları, genellikle karmaşık sistemleri doğrusal, doğrusal olmayan veya tam sayılı matematiksel modellerle ifade ederek en iyilemeyi amaçlar. En yaygın araştırma alanları şunlardır (Sirkeci ve Küçün, 2025).

- *Tesis Yer Seçimi Problemleri (Facility Location Problems)*: Hizmet maliyetlerini en küçüklerken, talep noktalarına olan mesafeyi veya teslimat süresini optimize etmeyi hedefler (p-medyan, p-merkez modelleri).
- *Araç Rotalama Problemleri (ARP / Vehicle Routing Problems - VRP)*: Belirli bir depo merkezinden çıkan araç filosunun, kapasite ve zaman pencereleri (VRP with Time Windows) gibi kısıtlar altında, toplam kat edilen mesafeyi veya karbon emisyonunu en küçükleyecek şekilde müşteri ziyaret sıralamasını belirler.
- *Envanter ve Depo Yönetimi (Inventory & Warehousing)*: Depo içi yerleşim düzeni (Layout), dinamik raf atama politikaları ve stok tutma maliyeti ile sipariş maliyeti arasındaki dengeyi kuran Ekonomik Sipariş Miktarı (EOQ) türevi stok modellerini

araştırır.

Bu tez çalışmasında da yer alan yeşil lojistik kavramı ise literatürde son yıllarda oldukça çalışılmaktadır. Geleneksel lojistik faaliyetlerin (taşıma, depolama, envanter yönetimi ve paketleme) yarattığı çevresel dışsallıkları en aza indirmeyi hedefleyen; ekolojik ve ekonomik dengeleri eş zamanlı optimize eden stratejik bir yönetim felsefesidir. Yeşil lojistik literatürü, gücünü büyük ölçüde şu üç teorik yaklaşımdan alır (Aktaş, 2025).

- *Sürdürülebilir Kalkınma Teorisi*: Ekonomik büyümenin, ekolojik sistemlerin taşıma kapasitesini aşmadan ve gelecek nesillerin kaynaklarını tüketmeden gerçekleştirilmesi gerektiğini savunur.
- *Üçlü Sorumluluk Çerçevesi (Triple Bottom Line)*: Lojistik performansın yalnızca finansal kâr üzerinden değil; insan ve gezegen üzerindeki etkileriyle birlikte, yani çok ölçütlü olarak değerlendirilmesini öngörür.
- *Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (Life Cycle Assessment)*: Bir ürünün veya hizmetin, ham madde çıkarımından lojistik süreçlere ve nihai bertarafa kadar olan tüm aşamalarındaki çevresel etkilerini beşikten-mezara (cradle-to-grave) perspektifiyle inceler.

Yeşil lojistik literatüründe en sık başvurulanan yöntemler Çok Amaçlı Optimizasyon (Multi-Objective Optimization) yaklaşımlarıdır. Maliyet ile karbon ayak izi arasındaki çelişki (trade-off), araştırmacıları tek bir optimal çözüm yerine Pareto Optimum Çözüm Kümeleri üretmeye ve bu karmaşık modelleri çözmek için ileri düzey metasezgisel algoritmalara (NSGA-II vb.) yönlendirmektedir. Özetlemek gerekirse, yeşil lojistiğin temel amacı; ileri teknoloji uygulamalarına ve yönetim stratejilerine dayanarak, her bir lojistik aşamasındaki ekolojik kirliliği ve kaynak tüketimini azaltmak, tüm sürecin daha çevreci bir yapıya kavuşmasını teşvik etmek ve nihayetinde ekonomik kalkınma ile ekolojik çevrenin sürdürülebilir gelişimi arasında bir denge ve kazan-kazan durumu gerçekleştirmektir.

Tedarik zinciri yönetimi (TZY) ise lojistik kavramını da içine alan, ham madde tedarikçilerinden son tüketiciye kadar uzayan tüm değer zincirindeki işletmeler arası süreçlerin entegrasyonudur. TZY; stratejik iş ortaklıkları, tedarikçi ilişkileri, talep tahmini, ürün tasarımı ve bilgi sistemlerinin koordinasyonu gibi çok boyutlu ve makro düzeyde bir yönetim modelini ifade eder. Lojistik, tedarik zincirinin fiziksel akışını sağlayan mekanik bir alt kümesiyken; tedarik zinciri, bu akışı stratejik ve finansal hedefler doğrultusunda optimize eden yönetim şemsiyesidir. Lojistik "doğru ürünü, doğru zamanda, doğru yere" ulaştırmaya odaklanırken;

TZY, tüm bu döngünün toplam maliyetini en küçüklemeyi ve paydaş değerini maksimize etmeyi amaçlar.

Son yıllarda yapılan araştırmalar, lojistik ve tedarik zinciri süreçlerinin dijitalleşme ve sürdürülebilirlik ekseninde yeniden şekillendiğini göstermektedir. Literatürde öne çıkan başlıca çalışma alanları şunlardır:

- *Tedarik Zinciri Dirençliliği (Resilience)*: Küresel krizler, pandemiler ve jeopolitik riskler karşısında zincirin kırılganlığını azaltma ve kesintilerden hızla kurtulabilme yeteneği.
- *Yeşil ve Sürdürülebilir Lojistik*: Karbon ayak izinin azaltılması, tersine lojistik (atık yönetimi ve geri dönüşüm süreçleri) ve çevre dostu taşımacılık modlarının entegrasyonu.
- *Dijital Tedarik Zinciri (Endüstri 4.0)*: Blokzincir (Blockchain) ile izlenebilirlik, yapay zeka ve büyük veri analitiği ile talep tahmini, nesnelerin interneti (Internet of Things-IoT) ile anlık envanter takibi.

3. AFET LOJİSTİĞİ YÖNETİMİNDE SÜREÇLER, STRATEJİLER VE YAKLAŞIMLAR

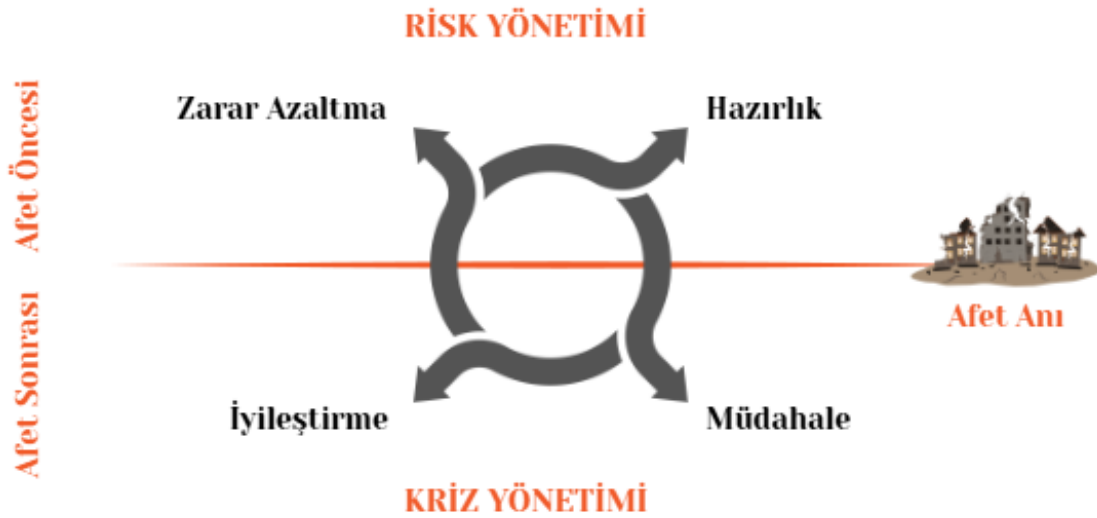
Afet lojistiği, afet veya acil durumlarda ihtiyaç duyulacak her türlü ilk yardım malzemelerinin, gıda ürünlerinin, ekip ve ekipmanların afet bölgesine istenilen zamanda ve istenilen miktarda ulaştırılması sürecinin tümüdür (Erturgut ve Yılmaz, 2020).

Afet ve acil durumlara yönelik yürütülecek insani yardım çalışmalarının en önemli parçası lojistik faaliyetlerdir. Herhangi bir afet veya acil durum operasyonu yürütülürken, afet nedeniyle ortaya çıkabilecek can ve mal kayıplarının önüne geçilmesi ancak, insani yardım lojistik faaliyetlerinin etkin ve verimli bir şekilde yürütülmesi ile mümkündür. Afet ve acil durum yönetiminde, lojistik faaliyetlerin etkinliğini ve verimliliğini artırmak için geçmişte meydana gelen afetlerde deneyimlenen zorluklar ve sorunlar analiz edilerek hazırlık çalışmaları yürütülmelidir. Olası afet ve acil durumlara karşı güçlü bir yanıt verebilmek, başarılı bir afet yönetimi gerçekleştirebilmek ve afetin yıkıcı etkilerini azaltmak için iyi bir strateji geliştirerek felaketlere yönelik tedbirlerin alınması ve afet planlarının oluşturulması gerekmektedir. Afet yönetiminde yakalanacak başarının en büyük etkeni afet lojistik ağının etkin, hızlı ve verimli bir şekilde çalışmasıdır. Olası afet ve acil durumlar sonrasında yürütülen insani yardım çalışmalarında beslenme, barınma, arama-kurtarma ve tıbbi yardım malzemeleri gibi akut dönemde ihtiyaç duyulacak birçok ürünün tedarik edilmesi, afet bölgesine ulaştırılması ve dağıtılması lojistik süreçlerin bir parçasıdır. Bu çerçevede, afet lojistiğinde temel amaç insan yaşamını kurtarmak, afetin fiziksel, sosyal ve ekonomik etkilerini hafifleterek kamu yararı sağlamaktır (Çınar ve Mutlu, 2020). Tüm bunlara ek olarak afet operasyonları kapsamında faaliyet gösteren tüm çalışma gruplarının uyum ve iş birliği içinde çalışarak, kendi lojistik kapasitelerinin geliştirilmesine önem vermesi oldukça değerlidir (Bilici ve Pekküçükşen, 2023).

3.1. Bütünleşik Afet Yönetim Sistemi ve Afet Lojistiği

Afet yönetimi anlayışında strateji oldukça önemlidir. Bu çerçevede strateji olarak modern afet yönetim sistemi, toplum temelli afet yönetim sistemi ve bütünleşik afet yönetim sistemi olmak üzere bazı modeller geliştirilmiş olup bu modeller içerisinde en sık tercih edileni ve en kapsamlı olanı bütünleşik afet yönetim sistemidir. Tanım olarak bakıldığında bütünleşik afet yönetim sistemi, afet ve acil durumlarla mücadele edebilen dirençli toplumlar oluşturabilmek için zarar azaltma, hazırlık, müdahale ve iyileştirme evrelerinde yürütülmesi gereken tüm faaliyetleri yerine getiren bir sistem olarak öne çıkmaktadır (Öztürk ve Tekin, 2019).

Bütünleşik afet yönetim sistemi kapsamında, afet öncesi dönemde risk yönetim çalışmalarına ilişkin olarak zarar azaltma ve hazırlık evrelerinde; risk analizleri ve afet planları yapılmakta, eğitim ve tatbikatlar düzenlenmekte, afetin olumsuz sonuçlarına karşı tedbirler geliştirilmekte, tahmin ve erken uyarı sistemlerini kurularak afet ve acil durumlara karşı yanıt verme düzeyi artırılmaktadır. Afet sonrası dönemde kriz yönetimi çalışmalarına ilişkin olarak müdahale evresinde; lojistik, arama-kurtarma, ilk yardım, tahliye, zarar tespit, hasar tespit, barınma, beslenme ve temel ihtiyaçların karşılanmasına yönelik faaliyetler yürütülmekteyken iyileştirme evresinde; afet nedeniyle bozulan sosyal, ekonomik ve çevresel zararları düzeltecek yeniden yapım ve rehabilitasyon süreçlerini ele alan çalışmalar sürdürülmektedir. Tüm bu süreç ve aşamalar birbiriyle bir bütün oluşturmakla beraber afet öncesi dönemde risk yönetim sürecinde yakalanacak olan başarı, afet sonrası dönemde kriz anında yakalanacak olan başarıyı doğrudan etkileyecektir. Bu nedenle afet veya acil durumlara hızlı, etkili ve verimli bir şekilde müdahale edebilmeni yolu bütünleşik afet yönetim sisteminin doğru bir şekilde uygulanabilmesine bağlıdır (Başaran ve Akyüz, 2022; Özçelik ve Özçelik, 2023). Bütünleşik afet yönetim sistemine ilişkin afet yönetim döngüsü Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Bütünleşik afet yönetim döngüsü (Özçelik ve Özçelik, 2023)’den uyarlanmıştır.

Tüm bu durumlar düşünüldüğünde afetin olumsuz etkilerini azaltmak için insani yardım malzemelerinin talep edilen düzeyde talep edilen yere ulaştırılması ancak başarılı bir afet yönetimi ve başarılı bir afet lojistiği ile mümkündür (Mazioğlu, 2020).

3.2. Türkiye Afet Müdahale Planı’nda Afet Lojistiği

Türkiye Afet Müdahale Planı (TAMP), herhangi bir afet veya acil durum sırasında

yürütülecek olan müdahale çalışmalarında görev alacak olan çalışma gruplarının hangi rol ve sorumlulukları üstleneceğini, Ulusal ve yerel düzeydeki afetlerin hangi yaklaşım ile yürütüleceğini açıklarken afet veya acil durumların türüne ve ölçeğine göre uyarlanabilir bir organizasyon sistemini belirtmektedir. TAMP’da afet müdahale seviyeleri ise etki derecesine göre seviye 1, seviye 2, seviye 3 ve seviye 4 olmak üzere dört gruba ayrılmıştır (TAMP, 2022). Müdahale seviyeleri Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Afet müdahale seviyeleri (TAMP, 2022)’den uyarlanmıştır.

Söz konusu planda, Lojistik ve Bakım Servisi’ne bağlı bulunan “Ayni Bağış Depo Yönetimi ve Dağıtımı” çalışma grubunun ana çözüm ortağı olarak Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı görevlendirilmiştir. Buna ek olarak ana çözüm ortaklığı görevini yürüten çalışma gruplarına destek olması amacıyla bazı destek çalışma grupları belirlenmiş olup belirlenen destek çözüm ortakları, ana çözüm ortakları koordinesinde faaliyetlerini yürütmektedir (TAMP, 2022). Ayni bağış, depo yönetiminden sorumlu ana çözüm ortakları ve destek çözüm ortakları Şekil 3.3’de gösterilmiştir.

ÇALIŞMA GRUBU	ANA ÇÖZÜM ORTAĞI	DESTEK ÇÖZÜM ORTAĞI	ÇALIŞMA GRUBUNUN GÖREV VE SORUMLULUKLARI
AFET AYNI BAĞIŞ, DEPO YÖNETİMİ VE DAĞITIM GRUBU	AİLE VE SOSYAL HİZMETLER BAKANLIĞI Afetzedelere yapılan ayni bağışların toplanması, depo hizmetleri ve dağıtımına yönelik koordinasyondan sorumludur.	İÇİŞLERİ BAKANLIĞI, GENÇLİK VE SPOR BAKANLIĞI, TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI, TİCARET BAKANLIĞI, ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI, MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI, SAĞLIK BAKANLIĞI, DIŞİŞLERİ BAKANLIĞI, EMNİYET GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, JANDARMA GENEL KOMUTANLIĞI, TÜRK KIZILAY, YEREL YÖNETİMLER, STK, ÖZEL SEKTÖR	• Dağıtım kriterlerini belirlemek. • Gıda güvenliği için denetim yaptırmak ve soğuk hava depoları kurdurmak. • Talep edilen ihtiyaçları ilan etmek ve tedarik zinciri kurmak. • Afetzedelere gönderilen ayni bağışların önceden belirlenmiş depolarda toplanmasını ve tasnifini sağlamak. • İleri dağıtım noktaları kurmak, yönetmek. • Ayni bağışların kayıtlarını tutmak. • Gelen talep doğrultusunda yardımların dağıtım merkezlerine iletilmesini sağlamak. • Yardım dağıtım merkezlerini belirlemek ve çalıştırmak. • Yardım dağıtım çalışmalarını yürütmek.

Şekil 3.3. Ayni bağış, depo yönetiminden sorumlu ana çözüm ortakları ve destek çözüm ortakları (TAMP, 2022).

Bununla beraber TAMP kapsamında, Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı (AFAD) ve Türk Kızılay tarafından yardım malzemelerinin olası afet ve acil durumlarda afet bölgesindeki ihtiyaç sahibi vatandaşlara hızlı bir şekilde sevk edilebilmesi amacıyla birçok

bölge lojistik merkezi depoları ve yerel lojistik merkezi depoları oluşturulmuştur (Bilici ve Pekküçükşen, 2023).

3.3. Afet Lojistiğinde Risk Analizi ve Önceliklendirme

İnsani yardım faaliyetlerindeki asıl amaç çalışmalar sırasında toplam harcanan maliyeti düşürürken en fazla sayıda insanı kurtaracak adımları atmaktır. Lojistik operasyonlar sırasında yardım araçlarının kapasite planlaması yapılırken ve rotaları belirlenirken büyük bir titizlikle hareket edilmelidir. Bununla birlikte harcanan toplam maliyet ile karşılanan talepler arasında bir dengenin kurulması da gerektiğinden, planlamalar bu doğrultuda yapılmalıdır. Stratejik olarak her ne kadar gerekli hazırlık ve planlamalar oluşturulmuş olsa da problemlerin operasyonel çerçevede değerlendirilmesi de oldukça önemlidir. Buna ek olarak yardım malzemelerinin afetten etkilenen vatandaşlar arasında planlaması yapılırken, ayrımcılığı mümkün olduğunca önleyen ve en çok ihtiyaç duyulan noktaya en önce ulaştırılması prensibiyle özel planlamalar yapılmalıdır (Bilici ve Pekküçükşen, 2023).

Afet veya acil durumlarda tedarik zinciri, afetin türüne veya insani yardım operasyonunun tipine göre farklılık gösterebilmektedir. Afet tedarik zincirinin koordine edilmesi ve yönetilmesi proje odaklı bir yaklaşımla yürütülmekte olup projelendirme kapsamında ise aşağıdaki durumlara dikkat edilmelidir.

- İnsani yardım açısından yerel, bölgesel ve ulusal düzeyde sosyal zarar görülebilirlik durumunun incelenmesi,
- Farklı senaryoların oluşturulması ile birlikte farklı türdeki afet veya acil durumlarda yürütülecek lojistik çalışmaların ulusal ve yerel düzeydeki risklerinin belirlenmesi,
- Belirlenen riskler ve etkilenebilecek potansiyel insan sayısına göre mevsim özellikleri de göz önünde bulundurularak ihtiyaç analizinin yapılması,
- Afet esnasında ihtiyaç duyulacak yardım malzemelerinin afet bölgesine hızlı bir şekilde sevkinin sağlanabileceği ve herhangi bir afete karşı dayanıklı olan depolama alanlarının modern yöntemler ile belirlenmesi,
- Afet esnasında vatandaşların ihtiyaç duyacağı yardım malzemelerin daha önce planlanan depolardan hangi öncelik sırasına göre sevk edileceğine ilişkin çalışmaların yapılması,
- Yardım malzemelerinin sevki sırasında gerekli güvenlik önlemlerinin alınarak yağmacılığa karşı tedbirler geliştirilmesi gerekmektedir (Ulugergerli, 2021).

3.4. Afet ve Acil Durum Lojistiği Süreçleri

Afet ve acil durum lojistiği süreçlerini ele alacak olursak, sırasıyla; afet öncesi hazırlık süreci, afet müdahale süreci ve afet müdahale sonrası süreç olmak üzere üç farklı aşama karşımıza çıkmaktadır (Topal, 2015).

3.4.1. Afet öncesi hazırlık süreci

Afet ortaya çıkmadan önce yapılması gereken hazırlık çalışmalarının bütünü içermektedir. Bu süreç içerisinde afet ve acil durumlarda kullanılacak yardım malzemelerinin satın alınması, standartlara uygun şekilde depolanması, depolanan malzemelerin kontrollerinin yapılması, malzeme yönetim sürecinin raporlanması, lojistik personeline yönelik eğitimlerin aldırılması gibi planlamalar yapılmaktadır (Özçelik ve Özçelik, 2023). Bu planlamalar ile birlikte birçok afet veya acil duruma hazırlıklı olunması, afet durumunda her an kullanılabilir uygun depo yerlerinin belirlenmesi, en doğru ve en kısa yoldan yardım malzemesinin afet bölgesine sevk edilmesine kadar uzanan birçok önemli nokta ele alınmaktadır (Bal, 2020).

3.4.2. Afet müdahale süreci

Afetin meydana gelmesi ile birlikte başlayan süreçtir. Afet haberinin alınması ile birlikte yapılan ihtiyaç analizi kapsamında afet bölgesine doğru ihtiyaçların en doğru yöntemler ile ulaştırılması sürecidir. Başarılı bir müdahale sürecine ulaşmak ve etkili bir kriz yönetimi ortaya koyabilmek için afet öncesi hazırlık dönemde oluşturulan planlamaların afetin beraberinde getireceği zararlara ve olumsuzluklara cevap verebilir nitelikte olması gerekmektedir. Buradan hareketle, afet müdahale sürecindeki lojistik faaliyetlerde yakalanacak başarı esasında afet öncesi hazırlık sürecinde yakalanacak olan başarıya bağlıdır (Özçelik ve Özçelik, 2023).

3.4.3. Afet müdahale sonrası

Afet iyileştirme sürecine girilmesi ile birlikte iyileştirme faaliyetlerine yönelik planlamaların bütünü, malzemelerin toplanmasını, ekipmanların bakım ve onarımlarının yapılmasını, imha süreçleri ile birlikte sürece ilişkin olarak izleme, değerlendirme ve raporlamaların yapılmasını içermektedir (Özçelik ve Özçelik, 2023).

3.5. Afet ve Acil Durumlarda Lojistik Depoların Önemi

Afet meydana geldikten sonra hayati bir önem taşıyan barınma ve sağlık gibi hizmetler ile birlikte güvenliğin sağlanması, finansal ihtiyaçların karşılanması, salgınlara karşı tedbir geliştirilmesi ve gerekli lojistiğin sağlanması büyük önem taşımaktadır. Afet ve acil durumlar ile birlikte eş zamanlı yürütülen lojistik faaliyetlerin önemi ülkemizde son zamanlarda yaşanan

önemli sel felaketleri, yangınlar ve depremler ile birlikte daha da artmıştır (Şipal, 2023). Bu çerçevede iyi bir afet lojistiği sürecini yönetebilmek ve en hızlı şekilde talep edilen noktaya talep edilen malzeme ve hizmetin götürülebilmesi ise ancak afet öncesi dönemde etkili bir depolama hizmetinin oluşturulması ile mümkün olacaktır (Durdağ vd., 2021).

Bahse konu süreç içerisinde lojistik faaliyetlerin kesintisiz bir şekilde gerçekleştirilebiliyor olması için hem afet anından hem de afet sonrasında talep edilen insani yardım malzemelerinin afetten etkilenen vatandaşlara ulaştırılması, ulaştırılan malzemelerin afet bölgesinde depolanması, depolanan malzemelerin dağıtımının gerçekleştirilmesi ancak afet lojistik çalışmaları çerçevesinde, afet bölgesinde geçici lojistik merkezi veya dağıtım merkezi olarak kullanılacak olan depolar sayesinde mümkün olmaktadır (Peker vd., 2016). Bazı afetlerden sonra özellikle mevcut altyapının ve ulaşım yollarının kullanılamaz hale gelmesi afet bölgesine yönelik yürütülecek sevkiyatları etkilemektedir. Stratejik olarak değerlendirilen noktalarda lojistik depoların bulunduruluyor olması afet anında ilk ihtiyaç duyulacak temel insani yardım malzemelerinin afetzedeler ile buluşturulması konusunda ciddi bir avantaj oluşturmaktadır (Ergün vd., 2020).

Tüm bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda, insani yardım malzemelerinin uluslararası kaynaklar veya yerel kaynaklardan temin edilmesi hem maliyetli olacağı hem de zaman alacağı düşünüldüğünde afet öncesi dönemde il veya ilçe düzeyinde lojistik merkezi depolarının bulundurulması başarılı bir afet yönetim sürecinin temelini oluşturmaktadır. (Gözyayın ve Can 2013).

3.6. Afet Lojistiğinde Karşılaşılan Zorluklar

Afet ve acil durum operasyonlarında afet müdahale ekiplerinin ve afetzede ihtiyaçlarının doğru bir şekilde tespit edilmesi oldukça önemlidir. Afet ve acil durumların akabinde yürütülecek olan afet lojistiği çalışmalarındaki performansın olumsuz yönde etkilenmesinin en önemli nedenlerinde birisi, özellikle afetin ilk anlarında afetzede ihtiyaçlarının tam olarak bilinmemesidir. Buna ek olarak afetin meydana geldiği ilk andan itibaren daha önceki afet müdahalesine dayalı tecrübeler göz önünde bulundurularak, barınma, gıda, ilaç ve su gibi temel ihtiyaç malzemeleri afet bölgesine sevk edilmektedir (Çınar ve Mutlu, 2020). Özellikle büyük çaplı afetlerde etkilenen kitlenin çok fazla olması ve hasarın çok geniş alanlarda boy göstermesine bağlı olarak, çok yüksek miktarlarda yardım malzemesinin planlanması gerekebilmektedir. Liman, otoyollar ve havaalanlarında sevkiyatlarda aşırı yüklenmeye bağlı olarak tıkanmalar yaşanabilmekte, koordinasyonda eksiklikler oluşabilmekte ve bu durum yardım malzemelerinin yanlış noktalara gitmesine veya eksik gitmesine neden

olabilmektedir (Özçelik ve Özçelik, 2023).

Afetin oluşturduğu yıkım ile birlikte afet bölgesindeki iletişim altyapısının zarar görmesine bağlı olarak haberleşme olanakları kısıtlanmakta, yollarda ve köprülerde oluşabilecek yıkıntılar ile beraber ulaşım altyapısı yetersiz hale gelebilmektedir. Bu nedenle afet lojistik faaliyetleri yürütülürken ulaşım altyapısının haritalandırılması, kapalı olan yolların tespit edilmesi önem arz etmektedir. Özellikle bazı doğa kaynaklı afetlerin nerede, ne zaman, ne kadar büyük bir zarara neden olacağı konusunda tahminde bulunmak oldukça zordur. Bu nedenle afet öncesi dönemde mağdurların talepleri, mevcut kaynaklar ve sevkiyat süreçlerinin planlandığı hazırlık çalışmaları yapılmalıdır (Çınar ve Mutlu, 2020).

Özellikle etkilenen nüfusun yüksek olduğu büyük çaplı afetlerde güvenlik sorunları yaşanabilmektedir. Afet bölgesindeki kaotik ortamdan faydalanmak isteyen yağmacılar ve hırsızlar yardım malzemesi tedarik zincirini kendi yararlarını öne koyarak bozabilmektedir. Bununla birlikte afet bölgesine gelen yiyecek ve içeceklerin gıda güvenliği açısından kullanılabilirlik durumları ve son kullanma tarihlerinin kontrollerinin sağlanması oldukça önemlidir (Özçelik ve Özçelik, 2023).

Afet lojistiğinde sıklıkla karşılaşılan problemlerden birisi de yardım malzemelerin afet bölgesine beklenen zamanda sevk edilememesidir. Yeterli miktarda yardım malzemesinin doğru zamanda afet bölgesine ulaştırılamaması afetin boyutunu büyütmektedir. Afet veya acil durumların sonrasında malzeme, insan kaynakları, hizmet ve finansal yardım ihtiyacı var olan kaynakların çok daha üzerinde olabilmektedir. Bu kapsamda da kaynakların önceliklendirilmesi ve en çok ihtiyaç duyulan noktaya ulaştırılması gerekmektedir. Bazı durumlarda ise afet meydana geldiği andan itibaren afet bölgesine talep edilenin üzerinde veya ihtiyaçlara uygun olmayan yardım malzemeleri gönderilmekte, bu durum ise kaynakların etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasının önüne geçerek afetzedelerin ihtiyaçlarının doğru bir şekilde karşılanmamasına neden olmaktadır. Tüm bunlara ek olarak insani yardım operasyonlarında, gerek aynı bağışta bulunan kurumlar, gerek insani yardım kuruluşları gerekse devlet kurumları farklı kapasite ve imkanlarla lojistik süreçlerin içerisinde bulunmaktadır. Bu durum ise zaman zaman kurumlar arasında koordinasyon ve işbirliği problemlerinin yaşanmasına neden olmaktadır. Bu nedenle de özellikle büyük ölçekli afetlerde kurum ve kuruluşlar arasındaki görev, bilgi ve kaynak paylaşımının yapılması oldukça önemlidir (Çınar ve Mutlu, 2020).

3.7. Afet Lojistiğinde Özel Sektör ve STK'ların Rolü

Sivil toplum kuruluşları ortak hedefler çerçevesinde bir araya gelen ve bu kapsamda faaliyetlerini sürdüren örgütlerdir. Afet ve acil durumlarda, afet yönetim sürecine ilişkin olarak gönüllü insanların oluşturduğu sivil toplum kuruluşları, kamu kurumları veya ilgili diğer kuruluşlar koordineli olarak faaliyetlerini sürdürmektedir. Bu sivil toplum kuruluşları afet öncesi dönemde, afet döneminde ve afet sonrası dönemde afet yönetim sürecinin etkin bir parçası olarak rol almaktadır (Başaran ve Akyüz, 2022).

Afet lojistiğinde başarılı olabilmek için afetin beraberinde getireceği belirsizlik ve değişkenliklere karşı en kısa zamanda yanıt verilerek afetzede ihtiyaçlarının en kısa süre içerisinde sürdürülebilir bir yöntemle karşılanmasına bağlıdır. Bu çerçevede, insani yardım kuruluşlarının afet lojistiğinde başarıyı yakalayabilmeleri için iş birliği içerisinde, yardımlaşarak uyumlu bir şekilde çalışmaları elzemdir (Tekin ve Merdivenci, 2024).

Tüm bu durumlar ele alındığında afet yönetim sürecinin dinamik bir parçası olan afet lojistiği hem hükümet hem de sivil toplum kuruluşlarının koordineli bir şekilde çalışmasını ve etkin bir iş birliği içerisinde yürütülmesini gerektiren bir süreçtir. Afetin büyüklüğüne ve oluşturduğu zarara göre lojistik altyapının veya kapasitenin yetersiz kalması durumunda, sivil toplum kuruluşlarının afet lojistiği sürecine vereceği katkıyı oldukça değerli bir hale getirmektedir (Güzel ve Noksan, 2023).

Sivil toplum kuruluşlarının afet ve acil durumlara ilişkin lojistik süreçlere vereceği katkıyı bir örnek ile belirtecek olursak, ülkemizde Türk Kızılay'ın hem ulusal hem de uluslararası afet operasyonlarında kullanabileceği ciddi bir lojistik güce sahip olduğu görülmektedir. Türk Kızılay sorumluluğunda bulunan bölge lojistik merkezleri ve yerel lojistik merkezlerindeki yardım malzemeleri, afet durumlarında kullanılmak ve afet bölgesine ulaştırılmak üzere hazır tutulmaktadır. Nitekim çok da uzak sayılmayan tarihlere bakıldığında 12 Kasım 1999 tarihinde Düzce'de, 2011 yılında Van'da, 2020 yılında Elazığ'da, 2023 yılında ise Kahramanmaraş ilinde meydana gelen depremlerde Türk Kızılay tarafından beslenme, barınma, sağlık gibi birçok alanda lojistik faaliyetler yürütülmüştür (Başaran ve Akyüz, 2022; Türk Kızılay Faaliyet Raporu, 2023).

4. SÜRDÜRÜLEBİLİR AFET LOJİSTİĞİ

Sürdürülebilirlik kavramı olarak “*daimi olma kabiliyetini*” ifade etmekte olup her geçen gün önemi daha da artmaktadır. Bu kavram, insan faaliyetlerinde çevresel, sosyal ve ekonomik unsurların birbiriyle ilişkili olduğunu kabul eden bütüncül bir anlayıştır. İnsanlar için daha iyi yaşam koşulları oluşturabilmek adına, sürdürülebilirliğin *çevresel, sosyal ve ekonomik* boyutlarının tamamı birlikte ele alınmalıdır. Toplumun ihtiyaçlarının karşılanmasına yönelik çalışmalar yürütülürken bir sonraki kuşakların mevcut ihtiyaçlarının karşılanması ve gerekli olan kaynakların tükenmemesi için tüm sektörler bu konuya büyük bir önem duymakla birlikte son yıllarda bu konu, lojistik sektörü için de oldukça önemsenen bir konu haline gelmiştir. (Matyar Tanır, 2024). Sürdürülebilirliğin, kaynakların mevcut ve gelecek nesiller arasında yalnızca etkin değil, aynı zamanda adil bir şekilde dağıtılmasının yanı sıra, ekolojik yaşam destek sistemi ile orantılı ekonomik faaliyetlerin bir bütünü olduğu vurgulanmaktadır (Gray ve Milne, 2022).

Sürdürülebilirlik kavramı köken olarak çevresel üretimle ilişkili olarak ortaya çıkmış olsa da, günümüzde ekonomik, çevresel ve sosyal boyutları kapsayacak şekilde kullanılmaktadır. Sürdürülebilirlik kavramı doğrultusunda; paydaşların güvenini kazanarak pazarda güçlü bir itibar edinmeyi amaçlayan işletmeler; operasyonlarının sosyal, çevresel ve ekonomik etkilerini belirlemekte, izlemekte ve raporlamaktadır. Çevresel, sosyal ve ekonomik boyutları içeren raporların gerekliliği, üçlü sorumluluk (Triple Bottom Line: TBL) kavramını ortaya çıkarmaktadır. TBL yaklaşımının üç temel ayağı; ekonomik (kâr), sosyal (insan) ve çevresel (gezegen) unsurlardan oluşur. Üçlü sonuç çizgisi kavramı, işletme sonuçlarının yalnızca finansal kâr-zarar çizgisiyle ölçülemeyeceğini öne sürer. Bunun yerine, insanların ve gezegenin refahı da dikkate alınmalıdır. Bu, üçlü sonuç çizgisi çerçevelerini benimseyen kuruluşların yalnızca hissedarlara değil, tüm paydaşlara karşı sorumlu olduğu anlamına gelmektedir.

Lojistik sektöründe sürdürülebilirlik ise, küresel tedarik zinciri ağlarının çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarını yeniden yapılandıran multidisipliner bir paradigma dönüşümünü temsil etmektedir. Literatür, “sürdürülebilir lojistiği” neredeyse tamamen John Elkington’ın *Triple Bottom Line* (Ekonomik, Çevresel, Sosyal sürdürülebilirlik) teorik çerçevesine oturtur (Elkington, 1997).

Sürdürülebilirlik kapsamında analiz edilen 3 temel nokta:

- *Ekonomik ve Çevresel Çelişki/Uyum*: Çalışmaların büyük bölümü, maliyet ve emisyon

en küçüklenmesi arasındaki ödünleşmeleri inceler. İlk dönem literatürü bu ikisini çelişen hedefler olarak görse de, güncel literatür optimizasyon aracılığıyla hem maliyetin hem de karbon ayak izinin eş zamanlı düşürülebileceğini (kazan-kazan senaryolarını) kanıtlamaktadır.

- *Sosyal Boyut*: Ekonomik ve çevresel etkiye göre daha az çalışılan bu alan; sürücülerin çalışma saatleri, iş güvenliği, kaza risklerinin azaltılması ve şehir içi lojistiğin (gürültü ve hava kirliliği) toplum sağlığı üzerindeki etkilerine odaklanmaktadır.

Sürdürülebilir lojistik literatürünün en dinamik ve operasyonel kanadı “Yeşil Araç Rotalama Problemleri (Green VRP)” olarak tanımlanır. Bu problemle, klasik mesafe odaklı modeller yerini; aracın hızını, yük ağırlığını, yol eğimini ve dur-kalk zamanlarını hesaba katarak yakıt tüketimini ve emisyonu en küçüklerken Karma Tamsayı Programlama (MIP) modellerine bırakmıştır. Probleme yönelik literatürde “Çok Amaçlı Optimizasyon (Multi-Objective Optimization)” yöntemleri yer almaktadır. Bu yöntemlerden, pareto optimum çözümler üreterek karar vericilere hem en ekonomik hem de en çevreci rotaları bir arada sunan algoritmalar (NSGA-II, tabu arama vb. sezgiseller) tercih edilmektedir. Sürdürülebilir lojistiğin stratejik ve makro odağını “tersine lojistik” ve “tedarik zinciri entegrasyonu” oluşturmaktadır:

- *Tersine Lojistik (Reverse Logistics)*: Ürünlerin kullanım ömrü sonu yönetimi, geri dönüşüm ağlarının tasarımı ve döngüsel ekonomi entegrasyonu literatürde geniş yer tutar. Kapalı çevrim tedarik zinciri (Closed Loop Supply Chain Management) modelleri bu alanın merkezindedir.
- *Mevzuat ve Performans Ölçümü*: Özellikle Avrupa Yeşil Mutabakatı, karbon vergileri sonrası literatür; sınırda karbon düzenlemelerinin küresel lojistik ağ tasarımlarını ve tedarikçi seçim stratejilerini nasıl kökten değiştireceğini matematiksel ve deneysel modellerle ele almaya başlamıştır.

4.1. Sürdürülebilir Afet Lojistiğinin Çevresel Etkileri

Geçmişte, yeryüzü kaynaklarının dengesiz ve sınırsız bir şekilde kullanılmasıyla çevre sorunları yaşanmaya başlanmış ve günümüzde bu kaynakların ne kadar değerli olduğu daha net bir şekilde anlaşılmıştır. Buna ek olarak kaynakların aşırı ve bilinçsiz bir şekilde kullanılmasına bağlı oluşan çevre kirliliklerine yönelik önlemlerin alınması gerektiğinin farkına varılmış, bu nedenle de alternatif enerji kaynaklarına olan yönelim zamanla artmıştır. Lojistik sektörü üzerinden bu durum değerlendirildiğinde ise malzemelerin bir noktadan başka bir noktaya sevki sırasında harcanan yakıtlar nedeniyle atmosfere salınan gazlar önemli ölçüde çevreyi tehdit

etmektedir. Öyle ki küresel sera gazı salınımının %14'lük bir kısmını, sadece lojistik sektöründe yürütülen faaliyetler oluşturmaktadır (Yaman ve Kandemir, 2024). Lojistiğin çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için, en doğru taşıma metodu ve türünün belirlenmesi, en kısa ve en doğru yolun kullanılması, karbon emülsiyonu daha düşük araçların tercih edilmesi, doğada kalıcı olmayan ve kendiliğinden kaybolabilen ambalajların kullanılması gibi birçok yöntem tercih edilebilmektedir (Matyar Tanır, 2024).

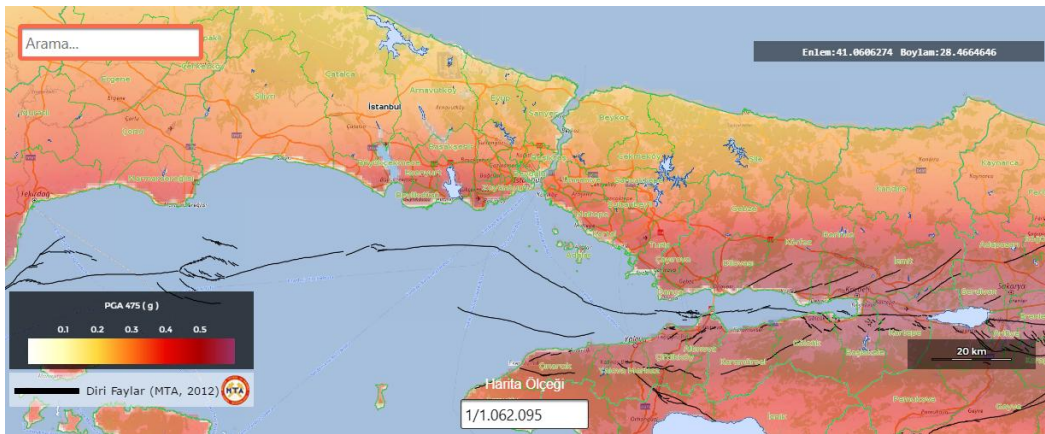
Son yıllarda afetlerin oluşturduğu yıkım ve etkilediği insan sayısı düşünüldüğünde, aynı zamanda afet lojistiğinin çevre üzerindeki etkileri de hesaba katıldığında, insani yardım operasyonlarının bir parçası olan lojistik faaliyetlerin sürdürülebilir bir şekilde yürütülmesinin önemi artmaktadır. Bu kapsamda lojistik faaliyetlerin çevre üzerindeki etkisini azaltacak bazı önlemler almak elzemdir. Örneğin; geri dönüştürülmüş malzemelerin (palet, kutu vb.) kullanımı, ambalaj ve kâğıt tüketiminin azaltılması açısından ön plana çıkmaktadır. Ayrıca, yerel kaynakların kullanılması, yeşil satın alma politikalarının benimsenmesi ve teknoloji destekli lojistik çözümlerinin uygulanması operasyonların verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırmaktadır. Bunun yanında düşük emülsiyonlu ulaşım yöntemlerinin tercih edilmesi karbon ayak izini düşürmeye önemli derecede katkı sağlamakta olup afet lojistiğinin çevre üzerindeki olumsuz etkilerini büyük oranda azaltacaktır (Özceylan ve Tanyaş, 2023).

5. OLASI İSTANBUL DEPREMİ VE İSTANBUL İLİ LOJİSTİK ALTYAPISI

Yer kabuğu içinde oluşan kırılmalara bağlı olarak aniden açığa çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılması ve yeryüzünde sarsıntılara neden olması durumuna deprem denilmektedir (Küçükali, 2018). Türkiye topraklarının yaklaşık %98'i deprem bölgesinde yer almakta olup mevcut nüfusunun yaklaşık %95'i de deprem riski taşıyan bu bölgelerde bulunmaktadır. İstanbul'un Marmara bölgesinde bulunuyor olması nedeniyle İstanbul için en büyük afet riskini depremler oluşturmaktadır. Marmara bölgesinde gelişebilecek bir deprem afeti sonrasında, doğru bir planlama ve doğru bir koordinasyonun sağlanamaması durumunda afetin boyutu çok daha büyük hissedilecektir. Bu nedenle özellikle İstanbul gibi büyük bir şehir için afet anında ortaya çıkabilecek ihtiyaçlar ve bu ihtiyaçların karşılanmasının yolunun lojistik süreçlerin başarılı bir şekilde yönetilmesine bağlı olduğu durumu incelendiğinde iyi bir planlamanın yapılması gerektiği görülmektedir (Öztürk ve Tekin, 2019; Küçük ve Yardımcı Coşkun, 2025).

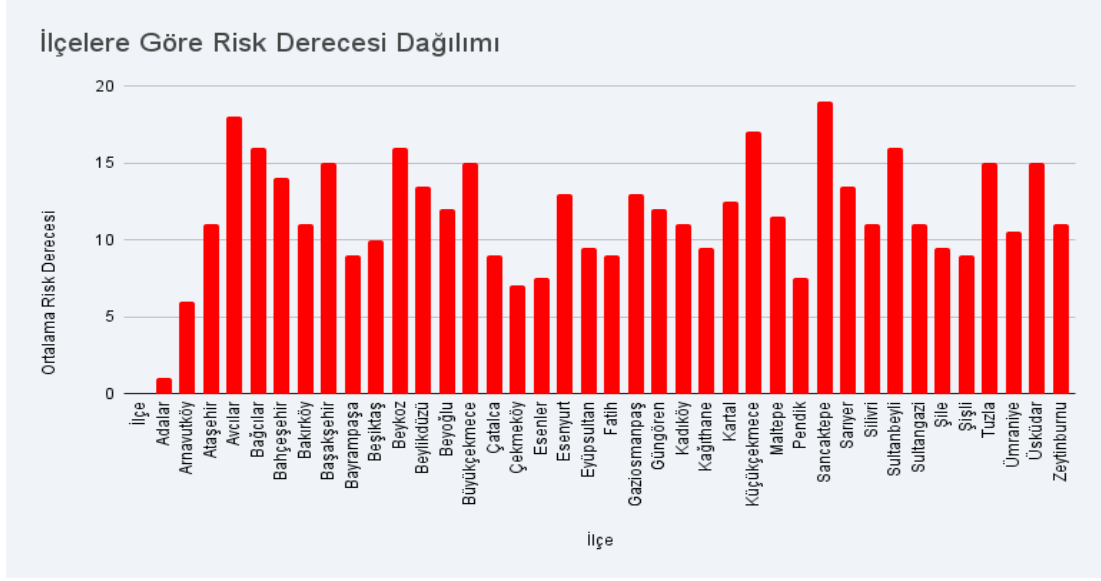
5.1. İstanbul İlçelerinin Deprem Risk Düzeyleri

İstanbul, 15 milyondan fazla nüfusa sahip olmakla birlikte Türkiye'nin ve dünyanın en önemli şehirlerinden birisidir. Sanayi ve kentleşmede yaşanan artış, köylerden kentlere olan göçü artırmış ve bununla birlikte son yıllarda İstanbul'da hızlı bir nüfus artışı ortaya çıkmıştır. Hızlı nüfus artışı ise beraberinde bazı problemlerin gelişmesine neden olmuştur. Bu problemlere daha yakından bakıldığında kontrolsüz, bilgisiz ve mevzuatlara uygun olmayan kaçak yapılaşmanın yaygınlaşması en büyük sorundur. İstanbul, Türkiye'nin en ciddi fay hatlarından birisi olan Kuzey Anadolu Fayı (KAF) yakınında bulunuyor olması ve uygun olmayan yapı stok durumu düşünüldüğünde olası bir deprem afeti senaryosunda afetin etkilediği alan ve kişi sayısı bakımından ciddi risk altındadır (Üstün ve Anagün, 2016). İstanbul ilçeleri ve KAF uzanış doğrultusu Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. İstanbul ilçeleri ve Kuzey Anadolu Fayı'nın uzanış doğrultusu (AFAD, 2026)

Afet ve acil durumlara ilişkin risk azaltma sürecinde, öncelikli olarak tehlikelerin belirlenmesi ve analiz edilmesi, daha sonrasında mevcut tehlikelere göre risklerin belirlenmesi, akabinde ise eldeki risk analiz verilerine göre zarar azaltma çalışmalarına yönelik faaliyetlerin planlanması ve uygulanması gerekmektedir. Bu çerçevede, İstanbul'daki yerleşim alanlarının mevcut alt yapı sistemleri ve bina stoklarının depremden zarar görebilirlik durumlarına ilişkin analizler yapılarak İstanbul Risk Azaltma Planı (İRAP) hazırlanmıştır. Bu plana göre bina stokunu oluşturan yapıların yapım yılı, taşıyıcı sistem türü, kat sayısı ve bulunduğu bölge ile birlikte binaların fay hattına olan yakınlığı, zemin yapısı gibi faktörler deprem riskini artırmaktadır. Tüm bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda İRAP'a göre Avcılar ilçesi, zemin koşullarının olumsuz olması, yapı stokunun modern mevzuatlara uygun olmaması ve fay hattına olan yakınlığı durumuna bağlı olarak risk derecesi en yüksek ilçelerden birisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Deprem, İstanbul genelinde tüm ilçeler için yüksek risk düzeyi oluşturmakla beraber zemin yapısının sıvılaşmaya müsait olması, yapı stokunun uygun olmaması ve fay hattın olan yakınlığı nedeniyle Adalar, Avcılar, Bahçelievler, Bakırköy, Beylikdüzü, Büyükçekmece, Küçükçekmece, Maltepe, Tuzla, Üsküdar, Zeytinburnu ve Sultanbeyli ilçeleri depremde en yoğun şekilde etkilenecek ilçeler arasında yer almaktadır. Esenyurt ilçesi, yüksek ve yoğun yapılaşma, artan nüfus ve göçmen yoğunluğu gibi faktörlere bağlı olarak depremde etkilenecek riski yüksektir. Silivri ve Tuzla'nın, alüvyon zeminde bulunması, fay hattına yakın olması ve zemin sıvılaşmasına yatkın olması nedeniyle depremde yoğun bir şekilde etkilenebilecek ilçeler arasındadır. Olası deprem sonrasında, Bakırköy, Avcılar ve Zeytinburnu ilçelerinin tamamının etkileneceği düşünülmektedir. Adalar ilçesine baktığımızda ise yapı stoku ve fay hattına yakınlık durumu ilçeyi yüksek risk taşıyan ilçeler arasında yer almasına neden olurken nüfusun az olması, trafik probleminin yaşanmayacak olması ve deniz ulaşımı imkanı sürecin yönetilmesinde diğer ilçelere nazaran afet yöneticilerinin elini güçlendirmektedir. Bağcılar, Bahçelievler, Esenler, Gaziosmanpaşa, Kadıköy, Kağıthane, Kartal, Küçükçekmece, Maltepe, Pendik, Ümraniye ve Üsküdar ilçeleri, nüfus yoğunluğunun fazla olması, kapanması muhtemel yollar nedeniyle diğer ilçelere göre daha fazla zorlukla karşılanması muhtemel ilçeler arasında değerlendirilmesine neden olmaktadır (İstanbul İRAP, 2021). İRAP'da yer alan İstanbul ilçelerine ait deprem risk dereceleri Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. İstanbul ilçelerinin tahmini deprem risk derecesi dağılımı (İstanbul İRAP, 2021)’den uyarlanmıştır.

5.2. Olası İstanbul Depremi Çerçevesinde Acil Ulaşım Yollarının Değerlendirilmesi

Türkiye açısından oldukça büyük bir önem taşıyan İstanbul, herhangi bir deprem afeti ile karşı karşıya kalması durumunda depremin boyutunu etkileyen faktörlerden birisi de hiç şüphe yok ki afet anında kullanılacak olan ulaşım yollarının kullanılabilirlik durumu olacaktır. Afet anında ulaşımın sağlanması oldukça önemli bir yere sahip olduğundan, ulaşım merkezli planlamalar ile ulaşım ağlarının açık kalmasına yönelik çalışmaların yapılması gerekmektedir. Özellikle afet anında, İstanbul ilinde lojistik süreçlerin yürütülmesi açısından kritik bir öneme sahip olan ulaşım ağlarının kullanılabilirlik durumu, afet anında yardım malzemelerinin sevk edilmesi ve tahliyelerin sağlanması açısından da üzerinde durulması gereken bir konu haline gelmiştir. Ulaşım ağının açık ve kullanılabilir durumda olması, depremin ardından yürütülecek arama-kurtarma operasyonları, tıbbi yardım ve insani yardım operasyonunun etkili bir şekilde yürütülebilmesini doğrudan etkilemektedir. Tüm bu durumlar göz önünde bulundurularak İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB)’nin 2002 yılında deprem riskine karşı hazırlıklı olmak amacıyla Japan International Cooperation Agency (JICA) ile beraber yapmış olduğu çalışmada acil ulaşım ağlarının oluşturulması ve hazırlık için alınabilecek önlemlere yönelik bir planlama oluşturulmuştur. 2003 yılında ise yine İBB tarafından “*Deprem Master Planı*” hazırlanmış ve bu planda afet durumlarında acil ulaşım ve eylem planlarına yönelik çalışmalar yapılmıştır (Buldurur ve Kurucu, 2015).

İBB tarafından 2011 yılında yapılan “*İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım*

Planı” çalışmasında ise yine ulaşım altyapısının afet durumunda hasar görebilirlik durumlarına yönelik analizlere yer vermiştir (İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Ana Planı, 2011).

2023 yılında İBB tarafından yapılan “*İstanbul İli Olası Deprem Kayıp Tahminlerinin Güncellenmesi Projesi*” kapsamında yapılan çalışmada, ulaşım envanterinin derlenmesi ve afet anında kapanabilecek yollara yönelik analizlere yer verilmiştir. Bununla birlikte 7.5 büyüklüğünde bir deprem senaryosuna göre çok ağır düzeyde hasar göreceği düşünülen binaların yollara yıkılarak kısmi ya da tam yol kapanmasına neden olma durumları ayrı ayrı haritalandırılmıştır (İstanbul İli Olası Deprem Kayıp Tahminlerinin Güncellenmesi Projesi, 2023).

5.3. Olası İstanbul Depremi Kapsamında Kullanılacak Lojistik Merkezlerin Değerlendirilmesi

İstanbul’da yaşanabilecek olası büyük bir depremin akabinde, özellikle ilin yüksek nüfusu ve fay hattına olan yakınlığı düşünüldüğünde vatandaşların ihtiyaç duyacağı yardım malzemelerinin lojistik ilkeler çerçevesinde başarıyla ulaştırılması, stoklanması ve dağıtılması için büyük bir lojistik ağı planlanması, kurulması ve aynı zamanda da yönetilmesi gerekmektedir. Afet çadırları, sağlık malzemeleri, gıda malzemeleri, temel giyim malzemeleri, enkaz kaldırma ve kurtarma operasyonu malzemeleri gibi afet döneminde hayati önem taşıyan malzemelerin daha etkin ve daha verimli bir şekilde afet operasyonu kapsamında kullanılabilmesi için lojistik merkezlerin planlanması ve koordine edilmesi gerekmektedir (Baskın ve Şeker, 2025).

İstanbul depremine karşı bazı hazırlıklar yapılmakla birlikte bu hazırlıklar içerisinde en önemli olanlarında birisi de tıbbi malzeme, çadır, yatak, battaniye, ısıtıcı ve mutfak seti gibi malzemeleri bulunduran afet lojistik depolarının afet öncesi dönemde belirlenmesine yönelik yürütülen çalışmalardır (Yalçındağ vd., 2023).

Yapılan çalışmalara yakından bakacak olursak 2013 yılında İstanbul Kalkınma Ajansı tarafından hazırlanan “*İstanbul İli Afet Lojistik Planı Kılavuzu*”nda afet lojistiğinin temel kavramları açıklanmış, İstanbul’un deprem başta olmak üzere tüm afet risklerini analiz edilmiş ve ulusal-uluslararası örneklerden yararlanarak İstanbul’a özgü lojistik bir model öneren kapsamlı bir çalışma hazırlanmıştır. Kılavuzda AFAD, İstanbul Afet Koordinasyon Merkezi ve Kızılay gibi kurumların görevleri; tedarik, depolama, taşımacılık, haberleşme, geçici barınma ve enkaz kaldırma gibi lojistik faaliyetlerin nasıl organize edilmesi gerektiği ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Ayrıca farklı afet senaryoları için İstanbul’un ihtiyaç duyacağı lojistik kapasite

değerlendirilmiş, deniz ve hava gibi alternatif ulaşımın önemi vurgulanarak, kurumlar arası koordinasyonun güçlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Modelin ilçelerde nasıl uygulanacağı Ümraniye örneği üzerinden gösterilmiş, hizmet grupları, personel görev dağılımları ve ihtiyaç listeleri gibi operasyonel detaylara da yer verilmiştir. Genel olarak kılavuz, İstanbul’da afet anında hızlı, organize ve sürdürülebilir bir lojistik sistem kurmak için gerekli yapıtaşlarını ve önemini açıklamıştır (İstanbul İli Afet Lojistik Planı Kılavuzu, 2013).

25 Şubat 2023 tarihinde İBB ve İstanbul Planlama Ajansı iş birliğiyle oluşturulan “İstanbul Deprem Çalışma Grubu Toplantısı”nda lojistik başlığının da yer aldığı temel konular tartışılmıştır. Olası bir deprem sonrasında İstanbul ili afet lojistiği süreçlerin yönetilmesine ilişkin değerlendirilmelerin gerçekleştirildiği bu toplantıda, şehir dışından gelecek yardımların İstanbul’a karayolu, deniz yolu ve havayolu ile ulaştırılabileceği belirtilmiştir. İstanbul genelinde afet anında şehir içerisinde lojistik süreçlerin kesintisiz bir şekilde devam edebilmesi için 3 ölçekli bir lojistik sistem planının oluşturulması üzerinde durulmuştur. İstanbul’un kuzeyinde yer alacak birinci derece lojistik merkezlerin 3 tanesinin Avrupa Yakası’nda 1 tanesinin Anadolu Yakası’nda konumlandırılabilceği belirtilmiş ve ikinci derece lojistik merkezlerinin ise acil ulaşım yolları ile birbirine entegre edilebileceği üzerinde durulmuştur. Bu entegrasyon ile yardım tırlarının doğrudan şehir içine girmesinin önüne geçilerek şehir içi ulaşımında küçük araçların kullanılabileceği, bu sayede lojistik sevkiyatların daha hızlı ve etkili bir şekilde yürütülebileceğinden bahsedilmiştir (İstanbul Deprem Çalışma Grubu Toplantısı-Özet Rapor, 2023). Planlama kapsamında belirlenen lojistik merkezleri Şekil 5.3’de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. İstanbul deprem çalışma grubu toplantısında planlanan lojistik merkezler (İstanbul Deprem Çalışma Grubu Toplantısı-Özet Rapor, 2023).

AFAD tarafında 2024 yılında yayımlanan İdare Faaliyet Raporu'na göre Türkiye genelinde AFAD tarafında kurulan ve içerisinde temel yaşam malzemeleri bulunduran 27 lojistik depo ile 54 cep deponun afet ve acil durumlarda kullanılmaya hazır olduğu belirtilmiştir.

Bahse konu lojistik depolardan 1 tanesi İstanbul iline konumlandırılmış olup bu deponun İstanbul ili çevresinde bulunan lojistik depolar ve cep depolar tarafından desteklenmesi sağlanmıştır (AFAD İdare Faaliyet Raporu, 2024). AFAD tarafından belirlenmiş ve kullanıma hazır olan lojistik depolar ile cep depolar Şekil 5.4'de gösterilmiştir.



Şekil 5.4. AFAD lojistik merkezleri ve cep depoları (AFAD İdare Faaliyet Raporu, 2024) 'den uyarlanmıştır.

Türk Kızılay ise, Afet ve Toplum Hizmetleri Genel Müdürü'ne bağlı olarak faaliyet gösteren 11 adet afet müdahale merkezi ve 2 adet yerel afet müdahale merkezi sorumluluğunda bulunan lojistik depolar aracılığıyla olası afet ve acil durumlara yönelik müdahale kapasitesini sürekli hazır bulundurmaktadır (Türk Kızılay Faaliyet Raporu, 2024). Türk Kızılay'a ait afet müdahale merkezleri ve sorumluluk sahaları Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Türk Kızılay afet müdahale merkezleri (Türk Kızılay Faaliyet Raporu, 2025).

6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Afet lojistiği ve ÇKKV teknikleri, yöneylem araştırması kapsamında özellikle son yıllarda oldukça fazla çalışılmaktadır. Bu yoğun ilginin arkasında, küresel iklim krizine bağlı olarak artan doğal afetlerin sıklığı ve insan kaynaklı krizlerin yarattığı sosyo-ekonomik tahribat yer almaktadır. Afet yönetimi; belirsizliklerin yüksek olduğu, kaynakların kısıtlı ve zaman baskısının ise hayati önem taşıdığı dinamik bir yapıya sahiptir. Geleneksel lojistik yaklaşımlar kâr maksimizasyonu ya da maliyet en küçüklenmesi gibi tek boyutlu hedeflere odaklanırken, afet lojistiği insan hayatını kurtarma, acı dindirme ve adil dağıtım gibi birbiriyle çelişen çoklu amaçları eş zamanlı olarak yönetmek zorundadır. Bu noktada, ÇKKV teknikleri, analitik birer köprü görevi görerek karar vericilerin sezgisel yaklaşımlardan sıyrılmasına ve rasyonel stratejiler geliştirmesine yön vermektedir.

Literatür incelendiğinde, afet lojistiğinin dört temel aşaması olan zarar azaltma, hazırlık, müdahale ve iyileştirme süreçlerinin her birinde ÇKKV tekniklerinin etkin bir şekilde konumlandırıldığı görülmektedir. Özellikle hazırlık evresinde kritik öneme sahip olan geçici depolama alanlarının ve lojistik merkezlerin konumlandırılması (yer seçimi) problemleri, literatürde sıklıkla ele alınmaktadır. Bu problemlerde; coğrafi yapı, ana yollara yakınlık, güvenli bölgede bulunma, maliyet ve kapasite gibi çok boyutlu kriterler; AHS , ANP (Analitik Ağ Süreci) ya da TOPSIS gibi yöntemlerle ağırlıklandırılarak ve sıralanarak modellenmektedir. Müdahale evresinde ise tahliye rotalarının belirlenmesi, kısıtlı acil durum yardım malzemelerinin (ilaç, su, çadır) afet bölgelerine önceliklendirilerek dağıtılması ve tedarikçi seçimi gibi anlık kararlar, PROMETHEE veya VIKOR gibi tekniklerle analiz edilmektedir. Son yıllardaki metodolojik trendler incelendiğinde, afet süreçlerindeki yüksek belirsizliği ve eksik/bulanık veriyi modelleyebilmek adına melez ve sezgisel yaklaşımların öne çıktığı görülmektedir. Klasik ÇKKV teknikleri, insan kararlarındaki muğlaklığı yakalamakta yetersiz kaldığından, araştırmacılar bu yöntemleri Bulanık Mantık (Fuzzy Logic), Sezgisel Bulanık Kümeler (Intuitionistic Fuzzy) ve Hesapsal Zeka algoritmaları ile entegre etmektedir. Ayrıca, afetin doğasında var olan dinamik yapıyı yansıtabilmek amacıyla, ÇKKV teknikleri doğrudan MIP veya hedef programlama gibi matematiksel optimizasyon modellerine girdi (kriter ağırlığı) sağlamak üzere eklemlenmektedir. Bu bağlamda güncel literatür detaylı bir şekilde araştırılmış ve

Han ve Jeong (2025), büyük doğal afetler karşısında insani yardım lojistik ağının tasarımı ve operasyonunu en yüksek verimlilik ve güvenilirlikle yönetmek için gereken ileri optimizasyon tekniklerini ele almıştır. Çalışma sonunda ise yardım kaynaklarının teslimatına

yönelik acil durum lojistiğine odaklanarak yeni bir acil durum lojistik sistemi önerilmiştir.

Kaya-Zelzele ve Ergün (2025), bir afet meydana geldiğinde, yardım malzemelerinin depolanacağı ve dağıtılacağı en uygun yerleri belirlemeyi amaçlamıştır. Afet lojistiği kapsamında, afet anında kullanılacak depo yerlerinin belirlenmesi sürecini Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojisi ile entegre ederek optimize etmiştir. Çalışmada, bu metodolojiyi somutlaştırmak için Kilis İli'ni bir vaka çalışması olarak kullanmıştır. Yapılan çalışma ile birlikte afet öncesi planlama aşamasında kullanılabilecek en uygun depo yerlerinin listesi ve haritası oluşturulmuştur.

Roushan vd. (2025) yaptıkları çalışmada, afet anında ulaşılabilen bölgelere hızlı müdahale ve teslimat sağlamak amacıyla dronlardan (insansız hava araçları) yararlanan; acil durumlarda hem maliyeti hem de zamanı asgariye indiren çok amaçlı bir tedarik zinciri modeli önerilmektedir. Önerilen model, en kısa acil durum rotalarını belirlemek için Dijkstra algoritmasını kullanmakta; dron yayılımını maliyet etkinliği ve zamanında müdahale açılarından optimize etmek için ise Nötrosofik Uzlaşık Programlama ve Ağırlıklı Toplam Yöntemi'ni bütünleştirmektedir. Gerçek dünyadaki afet durumlarını doğru bir şekilde temsil etmek ve belirsizliği yönetmek adına Beşgensel Tip-2 Bulanık Değişkenlerden faydalanılmıştır.

Tanyaş ve Bulut (2025), afet durumlarında temel ihtiyaçlardan biri olan beslenme hizmetlerinin afetzedelere en hızlı, en verimli ve en uygun maliyetli şekilde ulaştırılması için bir lojistik sistemin nasıl kurulacağını araştırmışlardır. Yapılan çalışmada, mevcut tesisler ve potansiyel dağıtım merkezleri arasındaki en etkin akışı sağlayacak, kentsel lojistik kısıtlarını (trafik, erişim, güvenlik) dikkate alan bir matematiksel model veya algoritma sunulmuştur. Bu model ile hangi tesislerin ve dağıtım merkezlerinin kullanılması gerektiğini ve hangi rotaların izlenmesi gerektiği optimize edilmiştir.

Wang vd. (2025), bir afet meydana geldiğinde, can kaybını ve ekonomik zararı en aza indirmek için kritik ulaşım altyapısının hızla onarılmasını ve bu onarım sürecinin acil yardım malzemelerinin dağıtımıyla entegre edilmesini amaçlamıştır. Öncelikle afet sonrası hasar gören yolların hangilerinin, hangi öncelikle ve hangi kaynaklarla onarılacağını belirlenmesi ve daha sonra gıda, ilk yardım, kurtarma ekipleri gibi afetzedelere ulaşması için en uygun rotaları ve araç tahsisini belirlenmesi hedeflenmiştir. Yöntem olarak, yol rehabilitasyonu kararları ile acil durum lojistiği planlamasını birleştiren matematiksel bir entegre optimizasyon modeli kullanılmıştır.

Zhang ve Li (2025), salgın hastalık yayılım durumu altında, soğuk zincir ilaç dağıtımı

için bir araç rotalama problemi üzerine çalışma yapmıştır. Çalışmanın ana amacı, bir salgın krizi sırasında, özellikle aşı ve bazı ilaçlar gibi sıcaklık kontrolü gerektiren hassas tıbbi malzemelerin, güvenli, zamanında ve verimli bir şekilde dağıtımını optimize etmek olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışma kapsamında ise araç rotalama optimizasyonunu kullanılarak bir lojistik model sunulmuştur.

Jauhar vd. (2024) yaptıkları çalışmada, akıllı acil durum elektrikli araçların bataryası tersine lojistik yönetimi için iki aşamalı bir yöntem önermişlerdir. İlk aşama, öngörülemeyen batarya taleplerini ele almak için makine öğrenmesini kullanırken; ikinci aşama, belirsiz acil durumlarda etkin sipariş tahsisi yoluyla karbon emisyonlarını asgariye indirmeyi amaçlayan çok amaçlı bir model sunmaktadır. Ele alınan bu model; karbon emisyonlarını ve kusur oranlarını belirsizlik kaynakları olarak ele almakta, mevcut yasal düzenlemeleri ve müşterilerin çevre bilincini dikkate almaktadır. Model, ağırlıklı toplam (weighted sum) ve ε -kısıt (ε - constraint) yöntemleri kullanılarak çözülmüş ve baskın olmayan çözümler elde edilmiştir.

Nebati (2024), afet ve acil durumlarda tıbbi yardımın kesintisiz ve hızla sağlanması için, medikal lojistik depo yerinin seçiminde rol oynayan tüm etkili faktörleri sistematik olarak analiz etmiştir. Çalışmada medikal depo yeri seçimini etkileyen faktörler genellikle uzman görüşleri ve literatür taraması yoluyla belirlenmiş ve ÇKKV teknikleri ile ağırlıklandırılmıştır. Çalışmanın sonunda, medikal depo yeri seçimi için en önemli ve belirleyici faktörler tespit edilerek hiyerarşik olarak sıralanmıştır.

Pu ve Zhao (2024), deprem krizi sırasında nerede depo kurulacağı ve hangi yolların kullanılacağı kararlarını alırken, operasyonel gerçekliği artırmak amacıyla yardım malzemelerinin araç içindeki üç boyutlu yerleşim düzenini de göz önünde bulunduran kapsamlı ve yenilikçi bir matematiksel optimizasyon modelini ele almıştır.

Bayram ve Eren (2023), yaptıkları çalışmada İstanbul'u etkileyebilecek olası 7,5 büyüklüğündeki bir depremin etkilerini hafifletmek ve afet lojistiğinin etkin bir şekilde sürdürülmesini sağlamak için, afetzedelere yardım ulaştırılmasında kilit rol oynayan geçici depo yerinin en uygun şekilde seçilmesini sağlamayı amaçlamıştır. Yöntem olarak, AHS, TOPSIS, ELECTRE ve PROMETHEE yöntemleri kullanılarak alternatif alanlar değerlendirilmiş ve ulaşım, altyapı, sosyal ve güvenlik gibi önemli kriterler ışığında çözüm aranmıştır. Çalışma sonunda, İstanbul ilinde meydana gelebilecek büyük bir depremin etkisinin çok geniş alanlarda hissedileceği düşünüldüğünde diğer ilçeler içinde benzer çalışmaların yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

Maroof vd. (2023), çalışmalarında son yirmi yılda SCOPUS ve Web of Science veri tabanlarında yayımlanan İnsani Tedarik Zinciri (İTZ) için Araç Rotalama Problemi konulu makaleleri PRISMA metodolojisini kullanarak sistematik bir literatür taraması ile sunmaktadır. Çalışma, İTZ'deki ARP modellerine ilişkin literatürü on beş farklı kategorizasyon kullanarak sınıflandırmayı ve incelemeyi amaçlamaktadır. Bu makalede; amaç fonksiyonları ile sezgisel yöntemler, ticari ve kesin çözümleyiciler, belirsizlikler, kaynak türleri ve araç tiplerini içeren çözüm metodolojileri kapsamlı bir şekilde açıklanmaktadır. Çeşitli araştırma soruları, PICOS (Population, Intervention, Comparison, Outcomes, and Study) aracı kullanılarak yapılandırılmıştır. Bu doğrultuda; amaç fonksiyonları, belirsizlik yaklaşımları, sezgisel yaklaşımlar, araç tipleri, kaynak türleri, model boyutları, sürdürülebilirlik ve çizelgeleme esas alınarak geleceğe yönelik araştırma yönleri önerilmiştir.

Yeşilli (2023), sürdürülebilir kalkınma ilkelerini temel alarak afet lojistiği için en uygun depo yerinin seçilmesini konusunu ele almıştır. Yapılan çalışma ile depo yeri seçiminde yalnızca ekonomik kriterleri değil, aynı zamanda sosyal ve çevresel kriterleri de kullanarak bütünsel bir değerlendirme yapılabilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, nicel ve nitel kriterleri bir arada yönetmek için ÇKKV teknikleri kullanılmış olup değerlendirme sonucunda en yüksek puana sahip olan, yani sürdürülebilirlik hedeflerine en uygun depo yeri alternatifi belirlenmiştir.

Derse (2022), afet lojistiği kapsamında, afet anında kullanılacak depo yerlerinin seçimi problemini çözmek için üç farklı karar verme ve optimizasyon yöntemini ele almıştır. Çalışmanın amacı, afet durumunda insani yardım malzemelerinin depolanması ve dağıtılması için en uygun depo yerlerini bilimsel ve çok kriterli bir şekilde belirlemektir. Bunu gerçekleştirmek için DEMATEL, TOPSIS ve Küme Kapsama Modeli olmak üzere üç temel yöntem kullanılmıştır.

Akbari vd. (2022), talep belirsizliği altında, yardım lojistiği operasyonlarının işbirlikçi bir yaklaşımla planlaması üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu yaklaşım ise Tahran'da olası bir deprem senaryosu üzerinden bir vaka çalışması ile incelenmiştir. Çalışmanın ana amacı, Tahran gibi büyük ve karmaşık bir kentsel bölgede meydana gelebilecek yıkıcı bir depremden sonra, yardım malzemelerinin dağıtımını, talebin tam olarak bilinmediği koşullarda bile güvenilir ve etkili hale getirmek olarak belirlenmiştir. Çalışmada yöntem olarak optimizasyon yöntemleri kullanılmış olup tek bir en iyi çözümden ziyade daha çok tüm koşullara uygun bir çözüm geliştirilmeye çalışılmıştır.

Durdağ vd. (2021), olası bir afet durumunda kullanılmak üzere, lojistik depo yeri seçiminin afetlere hazırlık perspektifiyle nasıl yapılması gerektiğini araştırmıştır. Yapılan

çalışmanın amacı, büyük bir deprem beklenen İstanbul ilinde, depremden daha az etkilenmesi beklenen Beykoz ilçesinde, afet lojistiği için uygun depo yeri seçimi yapılması olarak belirlenmiştir. Çalışmada afetlere hazırlıklı olmanın can ve mal kaybını azaltmada ve toplumsal olarak daha çabuk toparlanmada kritik rol oynadığını vurgulanmış olup bu hazırlığın sağlanmasında önemli bir adım olarak afet anında kullanılacak malzemelerin depolanacağı yerlerin doğru belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Yöntem olarak ise, depo yeri seçimini gerçekleştirmek için konunun uzmanlarının görüşleri alınarak etmen puan yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda, Beykoz ilçesinde afet deposu için seçilen yer artıları ve eksileriyle birlikte değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçların idari birimlere gelecekteki çalışmalar için fikir vermesi hedeflenmiştir.

Du vd. (2020), deprem afetlerini takiben ortaya çıkabilecek ikincil afetlerin yarattığı yüksek belirsizliği yönetmek için, lojistik ağının tesis yerleşimi, kaynak tahsisi ve rotalama kararlarını üç aşamalı, dinamik ve sağlam bir matematiksel çerçevede optimize eden gelişmiş bir model oluşturulmuştur. Yapılan çalışmada lojistik planlama yaparken yalnızca ilk afetin etkilerini değil, aynı zamanda bu afeti takip edebilecek ikincil afetlerin yaratacağı ek belirsizlikleri ve riskleri modele dahil edilmiştir.

Ergün vd. (2020), yaptıkları çalışmada Giresun ilinde gerçekleşecek bir afet durumunda ihtiyaç duyulan malzemelerin doğru, süratli ve sürdürülebilir bir biçimde afetzedelere ulaştırılabilmesi için ideal afet depo yerinin seçilmesi konusunu ele almıştır. Yöntem olarak çalışmada, ÇKKV teknikleri kullanılarak sistematik bir değerlendirme yapılmış, akabinde ise AHS ile ağırlıklandırılan kriterler temel alınarak, alternatifler arasından seçim yapmak için MAUT ve SAW yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma sonunda, en önemli ana kriter altyapı, en önemli alt kriter afetsellik yapısı, ideal yer ise hem MAUT hem de SAW yöntemlerinden elde edilen sonuçlara göre, "A2" olarak adlandırılan alternatif, Giresun İli için ideal afet depo yeri olarak belirlenmiştir.

Keser (2019), afet lojistiği hazırlık sürecinde kritik bir adım olan depo yeri seçimini bilimsel temellere oturtmayı ve bu seçimi coğrafi verilerle desteklemeyi amaçlamış olup uygulama alanı olarak Gaziantep ilini belirlemiştir. Yapılan çalışmada, olası bir afet durumunda Gaziantep ilinde kullanılacak lojistik depoların kurulması için en uygun yerlerin belirlenmesi ve bu sürecin CBS ve AHS yöntemlerinin bir arada kullanılarak gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda, Gaziantep ilindeki farklı ilçeler veya bölgeler, afet lojistik deposu kurulması açısından sahip oldukları potansiyele göre sıralanmış ve CBS çıktısı ile görselleştirilmiştir.

Mohamed (2018), afet lojistik yönetimi kapsamında kritik bir karar olan bölgesel düzeyde afet depo yeri seçimini, analitik ve sistematik bir yaklaşımla ele almıştır. Çalışma, özellikle afet ve kriz durumlarıyla sıkça karşı karşıya kalan Somali örneğini merkeze alarak bir uygulama sunmuştur. Çalışmada, karar verme süreci iki aşamalı bir yaklaşımla değerlendirilmiş olup ÇKKV teknikleri arasından AHS ve TOPSIS kullanılmıştır. Çalışma ile birlikte, Somali gibi karmaşık ve dinamik bir coğrafyada, subjektif yaklaşımlardan arındırılmış bilimsel bir yöntemle afet lojistiği için en uygun depo yerini belirlenmiştir.

Ergin (2016), afetzedelere yardımların hızla ulaştırılabilmesi için depoların en uygun coğrafi konuma yerleştirilmesini sağlayacak çok aşamalı, entegre bir çözüm metodolojisi ele almıştır. Çalışmada temel amaç ise, büyük veri kümelerini ve karmaşık coğrafi verileri analiz ederek, yardımların ulaşım süresini ve maliyetini en küçükleyecek en iyi depo yerlerini belirlemektir. Çalışmada, problem geleneksel yöntemlerden farklı olarak kümeleme ve optimizasyon olmak üzere iki ana teknikle çözülmeye çalışılmıştır.

Peker vd. (2016), afet sonrası yardım malzemelerinin afetzedelere en hızlı ve verimli şekilde ulaştırılması için dağıtım merkezlerinin en uygun yerinin belirlenmesi üzerine odaklanmıştır ve bunu Erzincan İli örneği üzerinden incelemiştir. Yapılan çalışmanın amacı, jeolojik geçmişi nedeniyle yüksek afet riski taşıyan Erzincan ilinde, afet lojistiği kapsamında kurulacak dağıtım merkezleri için en uygun konumu belirlemektir. Yöntem olarak, en uygun yer seçimi için ÇKKV teknikleri arasından AHS ve VIKOR yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda, kriterler arasında yapılan ağırlıklandırma sonucunda konum faktörünün en önemli ana kriter olduğu belirlenmiş olup değerlendirilen alternatifler arasında, "B" olarak adlandırılan alternatif yer, AHS-VIKOR bütünlük yöntemi ile Erzincan ili için en uygun dağıtım merkez yeri olarak tespit edilmiştir.

Topal (2015), afet lojistiği için yeni bir matematiksel model tasarlamayı hedeflemiştir. Bu model ile tedariki sağlanacak yardım malzemelerinin zarar görmüş yol koşulları altında bile, afet yaşanan bölgelere en kısa yoldan ulaştırılması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada bu optimizasyon problemlerini çözmek için Yapay Arı Koloni (Artificial Bee Colony - ABC) ve Karınca Koloni Algoritmalarından (Ant Colony Optimization - ACO) yararlanmıştır.

Gözaydın ve Can (2013), deprem sonrası acil insani yardım faaliyetlerini desteklemek üzere kurulacak olan lojistik merkezlerinin en uygun yerlerinin belirlenmesini amaçlamıştır. Çalışmada, lojistik merkezlerinin yer seçiminde karşılaşılan bu karmaşık problemi çözmek için ÇKKV teknikleri kullanılmıştır.

Klasik VRP modelleri depoları sabit kabul ederken, bu tez çalışmasında önerilen LRP, aday depoların nitel (AHS skoru) ve nicel (sabit maliyet) özelliklerini inceleyerek önce en doğru stratejik merkezleri belirlemekte, ardından bu merkezlerden dağıtılacak heterojen araçların rotalarını eş zamanlı (bütüncül) olarak optimize etmektedir. Bu durum, problemi sadece operasyonel bir rotalama görevi olmaktan çıkarıp, bütüncül bir afet kriz yönetimi modeline dönüştürmektedir.

7. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ VE LOKASYON ROTALAMA PROBLEMİ

Bu bölümde öncelikle literatürde önemli bir yere sahip olan ARP, daha sonra ise tez kapsamında ele aldığımız LRP'den bahsedilecektir.

7.1. Araç Rotalama Problemi

ARP, bir veya daha fazla depo merkezinden yola çıkan bir araç filosunun, belirli bir coğrafi alana dağılmış müşteri kümesinin taleplerini minimum maliyet (veya mesafe/zaman) ile karşılamasını amaçlayan, yöneylem araştırması ve endüstri mühendisliği literatürünün en temel kombinatoriyal optimizasyon problemlerinden biridir. ARP ilk olarak Dantzig ve Ramser tarafından 1959 yılında "Kamyon Rotalama Problemi" (The Truck Routing Problem) adıyla literatüre kazandırılmıştır. Temelde Gezgin Satıcı Problemi'nin (GSP) çok araçlı ve kapasite kısıtlı bir genişlemesi niteliğindedir (Dantzig ve Ramser,1959). Problemin; Kapasite Kısıtlı ARP, Açık ARP, Heterojen Filolu ARP, Zaman Pencereci ARP, Bölünmüş Teslimatlı ARP, Çok Depolu ARP, Geri Dönüş Yüklü ARP ve Yeşil ARP gibi çeşitli türleri mevcuttur (Takan ve Kasımbeyli,2021).

ARP, NP-hard (polinomial zamanda çözülemeyen-zor) sınıfta yer alan bir problem olması sebebiyle, problem boyutu (düğüm ve araç sayısı) büyüdükçe kesin çözüm algoritmaları ile makul bir sürede optimal sonuca ulaşmak matematiksel olarak zorlaşmaktadır. Bu nedenle literatürde ve endüstriyel uygulamalarda büyük boyutlu problemleri çözmek için gelişmiş sezgisel ve metasezgisel algoritmalar yaygın şekilde kullanılmaktadır (Talbi, 2009).

ARP, günümüzde ticari lojistik yönetiminin (kargo dağıtımı, e-ticaret lojistiği) ötesinde; yeşil lojistik (karbon emisyonunun azaltılması), sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi ve özellikle afet yönetimi kapsamında geliştirilen afet öncesi konumlandırma ve afet sonrası acil insani lojistik planlamalarında hayat kurtarıcı karar destek sistemlerinin temelini oluşturmaktadır (Küçük ve Yardımcı Coşkun, 2025).

Bir ARP modelinin rasyonel bir çözüm üretebilmesi için aşağıdaki temel kısıt kümesini sağlaması zorunludur:

- *Hizmet Sürekliliği:* Her bir müşteriye tam olarak bir kez uğranmalı ve müşteri talebi eksiksiz karşılanmalıdır.
- *Depo Akış Dengesi:* Her bir araç dağıtıma başladığı depo merkezinden yola çıkmalı ve rotasını tamamladıktan sonra yine aynı depoya geri dönmelidir.

- *Kapasite Dengesi*: Bir rotaya atanan toplam müşteri talebi, o rotada görevlendirilen aracın maksimum taşıma kapasitesini (Q_k) aşamaz.
- *Alt Tur Engelleme (Subtour Elimination)*: Araçların depo merkeziyle bağlantısı kopuk, kendi içinde kapalı döngüler (alt turlar) oluşturması engellenmelidir.

7.2. Lokasyon Rotalama Problemi

Geleneksel olarak lojistik yönetiminde tesislerin nereye kurulacağı (lokasyon) ve araçların bu tesislerden çıkıp müşterilere nasıl dağıtım yapacağı (rotalama) ayrı ayrı çözüldü. Ancak bu iki kararı birbirinden bağımsız almak, genellikle toplam maliyette verimsizliğe yol açtığından LRP bu problemleri bütünleşik olarak ele almaktadır.

Bir LRP modellenirken, genellikle aşağıdaki yapılar ve kısıtlar dikkate alınır:

- *Tesisler (Depolar/Dağıtım Merkezleri)*: Açılması düşünülen potansiyel yerlerdir. Her birinin sabit bir açılış maliyeti ve belirli bir kapasitesi vardır.
- *Müşteriler*: Konumları ve karşılanması gereken belirli talepleri (ürün miktarı, afet lojistiğinde yardım malzemesi vb.) bellidir.
- *Araç Filosu*: Tesislerde konuşlandırılacak araçların taşıma kapasiteleri ve seyir maliyetleri mevcuttur.
- Her müşteri tam olarak bir kez ziyaret edilmelidir.
- Araçların taşıdığı toplam yük, kendi kapasitelerini aşamaz.
- Açılan bir tesisin üzerinden geçen toplam yük, tesisin kapasitesini aşamaz.
- Her rota, yalnızca açık olan bir tesisten başlamalı ve yine orada bitmelidir.

7.3. Lokasyon Rotalama Problemi ve Afet Lojistiği İlişkisinin Kurulması

Doğa veya insan kaynaklı afetlerin sıklığı, etki alanı ve karmaşıklığı dünya genelinde ciddi insani acılara, ekonomik kayıplara ve yapısal tahribatlara yol açmaktadır. Afet yönetimi süreçleri; yüksek derecede belirsizlik, kısıtlı zaman pencereleri ve kaynak yetersizliği gibi dinamiklerle karakterize edilen oldukça hassas bir operasyonel ortamı barındırır. Bu kriz anlarında insani yardım malzemelerinin (gıda, tıbbi ekipman, barınma araçları vb.) doğru zamanda, doğru miktarda ve doğru koordinasyonla ihtiyaç noktalarına ulaştırılması, hayati önem taşımaktadır. Yöneylem Araştırması'nın en önemli alt dallarından biri olan *insani tedarik zinciri* ve *afet lojistiği*, bu operasyonların etkinliğini artırmada temel bir rol oynar. Afet lojistiğinin operasyonel safhasındaki en temel zorluklardan biri ise, yardım dağıtım ağının

optimum şekilde organize edilmesidir. Bu noktada, lojistik literatürünün en köklü kombinatoriyal optimizasyon problemlerinden biri olan LRP, afet lojistiği kararlarının rasyonel ve gürbüz (robust) bir zemine oturtulmasında en güçlü matematiksel araç olarak karşımıza çıkmaktadır (Maroof vd. 2023).

Afet lojistiği, geleneksel ve ticari lojistik olarak ele alınan problemden farklı olarak kar enbüyüklenmesi yerine insan hayatını kurtarmayı ve acıyı en aza indirmeyi hedefler. Bu doğrultuda LRP modelleri, afet yönetim döngüsünün iki temel evresinde stratejik ve operasyonel kararları birbirine bağlamak amacıyla kullanılmaktadır:

- *Afet Öncesi Evre:* Afet henüz gerçekleşmeden önce yapılan stratejik konumlandırma süreçlerini kapsar. Bu aşamada, potansiyel tehlike senaryoları (örneğin deprem veya sel risk analizleri) dikkate alınarak, insani yardım malzemelerinin depolanacağı aday dağıtım merkezlerinin konumları belirlenir. LRP yaklaşımıyla ele alınan bu süreçte, depoların nereye açılacağı ve bu depolardan gelecekte yapılacak olası dağıtım rotaları eş zamanlı olarak optimize edilir.
- *Afet Sonrası Evre:* Afetin meydana gelmesini takip eden kritik saatlerde yürütülen acil dağıtım operasyonlarıdır. Hasar gören yollar, kesilen iletişim hatları ve anlık değişen talep miktarları altında, mevcut açık depolardan yola çıkan araçların afetzede toplanma alanlarına en hızlı şekilde ulaşması için dinamik rotalama modelleri devreye sokulur.

Afet lojistiği ile ilişkilendirilen LRP modellerinde öne çıkan temel bileşenler şunlardır:

Amaç Fonksiyonları:

- *Toplam Cevap Süresinin En Küçüklenmesi:* Malzemelerin ilk ulaştığı an ile son ulaştığı an arasındaki süreyi (cevap süresi) kısaltarak insani mağduriyeti önlemek,
- *Karşılanamayan Talebin (Ceza Maliyetinin) En Küçüklenmesi:* Kısıtlı kaynaklar nedeniyle tüm taleplerin karşılanamadığı durumlarda, mahrumiyet maliyetini (deprivation cost) en aza indirmek,
- *Sistem Güvenilirliğinin Maksimizasyonu:* Araçların riskli veya hasarlı rotalar yerine, en güvenli arterleri kullanmasını sağlamak.

Afet Lojistiğinde Kritik Kısıtlar ve Gerçek Hayat Parametreleri:

Afet sahasındaki operasyonların doğrusal olmayan yapısı, modele karmaşık kısıtların eklenmesini gerektirir:

- *Heterojen Araç Filosu ve Özel Kısıtlar*: Afet bölgesine gönderilecek araçlar genellikle homojen değildir; farklı taşıma kapasitelerine sahip kamyonlar, arazi araçları, amfibik araçlar veya altyapının çöktüğü durumlarda kritik rol oynayan dronlar bir arada yönetilir. Ayrıca, tıbbi malzemelerin bozulmasını önlemek adına araç bazlı soğutucu/buzdolabı kısıtları veya karbon emisyon faktörleri de sürdürülebilir insani lojistik kapsamında modellere entegre edilmektedir.
- *Zaman Pencereleeri (Time Windows)*: Yaralıların acil tıbbi malzeme beklediği durumlar veya gün ışığından yararlanma zorunluluğu, dağıtım turlarına katı zaman pencereleri getirmektedir.
- *Bölünmüş Teslimat (Split Delivery)*: Bir toplama alanındaki yardım talebi çok yüksek olduğunda, bu talebin tek bir araç yerine farklı zamanlarda birden fazla araçla parçalı olarak karşılanmasına izin verilerek esneklik sağlanır.

Afet lojistiğinde stokastik ve deterministik yaklaşımları ele alan farklı çalışmalarda, çeşitli optimizasyon yöntemleri kullanılarak afet sonrası insani yardım süreçlerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir (Baytürk vd., 2025).

Afet yönetimi alanında yapılan çalışmalara bakıldığında geçici barınma alanlarının seçilmesi, insani yardım lojistiği, yaralıların sağlık kuruluşlarına ulaştırılması, enkaz kaldırma ve yol onarma problemleri ile lokasyon rotalama problemleri son yıllarda sıklıkla çalışılan konular haline gelmiştir (Tanti vd., 2023; Wang vd., 2025).

Afet lojistiğinde temel prensip, insani yardım araçlarının, ana lojistik merkezi olarak nitelendirilen afet depolarından hareket ettikten sonra kullanılması en uygun rotaları kullanarak talep noktalarına veya talep noktası olarak belirlenen depolara yardım malzemelerinin en kısa sürede ulaştırılmasıdır. Tüm bu durumlar dikkate alındığında ise afet lojistiğinde yakalanacak olan başarı, doğru şekilde oluşturulmuş bir LRP'ye bağlı olduğu görülmektedir.

Afet yönetimi ve lojistiği kavramları kapsamında literatür incelendiğinde çok çeşitli ve etkili algoritmalar ve yöntemler ile karşılaşılmaktadır (Sadeghi vd., 2026; Thomas vd., 2026; Han ve Jeong, 2025). Bu kapsamda karşılaşılan gelişmiş rotalama ve konumlandırma yaklaşımları şu şekildedir:

- *Lokasyon-Rotalama Problemleri*: Afet öncesi evrede stratejik depo konumlandırma kararları ile afet sonrası operasyonel dağıtım rotalarını eş zamanlı olarak optimize eden bütünsel modeller son yıllarda standart hale gelmiştir.

- *Dinamik ve Gerçek Zamanlı Araç Rotalama*: Afet anında sahadan (örneğin akıllı telefonlar veya CBS üzerinden) akan anlık verilerle seyahat süreleri ve talepler güncellendikçe, rotaları dinamik olarak yeniden yapılandıran Zaman Pencereli ARP modelleridir.
- *Bölünmüş Teslimatlı ve Çok Depolu Modeller*: Kısıtlı kaynakları optimize etmek amacıyla, büyük bir toplanma alanının talebini tek bir araç yerine farklı zamanlarda birden fazla araçla, parçalı karşılamaya izin veren esnek ağ tasarımlarıdır.

Ayrıca, altyapının çöktüğü afet senaryolarında lojistik ağın sürekliliğini sağlamak amacıyla model boyutlarına aşağıdaki yeni araç türleri dahil edilmiştir:

- *Dron (İHA) Destekli Rotalama*: Özellikle ilk 72 saatte (kritik saatler) hafif ama kritik tıbbi malzemelerin, kan torbalarının veya haberleşme kitlerinin ulaştırılmasında kamyon-dron melez rotalama modelleri (Truck-Drone Routing) yoğun şekilde çalışılmaktadır.
- *Heterojen ve Özel Filo Yönetimi*: Sadece standart kamyonlar değil; arazi araçları, amfibik araçlar ve helikopterlerin bir arada yönetildiği, her aracın kapasite ve risk katsayısının farklı tanımlandığı heterojen filo modelleri ön plandadır.

Afet lojistiğinde zaman en kritik kısıttır. Modeller karmaşıktıkça kesin çözüm yöntemlerinin (Dal-Kesme, Sütun Oluşturma vb.) çözüm süreleri yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden son yıllarda aşağıdaki güncel metasezgiseller yoğun olarak kullanılmaktadır:

- *Değişken Komşuluk Arama (DKA) - Büyük Komşuluk Arama (BKA)*: Geniş ölçekli ve çok kısıtlı araç rotalama problemlerinde özellikle arama esnasında komşuluk yapısını sistematik olarak değiştirerek yerel arama süreçlerinde karşılaşılan en büyük engel olan "yerel optimum (local optimum)" tuzaklarından ve tıkanıklıklarından algoritmayı kurtararak kısa sürede yüksek kaliteli çözümler ürettiği için son yılların en popüler algoritmalarıdır. Araç rotalama problemlerinde, rotadaki iki müşterinin yerini değiştirmek (2-opt), bir müşteriyi başka bir rotaya taşımak (Shift) veya rotaları çaprazlamak (Cross-exchange) gibi hamlelerin her biri farklı birer komşuluk yapısıdır. DKA, bahsedilen hamle grupları arasında akıllıca geçişler yaparak hem arama uzayını geniş bir şekilde tarar (çeşitlendirme/diversification) hem de umut vaat eden bölgelerde derinlemesine arama (yoğunlaşma/intensification) gerçekleştirir. Parametre ayarının az olması ve esnek yapısı, onu akademik çalışmalarda ve endüstriyel lojistik optimizasyon yazılımlarında oldukça popüler kılmaktadır.

- *Genetik Algoritmalar (GA) ve Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO)*: Özellikle çok amaçlı (maliyet minimizasyonu + sosyal adalet/mahkumiyet maliyeti maksimizasyonu gibi) afet modellerinin çözümünde sıkça tercih edilir.

Aşağıda veri odaklı ve yenilikçi yaklaşımlar verilmektedir:

- *Amortisman Maliyeti (Depreciation Cost) Fonksiyonları*: Son yıllarda afet lojistiği modellerine sadece "mesafe maliyeti" değil, insanların yardıma ulaşamadıkları her saat için katlandıkları insani acıyı matematikselleştiren "mahrumiyet maliyeti" eklenmektedir. Bu sayede model, sosyal adaleti gözeterek lojistik dağıtım yapar.
- *Yapay Zeka ve Makine Öğrenmesi Entegrasyonu*: Afet sonrasındaki talep tahminleme süreçlerinde veya hasar gören yolların seyahat sürelerinin tahmin edilmesinde makine öğrenmesi algoritmaları optimizasyon modellerine girdi sağlamak amacıyla entegre edilmektedir.
- *Sürdürülebilir ve Yeşil İnsani Lojistik*: Afet operasyonlarının hızlı olması istenirken, karbon emisyonunun minimize edilmesi ve kaynak israfının önlenmesi gibi sürdürülebilirlik boyutları da çok amaçlı matematiksel modellerin bir parçası haline gelmiştir.

Önceden belirlenmiş bir hedef doğrultusunda, birden fazla alternatif arasından en uygun olanının seçilmesi veya bu alternatiflerin öncelik sırasına göre dizilmesi süreci, çok kriterli bir karar problemi olarak tanımlanmaktadır. Olası İstanbul depremi kapsamında afet lojistiği kavramı ele alındığında ise ulaşım sistemi büyük bir öneme sahiptir. Doğru ulaşım sisteminin kurulabilmesi için verimli çalışan bir LRP optimizasyonunun oluşturulması gerekmektedir. Verimli çalışan doğru bir LRP optimizasyonu, afet lojistiğinde yakalanacak olan başarıyı doğrudan etkileyecektir. LRP'nin sahip olduğu dinamik yapı, afet lojistiğinin temel özellikleri arasında yer alan dinamik ve öngörülemezlik yapısı ile örtüşmektedir. Afet döneminde, afet lojistik operasyonlarının belirli kısıtlar ve sınırlılıklar ile yürütülmesi de LRP'nin sahip olduğu temel özellikleri ile uyushmaktadır. Bu durum, afet lojistiği ve LRP arasında ne kadar sıkı bir ilişki bulunduğunu kanıtlamaktadır.

Afetzedelere yönelik zamanında, hızlı ve etkili bir afet müdahalesi sağlayabilmek için hizmetin zamanında talep noktalarına ulaştırılması gerekmekte olup bu noktada da afet öncesi dönemde verilere dayalı optimizasyon algoritmalarının geliştirilerek uygun rotalamaların yapılması gerekmektedir (Küçük ve Yardımcı Coşkun, 2025). Afet lojistiği ve LRP arasındaki ilişki Şekil 7.1.'de detaylı gösterilmiştir.



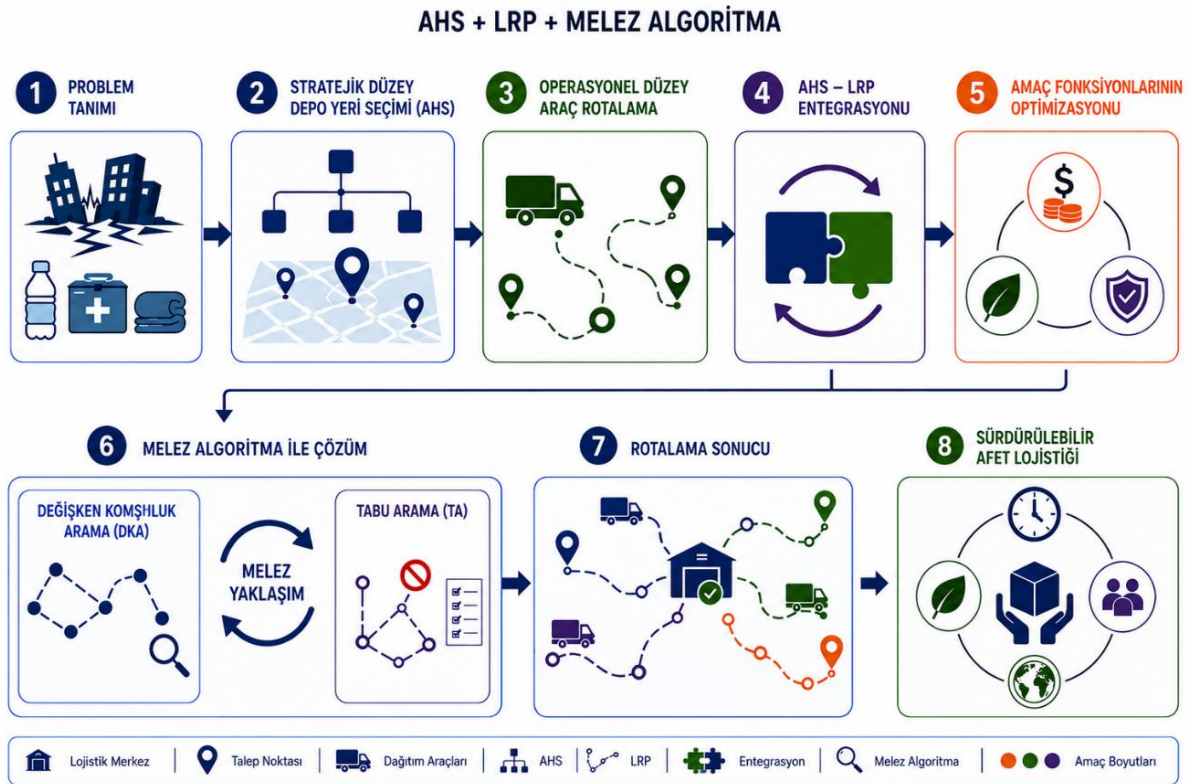
Şekil 7.1. Afet lojistiği ve LRP arasındaki ilişki

7.4. AHS ve LRP Entegrasyonuna Dayalı Sürdürülebilir Afet Lojistiği Yaklaşımı

Afet lojistiğinde temel amaç, insani yardım malzemelerinin afet sonrasında ihtiyaç noktalarına hızlı, etkin ve güvenilir bir şekilde ulaştırılmasını sağlamaktır. Afet durumlarında zaman faktörünün kritik öneme sahip olması nedeniyle, dağıtım ağının etkin bir şekilde tasarlanması ve araç rotalarının optimize edilmesi müdahale başarısını doğrudan etkilemektedir. Bu doğrultuda çalışmada, afet sonrası dağıtım süreçlerinin etkinliğini artırmak amacıyla LRP ele alınmıştır. Çalışma kapsamında yalnızca dağıtım rotalarının belirlenmesi değil, aynı zamanda yardım operasyonlarının gerçekleştirileceği lojistik merkezlerin uygun şekilde konumlandırılması da dikkate alınarak, depo yeri seçimi ve araç rotalama kararları bütünlük bir optimizasyon modeli içerisinde değerlendirilmiştir. Önerilen model ile ekonomik maliyetlerin azaltılması, çevresel etkilerin sınırlandırılması ve afet lojistik ağının stratejik gereksinimlere uygun şekilde yapılandırılması hedeflenmiştir. Böylece afet sonrası belirsizlik ve zaman baskısı altında etkin çalışabilecek, sürdürülebilir ve esnek bir insani yardım tedarik zinciri tasarımı ortaya konulmuştur.

Diğer taraftan bu araştırma, afet lojistiği operasyonlarını yalnızca hız ve maliyet ekseninde değil, sürdürülebilirlik ilkeleri kapsamında da sorunsallaştırmaktadır. Muhtemel bir İstanbul depreminin ardından ortaya çıkması kaçınılmaz olan lojistik yoğunluğun; aşırı yakıt

tüketimi, plansız sevkiyatlar ve verimsiz kaynak yönetimi nedeniyle çevre üzerinde yaratacağı baskı belirgindir. Bu ölçekteki afetlerde insani yardımların süratle ulaştırılması temel öncelik olmakla birlikte, bu süreçlerin karbon emisyonu ve enerji tasarrufu parametreleri gözetilerek yönetilmesi ekolojik sürdürülebilirlik açısından çok kritiktir. Bu doğrultuda çalışma kapsamında; ulaşırmada kullanılan araçların çevreye verdikleri zararın en küçüklenmesi, araç kapasite ve rotalarının optimize edilerek mükerrer seferlerin önlenmesi ve lojistik girdilerin maksimum verimlilikle kullanılarak makro düzeydeki çevresel zararların sınırlandırılması amaçlanmıştır. Çalışma perspektifinde AHS, LRP ve melez algoritmanın teze entegre edilmiş aşaması Şekil 7.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 7.2. Çalışmada kullanılan yöntem ve süreçleri

8. TEZ KAPSAMINDA ELE ALINAN PROBLEM

Doğal afetler ve insani krizler, lojistik operasyonlarının kritik bir rol oynadığı karmaşık ve dinamik durumlar yaratmaktadır. Bu tür senaryolarda, kaynakların etkin bir şekilde dağıtılması, zamanında müdahale ve sürdürülebilirlik ilkelerine uygun hareket etmek hayati önem taşımaktadır. Bu çalışmada, sürdürülebilir afet lojistiği kapsamında; depoların seçimi, araç yüklenmesi, sürücü atama ve araç rotalarının optimizasyonu, maliyet en küçüklenmesi açısından ele alınmaktadır. Çözümün etkinliği, toplam maliyeti en küçükleyen bir amaç fonksiyonu ile değerlendirilmektedir. Bu amaç fonksiyonu aşağıdaki bileşenleri içermektedir:

- *Depo Sabit Maliyetleri:* Aktif hale getirilen (açılan) her deponun kurulum veya işletme maliyeti. AHS skorları, depolara özel bir fayda veya önem derecesi atayarak bu maliyetleri pozitif veya negatif yönde etkileyebilir.
- *Araç Sabit Maliyetleri:* Her kullanılan aracın tipine göre değişen sabit işletme maliyeti.
- *Değişken Rotalama Maliyetleri:* Kat edilen mesafeye ve araç tipine bağlı olarak ortaya çıkan yakıt ve diğer operasyonel maliyetler.
- *Emisyon Maliyetleri:* Kat edilen mesafeye ve araç tipine göre hesaplanan karbon emisyonlarının belirlenen bir karbon fiyatı üzerinden maliyetlendirilmesi.

Modeldeki temel amaç, belirli bölgelere (afet bölgeleri) yardım malzemesi tedarik etmek üzere en uygun depo yerlerini belirlemek ve bu depolardan başlayarak, mevcut araç filosuyla tüm bölgelere en verimli rotaları oluşturmaktır. Problemin temel hedefleri şunlardır:

- *Toplam Maliyet En Küçüklenmesi:* Sabit depo açılış maliyetleri, araç sabit maliyetleri, taşıma maliyetleri (mesafeye bağlı) ve karbon emisyon maliyetleri dahil olmak üzere tüm operasyonel maliyetlerin en aza indirilmesi.
- *Çevresel Etki Optimizasyonu:* Taşıma sırasında ortaya çıkan karbon emisyonlarının maliyetini hesaplayarak çevresel sürdürülebilirliğin dikkate alınması.
- *Çok Kriterli Karar Verme Entegrasyonu:* AHS skorları aracılığıyla depo seçimine ilişkin stratejik faydaların maliyet denklemi içinde değerlendirilmesi.

Model aşağıdaki kısıtlar altında çalışmaktadır:

- *Bölge Talepleri:* Her bir afet bölgesinin belirli bir talep miktarı bulunmaktadır ve bu talepler eksiksiz karşılanmalıdır.
- *Araç Kapasitesi:* Her aracın taşıyabileceği maksimum yük kapasitesi bulunmaktadır ve rota üzerindeki toplam talep bu kapasiteyi aşmamalıdır.

- *Araç Maksimum Mesafe Kısıtı:* Her aracın belirli bir rotada kat edebileceği maksimum bir mesafe limiti bulunmaktadır.
- *Depo ve Araç Sayısı Kısıtları:* Belirli sayıda depo ve belirli tiplerde (küçük, orta, büyük) sınırlı sayıda araç mevcuttur.

8.1. Tez Kapsamında Geliştirilen Matematiksel Model

Bu çalışmada, stratejik düzeydeki tesis yer seçimi kararları ile operasyonel düzeydeki heterojen araç rotalama kararlarını eş zamanlı olarak optimize eden, çok ürünlü ve sürdürülebilir LRP için çok amaçlı bir matematiksel model geliştirilmiştir. Amaçlar, ağırlıklandırılmış toplam tekniği ile skalerleştirilmiştir. Karma tamsayılı doğrusal programlama yapısında kurgulanan model; çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHS ile belirlenen nitel depo stratejik skorlarını ve yeşil lojistik literatürünün en güncel parametrelerinden olan karbon emisyon maliyetlerini bütünleşik bir yapıda ele almaktadır. Önerilen modelin amaç fonksiyonu, ekonomik ve çevresel kriterlerin en küçüklenmesi ile stratejik niteliklerin en büyüklenmesi eş zamanlı ele almaktadır. Bu kapsamda; toplam mesafe, araç kullanım maliyetleri, sabit depo açma giderleri ve karbon fiyatlandırma odaklı emisyon maliyetleri en küçüklenirken; altyapı ve erişilebilirlik kalitesi yüksek depoların sisteme entegrasyonunu sağlayan AHS kaynaklı stratejik faydanın maksimize edilmesi hedeflenmektedir. Bu çift yönlü optimizasyon modeli, lojistik ağ tasarımlarında sıklıkla karşılaşılan maliyet odaklı lokal optimum tuzaklarını engelleyerek, hem ekonomik hem de ekolojik açıdan sürdürülebilir ve esnek bir tedarik zinciri altyapısı sunmaktadır. Modelde yer alan temel yapılar şu şekilde sıralanabilir:

- *Heterojen Filo:* Farklı taşıma kapasitelerine, birim maliyetlere ve emisyon faktörlerine sahip araçlar.
- *Çok Ürünlü Yapı:* Su, gıda ve ilaç gibi farklı insani yardım malzemelerini aynı anda yöneterek afet lojistiği/ kentsel lojistik normlarına uyum sağlar. Model tüm ürünleri toplam ihtiyaç (talep) miktarı olarak ele almaktadır.
- *Yeşil Lojistik:* Karbon salınımını bir ceza (karbon fiyatlandırması) mekanizması ile amaç fonksiyonuna ekler.
- *Çok Kriterli Karar Verme Entegrasyonu:* Depo adaylarının nitel özelliklerini (Erişilebilirlik, Konum, Uygunluk ve Çevre) AHS ile puanlayıp matematiksel modele "teşvik/kazanç" olarak yansıtır.

Modelin amaç fonksiyonu aşağıdaki yapıları optimize etmektedir:

- *Ekonomik Boyut*: Depo kurulum maliyetleri ve araçların sabit/değişken operasyonel maliyetleri.
- *Çevresel Boyut*: Yakıt tüketimine bağlı karbon emisyon maliyeti (CO_2 * Karbon Fiyatı).
- *Stratejik Boyut*: AHS ile belirlenen depo etkinlik skorlarının maliyet düşürücü birer teşvik olarak modele dahil edilmesi.

Aşağıda geliştirilen matematiksel modelin içeriği detaylıca verilmektedir.

Kümeler:

$i \in I$: tüm noktalar $I = \{1, 2, \dots, 14\}$; $i, j, m \in I$

$I_{dem} = \{1, 2, \dots, 10\} \subset I$

$I_{depo} = \{11, 12, 13, 14\} \subset I$

P malzeme türü kümesi, $P = \{"su", "yiyecek", "ilaç"\}$

T : araç türü kümesi, $T = \{"küçük", "orta", "büyük"\}$

V : araç kümesi, $V = \{v_1, v_2, \dots, v_{10}\}$

C kriterler kümesi, $C = \{"Erişilebilirlik", "Konum", "Uygunluk", "Çevre"\}$

$type_{vt} = \{(v, t) \in V \times T \mid$
 $v \in \{v_1, v_2, v_3, v_4\} \rightarrow t = "küçük"$
 $v \in \{v_5, v_6, v_7, v_8\} \rightarrow t = "orta"$
 $v \in \{v_9, v_{10}\} \rightarrow t = "büyük"$

Parametreler:

Q : araç kapasitesi

$vCost$: aracın değişken maliyeti

$fCost$: aracın sabit maliyeti

$maxDist$: aracın gidebileceği maksimum uzaklık

$emiFactor$: emisyon faktörü

$ahpScore_i$: depoların AHS skorları

$depotFixC_i$: depo sabit maliyetleri

$distAll(m, m)$: Tüm noktalar arası mesafeler; $m \neq m$

$carbonPrice$: Toplam TL/kg cinsinden CO_2 salınımı ekonomik ceza katsayısı

w_{cost} : Toplam maliyet bileşeninin ağırlık katsayısı

w_{AHP} : Stratejik AHS kazanım bileşeninin ağırlık katsayısı

M : büyük sayı = 1000

$demandData_{ip}$: i . ilçenin p . ürün türüne talebi (toplam talep olarak hesaplanmaktadır)

$AHSScore_i$: i aday deposunun uzman görüşü, çevresel faktörler veya yasal mevzuatlar gibi somutlaştırılamayan kriterlere göre aldığı AHS ağırlığıdır (skorudur).

Pozitif Değişkenler:

$obj \in \mathbb{R}$: toplam amaç fonksiyonu

$totalDistCost$: Araçların kat ettiği mesafeye bağlı olarak hesaplanan toplam yakıt maliyeti

$totalEmisCost$: Rota boyunca salınan sera gazlarının parasallaştırılmış toplam emisyon maliyeti

$totalFixCost$: Aktif edilen depoların ve sefere çıkan araçların sabit kurulum/amortisman maliyeti

$totalAhpGain$: AHS analizi sonucunda seçilen depoların sağladığı toplam nitel/stratejik kazanım skoru

İkili Karar Değişkenleri:

Tablo 8. 1. Karar değişkenleri ve açıklamaları

Karar Değişkeni	Açıklama
x_{ijv}	v aracı i düğümünden j düğümüne doğrudan hareket ederse 1, aksi durumda 0 değerini alan ikili karar değişkeni.
z_v	v aracı lojistik operasyonlarda aktif olarak kullanılırsa 1, aksi durumda 0 değerini alan ikili karar değişkeni.
$openD_i$	i aday depo konumu lojistik ağa dahil edilmek üzere açılırsa 1, aksi durumda 0 değerini alan ikili karar değişkeni.
$assign_{iv}$	v aracı operasyonel döngüsünü gerçekleştirmek üzere i deposuna atanırsa 1, aksi durumda 0 değerini alan ikili karar değişkeni.

Amaç fonksiyonları:

$$z_1 = \sum_{atop((i,j,v,t),type(v,t))} x_{ijv} distAll_{ij} * vTable(t,'vCost') \quad (1)$$

Denklem (1) ile gösterilen amaç fonksiyonunun ilk kısmında *mesafe temelli operasyonel maliyet* hesaplanır. İkinci kısmında ise sabit maliyet fonksiyonu hesaplanır ki bu denklem, hem depo açma hem de araç aktivasyonu kararlarını tek bir maliyet kaleminde toplar.

$$z_2 = \sum_{atop((i,j,v,t),type(v,t))} x_{ijv} * distAll_{ij} * vTable(t,'emiFactor') * carbonPrice \quad (2)$$

(2) numaralı kısıt kümesi, amaç fonksiyonunda toplam karbon emisyonu hesaplanmaktadır. Matematiksel modelin çevresel sürdürülebilirlik ve karbon maliyeti bileşenini tanımlayan denklemdir. Yeşil lojistik literatürünün en kritik denklemlerinden biridir. Emisyon bazlı rotalama denklemleri olarak tanımlanır. Bu kısıt, klasik mesafe temelli rotalamayı, aracın teknik özelliklerine (yakıt verimliliği/emisyon faktörü) ve güncel karbon piyasası fiyatlarına (*carbonPrice*) bağlayarak ekonomik ve çevresel hedefleri tek bir paydada birleştirir.

$$z_3 = \sum_{atop(v,t),type(v,t)} vTable(t,fixC') * z_v + \sum_{i \in I_depo(i)} depotFixC_i * openD_i \quad (3)$$

(3) numaralı amaç denklemi ise modelin *Stratejik Karar Verme* ve *Niteliksel Avantaj* bileşenini tanımlayan denklemdir. Bu denklem, depo seçim sürecine uzman görüşünü ve çok kriterli karar verme sonuçlarını entegre eder.

$$z_4 = \sum_{i \in I_depo_i} ahsScore_i * openD_i \quad (4)$$

Kısıt kümesi (4) ise AHS yöntemiyle önceden hesaplanmış olan depo yeri skorlarını, matematiksel modelin optimize etmeye çalıştığı bütünsel amaç fonksiyonuna bağlar.

$$Minimum \mathbf{z} = W_{cost} * (z_1 + z_2 + z_3) - w_ahs * (z_4 * M) \quad (5)$$

(5) numaralı amaç denklemi, toplam amaç fonksiyonunun en küçüklenmesini ifade etmektedir.

Kısıtlar:

$$\sum_{i,v} x_{ijv} \geq 1 \quad \forall j \in I_dem_j \quad (6)$$

Yukarıdaki kısıt (6), her talep noktasının en az bir araç tarafından ziyaret edilmesini zorunlu kılar.

$$\sum_i x_{ijv} = \sum_m x_{jmv} \quad \forall j \in I_dem_j, \forall v \quad (7)$$

(7) numaralı kısıt kümesi, akış korunumu kısıtıdır. Araçların düğümlere giriş ve çıkış sürekliliğini garanti altına almaktadır.

$$\sum_{j \in I_dem_j} x_{ijv} = assign_{iv} \quad \forall i \in I_depo_i, \forall v \quad (8)$$

(8) numaralı kısıt kümesine göre eğer v aracı i noktasına atandıysa mutlaka i şehrinde bir başka j şehrine/depoya gider. (7) ve (8) nolu kısıt kümeleri, araçların rotalarına atandıkları depolardan başlayıp yine aynı depoda sonlanmasını şart koşturmaktadır.

$$\sum_{j \in I_dem_j} x_{ijv} = assign_{iv} \quad \forall i \in I_depo_i, \forall v \quad (9)$$

(9) numaralı kısıt, eğer v aracı i deposuna atanmışsa, söz konusu aracın o depodan çıkış yaparak en az bir j talep noktasına doğru rotalanmasını; eğer atanmamışsa, o depodan hiçbir rota başlatılamayacağını garanti altına alan akış başlangıç kısıtıdır.

$$assign_{iv} \leq openD_i \quad \forall i \in I_depo_i, \forall v \quad (10)$$

(10) numaralı kısıt ise her aracın en fazla bir depoda görevlendirilmesini ve araç atamalarının yalnızca aktif/açık durumdaki depolara yapılabilmesini denetlemektedir.

$$\sum_{(j,i) \in I_dem_j} x_{ijv} * \sum_p demandData_{jp} \leq \sum_{t \in type(v,t)} vTable(t, Q') * z_v \quad \forall v \quad (11)$$

(11) numaralı kısıt araç kapasitesi kontrol kısıtıdır. Aracın rotasındaki “talep noktaları” araç kapasitesini asla aşamaz.

$$\sum_v del_{ivp} = demandData_{ip} \quad \forall i \in I_dem(i), \forall p \quad (12)$$

$$\sum_v del_{ivp} \leq \sum_j x_{jiv} * demandData_{ip} \quad \forall i \in I_dem(i), \forall v, \forall p \quad (13)$$

Çok ürünli dağıtım senaryoları (12) ve (13) numaralı talep karşılama ve teslimat kısıtları vasıtasıyla yürütülmektedir. Mutlaka talep miktarı kadar depolara dağıtım yapılmalıdır.

$$\sum_{i,j} distAll_{ij} * x_{ijv} \leq \sum_{t \in type(v,t)} vTable(t, maxDist') * z_v \quad \forall v \quad (14)$$

$$z_v \geq assign_{iv} \quad \forall v \quad (15)$$

Modelin yapısal bütünlüğünü ve aktivasyon mekanizmasını sağlayan (14) ve (15) nolu kısıtlar, rota hareketlerinin ve depo atamalarının yalnızca filodan seçilen aktif araçlar üzerinden gerçekleşmesini zorunlu kılmaktadır.

$$x_{ijv} \leq z_v \quad \forall i, \forall j, \forall v \quad (16)$$

(16) numaralı kısıt kümesi, x ve z karar değişkenlerini birbirine bağlar. Eğer v aracı kullanıldıysa, i ilçesinden j ilçesine gidebilir anlamını taşımaktadır.

$$u_{iv} - u_{jv} + I_{dem} * x_{ijv} \leq I_{dem} - 1 \quad \forall i, j \in I_{dem}, i \neq j, \forall v \quad (17)$$

Yukarıdaki kısıt kümesi, rota planlamasının en kritik aşamalarından biri olan bağımsız kapalı turların oluşumunu engeller ve literatürde Miller-Tucker-Zemlin (MTZ) alt tur engelleme kısıtı olarak adlandırılır. (17) numaralı denklem ile alt turlar engellenerek tüm araç rotalarının ana depolara bağlı, geçerli tek bir tur oluşturması matematiksel olarak garanti altına alınmıştır (Miller vd., 1960).

$$x_{ijv}, z_v, openD_i, assign_{iv} \in \{0,1\} \quad (18)$$

$$u_{iv}, del_{ivp} \geq 0 \quad (19)$$

(18)-(19) numaralı kısıtlar, değişkenlerin türünü ve işaretini belirlemektedir.

9. ÇALIŞMADA KULLANILAN AHS YÖNTEMİ

Bu bölümde tez çalışmasında ele alınan ÇKKV teknikleri arasında bulunan ve sıklıkla kullanılan AHS detaylandırılacaktır. Öncelikle aşağıdaki alt bölümde ÇKKV teknikleri genel anlamıyla değerlendirilecektir. Daha sonra ise AHS yönteminden bahsedilecektir.

9.1. Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri

ÇKKV teknikleri, birden fazla alternatif ve birden fazla kriterin söz konusu olduğu durumlarda belirlenen kriterlere göre alternatifler içerisinde en uygun olanının belirlenmesinde, sıralanmasında ve matematiksel olarak ağırlık verilmesinde kullanılmaktadır (Bayram ve Eren, 2023).



Şekil 9.1. ÇKKV problemlerinin sınıflandırılması (Dalbudak ve Rençber, 2022).

Başka bir ifadeyle ÇKKV teknikleri, kişilerin en doğru kararı verebilmeleri temeline dayalı algoritmalarından oluşan matematiksel bir yöntemdir. Mevcut verilerin eksiksiz ve net olması durumunda Klasik ÇKKV teknikleri kullanılıyorken, eksik veya net olmayan veriler ile seçim yapılması gerektiği durumlarda ise Bulanık ÇKKV teknikleri kullanılmaktadır. ÇKKV teknikleri, seçim, sınıflama ve sıralama olmak üzere 3 farklı gruba ayrılmakta olup problemin türüne göre uygun olan teknik tercih edilmektedir. Bu nedenle özellikle karar vericiler problemin çözümü kapsamında hangi yöntemin problemi çözmede daha doğru olacağına ve sürecin özelliklerine dikkat etmesi gerekmektedir (Dalbudak ve Rençber, 2022). ÇKKV teknikleri kapsamında problemin türüne göre yapılan sınıflandırma Şekil 9.1’de gösterilmiştir.

9.1.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)

AHS yöntemi, Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen, ÇKKV problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan matematiksel ve yapılandırılmış bir yöntemdir. Gerçek dünyadaki karar mekanizmalarını ve karmaşıklıkları ele alabilecek ölçüde gürbüz (robust) bir

yaklaşım gerekmektedir. AHS tam bu nitelikte bir problem çözme çerçevesidir. Herhangi bir problemin unsurlarını temsil etmek adına sistematik bir prosedür sunan bu yöntem; bir problemi daha küçük kurucu parçalarına ayırarak temel rasyonelliği organize etmekte ve ardından her bir hiyerarşideki öncelikleri geliştirmek için yalnızca basit ikili karşılaştırma yargılarına başvurmaktadır. Problem çözme sürecinde ayırt edilebilecek üç temel ilke mevcuttur. Bunlar; ayrıştırma (decomposition), karşılaştırmalı yargılar (comparative judgments) ve önceliklerin sentezi (synthesis of priorities) ilkeleridir. Ayrıştırma ilkesi, problemin temel unsurlarını kapsayacak şekilde bir hiyerarşinin yapılandırılmasını gerektirmektedir. Bunu gerçekleştirmek adına etkili bir yöntem; öncelikle en üst seviyedeki odaktan (amaçtan) başlayarak aşağıya doğru, ikinci seviyede odakla ilişkili kriterlere, ardından üçüncü seviyede alt kriterlere ve bu şekilde genelden (ve bazen belirsiz olandan) daha özele ve belirgin olana doğru ilerlemektir. Daha sonra en alt seviyeden başlanarak bu seviye için alternatifler ve bir üst seviyede yer alan, bu alternatiflerin hangi özellikler altında karşılaştırılması gerektiğini gösteren nitelikler belirlenebilir. Ardından, hem bu niteliklere ayrıştırılabilen hem de aşağı doğru ilerleme sürecinde tanımlanan daha üst seviyedeki kriter veya alt kriterlerin birer ayrışımı olan bir ara üst kriterler kümesi bulunur. Bu sayede hiyerarşinin odağı, uygun ara seviyeler dizisiyle en alt seviyeye bağlanabilir. Bir ayrıştırma sürecinin seviyeleri, ölçümün temel bir parçasını oluşturmaktadır ve bu nedenle komşu seviyeler genellikle birbirinden çok uzak olmamalıdır. Genel olarak hiyerarşinin en alt seviyesi, tahsis edilecek kaynakları veya aralarından seçim yapılacak alternatifleri barındırmaktadır (Saaty, 1986). Birbiriyle bağlantısı olan veya çelişen birçok kriterin bulunduğu durumlarda alternatifler içerisinde en uygun seçeneğin belirlenmesi amacıyla ÇKKV teknikleri arasında en çok kullanılan tekniklerden birisi AHS olmuştur (Şekkeli, 2020). Yöntem ayrıca karar vericilerin hem nicel hem de nitel kriterleri birlikte değerlendirmesine olanak sağlaması, ikili karşılaştırmalar yoluyla tutarlı sonuçlar üretmesi ve karar sürecini şeffaf hale getirmesi nedeniyle bu çalışma için uygun bir yöntemdir. Bu yöntem ile birlikte, karar alma sürecinde alanında uzmanlaşmış kişi/kişilerin bilgi ve tecrübelerinden yararlanılarak kriterlerin ve alternatiflerin önceliklendirilmesi sağlanmaktadır (Mohamed, 2018).

9.1.2. AHS'nin uygulama adımları

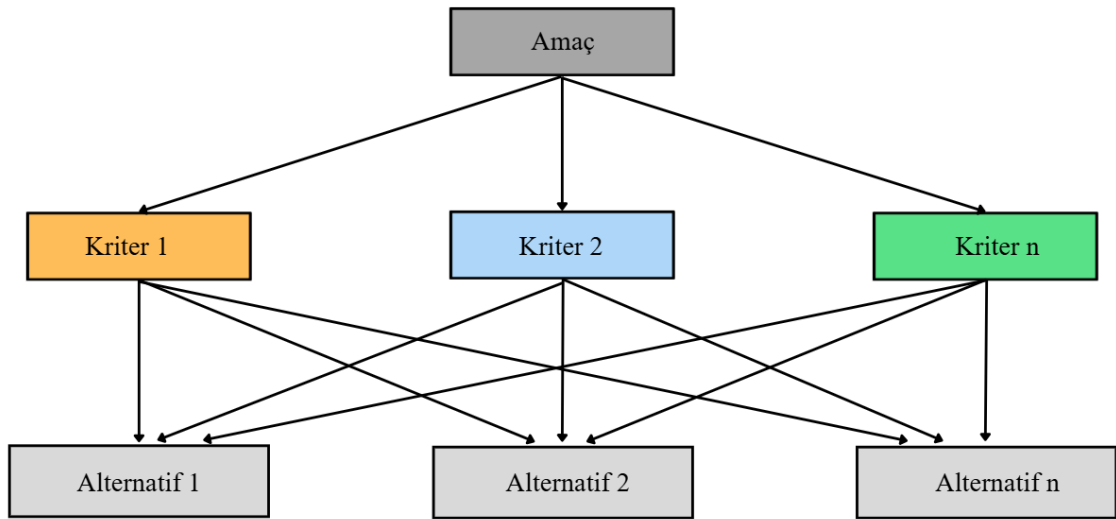
Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen ve bir amaç doğrultusunda belirlenen kriterlere dayalı olarak alternatifler arasında en uygununu belirlemeyi amaçlayan bu yöntemde aşağıdaki adımlar takip edilmektedir (Kaya ve Karaşan, 2020). AHS'nin adımları Şekil 9.2'de gösterilmiştir.



Şekil 9.2. AHS'nin adımları (Kaya ve Karaşan, 2020)'den uyarlanmıştır.

9.1.2.1. Hiyerarşik yapının oluşturulması

Amaç kapsamında yukarıdan aşağıya doğru devam eden bir karar hiyerarşisi oluşturulmalıdır. En yukarıda amaç, orta kısımda kriterler, en alt kısımda ise alternatifler yer almalıdır (Mohamed, 2018). AHS'nin hiyerarşik modeli Şekil 9.3'de gösterilmiştir.



Şekil 9.3. AHS'nin hiyerarşik yapısı (Mohamed, 2018)'den uyarlanmıştır.

9.1.2.2. İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulması

Özellikle karar verme yöntemlerinde en çok dikkat edilmesi gereken ve en önemli adımlarından birisi kıyaslamaların doğru bir şekilde yapılmasıdır. Bunun için ise, ikili

karşılaştırma matrisi kullanılmakta ve her bir göstergenin diğer göstergeler üzerindeki önem düzeyini ifade etmek için uzman görüşünden yararlanılmaktadır (Mohamed, 2018). Kriterler arası karşılaştırma matrisi, köşegeni üzerindeki matris bileşenlerinin 1 değerini aldığı ve birbirine göre karşılık olan hücelere ise Saaty ölçeğine göre belirlenen değerlerin yazıldığı bir adım olup matrisin genel yapısı D.1’de gösterilmiştir. (Kaya ve Karaşan, 2020). Matrisin oluşturulmasında kullanılan Saaty ölçeği ise Tablo 9.1’de gösterilmiştir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (D.1)$$

Tablo 9.1. Saaty ölçeğine göre karşılık gelen değerler ve anlamları (Kaya ve Karaşan, 2020)

Saaty Ölçeği		
Önem Ölçeği	Tanım	Açıklama
1	Eşit derecede nemli	İki kriter eşit derecede öneme sahiptir.
3	Orta derecede önemli	Bir kriter diğerine karşı biraz üstündür.
5	Kuvvetli derecede önemli	Bir kriter diğerine karşı oldukça üstündür.
7	Çok kuvvetli derecede önemli	Bir kriter diğerine göre tamamen üstündür.
9	Kesin Önemli	Bir kriter diğerine göre kesinlikle tamamen üstündür.
2,4,6,8	Ara değerler	İki ardışık yargı arasındaki değerleri ifade etmektedir.

9.1.2.3. Normalize edilmiş karşılaştırma matrisinin oluşturulması

Karşılaştırma matrisinin her elemanı, kendi sütun toplamına bölünmesiyle hücre değeri bulunur. Normalize edilmiş karşılaştırma matrisinin hesaplanmasında D.2 kullanılmaktadır (Kaya ve Karaşan, 2020).

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (D.2)$$

9.1.2.4. Kriterlerin göreceli değerlerinin hesaplanması

Normalize edilmiş karşılaştırma matrisinin her satırdaki satır ortalaması hesaplanarak elde edilir. Normalize matrisin göreceli değerlerini hesaplamak için D.3 kullanılmaktadır (Kaya

ve Karaşan, 2020).

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n n_{ij}}{n} \quad (D.3)$$

9.1.2.5. Tutarlılık oranının hesaplanması

AHS sonuçlarının kabul edilebilir olması için, A matrisinin tutarlı bir matris olması gerekmektedir. Bu tutarlılığı ölçmek için ise yine Saaty tarafından geliştirilen tutarlılık belirleme kuralı A matrisine uygulanır.

İlk olarak daha önce hesaplanan görelî önem değeri ile ilk aşamada oluşturulan karşılaştırma matrisinin ilgili sütununun çarpılıp toplanması ile ağırlık vektörü hesaplanır. Daha sonra ise tutarlılık indeksi hesaplanır. Tutarlılık indeksinin hesaplanması için ise D.4 kullanılır (Kaya ve Karaşan, 2020).

$$TI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (D.4)$$

Denklemden yer alan λ_{max} değerini hesaplamak için ise, ağırlık vektörünün ilgili görelî önem değerine bölünerek elde edilen değerlerin ortalaması alınır. Daha sonra ise rastgele indeks belirlenmesi sağlanır. Rastgele indeks, karşılaştırma matrisinin boyut sayısına bağı olarak belirlenir. Rastgele indeks değerleri Tablo 9.2’de gösterilmiştir (Kaya ve Karaşan, 2020).

Tablo 9.2. Matris boyutuna bağı rastgele indeks değerleri

Matris Boyutu (n)	Rastgele İndeks (RI)
1	0
2	0
3	0,58
4	0,9
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45
10	1,49

Son olarak ise bu adımda hesaplanan tutarlılık indeksinin rastgele indekse bölünmesiyle tutarlılık oranı hesaplanmış olur. Tutarlılık oranının hesaplanmasında D.5 kullanılır (Kaya ve Karaşan, 2020).

$$TO = \frac{TI}{RI} \quad (D.5)$$

Değerler denklemde yerine yazıldığından tutarlılık oranının 0’a eşit çıkması durumunda

matrisin tamamıyla tutarlı olduğu anlaşılr fakat bu durumun uygulamada tam anlamıyla sağlanması mümkün olmadığından $TO < 0,1$ ise matris tutarlı olarak kabul edilirken $TO \geq 0,1$ olması durumunda ise matrisin tutarsız olduğu kabul edilir. Matrisin tutarsız olması durumunda ise adım 1’de yer alan değler değıştirilerek sonraki adımlar yeniden tekrarlanarak tutarlılık oranı yeniden kontrol edilir (Kaya ve Karasın, 2020).

9.1.2.6. Kriterlere göre alternatiflerin ağırlıklarının ve tutarlılıklarının hesaplanması

Bu adımda ise, buraya kadar uygulanan benzer adımlar alternatiflerin kriterlere göre değlendirilebilmesi amacıyla oluşturulan karşılaştırma matrisleri üzerinden yeniden uygulanır. Bu sayede her bir kritere göre elimizdeki mevcut alternatifler arasından hangisinin daha uygun olduğu sorusuna cevap bulmuş oluruz. AHS’nin adımları her ne kadar burada bitmiş olsa da en uygun alternatifin belirlenebilmesi amacıyla final ağırlıklarının hesaplanması gerekmektedir. Bunun için ana kriterlerin amaca göre göreceli ağırlıkları ile alternatiflerin ana kriterlere göre görece ağırlıklarına ihtiyaç duyulur. Bu ağırlıkların karşılıklı olarak alternatif bazında çarpılıp toplamalarının alınmasıyla alternatiflerin final ağırlıklarını hesaplamış oluruz (Kaya ve Karasın, 2020).

9.1.3. AHS ile afet lojistiğı ilişkisinin kurulması

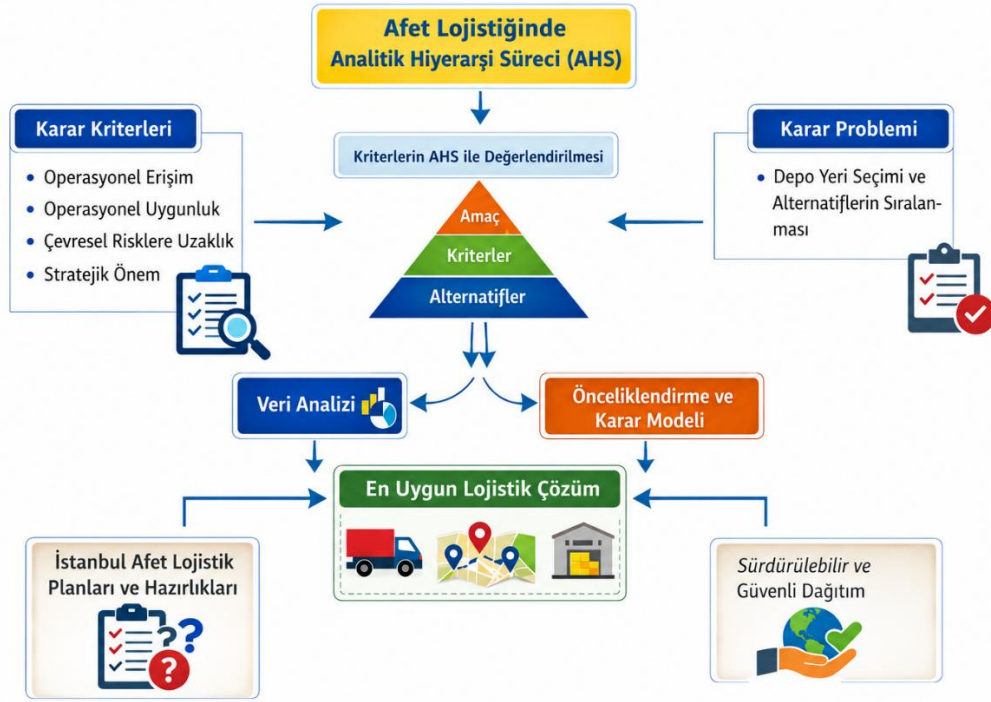
Afetler, meydana geldikleri andan itibaren toplumların fiziksel, sosyal ve ekonomik yapılarını sekteye uğratan, ani ve büyük ölçekli olaylardır. Afet sonrası süreçte hayati öneme sahip olan afet lojistiğı ise, doğru yardım malzemelerinin, doğru zamanda, doğru miktarda ve en az maliyetle (zaman ve kaynak) ihtiyaç sahiplerine ulaştırılmasını hedefleyen karmaşık bir operasyonlar bütünüdür. Bu süreç; yüksek belirsizlik, kısıtlı zaman, kaynak yetersizliğı ve çok sayıda paydaşın varlığı nedeniyle ticari lojistikten keskin bir şekilde ayrılır. Afet lojistiğinin başarısı, büyük ölçüde kriz öncesinde ve esnasında alınan kararların doğruluğına bağlıdır. Bu noktada, ÇKKV tekniklerinden biri olan AHS, afet lojistiğinin doğasında bulunan çok boyutlu, karmaşık ve birbiriyle çatışan karar süreçlerinin rasyonel bir zemine oturtulmasında kritik bir köprü görevi görmektedir (Bayram ve Eren, 2023).

Afet lojistiğı detaylı incelendiğinde karşılaşılan en büyük zorluk, kararların tek bir hedefe (örneğin sadece en düşük maliyete) göre alınamamasıdır. Depo yeri seçimi, tedarikçi belirlenmesi, tahliye rotalarının oluşturulması veya kaynak dağıtımı gibi stratejik adımlarda karar vericiler; coğrafi riskler, altyapı güvenliğı, ulaşılabilirlik, maliyet, insani faktörler ve son yıllarda daha da önem kazanan çevresel sürdürülebilirlik gibi pek çok kriteri eş zamanlı olarak

değerlendirmek zorundadır. Üstelik bu kriterlerin bir kısmı nicel (mesafe, maliyet vb.) iken, önemli bir kısmı niteldir (güvenlik algısı, politik riskler vb.). AHS, tam da bu noktada hem nitel hem de nicel değişkenleri hiyerarşik bir yapıda birleştirerek karar vericilere analitik bir çerçeve sunar. AHS, karmaşık bir problemi öncelikle ana hedeften alt kriterlere ve en nihayetinde alternatiflere doğru uzanan bir hiyerarşiye ayırır. Ardından, uzman görüşüne dayanarak yapılan ikili karşılaştırmalar (pairwise comparisons) vasıtasıyla kriterlerin birbirlerine göre ağırlıklarını belirler. Bu metodoloji, afet lojistiği gibi kaotik ve bilgi eksikliğinin yaşandığı ortamlarda, karar vericilerin subjektif yargılarını matematiksel bir tutarlılık testinden geçirerek objektif ve doğrulanabilir çıktılarına dönüştürür.

AHS ile afet lojistiği arasındaki ilişki, teorik bir modellemeden öte, operasyonel sahaya doğrudan girdi sağlayan dinamik bir entegrasyonu ifade etmektedir. Bu ilişkinin en somut görüldüğü alanlardan biri *Geçici Lojistik Merkezleri ve Depo Yeri Seçimi* problemidir. Depo yeri seçimi problemi, afet lojistiği kapsamında ele alınan önemli bir konu olup doğru ve etkili bir depo yönetiminin temelinde yer almaktadır. Özellikle depo yeri seçerken hangi kriterlerin ele alınacağı bu kriterlere göre hangi alternatiflerin değerlendirileceği sorusuna cevap verirken ÇKKV teknikleri içerisinde AHS’ nin kullanılması bu sorulara cevap vermede etkili olacaktır (Gök vd.,2024).

Literatür incelendiğinde AHS’nin karmaşık karar verme problemlerini basite indirgeyerek, karşılaştırma imkânı tanınması, esnek ve uyarlanabilir olması ile birlikte tutarlılık kontrolüyle beraber doğru sonuçlar verme özellikleri göz önünde bulundurularak tercih edilmiştir. Çalışmada kullanılan AHS yöntemiyle, afet yönetimi için kritik önem taşıyan ve aynı zamanda afet lojistiğinin de temel unsurlarından birisi olan doğru malzemenin doğru noktaya ulaştırılmasında rol alan afet depolarının belirlenmesinde kullanılacak kriterlerin ve alternatiflerin değerlendirilmesi ve karşılaştırmaların yapılarak en doğru sıralamanın yapılması amaçlanmıştır. Afet lojistiği ve AHS arasındaki ilişki Şekil 9.4’de gösterilmiştir.

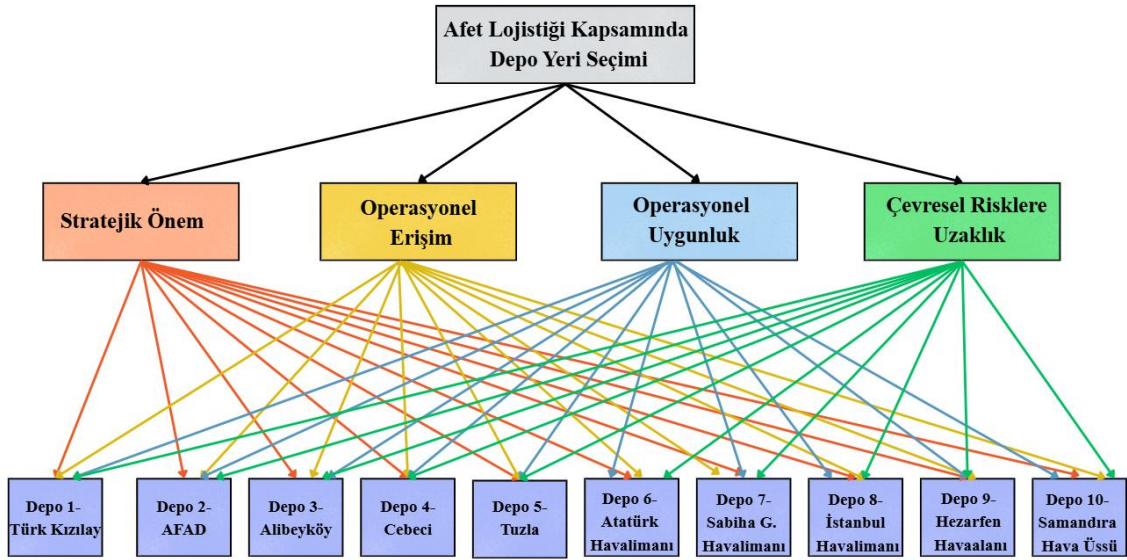


Şekil 9.4. Afet lojistiği ve AHS arasındaki ilişki

9.1.4. AHS'nin probleme uygulanması

9.1.4.1. Hiyerarşik yapının oluşturulması

Olası İstanbul depremi kapsamında kullanılacak afet lojistik merkezleri arasından en uygun afet deposunun seçimi problemini çözmek için hiyerarşik yapı oluşturulmuş, amaca uygun kriterler ve alternatifler belirlenmiştir. Kriterler, İstanbul iline yönelik herhangi bir afet veya acil durum operasyonu yürütülürken lojistik süreçlerde dikkate alınması gereken hususlar göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur (EK-1). Olası İstanbul depremi kapsamının kullanılması planlanan Türk Kızılay, AFAD, İBB sorumluluğundaki lojistik merkezler ve afet döneminde potansiyel afet deposu niteliği kazanacak havalimanlarından oluşmak üzere toplamda 10 adet alternatif belirlenmiştir. AHS kapsamında oluşturulan hiyerarşik yapı Şekil 9.5'de gösterilmiştir.



Şekil 9.5. Afet deposu seçimi kapsamında oluşturulan hiyerarşik yapı

9.1.4.2. İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulması

Afet depo yeri seçimi problemi çerçevesinde belirlenen kriterlerin ikili karşılaştırmaları Profesör Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen ölçeğe göre yapılmış ve oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 9.3’de gösterilmiştir.

Tablo 9.3. Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

	Stratejik Önem	Çevresel Risklere Uzaklık	Operasyonel Erişim	Operasyonel Uygunluk
Stratejik Önem	1	3	5	7
Çevresel Risklere Uzaklık	0,33	1	3	5
Operasyonel Erişim	0,20	0,33	1	3
Operasyonel Uygunluk	0,14	0,20	0,33	1
Toplam	1,67	4,53	9,33	16

9.1.4.3. Normalize edilmiş karşılaştırma matrisinin oluşturulması

Karşılaştırma matrisinin her elemanını, kendi sütun toplamına bölünerek hücre değerleri bulunmuştur. Normalize edilmiş karşılaştırma matrisi Tablo 9.4’de gösterilmiştir.

Tablo 9.4. Normalize edilmiş karşılaştırma matrisi

	Stratejik Önem	Çevresel Risklere Uzaklık	Operasyonel Erişim	Operasyonel Uygunluk
Stratejik Önem	0,599	0,662	0,536	0,438
Çevresel Risklere Uzaklık	0,198	0,221	0,322	0,313
Operasyonel Erişim	0,120	0,073	0,107	0,188
Operasyonel Uygunluk	0,084	0,044	0,035	0,063

9.1.4.4. Kriterlerin görelî değêrlerinin hesaplanması

Normalize edilmiş karşılaştırma matrisinde, her satırın satır ortalaması alınarak kriterlerin görelî değêrleri yani kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Kriterlerin görelî değêrleri (W_i) Tablo 9.5’de gösterilmiştir.

Tablo 9.5. Kriterlerin görelî değêrleri

Kriter	W_i
Stratejik Önem	0,559
Çevresel Risklere Uzaklık	0,263
Operasyonel Erişim	0,122
Operasyonel Uygunluk	0,056

Kriter ağırlıklarına bakıldığında afet depo yeri seçiminde en önemli etkiye, stratejik önem kriteri sahipken, ikinci sırada çevresel risklere uzaklık kriteri, üçüncü sırada operasyonel erişim kriteri, dördüncü sırada ise operasyonel uygunluk kriteri yer almıştır.

9.1.4.5. Tutarlılık oranının hesaplanması

Önceki adımda hesaplanan görelî önem değeri ile ilk adımda oluşturulan karşılaştırma matrisinin ilgili sütununun çarpılıp toplanması ile ağırlık vektörü hesaplanmıştır. Kriterlerin ağırlık vektörü Tablo 9.6’da gösterilmiştir.

Tablo 9.6. Kriterlerin ağırlık vektörleri

Kriter	AW (Ağırlık Vektörü)
Stratejik Önem	2,352
Çevresel Risklere Uzaklık	1,095
Operasyonel Erişim	0,490
Operasyonel Uygunluk	0,227

Kriterlerin ağırlık vektörleri hesaplandıktan sonra tutarlılık indeksinin hesaplanabilmesi için D.4 kullanılmış, denklemdaki λ_{max} değeri elde etmek için ağırlık vektörleri ilgili görelî önem değêrlerine bölünmüş ve elde edilen değêrlerin ortalaması alınmıştır. λ_{max} değêrlerinin hesaplanmış hali Tablo 9.7’de gösterilmiştir.

Tablo 9.7. λ_{max} değeri

Kriter	AW/W_i
Stratejik Önem	4,21
Çevresel Risklere Uzaklık	4,16
Operasyonel Erişim	4,02
Operasyonel Uygunluk	4,03
λ_{max}	4,11

Hesaplanan λ_{max} değeri D.4’de kullanılarak tutarlılık indeksi değeri 0,036 olarak bulunmuştur. Tüm bu işlemlerin ardından matris boyutuna bağlı olarak rastgele indeks değeri, 4 adet kriterin bulunması nedeniyle rastgele indeks çizelgesinde karşılık gelen 0,9 değeri olarak belirlenmiş ve D.5 kullanılarak tutarlılık indeksi rastgele indekse bölünerek tutarlılık oranı hesaplanmıştır. Tutarlılık oranı 0,04 olarak hesap edilmiş ve $0,04 < 0,1$ olduğundan hazırlanan matrisin tutarlı olduğu görülmüştür.

9.1.4.6. Kriterlere göre alternatiflerin ağırlıklarının ve tutarlılıklarının hesaplanması

Bu adımda, her bir kriterle göre alternatiflerin kendi arasında ikili karşılaştırma matrisleri hazırlanarak AHS’nin adımları tekrar edilmiş ve tutarlılık oranları her bir matris için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hazırlanan tüm matrislerde $TO < 0,1$ olarak hesap edilmiştir. Oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri ile birlikte her bir kriterle göre mevcut alternatifler arasından hangisinin daha uygun olduğu bulunmuştur (EK-2). Alternatifler arasından en uygun olanının bulunabilmesi için ise alternatiflerin final ağırlıkları hesaplanarak nihai sonuca ulaşılmıştır. Final ağırlıklarına ulaşmak için ana kriterlerin amaca göre göreceli ağırlıkları ile alternatiflerin ana kriterlere göre görece ağırlıkları alternatif bazında çarpılmış ve toplamaları alınmıştır (EK-3). Alternatiflerin nihai ağırlıkları ve oluşan sıralama Tablo 9.8’de gösterilmiştir.

Tablo 9.8. Alternatiflerin nihai ağırlıkları

Alternatif	Nihai Ağırlık	Sıralama
Depo 3-Alibeyköy	0,205	1
Depo 4-Cebeci	0,172	2
Depo 8-İstanbul Havalimanı	0,122	3
Depo 2-AFAD	0,120	4
Depo 1- Türk Kızılay	0,108	5
Depo 6- Atatürk Havalimanı	0,084	6
Depo 7-Sabiha Gökçen Havalimanı	0,061	7
Depo 10- Samandıra Hava Üssü	0,049	8
Depo 9- Hezarfen Havaalanı	0,040	9
Depo 5-Tuzla	0,040	10

Alternatiflerin nihai ağırlıklarına göre, özellikle stratejik açıdan önem taşıyan ve İBB sorumluluğunda bulunmakla birlikte olası İstanbul depremi kapsamında kullanılması planlanan Alibeyköy Lojistik Merkezi ilk sırada, Cebeci Lojistik Merkezi ise ikinci sırada yer almıştır. Bununla birlikte, çevresel risklere olan uzaklığı ile dikkat çeken ve özellikle Avrupa yakasına yönelik Uluslararası insani yardım ağında sahip olacağı lojistik merkez rolüyle önemli bir yer tutması beklenen İstanbul Havalimanı üçüncü sırada yer almıştır. Operasyonel erişim açısından

önem taşıyan ve Anadolu yakasına yönelik yürütülecek afet lojistik operasyonlarında önemli bir yere sahip olan AFAD sorumluluğundaki lojistik merkezi dördüncü sırada yer alırken, Türk Kızılay tarafından kullanılmakta olan afet lojistik merkezi beşinci sırada yer almıştır. Bununla birlikte stratejik önemi nedeniyle diğer alternatiflere kıyasla daha geride olan Hezarfen Havaalanı ve çevresel risklere olan uzaklığı ile diğer alternatiflere kıyasla daha geride olan Tuzla Lojistik Merkezi sıralamada sonda yer almıştır.

10. TEZ KAPSAMINDA UYGULANAN MELEZ DKA-TA YÖNTEMİ

Tez kapsamında çalışılan melez algoritma, Değişken Komşuluk Arama algoritmasının geniş arama kabiliyeti ile Tabu Arama algoritmasının derinlemesine yerel iyileştirme gücünü birleştirmektedir. Algoritma iki temel seviyede çalışır:

- *Üst Seviye Değişken Komşuluk Arama:* Depo açma kararları ve rotalar arası düğüm (ilçe) transferlerini yöneterek çözüm uzayında geniş bir tarama yapar.
- *Alt Seviye Tabu Arama:* Belirlenen rotaların iç sıralamasını 2-opt hamleleri ve kısa süreli bellek mekanizmasıyla (Tabu Listesi) optimize eder.

Değişken Komşuluk Arama: Bu algoritma, kombinatorial ve sürekli optimizasyon problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan, deterministik yerel arama yöntemleri ile stokastik yaklaşımları başarıyla bütünleştiren güçlü bir meta-sezgisel algoritmadır. İlk olarak Mladenović ve Hansen (1997) tarafından literatüre kazandırılan DKA, sistematik bir şekilde komşuluk yapısını değiştirerek yerel optimum (local optimum) tuzaklarından kurtulmayı hedefler. DKA algoritması temel olarak üç ana evreden oluşur: Sallama (Shaking), Yerel Arama (Local Search) ve Kabul/Geçiş (Move or Neighborhood Change). Örneğin $N_k(k = 1, \dots, k_{max})$ tanımlanmış komşuluk yapılarının kümesi olsun. Başlangıç çözümü x üretildikten sonra algoritma aşağıdaki döngü adımlarını takip etmektedir:

Adım 1- Sallama Evresi: Mevcut x çözümünden, o anki N_k komşuluğu kullanılarak rastgele bir x' çözümü üretilir ($x' \in N_k(x)$) Bu evre, algoritmanın stokastik yönüdür ve amacı mevcut yerel optimum bölgesinden uzaklaşarak algoritmanın tıkanmasını önlemektir.

Adım 2- Yerel Arama Evresi: x' başlangıç noktası alınarak, belirlenen yerel arama algoritması (*First-Improvement*) ile en iyi yerel çözüme (x'') ulaşılan kadar arama yapılır ($x'' = Localsearch(x')$). Bu evre ise algoritmanın deterministik yönüdür ve çözümü derinlemesine iyileştirmeyi amaçlar.

Adım 3- Komşuluk Değişimi / Kabul: Elde edilen yeni yerel optimum x'' ile mevcut x çözümünün amaç fonksiyonu değerleri ($f(x)$) karşılaştırılır:

- Eğer $f(x'') < f(x)$ ise (En küçükleme için): Daha iyi bir çözüm bulunmuştur. Mevcut çözüm güncellenir ($x \leftarrow x''$) ve arama en küçük komşuluk yapısına geri döner ($k \leftarrow 1$).
- Eğer $f(x'') \geq f(x)$ ise çözüm iyileşmemiştir. Mevcut çözüm (x) korunur, arama uzayını genişletmek için bir sonraki komşuluk yapısına geçilir ($k \leftarrow k + 1$).
- Eğer $k > k_{max}$ olursa ($k \leftarrow 1$) yapılarak döngü durma kriteri sağlanana kadar

(maksimum iterasyon sayısı/ maksimum süre gibi) tekrarlanır.

Aşağıda sırayla Melez DKA-TA ana döngüsü Algoritma 1’de, sarsma prosedürü ise Algoritma 2’de verilmektedir.

Algoritma 1: Melez DKA-TA ana döngüsü

Girdiler: Mesafe Matrisi (D), Müşteri Talepleri (d), Araç Filosu Parametreleri (V), Maksimum İterasyon ($MaxIter$)
Çıktılar: En iyi LRP çözümü (S_{eniyi})

```
1:  $S_{mevcut} \leftarrow$  ilk açgözlü çözüm üret ( $D, d, V$ )
2:  $S_{eniyi} \leftarrow S_{mevcut}$ 
3: Komşuluk Yapılarını Tanımla:  $k = \{1$  (yer değiştirme - swap),  $2$  (yeniden konumlandırma - relocate),  $3$  (depo değişimi) $\}$  için  $N_k$ 
4:  $iter \leftarrow 0$ 
5: while  $iter < MaxIter$  do
6:    $k \leftarrow 1$ 
7:   while  $k \leq |N_k|$  do
8:     // Faz 1: Sarsma (Shaking) Operasyonu
9:      $\bar{S} \leftarrow Sarsma(S_{mevcut}, N_k, D, d)$ 
10:    // Faz 2: Tabu Arama Entegre Edilmiş Rota-İçi 2-opt Yerel Arama
11:     $\bar{\bar{S}} \leftarrow Tabu\ ile\ Yerel\ Arama(\bar{S}, D, d)$ 
12:    // Faz 3: Geçiş Kararı (Kabul Kriteri)
13:    if AmaçFonksiyonuDeğeri  $\bar{\bar{S}} < AmaçFonksiyonuDeğeri(S_{mevcut})$  then
14:       $S_{mevcut} \leftarrow \bar{\bar{S}}$ 
15:       $S_{eniyi} \leftarrow \bar{\bar{S}}$ 
16:       $k \leftarrow 1$  // En dar komşuluk yapısından tekrar başlamak için indeksi sıfırla
17:    else
18:       $k \leftarrow k + 1$  // Bir sonraki geniş komşuluk yapısına geç
19:    end if
20:  end while
21:   $iter \leftarrow iter + 1$ 
22: end while
23: return  $S_{eniyi}$ 
```

Algoritma 2: Sarsma (Shaking) prosedürü

Girdiler: Mevcut Çözüm (S), Komşuluk İndeksi (k), Mesafe Matrisi (D), Talepler (d)
Çıktılar: Sarsılmış Çözüm ($S_{sarsilmis}$)

```
1:  $S_{sarsilmis} \leftarrow Kopyala(S)$ 
2:  $S_{sarsilmis}$  içerisindeki aktif depoları belirle
3: switch  $k$  do
4:   case 1: // swap komşuluğu (Rota-içi 2-opt tedirginliği)
5:     Rastgele bir aktif depo ve bu depoya ait rastgele bir rota seç
6:     if rota uzunluğu  $\geq 2$  then
7:       Rota sıralamasındaki iki rastgele indeksi kendi arasında yer değiştir (swap)
8:     end if
9:   case 2: // relocate komşuluğu (Rotalar arası ilçe taşıma)
10:    Mevcut rotaların birinden rastgele bir ilçe seç ve ilçeyi orijinal rotasından çıkar
```

```

11:   Kapasite ve maksimum mesafe kısıtlarını sağlayan ilk uygun pozisyonu (mevcut
veya yeni rota) bul
12:   if uygun pozisyon bulunamazsa then
13:     Çözümün fizibilitesini korumak için ilçeyi orijinal rotasına geri ekle
14:   end if
15:   case 3: // 'depot_change' komşuluğu (Tüm rotanın başka depoya atanması)
16:     Kaynak depodan rastgele bir rota seç ve depodan ayır
17:     Rastgele bir alternatif hedef depo seç
18:     Hedef depoda bu rotayı mevcut bir rotayla birleştirmeyi veya yeni bir araç olarak
atamayı dene
19:     if kapasite veya maksimum mesafe sınırları ihlal edilirse then
20:       Rotayı tekrar kaynak depoya geri ata
21:     end if
22: end switch
23: return S_sarsilmis

```

10.1. Melez Algoritmada Kullanılacak Veri Setinin Oluşturulması

Tez kapsamında ele alınan problemin çözümü için İstanbul iline ait çeşitli verilere ulaşılarak genel bir veri seti elde edilmiştir. Veri setinin oluşturulma süreci Şekil 10.1’de gösterilmiştir.

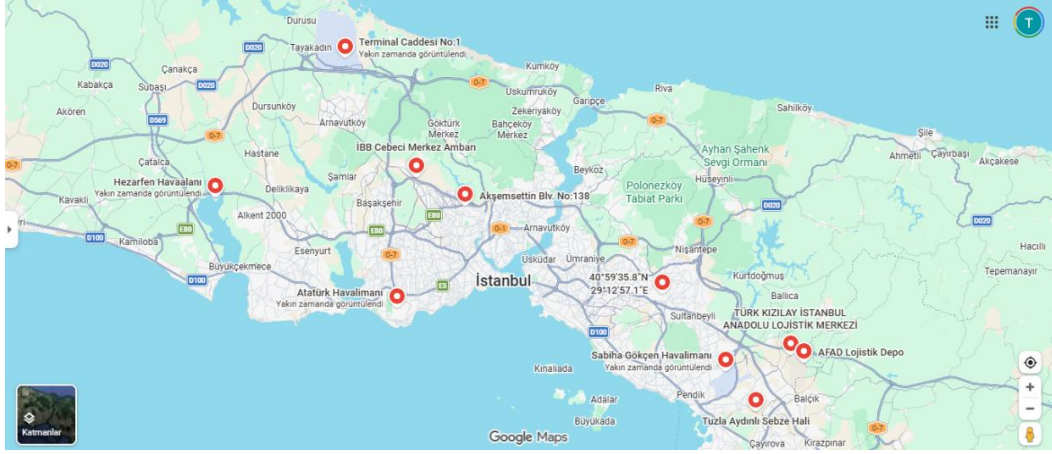


Şekil 10.1. Veri setinin oluşturulma süreci

10.1.1. Afet lojistik merkezlerinin belirlenmesi ve mesafe matrisinin oluşturulması

Afet lojistik merkezleri belirlenirken TAMP kapsamında kritik önem taşıyan AFAD, Türk Kızılay ve İBB’ye ait afet depoları ile afet anında lojistik merkez statüsü kazanacak olan

havalimanları çalışma kapsamında ele alınmıştır. Afet anında mevcut talepleri karşılaması beklenen AFAD, Türk Kızılay, İBB lojistik merkezleri ve afet döneminde potansiyel afet deposu niteliği kazanacak havalimanlarından oluşmak üzere toplamda 10 adet deponun koordinatlarına ve bu depolardan ihtiyaç sahiplerine yönelik malzeme dağıtımının yapılabileceği talep noktası olarak planlanan kaymakamlıkların koordinatlarına Google Haritalar üzerinden ulaşılmıştır (EK-4, EK5). Afet anında talebi karşılaması beklenen afet lojistik merkezlerinin konumlarının yer aldığı harita Şekil 10.2’de gösterilmiştir.

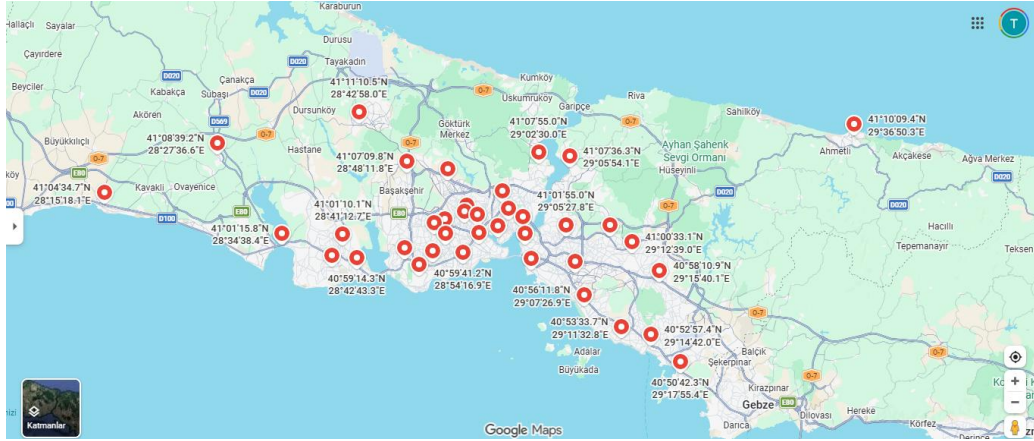


Şekil 10.2. Talebi karşılayacak afet lojistik merkezlerinin harita üzerindeki konumları

Olası bir İstanbul depremi sonrasında talebi karşılayacak afet lojistik merkezlerinden çıkan insani yardım malzemelerinin depolama ve dağıtımının yapılabileceği alan olarak kaymakamlık yerleşkeleri belirlenmiştir. Bununla birlikte çalışma kapsamında kullanılan LRP modeline *İstanbul Adalar* ilçesi dahil edilmemiştir. Bunun temel nedeni, Adalar ilçesinde afet sonrası lojistik yaklaşımın klasik dağıtım ve karayolu tabanlı yardım sevkiyatı operasyonlarından ziyade tahliye temelli bir yapıya dayanmasıdır. Ayrıca bölgenin sınırlı nüfusu, coğrafi izolasyonu ve alternatif ulaşım türlerinin etkin kullanılabilirliği, ilçenin tez kapsamında ele alınan kara yolu temelli sürdürülebilir insani yardım dağıtım modeli ile tam olarak örtüşmemesine neden olmaktadır. Bu sebeplerden ötürü, Adalar ilçesi tez kapsamında geliştirilen lojistik ağ ve araç rotalama sistematigi dışında değerlendirilmiştir.

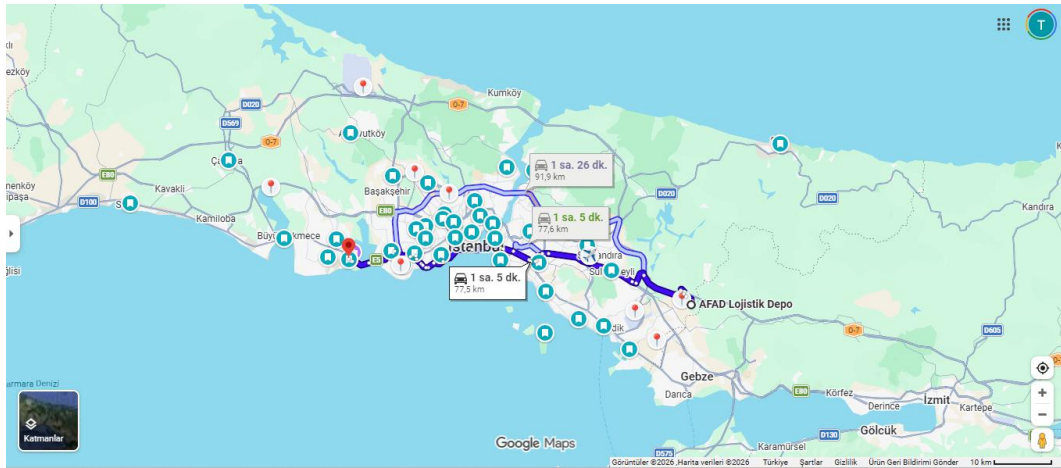
Kaymakamlık yerleşkelerinin talep noktası olarak seçilmesindeki en temel faktörler ise kaymakamlıkların afet yönetimi açısından stratejik olması, her ilçeden kaymakamlığın bulunması, genellikle geniş bahçe ve otopark alanlarına sahip olması, depolama alanlarına sahip olması, güvenli alanlar olarak değerlendirilmesi ve halk tarafından en çok bilinen kamu binaları olmasıdır. Belirlenen talep noktalarının konumlarına ise *Google Haritalar* üzerinden ulaşılmıştır. Talep noktası olarak belirlenen Kaymakamlıkların konumları Şekil 10.3’de

gösterilmiştir.



Şekil 10.3. Talep noktalarının harita üzerindeki konumları

Çalışmada kullanılan mesafe matrisi; lojistik merkezlerinden hareket eden insani yardım malzemelerinin, ilgili talep noktalarına ulaştırılması sürecinde kat edilen toplam mesafenin kilometre (km) cinsinden hesaplanmasıyla elde edilmiştir. Google haritalar üzerinde kalkış noktası ve varış noktası seçilmesi ile birlikte oluşturulan rotada en kısa mesafenin km cinsinden değeri matriste yer alan değerleri oluşturmuştur (EK-6). Mesafe matrisinde yer alan değerlerin Google haritalar üzerinden elde edilme aşaması Şekil 10.4’de gösterilmiştir.



Şekil 10.4. Talebi karşılayacak afet lojistik merkezleri ve talep noktaları arasındaki mesafenin belirlenmesi

11. ELE ALINAN PROBLEMLER VE ÇÖZÜMLERİ

11.1. Ele Alınan Küçük Boyutlu Örnek Problem ve Çözümü

Geliştirilen matematiksel modelin performansını değerlendirmek ve elde edilen çıktıları detaylı bir şekilde analiz etmek amacıyla, öncelikle küçük boyutlu bir örnek problem ele alınarak GAMS paket programı ile çözülmüştür. Ardından, aynı problem için Python dilinde kodlanan melez algoritma ile ulaşılan sonuçlar paylaşılmıştır:

- Problem için İstanbul ili örneği verilerinden faydalanılmış fakat küçük boyutlu olduğundan 10 ilçe ve 4 depo baz alınmıştır.
- Problem için seçilen 10 ilçe isimleri: Arnavutköy, Ataşehir, Avcılar, Bağcılar, Bahçelievler, Bakırköy, Başakşehir, Bayrampaşa, Beşiktaş, Beykoz.
- Problem için seçilen 4 depo isimleri: Depo1-Türk Kızılay, Depo 2-AFAD, Depo 3-Alibeyköy, Depo 4 -Cebeci.
- Problemden yer alan ilçeler ve depolar arası karayolu mesafeleri Google Haritalar ile (EK-6) elde edilmiştir.
- Ürün türleri *su*, *yemek* ve *ilaç* cinsinden toplam talep miktarı baz alınarak her ilçenin talebi hesaplanmıştır. (EK-7)
- Depolar için AHS Kriterleri yapılan görüşmeler ve değerlendirmeler sonucunda *Erisilebilirlik*, *Konum*, *Uygunluk* ve *Çevre* olarak belirlenmiştir (Büyük boyutluda da aynısı baz alınmıştır).

Matematiksel modelde kullanılan heterojen araç filosuna ait kapasite, birim değişken maliyet, sabit maliyet, maksimum rota mesafesi, emisyon faktörü, araç sayısı ve aracın gidebileceği maksimum mesafe değerleri, araç tiplerine göre belirlenmiştir. Öncelikle araç tipi sayısı her tür için 2 olarak belirlenmiştir. Her bir araç tipi için araç kapasiteleri sırasıyla küçük 10000, orta 11000, ve büyük 15000 kg olarak belirlenmiştir. Her bir araç tipi için birim zaman başına değişken araç maliyeti [1.0-1.9] aralığındaki bir kesikli üniform dağılımdan rastgele seçilerek en yakın tam sayıya yuvarlanmıştır. Her bir araç tipi için sabit araç kullanım maliyeti [200, 300] aralığındaki bir kesikli üniform dağılımdan rastgele seçilerek en yakın tam sayıya yuvarlanmıştır. Araçların gidebileceği maksimum mesafe kısıtlaması ise bir mesai günü için 300 km. olarak belirlenmiş olup Tablo 11.1’de gösterilmiştir. Aday depoların sabit açılış maliyetleri ve nicel değerlendirmeler sonucu elde edilen AHS uygunluk skorları ise Tablo 11.2’de diğer tüm değerler ile beraber sunulmaktadır.

Karbon vergileri veya emisyon ticareti sistemleri kapsamında belirlenen birim karbon fiyatı, lojistik ağ tasarımlarında, araç rotalama kararlarında ve tesis yeri seçimlerinde stratejik bir kırılma noktası oluşturmaktadır. Bu sebeple çalışılan tez kapsamında da bu parametre değerlendirilmiştir. Çalışmada, karbon fiyatı belirlenmesinde literatürden alınan iki farklı yaklaşım benimsenmiştir:

- *Avrupa Birliği (AB) Ticaret Regülasyonları Yaklaşımı (Ticari/Lojistik Odaklı):* Eğer çalışmaya; ticari lojistik, yeşil tedarik zinciri veya uluslararası taşımacılık standartlarına uyum odaklı bakılırsa, AB'nin güncel karbon piyasası (EU ETS) fiyatları referans alınır. Bu değer son zamanlarda ton başına ~80 € (kg başına 0.080 €) civarındadır. Euro kurunu yaklaşık 53,50 TL kabul edersek : $0.080 \times 53.50 = 4.28$ TL/KG CO_2 değeri yaklaşık 4.5 kabul edilir. Büyük boyutlu gerçek problem için tez kapsamında bu değer 4.5 alınmıştır.
- *Sosyal Maliyet Yaklaşımı (Ekonomik Zarar Tabanlı):* Eğer çalışma; afet lojistiği, insani yardım veya kamu odaklı sürdürülebilirlik açısından değerlendirilirse, salınan karbonun doğaya ve insan sağlığına verdiği toplam sosyo-ekonomik zarar (Social Cost of Carbon) referans alınır. Uluslararası standartlarda bu değer ton başına 190 \$ (kg başına 0.19 \$) olarak kabul görmektedir. Bunu TL'ye çevirdiğimizde (0.19×46.50)=8.83 TL/KG CO_2 değeri yaklaşık 9 kabul edilir.

Tablo 11.1. Araç parametreleri

Araç Türü	Araç Kapasitesi	Değişken Maliyet	Sabit Maliyet	Emisyon Faktörü	Araç Sayısı	Maksimum Mesafe
Küçük	10000	0.9	210	0.03	2	300
Orta	11000	1.2	250	0.04	2	300
Büyük	15000	1.7	275	0.06	2	300

Tablo 11.2. Depo parametreleri

Depo İndisi	Depo Sabit Açılış Maliyeti	Depo AHS Skoru
1	1000	0.108
2	1000	0.120
3	1500	0.205
4	2000	0.172

Ele alınan küçük boyutlu örnek problem öncelikle GAMS paket programı kapsamında yer alan ve MIP modellerde kullanılan CPLEX çözücüsü ile çözdürülmüştür. Tez kapsamında

her iki değer de ele alınmış ve elde edilen tüm sonuçlar Tablo 11.3 ve Tablo 11.4’de gösterilmiştir.

Tablo 11.3. Küçük boyutlu problem için hesaplamalı sonuçlar (CP=4.5)

Açılan Depo	Rota ID	Araç Tipi	Rota	Mesafe (km)	Taşıma Maliyeti (TL)	Emisyon Maliyeti (TL)	Toplam maliyet (TL)
			2 -> 5 -> 6 -> 3				
1	2	R1	Küçük -> 7 -> 4 -> 8 -> 9 -> 2	198.2	178.4	26.76	205.16
2	2	R2	Küçük 2 -> 10 -> 1 -> 2	175.3	157.8	23.67	181.47
		TOPLAM		373.5	336.2	50.43	386.63

Tablo 11.4. Küçük boyutlu problem için hesaplamalı sonuçlar (CP=9)

Açılan Depo	Rota ID	Araç Tipi	Rota	Mesafe (km)	Taşıma Maliyeti (TL)	Emisyon Maliyeti (TL)	Toplam maliyet (TL)
			2 -> 8 -> 7 -> 4				
1	2	R1	Küçük -> 5 -> 3 -> 6 -> 9 -> 2	196.6	176.9	53.08	229,98
2	2	R2	Küçük 2 -> 10 -> 1 -> 2	175.3	157.8	47.33	205,13
		TOPLAM		371.9	334.7	100.41	435,11

Her iki senaryoda da (CP = 4.5 ve CP = 9) model, talep noktalarına hizmet vermek üzere 2 numaralı depoyu (Depo2-AFAD) seçmiştir. Benzer şekilde, her iki durumda da her iki rota için küçük araç tipi tercih edilmiştir. Bu durum, küçük boyutlu problemin kapasite ve kısıt yapısı altında en ekonomik depo ve araç seçiminin değişmediğini, modelin bu kararlarda kararlı bir yapı sergilediğini göstermektedir.

Ekonomik ve çevresel dnleşme: Karbon fiyat parametresi 4.5'ten 9'a yükseldiğinde, emisyon maliyeti yaklaşık iki katına çıkararak toplam 50,43 TL'den 100,41 TL'ye yükselmiştir. Model, artan emisyon maliyeti baskısını azaltmak amacıyla R1 rotasını yeniden optimize etmiş ve toplam kat edilen mesafeyi %0,43 oranında (1,6 km) kısaltmıştır. Bu kısalma, çözümde doğrudan taşıma maliyetlerinde hafif bir azalış sağlamıştır.

[illegible]

11.2. Ele Alınan Büyük Boyutlu Gerçek Problem ve Çözümü

- *Uzaklık matrisi:* İstanbul'daki 10 depo ve 38 ilçe arasındaki mesafeleri içeren matrisi ifade eder.
- *Depo indisleri :* [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]
- *İlçe indisleri* [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48]
- *İlçe Talepleri:* Her bir ilçenin karşılanması gereken talep miktarlarıdır ve Tablo 11.5'de gösterilmektedir.

Tablo 11.5. İstanbul ilindeki ilçe ID ve talep miktarı bilgileri

İlçe	İlçe ID	Talep
Arnavutköy	11	774
Ataşehir	12	1240
Avcılar	13	1240
Bağcılar	14	2170
Bahçelievler	15	1704

Bakırköy	16	620
Başakşehir	17	1240
Bayrampaşa	18	774
Beşiktaş	19	464
Beykoz	20	620
Beylikdüzü	21	930
Beyoğlu	22	620
Büyükçekmece	23	620
Çatalca	24	717
Çekmeköy	25	774
Esenler	26	1240
Esenyurt	27	2634
Eyüpsultan	28	1084
Fatih	29	1240
Gaziosmanpaşa	30	1394
Güngören	31	774
Kadıköy	32	1394
Kağıthane	33	1240
Kartal	34	1394
Küçükçekmece	35	2324
Maltepe	36	1394
Pendik	37	2014
Sancaktepe	38	1240
Sarıyer	39	930
Silivri	40	464
Sultanbeyli	41	930
Sultangazi	42	1550
Şile	43	92
Şişli	44	774
Tuzla	45	774
Ümraniye	46	2014
Üsküdar	47	1550
Zeytinburnu	48	774

Tablo 11.6. Araç parametreleri

Araç Türü	Araç Kapasitesi	Değişken Maliyet	Sabit Maliyet	Emisyon Faktörü	Araç Sayısı	Maksimum Mesafe
Küçük	45000	0.9	2000	0.03	10	300
Orta	50000	1.2	2250	0.04	10	300
Büyük	60000	1.7	3000	0.06	10	300

Aşağıdaki Tablo 11.7’de depo parametreleri yer almaktadır. Her deponun sahip olduğu depo açılış sabit operasyonel maliyeti ve depoların stratejik değerini yansıtan AHS puanlarını göstermektedir.

Tablo 11.7. Depo parametreleri

Depo	Sabit Maliyet (TL)	AHS Puanı
Depo 1 (Kızılay)	1000	0.108
Depo 2 (AFAD)	1000	0.120
Depo 3 (Alibeyköy)	1500	0.205
Depo 4 (Cebeci)	1500	0.172
Depo 5 (Tuzla)	1500	0.040
Depo 6 (Atatürk)	1500	0.084
Depo 7 (Sabiha)	4000	0.061
Depo 8 (İstanbul)	5000	0.122
Depo 9 (Hezarfen)	9000	0.040
Depo 10 (Samandıra)	9000	0.049

Bu parametreler doğrultusunda elde edilen sonuçlar Tablo 11.8’de gösterilmiştir.

Tablo 11.8. Büyük boyutlu problemin rota bazlı tüm sonuçları (CP=4.5 İçin)

Seçilen Depo	DEPO 1-KIZILAY
Araç Atamaları	Küçük
Rota-1	Kızılay(1) -> Çekmeköy(25) -> Sultanbeyli(41) -> Çatalca(24) -> Beyoğlu(22) -> Eyüpsultan(28) -> Bağcılar(14) -> Maltepe(36) -> Başakşehir(17) -> Bahçelievler(15) -> Kadıköy(32) -> Esenyurt(27) -> Güngören(31) -> Beşiktaş(19) -> Fatih(29) -> Büyükçekmece(23) -> Tuzla(45) -> Beykoz(20) -> Zeytinburnu(48) -> Kağıthane(33) -> Beylikdüzü(21) -> Esenler(26) -> Sarıyer(39) -> Arnavutköy(11) -> Kızılay(1)
Kat edilen mesafe	246.90 km
Ulaşım maliyeti	222.21
Emisyon maliyeti	33.33
Rota 1 toplam maliyet	2255.54

Araç Atamaları	Küçük
Rota-2	Kızılay(1) -> Şişli(44) -> Sultangazi(42) -> Sancaktepe(38) -> Ümraniye(46) -> Küçükçekmece(35) -> Pendik(37) -> Üsküdar(47) -> Kartal(34) -> Silivri(40) -> Şile(43) -> Bayrampaşa(18) -> Ataşehir(12) -> Kızılay(1)
Kat edilen mesafe	234.70 km

- Çözüm Süresi: 6.42 s
- Toplam ulaşım maliyeti: 483.12 TL
- Toplam emisyon maliyeti: 72.47 TL
- AHS skor faydası :-540.00
- Toplam Amaç Fonk. Değeri: 9015.59

68

12. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, afet öncesi lojistik yönetiminde sürdürülebilirlik, maliyet etkinliği ve stratejik uygunluk hedeflerini eş zamanlı olarak optimize eden heterojen araç filolu bir depo yeri- lokasyon rotalama problemi (LRP) için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Önerilen model, geleneksel LRP yaklaşımlarından farklı olarak yalnızca tesis konumu ve rota optimizasyonunu değil; operasyonel giderleri, yeşil lojistik kapsamındaki emisyon maliyetlerini ve AHS yöntemiyle elde edilen stratejik hizmet faydasını tek bir amaç fonksiyonunda bütünleştirmektedir. Afet lojistiğinde bütçe kısıtları ile stratejik konum güvenliği (altyapı, afet riskinden uzaklık, erişilebilirlik vb.) genellikle birbiriyle çelişen hedefler olarak öne çıkmaktadır. Buna karşın elde edilen ters yönlü korelasyon; nitel kriterlere göre afet yönetimi için en güvenli ve en uygun seçilen stratejik konumların, aynı zamanda ekonomik açıdan daha düşük kurulum maliyetlerine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu durum, bütüncül matematiksel modelin ekonomik amaçlar ile sosyal ve teknik uygunluk hedeflerini yıkıcı bir rekabete sokmadan optimize edilmiş ortak bir paydada buluşturabildiğini göstermektedir.

Modelin hesaplamalı sonuçlarına bakıldığında, küçük boyutlu problem örnekleri GAMS paket programı ile çözülmüş ve yaklaşık 2 saat içerisinde optimal sonuca ulaşılmıştır. Büyük boyutlu gerçek hayat problemi için 38 ilçe ve 3 potansiyel rotadan oluşan karmaşık karar yapısını çözmek üzere melez DKA-TA (Dinamik Komşuluk Araması - Tavlama Benzetimi) tabanlı bir metasezgisel algoritma geliştirilmiş ve Python ortamında kodlanmış ve 6,42 saniye gibi oldukça kısa ve makul bir sürede çözülmüştür. Modele dahil edilen -540,00 puanlık AHS stratejik fayda skoru maliyet baskısını dengelemiş; elde edilen 9.015,59 tutarındaki toplam amaç fonksiyonu değeri ise maliyet, çevresel etki ve hizmet seviyesi arasındaki ideal dengeyi temsil etmiştir.

Çalışmanın uygulamaya yönelik çıktıları değerlendirildiğinde; geliştirilen modelin afet yönetiminden sorumlu kamu kurumları, yerel yönetimler ve insani yardım kuruluşları tarafından afet öncesi hazırlık süreçlerinde etkin bir karar destek aracı olarak kullanılabileceği öngörülmektedir. Özellikle kriz öncesinde depo yerlerinin tespiti, araç kaynaklarının planlanması ve olası dağıtım rotalarının önceden tasarlanması, afet anındaki karar alma süreçlerini belirgin şekilde kısaltacaktır.

Bununla birlikte, çalışmanın birtakım kısıtlamaları bulunmaktadır. Modelde talep miktarları, yol koşulları ve araç parametreleri deterministik değerler olarak ele alınmıştır. Oysa gerçek afet ortamları yüksek derecede belirsizlik barındırmaktadır. Deprem sonrasında

meydana gelebilecek yol kapanmaları, ulaşım sürelerindeki dalgalanmalar, araç kullanılabilirliğindeki kayıplar ve talep sapmaları mevcut çözüm yapısını değiştirebilir. Dolayısıyla, gelecek çalışmalarda belirsizlik parametrelerinin stokastik veya bulanık modelleme yaklaşımlarıyla sürece dahil edilmesi; farklı deprem senaryoları altında yol kapanmaları, kapasite düşüşleri ve alternatif güzergâh kullanımının analiz edilmesi önerilmektedir. Ayrıca talep seviyesi, araç sayısı ve kapasitesi, karbon maliyeti ile depo kapasitesi gibi temel parametreler üzerinde duyarlılık ve senaryo analizlerinin yürütülmesi modelin dirençliliğini ortaya koyacaktır. Ayrıca geliştirilen matematiksel modele, çok amaçlı senaryolar kapsamında amaçlar eklenebilir ve farklı skalerleştirme teknikleri ile model optimize edilebilir.

KAYNAKÇA

- Akbari, F., Valizadeh, J., & Hafezalkotob, A. (2022). Talep belirsizliği altında yardım lojistik operasyonlarının sağlam işbirlikçi planlaması: Tahran'da olası bir deprem üzerine bir vaka çalışması. *Uluslararası Sistem Bilimi Dergisi: Operasyonlar ve Lojistik*, 9 (3), 405-428.
- Aktaş, U. (2025). Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi Çerçevesinde Sürdürülebilir Tedarik Zinciri: Yeşil Ve Tersine Lojistik Stratejilerinin Rolü. *Ege Üniversitesi Ulaştırma Yönetimi Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 53-72.
- AFAD (2024). *Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı 2024 İdare Faaliyet Raporu*.
- AFAD (2026). Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması. [Erişim: 18.06.2026, <https://tdth.afad.gov.tr/>]
- Bal, M. (2020). *Afet Lojistiğinde Araç Rotalama Problemi ve Geliştirilen İki Aşamalı Bir Optimizasyon Yöntemi İle Uygulama*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Baskın, T. & Şeker, A. (2025). Preparing For The Inevitable: Logistical Challenges and Damage Projections For Major Earthquake In İstanbul. *Journal of The Faculty of Applied Sciences of Uşak University*, 5(1), 90-108.
- Başaran, İ. & Akyüz, D. (2022). Afet Yönetiminde Bir Sivil Toplum Kuruluşu: Türk Kızılay. *Medeniyet Araştırmaları Dergisi*, 7(1), 76-91.
- Bayram, B. & Eren, T. (2023). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Afet Sonrası Geçici Depo Yeri Seçimi. *Acil Yardım ve Afet Bilimi Dergisi*, 22-30.
- Baytürk, E., Turna, B., Saka, İ., & Kaya, A. (2025). Afet Sonrası İnsani Yardım Lojistiğinde Stokastik Talepli Araç Rotalama Problemi için Çözüm Yöntemleri. *Journal of Transportation and Logistics*, 10(2), 222-235.
- Bilici, G., & Pekçüçükşen, Ş. (2023). Afet Lojistiği ve Afet Yönetiminde Karşılaşılan Lojistik Sorunlar. *Uluslararası Akademik Birikim Dergisi*, 6(5), 920-932.
- Buldurur, M. A., & Kurucu, H. (2015). İstanbul'da Afet Yönetimi Ve Acil Ulaşım Yollarının Değerlendirmesi. *Planlama Dergisi*, 25(1), 21-31.
- Çınar, S., & Mutlu, H. M. (2020). Afet Lojistik Sorunları ve Temel Başarı Etkenleri: Bir Literatür Analizi. *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*, 8(2), 50-69.
- Dalbudak, E., & Rençber, Ö. F. (2022). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Üzerine Literatür İncelemesi. *Gaziantep Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4(1), 1-17.
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, 6(1), 80-91.
- Derse, O. (2022). Dematel Tabanlı Topsis Yöntemi Ve Küme Kapsama Modeli İle Afet Lojistiği İçin Depo Yeri Seçimi: Ege Bölgesi Örneği. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(4), 702-713.
- Durdağ, C., Ergenecoşar, S., Kınık, Z., & Yılmaz, K. K. (2021). Afet Bakış Açısıyla Lojistik Depo Yeri Seçimi: İstanbul Beykoz İlçesi Üzerine Bir Uygulama. *Beykoz Akademi Dergisi*, 9(1), 98-107.
- Du, J., Ji, Y., Qu, D., Wu, X., & Yang, D. (2020). Three-stage mixed integer robust optimization model applied to humanitarian emergency logistics by considering secondary disasters. *IEEE Access*, 8, 223255-223270.
- Elkington, John (1997). "Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business", Oxford, Capstone Publishing
- Ergin, C. (2016). *Afet Lojistiğinde Depo Yeri Seçim Probleminin Optimizasyon ve Kümeleme Teknikleri ile Çözülmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Sakarya.
- Ergün, M., Korucuk, S., & Memiş, S. (2020). Sürdürülebilir afet lojistiğine yönelik ideal afet

- depo yeri seçimi: Giresun ili örneği. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 144-165.
- Ertugut, R., & Yılmaz, B. (2020). Afet Ve İnsani Yardım Lojistiği Alanında Yapılan Çalışmaların Bibliyometrik Analizi. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (40), 105-123.
- Genç, R. (2010). Lojistik Yönetiminde Çevresel Değişimler Bağlamında Stratejik Uygulamalar. *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 10(19), 598-614.
- Gray, R., & Milne, M. (2002). Sustainability reporting: who's kidding whom?. *Chartered Accountants Journal of New Zealand*, 81(6), 66-70.
- Gök, M., Toklu, R., Güven, E., & Eren, T. (2024). Afet Lojistiğinde Depo Yer Seçimi. *Resilience*, 8(2), 123-138.
- Gözaydin, O., & Can, T. (2013). Deprem Yardım İstasyonları İçin Lojistik Merkezi Seçimi: Türkiye Örneği. *Journal of Aeronautics & Space Technologies/Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 6(2).
- Güzel, D., & Noksan, E. (2023). İnsani Yardım Faaliyetlerinin Lojistik, Koordinasyon ve İnsan Kaynağının Görev Başarı Performansı Üzerine Etkisi: Kızılay ve AFAD Üzerine Bir Araştırma. *Paradigma: İktisadi ve İdari Araştırmalar Dergisi*, 12(2), 8-22.
- Han, S., & Jeong, H. (2025). Research on efficient relief logistics planning under massive natural disasters. *Scientific Reports*, 15(1), 11595.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi (2023). İstanbul Deprem Çalışma Grubu Toplantısı Raporu. İstanbul.
- Jauhar, S. K., Singh, A., Kamble, S., Tiwari, S., & Belhadi, A. (2024). Reverse logistics for electric vehicles under uncertainty: An intelligent emergency management approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 192, 103806.
- Kandilli Rasathanesi (2023). İstanbul İli Olası Deprem Kayıp Tahminlerinin Güncellenmesi Projesi. İstanbul.
- Keser, İ. (2019). *A Gıs Based AHS Site Selection Method For A Disaster Logistics Warehouse: A Gaziantep Case*. (Yüksek Lisans Tezi). Gaziantep Üniversitesi. Fen Bilimleri ve Uygulamalı Bilimler Enstitüsü. Gaziantep.
- İstanbul İRAP (2021). İl Afet Risk Azaltma Planı. T.C. İstanbul Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü. İstanbul.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi (2011). İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Ana Planı. İstanbul.
- İstanbul Kalkınma Ajansı (2013). *İstanbul İli Afet Lojistik Planı Kılavuzu*. İstanbul.
- Kaya, İ. & Karaşan, A. (2020). *Çok Kriterli Karar Verme*. Umuttepe Yayınları, Türkiye.
- Küçükali, U. F. (2018). İstanbul'da Afet Riski Yüksek İlçelerin Planlama Açısından Değerlendirilmesi. *Planlama Dergisi*, 28(2), 171-178.
- Küçük, B., & Coşkun, İ. Y. (2025). Afet Lojistiği'nde Araç Rotalama Probleminin Optimizasyonu: İstanbul İli Anadolu Yakası Örneği. *Maltepe Üniversitesi Akademik Bakış Dergisi*, 1(1), 53-64.
- Maroof, A., Khalid, Q. S., Mahmood, M., Naeem, K., Maqsood, S., Khattak, S. B., & Ayvaz, B. (2023). Vehicle routing optimization for humanitarian supply chain: A systematic review of approaches and solutions. *IEEE Access*, 11, 127157-127175.
- Matyar Tanır, Y. (2024). *Lojistik Bilgi Sistemlerinin Sürdürülebilirlik Uygulamalarına Etkisi Üzerinde Yeşil Lojistik Yönetiminin Aracılık Rolü: Bir Alan Araştırması*. (Yüksek Lisans Tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü. Kahramanmaraş.
- Mazıoğlu, V. (2020). Afet Lojistiği Performansı, Personel Performansı ve Afete Müdahale

- Performansı Arasındaki İlişkinin İncelenmesi Üzerine Bir Araştırma. *The International New Issues in Social Sciences*, 8(1), 45-62.
- Mladenović, N., & Hansen, P. (1997). Variable neighborhood search. *Computers & operations research*, 24(11), 1097-1100.
- Miller, C. E., Tucker, A. W., & Zemlin, R. A. (1960). Integer programming formulation of traveling salesman problems. *Journal of the ACM (JACM)*, 7(4), 326-329.
- Mohamed, A. (2018). *Bütünleşik AHS ve TOPSIS Yöntemiyle Bölgesel Düzeyde Afet Depo Yeri Seçimi: Somali Örneği*. (Yüksek Lisans Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü. Trabzon.
- Nebati, E. E. (2024). Afet yönetimi sürecinde medikal depo yer seçimi için etkili faktörlerin değerlendirilmesi. *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, 15(1-Deprem Özel Sayısı-), 139-149.
- Özceylan, A., & Tanyaş, M. (2023). Sürdürülebilir İnsani Yardım Lojistiği Alanındaki Yayınların İçerik ve Bibliometrik Açından Analizi. *Journal of Turkish Operations Management*, 7(2), 1644-1671.
- Özçelik, E., & Özçelik, M. (2023). Afet Lojistiği Üzerine Kavramsal Bir İnceleme. *İstanbul Esenyurt Üniversitesi İşletme ve Yönetim Bilimleri Fakültesi Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 11-27.
- Öztürk, Y. & Tekin, U. (2019). Doğal Afetlerle Mücadelede İstanbul İli Sarıyer İlçesi Örneği. *Journal of Politics Economy and Management*, 2(1), 29-41.
- Peker, İ., Korucuk, S., Ulutaş, Ş., Okatan, B. S., & Yaşar, F. (2016). Afet Lojistiği Kapsamında En Uygun Dağıtım Merkez Yerinin AHS-VIKOR Bütünleşik Yöntemi İle Belirlenmesi: Erzincan İli Örneği. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 14(1), 82-103.
- Pu, X., & Zhao, X. (2024). Post-Earthquake emergency logistics location-routing optimization considering vehicle three-dimensional loading constraints. *Symmetry*, 16(8), 1080.
- Roushan, A., Das, A., Dutta, A., & Bera, U. K. (2025). A multi-objective supply chain model for disaster relief optimization using neutrosophic programming and blockchain-based smart contracts. *Supply Chain Analytics*, 10, 100107.
- Sadeghi, A., Mosadegh, H., Younessinaki, R., & Aros-Vera, F. (2026). A scenario-based robust optimisation approach for social cost vehicle routing problem in disaster response. *International Journal of Production Research*, 1-23.
- Saaty, T. L. (1986). Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Management science*, 32(7), 841-855.
- Sirkeci, R., & Küçün, N. T. (2025). Ulusal Lojistik Performans Çalışmalarına Yönelik Bibliyometrik Bir Değerlendirme. *Stratejik Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 8(1), 32-46.
- Şekkeli, Z. H. (2020). Afet ve acil durum lojistiği kapsamında acil durum toplanma merkezi seçiminde AHS yöntemi: Kahramanmaraş on iki şubat belediyesinde bir uygulama. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 9(2), 903-930.
- Şipal, Y. Z. (2023). 6 Şubat 2023 Depreminin Afet Yönetim ve Deprem Lojistiği Açısından Değerlendirilmesi. *İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 8(2), 821-825.
- Takan, M. A., & Kasimbeyli, R. (2021). Multiobjective mathematical models and solution approaches for heterogeneous fixed fleet vehicle routing problems. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 17(4), 2073-2095.
- Talbi, E. G. (2009). *Metaheuristics: from design to implementation*. John Wiley & Sons.
- Tanyaş, M., & Bulut, M. (2025). Afet Lojistiğinin Lojistik ve Kentsel Lojistik İlkeleri Kapsamında Değerlendirilmesi: Beslenme Hizmet Grubu için Alternatif Fabrika-Dağıtım Merkezi Optimizasyon Modeli. *Resilience*, 9(1), 105-127.
- Tanti, L., Efendi, S., Lydia, M. S., & Mawengkang, H. (2023). A decision-making model to determine dynamic facility locations for a disaster logistic planning problem using deep

learning. *Algorithms*, 16(10), 468.

- Tekin, M., & Merdivenci, F. (2024). Afet yönetiminde insani yardım lojistiğinin kritik başarı faktörlerinin belirlenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 10(1), 29-48.
- Thomas, T., Rajendran, C., & Srinivas, S. (2026). Integrating drones into post-disaster logistics: a two-echelon location routing model with split deliveries and heterogeneous fleet. *International Journal of Production Research*, 1-30
- Topal, B. (2015). *Afet Lojistik Yönetim Sistemlerinin İncelenmesi ve Yeni Model Tasarımı*. (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Sakarya.
- TAMP (2022). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. Türkiye Afet Müdahale Planı.
- Türk Kızılay (2023). *Türk Kızılay Faaliyet Raporu*. Türk Kızılay Derneği.
- Türk Kızılay (2024). *Türk Kızılay Faaliyet Raporu*. Türk Kızılay Derneği.
- Türk Kızılay (2025). *Türk Kızılay Faaliyet Raporu*. Türk Kızılay Derneği.
- Ulugergerli, F. G. (2021). Afet tedarik zinciri yönetimi: Nitel bir araştırma. *Resilience*, 5(1), 1-20.
- Üstün, A. K., & Anagün, A. S. (2016). İstanbul'un İlçelerinin Afet Yönetimi Açısından Önem Ağırlıklarının Analitik Hiyerarşi Süreci Kullanılarak Belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(1).
- Wang, B., He, C., & Guo, Y. (2025). Building Disaster Resilience: A Sustainable Approach to Integrated Road Rehabilitation and Emergency Logistics Optimization in Extreme Events. *Sustainability*, 17(23), 10591.
- Wang, S., Wu, Y. J., Zhuang, W., & Zhou, Q. (2025). Emergency Logistics Network with Public-Private Cooperation and Multiple Deliveries: An Optimization Approach. *Transportation Research Record*, 03611981251391742.
- Yalcindag, A. G., Dursun, M., & Goker, N. (2023). Evaluation of the Warehouse Location Alternatives for Possible Great Istanbul Earthquake. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 7(1), 38-42.
- Yaman, K., & Kandemir, E. (2024). Lojistik Sektörü: Çevre Duyarlılığı Alanında Yapılan Çalışmalar. *Uygulamalı Sosyal Bilimler ve Güzel Sanatlar Dergisi*, 6(14), 1-8.
- Yeşilli, Z. (2023). *Sürdürülebilir Afet Lojistiğine Yönelik Uygun Depo Seçimi*. (Yüksek Lisans Tezi). Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. Çanakkale.
- Zelzele, B. K., & Ergün, M. (2025). Afet Lojistiği Kapsamında CBS ile Depo Yeri Belirleme: Kilis İli Örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 11(1), 14-33.
- Zhang, J., & Li, Y. (2025). Vehicle routing problem for cold-chain drug distribution with epidemic spread situation. *Expert Systems with Applications*, 262, 125186.

EKLER

Ek 1. AHS Kapsamında Belirlenen Kriterler ve Açıklamaları

KRİTERLER	KRİTER BİLEŞENLERİ	AÇIKLAMA
Operasyonel Erişim	Köprü ve boğaz geçişine bağımlılık düzeyi	Belirlenen lojistik merkezlerden hareket eden araçlar, hizmet vereceği bölgeye ulaşmak için mutlaka bu geçişlere ihtiyaç duyacağından sistemin kırılma hale gelmemesi önem arz eder. Köprü ve boğaz geçişinin sağlıklı şekilde devam etmesi gereklidir.
	Alternatif ulaşım güzergâhı sayısı	Yol çökmesi, viyadük hasarı, trafik kilitlenmesi gibi durumlar düşünüldüğünde alternatif ulaşımın bulunuyor olması lojistik süreçlerin daha akılcı ve etkili bir anlayışla sürdürülmesini sağlayacaktır.
	Viyadük/tünel bağımlılığı	İstanbul'daki bazı ana arterler yüksek viyadük yoğunluğuna sahiptir. Bu nedenle viyadük ve tünellerin kullanılabilir durumda olması elzemdir.
	Yol ağının deprem sonrası çalışabilirlik olasılığı	Yol ağının açık olması lojistik operasyonların istenildiği gibi başarılı bir şekilde devam ettirilebilmesi için kritiktir.
Stratejik Önem	Talep Noktalarına yakınlık	Afetzedelere yakınlık veya talep noktalarına yakınlık durumu, zamanında hızlı ve etkili bir insani yardım operasyonu için büyük avantaj sağlayacaktır. İlk 72 saat içerisinde ulaşabilecek nüfus çok değerlidir.
	Ulaşım Ağına Erişim (Havalimanı, Demir yolu, Liman, Otoyol bağlantısı)	Seçim yapılacak yerin ana yol/karayol yakınlık durumu nedir? Ana arter yolların afet döneminde kapanma ihtimali daha düşüktür ve tırlar sevkiyatlarını daha etkin bir şekilde sağlayabilir. Seçim yapılacak yerin hava limanına yakınlık durumu nedir? Kargo uçaklarının Ulusal ve Uluslararası yardımları hızlı ve daha yüksek kapasitede ulaştırabilmesi için hava limanları kullanılmaktadır. Deprem döneminde Ulusal ve Uluslararası yardım malzemeleri deniz yolu üzerinden limanlara ulaştırılarak tırlar ile depolara taşınması muhtemeldir. Seçim yapılacak olan deponun limanlara yakınlığı var mıdır?
Operasyonel Uygunluk	Depo Kapasitesi	Aynı bağış ve satın alma ile temin edilen malzemelerin depolamasının yapılabileceği mevcut kapasite nedir?
	Kapasite esnekliği	Seçim yapılacak olan yerdeki mevcut depo kapasitesi artırımı ihtiyaç olması halinde gerçekleştirilebilir mi? Seçim yapılacak olan yerin alan büyüklüğü bu durumu etkileyecektir. Genel maksat çadırlar ile depo alanı artırılabilir.
	Tır Manevra Alanı	Tır manevra alanı, arka arkaya tır sevkiyatı gerektiren büyük çaplı afetlerde lojistik merkezler için önemlidir.
	Elektrik, Su, Jeneratör altyapısı	Afet döneminde elektrik ve su altyapısının zarar görebileceği düşünüldüğünde özellikle kendi enerjisini üretebilen ya da jeneratör sistemine dayalı enerjinin varlığı operasyonel süreçlerin etkilenmeden devam etmesini sağlayacaktır.

Ek 1. (Devamı)

Operasyonel Uygunluk	Güvenlik Durumu	Seçim yapılacak olan deponun afet döneminde yağma ve hırsızlık gibi durumlarla karşılaşabileceği düşünüldüğünde güvenlik tedbirlerinin alınmasına uygun olmalıdır. Seçim yapılacak olan depo yerinin güvenli olması, etrafının duvar veya tel vb. bir malzeme ile çevrili olması ve kesin sınırlarının belli olması afet döneminde gelen malzemelerin depolardan yağmalanması veya herhangi bir saldırının gerçekleşmesine karşı koruyacaktır.
Çevresel Risklere Uzaklık	Fay hattına yakınlık durumu, Risk dağılımı	Seçim yapılacak yerin yakınından veya altından fay hattı geçiyor mu? Fay hattı üzerinde veya yakınında bulunan bir depo tamamen işlevsiz hale gelebilir.
	İkincil afet riskine açıklık	Seçim yapılacak olan depo yeri ikincil afetlere maruz kalmamalıdır. Özellikle deprem gibi afetlerden sonra yakın çevrede endüstriyel tesis varlığı büyük bir risk oluşturur. Bu risklerden uzak olmalıdır.

Ek 2. Kriterlere Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırma Matrisleri

Stratejik Önem Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırma Matrisi (Tutarlılık Oranı=0,054)											
	Depo 1- Türk Kızılay	Depo 2- AFAD	Depo 3- Alibeyköy	Depo 4- Cebeci	Depo 5- Tuzla	Depo 6- Atatürk Havalimanı	Depo 7- Sabiha Gökçen Havalimanı	Depo 8- İstanbul Havalimanı	Depo 9- Hezarfen Havaalanı	Depo 10- Samandıra Hava Üssü	Wi
Depo 1- Türk Kızılay	1	0,5	0,25	0,33	6	2	4	3	7	5	0,111
Depo 2-AFAD	2	1	0,33	0,5	7	3	5	4	8	6	0,153
Depo 3-Alibeyköy	4	3	1	2	8	5	6	6	9	7	0,281
Depo 4-Cebeci	3	2	0,5	1	7	4	5	4	8	6	0,196
Depo 5-Tuzla	0,17	0,14	0,13	0,14	1	0,17	0,33	0,25	2	0,5	0,021
Depo 6- Atatürk Havalimanı	0,5	0,33	0,2	0,25	6	1	4	3	7	5	0,095
Depo 7-Sabiha Gökçen Havalimanı	0,25	0,2	0,17	0,2	3	0,25	1	0,5	4	2	0,042
Depo 8-İstanbul Havalimanı	0,33	0,25	0,17	0,25	4	0,33	2	1	5	3	0,057
Depo 9- Hezarfen Havaalanı	0,14	0,13	0,11	0,13	0,5	0,14	0,25	0,2	1	0,33	0,016
Depo 10- Samandıra Hava Üssü	0,2	0,17	0,14	0,17	2	0,2	0,5	0,33	3	1	0,029
Operasyonel Erişim Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırma Matrisi (Tutarlılık Oranı=0,042)											
	Depo 1- Türk Kızılay	Depo 2- AFAD	Depo 3- Alibeyköy	Depo 4- Cebeci	Depo 5- Tuzla	Depo 6- Atatürk Havalimanı	Depo 7- Sabiha Gökçen Havalimanı	Depo 8- İstanbul Havalimanı	Depo 9- Hezarfen Havaalanı	Depo 10- Samandıra Hava Üssü	Wi
Depo 1- Türk Kızılay	1	2	6	7	3	8	4	9	9	5	0,288
Depo 2-AFAD	0,5	1	5	6	2	7	3	8	9	4	0,210
Depo 3-Alibeyköy	0,17	0,2	1	2	0,25	3	0,33	4	5	0,5	0,057
Depo 4-Cebeci	0,14	0,17	0,5	1	0,2	2	0,25	3	4	0,33	0,040
Depo 5-Tuzla	0,33	0,5	4	5	1	6	2	7	8	3	0,152
Depo 6- Atatürk Havalimanı	0,13	0,14	0,33	0,5	0,17	1	0,2	2	3	0,25	0,029
Depo 7-Sabiha Gökçen Havalimanı	0,25	0,33	3	4	0,5	5	1	6	7	2	0,110
Depo 8-İstanbul Havalimanı	0,11	0,13	0,25	0,33	0,14	0,5	0,17	1	2	0,2	0,020
Depo 9- Hezarfen Havaalanı	0,11	0,11	0,2	0,25	0,13	0,33	0,14	0,5	1	0,17	0,016
Depo 10- Samandıra Hava Üssü	0,2	0,25	2	3	0,33	4	0,5	5	6	1	0,079

Ek 2. (Devamı)

Operasyonel Uygunluk Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırma Matrisi (Tutarlılık Oranı=0,053)											
	Depo 1- Türk Kızılay	Depo 2- AFAD	Depo 3- Alibeyköy	Depo 4- Cebeci	Depo 5- Tuzla	Depo 6- Atatürk Havalimanı	Depo 7- Sabiha Gökçen Havalimanı	Depo 8- İstanbul Havalimanı	Depo 9- Hezarfen Havaalanı	Depo 10- Samandıra Hava Üssü	Wi
Depo 1- Türk Kızılay	1	2	5	4	0,5	0,17	0,25	0,2	6	3	0,071
Depo 2-AFAD	0,5	1	4	3	0,33	0,14	0,2	0,17	5	2	0,051
Depo 3-Alibeyköy	0,2	0,25	1	0,5	0,17	0,11	0,13	0,11	2	0,33	0,019
Depo 4-Cebeci	0,25	0,33	2	1	0,2	0,11	0,14	0,13	3	0,5	0,026
Depo 5-Tuzla	2	3	6	5	1	0,2	0,33	0,25	7	4	0,096
Depo 6- Atatürk Havalimanı	6	7	9	9	5	1	3	2	9	8	0,296
Depo 7-Sabiha Gökçen Havalimanı	4	5	8	7	3	0,33	1	0,5	9	6	0,167
Depo 8-İstanbul Havalimanı	5	6	9	8	4	0,5	2	1	9	7	0,221
Depo 9- Hezarfen Havaalanı	0,17	0,2	0,5	0,33	0,14	0,11	0,11	0,11	1	0,25	0,015
Depo 10- Samandıra Hava Üssü	0,33	0,5	3	2	0,25	0,13	0,17	0,14	4	1	0,037
Çevresel Risklere Uzaklık Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırma Matrisi (Tutarlılık Oranı=0,044)											
	Depo 1- Türk Kızılay	Depo 2- AFAD	Depo 3- Alibeyköy	Depo 4- Cebeci	Depo 5- Tuzla	Depo 6- Atatürk Havalimanı	Depo 7- Sabiha Gökçen Havalimanı	Depo 8- İstanbul Havalimanı	Depo 9- Hezarfen Havaalanı	Depo 10- Samandıra Hava Üssü	Wi
Depo 1- Türk Kızılay	1	2	0,17	0,14	3	0,5	0,33	0,13	0,2	0,25	0,029
Depo 2-AFAD	0,5	1	0,14	0,13	2	0,33	0,25	0,13	0,17	0,2	0,021
Depo 3-Alibeyköy	6	7	1	0,5	8	5	4	0,33	2	3	0,152
Depo 4-Cebeci	7	8	2	1	9	6	5	0,5	3	4	0,210
Depo 5-Tuzla	0,33	0,5	0,13	0,11	1	0,25	0,2	0,11	0,14	0,17	0,016
Depo 6- Atatürk Havalimanı	2	3	0,2	0,17	4	1	0,5	0,14	0,25	0,33	0,040
Depo 7-Sabiha Gökçen Havalimanı	3	4	0,25	0,2	5	2	1	0,17	0,33	0,5	0,057
Depo 8-İstanbul Havalimanı	8	8	3	2	9	7	6	1	4	5	0,286
Depo 9- Hezarfen Havaalanı	5	6	0,5	0,33	7	4	3	0,25	1	2	0,110
Depo 10- Samandıra Hava Üssü	4	5	0,33	0,25	6	3	2	0,2	0,5	1	0,079

Ek 3. Ana Kriterlerin Amaca Göre Göreceli Ağırlıkları ile Alternatiflerin Ana Kriterlere Göre Görece Ağırlıklarının Alternatif Bazında Çarpımları

Depo 1- Türk Kızılay				Depo 2-AFAD			
Kriter	Amaca Göre Kriter Ağırlığı (Wi)	Alternatifin Kriterlere Göre Ağırlıkları	Çarpımları	Kriter	Amaca Göre Kriter Ağırlığı (Wi)	Alternatifin Kriterlere Göre Ağırlıkları	Çarpımları
Stratejik Önem	0,559	0,111	0,062	Stratejik Önem	0,559	0,153	0,085
Çevresel Risklere Uzaklık	0,263	0,029	0,008	Çevresel Risklere Uzaklık	0,263	0,021	0,006
Operasyonel Erişim	0,122	0,288	0,035	Operasyonel Erişim	0,122	0,210	0,026
Operasyonel Uygunluk	0,056	0,071	0,004	Operasyonel Uygunluk	0,056	0,051	0,003
TOPLAM			0,108	TOPLAM			0,120
Depo 3-Alibeyköy				Depo 4-Cebeci			
Kriter	Amaca Göre Kriter Ağırlığı (Wi)	Alternatifin Kriterlere Göre Ağırlıkları	Çarpımları	Kriter	Amaca Göre Kriter Ağırlığı (Wi)	Alternatifin Kriterlere Göre Ağırlıkları	Çarpımları
Stratejik Önem	0,559	0,281	0,157	Stratejik Önem	0,559	0,196	0,110
Çevresel Risklere Uzaklık	0,263	0,152	0,040	Çevresel Risklere Uzaklık	0,263	0,210	0,055
Operasyonel Erişim	0,122	0,057	0,007	Operasyonel Erişim	0,122	0,040	0,005
Operasyonel Uygunluk	0,056	0,019	0,001	Operasyonel Uygunluk	0,056	0,026	0,001
TOPLAM			0,205	TOPLAM			0,172
Depo 5-Tuzla				Depo 6- Atatürk Havalimanı			
Kriter	Amaca Göre Kriter Ağırlığı (Wi)	Alternatifin Kriterlere Göre Ağırlıkları	Çarpımları	Kriter	Amaca Göre Kriter Ağırlığı (Wi)	Alternatifin Kriterlere Göre Ağırlıkları	Çarpımları
Stratejik Önem	0,559	0,021	0,012	Stratejik Önem	0,559	0,095	0,053
Çevresel Risklere Uzaklık	0,263	0,016	0,004	Çevresel Risklere Uzaklık	0,263	0,040	0,011
Operasyonel Erişim	0,122	0,152	0,018	Operasyonel Erişim	0,122	0,029	0,003
Operasyonel Uygunluk	0,056	0,096	0,005	Operasyonel Uygunluk	0,056	0,296	0,017
TOPLAM			0,040	TOPLAM			0,084

Ek 3. (Devamı)

Depo 7-Sabiha Gökçen Havalimanı				Depo 8-İstanbul Havalimanı			
Kriter	Amaca Göre Kriter Ağırlığı (Wi)	Alternatifin Kriterlere Göre Ağırlıkları	Çarpımları	Kriter	Amaca Göre Kriter Ağırlığı (Wi)	Alternatifin Kriterlere Göre Ağırlıkları	Çarpımları
Stratejik Önem	0,559	0,042	0,023	Stratejik Önem	0,559	0,057	0,032
Çevresel Risklere Uzaklık	0,263	0,057	0,015	Çevresel Risklere Uzaklık	0,263	0,286	0,075
Operasyonel Erişim	0,122	0,110	0,013	Operasyonel Erişim	0,122	0,020	0,002
Operasyonel Uygunluk	0,056	0,167	0,009	Operasyonel Uygunluk	0,056	0,221	0,012
TOPLAM			0,061	TOPLAM			0,122
Depo 9- Hezarfen Havaalanı				Depo 10- Samandıra Hava Üssü			
Kriter	Amaca Göre Kriter Ağırlığı (Wi)	Alternatifin Kriterlere Göre Ağırlıkları	Çarpımları	Kriter	Amaca Göre Kriter Ağırlığı (Wi)	Alternatifin Kriterlere Göre Ağırlıkları	Çarpımları
Stratejik Önem	0,559	0,016	0,009	Stratejik Önem	0,559	0,029	0,016
Çevresel Risklere Uzaklık	0,263	0,110	0,029	Çevresel Risklere Uzaklık	0,263	0,079	0,021
Operasyonel Erişim	0,122	0,016	0,002	Operasyonel Erişim	0,122	0,079	0,010
Operasyonel Uygunluk	0,056	0,015	0,001	Operasyonel Uygunluk	0,056	0,037	0,002
TOPLAM			0,040	TOPLAM			0,049

Ek 4. Lojistik Merkezlerin Adresleri ve Koordinatları

Lojistik Merkez	Lokasyon Adresi	(X.Y) Koordinatı
Depo 1- Türk Kızılay	Akfırat Mah. Süleymaniye Bulvarı No:69 Tuzla / İstanbul	40.924450, 29.407452
Depo 2-AFAD	Afad Lojistik Depo, Akfırat, 34959 Tuzla/İstanbul	40.915572, 29.427533
Depo 3-Alibeyköy	Akşemsettin, Akşemsettin Blv. No:138, 34070 Eyüpsultan/İstanbul	41.092527, 28.922058
Depo 4-Cebeci	Habibler, 2689. Sk. No:15, 34270 Sultangazi/İstanbul	41.124646, 28.848464
Depo 5-Tuzla	Aydınlı, 34953 Tuzla/İstanbul	40.860572, 29.355721
Depo 6- Atatürk Havalimanı	Yeşilköy, 34149 Bakırköy/İstanbul	40.977754, 28.819376
Depo 7-Sabiha Gökçen Havalimanı	Sanayi, 34906 Pendik/İstanbul	40.906235, 29.310678
Depo 8-İstanbul Havalimanı	Tayakadın, Terminal Caddesi No:1, 34283 Arnavutköy/İstanbul	41.259587, 28.741173
Depo 9- Hezarfen Havaalanı	Bahşayış, Hezarfen Havaalanı Girişi, 34545 Çatalca/İstanbul	41.102486, 28.548238
Depo 10- Samandıra Hava Üssü	Eyüp Sultan, 34785 Sancaktepe/İstanbul.	40.993224, 29.215108

Ek 5. Talep Noktası Olarak Değerlendirilen Kaymakamlık Lokasyonları ve Koordinatları

İSTANBUL KAYMAKAMLIK LOKASYONLARI			
Sıra No.	Kaymakamlık	Adres	(X,Y) Koordinatı
1	Arnavutköy	Taşoluk Mahallesi Akbaba Sokak No.3 Pk:34283 Arnavutköy / İSTANBUL	41.186237, 28.716108
2	Ataşehir	Küçükbakkalköy Mah. Merdivenköy Yolu Cad. No:9/3 Ataşehir-İSTANBUL	40.982264, 29.108849
3	Avcılar	Cihangir Mahallesi Ormanlı Caddesi No:55 Avcılar/İSTANBUL	40.987314, 28.712039
4	Bağcılar	Yavuz Selim Mahallesi 1000. Sokak No: 10-12 Bağcılar/İSTANBUL	41.035191, 28.853107
5	Bahçelievler	Şirinevler Mahallesi Barbaros Caddesi No:11/3 Bahçelievler Hükümet Konağı Bahçelievler / İSTANBUL	40.997102, 28.850319
6	Bakırköy	Atatürk Hava Limanı - Yeşilköy (Yeni Bina) Bakırköy-İSTANBUL	40.978154, 28.825253
7	Başakşehir	Başak Mahallesi Akşemsettin Caddesi No:3 Başakşehir Kaymakamlığı Başakşehir/İSTANBUL	41.119384, 28.803283
8	Bayrampaşa	Muratpaşa Mah. Fabrikalar Cad. Sanayi Sok. No:11 34040 Bayrampaşa/İSTANBUL	41.051150, 28.908338
9	Beşiktaş	Yıldız Mahallesi Çırağan Caddesi No:77 PK:34349 Beşiktaş/İSTANBUL	41.043519, 29.012951
10	Beykoz	Gümüşsuyu Mahallesi Şehit Bülent Kocabıyık Cad. Pk.34820 Beykoz/İSTANBUL	41.126736, 29.098358
11	Beylikdüzü	Yakuplu Mah. Hürriyet Bulvarı No:18 Beylikdüzü / İstanbul	40.990917, 28.667880
12	Beyoğlu	Bedrettin Mah. Bahriye Cad. No:2 34440 Beyoğlu/İSTANBUL	41.030878, 28.968217
13	Büyükçekmece	Dizdariye Mahallesi., Enver Paşa Caddesi, Hükümet Konağı A Blok, 34500 Büyükçekmece/İstanbul	41.021066, 28.577333
14	Çatalca	Kaleiçi mah. Münif Sevi Cad. No:1 Çatalca Hükümet Konağı Çatalca/İstanbul	41.144222, 28.460156
15	Çekmeköy	Merkez Mah. Erenler Cad. No:8 Çekmeköy/İSTANBUL	41.032079, 29.170736
16	Esenler	Menderes Mah. Çiğindere Cad. No: 151 Esenler/İstanbul	41.040103, 28.872389
17	Esenyurt	Zafer Mah. Deniz Gezmiş Cad. No:1 Esenyurt-İSTANBUL	41.019484, 28.686866
18	Eyüpsultan	İslambey Mah. Hz. Halit Bulvarı No:26 Eyüpsultan/İSTANBUL	41.046777, 28.930898
19	Fatih	Vatan Caddesi Hükümet Konağı Fatih/İSTANBUL	41.021975, 28.934229
20	Gaziosmanpaşa	Merkez Mahallesi Çukurçeşme Caddesi No:10-12 Gaziosmanpaşa/İSTANBUL	41.058716, 28.911425
21	Güngören	Merkez Mah. Gaziosmanpaşa Cad. No:34-36 Güngören/İstanbul	41.020579, 28.872762
22	Kadıköy	Caferağa Mah. General Asım Gündüz (Bahariye) Cad. Kuzu Kestane Sok. No:1 Kadıköy/İSTANBUL	40.986314, 29.028709
23	Kağıthane	Merkez Mahallesi, Cendere Cd. No:8, 34406 Kağıthane/İstanbul	41.079157, 28.976033
24	Kartal	Karlıktepe Mah. Spor Cad. No:17 Kartal/İSTANBUL	40.892681, 29.192448

Ek 5. (Devamı)

25	Küçükçekmece	Kartaltepe Mah. Süvari Cad. No:19 Küçükçekmece / İstanbul	41.000635, 28.799690
26	Maltepe	Altayçeşme Mah. Oba Çıkması Sok. No:8 Maltepe/İstanbul	40.936617, 29.124148
27	Pendik	Doğu Mahallesi Nevbahar Sokak No:4 Kat:4 Pendik/İSTANBUL	40.882608, 29.244989
28	Sancaktepe	Meclis Mahallesi Atatürk Caddesi No:111 Sancaktepe/İstanbul	41.009185, 29.210822
29	Sarıyer	Ferahevler Mah. Muhtar Cad. No:6 Sarıyer/İstanbul	41.131948, 29.041663
30	Silivri	Yeni Mah. Müjdat Gürsu Cad. No:4 Silivri/İSTANBUL	41.076295, 28.255024
31	Sultanbeyli	Abdurrahmangazi Mahallesi Emir Caddesi No:4 34920 Sultanbeyli/İSTANBUL	40.969693, 29.261140
32	Sultangazi	Uğur Mumcu Mahallesi, Atatürk Blv No:54-58 34040 Sultangazi/İstanbul	41.108567, 28.877392
33	Şile	Balibey Mahallesi, Atatürk Caddesi, No: 69/B Hükümet Konağı, Kat: 2 Şile/ İstanbul	41.169273, 29.613979
34	Şişli	Cumhuriyet Mahallesi Halaskargazi Caddesi No:133 Şişli/İSTANBUL	41.055299, 28.986817
35	Tuzla	Evliya Çelebi Mahallesi Hat Boyu Caddesi No:1 Tuzla / İstanbul	40.845070, 29.298724
36	Ümraniye	Tantavi Mahallesi Egemenlik Caddesi No:16 Ümraniye/İstanbul	41.031943, 29.091056
37	Üsküdar	Mimar Sinan Mahallesi Doktor Fahri Atabey Caddesi No: 21 34672 Üsküdar/İstanbul	41.020520, 29.017981
38	Zeytinburnu	Beştelsiz Mahallesi Profesör Muammer AKSOY Caddesi No:36 Zeytinburnu Hükümet Konağı Zeytinburnu/İSTANBUL	40.994782, 28.904689

EK 6. Mesafe Matrisi

	Depo 1- Türk Kızılay	Depo 2-AFAD	Depo 3- Alibeyköy	Depo 4-Cebeci	Depo 5-Tuzla	Depo 6- Atatürk Havalimanı	Depo 7-Sabiha Gökçen Havalimanı	Depo 8-İstanbul Havalimanı	Depo 9- Hızırhan Havalimanı	Depo 10- Samandıra Hava Üssü	Arnavutköy	Anaşehir	Avclar	Bagclar	Bahcelievler	Bakırköy	Basaksehir	Bayrampaşa	Besiktas	Beykoz	Beşikdüzü	Beyoğlu	Büyükdere	Çatalca	Çekmeköy	Esenler	Esenyurt	Eyüpsultan	Fatih	Gaziosmanpaşa	Güngören	Kadıköy	Kağıthane	Kartal	Küçükçekmece	Maltepe	Pendik	Sancaktepe	Sarıyer	Silivri	Sultanbeyli	Sultangazi	Şile	Şişli	Tuzla	Ümraniye	Üsküdar	Zeytinburnu
Depo 1- Türk Kızılay											77	33,2	73	62,2	61	63,3	77,1	55,6	45,1	47,3	83,2	49,8	85	108	35,6	60,4	80,8	53,3	49,4	55,2	58,7	41	48	25,2	63,1	32	19,6	32,6	56,2	121	19,8	62	58,4	46,9	15,1	36,6	40,5	51,8
Depo 2-AFAD											82,9	36,9	78,3	66,8	63,9	68,5	76	59,5	50	52,3	83,8	55	90,3	114	35,9	65,6	82,6	62,2	54,6	60,4	64,3	46,2	53,3	26,4	68,3	39,4	20,8	30,4	61,4	127	21	67,5	52,5	52,2	16,3	41,9	45,7	57,2
Depo 3-Alibeyköy											25,8	29,5	32,5	15,5	18,5	23,1	19,8	7,6	12,8	22,2	35,4	11,6	39,5	51,4	30	10,5	30,4	17,8	12	7,1	17,3	25,5	6,5	45,1	23,3	35,7	47,5	32,6	15	67,7	41,7	5,8	78,1	9,8	54,3	25,6	24	15,6
Depo 4-Cebeci											15,9	36,5	30,7	12,6	23,4	21	9,7	12,9	22,9	29,3	31,1	21,6	37,8	49,7	37,1	13,1	28,7	14,8	16,7	13,6	17,4	32,5	16,6	52,1	21,2	41,6	53,3	39,7	21,9	66	47,8	4,8	85,2	20,4	61,4	32,6	28,5	20,8
Depo 5-Tuzla											78,8	34,6	68,6	63	54,3	58,9	77,7	56,8	46,1	47,8	74,2	45,5	80,6	115	37	61,8	73	54,7	45	50,7	54,6	42,4	46,4	18,2	58,7	25,5	12,7	34	63,1	128	21,1	68,6	68,4	49,9	7,7	38	37,9	47,6
Depo 6- Atatürk Havalimanı											29,3	31,4	13,9	10	5,2	1,6	18	16,8	23	39,1	19,8	18,4	26,2	47,4	42,2	13,2	17,3	16,4	13,5	17,7	10,3	27,1	20,9	45,1	5,1	35,8	47,6	46,1	31,9	55	46,4	21,2	95,8	21,4	54,4	33,9	28	11
Depo 7-Sabiha Gökçen Havalimanı											78,9	29,5	69,4	57,9	5	59,6	67,1	50,6	41,1	48,4	74,9	46,3	81,4	116	31,9	54,4	73,7	49,9	45,7	51,5	55,4	37,3	44,4	15,3	59,5	23	12,3	28,9	52,5	114	10,6	58	61,5	44,9	14,9	42,2	36,8	48,3
Depo 8-İstanbul Havalimanı											14,5	57	49,3	37,8	43,6	41,3	27,1	38,5	43,4	49,8	51,1	41,9	42,1	33,1	57,5	38,2	46,6	37,3	42,3	37,5	43	53,7	35,2	72,6	40,2	63,3	75	60,2	42,5	55,2	68,3	33	91,5	40,9	81,8	53,1	49	47,5
Depo 9- Hızırhan Havaalanı											24,9	60,9	26,3	36	40,1	37,9	36,5	39,9	51,5	60	23,1	45,4	16,2	13,2	67,8	34,6	19,8	40,5	40,4	40,6	43,1	54,8	47,3	74,6	35,2	65,3	77	70,4	52,8	37,2	77,5	39,6	118	48	83,8	61,4	57,5	44,5
Depo 10- Samandıra Hava Üssü											58,7	18,2	57,2	46,6	45,2	48,1	52,4	41,4	28,9	27,8	67,4	34,8	70	89,6	10,5	46,1	62,4	37,5	34,2	43,8	44	24,8	32,2	15,9	51,4	15,4	18,6	5,2	33,9	103	7,9	43,3	52,2	32,6	25,4	17,5	24,6	37
Arnavutköy	79,6	81	26,7	16,8	82,5	29,4	73	15,7	24,1	58,6		50,6	39,5	26,1	31,9	29,8	13,9	26,4	36,7	43,4	33,8	35,1	28,5	34,4	51,2	26,5	37	30,1	30,2	27,5	30,6	46,7	30,7	66,2	29,9	55,4	67,1	53,8	36	56,5	61,5	19,7	99,3	34,5	78,5	46,8	47,6	34,3
Ataşehir	33,7	35,1	29,4	35,3	32,1	31,9	27,1	53,4	57,2	16,1	49,6		40,5	34,3	27,5	32,3	43,3	23,1	16,4	19	47,4	17,8	53,9	78,3	11,9	26,9	46,2	22,4	18,2	28,3	27,3	10	20,7	18,4	32	7	20,8	15,2	25,1	93,8	15,9	34,2	60,8	21,2	33,1	9,2	11,2	20,8
Avclar	72,7	74,1	31,3	29,6	75,6	12,9	66,1	50,7	27,9	59,4	38,7	40		19,6	15,3	13,3	24,5	26	33,6	48,3	6,6	27,8	13,8	33,9	50,1	25,7	7,6	25,6	22,7	27	20,1	35,7	30,1	53,7	9,7	44,4	56	54,1	40,8	44,5	55	30,6	104	30,6	63	42,5	36,6	20,2
Bagclar	72,4	64,1	16,4	13,2	65,7	10,2	57,7	38,6	37,9	59,4	26,2	30	19,8		4,8	10,6	14,4	10,3	20,6	36,2	25,6	16,3	32,1	46,5	38,8	2,6	24,4	11,3	10,2	11,8	31	25,8	18,8	43,7	8,9	34,4	46,2	46,5	27,6	62	45,1	14,4	92,1	19,4	53	32,5	26,6	8,8
Bahcelievler	60	61,4	19,5	21,7	54,7	5,9	53,4	42,8	39,1	51,1	30,8	27,3	15,2	4,8		6,4	19,3	13,4	19,6	34,4	21,1	15,3	27,6	46,5	37,8	7	18,7	13,2	10,4	14,7	4,6	23	17,7	41	6,4	31,7	43,4	41,4	28,5	56,3	42,3	18,8	91,2	18,4	50,3	29,8	23,9	7,7
Bakırköy	64,7	66,1	22,6	20,9	59,5	2,5	58,1	42	38,3	48,6	30	32	14,5	10,8	6,8		18,5	17,5	23,7	42,4	20,5	19,4	27	45,9	41,6	13,9	19,3	16,8	14,2	18,5	11,6	27,8	21,6	45,7	5,8	36,4	48,1	43	32,3	55,7	47,1	21,9	95,9	22,1	55	34,5	28,6	11,7
Basaksehir	73	74,4	20,1	10,2	75,9	19,4	66,4	26,4	35,8	52	12,7	44	28	15,1	20,8	18,9		19,8	30,1	36,8	28,3	26,2	35,1	46,1	44,6	15,3	26	21,2	34,1	60,9	18,8	45,4	62	47,2	29,4	63,3	54,9	13	92,6	27,9	63,9	40,1	36,5	24,6	21,6			
Bayrampaşa	56,4	57,7	7,4	15,5	59,3	15,9	50,7	40,3	39,1	41,1	28,3	23,6	25,4	10	11,6	16,3	16,8		15,3	29,1	31	9,5	37,4	56,4	31,7	7,9	29,2	3,4	5	2,9	7,5	19,4	11,7	37,3	16,3	28	39,8	37,7	23,2	66,5	38,7	11,1	85	12,3	46,6	26,1	20,2	9
Besiktas	46,4	47,7	16,2	22	43,8	25,4	39,7	40,1	50,8	29	37,9	16,3	35	21,8	21,2	25,8	29,6	15,8		18,8	42	5,5	48,5	72,3	20,8	20,6	40,8	13,1	10,3	13,7	20,1	14,1	8,2	30	22,9	20,7	32,5	24,1	13	77,2	28,6	20,9	74	3,6	39,3	12,5	9,8	18,8
Beykoz	48,7	50	21,8	27,7	49	38,5	42	45,8	59,4	27,7	42	19,7	48	34	34,2	37,4	35,4	28,4	18,2		51,3	24,4	58,1	78	20,2	33,2	48,9	25,1	26,3	26,8	31,8	27,9	19,8	35,2	38,9	25,9	37,7	22,8	17,5	86,2	30,9	26,6	66,1	18,6	44,5	15,8	22,8	31,8
Beşikdüzü	78,8	80,2	32,3	30,8	81,7	19	72,2	51,8	25,6	67,2	35,8	46,1	6	25,7	21,4	19,4	25,4	32,1	39,8	52		33,9	11,1	30,1	56,2	26,6	5,3	31,7	28,8	33,1	26,2	41,8	36,2	59,8	15,8	50,5	62,1	60,2	44,6	39,9	61,1	21,6	108	36,7	69,1	48,6	42,7	26,3
Beyoğlu	52,4	53,8	11,7	20	55,3	19	45,8	38,1	46,6	35,1	35,9	20,5	28,1	16,8	14	19,4	27,7	9,4	5,4	26	36,3		42,7	70,3	26,9	14,2	35,1	7,1	5,7	11,6	13	16,3	6,6	34,2	19,4	24,9	36,7	36,4	17,7	71,5	34,7	18,9	80,1	4	43,5	18,6	16,1	10,1
Büyükdere	86,4	87,7	40,2	38,9	89,3	26,6	79,7	44,8	16,2	75,1	29,1	53,6	14,5	33,2	28,9	27	33,3	39,6	47,2	59,9	11,3	41,5		18,4	63,7	34,5	13,2	39,2	36,3	40,7	33,7	49,4	43,7	67,3	23,3	58	69,4	67,1	52,5	29	68,7	39,5	116	44,3	76,6	56,1	50,2	32,8
Çatalca	111	104	50,3	49,7	110	45,1	99,7	33,6	15,4	85,3	34,4	74,5	33	44,9	47,4	45,5	47,5	50,5	64,9	70,7	29,8	55,4	19,7		78,5	45,3	31,8	51,1	51,1	51,2	51	64,9	57,4	83,5	41,9	74,2	97,5	81,1	63,3	30,7	89,2	50,3	120	59,1	111	73,4	65,7	52,3
Çekmeköy	36,9	38,2	28,2	34,1	37,7	39,4	28,1	52,2	65,5	11,1	48,4	11,7	51,3	40,8	35,2	39,8	41,8	32,6	18,9	17,8	57,3	26,8	61	77,1		34,6	55	27,5	28,7	29,8	34,1	19,4	22,2	21,9	39,8	14,8	25,1	5,8	23,9	92,6	14	33	51,9	23,1	36,5	7,5	14,5	30,3
Esenler	60,7	60,4	12,7	13,9	62	16,1	54,1	38,9	35,3	44,5	26,7	26,3	27,5	2,8	8,5	18,3	15,1	7,4	16,9	32,5	27,8	12,6	34,6	47,2	35,1		25,4	7,6	7,7	8,2	3,1	22,4	15,1	40,1	18,4	30,7	42,4	42,9	25	62,7	41,4	12	88,4	57,7	49,3	26,8	22,9	8,3
Esenyurt	80,8	82,2	29,3	27,9	82,2	19,5	78,6	48,8	22,6	64,3	32,8	48,1	5,5	23,2	21,8	19,8	22,4	28,9	40,2	49	5,4	34,4	11,9	30,8	56,7	23,6		29,4	29,2	30,2	26,6	42,3	36,3	60,3	16,3	51	62,7	59,4	41,6	40,6	64,7	28,6	105	37,2	69,5	28,8	43,2	24,7
Eyüpsultan	54,3	55,6	8,9	18,5	57,2	15,4	47,6	36,5	40,8	38,1	32,2	22,5	24,6	11,8	11,2	15,8	20,7	3,6	12,3	25,4	30,6	5,7	37	56	28,7	10,2	29,4		3,6	3,4	8,7	18,3	8,7	36,3	15,9	27	38,7	32,1	18,7	65,8	36,6	16	82	9,3	49,5	20,4	18	8,3
Fatih	55,4	55	13,6	18	56,6	14,3	48,7	40	39,4	38	30,8	20,9	23,4	10,4	10	14,7	19,3	5,4	13,3	28	29,4	4,7	35,9	51,4	29,8	8,9	28																					

EK 7. TOPLAM TALEP DEĞERLERİ

TALEP VERİLERİ DEĞERLERİ				
Talep Noktası	Su	Yiyecek	İlaç	Toplam
Arnavutköy	437	312	25	774
Ataşehir	700	500	40	1240
Avcılar	700	500	40	1240
Bağcılar	1225	875	70	2170
Bahçelievler	962	687	55	1704
Bakırköy	350	250	20	620
Başakşehir	700	500	40	1240
Bayrampaşa	437	312	25	774
Beşiktaş	262	187	15	464
Beykoz	350	250	20	620
Beylikdüzü	525	375	30	930
Beyoğlu	350	250	20	620
Büyükçekmece	350	250	20	620
Çatalca	87	625	5	717
Çekmeköy	437	312	25	774
Esenler	700	500	40	1240
Esenyurt	1487	1062	85	2634
Eyüpsultan	612	437	35	1084
Fatih	700	500	40	1240
Gaziosmanpaşa	787	562	45	1394
Güngören	437	312	25	774
Kadıköy	787	562	45	1394
Kağıthane	700	500	40	1240
Kartal	787	562	45	1394

EK.7 (Devamı)

Küçükçekmece	1312	937	75	2324
Maltepe	787	562	45	1394
Pendik	1137	812	65	2014
Sancaktepe	700	500	40	1240
Sarıyer	525	375	30	930
Silivri	262	187	15	464
Sultanbeyli	525	375	30	930
Sultangazi	875	625	50	1550
Şile	52	37	3	92
Şişli	437	312	25	774
Tuzla	437	312	25	774
Ümraniye	1137	812	65	2014
Üsküdar	875	625	50	1550
Zeytinburnu	437	312	25	774