



**T.C.
HİTİT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
DIŞ TİCARET VE TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ
ANA BİLİM DALI**

**KÜME KAPSAMA VE P-MEDYAN YÖNTEMLERİYLE AFET
LOJİSTİK DEPO YER SEÇİMİ: ÇORUM İLİ UYGULAMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Mustafa ERKUL

Çorum- 2025

**KÜME KAPSAMA VE P-MEDYAN YÖNTEMLERİYLE AFET LOJİSTİK
DEPO YER SEÇİMİ: ÇORUM İLİ UYGULAMASI**

Mustafa ERKUL

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Dış Ticaret ve Tedarik Zinciri Yönetimi Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

TEZ DANIŞMANI

Doç.Dr. Ömür DEMİRER

Çorum 2025



T.C.
HİTİT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ONAYI

ÖĞRENCİNİN

Adı ve Soyadı : Mustafa ERKUL
Numarası : 220423004
Ana Bilim Dalı : Dış Ticaret ve Tedarik Zinciri Yönetimi ABD
Programı : Dış Ticaret ve Tedarik Zinciri Yönetimi
Danışmanı : Doç. Dr. Ömür DEMİRER
Tez Savunma Tarihi : 27.05.2025 **Saati**: 14:00
Tez Başlığı : Küme Kapsama ve P Medyan Yöntemleriyle Afet Lojistik
Depo Yer Seçimi: Çorum İli Örneği

Hitit Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim Yönetmeliği'nin **9. maddesi** uyarınca, yapılmış olan tez savunma sınavı sonunda adayın tezinin **KABULÜNE OY BİRLİĞİ/OY ÇOKLUĞU** ile karar verilmiştir.

TEZ SAVUNMA SINAV JÜRİSİ		KARAR	
Ünvanı Adı ve Soyadı	Görevi	Kabul	Ret
Prof. Dr. Arzum BÜYÜKKEKLİK	Jüri Başkanı	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Doç. Dr. Ömür DEMİRER	Tez Danışmanı	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Doç. Dr. Ayşe Cansu GÖK KISA	Üye	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Prof. Dr. Osman ÇUBUK
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan ederim.

Mustafa ERKUL

KÜME KAPSAMA VE P-MEDYAN YÖNTEMLERİYLE AFET LOJİSTİK DEPO YER SEÇİMİ: ÇORUM İLİ UYGULAMASI

Mustafa ERKUL

ORCID: 0009-0003-7119-9694

HİTİT ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Yüksek Lisans Tezi

Haziran 2025

ÖZET

Bu çalışmada, afet lojistik depo yer seçimi problemi için iki aşamalı bütünsel bir matematiksel model geliştirilmiştir. Önerilen model, Çorum ili merkez mahallelerinde afet sonrası acil yardım malzemelerinin depolanacağı optimal lokasyonları belirlemek amacıyla uygulanmıştır. İlk aşamada, tüm talep noktalarını (mahalleleri) kapsayacak minimum sayıda afet lojistik deposunun konumlarını belirlemek için küme kapsama modeli kullanılmıştır. İkinci aşamada ise p-medyan modeli uygulanarak, talep noktaları ile depolar arasındaki ağırlıklı toplam mesafe minimize edilmiştir.

Beş farklı kapsama mesafesi (1, 2, 3, 4 ve 5 km) için senaryolar geliştirilmiş ve analiz edilmiştir. Bulgular, kapsama mesafesi arttıkça ihtiyaç duyulan depo sayısının azaldığını göstermiştir. 1 km kapsama mesafesi için 12 depo gerekirken, 5 km için sadece 2 depo yeterli olmaktadır. Bununla birlikte, depo sayısının azalması, talep noktaları ile depolar arasındaki ağırlıklı toplam mesafeyi artırmakta, bu da afet müdahale süresini potansiyel olarak uzatabilmektedir.

Ağırlıklı toplam mesafe değerleri, kapsama mesafesi arttıkça önemli ölçüde yükselmektedir. Senaryo 1'de 84,04 birim olan bu değer, Senaryo 5'te 63.299,59 birime ulaşmaktadır. Çalışma sonuçları, optimum denge noktasının Senaryo 2 (2 km kapsama mesafesi, 8 depo) veya Senaryo 3 (3 km kapsama mesafesi, 5 depo) olabileceğini göstermektedir. Bu senaryolar hem makul sayıda depo içermekte hem de kabul edilebilir bir hizmet seviyesi sunmaktadır.

Geliştirilen bütünsel model, afet lojistik depo yer seçimi problemine çok boyutlu bir yaklaşım sunarak hem kapsama etkinliğini hem de mesafe optimizasyonunu aynı anda ele almaktadır. Çalışma bulgularının, Çorum ili için afet hazırlık planlamasına katkı sağlaması ve benzer orta ölçekli şehirlerde uygulanabilecek bir metodoloji sunması beklenmektedir.

Anahtar kavramlar: Afet Lojistiği, Lojistik Depo Yer Seđimi, Küme Kapsama, P-Medyan, Optimizasyon

Bilim Kodu: 90615



DISASTER LOGISTICS WAREHOUSE LOCATION SELECTION WITH CLUSTER COVERAGE AND P-MEDIAN METHODS: APPLICATION IN ÇORUM PROVINCE

Mustafa ERKUL

ORCID: 0009-0003-7119-9694

HİTİT UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL

Master of Science Thesis

June 2025

ABSTRACT

This study develops a two-stage integrated mathematical model for disaster logistics warehouse location selection. The proposed model is applied to determine the optimal locations for storing emergency relief materials in the central neighborhoods of Çorum province after a disaster. In the first stage, a set covering model is employed to determine the minimum number of disaster logistics warehouses and their locations to cover all demand points (neighborhoods). In the second stage, a p-median model is applied to minimize the weighted total distance between demand points and warehouses.

Five scenarios with different coverage distances (1, 2, 3, 4, and 5 km) are developed and analyzed. The findings show that as the coverage distance increases, the required number of warehouses decreases. While 12 warehouses are needed for a 1 km coverage distance, only 2 warehouses are sufficient for 5 km. However, the reduction in the number of warehouses increases the weighted total distance between demand points and warehouses, potentially extending disaster response time.

The weighted total distance values increase significantly as the coverage distance increases. This value, which is 84.04 units in Scenario 1, reaches 63,299.59 units in Scenario 5. The study results suggest that the optimal balance point could be Scenario 2 (2 km coverage distance, 8 warehouses) or Scenario 3 (3 km coverage distance, 5 warehouses). These scenarios include a reasonable number of warehouses while providing an acceptable level of service.

The developed integrated model presents a multidimensional approach to the disaster logistics warehouse location selection problem by simultaneously addressing both coverage efficiency

and distance optimization. The findings of the study are expected to contribute to disaster preparedness planning for Çorum province and provide a methodology that can be applied in similar medium-sized cities.

Key Terms: Disaster Logistics, Logistics Warehouse Location Selection, Set Covering, P-Median, Optimization

Science Code: 90615



TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında destekleyici yaklaşımları ile süreci doğru yürütmemi sağlayan kendisini tanımak ve beraber çalışmaktan onur duyduğum danışman hocam Doç. Dr. Ömür DEMİRER' e içtenlikle teşekkür ederim.

Beni attığım her adımda destekleyen, bana güvenmekten asla vazgeçmeyen, tükendiğim yerde gücüm olan sevgi, sabır ve emeklerini bir an olsun eksik bırakmayan başta kıymetli annem Hacer ERKUL' a, babam Mehmet ERKUL' a, ağabeyim Ferit ERKUL'a ve kardeşim Nehir ERKUL'a sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa ERKUL



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
TABLolar DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
GİRİŞ.....	1

1. BÖLÜM

KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE LİTERATÜR İNCELEMESİ

1.1. Afet Kavramı	4
1.1.1. Afet nedir?.....	4
1.1.2. Afet türleri	4
1.1.3. Afet yönetimi	6
1.1.4. Zarar azaltma.....	7
1.1.5. Hazırlık.....	7
1.1.6. Müdahale	8
1.1.7. İyileştirme.....	8
1.1.8. Risk yönetimi.....	9
1.1.9. Kriz yönetimi	9
1.2. Dünyada Afet	10
1.3. Türkiye’de Afet	12
1.4. Afet Lojistiği	14
1.4.1. Afet lojistiği aşamaları	14

1.4.2. Afet müdahale süreci lojistik faaliyetleri.....	17
1.4.3. Afet müdahalesinin ardından lojistik faaliyetler	18
1.5. Türkiye’de Afet Lojistiği.....	19
1.6. Lojistik Depo Seçimi	20
1.7. Afet Yönetimi ve Lojistik Depo Yer Seçimi	21
1.8. Küme Kapsama Yöntemi ve Lojistik Depo Yer Seçimine Uygulanması.....	24

2. BÖLÜM

YÖNTEM

2.1. Araştırma Tasarımı	27
2.2. Veri Toplama Süreci	27
2.3. Model Geliştirme	28
2.4. Matematiksel Formülasyon	29
2.5. Kullanılan Yazılım ve Çözüm Algoritmaları	31
2.6. Araştırmada Kullanılan Matematiksel Yöntemler	32
2.6.1. P-Medyan yöntemi	32
2.6.2. Küme kapsama ve p-medyan yöntemlerinin entegrasyonu	32

3.BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Küme Kapsama Modeli Sonuçları	35
3.2. P-Medyan Modeli Sonuçları.....	39
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	45
KAYNAKÇA	49

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
Tablo 1. 1. Afet türleri.....	5
Tablo 1. 2. Dünya’da depremlerden kayıp kişiler	11
Tablo 1. 3. Dünya’da selden kayıp kişiler	12
Tablo 1. 4. Dünya’da Volkanik Patlamarda Kayıp Kişiler	12
Tablo 1. 5. Literatür özeti.....	23
Tablo 3. 1. Mahallelere ait kordinatlar, nüfus verileri ve olası talep miktarları.....	35
Tablo 3. 2. Önerilen bütünleşik modelin aşama-1 için sonuçlar.....	38
Tablo 3. 3. Kapasiteli P-Medyan Modelinin Sonuçları Kapsama Mesafeleri İçin Analizleri	41

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1. 1. Afet yönetim aşamaları (Şahin, 2009)	7
Şekil 1. 2. Afet olay sayılarının afet türlerine göre dağılımları (Gökçe vd., 2008).....	13
Şekil 1. 3. Toplam afetzede sayılarının afet türlerine göre dağılımları (Gökçe vd., 2008).....	13
Şekil 3. 1. Çorum merkez mahalleleri	34
Şekil 3. 2. Mesafe Matrisi Excel Ekran Görüntüsü.....	36
Şekil 3. 3. Karar Değişkenleri Matrisi Excel Ekran Görüntüsü.....	36
Şekil 3. 4. Çözücü Ayarları Excel Ekran Görüntüsü	37
Şekil 3. 5. Şekil3.4 Çözüm Sonuçları Ekran Görüntüsü.....	38
Şekil 3. 6. P-Medyan Modeli Excel Matrisleri Ve Sonuçları Ekran Görüntüsü.....	40
Şekil 3. 7. P-Medyan Modeli Çözücü Ayarları Ekran Görüntüsü.....	40
Şekil 3. 8. Senaryo-1	43
Şekil 3. 9. Senaryo-2	43
Şekil 3. 10.Senorya-3	43

SİMGELER VE KISALTMALAR

AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
AHP	Analitik hiyerarşi yöntemi
ÇKKV	Çok kriterli karar verme yöntemi
CBS	Coğrafi bilgi sistemi
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
TSK	Türk Silahlı Kuvvetleri
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
KAFS	Kuzey Anadolu fay sistemi
ABD	Amerika Birleşik Devletleri

GİRİŞ

Dünya senelerdir olup biten depremler, seller, volkanik patlamalar, fırtınalar ve bulaşıcı hastalıklara sahne olmuştur. Yüzyıllar boyunca gerçekleşen bu afetler oldukça can ve mal kaybına sebep olmuştur (Durdağ vd., 2020). Günümüzde ise doğal afetler geçmiş ile kıyaslandığında daha fazla ölüme, yaralanmalara ve olumsuz sonuçlara sebep olmaktadır.

Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığına göre afet, "İnsan faaliyetlerini durduran, normal hayatı kısıtlayan veya kesintiye uğratan, kayıplar doğuran, etkisi altına aldığı toplumun baş etme kapasitesinin yeterli seviyede olmadığı doğa, insan kaynaklı veya teknolojik olay" olarak tanımlanmaktadır (AFAD, 2014). Son zamanlarda bu tür olayların sayısının ve sıklığının artması sonucunda pek çok toplum afetlerden etkilenmektedir. Başta deprem, su baskını vb. olmak üzere insan yapımı veya doğal afetler nedeniyle her yıl binlerce insan hayatını kaybetmekte ve çok sayıda insan yaralanmaktadır. Farklı tanımları olan afet kavramı genel olarak afetlerin bütünü olarak açıklanmaktadır. Ekonomik, sosyal ve fiziksel kayıplara neden olan, beklenmedik şekilde gelişip normal yaşamı durduran, insanların hayatlarını kaybetmelerine neden olan, kontrol edilemeyen olaylardır. 1980 yılından bu yana hem küreselleşme hem de iklim değişikliğinden kaynaklanan afetlerin artması nedeniyle afet yönetimi son yıllarda giderek önem kazanmıştır. Bu yaklaşımın başarılı olabilmesi için afet lojistiği faaliyetlerine öncelik verilmesi ve bu faaliyetlere odaklanılması büyük önem taşımaktadır (Yeşilli, 2023).

Afet lojistiği, afetlerden etkilenen bireylerin ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla, ihtiyaçların önceden belirlenmesi, uygun noktalarda depolanması ve sonrasında dengeli bir dağıtımın sağlanmasını içeren bir süreçtir (Ofluoglu vd., 2017). Afetlerin sayısının artmasıyla birlikte, afet lojistiği olağanüstü durumlarda gerekli yardım malzemelerinin (gıda, su, ilaç, çadır ve diğer ihtiyaçlar) hızlıca bölgelere ulaştırılmasında hayati bir rol üstlenmektedir. Bu süreç, insan kayıplarını ve acıları en aza indirmeyi hedeflemektedir. Bu bağlamda afet lojistiği, savunmasız kişilerin acılarını hafifletmek amacıyla, üretim noktalarından tüketim alanlarına kadar gıda, malzeme ve ilgili bilgilerin verimli, maliyet açısından uygun bir şekilde taşınması, depolanması ve bu akışın yönetilmesi süreci olarak tanımlanabilir (Ofluoglu vd., 2017). Bu süreç; afet öncesi hazırlık, afet anında müdahale ve afet sonrası toparlanma olmak üzere üç temel aşamadan oluşur.

Afet öncesi hazırlıklar sırasında lojistik depoların stratejik olarak konumlandırılması büyük önem taşır, çünkü afet anında malzeme ve yardımların doğru şekilde dağıtılması hayati rol oynar. Geçmişteki büyük afetlerde yaşanan müdahale zorlukları, afet lojistiğinin ne kadar kritik olduğunu gözler önüne sermiştir (Temiz, 2008). Afet lojistiği, afet sonrası yardımların etkili bir şekilde koordine edilmesi ve dağıtılmasını içeren faaliyetlerin bütünüdür (Barbarosoğlu ve Arda, 2004). Bu süreçler, malzemelerin planlanması, uygulanması ve koordine edilmesini

içerir. Kovacs ve Spens (2012) ifadesine göre afet lojistiğinin üç ana evresi vurgulanmıştır: afet öncesi (hazırlık), afet anında müdahale ve afet sonrası iyileştirme.

Afet anında ve sonrasında lojistik destek faaliyetlerinin kesintisiz yürütülmesi, insani yardım malzemelerinin afetzedelere ulaştırılması açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, dağıtım merkezlerinin stratejik yerleşimi ve etkin planlaması, lojistik süreçlerin hem stratejik hem de operasyonel düzeyde başarılı olmasını sağlar. Bu yerleşim planlaması, niteliksel ve niceliksel faktörlerin bir arada değerlendirilmesini gerektirir (Peker vd., 2016).

Afet lojistik depoları, acil yardım faaliyetlerinin altyapısını oluşturan en önemli unsurlardan biridir. Afetlere karşı hazırlıklı olabilmek için temel ihtiyaç malzemelerinin doğru şekilde stoklanması gereklidir. Depolama hizmetlerinin etkin bir şekilde yürütülmesi için ulaşımın kolay sağlanabileceği, güvenli alanlarda depo kurulması önemlidir. Depoların, hava, kara, demiryolu ve limanlara yakın konumlarda bulunması, afet durumunda hızlı müdahale yapılabilmesi açısından kritik rol oynar (Aydın vd., 2016). Örneğin, Endonezya'daki 2010 volkanik afetinde, depo yerinin uygun kriterlere göre seçilmemesi nedeniyle mağdurlara yardım ulaştırmada sorunlar yaşanmıştır (Sari vd., 2020). Benzer şekilde, Türkiye'de de afet hazırlık sisteminin geliştirilmesi için doğru modellere ihtiyaç duyulmaktadır (Polat, 2022).

Afet lojistiği ve yardım dağıtımı, etkili bir afet müdahalesinin kritik bileşenleridir. Türkiye'nin geçmiş deprem deneyimleri, afet yönetimi ve müdahale sistemlerinin sürekli iyileştirilmesi gerektiğini göstermiştir (Usta ve Onat, 2022). Özellikle hızlı hareket eden insani yardım malzemelerinin yönetimi, afet lojistiğinde önemli bir zorluk olarak karşımıza çıkmaktadır (Annisa ve Kurniawan, 2024).

Çorum, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan, tarihi ve kültürel zenginlikleriyle dikkat çeken bir ildir. 528.351 nüfusa sahip olan Çorum, 12.820 km²'lik yüzölçümüyle Türkiye'nin orta büyüklükteki illeri arasında yer alır (TUİK, 2023). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün Türkiye Diri Fay Haritası'na göre Çorum, ikinci ve üçüncü derece diri fay hatları arasında yer almaktadır (MTA, 2024). Çorum ili, jeolojik yapısı ve iklim özellikleri nedeniyle deprem, meteorolojik olaylar, iklim değişikliği kaynaklı afetler, sel-taşkın, kaya düşmesi ve heyelan gibi afetler açısından yüksek riskli bölgeler arasında yer almaktadır. Özellikle Kuzey Anadolu Fay Sistemi (KAFS) üzerinde tarihsel ve aletsel dönemlerde meydana gelen depremler ilimizi etkilemiştir. Aletsel dönemde, 26 Kasım 1943 tarihinde gerçekleşen Tosya-Ladik depremi (Mw=7.2) ilimizde can ve mal kaybına neden olan en büyük depremdir. Ayrıca, 14 Ağustos 1996'da meydana gelen Salhançayı depremleri (Ml=5.4 ve 5.2) de Çorum ve Amasya illerinde hasara yol açmıştır (T.C. Çorum Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, 2021, s. 57).

Bu çalışmanın amacı, Çorum ilinin merkez mahallelerinde kurulacak lojistik depolarının yerlerinin belirlenmesi yoluyla, afetzedelere ihtiyaç duydukları acil yardım malzemelerinin en kısa sürede ve en etkin şekilde ulaştırılmasını sağlamaktır. Araştırma, deprem sonrası acil

yardım malzemelerinin depolanacağı en uygun lojistik depo konumlarını tespit etmek için küme kapsama ve p-medyan yöntemlerini entegre eden bir matematiksel model önermektedir. Bu çalışma, Çorum İli düzeyinde daha önce yapılmamış olması nedeniyle özgün bir nitelik taşımaktadır. Çalışmanın bulguları, Çorum İli için afet yönetimi ve lojistiği alanında politika yapıcılara ve literatüre önemli katkılar sunacaktır.

Çalışmanın ilk bölümünde, literatürde afet lojistiği ve depo yer seçimi üzerine yapılan çalışmalar incelenerek, bu alanda kullanılan küme kapsama ve p-medyan yöntemlerinin temel prensipleri ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. İkinci bölümde, araştırma modeli ve veri toplama süreci açıklanmakta, Çorum İli merkez mahallelerine ait demografik, coğrafi ve afet riski verileri kullanılarak her iki yöntemin entegrasyonu detaylandırılmaktadır. Üçüncü bölümde, elde edilen bulgular ve analiz sonuçları sunulmakta, küme kapsama ve p-medyan yöntemlerinin birlikte kullanılmasıyla ortaya çıkan sonuçlar değerlendirilmekte, lojistik depo yer seçimi açısından bu yöntemlerin etkinliği tartışılmaktadır. Son bölümde ise, elde edilen bulgular ışığında genel sonuçlar ve öneriler sunularak, gelecekte yapılabilecek araştırmalar ve uygulamalara yönelik tavsiyeler geliştirilmektedir.

1. BÖLÜM

KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE LİTERATÜR İNCELEMESİ

1.1. Afet Kavramı

1.1.1. Afet nedir?

Afet, çeşitli kurum ve kuruluşların işbirliğini gerektiren doğal, teknolojik ve insan kaynaklı olayların birleşimidir. Fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplara yol açmakta, insan haklarını etkilemekte ve normal yaşamı ve faaliyetleri aksatmaktadır. Bu olaylar arasında doğal olarak meydana gelen deprem, su baskını, yanardağ patlaması gibi olayların "doğal afet" olarak kabul edilmesi ve "afet" olarak sınıflandırılabilmesi için insan can ve mal kaybıyla sonuçlanması gerekir. Bir afetin ciddiyeti genellikle kaybedilen canların sayısı, meydana gelen yaralanmalar, binalarda ve altyapıda meydana gelen hasar ve olayın toplum ve ekonomi üzerindeki etkisi ile değerlendirilir. Bu farklı düşüncelerin en önemli ve temelini insan hayatı olduğu göz önüne alındığında, kamuoyu afetin ciddiyetini, yol açtığı can kaybı ve yaralanmaların boyutuna göre değerlendirme eğilimindedir (Erkal ve Değerliyurt 2009).

1.1.2. Afet türleri

Afetlerin gerçekleşmesine sebebiyet veren birden çok neden vardır, afetler iki sınıfa ayrılmaktadır bunlar; doğal afetler ve doğal olmayan afetlerdir (Kalkınma Bakanlığı, 2014).

1.1.2.1. Doğal Afetler

Tanyaş'ın (2013) ifadesine göre doğal afetler, doğa olayları neticesinde ortaya çıkan olaylardır. Dünya çapındaki doğal afetleri incelediğimizde bunların büyük çoğunluğunun meteorolojik olaylar tarafından tetiklendiğini görüyoruz. Doğal afetlerin doğası ve önemi bir coğrafi bölgeden diğerine farklılık göstermektedir. Meteorolojik temeli olan Türkiye'de en sık görülen doğal afetler; sel, taşkın, dolu, orman yangınları, şiddetli yağış, kuraklık, kuvvetli rüzgar, çığ, don, yıldırım, fırtına ve kardır.

1.1.2.2. Doğal Olmayan Afetler

Doğal olmayan afetler; insan kaynaklı savaşlar, iç çatışmalar, terör eylemleri, kitlesel göçler ve kötü planlama ve uygulamadan kaynaklanan olaylardır. İnsan kaynaklı afetler ya insanın ihmalden ya da kasıtlı eylemlerinden kaynaklanır. Esas itibarıyla bunlar, doğal olayların tetiklemediği, insan eylemlerinin ve dikkatsizliğinin doğrudan sonucu olarak ortaya çıkan

felaketlerdir. Bu felaketler, malların yok olması ve can kaybıyla sonuçlanmaktadır. Afetler; iklimatik afetler, sosyal afetler, teknolojik afetler ve biyolojik afetler olarak sınıflandırılabilir (Temiz, 2018).

Tablo 1. 1. Afet türleri (Temiz, 2018).

JEOPOLİTİK AFETLER	Deprem, heyelan, volkanik patlamalar, kaya düşmesi, tsunami
KLİMATİK AFETLER	Sıcak dalgası, soğuk dalgası, kuraklık, dolu, hortum, fırtına, sel-su baskını, çığ, tipi, buzlanma, asit yağmurları, sis, hava kirliliği, orman yangınları, yıldırım
BİYOLOJİK AFETLER	Erozyon, orman yangınları, salgınlar, böcek istilası
SOSYAL AFETLER	Yangınlar, savaşlar, terör saldırıları, göçler
TEKNOLOJİK AFETLER	Maden kazaları, nükleer santral kazaları, kimyasal kazalar, endüstriyel kazalar, uçak, demiryolu ve gemi kazaları

1.1.2.3. Meydana Geliş Hızına Göre Afetler

Meydana geliş hızlarına göre afetler incelendiğinde ani ve yavaş gelişen afetler olarak iki ana gruba ayırmak mümkündür. Ani gelişen afetlere örnek olarak deprem, çığ, kaya düşmesi gibi anlık gelişen afetler olarak sıralanabilirken bu tür afetlerin başlangıç zamanı kesin ve net olarak bilinmemektedir. Afete maruz kalan insanların kendilerini bir anda bu durumun içerisinde bulmaları uyarı ve tahliye sistemlerinin işe yaramasını güçleştirmektedir. Bundan dolayı ölüm ve yaralanmaların ve maddi kayıpların diğer afetlerle kıyaslandığında daha yüksek olması kaçınılmazdır. İklim değişimleri, yalanan salgın hastalıklar, erozyon ve kuraklık gibi afetler ise yavaş gelişen afetler olarak bilinmektedir. Bu afetlere bakıldığında ilerlemesi, başlaması ve gerçekleşmesi zaman aldığından risk azaltıcı, koruyucu ve önlemeye yönelik tedbirler daha kolay alınmaktadır (Yeşilli, 2023). Yeri ve zamanı net olarak bilinmeyen afetler, farklı bölgelerde farklı biçimlerde insanoğlu için çeşitli tehdit unsurları oluşturmaktadırlar. Patlamalar, deprem, sel, kuraklık ve salgın hastalıklar gibi bir çok afet bir anda ve bir işaret olmaksızın ortaya çıkarken bazı zamanlarda ise oluşumu ve etkileri günler veya haftalar sürerek gerçekleşmektedirler (Kadioğlu ve Özdamar 2008).

1.1.2.4. Kökenlerine Göre Afetler

Ergünay'ın (2009) ifadesine göre kökenlerine göre afetler jeofizik kökenli, teknolojik kökenli, meteorolojik kökenli, insan kökenli afetler olarak ayrılmaktadırlar. Jeofizik kökenli afetler; heyelanlar, depremler, volkan patlamaları ve kaya düşmeleri örnek olarak verilebilir. Meteorolojik ve insan kökenli afetlere bakıldığında kimyasal kazalar, evre kirlenmeleri, yangınlar, terör olayları veya nükleer kazalar örnek olarak verilebilir. Temel sebebi insan kaynaklı olan çevreye ve topluma zararı dokunan afet türleridir. İnsan kaynaklı afetler, öznesizlik, ihmâl gibi insani özelliklerin neticesinde ortaya çıkmaktadırlar (Kadioğlu, 2011).

1.1.3. Afet yönetimi

Disiplinli bir çalışma gerektiren afet yönetimi, süreklilik arz etmekle birlikte tüm süreçlerin detaylı bir şekilde planlanarak görevlerin en etkin dağıtılmasıyla mümkün olmaktadır (Durdağ vd., 2020). İnsanoğlu; bilgi ve teknoloji açısından mevcut seviyesine rağmen, doğal afetlerin; depremler, kuraklıklar, volkanik patlamalar ve fırtınalar gibi, oluşumu üzerinde herhangi bir kontrol sağlayamamaktadır. Bu afetlerin önlenmesi konusunda insanın yapabileceği şeyler oldukça sınırlıdır. Günümüzde ve gelecekte, bu afetlerle başa çıkmanın en etkili yolu, afetlerin etkilerini en aza indirmek amacıyla araştırmalar yapmak, çeşitli planlar oluşturmak ve bunları uygulamaktır. Bu bağlamda, insanların çevrelerinde meydana gelen doğal olayları anlamaları, bu olayların nedenlerini detaylı bir şekilde öğrenmeleri ve bu tür olaylar tekrar ettiğinde etkilenme düzeylerini azaltmalarına yönelik yapılan tüm çalışmalar "Afet Yönetimi" olarak adlandırılmaktadır (Değerliyurt, 2009).

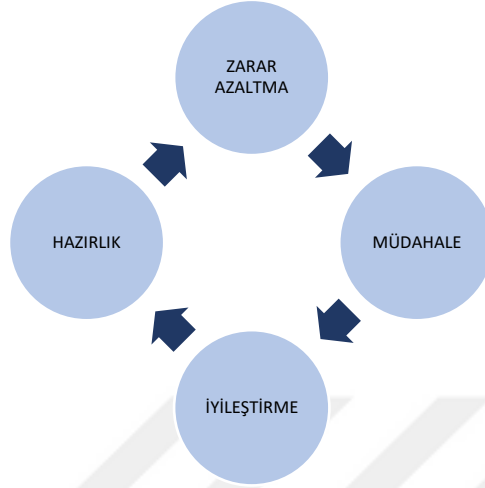
1.1.3.1. Afet Yönetimi Döngüsü

Afet yönetimi döngüsü olarak adlandırılan kavram afetin öncesi, sırası ve sonrasını kapsamaktadır. Afet yönetim sisteminde yer alan risk yönetimi süreci, afetlerin meydana gelmeden önce olası zararlarını en aza indirmeye yönelik olarak, erken uyarı ve hazırlık aşamalarını kapsamaktadır. Afet sonrası süreçte ise iyileştirme, etki analizi, müdahale ve yeniden inşa gibi kısımlardan oluşur. Risk doğru bir biçimde yönetilmez ise afette kriz yönetiminin başarılı bir şekilde sürdürülmesi olanaksızdır (Kadioğlu ve Özdamar, 2008).

1.1.3.2. Afet Yönetimi Aşamaları

Afet yönetimi; dört aşamadan oluşur: zarar azaltma, hazırlık, müdahale ve iyileştirme (Şekil 1.2). Bu aşamalara afet yönetim döngüsü denir ve bu aşamalar birbirinden kesin sınırlarla ayrılmamaktadır. Bir aşamadaki faaliyetlerin verimliliği, bir sonraki aşamanın etkinliğini

doğrudan etkiler. Bu nedenle, afetlerin en az hasarla atlatılabilmesi için her aşamanın titizlikle ve etkili bir şekilde uygulanması büyük önem taşır (Şahin, 2009).



Şekil 1. 1. Afet yönetim aşamaları (Şahin, 2009)

1.1.4. Zarar azaltma

Afetlerin önlenmesi veya büyük zararlardan kaçınılması amacıyla alınması gereken tüm önlemler ve yapılan çalışmalar bu kapsamda yer alır. Bu çalışmalar, çeşitli birimlerin ve çalışma alanlarının belirli bir amaca yönelik olarak gerçekleştirdiği uzun vadeli etkinlikleri içerir (Şahin, 2009). Tüm aşamalardaki risk azaltma faaliyetlerinin amacı şunlardır:

- Toplumun güvenliğini, çeşitli kaynakları, kalkınmayı ve genel refahı korumak,
- Afet müdahale ve iyileştirme faaliyetlerinin mali yükünü azaltmak.

Bu nedenle, risk azaltma aşamasında yapılan çalışmalar, diğer aşamalardan hem kavramsal hem de uygulama biçimi açısından belirgin şekilde farklıdır. Bu çalışmalar, birçok kurum ve kuruluşun, çeşitli disiplinlerin ortak bir hedef doğrultusunda iş birliği yapmasını gerektiren, bireylerle doğrudan ilişkili ve uzun vadeli faaliyetlerdir. Dolayısıyla, bu süreç tüm bireyleri kapsar ve toplumsal katkı ve çaba gerektirir (Kadıoğlu, 2011).

1.1.5. Hazırlık

Bu aşama, afet ve acil durumlarda etkili bir müdahale sağlamak amacıyla afet gerçekleşmeden önce gerçekleştirilen çeşitli hazırlık çalışmalarını ifade eder. Bu çalışmalar, afetlerin etkilerini minimize etmek ve müdahaleyi daha verimli hale getirmek için önceden yapılan planlamalar ve uygulamalardır. Hazırlık aşaması, afetler sonrası ortaya çıkabilecek tıbbi, barınma ve

tüketim ihtiyaçlarını karşılamak için malzeme depolama ve sevk etme süreçlerinin planlanmasını ve uygulanmasını içerir. Ayrıca, ihtiyaç duyulan ekipmanların saklandığı lojistik depoların seçilmesi de bu aşamanın bir parçasıdır. Bu nedenle, hazırlık aşaması, afetleri ve olası etkilerini önlemek, müdahaleyi etkin hale getirmek ve afet sonrası iyileştirmeyi desteklemek için yapılan tüm çalışmalar, planlamalar ve düzenlemeleri kapsar (Temiz, 2018).

1.1.6. Müdahale

Müdahale aşaması, afet olayının ardından, afetin şiddetine bağlı olarak belirlenen bir zaman diliminde yürütülen acil müdahale faaliyetlerini kapsar. Bu aşamada yapılması gerekenler şunlardır:

- Müdahalede görev alacak kişilerin belirlenmesi ve güvenli alanlara sevk edilmesi,
- Kişilerin barındırılması ve gerekli bilgilerin aktarılması,
- Arama-kurtarma çalışmalarının yürütülmesi,
- Temel yaşam ihtiyaçlarının karşılanması,
- Sağlıkla ilgili yardım sağlanması,
- Hasar tespiti yapılması,
- Zarar azaltma faaliyetlerinin belirlenmesi ve uygulanması,
- Alan dışından gerekli desteklerin sağlanması.

Bu faaliyetler, afet sonrası etkili ve koordineli bir müdahale sağlamak için kritik öneme sahiptir. Müdahale aşamasındaki tüm faaliyetler, kaynakların en hızlı ve verimli şekilde ihtiyaç duyulan alanlarda kullanılması hedefini güder. Bu nedenle, etkin bir müdahale sağlamak için sağlam bir planlama ve yönlendirme gereklidir (Kadioğlu, 2011).

1.1.7. İyileştirme

Müdahale sonrasında, esas amaç sadece afetten etkilenen canlılara destek sağlamak değil, aynı zamanda ekonomik toparlanmayı sağlamak, altyapıyı yeniden inşa etmek, sanayi ve ticareti canlandırmak, toplumu bilgilendirmek ve sosyal ile psikolojik destek hizmetleri sunmaktır. Bu hedeflerin tamamı, bireylerin gelecekteki afetlere karşı daha dirençli hale gelmelerini sağlamayı amaçlar. Afet sonrası kritik durumlarla ilgili sorumlulukların yerine getirilmesinin ardından, toplumu en kısa sürede afetten önceki yaşam standartlarına döndürmek önemli bir süreçtir. Bu sürecin mümkün olduğunca kısaltılması, iyileştirme faaliyetlerinin temel amacıdır (Gökçe ve Tetik 2012). İyileştirme aşamasında, ekonomik ve sosyal faaliyetlerin en az düzeyde bile olsa devam etmesini sağlamak temel hedeflerden biridir. Bu evrede, etkili yeniden

yapılandırmanın sağlanması için haberleşme ihtiyaçlarının karşılanması, hasar gören ulaşım altyapısının onarılması, eğitimin yeniden başlaması ve uzun süreli geçici barınma gibi faaliyetler, iyileştirme çalışmalarına örnek olarak gösterilebilir (Temiz, 2018).

1.1.8. Risk yönetimi

Afet önceisinde gerçekleşme olasılığı olan riskleri gerçekleşmeden öngörüp buna uygun bir biçimde tedbir alınmasına ve buna uygun bir şekilde yapılan yönetime risk yönetimi denmektedir (Sipahioplu, 2002).

Afet tehlikesi ve risklerinin önlenmesi, büyük kayıpları engellemek için gereken tüm önlemler ve faaliyetler, genellikle zarar azaltma aşamasında gerçekleştirilmelidir. Bu aşama, pratikte, iyileştirme veya yeniden inşa süreçleriyle birlikte başlar ve yeni bir afet meydana gelene kadar devam eder. Risk yönetim süreci 3 evre olmaktadır bunlar (Yeşilli, 2023);

- **Risk Azaltma:** Olası riskleri önceden belirleyip, bu risklere karşı uygun önlemler olarak yapılan -uygulamalardır. Bu süreç, tahmin edilen riskleri en aza indirmek amacıyla yapılan her türlü önleyici çalışmayı kapsar.
- **Hazırlık:** Afetlerde hazırlık aşaması, önceki afetlerden elde edilen dersler ve gelecekte yaşanabilecek riskler üzerine yapılan tahminler doğrultusunda gerçekleştirilen tüm faaliyetleri kapsar. Bu aşama, olası riskleri öngörerek ve uygun önlemler olarak afetlere karşı hazırlıklı olmayı hedefler.
- **Tahmin ve Erken Uyarı:** Afetlerin etkilerini minimize etmek için tahmin ve erken uyarı sistemleri kritik bir rol oynar. Bu süreç, yaşanılacak yerin coğrafi konumu ve potansiyel afet riskleri dikkate alınarak yapılan tahminler ve sağlanan erken uyarılardan oluşur. Bu sayede, afetlerin olası etkilerine karşı önceden hazırlık yapılabilir. Bu teknikler, çeşitli kurum ve kuruluşların ortak bir hedef doğrultusunda uzun vadeli işbirliği gerektiren çalışmalardır. Bu nedenle, toplumun tüm kesimlerini kapsar ve etkili olabilmesi için toplumsal çaba ve katkıyı şart kılar.

1.1.9. Kriz yönetimi

Afet sonrası evre, afetin ardından meydana gelen kayıpların ve etkilerin yönetilmesi sürecidir. Bu aşama, afetin getirdiği sonuçlarla başa çıkabilmek için yapılan tüm faaliyetleri kapsar. Bu faaliyetler, kayıpların üstesinden gelinmesi ve toparlanma sürecinin sağlıklı bir şekilde yürütülmesi amacıyla yürütülür (Kadıoğlu, 2011). Kriz yönetiminin 4 ana evrede ele alınması gerekmektedir.

- Etki ve İhtiyaç Analizi: Afetler sonrası toplumlar genellikle çeşitli gereksinimlerle karşılaşır. Bu aşamada, afetin etkileri ve ortaya çıkan ihtiyaçlar detaylı bir şekilde belirlenir ve değerlendirilir. Bu tespitler, toplumun karşılaştığı zorlukları anlamak ve uygun destek sağlayabilmek için önemlidir (Kadıoğlu, 2011).
- Müdahale: Afet anında potansiyel zararları azaltmak için ekiplerin koordineli bir şekilde çalışması, araç ve gereçlerin etkin kullanımını ve etkili iletişim sağlanmasını ifade eder. Bu aşamanın amacı, afet meydana gelir gelmez yerinde hızlı ve doğru bir müdahaleyle mümkün olan en kısa sürede daha fazla kişiye ulaşmak, yardım etmek ve gerekli malzeme ve ihtiyaçları karşılamaktır (Kadıoğlu, 2011).
- İyileştirme: Afetler sonrasında meydana gelen kayıpların giderilmesi ve zararın onarılması sürecidir. Bu aşamada hem maddi hem de manevi kayıplar ele alınır. Etkilenen kişilerin eski yaşamlarına dönebilmesi için gerekli ihtiyaçların karşılanması ve etkili uygulamaların gerçekleştirilmesi sağlanır. Ayrıca, gelecekte benzer afetlerin etkilerini azaltmak ve daha güvenli yaşam alanları oluşturmak amacıyla alınan önlemler ve yapılan düzenlemeleri içerir (Ergünay, 2009).
- Yeniden İnşa: Afet sonrası hasar gören ve zarar gören yapıların yerlerine daha dayanıklı ve güvenli yapılar inşa edilmesi sürecini ifade eder. Afet sonrası yapılacak tüm faaliyetler, önceki süreçlerin değerlendirilmesiyle bir adım ileriye taşınarak gerçekleştirilmelidir. Yeniden inşa sürecinin temel amacı, afetten etkilenen yapılar ve tesislerdeki hasarları onarmak, toplumun sosyal, maddi ve manevi bütünlüğünü koruyarak desteklemektir (Ergünay, 2009).

1.2. Dünyada Afet

Son yıllarda dünya genelinde meydana gelen afetler nedeniyle yaklaşık 3 milyon kişinin yaşamı sona ermiş ve maddi kayıplar oldukça ağır olmuştur. Bu afetlerle başa çıkmak için yıllık ortalama 6 milyon dolarlık bir yatırım yapılmaktadır (Birleşmiş Milletler Afet Risk Azaltma Ofisi (UNDRR), 2015). Ayrıca, her yıl afetler nedeniyle yaklaşık 15.000 kişi hayatını kaybetmektedir (Ersoy, 2006). Dünya genelinde etkili olan doğal afetler, şiddetleri, oluşum zamanları ve etkileri açısından sınıflandırıldığında, deprem, kuraklık, tropikal siklonlar, bölgesel seller ve taşkınlar ön sıralarda yer almaktadır. Büyük şehirler, milyonlarca insanın yaşadığı yerler olduğundan doğal afetlerden en fazla etkilenen bölgeleri oluşturmaktadırlar. Nüfus ve ekonomik faaliyetlerin yoğun olduğu bölgelerde meydana gelen doğal afetler, genellikle salgınlara, paniğe ve krizlere yol açmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde ise bu etkiler daha da ağır olabilir. Afetler nedeniyle gelişmekte olan ülkelerde ölüm oranları daha yüksektir. Bu rapor, afetlerin neden olduğu ekonomik kayıpların 1998 ile 2017 yılları arasında toplamda 2.908 trilyon dolar olduğunu ve bu kayıpların %77'sinin aşırı hava olaylarına bağlı olduğunu belirtmektedir (Birleşmiş Milletler Afet Risk Azaltma Ofisi (UNDRR), 2015). Bu maddi zararın

büyük bir kısmı ise 125 milyar ABD doları değerindeki Katrina kasırgası tarafından meydana gelmiştir (Temiz, 2008).

Tablo 1. 2. Dünya’da depremlerden ölen kişiler (Temiz, 2018)

DEPREMLER	KAYIP (KİŞİ)
Çin (1556)	850.000
Hindistan (1737)	300.000
Çin (1976)	242.000
Peru (1970)	70.000
İran (1990)	50.000
İran (1978)	25.000
Guatemala (1976)	23.000
Ermenistan (1988)	25.000
Türkiye (1999)	20.000
Hindistan (2001)	20.000
İran (2003)	40.000

Tarihsel olarak dünyanın farklı bölgelerinde meydana gelen büyük depremlerin neden olduğu can kayıplarını göstermektedir. Çin, Hindistan, İran ve Türkiye gibi ülkelerde yaşanan bu depremler, afetlerin insan yaşamı üzerindeki yıkıcı etkilerini çarpıcı biçimde ortaya koymaktadır. Özellikle 1556 yılında Çin’de meydana gelen ve yaklaşık 850.000 kişinin hayatını kaybettiği deprem, afetlere karşı hazırlıklı olmanın ne denli önemli olduğunu vurgulamaktadır.

Bu tür büyük ölçekli afetlerde afet lojistiği, yalnızca olay sonrası müdahaleyi değil, aynı zamanda afet öncesi hazırlık, risk analizi ve kaynak planlamasını da içeren hayati bir süreçtir. Afet lojistiğinin zamanında ve etkili bir şekilde işletilememesi, can kayıplarının ve maddi zararların artmasına neden olabilmektedir. Tablo, afet lojistiği açısından değerlendirildiğinde, hızlı müdahale kapasitesi, arama-kurtarma ekiplerinin koordinasyonu, tıbbi destek, barınma ve gıda temini gibi unsurların ne kadar kritik olduğunu gözler önüne sermektedir.

Özellikle yapılaşma kalitesi düşük, nüfus yoğunluğu yüksek ve afet bilinci zayıf bölgelerde, afet lojistiğinin planlı ve güçlü bir şekilde organize edilmemesi durumunda ölümlü sonuçların

katlanarak arttığı görülmektedir. Dolayısıyla afet lojistiği sadece müdahale değil, afet öncesi ve sonrası tüm süreçleri kapsayan bütüncül bir yaklaşımla ele alınmalıdır.

Tablo 1. 3. Dünya’da selden ölen kişiler (Temiz, 2018)

SELLER	KAYIP (KİŞİ)
Bangladeş (1988)	5.000
Filipinler (1991)	3.000
Güney Kore (1997)	1.265
Tayland (1988)	1.000
Hindistan (1998)	1.000
Türkiye (1998)	120

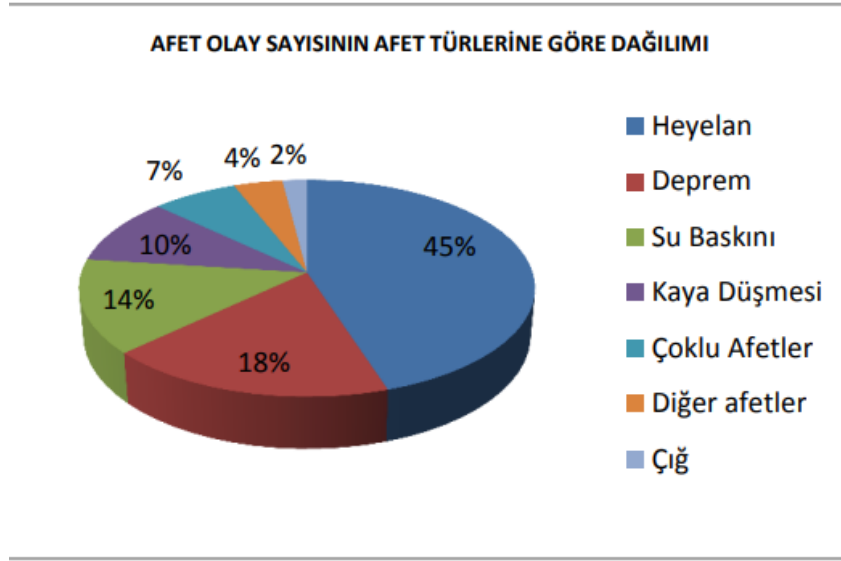
Tablo 1. 4. Dünya’da Volkanik Patlamarda ölen Kişiler (Temiz, 2018)

VOLKANİK PATLAMALAR	KAYIP (KİŞİ)
ABD (1980)	57
Kolombiya (1985)	25.000
Filipinler (1991)	800
Endonezya (1883)	36.000
Endonezya (1815)	92.000

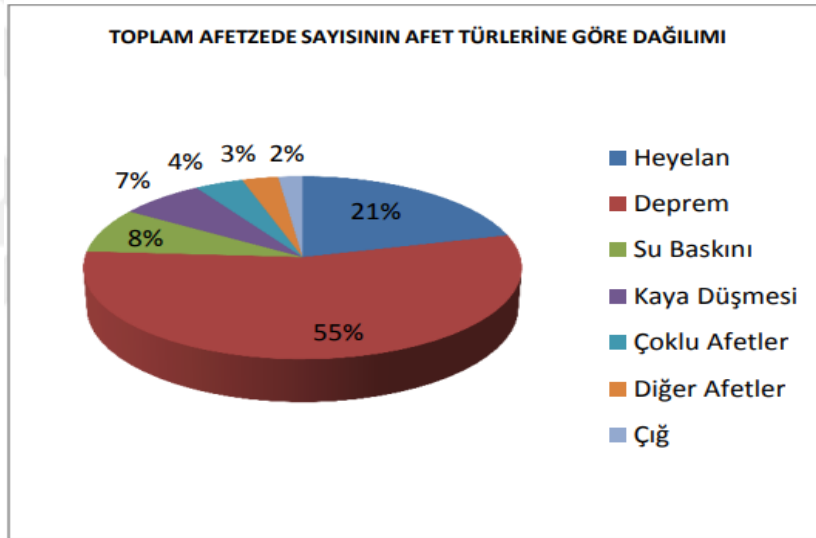
1.3. Türkiye’de Afet

Son yüzyılda ülkemizde birçok doğa kaynaklı afet meydana gelmiş ve bu durum hem can hem de mal kaybına yol açmıştır. Türkiye'nin coğrafi konumu, Asya, Avrupa ve Afrika kıtalarının kesişim noktasında yer alması nedeniyle, eski kara kütlelerinin fiziksel özellikleri açısından doğal afetlerin sıkça yaşandığı bir bölgede bulunmaktadır. Özellikle aktif deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunan Türkiye, tarih boyunca birçok deprem yaşamıştır. Bunun yanı sıra, orman yangınları, çığ, heyelan, sel ve su baskınları gibi çeşitli doğal afetler de görülmektedir. Ülkemizin ormanlarının tahrip edilmesi, zamanla şiddetli erozyonlara ve önemli kayıplara neden olmaktadır (Yaylacı, 2015).

Afet olaylarının sayıları ve afetlere göre dağılımı Şekil 1.3'te, afetlerde sayılarının afet türlerine göre dağılımları ise Şekil 1.4'te verilmiştir.



Şekil 1. 2. Afet olay sayılarının afet türlerine göre dağılımları (Gökçe vd., 2008).



Şekil 1. 3. Toplam afetzede sayılarının afet türlerine göre dağılımları (Gökçe vd., 2008).

Ülkemizde meydana gelen afetler zararları yönünden kıyaslanırsa %55'i deprem, %21'i heyelan, %8'i su baskını, %7'si kaya düşmesi ve %2'si ise çığ kaynaklıdır. Tüm afet olaylarından yaklaşık 284.996 afetzede etkilenmiştir. Ülkemizdeki yerleşim alanlarının yaklaşık %50'si en az bir afet olayına maruz kalmış ya da kalmaktadır. Kocaeli, Erzurum, Bingöl, Sakarya, Düzce, Van, Yalova, Muş, Adana ve Diyarbakır afetlerden en çok etkilenen illerdir. Hem şehirlerin hem de ilçelerin, afetzedeler bazında afet olaylarından etkilenme derecelerine bakıldığında oranların depremler tarafından belirlendiği anlaşılmaktadır (Gökçe vd., 2008).

Ülkemizde gerçekleşen afet türlerinin zarar yönünden kıyaslanmasına bakıldığında; %55' lik bir bölümü deprem, %8' lik kısmı su baskınları, %7 'si kaya düşmesi %21'lik kısmı heyalan ve %2'si çığ kaynaklı olmaktadır. Tüm bu afet olaylarından ortalama 284.997 afetzede etkilenmiştir. Ülkemiz yerleşim alanları dikkate alındığında yaklaşık %50'lik bir kısmı en az bir afet türünden etkilenmiş veya etkilenmektedir. Erzurum, Bingöl, Düzce, Sakarya, Van, Kocaeli, Muş, Diyarbakır, Adana en çok afetlerden etkilenen iller arasındadır. İl ve ilçelerin afetzedeler bazında bakıldığında etkilenme derece oranlarını depremlerin belirlediği anlaşılmaktadır (Gökçe vd., 2008).

1.4. Afet Lojistiği

Afet lojistiği; acil durumlarda gerekli olan ekipmanlar, yiyecek ve arama kurtarma ekiplerinin ihtiyaç bölgelerine hızlı bir şekilde ulaşmasını sağlamayı; aynı zamanda afetzedeleri afet alanından tahliye edip sağlık tesislerine yönlendirmeyi kapsayan bir dizi faaliyetler bütünüdür. Bu süreç, afet sonrası yardımların etkili bir şekilde koordine edilmesi ve dağıtılmasını da içerir (Barbarosoglu, Arda, 2004). Afet lojistiği, özellikle afetzedelerin ihtiyaçlarını zamanında ve bulundukları yerde karşılayabilmek amacıyla malzemelerin ve bu malzemelere ilişkin verilerin saklanması; tedarik noktalarından talep edilen son noktaya kadar verimli bir şekilde taşınmasını sağlayan süreçleri içerir (Temiz, 2008). Bu süreçler, malzemelerin planlanması, uygulanması ve koordine edilmesini kapsar ve böylece afet lojistiği oluşturulur (Temiz, 2008).

Afet lojistiği aşamalarının:

- Afet öncesinde hazırlık kısmında lojistik faaliyetleri,
- Afet müdahale süreci lojistik faaliyetleri,
- Müdahale ardından lojistik faaliyetler,

olmak üzere üç ana kısımdan değerlendirildiği söylenebilir (Temiz, 2008).

1.4.1. Afet lojistiği aşamaları

Afet lojistiği aşamaları, afetlerin yaşam döngüsünün farklı evrelerindeki lojistik faaliyetleri kapsayan sistematik bir yapıya sahiptir. Her bir aşama, kendine özgü hedefleri, zorlukları ve gereksinimleri olan bütünleşik bir sürecin parçasıdır. Afet öncesi hazırlık aşaması, etkili bir müdahale için temel oluştururken, afet sırasındaki müdahale süreci ve sonrasındaki iyileştirme faaliyetleri de afetzedelerin ihtiyaçlarının karşılanması açısından hayati önem taşır. Bu aşamaların her biri, afet lojistik yönetiminin başarısını doğrudan etkileyen kritik unsurları içermektedir (Kovacs ve Spens, 2007). Aşağıdaki aşamalar, afet lojistiğinin kapsamlı yapısını daha iyi anlayabilmek için detaylı olarak verilmiştir.

1.4.1.1. Afet Öncesinde Hazırlık Lojistik Faaliyetler

Afet öncesinde hazırlık lojistik faaliyetleri, olası afetlerin etkilerini minimize etmek ve afet anında hızlı ve etkili bir müdahaleyi mümkün kılmak için yapılan planlı çalışmaların bütünüdür. Bu aşamada gerçekleştirilen faaliyetler, afet yönetiminin temelini oluşturarak, kaynakların verimli kullanımını, iletişim kanallarının açık tutulmasını ve gerekli malzemelerin doğru zamanda doğru yerde bulunmasını sağlar. Hazırlık aşamasındaki lojistik faaliyetler, planlama, satın alma, nakliye yöntemlerinin belirlenmesi, depo yönetimi, raporlama ve insan kaynaklarının geliştirilmesi gibi alt süreçleri kapsamaktadır. Bu süreçlerin her biri, afet anında yaşanabilecek kaosu önlenmesi ve afetzedelere zamanında yardım ulaştırılabilmesi açısından kritik öneme sahiptir (Balcik ve Beamon, 2008). Doğru planlanmış lojistik hazırlık faaliyetleri, insani yardım operasyonlarının etkinliğini artırarak, can kayıplarının ve maddi zararların azaltılmasına önemli katkı sağlar. Bu faaliyetler planlama, satın alma, nakliye yönetimi, depo yönetimi, raporlama ve insan kaynakları yönetimidir (Balcik ve Beamon, 2008).

Planlama: Planlama, uygun niteliklere sahip malzemelerin belirlenen süre içinde, gereken yere en düşük maliyetle ulaştırılmasını sağlayacak stratejileri kapsar. Bu süreç, malzeme seçiminden taşıma sürecine kadar her aşamanın detaylı bir şekilde planlanmasını içerir.

Planlama lojistik faaliyetlerinden bazıları şunlardır (Temiz, 2008):

Acil durumda kullanılmak üzere iletişim şemasının oluşturulması ve planlanması.

- Süreçlerde görev alacak personelin belirlenmesi ve iş tanımlarının netleştirilmesi.
- Afettede bölgesine en hızlı ve güvenli şekilde ulaşılacak rotanın belirlenmesi.
- Talep edilen ve tedarik edilen ekipmanların doğru yere, en kısa sürede, en düşük maliyetle ve sağlam bir şekilde ulaşmasını sağlamak için alternatiflerin belirlenmesi.
- En uygun tesislerin sayısının, kapasitesinin ve konumlarının belirlenmesi.
- Stok maliyetlerinin minimize edilmesi.
- Maddi kaynakların etkili bir şekilde planlanması gibi maddeler örnek olarak verilebilir

Satın alma: Afet malzemelerinin tedarik edilmesinde, tedarikçi rolündeki firmaların seçiminde dikkate alınması gereken temel kriterler şunlardır: referanslar, deneyim, güvenilirlik, mali güç ve kapasitedir. Malzemelerin en düşük maliyetle sağlanması ve kontrolünün kolay olması için stok seviyeleri mümkün olan en düşük düzeyde tutulmalıdır. Gerekli malzemeler temin edilip etkili bir şekilde stoklanmalıdır (Önsüz, Atalay 2015). Satın alma sürecinde tedarikçi seçimi yapılırken, belirlenen kriterlerin yanı sıra ürün tedarikinin birkaç farklı firmadan gerçekleştirilmesi önemlidir. Bu yaklaşım, olası risk faktörlerini azaltarak tedarik sürecini güvence altına alır. İstenilen malzemelerin özellikleri önceden belirlenmeli ve bu bilgiler tedarikçilere iletilmelidir. Böylece, malzemelerin zamanında afet bölgesine ulaştırılması sağlanabilir (Pektaş, 2012).

Nakliye yönetimi: Nakliye yönetimi, malzemelerin doğru yer ve zamanda, en düşük maliyetle ve güvenli bir şekilde ulaştırılması için yapılan tüm faaliyetleri kapsamaktadır. Bu faaliyetler (AFAD 2013):

Afet bölgesindeki ekipmanların ve personellerin afet alanına ulaşımını sağlamak,

- Afet alanındaki görevli personellerin birleşme alanı ile afetin gerçekleştiği alan arasındaki nakil işlemlerini sağlamak,
- Lojistik malzemelerin bulunduğu depolardan, malzemelerin dağıtıldığı merkezlere gönderimini sağlamak,
- İş makinalarının afetin gerçekleştiği alanına sevklerinin sağlanması
- Araçların takip sistemlerinin kurulması,
- Afet alanından tahliye edilenlerin nakil işlemlerini gerçekleştirmek.

Depo yönetimi: En önemli lojistik aşamalardan birisi olarak bilinen depolama; malzemelerin sevk edilmek üzere ya da kullanılmak üzere koşul ve şartlara uygun bir biçimde muhafaza edilmesi işlemidir (Önsüz, Atalay 2015). Acil durumlar ve afet tehlikelerine karşı hazırlıklı olabilmek için, temel ve hayati ihtiyaç malzemelerinin stoklanması zorunludur. Etkili ve verimli bir depolama sağlamak için:

- Kolay erişim sağlanabilen,
- Uygun büyüklükteki alanlarda,
- Dayanıklı yapılar
- Etkin çalışma ortamlarına sahip tesislerin bulunması gerekmektedir.

Depolar, konumlarına göre iki ana kategoriye ayrılır (Tanyaş vd., 2013): Bölgesel Depolar (dağıtım depoları) ve Yerel Depolar (küçük kapasiteli depolar). Olağanüstü acil durum senaryolarına karşı hazırlıklı olabilmek için, hem bölgesel hem de yerel depolarda düzenli olarak stokların kontrol edilmesi ve sayım işlemlerinin yapılması önemlidir. Tesis seçimlerinde doğru ve etkili sonuçlar elde edebilmek için çeşitli kısıtlamalar göz önünde bulundurulmalıdır. Her iki depo türü için de dikkat edilmesi gereken ortak kriterler aşağıda sıralanmıştır (Tanyaş vd., 2013).

- Ulaşım yollarına yakın konumda bulunan alanlar,
- Araçların rahatça giriş yapabileceği ve manevra edebileceği alanlar,
- Malzemelerin yükleme ve boşaltma işlemleri için geniş alanlar,
- Ürün çeşitlerine göre ayrılmış düzenli depolar,

- Binanın altyapısının dayanıklı ve sağlamlığı,
- Çalışma alanlarının uygun havalandırma, aydınlatma ve iletişim imkânlarına sahip olması,
- Güvenlik önlemlerinin yeterli olması,
- Kapasite artışı durumunda esneklik sağlayabilecek alanların bulunması
- **Raporlama:** Raporlama, depolanan malzemelerin kontrolünü, izlenmesini ve takibini sağlamak için gereklidir. Afet yönetim süreçlerinde yapılan tüm faaliyetler ve hareketlilikler detaylı bir şekilde raporlanmalıdır. Bu raporların hazırlığının ardından çıkarılan bilgiler yardımıyla aşağıdaki adımlar takip edilmelidir (Pektaş, 2012).
- Kesintiye sebep olabilecek tüm durumlar belirlenmelidir,
- Daha iyi ve sağlıklı hale getirilebilecek tüm yönler belirlenmelidir,
- En etkin ve etkili müdahale yöntemleri üzerinde çalışılmalıdır.

İnsan kaynaklarının geliştirilmesi: Afet lojistiğinin her aşamasında insan gücüne büyük ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda, mevcut deneyimlerden yola çıkarak, gerekli eğitimlerin içeriği ve kapsamı belirlenmelidir. Personelin görevleriyle ilgili olarak düzenli ve etkili eğitimler verilmelidir. Afetlerin hangi bölgelerde, ne zaman meydana geleceği ve yaşam üzerindeki etkilerinin kesin olmaması nedeniyle, afet hazırlık aşamasında oluşturulan planlar her zaman tam olarak uygulanamayabilir. Afet anında, müdahale için gerekli insan kaynağı yetersiz olabilir. Bu nedenle, özellikle afet müdahalelerinde etkinlik sağlamak için personelin farklı alanlarda uzmanlaşması önemlidir (Pektaş, 2012).

1.4.2. Afet müdahale süreci lojistik faaliyetleri

Bu aşamada, ön değerlendirme ve ihtiyaç analizi yapılmalı, lojistik eylem planı oluşturulmalı ve uygulanmalıdır. Ayrıca, afet müdahale süreci sürekli olarak izlenmeli, değerlendirilmeli ve elde edilen sonuçlar raporlanmalıdır.

1.4.2.1. Ön Değerlendirme ve İhtiyaç Tespiti

Afet sırasında, afetin gerçekleştiği bölgeden ve görevlilerden gelen veriler ışığında ön değerlendirme yapılır. Önceden hazırlanmış planlar ve hazırlıklar doğrultusunda, müdahale sırasında gerekli ekipmanların afet bölgesine en hızlı ve uygun miktarda sevk edilmesi, görevli personelin alana ulaşımı, sağlam bir veri alışverişi ile sağlanır. Ön değerlendirme sürecinde belirtilen hususlara özen gösterilmelidir (Temiz, 2018):

- Ulaşım yollarının (hava yolları, limanlar, demiryolları ve karayolları) mevcut durumu ve kapasitelerinin değerlendirilmesi,
- Farklı bölgelerdeki depolama imkanları ve kapasitelerinin belirlenmesi,
- Depoların ulaşım olanaklarının incelenmesi,
- Gerekli ve ihtiyaç duyulan malzemelerin temin edilmesi,
- Yurt dışından tedarik edilecek ekipmanlar için en yakın gümrük noktalarının belirlenmesi

1.4.2.2. Lojistik Eylem Planı ve Uygulanması

Afete hazırlık aşamasında yapılan çalışmalar doğrultusunda, ön değerlendirme sürecinde toplanan veriler ışığında lojistik eylem planı devreye alınır ve müdahalesi gerçekleştirilir. Lojistik eylem planında şu unsurlar yer alır (Tanyaş vd., 2013):

- Yardım için kurulmuş ekiplere destek sağlanması,
- Acil ihtiyaç duyulan malzemelerin temin edilmesi,
- Malzeme ve insan kaynaklarının afet bölgesine ulaştırılması,
- Sevkiyatların en hızlı ve en güvenli şekilde yapılması ve ekipler ile krizler merkezlerine bilgi verilmesi,
- Depoların bölgesel veya yerel olarak kurulmasına karar verilmesi

1.4.3. Afet müdahalesinin ardından lojistik faaliyetler

1.4.3.1. Planlama

Müdahale sürecinin tamamlanmasının ardından, afet yardım malzemelerinin toplanması ve bakım faaliyetleri başlar. Bu süreçte görevli ekipler, afet malzemelerinin toplanması, bakımı ve depolara sevk edilmesinden sorumludur. Ekiplerin ilk adımı, bu süreçlerin planlanması olacaktır. Gereken veriler şunlardır (Temiz, 2013):

- Dağıtım, ulaştırılacak yardım malzemelerinin istatistikleri,
- Malzemelerin bir arada toplanacağı bölgeler hakkında bilgiler,
- Malzeme toplanacak alanların belirlenmesi,
- Malzemelerin toplanması ve bakımı için görevli ekipler ve kullanılacak ekipmanlar hakkında bilgiler

1.4.3.2. Malzeme Toplama ve Bakım Faaliyetleri

Bu faaliyetin en hızlı ve etkili şekilde yürütülmesi amacıyla, afet malzeme toplama ve bakım ekibi tarafından gerekli çalışmalar derhal başlatılmalıdır. Bu süreçte gerçekleştirilecek bazı önemli adımlar şunlardır (Önsüz ve Atalay 2015).:

- Ekibin ihtiyaç duyduğu ekipman ve personelin temin edilmesi,
- Afet bölgesindeki malzemelerin toplanması,
- Malzemelerin kullanılabilirlik durumlarına göre ayrılması,
- Ayrıştırılan malzemelerden kullanılabilir olanlarının bakım ihtiyaçlarının karşılanması

1.4.3.3. İzleme Değerlendirme ve Raporlama

Afet müdahale süreçlerinden ekiplerin gerçekleştirdiği tüm faaliyetler izlenip, değerlendirilip raporlanmalıdır (Temiz 2013). Ülkemizde AFAD, afet ve acil durumlarda ayrıca sivil savunma iş ve işlemlerini yürütmek üzere, 17/06/2009 tarih ve 27261 Sayılı Resmi Gazetede yayınlanan 5902 sayılı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun ile kurulmuş olup, İçişleri Bakanlığı'na bağlı Sivil Savunma Genel Müdürlüğü, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'na bağlı Afet İşleri Genel Müdürlüğü ve Başkanlığa bağlı Türkiye Acil Durum Yönetimi Genel Müdürlüğü kapatılarak, afet ve acil durum yönetimi faaliyetleri, yetki ve sorumluluklar tek bir çatı altında toplanmıştır (Yeşilli, 2023).

1.5. Türkiye'de Afet Lojistiği

Türkiyede afet lojistik yönetimi kapsamında görev ve sorumlulukları bulunan kurumlar; Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Kızılay ve Türk Silahlı Kuvvetleri (TSK) 'dır (Tuncay, 2020). Acil durum afetlerin öncesinde, gerçekleştiği sırada ve sonrasında bilgileri göz önünde bulundurarak, alınması gereken tedbirleri belirlemek, planların hayata geçirilmesini sağlamak ve denetimini gerçekleştirmek, sorumlu olan kamu kurum ve kuruluşları ile sivil toplum kuruluşları arasındaki diyalogları ve koordinasyonu sağlamak amacı ile afet veya acil durumun türüne göre bakanlık, kamu kurum ve kuruluşların üst yöneticilerinden oluşan Afet ve Acil Durum Koordinasyon Kurulu AFAD tarafından kurulmuştur (Tanyaş vd., 2013).

Afetlerde, malzemelerin ve ekipmanların afet bölgelerine ulaştırılması amacıyla depolandığı alanlar, afet lojistik depoları olarak tanımlanır. Bu depolar, acil durumlarda ve afetlerde yardım faaliyetlerinin afetzedelere etkili bir şekilde ulaştırılmasını sağlamayı amaçlar. Temel yardım malzemelerinin depolanması, afet öncesi hazırlık aşamasında kritik bir rol oynar. Depolama hizmetlerinin hızlı ve verimli bir şekilde yürütülebilmesi için gerekli temel koşullar şunlardır (Öztürkel, 2021):

- Ulaşımın kesintisiz ve kolay bir şekilde sağlanabileceği alanların seçilmesi,
- Yardım malzemelerinin türlerine göre en uygun erişim sağlayacağı depoların ve depolama kriterlerinin belirlenmesi,
- Afetlerde zarar görme riski düşük olan ve zemin etüdü yapılmış alanların depo olarak tercih edilmesi,
- Kara, demir ve hava yollarına, ayrıca güvenilir limanlara yakın ve sağlam bölgelerde depoların kurulması

Türkiye'deki afet ve acil durumlarla başa çıkma ve iyileştirme aşamalarında Kızılay, en deneyimli ve etkili kuruluşlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Kızılay, din, dil ve ırk ayrımı gözetmeden herkesin acısını hafifletip destek olmayı, ihtiyacı olanlara yardım elini uzatmayı, yaşam ve sağlığı gözetip korumayı, saygı ve sevgi çerçevesinde karşılıklı anlayış ve iş birliğini teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Kızılay'ın teşkilat yapısı, genel merkez ve çeşitli şubelerden oluşmaktadır (Tanyaş vd., 2013). Dünya genelinde en iyi afet örgütlenmelerinden birine sahip olan Kızılay, afet lojistik ve müdahale sistemlerinin kesintisiz işlemesi için 'TÜRKSAT Uydu Haberleşme Sistemi'ni kurmuştur. Ayrıca, afet bölgelerine etkin bir şekilde ulaşmak için Kızılay, 9 Bölgesel ve 23 Yerel Afet Müdahale ve Lojistik Merkezi oluşturmuştur. Türk Kızılay'ın afet lojistik yönetimi, ülkemiz için büyük bir öneme sahiptir (Öztürkel, 2021).

1.6. Lojistik Depo Seçimi

Acil yardım malzemelerinin afet ve acil durumlarda mağdurlara ulaştırılmak üzere saklandığı alanlar, afet lojistik depoları olarak tanımlanmaktadır. Bu depolar, gerekli malzemelerin etkin bir şekilde organize edilmesi ve hızla taşınabilmesi için özel olarak düzenlenmiş yerlerdir (AFAD, 2014). Afet lojistik deposu, afet anlarında acil yardım faaliyetlerinin etkin bir şekilde yürütülmesi için kritik öneme sahip bir unsurdur. Afetlere karşı hazırlıklı olabilmek amacıyla acil ihtiyaç malzemelerinin düzenli bir şekilde depolanması gerekmektedir. Depolamanın başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için tesislerde göz önünde bulundurulması gereken bazı kriterler şunlardır (Temiz, 2018):

- Ulaşımın kolay olduğu ve operasyon bölgesine uygun konumlarda tesisler seçilmelidir.
- Malzemelerin depolanacağı yer ve depolama yöntemleri, en hızlı erişimi sağlayacak şekilde belirlenmelidir.
- Depolar için gerekli analizler yapılmadı ve afetten etkilenmeyecek bölgelerde konumlandırılmalıdır.
- Depolar, ulaşım yollarına yakın ve güvenli alanlarda bulunmalıdır.

Afet yardım istasyonlarının yerlerinin önceden belirlenmesi, afet öncesinde yapılması gereken bir görevdir. Bu tür hazırlıkların afet sonrası aşamaya bırakılması büyük bir karmaşaya yol açabilir. Dolayısıyla, bu konular önceden planlanmalı ve afet planlarına dahil edilmelidir (Temiz, 2018).

1.7. Afet Yönetimi ve Lojistik Depo Yer Seçimi

Afet lojistiği yönetimi süreçlerinin incelenmesi ve iyileştirilmesi literatürde önemli bir çalışma alanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Afet lojistiği üzerine yapılan çalışmalar, afet sonrası acil yardım malzemelerinin etkin bir şekilde dağıtılmasını sağlamak amacıyla çeşitli stratejiler ve modeller geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda, afet lojistiğinin en kritik aşamalarından biri olan lojistik depo yer seçimi, yardım malzemelerinin doğru zamanda, doğru yerde ve en az maliyetle ihtiyaç sahiplerine ulaştırılabilmesi için hayati bir rol oynamaktadır. Depo yer seçimi, afet lojistiği kapsamında yapılan çalışmalarda sıklıkla ele alınan bir konu olup, bu süreçte kullanılan farklı yöntemler ve modeller, lojistik operasyonların başarısını doğrudan etkilemektedir. Owen ve Daskin (1998), lojistik tesis problemleri üzerine yaptıkları çalışmada, bu problemlerin analizinde tahmini maliyet, talep, zaman ve mesafe kriterlerini çeşitli modeller ve yaklaşımlar kullanarak ele almışlardır. Çalışmanın amacı, talep ve zaman belirsizliklerinin tesis yeri seçiminde yaratabileceği sorunlara gerçekçi çözümler sunmaktır. Barbarosoglu ve Arda (2004) ise, depremin ardından acil yardım malzemelerinin ulaşımını planlamak amacıyla stokastik bir programlama modeli önermiştir. Bu modelde, depremin etkisi ve konumu senaryolar halinde ele alınmış, tesis yeri sorunu olmamasına rağmen, tedarik malzemelerinin yer seçimi rotalama problemleri ile ilişkilendirilmiştir.

Hale ve Moberg (2005), afetzedelere ulaştırılması gereken yardımın aciliyeti göz önünde bulundurularak, verimli ve güvenli bir tesis kurulması için küme kapsama modeli önermiştir. Çalışmada, bölgesel ve ana depolar arasında minimum 50 mil, maksimum 100 mil mesafe olacak şekilde depo sahası belirlenmiş ve uygulanmıştır. Askeri ve sivil müdahale birimlerinin entegrasyonu için kompozit modeller önerilmiştir (Pettit ve Beresford, 2005).

Yiğit (2010), afet sonrasında gerekli yardım malzemelerinin saklanacağı depo bölgelerini belirlemek amacıyla tamsayılı programlama modeli geliştirmiştir. Model, afetin verebileceği hasarı hesaba katarak, karar vericilerin en optimal planı seçmesine olanak tanımaktadır.

Özcan ve arkadaşları (2011), ELECTRE, AHP, TOPSIS ve Gray Teorisi gibi çok kriterli karar verme yöntemlerinin avantajlarını ve dezavantajlarını karşılaştırmış, maliyet minimizasyonu amacıyla en uygun depo yeri seçimi sürecini göstermiştir. Duran ve arkadaşları (2011), olası afetlerde müdahale merkezlerinin yer seçimi problemini ele almış ve talep edilen bölgelere en az sürede ulaşabilecek dağıtım tesislerini belirlemek amacıyla tam sayılı programlama kullanmıştır.

Görmez ve arkadaşları (2011), İstanbul'da yerel ve bölgesel depo seçimi için iki aşamalı bir tamsayılı programlama modeli geliştirmiştir. İlk aşamada talep ağırlıklı uzaklık minimizasyonu ile 5 veya 6 tesisin yeterli olacağı hesaplanmış, ikinci aşamada ise riskli bölgelere uzaklık sınırları belirlenmiştir. Özdamar ve Demir (2012), afet yardımı tedarik zincirlerinde toplama ve teslimat faaliyetlerinin lojistiği için hiyerarşik kümeleme ve rota prosedürleri önermiştir.

Sawang (2012), sel felaketine yönelik en uygun sığınak yeri seçimi için iki amaçlı karma tamsayılı programlama modeli geliştirmiş ve epsilon-kısıtı kullanarak çözümlenmiştir.

Gözaydın ve Can (2013), deprem yardım istasyonları adına afet lojistik depo yer seçimi problemlerini p-medyan ve maksimum kapsama alanı modelleriyle ele almıştır. Xifeng ve arkadaşları (2013) ise sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde çevresel amaçları ön planda tutarak, maliyet ve karbondioksit emisyonlarını minimize etmeye yönelik çok amaçlı bir tesis yerleşim modeli geliştirmiştir.

Hadiguna ve arkadaşları (2014), Endonezya'da afet lojistiğinde web tabanlı bir karar destek modeli oluşturmuş ve bu modeli çok ölçütlü karar verme yöntemleriyle uyumlu hale getirmiştir.

Peker ve arkadaşları (2016), Erzincan ili için en uygun afet dağıtım merkezi yerinin belirlenmesi amacıyla Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ve VIKOR yöntemlerini kullanmıştır. Gülner (2016), AFAD lojistik bölge haritasını temel alarak, Türkiye'de lojistik depoların yer seçiminde maliyetlerin minimum, yararların ise maksimum düzeyde olması için analitik hiyerarşi yöntemi (AHP) kullanarak 15 lojistik merkez belirlemiştir.

Demirdöğen ve arkadaşları (2017), TRA1 Bölgesi'nde Erzincan, Erzurum ve Bayburt illerindeki afet lojistik dağıtım merkezlerinin yerini belirlemek amacıyla Stokastik Çok Kriterli Kabul Edilebilirlik Analizi-2 (SMAA-2) yöntemini kullanmıştır.

Ofluoglu ve arkadaşları (2017), Trabzon ili için en uygun depo yeri seçimi problemine yönelik çok kriterli karar analiz modeli geliştirmiş ve bu süreci entropi tekniği ile desteklemiştir. Temiz (2018), İstanbul Maltepe ilçesinde afet lojistik depo yer seçimi problemini küme kapsama ve p-medyan modelleriyle incelemiş ve iki aşamalı bir model geliştirmiştir. Benzer şekilde, afet öncesi, sırası ve sonrasında proaktif planlamanın önemi vurgulanmıştır (Adiguzel, 2019). Afet lojistiğinde tesis yerleşimi ve boyutlandırma problemleri üzerine algoritmalar geliştirilmiştir. IoT sensörleri ile entegre bilgi yönetim sistemleri önerilmiş ve çeşitli senaryolar üzerinde simülasyonlar yapılmıştır (Han vd., 2019).

Ergün ve arkadaşları (2020), sürdürülebilir afet lojistiği bağlamında ideal depo yerinin belirlenmesi amacıyla AHS, MAUT ve SAW yöntemlerini entegre eden iki aşamalı bir model geliştirmiştir. Afet müdahalesinde kurumlar arası koordinasyon ve ağ yönetimi konuları incelenmiştir. ABD'deki Ulusal Müdahale Çerçevesi analiz edilerek, acil durum destek fonksiyonları arasındaki koordinasyon ağları ortaya konmuştur (Kapucu vd., 2022).

Yeşilli (2023) ise sürdürülebilir afet lojistiği kapsamında uygun depo yer seçimi problemini inceleyerek bu alanda farkındalık yaratmayı ve literatüre katkı sağlamayı hedeflemiştir. Bu literatüre ilişkin özet Tablo 1.5 'te gösterilmiştir. Endonezya'daki bir deprem vakası üzerinden lojistik yönetim süreçleri analiz edilmiş, akış şemaları çıkarılmış ve iyileştirme fırsatları belirlenmiştir (Ophiyandri vd., 2023). Ayrıca, pandemi gibi biyolojik afetlere özgü lojistik planlama modelleri oluşturulmuştur (Küçük, 2023).

Tablo 1. 5. Literatür özeti

YAZAR(YIL)	ÇALIŞMANIN İÇERİĞİ	KULLANILAN YÖNTEM
(Owen & daskin, 1998)	tesis yerleşim problemlerinde matematiksel programlama yöntemleri kullanarak lojistik sistemlerde optimal tesis konumlandırma stratejilerini incelemiştir.	Matematiksel programlama modeli, yerleşim ve kapsama problemi, heuristik ve Meta-Sezgisel Yöntemleri
Hale ve Moberg (2005)	Verimli ve güvenli bir tesis kurmak için uygulama	Küme kapsama yerleşim modeli
Yiğit (2010)	Afet sonrasında gerekli yardım malzemelerinin saklanacağı depo bölgelerini ve bu depoların hizmet etmesi gereken afet bölgelerinin belirlenmesi	Tamsayılı programlama modeli
Özcan vd (2011)	ELECTRE, AHP, TOPSİS ve Gray Teorisi gibi çok kriterli karar verme yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları karşılaştırılmış olup daha sonrasında bu yöntemler ile maliyet minimizasyonu amacıyla en iyi depo yeri seçiminin nasıl yapılacağı gösterilmiştir.	Çok kriterli karar verme yöntemleri (ELECTRE, AHP, TOPSİS ve Gray Teorisi vb)
Duran vd (2011)	Afet bölgelerine dağıtılması planlanan malzemeleirnin önceden belirlenerek dağıtım tesislerine yerleştirilmesidir.	Tam sayılı programlama
Görmez vd (2011)	İstanbul' da kullanılmak üzere yerel ve bölgesel depo seçimi modeli oluşturulmuştur.	İki aşamalı tam sayılı programlama modeli kurulmuştur.
Özdamar ve Demir (2012)	Afet yardımı tedarik zincirlerindeki toplama ve teslimat faaliyetlerinin lojistiği amacıyla verimli matematiksel model oluşturulup bu modeli hiyerarşik kümeleme ve rota prosedürü oluşturmak.	Hiyerarşik kümeleme ve yönlendirme prosedürü
Sawang (2012)	Sel madurlarının en yakın sığınağa toplam mesafesi en az olacak şekilde ayarlamaktır.	İki amaçlı karma tamsayı programlara epsilon kısıtı
Gözyayın ve Can (Tarih yok)	Deprem yardım istasyonları adına afet lojistik depo yer seçimi problemleri için p-medyan ve maksimum kapsama alanı modellenmiştir.	P-medyan ve maksimum kapsama

Hadiguna vd. (2014)	Endonezya için afet lojistiğinde web tabanlı şekilde karar destek modeli uygulaması oluşturulmuştur.	Çok kriterli karar verme yöntemleri ile model işlenmiştir.
Peker vd (2016)	Erzincan ili için en uygun biçimde afet dağıtım merkezi yerinin belirlenmesi	Analitik Hiyerarşi Projesi metodu ve VIKOR
Gülner (2016)	Temel alınmak üzere AFAD lojistik bölge haritası kullanılarak, afet lojistik merkez konumlarının belirlenme hedefi gerçekleştirilmeye çalışılmıştır.	Analitik hiyerarşi süreci (AHP)
Demirdöğen vd., (2017)	Afet lojistiği kapsamında yapılan bu çalışmada, en uygun dağıtım merkezi yerinin belirlenmesi amacıyla TRA1 Bölgesindeki hedef üç il (Erzincan, Erzurum, Bayburt) için Stokastik Çok Kriterli Kabul edilebilirlik Analizi- 2 (SMAA-2) yöntemi kullanılarak çözümlenmiştir.	Stokastik Çok Kriterli Kabul edilebilirlik Analizi- 2 (SMAA-2)
Ofluoglu vd., (2017)	Afet lojistiği kapsamında Trabzon ili için en uygun depo yeri seçimi problemine birçok kriterli karar analiz modeli oluşturulmuştur.	Entropi tekniği TOPSİS, SAW, VIKOR ve Bordo sayım yöntemi
Temiz (2018)	Afetzedelere ulaşması gereken malzemelerin minimum sürede etkin bir biçimde ulaştırılması için kurulacak olan afet lojistik depoların kuruluş yeri seçimi problem İstanbul maltepe ilçesi için incelenmiştir	P- medyan problem Karma tam sayılı problem
Ergün vd., (2020)	Sürdürebilir afet lojistiği bağlamında depo yer seçimi faktörlerinin ideal depo yeri seçiminin tespiti ve faktörlerin belirlenmesine yönelik çalışma	Ahs, maut, saw
Yeşilli (2023)	Yeşilli (2023), afet lojistiğinde etkin tedarik zinciri yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi ve uygulanmasına yönelik analizler gerçekleştirmiştir.	Swot analizi, Tows matrisi

1.8. Küme Kapsama Yöntemi ve Lojistik Depo Yer Seçimine Uygulanması

Küme kapsama problemi (Set Covering Problem - SCP), kombinatoriyal optimizasyonun klasik ve NP-zor bir problemidir. SCP'nin amacı, belirli ihtiyaçları en düşük maliyetle karşılayacak çözüm kümesini bulmaktır (Soto vd., 2015). Bu problem; acil servis konumlandırma, mürettebat çizelgeleme, tesis yerleşimi ve üretim planlaması gibi çeşitli gerçek dünya uygulamalarında kullanılmaktadır (Crawford vd., 2015; Quemá-Taimbud vd., 2023). SCP'nin çözümünde karşılaşılan temel zorluklar, çözümün uygulanabilirliği ve küme fazlalığıdır (Crawford vd., 2015). SCP'nin çözümü için çeşitli yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bunlar

arasında sezgisel (H) ve metasezgisel (MH) algoritmalar öne çıkmaktadır (Quemá-Taimbud vd., 2023). Ayrıca, yapay bağışıklık sistemi modelleri gibi yeni yaklaşımlar da geliştirilmektedir (Tasnım vd., 2012). Başlatma yöntemleri arasında en çok kullanılanı sezgisel arama ile rastgele başlatmadır ve yerel arama yöntemlerinin MH algoritmalara dahil edilmesi, sonuçları iyileştirmektedir (Quemá-Taimbud vd., 2023). Sonuç olarak, SCP'nin çözümü için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

Küme kapsama modeli, lojistik depo yer seçimi problemlerinde yaygın olarak kullanılan bir yaklaşımdır. Bu model, belirli bir hizmet seviyesini sağlamak için minimum sayıda depo veya tesisin yerleştirilmesini amaçlar. Literatürde küme kapsama modelleri çeşitli yaklaşımlarla ele alınmıştır. Bunlardan biri stokastik küme kapsama modelleridir. Hwang (2004) yaptığı çalışmada bu modeli, hem iyileşen hem de bozulan ürünler için depo yer seçimi problemlerinde kullanmıştır. Çalışma sonunda her müşterinin belirli bir olasılıkla kapsanmasını sağlayarak, minimum depolama tesisi sayısını belirlemiştir. Ayrıca Saxena ve arkadaşları (2010) probabilistik küme kapsama modelini belirli bir olasılık eşiği ile kapsama sağlamak amacıyla kullanmış ve mevcut yöntemlere göre daha hızlı çözümler sunduğunu göstermiştir.

Bu kapsamda ele alınan bir diğer yaklaşım ise entegre modellerdir. Huang ve arkadaşları (2015) depo yer seçimi ve alan belirleme süreçlerinde, toplam taşıma ve depo işletme maliyetlerini minimize etmeyi amaçladıkları çalışmalarında entegre bir model önermişlerdir. Kuyruk modeli ile modelledikleri problemi, olasılıksal bir kısıt ile doğrusal olmayan karma tamsayılı bir programlama modeli olarak formüle edilmişlerdir. Sürekli ve ayrık depo boyutları olmak üzere iki durumu inceledikleri bu çalışmada, sürekli boyut seçeneği için taşıma olasılığına yönelik yaklaşık bir formül geliştirmiş ve problem, küme kapsama problemlerine dönüştürülmüşlerdir.

Bu bağlamda ele alınan bir diğer yaklaşım ise çok seviyeli modellerdir. Klasik küme kapsama modelinin genişletilmiş bir formu olarak ele alınan ve ek kapsama seviyeleri gerektiren, bu modeller, klasik modelin küçültme kurallarını ihlal eden yeni kurallar önererek daha karmaşık yapıları ele almaktadır (Church ve Gerrard, 2003).

Son olarak birleşik yer-envanter modelleri ise bazı perakendecilerin dağıtım merkezi olarak hizmet vermesini ve diğer perakendecilere envanter depolama hizmeti sunmasını sağlamaktadır. Bu model, küme kapsama tamsayılı programlama modeli olarak yeniden yapılandırılmış ve maliyet etkin çözümler sunmuştur (Shen vd., 2003).

Sonuç olarak, küme kapsama modelleri lojistik depo yer seçimi problemlerinde çeşitli yaklaşımlar ve genişletmelerle etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Probabilistik model, belirsizlikleri ve olasılıkları dikkate alarak daha esnek çözümler sunarken, entegre ve çok seviyeli modeller daha karmaşık lojistik ağ tasarımlarını ve ek kapsama gereksinimlerini ele almaktadır (Shen vd., 2003). Birleşik yer-envanter modelleri ise dağıtım merkezleri ile

envanter y6netimini birleştirerek maliyet etkinliği sağlamaktadır. Bu alışmalar, lojistik ağların daha verimli ve etkili bir şekilde tasarlanmasına katkıda bulunmaktadır.



2. BÖLÜM

YÖNTEM

2.1. Araştırma Tasarımı

Bu çalışma, afet lojistik depo yer seçimi problemini ele alan nicel bir araştırma olup, karar verme süreçlerinde matematiksel optimizasyon yöntemlerini kullanmaktadır. Çalışmanın yöntemsel çerçevesi, yöneylem araştırması teknikleri üzerine kurulmuş olup, küme kapsama ve p-medyan modellerinin entegrasyonu ile iki aşamalı bir optimizasyon yaklaşımı sunmaktadır. Bu yaklaşım, afet lojistiğinde stratejik karar verme süreçlerini desteklemek amacıyla tasarlanmıştır.

Araştırmanın kapsamı, Çorum ili şehir merkezi ile sınırlı tutulmuştur. Çalışma, merkez mahallelerinin demografik özellikleri, coğrafi konumları ve potansiyel afet durumunda ortaya çıkabilecek lojistik ihtiyaçlar dikkate alınarak yürütülmüştür. Araştırmanın mekânsal kapsamı, şehir merkezi içerisindeki yerleşim alanlarını içermekte olup, kırsal alanlar ve ilçeler araştırma dışında tutulmuştur.

Metodolojik açıdan çalışma, karar değişkenleri, kısıtlar ve amaç fonksiyonlarının matematiksel olarak formüle edildiği yapısal bir optimizasyon süreci üzerine kurulmuştur. Araştırmada kullanılan coğrafi veriler Google Maps üzerinden elde edilmiş olup, koordinat verileri zaman bağımsız sabit değerler olarak kullanılmıştır. Bu durum, çalışmanın sonuçlarının zamansal değişimlerden etkilenmediğini göstermektedir.

Araştırmanın temel sınırlılıkları arasında sadece Çorum şehir merkezinin dikkate alınması, afet tiplerinin ayrıştırılmaması ve sadece belirli kapsama mesafeleri üzerinden senaryoların oluşturulması bulunmaktadır. Ayrıca, çalışmada kullanılan nüfus verileri statik olarak ele alınmış olup, demografik değişimlerin ve nüfus hareketliliğinin etkisi göz ardı edilmiştir.

2.2. Veri Toplama Süreci

Bu çalışmada, afet lojistik depo yer seçimi için gerekli olan temel veriler, çeşitli kaynaklardan sistematik biçimde toplanmıştır. Veri toplama süreci, araştırmanın güvenilirliği ve geçerliliği açısından kritik önem taşımaktadır.

Öncelikle, Çorum ili merkez mahallelerinin coğrafi konumları belirlenmiştir. Bu kapsamda, her mahallenin merkez koordinatları (enlem ve boylam) Google Maps uygulaması kullanılarak elde edilmiştir. Mahalle merkezleri, talep noktaları olarak kabul edilmiş ve optimizasyon modelinde birer düğüm noktası olarak temsil edilmiştir. Bu koordinatlar, potansiyel afet lojistik depoları ile talep noktaları arasındaki mesafelerin hesaplanmasında temel veri olarak kullanılmıştır.

Demografik veriler ise Çorum Belediyesi'nin resmi web sayfasından temin edilmiştir. Her mahallenin güncel nüfus verileri, talep yoğunluğunu belirlemede ve kapasiteli p-medyan

modelinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Nüfus verileri, her mahallenin afet durumunda oluşturacağı talep miktarını tahmin etmek için önemli bir parametre olarak değerlendirilmiştir.

Bir diğer kritik veri, afet durumunda etkilenecek afetzede oranıdır. Bu oran, %5 olup AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı) Çorum İl Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Kazazede oranı, bir afet durumunda nüfusun belirli bir yüzdesinin yaralanacağını veya olumsuz etkileneceğini göstermektedir. Bu oran, afet lojistik depoların kapasitelerinin belirlenmesinde ve talep tahminlerinin yapılmasında kullanılmıştır.

Modelde kullanılan diğer parametreler, literatür taraması ve benzer çalışmalardaki standartlar dikkate alınarak belirlenmiştir. Örneğin, kapsama mesafeleri (1-5 km), uluslararası afet lojistik standartları ve Çorum ilinin kentsel yapısı göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Potansiyel afet lojistik depo lokasyonları ise şehir planı, mevcut altyapı olanakları ve stratejik konumlar dikkate alınarak belirlenmiştir.

Toplanan tüm veriler, iki aşamalı optimizasyon modelinin gerektirdiği formata dönüştürülmüş ve matematiksel modellerde kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Veri güvenilirliğini sağlamak için, elde edilen veriler yerel yetkililerle doğrulanmış ve varsa tutarsızlıklar giderilmiştir.

2.3. Model Geliştirme

Bu çalışmada, afet lojistik depo yer seçimi problemi için iki aşamalı bütünsel bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Modelin kavramsal çerçevesi, afet lojistiğinin karmaşık yapısını ele alabilecek ve Çorum ili merkez mahallelerinin ihtiyaçlarını optimum şekilde karşılayabilecek bir yaklaşım üzerine kurulmuştur.

Geliştirilen model, küme kapsama ve p-medyan problemlerinin güçlü yönlerini birleştiren hibrit bir yaklaşım sunmaktadır. Bu entegrasyon, tek bir yöntemin sağlayamayacağı çok yönlü bir bakış açısı sağlamaktadır. Küme kapsama modeli, tüm talep noktalarının belirli bir hizmet seviyesinde kapsanmasını sağlarken minimum sayıda tesis açılmasını hedefler; p-medyan modeli ise talep ağırlıklı toplam mesafeyi minimize ederek, depolar ile talep noktaları arasındaki erişimi optimize eder.

Modelin geliştirilmesindeki temel motivasyon, afet durumlarında lojistik depoların stratejik konumlandırılmasının kritik önemini dikkate alarak, hem kapsama alanını maksimize etmek hem de erişim sürelerini minimize etmektir. Bu iki hedefin eş zamanlı olarak ele alınması, tek bir yöntemin kullanılması durumunda karşılaşılabilecek sub-optimal çözümlerin önüne geçmektedir.

Model geliştirilirken şu varsayımlar dikkate alınmıştır:

- Her mahalle merkezi bir talep noktasıdır ve koordinatları sabittir.

- Afet durumunda etkilenen nüfus oranı sabit ve önceden belirlenmiştir.
- Taşıma maliyetleri mesafe ile doğru orantılıdır.
- Potansiyel depo lokasyonları önceden belirlenmiştir.
- Tüm mahalleler en az bir lojistik depo tarafından kapsanmalıdır.
- Her mahalle, kendisine en yakın depoya atanır.
- Depolar belirli bir kapasite kısıtına sahiptir.

Modelin kısıtları ise şunlardır:

- Kapasite sınırlamaları
- Hizmet mesafesi sınırlamaları

İki aşamalı yaklaşımın entegrasyonu, birinci aşamada elde edilen sonuçların (depo sayısı ve lokasyonları) ikinci aşamada girdi olarak kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu entegrasyon sayesinde, hem minimum sayıda depo ile tüm talep noktalarını kapsama hedefi, hem de toplam ağırlıklı mesafeyi minimize etme hedefi birlikte ele alınabilmektedir.

Geliştirilen model, farklı kapsama mesafeleri (1-5 km) için senaryolar oluşturularak test edilmiş ve optimal sonuçlar elde edilmiştir. Bu yaklaşım, afet yönetiminde karar vericilere farklı koşullar altında alternatif çözümler sunma esnekliği sağlamaktadır.

2.4. Matematiksel Formülasyon

Bu çalışma kapsamında afet sonrası ihtiyaç duyulan noktaların acil yardım malzemelerinin en kısa sürede gerekli noktalara ulaştırılması için kurulacak afet lojistik depolarının yer seçimi problemini çözmek için iki aşamalı bütünsel bir model önerilmektedir. İlk aşamada talep noktalarının ihtiyaçlarını belirli bir hizmet seviyesinde karşılanması için en az sayıda afet lojistik depolarının sayısını belirleyen bir küme kapsama modeli önerilmiş, ikinci aşamada geliştirilen p- medyan modeli ise ilk aşamada belirlenmiş durumda olan tesis sayısını parametre olarak kabul edip aynı zamanda talep ağırlıklı mesafe minimizasyonu amacı ile gerçekleştirilmek istenen uygun tesislerin yerleri tespit edilmektedir. Bu çalışmada önerilen küme kapsama modeli ve bütünsel p-medyan modellerinin matematiksel formülasyonları çalışmada kullanılmış biçimi ile aşağıdaki gibidir.

İndisler:

i: Talep noktalarının indisi (Çorum merkez mahalleleri)

j: Tesislerin indisi (Afet lojistik depo)

Parametreler:

n: Potansiyel tesis sayısı (Aday afet lojistik depo sayısı)

S: Açılması düşünülen tesislerin kapsama mesafesi (km)

a_{ij} : i talep noktası ve j tesisi arasındaki mesafe S'den küçük veya S'ye eşitse 1, değilse 0.

w_i = i. talep noktasının talebi

d_{ij} = i. Talep noktası ile j. tesis (afet lojistik depo) arasındaki minimum mesafe

p = Hizmet edecek tesis sayısı (afet lojistik depo)

Q_j = j tesisinin (afet lojistik depo) kapasitesi

Karar değişkenleri:

x_j : j noktasında bir tesis kurulmuşsa 1, değilse 0

z_{ij} = i talep noktası j tesisine (afet lojistik depo) atanmışsa 1, değilse 0

y_j = j noktasında bir tesis (afet lojistik depo) açılmışsa 1, değilse 0

1.Aşama: Amaç fonksiyonu ve kısıtlar:

$$\text{enk } z = \sum x_j \quad n_j = 1 \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} a_{ij} \cdot x_j \geq 1 \quad \forall i \quad (i = 1, \dots, m) \quad (2)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad (j = 1, \dots, n) \quad (3)$$

2.Aşama: Amaç fonksiyonu ve kısıtlar:

$$\text{Enk } z = \sum \sum w_i \cdot d_{ij} \cdot z_{ij} \quad (4)$$

$$\sum_j z_{ij} = 1 \quad \forall i \quad i = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$z_{ij} \leq y_j \quad \forall i, j \quad (6)$$

$$\sum y_j \cdot n_j = 1 = p \quad (7)$$

$$\sum w_i = 1 \cdot z_{ij} = Q_j \cdot y_j \quad \forall j \quad (8)$$

$$z_{ij}, y_j \in \{0,1\} \quad (9)$$

Eşitlik (1) şeklinde gösterilen amaç fonksiyonu ile açılan tesislerin maliyetlerinin minimize edilmesi amaçlanmakta olup, eşitlik (2) her talep noktasının hizmet için belirlenen şartını sağlayan en az 1 tesis tarafından kapsanmasının gerekliliğini ortaya koyar. Eşitlik (3) karar değişkenlerinin 0-1 tamsayı olmasının kısıtını belirtir. Eşitlik (4) hizmet veren tesisler için (afet lojistik depo) ile talep noktaları arasında oluşan toplam maliyetin minimum olmasını hedefleyek kısıttır. Eşitlik (5) her talep noktasının yalnızca bir tesisten (afet lojistik depo) hizmet alma şartını göstermektedir. Eşitlik (6) açık olmayan tesise (afet lojistik depo) talep

noktası atanmamasını sağlamaktadır. Eşitlik (7) p adet tesislerin (afet lojistik depo) açılması kısıtını sağlamaktadır. Kapasiteli p-medyan modelinde bulunan Eşitlik (8), her bir tesis (afet lojistik depo) için ilgili tesisten hizmet alacak olan talep noktalarını daha öncesinde belirlenmiş bir kapasite değeri ile sınırlandıracak kısıttır. Eşitlik (9) tüm karar değişkenlerinin 0-1 tamsayı olmasını gerekli kılan kısıttır.

Yukarıda detaylandırılan matematiksel formülasyon, Çorum ili merkez mahalleleri için optimal afet lojistik depo yerlerini belirlemek amacıyla geliştirilmiştir. Formülasyonda kullanılan parametreler, veri toplama sürecinde elde edilen gerçek değerler kullanılarak belirlenmiştir. Özellikle, talep noktaları (mahalle merkezleri) arasındaki mesafeler Öklid mesafesi olarak hesaplanmış, ancak gerçek ulaşım ağındaki olası engeller ve kısıtlar da göz önünde bulundurulmuştur. Talep ağırlıkları ise mahallelerin nüfusları ve AFAD tarafından belirlenen afetzede oranları kullanılarak hesaplanmıştır. Modelin çözümü, karma tamsayılı doğrusal programlama yöntemleriyle gerçekleştirilmiş olup, çözüm algoritması olarak OpenSolver optimizasyon çözücüsü kullanılmıştır.

2.5. Kullanılan Yazılım ve Çözüm Algoritmaları

Bu çalışmada, afet lojistik depo yer seçimi probleminin çözümü için matematiksel modellerin analizinde ve optimizasyonunda Microsoft Excel ve Open Solver eklentisi kullanılmıştır. Open Solver, açık kaynak kodlu bir doğrusal ve doğrusal olmayan optimizasyon çözücüsü olup, geleneksel Excel Solver'ın kısıtlamalarını aşan kapasitesi ile tercih edilmiştir.

Open Solver, CBC (Coin-or Branch and Cut) algoritmasını kullanarak karma tamsayılı doğrusal programlama problemlerini çözmek için yapılandırılmıştır. Bu algoritma, dal-sınır (branch and bound) tekniğini kullanarak optimal çözümü aramaktadır. İlk aşama için Open Solver, minimizasyon problemini çözerek her bir kapsama mesafesi senaryosu için gerekli minimum depo sayısını ve bu depoların konumlarını belirlemiştir.

İkinci aşamada, birinci aşamadan elde edilen sonuçlar (depo sayısı ve konumları) girdi olarak kullanılarak p-medyan problemi formüle edilmiştir. Bu aşamada da Excel ortamında model kurulmuş ve Open Solver ile çözülmüştür. P-medyan modelinde, talep noktalarının ağırlıkları (w_i) mahalle nüfusları ve afetzede oranları kullanılarak hesaplanmış, bu ağırlıklar ve mesafeler çarpılarak ağırlıklı mesafe matrisi oluşturulmuştur. Open Solver'ın tercih edilmesinin temel nedeni, büyük ölçekli problemleri çözme kapasitesi ve esnek algoritma seçenekleri sunmasıdır. Excel ortamında çalışması ise, verilerin düzenlenmesi, görselleştirilmesi ve sonuçların analizi açısından kullanıcı dostu bir arayüz sağlamıştır.

2.6. Araştırmada Kullanılan Matematiksel Yöntemler

2.6.1. P-Medyan yöntemi

P-medyan problemi, tesis yerleşimi ve kaynak tahsisi için kullanılan önemli bir optimizasyon modelidir. P-medyan modeli, tesis yerleşim problemlerinin önemli bir sınıfı olan kapasitesiz tesis yerleşim problemleri (UFLP) içinde yer almaktadır (Brusco ve Steinley, 2015). P-medyan problemi, n lokasyon arasından p tesis yeri seçerek, nüfusun en yakın tesise olan ortalama mesafesini minimize etmeyi amaçlar (Hillsman, 1984). Ayrıca toplam kurulum ve taşıma maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlayan (Dantrakul vd., 2013), bu model lojistik uygulamalarda, depo veya dağıtım merkezi gibi tesislerin optimal konumlarını belirlemek için kullanılmaktadır. Bu problem, doğrusal kısıtlar ve doğrusal bir amaç fonksiyonu ile tanımlanır. Temel amacı, talep noktaları ile en yakın tesis arasındaki toplam mesafeyi en aza indirmektir (Hillsman, 1984; Mu ve Tong, 2018). P-medyan modelinin genel matematiksel formülasyonu, amaç fonksiyonu katsayılarının türetilme şekli değiştirilerek birçok farklı lokasyon problemini kapsayabilir. Örneğin; maksimum mesafe kapsama problemleri, tesis maliyetli problemler ve çok amaçlı problemler bu modelin özel durumları olarak tanımlanabilir (Hillsman, 1984). P-medyan yöntemi, çeşitli tesis yerleşimi ve kaynak tahsisi problemlerini çözmek için esnek ve güçlü bir araçtır. Bu yöntem, acil tıbbi hizmetler, okul yerleşimi ve rekabetçi pazar stratejileri gibi birçok pratik uygulamada kullanılabilir (Levanova ve Gnusarev, 2019; Ndiaye vd., 2012; Oh vd., 2023). Acil durum insani yardım lojistiğinde, dağıtım merkezleri, depolar ve sığınaklar gibi tesislerin yerleşimi için p-medyan yaklaşımı tercih edilmektedir (Boonmee vd., 2017). P-medyan modelinin bu çok yönlülüğü, onu konum-tahsis ve mekansal analizler için bilgisayar yazılım sistemlerinin temel bileşeni haline getirmektedir (Hillsman, 1984). Sonuç olarak, p-medyan yöntemi lojistik depo seçimi problemlerinde etkili bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Hem geleneksel tedarik zinciri yönetiminde hem de insani yardım lojistiğinde kullanılması, bu yöntemin lojistik tesis yerleşim problemlerindeki önemini vurgulamaktadır.

2.6.2. Küme kapsama ve p-medyan yöntemlerinin entegrasyonu

Küme kapsama ve p-medyan problemlerinin entegrasyonuna dair literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Maksimum beklenen kapsama problemi (MECP) ve yedek kapsama problemi (BACOP), vektör atama p-medyan probleminin (VAPMP) özel durumları olarak gösterilmiştir (Church & Weaver, 1986). Bu ilişki, MECP ve BACOP'un literatürdeki test setleri üzerinde çözülmesinde kullanılmıştır. Bu entegrasyon, iki problemin ortak yönlerini kullanarak daha etkili çözümler sunmaktadır. Kapasiteli p-medyan problemi için geliştirilen genetik algoritma yaklaşımları da bu entegrasyona örnek olarak verilebilir (Herda, 2015; Krömer & Platoš, 2014). Bu çalışmalarda, p-medyan probleminin kapasiteli versiyonu ele alınarak, küme kapsama probleminin bazı özellikleri dahil edilmiştir. Özellikle kapasite kısıtlamaları, küme kapsama probleminin temel özelliklerinden biridir. Değişken komşuluk arama sezgiseli

kullanılarak kapasiteli p-medyan problemi için geliştirilen yaklaşım da bu entegrasyona bir örnektir (Fleszar & Hindi, 2008). Bu yöntem, alt sınırları kullanarak hesaplama yükünü azaltmakta ve küçük alt problemlerin kesin çözümünü kullanmaktadır. Sonuç olarak, küme kapsama ve p-medyan problemlerinin entegrasyonu, her iki problemin güçlü yönlerini birleştirerek daha kapsamlı ve gerçekçi modeller oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Bu entegrasyon, özellikle tesis yerleşimi, acil durum hizmetleri planlaması ve lojistik ağ tasarımı gibi alanlarda pratik uygulamalar sunmaktadır.



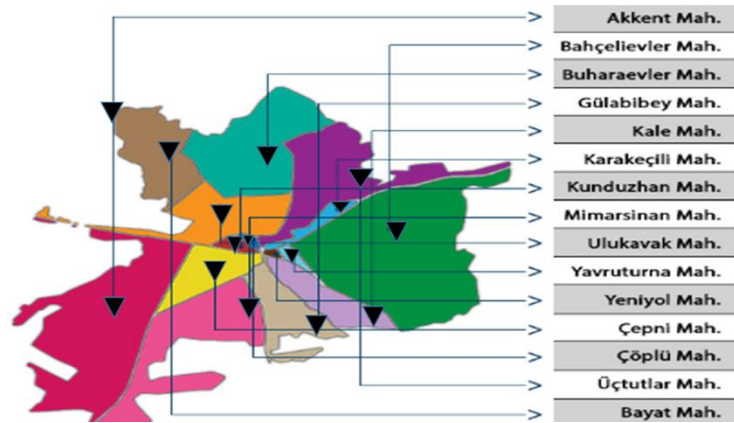
3.BÖLÜM

BULGULAR

Bu çalışmada, afet öncesi hazırlık sürecinin önemli bir parçası olan afet lojistik depolarının yer seçimi problemi ele alınmıştır. Bu problem için iki aşamalı entegre bir model önerilmiştir. Modelin ilk aşamasında, küme kapsama problemi kullanılarak talep noktalarını kapsayacak minimum sayıdaki depo ve bu depoların en uygun lokasyonları belirlenmiştir. İkinci aşamada ise, p-medyan problemi aracılığıyla talep noktalarının seçilen depolara atanması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, p-medyan modeli, tesislerin belirli kapasite kısıtları altında değerlendirilmiştir.

Önerilen model, Şekil 3.1 'de yer alan Çorum ili merkez mahallelerine kurulacak afet lojistik depo yer seçimi problemine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, afet yönetiminin kritik bir aşaması olan ilk yardım malzemelerinin etkili ve verimli bir şekilde depolanacağı lokasyonların tespit edilmesine katkı sağlamakta ve yerel yönetimlerin karar alma süreçlerini kolaylaştırmaktadır. Çorum merkez mahallelerinde yapılan analizlerde, modelin ilk aşamasında, afet lojistik depolarının sırasıyla 1, 2, 3, 4 ve 5 kilometre mesafedeki mahalleleri kapsama senaryoları üzerinden tüm merkezi kapsayacak ve maliyetleri minimize edecek depo sayıları belirlenmiştir.

Bunun yanı sıra, modelin ikinci aşamasında, p-medyan problemi kapasite kısıtı altında kapsama mesafeleri, afetzede sayıları ve kapasite değerlerine göre çalıştırılmış, çeşitli senaryolar üzerinden analizler yapılmıştır.



Şekil 3. 1. Çorum merkez mahalleleri

Kaynak: Çorum Belediyesi (2018)

Modelin çözümüne ilişkin analizler excel ortamında modellenmiş ve aşağıda anlatıldığı şekli ile adım adım çözümlenmiştir.

3.1. Küme Kapsama Modeli Sonuçları

Bu aşamada, Çorum ili merkez mahallelerinin coğrafi konumları belirlenmiş ve her mahallenin merkez koordinatları (enlem-boylam) Google Maps aracılığıyla elde edilmiştir. Mahalleler, modelde talep noktaları olarak kabul edilerek optimizasyon sürecinde düğüm noktaları şeklinde temsil edilmiştir. Talep noktaları ile potansiyel afet lojistik depoları arasındaki mesafe hesaplamalarında bu koordinatlar temel alınmıştır. Ayrıca, Çorum Belediyesi'nin resmî web sitesinden temin edilen güncel mahalle nüfus verileri, talep yoğunluğunu belirlemek amacıyla kullanılmış ve kapasiteli p-medyan modelinin oluşturulmasında önemli bir parametre olarak değerlendirilmiştir. Bu veriler aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Tablo 3. 1. Mahallelere ait kordinatlar, nüfus verileri ve olası talep miktarları

Mahalleler	Boylam (x)	Enlem (y)	Nüfus	TALEP
Akkent	34,90	40,5	7.111	355,55
Bahçelievler	34,99	40,55	44.436	2221,8
Bayat	34,92	40,59	85	4,25
Buharaevler	34,95	40,59	30.130	1506,5
Çepni	34,93	40,55	3.892	194,6
Çöplü	34,95	40,56	1.651	82,55
Gülalibey	34,96	40,54	38.532	1926,6
Kale	34,97	40,54	17.642	882,1
Karakeçili	34,97	40,56	5.631	281,55
Kunduzhan	34,95	40,55	2.606	130,3
Mimarsinan	34,93	40,53	15.107	755,35
Ulukavak	34,93	40,57	59.943	2997,15
Üçtutlar	34,98	40,58	25.039	1251,95
Yavruturna	34,96	40,55	6.543	327,15
Yeniyol	34,96	40,55	1.212	60,6

Bu aşamada ilk olarak excel ortamında mesafe matrisi oluşturulmuştur. Mesafe matrisi 15 mahalle olması nedeniyle 15x15 boyutunda oluşturulmuştur. Excelde oluşturulan mesafe matrisine ilişkin ekran görüntüsü Şekil 3.2 de verilmiştir.

senaryo1.xlsx

Dosya Giriş Ekle Sayfa Düzeni Formüller Veri Gözden Geçir Görünüm Yardım Ne yapar

Yapıştır Pano Yazı Tipi Hizalama Sayı

C27 =EĞER(C8<=SS\$3;1;0)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	aj															
2	Talep Noktaları (i)	Akkent	Bahçelievler	Bayat	Buharaevler	Çepni	Çöplü	Gölalibey	Kale	Karakeçili	Kunduzhan	Mimarşinan	Ulukavak	Ütutlar	Yavruturna	Yeniöl
3	Akkent	0,00	10,59	5,96	8,43	4,19	5,86	6,09	7,69	7,70	5,63	3,29	5,19	10,37	7,07	6,40
4	Bahçelievler	10,59	0,00	8,72	5,73	6,66	5,15	4,51	3,06	3,20	5,29	7,41	6,79	2,84	3,59	4,34
5	Bayat	5,96	8,72	0,00	3,74	3,82	4,10	5,85	7,14	5,66	4,14	5,60	2,37	6,95	5,67	5,02
6	Buharaevler	8,43	5,73	3,74	0,00	4,58	3,36	4,93	5,39	3,43	3,60	6,52	3,24	3,39	3,96	3,77
7	Çepni	4,19	6,66	3,82	4,58	0,00	1,67	2,50	4,11	3,58	1,44	2,01	1,66	6,17	3,07	2,32
8	Çöplü	5,86	5,15	4,10	3,36	1,67	0,00	1,83	3,05	1,98	0,26	3,29	1,80	4,51	1,66	0,93
9	Gölalibey	6,09	4,51	5,85	4,93	2,50	1,83	0,00	1,65	2,09	1,73	2,90	3,49	4,96	1,29	1,16
10	Kale	7,69	3,06	7,14	5,39	4,11	3,05	1,65	0,00	1,97	3,06	4,43	4,84	4,29	1,52	2,12
11	Karakeçili	7,70	3,20	5,66	3,43	3,58	1,98	2,09	1,97	0,00	2,15	4,76	3,61	2,88	0,80	1,31
12	Kunduzhan	5,63	5,29	4,14	3,60	1,44	0,26	1,73	3,06	2,15	0,00	3,02	1,80	4,75	1,75	0,99
13	Mimarşinan	3,29	7,41	5,60	6,52	2,01	3,29	2,90	4,43	4,76	3,02	0,00	3,65	7,61	4,04	3,48
14	Ulukavak	5,19	6,79	2,37	3,24	1,66	1,80	3,49	4,84	3,61	1,80	3,65	0,00	5,60	3,44	2,73
15	Ütutlar	10,37	2,84	6,95	3,39	6,17	4,51	4,96	4,29	2,88	4,75	7,61	5,60	0,00	3,67	4,13
16	Yavruturna	7,07	3,59	5,67	3,96	3,07	1,66	1,29	1,52	0,80	1,75	4,04	3,44	3,67	0,00	0,76
17	Yeniöl	6,40	4,34	5,02	3,77	2,32	0,93	1,16	2,12	1,31	0,99	3,48	2,73	4,13	0,76	0,00
18	Qj	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000

Şekil 3. 2. Mesafe Matrisi Excel Ekran Görüntüsü

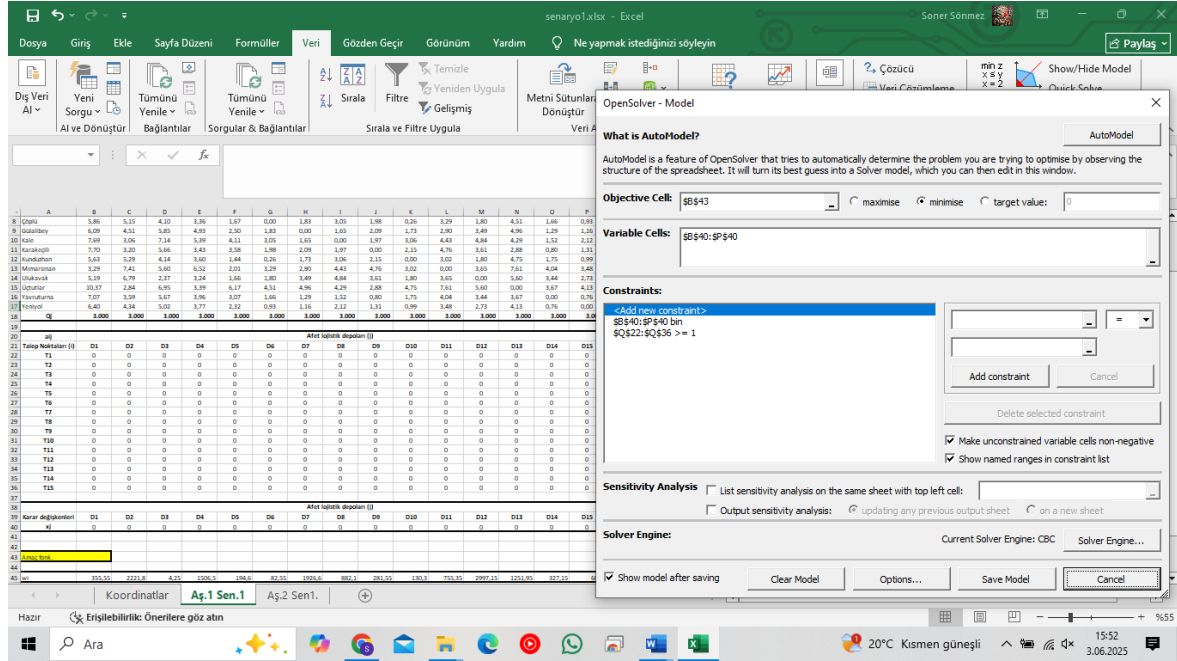
Yukarıdaki excel ekran görüntüsünde satır ve sütunlarda mahalle isimleri hücrelerde ise Google maps' den elde edilen mesafeler yer almaktadır. En alt satırda ise açılacak depolar için maksimum kapasiteler görülmektedir. Bu aşamada karar değişkenleri matrisi bir önceki aşamada hazırlanan mesafe matrisi boyutlarına uygun olarak oluşturulmuştur. Karar değişkenleri matrisi Şekil 3.3' te gösterilmiştir.

aj	Afet lojistik depoları (j)															KISIT1
Talep Noktaları (i)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	
T1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Karar değişkenleri	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	
xj																

Şekil 3. 3. Karar Değişkenleri Matrisi Excel Ekran Görüntüsü

Karar değişkenleri matrisi iki matristen oluşmaktadır. Ekran görüntüsünde yer alan 15x15 boyutundaki matris kısıt 1'i modelleyen bağlantı matrisi bu matrisin altında yer alan 1x15 boyutundaki matris ise karar değişkenleri matrisidir. Şekil 3.3' te bağlantı matrisinde satır ve

sütunlarda mevcut mahalleler yer almaktadır. Matrisin en son sütununda ise küme kapsama modelinde yer alan kısıt 1'i modellemektedir. Kısıt 1 her talep noktasının hizmet için belirlenen şartını sağlayan en az 1 tesis tarafından kapsanmasının gerekliliğini ortaya koyan kısıttır. Bu kısıt bağlantı matrisinde her bir satır toplamının bire eşit veya büyük olması şeklinde modellenmiştir. Bu nedenle bağlantı matrisinin en sağ sütunun da satır toplamları yer almaktadır. Küme kapsama modelinde yer alan amaç fonksiyonu ise B43 hücresinde modellenmiştir. Bu aşamada yapılan çözücü ayarları aşağıdaki ekran görüntüsünde yer almaktadır.



Şekil 3. 4. Çözücü Ayarları Excel Ekran Görüntüsü

Yapılan çözüm sonucunda aşağıda şekil 3.5 'teki excel ekrna görüntüsünde yer alan sonuçlara ulaşılmıştır.¹

¹ Excel ortamında gösterilen çözümler sadece senaryo 1' i kapsamaktadır.

senaryo1.xlsx - Excel

Dosya Giriş Ekle Sayfa Düzeni Formüller Veri Gözden Geçir Görünüm Yardım Ne yapmak istersiniz

Dış Veri Al Yeniden Sorgu Tümü Yenisine Tümü Yenisine Sırala Filtre Temizle Yeniden Uygula Metni Sütunlara Dönüştür Veri Araçları

B18 3000

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
11	Karakeçili	7,70	3,20	5,66	3,43	3,58	1,98	2,09	1,97	0,00	2,15	4,76	3,61	2,88	0,80	1,31	
12	Kunduzhan	5,63	5,29	4,14	3,60	1,44	0,26	1,73	3,06	2,15	0,00	3,02	1,80	4,75	1,75	0,99	
13	Mimarsinan	3,29	7,41	5,60	6,52	2,01	3,29	2,90	4,43	4,76	3,02	0,00	3,65	7,61	4,04	3,48	
14	Ulukavak	5,19	6,79	2,37	3,24	1,66	1,80	3,49	4,84	3,61	1,80	3,65	0,00	5,60	3,44	2,73	
15	Uçutlar	10,37	2,84	6,95	3,39	6,17	4,51	4,96	4,29	2,88	4,75	7,61	5,60	0,00	3,67	4,13	
16	Yavruturna	7,07	3,59	5,67	3,96	3,07	1,66	1,29	1,52	0,80	1,75	4,04	3,44	3,67	0,00	0,76	
17	Yeni yol	6,40	4,34	5,02	3,77	2,32	0,93	1,16	2,12	1,31	0,99	3,48	3,73	4,13	0,76	0,00	
18	Q1	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	
19																	
20	afet																
21	Talep Noktaları (i)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	KOSIT1
22	T1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
23	T2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
24	T3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
25	T4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
26	T5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
27	T6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
28	T7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
29	T8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
30	T9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1
31	T10	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1
32	T11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
33	T12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
34	T13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
35	T14	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1
36	T15	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1
37																	
38	afet																
39	Karar değişiklikleri	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	
40	x1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	
41																	
42																	
43	Açılacak depo	12															
44																	
45	Toplam	355,55	2221,8	4,25	1506,5	194,6	82,55	1926,6	882,1	281,55	130,3	755,35	2997,15	1251,95	327,15	60,6	Depo sayısı
46																	

Şekil 3. 5. Şekil3.4 Çözüm Sonuçları Ekran Görüntüsü

Küme kapsama modeli, beş farklı kapsama mesafesi (1, 2, 3, 4 ve 5 km) için yukarıda ifade edilen adımlar izlenerek çözümlenmiştir. Elde edilen sonuçlar detaylı olarak incelenmiştir. Depo konumları ve hizmet edilecek talep noktaları 1' den 15'e kadar sayılar verilerek çözüm gerçekleştirilmiştir. Bunlar sırasıyla; akkent, bahçelievler, bayat, buharaevler, çepni, çöplü, gülalibey, kale, Karakeçili, kunduzhan, mimarsinan, ulukavak, uçutlar, yavruturna, yeni yol olarak merkez mahalleri belirlenmiştir.

Tablo 3. 2. Önerilen bütünsel modelin aşama-1 için sonuçlar

Senaryolar	Kapsama Mesafesi- S (km)	Açılacak Afet Lojistik Depo Sayısı-p	Açılacak Lojistik depo no
Senaryo 1	1	12	1,2,3,4,5,7,8,9,11,12,13,15
Senaryo 2	2	8	1,2,3,4,6,11,13,14
Senaryo 3	3	5	1,2,3,4,7
Senaryo 4	4	3	1,9,12
Senaryo 5	5	2	5,7

Tablo 3.1'te gösterildiği üzere, farklı kapsama mesafeleri için açılması gereken optimum afet lojistik depo sayıları ve konumları belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, kapsama mesafesi arttıkça, tüm talep noktalarını (mahalleleri) kapsayabilmek için gereken afet lojistik depo sayısı belirgin şekilde azalmaktadır. Kapsama mesafesi 1 km olduğunda 12 adet depo gereksinimi varken, bu sayı 2 km için 8'e, 3 km için 5'e, 4 km için 3'e ve 5 km için sadece 2'ye düşmektedir.

Senaryo 1'de ($S=1$ km), tüm mahalleleri kapsamak için 12 adet depo açılması gerekmektedir. Bu depolar 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 13 ve 15 numaralı lokasyonlarda konumlandırılmalıdır. Bu durumda her afet lojistik deposu, kendisine en yakın mahallelere hizmet vermekte ve kapsama alanı 1 km ile sınırlı kalmaktadır. Kapsama mesafesinin düşük olması nedeniyle, neredeyse her mahalleye yakın bir depo açılması gerekmektedir.

Senaryo 2'de ($S=2$ km), kapsama mesafesinin artmasıyla depo sayısı 8'e düşmektedir. Bu depolar 1, 2, 3, 4, 6, 11, 13 ve 14 numaralı lokasyonlarda konumlandırılmıştır. Bu senaryoda, her depo daha geniş bir alanı kapsayabildiği için, depo sayısında %33'lük bir azalma gözlenmiştir. Daha az depo ile tüm mahallelerin kapsanabilmesi hem kurulum maliyetlerinde hem de operasyonel maliyetlerde önemli tasarruf sağlama potansiyeline sahiptir.

Senaryo 3'te ($S=3$ km), kapsama mesafesi daha da artırıldığında, gerekli depo sayısı 5'e düşmektedir. Bu depolar 1, 2, 3, 4 ve 7 numaralı lokasyonlarda konumlandırılmıştır. Bu senaryoda, her depo daha fazla mahalleye hizmet verebilmekte, dolayısıyla toplam depo sayısı önemli ölçüde azalmaktadır. Bu durum, afet lojistik depo kurulum maliyetlerinde %58'lik bir azalma potansiyeli sunarken, kapsama mesafesinin artmasından kaynaklanan hizmet süresindeki artış da göz önünde bulundurulmalıdır.

Senaryo 4 ($S=4$ km) ve Senaryo 5 ($S=5$ km) için elde edilen sonuçlar, kapsama mesafesinin daha da artmasıyla depo sayısının sırasıyla 3 ve 2'ye düştüğünü göstermektedir. Senaryo 4'te depolar 1, 9 ve 12 numaralı lokasyonlarda konumlandırılırken, Senaryo 5'te sadece 5 ve 7 numaralı lokasyonlarda depo açılması yeterli olmaktadır. Bu senaryolarda depo sayısının azalması, kurulum maliyetlerinde önemli tasarruf sağlama potansiyeline sahip olsa da, talep noktalarından depolara olan uzaklıkların artması, hizmet kalitesinde ve müdahale süresinde olumsuz etkilere neden olabilecektir.

3.2. P-Medyan Modeli Sonuçları

Çalışmanın ikinci aşamasında, küme kapsama modeli ile belirlenen afet lojistik depo sayıları ve konumları girdi olarak kullanılarak kapasiteli p-medyan modeli uygulanmıştır. Bu modelin amacı, talep noktaları (mahalleler) ile afet lojistik depoları arasındaki ağırlıklı toplam mesafeyi minimize etmek ve her mahallenin hangi depoya atanacağını belirlemektir. Bu bölümde, farklı kapsama mesafeleri için elde edilen p-medyan modeli sonuçları detaylı olarak incelenmiştir.

İkinci aşamada ise; kapasiteli p-medyan modelinin çözümünde ilk modeldeki sonuçlar kullanılmıştır. P-medyan modeli için excelde oluşturulan matrisler, kısıt denklemlerine ilişkin formüller ve amaç fonksiyonu şekil 3.5’ te, çözücü ayarları ise şekil 3.6’ da toplu halde veirilmiştir².

Şekil 3. 6. P-Medyan Modeli Excel Matrisleri Ve Sonuçları Ekran Görüntüsü

Şekil 3. 7. P-Medyan Modeli Çözücü Ayarları Ekran Görüntüsü

² Excel ortamında gösterilen çözümler sadece senaryo 1’ i kapsamaktadır.

Şekil 3.5'te verilen excel matrisleri ve diğer formülüzasyona ilişkin ayarlamalar yapıldıktan sonra opensolver ile yapılan çözüm neticesinde aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır. Bulgular tablo 3.2' de gösterilmiştir.

Tablo 3. 3. Kapasiteli P-Medyan Modelinin Sonuçları Kapsama Mesafeleri İçin Analizleri

Senaryolar (kapsama mesafeleri)	Kapasite	Amaç fonksiyon	Afet Lojistik Depo no.	Hizmet edilecek talep noktası
Senaryo1 (S=1 km)	3000	84,04	1	1
			2	2
			4	4,3
			5	5
			7	7
			8	8
			9	9
			10	10,6
			11	11
			12	12
			13	13
			14	14,15
			1	1
			2	2
Senaryo2 (S=2 km)	3000	1.832,52	4	4,3
			7	7,6,10,14,15
			8	8,9
			11	11,5
			12	12
			13	13
			2	2,9,14
Senaryo3 (S=3 km)	3000	9.912,02	4	4,3,13
			7	7,8,10,15
			11	11,1,5,6,
			12	12
Senaryo 4 (S=4 km)	3000	24.165,29		
Senaryo 5 (S=5 km)	3000	63.299,59		

Tablo 3.2'te sunulan sonuçlara göre, her bir senaryo için kapasite kısıtı altında elde edilen amaç fonksiyon değerleri, depo konumları ve hizmet edilecek talep noktaları belirlenmiştir. Tüm

senaryolar için depo kapasitesi mahallelerin yüz ölçümleri kriterine göre hesaplanan afetzede sayısı olarak hizmet edeceği kişi sayısı 3000 birim olarak sabit tutulmuştur.

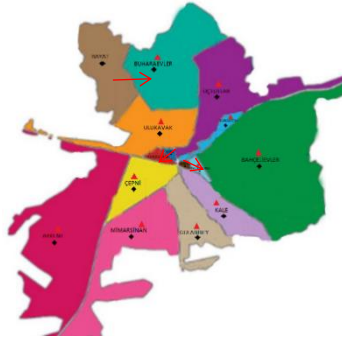
Senaryo 1'de ($S=1$ km), toplamda 12 adet afet lojistik deposu kullanılmış ve ağırlıklı toplam mesafe 84,04 birim olarak hesaplanmıştır. Bu senaryoda, her depo genellikle kendisine en yakın bir veya iki mahalleye hizmet vermektedir. Örneğin, 1 numaralı depo sadece 1 numaralı mahalleye, 2 numaralı depo sadece 2 numaralı mahalleye hizmet verirken, 10 numaralı depo hem 10 hem de 6 numaralı mahallelere, 14 numaralı depo ise hem 14 hem de 15 numaralı mahallelere hizmet vermektedir. Bu durum, kapsama mesafesinin düşük olması nedeniyle depoların daha lokalize hizmet sunmasına olanak tanımaktadır.

Senaryo 2'de ($S=2$ km), depo sayısı 8'e düşmüş ve ağırlıklı toplam mesafe 1.832,52 birime yükselmiştir. Bu senaryoda, her depo daha fazla mahalleye hizmet vermektedir. Özellikle 7 numaralı depo, beş farklı mahalleye (7, 6, 10, 14 ve 15) hizmet vererek, en geniş hizmet alanına sahip depo konumundadır. Toplam mesafenin artması, depo sayısının azalmasıyla doğrudan ilişkilidir, zira mahalleler ile depolar arasındaki ortalama mesafe artmıştır.

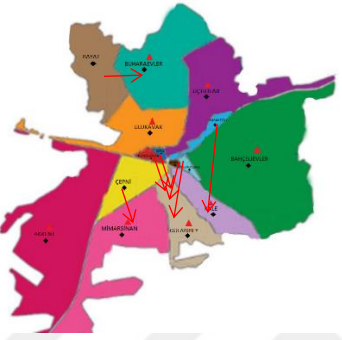
Senaryo 3'te ($S=3$ km), depo sayısı 5'e düştüğünde, ağırlıklı toplam mesafe 9.912,02 birime yükselmiştir. Bu senaryoda, depoların hizmet alanları daha da genişlemiştir. Örneğin, 2 numaralı depo üç farklı mahalleye (2, 9 ve 14), 4 numaralı depo üç mahalleye (4, 3 ve 13), 7 numaralı depo üç mahalleye (7, 8 ve 10, 15) ve 11 numaralı depo dört mahalleye (11, 1, 5 ve 6) hizmet vermektedir. Her deponun sorumlu olduğu alan genişledikçe, hizmet kalitesinde ve müdahale süresinde potansiyel kayıplar olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Senaryo 4 ($S=4$ km) ve Senaryo 5 ($S=5$ km) için ağırlıklı toplam mesafe değerleri sırasıyla 24.165,29 ve 63.299,59 birim olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, kapsama mesafesinin artmasıyla ağırlıklı toplam mesafenin önemli ölçüde arttığını göstermektedir. Özellikle Senaryo 5'te sadece iki depo kullanıldığında, toplam mesafe değeri, Senaryo 1'in neredeyse 753 katına çıkmaktadır. Bu durum, depo sayısının azalmasıyla birlikte, depoların hizmet alanlarının genişlemesi ve talep noktalarına olan mesafelerin artması nedeniyle ortaya çıkmaktadır.

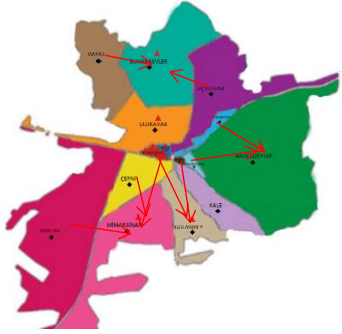
Sonuçlar ayrıca, farklı senaryolarda açılan depolar ve bunlara atanan mahallelerin görsel olarak Şekil 3.2, 3.3 ve 3.4'te gösterildiği üzere, kapsama mesafesi arttıkça atama desenlerinin daha karmaşık hale geldiğini ortaya koymaktadır. Senaryo 1'de nispeten basit ve doğrudan atamalar görülürken, Senaryo 2 ve Senaryo 3'te daha karmaşık atama desenleri ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3. 8. Senaryo-1



Şekil 3. 9. Senaryo-2



Şekil 3. 10. Senorya-3

P-medyan modeli sonuçları, kurulum maliyetleri ile hizmet kalitesi arasındaki ödünleşimi (trade-off) açıkça göstermektedir. Daha az sayıda depo açıldığında kurulum maliyetleri azalmakta, ancak ağırlıklı toplam mesafenin artmasıyla müdahale süresi uzamakta ve hizmet kalitesi potansiyel olarak düşmektedir. Bu nedenle, afet lojistik depo yer seçiminde hem maliyet faktörlerinin hem de hizmet kalitesi faktörlerinin dengeli bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

İncelenen senaryolar arasında, optimum denge noktasının Senaryo 2 veya Senaryo 3 olabileceği değerlendirilmektedir. Bu senaryolarda, depo sayısı makul bir seviyede tutulurken, ağırlıklı toplam mesafe hala kabul edilebilir sınırlar içinde kalmaktadır. Ancak nihai karar,

yerel yöneticilerin maliyet kısıtları, hizmet seviyesi beklentileri ve risk toleransı gibi faktörlere bağlı olarak değişebilecektir.



SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Çorum ili merkez mahalleleri için afet lojistik depolarının optimal yerleşimini belirlemek amacıyla iki aşamalı bütünsel bir matematiksel model geliştirilmiştir. İlk aşamada küme kapsama modeli kullanılarak tüm mahalleri kapsayacak minimum sayıda afet lojistik deposu belirlenmiş, ikinci aşamada p-medyan modeli ile talep noktaları (mahalleler) ve depolar arasındaki ağırlıklı toplam mesafe minimize edilmiştir. Farklı kapsama mesafeleri (1, 2, 3, 4 ve 5 km) için beş senaryo geliştirilerek incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlar, kapsama mesafesi arttıkça ihtiyaç duyulan depo sayısının azaldığını göstermiştir. Kapsama mesafesi 1 km olduğunda 12 depo gerekirken, 5 km için sadece 2 depo yeterli olmaktadır. Ancak depo sayısının azalması, talep noktaları ile depolar arasındaki toplam mesafeyi artırmakta, bu da müdahale süresinin uzamasına neden olabilmektedir. Özellikle 4 ve 5 km mesafe senaryolarında, depo sayısı önemli ölçüde azalmasına rağmen, kapsama mesafesinin çok düşmesi nedeniyle müdahale süresi açısından riskler oluşmaktadır.

P-medyan modeli sonuçları, her senaryo için ağırlıklı toplam mesafeyi göstermiş ve bu değer in kapsama mesafesi ile üstel olarak arttığını ortaya koymuştur. Senaryo 1'de ağırlıklı toplam mesafe 84,04 birim iken, Senaryo 5'te bu değer 63.299,59 birime yükselmektedir. Her senaryo için talep noktalarının depolara atanma desenleri de belirlenmiş ve bu atamalar haritalandırılmıştır.

Bu çalışma, afet lojistik depo yer seçimi problemine yönelik literatürdeki mevcut çalışmalarla çeşitli açılardan benzerlikler ve farklılıklar göstermektedir. Geliştirilen iki aşamalı bütünsel model hem küme kapsama hem de p-medyan yöntemlerinin güçlü yanlarını birleştirmesiyle, literatürdeki tek yöntemli çalışmalara göre önemli avantajlar sunmaktadır.

Hale ve Moberg (2005) çalışmalarında, verimli ve güvenli tesis kurulması için küme kapsama modeli önermişlerdir. Bu modelde bölgesel ve ana depolar arasında minimum 50 mil, maksimum 100 mil mesafe olacak şekilde depo sahaları belirlenmiştir. Bizim çalışmamız ise kent ölçeğinde daha küçük mesafeler (1-5 km) için uygulanmış olup, yerel düzeyde daha hassas bir planlama sağlamaktadır.

Görmez ve arkadaşları (2011) İstanbul'da yerel ve bölgesel depo seçimi için iki aşamalı bir tamsayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Benzer şekilde, bizim çalışmamızda da iki aşamalı bir yaklaşım benimsenmiş, ancak Görmez ve arkadaşlarının çalışmasından farklı olarak, ikinci aşamada p-medyan modeli kullanılarak talep ağırlıklı mesafe optimizasyonu yapılmıştır. Bu entegrasyon, Church ve Weaver'ın (1986) çalışmasında vurgulanan küme kapsama ve p-medyan problemleri arasındaki ilişkiden faydalanmaktadır.

Gözaydın ve Can (2013) deprem yardım istasyonları için afet lojistik depo yer seçimi problemlerini p-medyan ve maksimum kapsama alanı modelleriyle ele almışlardır. Bizim çalışmamız ise bu iki yaklaşımı ardışık olarak uygulayarak daha kapsamlı bir çözüm

sunmaktadır. Bu yaklaşım, Temiz'in (2018) İstanbul Maltepe ilçesi için geliştirdiği küme kapsama ve p-medyan modellerini kullanan çalışmasıyla benzerlikler göstermektedir, ancak bizim çalışmamız kapasite kısıtlarını da dikkate alarak daha gerçekçi bir senaryo sunmaktadır.

Peker ve arkadaşları (2016) Erzincan ili için en uygun afet dağıtım merkezi yerinin belirlenmesi amacıyla Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ve VIKOR yöntemlerini kullanmışlardır. Bu çalışma, çok kriterli karar verme yaklaşımı kullanması açısından bizim çalışmamızdan farklılaşmaktadır. Bizim çalışmamız ise matematiksel optimizasyon modellerini kullanarak daha nicel bir yaklaşım sunmaktadır.

Literatürdeki mevcut çalışmaların çoğu, ya sadece depo sayısının minimizasyonunu (Hale ve Moberg, 2005; Yiğit, 2010) ya da sadece mesafe optimizasyonunu (Duran vd., 2011; Gözaydın ve Can, 2013) hedeflerken, bizim çalışmamız her iki hedefi de içeren bütünlük bir yaklaşım sunmaktadır. Fleszar ve Hindi'nin (2008) kapasiteli p-medyan problemi için geliştirdikleri değişken komşuluk arama sezgiseli, bizim çalışmamızdaki kapasiteli p-medyan modeliyle benzerlikler göstermektedir, ancak bizim modelimiz küme kapsama problemiyle entegre edilmiştir.

Boonmee ve arkadaşları (2017) acil durum insani yardım lojistiğinde tesis yerleşimi için p-medyan yaklaşımını önermiş, ancak kapasiteli p-medyan modeline odaklanmamışlardır. Bizim çalışmamız, kapasite kısıtlarını da dikkate alarak, afet lojistiğinde daha gerçekçi bir senaryo sunmaktadır. Ayrıca, Çorum ili özelinde yapılan bu çalışma, Türkiye'nin orta ölçekli şehirlerinde afet lojistik planlaması için örnek teşkil etmektedir.

Paul ve MacDonald (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, afet durumunda acil yardım dağıtım merkezlerinin yerleşimi için stokastik bir optimizasyon modeli önerilmiştir. Bizim çalışmamız deterministik bir yaklaşım sunmakla birlikte, farklı kapsama mesafeleri için geliştirilen senaryolar sayesinde karar vericilere çeşitli alternatifler sunmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma küme kapsama ve p-medyan modellerinin entegrasyonu, kapasite kısıtlarının dikkate alınması ve kent ölçeğinde uygulanabilir sonuçlar sunması açısından literatüre önemli katkılar sağlamaktadır. Geliştirilen iki aşamalı bütünlük model, afet lojistik depo yer seçimi problemine daha kapsamlı bir yaklaşım getirerek hem teorik hem de pratik açıdan literatürdeki mevcut çalışmaları ileriye taşımaktadır.

Çalışmanın bulguları, afet yönetimi alanında çalışan uygulayıcılar ve karar vericiler için önemli pratik çıkarımlar sunmaktadır. Öncelikle, Çorum ili özelinde, afet lojistik depolarının optimal yerleşimi için somut öneriler geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, yerel yöneticilere, maliyet-etkin ve hizmet kalitesini maksimize eden depo yerleşim planları sunmaktadır.

Senaryo analizleri, karar vericilere farklı kapsama mesafeleri altında alternatif çözümler sunarak, kaynak kısıtlamaları ve hizmet gereksinimleri arasında dengeli bir seçim yapma

imkânı sağlamaktadır. Özellikle Senaryo 2 (S=2 km, 8 depo) ve Senaryo 3 (S=3 km, 5 depo), hem makul sayıda depo içermekte hem de kabul edilebilir bir hizmet seviyesi sunmaktadır.

Geliştirilen metodoloji, sadece Çorum ili için değil, benzer afet riski taşıyan diğer şehirler için de uyarlanabilir bir çerçeve sunmaktadır. Önerilen bütünleşik model, farklı coğrafi ve demografik yapılara sahip şehirler için de kullanılabilir, böylece ulusal düzeyde afet hazırlık stratejilerinin geliştirilmesine katkıda bulunabilir.

Ayrıca, çalışma sonuçları, afet lojistik depolarının yerleşiminde sadece mesafe kriterinin değil, nüfus yoğunluğu ve potansiyel afetzedede sayısı gibi demografik faktörlerin de dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır. Bu yaklaşım, kaynakların daha etkin kullanımını sağlayarak, afet müdahale kapasitesinin artırılmasına yardımcı olabilir.

Bu çalışma, afet lojistik depo yer seçimi problemine önemli katkılar sağlamasına rağmen, bazı sınırlılıklar içermektedir. İlk olarak, model deterministik bir yapıya sahip olup, afet durumlarında ortaya çıkabilecek belirsizlikleri tam olarak yansıtmamaktadır. Gelecek çalışmalarda, stokastik programlama veya bulanık mantık yaklaşımları kullanılarak, depo kapasiteleri, talep miktarları ve ulaşım ağı gibi parametrelerdeki belirsizlikler modele dahil edilebilir.

İkinci olarak, çalışmada sadece Çorum ili merkez mahalleleri ele alınmış, ilçeler kapsam dışı bırakılmıştır. Gelecekteki araştırmalar, il genelinde daha kapsamlı bir analiz yaparak, merkez-ilçe koordinasyonunu da dikkate alan bütünleşik bir afet lojistik ağı tasarlayabilir.

Üçüncü bir sınırlılık, ulaşım ağının afet durumunda zarar görebileceği gerçeğinin modelde tam olarak yansıtılmamasıdır. İleriki çalışmalarda, ulaşım ağının dayanıklılığı ve afet durumunda alternatif rotaların kullanılabilirliği gibi faktörler modele dahil edilebilir.

Gelecek araştırmalar için diğer öneriler şunlardır:

- Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile entegre edilmiş bir afet lojistik depo yer seçimi modeli geliştirerek, coğrafi engellerin ve gerçek ulaşım ağının daha gerçekçi bir şekilde temsil edilmesi.
- Çok kriterli karar verme yöntemleri ile depo yer seçimi kriterlerinin ağırlıklandırılması ve daha kapsamlı bir değerlendirme yapılması.
- Farklı afet türlerine (deprem, sel, heyelan vb.) göre özelleştirilmiş lojistik depo ağları tasarlanması ve bunların karşılaştırmalı analizi.
- Dinamik optimizasyon modelleri kullanılarak, afet durumunda gerçek zamanlı karar vermeyi destekleyen adaptif lojistik planlama sistemlerinin geliştirilmesi.

- Afet lojistik depo yer seçimi ile diğer afet hazırlık faaliyetlerinin (tahliye planlaması, acil durum müdahale ekiplerinin konumlandırılması vb.) entegrasyonunu sağlayan bütünsel bir afet yönetim modeli oluşturulması.

Bu öneriler doğrultusunda yapılacak gelecek çalışmalar, afet lojistiği alanında hem teorik hem de pratik katkılar sağlayarak, toplumların afetlere karşı dayanıklılığının artırılmasına yardımcı olacaktır.



KAYNAKÇA

- Adiguzel, S. (2019). Logistics management in disaster. *Pressacademia*, 6(4), 212–224.
- AFAD. (2013), Türkiye Afet Müdahale Planı.
- AFAD. (2014). Açıklamalı Afet yönetimi Terimleri Sözlüğü.
- Annisa, P. D., & Kurniawan, W. (2024). Forecasting and stock control for fast-moving humanitarian aid supplies. *Operations Excellence: Journal of Applied Industrial Engineering*, 16(2), 177.
- Balcik, B., & Beamon, B. M. (2008). Facility location in humanitarian relief. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 11(2), 101-121.
- Barbarosoglu, G. ve Arda, Y. (2004). Two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response. *Journal of the Operational Research Society*
- Birleşmiş Milletler Afet Risk Azaltma Ofisi (UNDRR), 2015.
- Boonmee, C., Arimura, M., & Asada, T. (2017). Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24, 485–498.
- Brusco, M. J., & Steinley, D. (2015). Affinity Propagation and Uncapacitated Facility Location Problems. *Journal of Classification*, 32(3), 443–480.
- Chanta, S. ve Sangsawang, O. (2012). Sel felaketi sırasında barınak yeri seçimi. *Yönetim biliminde ders notları*, 4, 282-288.
- Church, R., & Gerrard, R. (2003). The Multi-level Location Set Covering Model. *Geographical Analysis*, 35, 277 - 289.
- Church, R., & Weaver, J. R. (1986). Theoretical links between median and coverage location problems. *Annals of Operations Research*, 6(1), 1-19.
- Crawford, B., Soto, R., Johnson, F., Paredes, F., Palma, W., & Norero, E. (2015). *The Impact of a New Formulation When Solving the Set Covering Problem Using the ACO Metaheuristic* (pp. 209–218). Springer.
- Dantrakul, S., Likasiri, C., & Pongvuthithum, R. (2013). Applied p-median and p-center algorithms for facility location problems. *Expert Systems with Applications*, 41(8), 3596–3604.
- Demirdöğen, O., Erdal, H., Yazıcılar, F. G., & Aykol, S. (2017). Afet lojistiği tesis yeri seçimi problemi: TRA1 bölgesi için bir uygulama. *The International New Issues in Social Sciences*, 5(5), 323-342.
- Duran, S., Gutierrez, M. A. ve Keskinocak, P. (2011). Pre-Positioning of Emergency Items Worldwide for CARE.
- 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.
- Ergünay, O. (2009). Afet Yönetimi: Genel İlkeler, Tanımlar ve Kavramlar. Ankara: Afet
- Erkal, T., & Değerliyurt, M. (2009). Türkiye’de afet yönetimi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 14(22), 147-164.

- Erkal, T., & Değerliyurt, M. (2009). Türkiye’de afet yönetimi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 14(22), 147-164.
- Ersoy, Ş. (2006). Sürdürülebilir (istikrarlı) bir Kalkınma için Doğru Afet önetimi Ne Olmalıdır?
- Fleszar, K., & Hindi, K. S. (2008). An effective VNS for the capacitated p-median problem. *European Journal of Operational Research*, 191(3), 612-622.
- Göçmen Polat, E. (2022). Distribution Centre Location Selection for Disaster Logistics with Integrated Goal Programming-AHP based TOPSIS Method at the City Level. *Afet ve Risk Dergisi*, 5(1), 282-296.
- Gökçe, O. ve Tetik, Ç. (2012). Afet Sonrası İyileştirme Çalışmaları.
- Gökçe, O., Özden, Ş. ve Demir, A. (2008). Türkiye’de Afetlerin Mekansal Ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri.
- Görmez, N., Köksalan, M., & Salman, F. S. (2011). Locating Disaster Response Facilities in İstanbul. *Journal Of The Operational Research Society*.
- Gözaydın, O., & Can, T. (2013). Deprem Yardım İstasyonları İçin Lojistik Merkezi Seçimi: Türkiye Örneği. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*.
- Gülner, B. (2016). *Afet lojistiği yönetim sürecinde lojistik merkezlerin teşkili ve yer seçimi için örnek uygulama* (Master's thesis, Altınbaş Üniversitesi).
- Hadiguna, R. A., Kamil, I., Delati, A., & Reed, R. (2014). Implementing a web-based decision support system for disaster logistics: A case study of an evacuation location assessment for Indonesia. *International journal of disaster risk reduction*, 9, 38-47.
- Hale, T., & Moberg, C. R. (2005). Improving Supply Chain Disaster Preparedness: A Decision Process for Secure Site Location. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 35(3), 195-207.
- Han, S., Jeong, H., & Park, J.-W. (2019). Study on the Facility Planning for Relief Logistics Relieving Damage from Natural Disaster. *The E-Business Studies*, 23(3), 51-64.
- Hillsman, E. L. (1984). The p-Median Structure as a Unified Linear Model for Location—Allocation Analysis. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 16(3), 305-318.
- Huang, S., Wang, Q., Batta, R., & Nagi, R. (2015). An integrated model for site selection and space determination of warehouses. *Comput. Oper. Res.*, 62, 169-176.
- Hwang, H. (2004). A stochastic set-covering location model for both ameliorating and deteriorating items. *Comput. Ind. Eng.*, 46, 313-319.
- Kadioğlu, M. (2011). Afet Yönetimi: Beklenilmeyeni beklemek, en kötüsünü yönetmek. *İstanbul: T.C. Marmara Belediyeler Birliği*.
- Kadioğlu, M. (2011). Afet Yönetimi: Beklenilmeyeni beklemek, en kötüsünü yönetmek.
- KADIOĞLU, M. Kadioğlu, M., 2008: Sel, Heyelan ve Çığ için Risk Yönetimi; Kadioğlu, M. ve Özdamar, E.,(editörler),“Afet Zararlarını Azaltmanın Temel İlkeleri”; s. 251-276, JICA Türkiye Ofisi Yayınları No: 2, Ankara.
- Kalkınma Bakanlığı, T. (2014). Afet Yönetiminde Etkinlik Özel İhtisas Komisyonu Raporu
- Kapucu, N., Okhai, R., & Hu, Q. (2022). Network Governance for Coordinated Disaster Response. *Public Administration Quarterly*, 46(4), 309-333.

- Kovacs, G., & Spens, K. M. (2007). Humanitarian logistics in disaster relief operations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37(2), 99-114.
- Küçük, B. (2023). Managerial Planning in Disaster Logistics: Model Proposal for Logistics Administrative Structuring in Pandemics. *Afet ve Risk Dergisi*, 6(1), 148-164.
- Levanova, T., & Gnusarev, A. (2019). *Development of Ant Colony Optimization Algorithm for Competitive p-Median Facility Location Problem with Elastic Demand* (pp. 68-78). Springer science business media.
- Mu, W., & Tong, D. (2018). A spatial-knowledge-enhanced heuristic for solving the p -median problem. *Transactions in GIS*, 22(2), 477-493.
- Ndiaye, F., Ly, I., & Ndiaye, B. M. (2012). Application of the p -Median Problem in School Allocation. *American Journal of Operations Research*, 02(02), 253-259.
- Ofluoglu, A., Baki, B., & Ar, İ. M. (2017). Multi-criteria decision analysis model for warehouse location in disaster logistics. *Journal of Management Marketing and Logistics*, 4(2), 89-106.
- Oh, C., Chun, Y., & Kim, H. (2023). Location Planning of Emergency Medical Facilities Using the p -Dispersed-Median Modeling Approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(12), 497.
- Önsüz, M. F. ve Atalay, B. I. (2015). Afet Lojistiği. *Osmangazi Tıp Dergisi*, 37(3), 1-6.
- Ophiyandri, T., Sundari, S., Kholidasari, I., & Kaewsaengon, R. (2023). Disaster logistics management in Pasaman after 2022 earthquake. *E3S Web of Conferences*, 464, 03005.
- Özcan, T., Çelebi, N., & Esnaf, Ş. (2011). Comparative Analysis of Multi-Criteria Decision-Making Methodologies and Implementation of A Warehouse Location Selection Problem. *Expert Systems with Applications*.
- Özdamar, L. ve Demir, O. (2012). Büyük ölçekli afet yardım lojistiği planlaması için hiyerarşik kümeleme ve yönlendirme prosedürü. *Ulaştırma Araştırması Bölüm E: Lojistik ve Ulaştırma İncelemesi*, 48 (3), 591-602.
- Öztürkel, M. (2021). *Afet yönetimi, afet lojistiği ve insani yardım lojistiği alanında yapılan tez çalışmalarının bibliyometrik analizi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Tarsus Üniversitesi Lisansüstü eğitim enstitüsü uluslararası ticaret ve lojistik ana bilim dalı
- Paul, J. A., & MacDonald, L. (2016). Location and capacity allocations decisions to mitigate the impacts of unexpected disasters. *European Journal of Operational Research*, 251(1), 252-263.
- Peker, İ., Ulutaş, Ş., Okatan, B. S., Korucuk, S., & Yaşar, F. (2015). Afet Lojistiği Kapsamında En Uygun Dağıtım Merkez Yerin Ahs-Vikor Bütünleşik Yöntemi İle Belirlenmesi: Erzincan İli Örneği.
- Pektaş, T. (2012). *İlçe bazında afet lojistiği: Başakşehir uygulaması*. Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.
- Pettit, S. J., & Beresford, A. K. C. (2005). Emergency relief logistics: an evaluation of military, non-military and composite response models. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 8(4), 313-331.
- Quemá-Taimbud, N.-E., Bedoya-Leyva, O.-F., & Mendoza-Becerra, M.-E. (2023). Initialization and Local Search Methods Applied to the Set Covering Problem: A Systematic Mapping. *Revista Facultad de Ingeniería*, 32(63), e15235.

- Şahin, N. (2009). Afet Yönetimi ve Acil Yardım Planları. *TMMOB İzmir Kent Sempozyumu içinde* (ss. 131–142).
- Sari, D. P., Wicaksono, P. A., Siahaan, Y. E., & Handayani, N. U. (2020). Integrating AHP, Cluster Analysis, and Fuzzy TOPSIS to Evaluate Emergency Warehouse Locations of Mount Merapi Eruption Victims. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 10(5), 1839–1845.
- Saxena, A., Goyal, V., & Lejeune, M. (2010). MIP reformulations of the probabilistic set covering problem. *Mathematical Programming*, 121, 1-31.
- Shen, Z., Coullard, C., & Daskin, M. (2003). A Joint Location - Inventory Model. *Transp. Sci.*, 37, 40-55.
- Sipahioğlu, Ş. (2002). *Doğal Afetler ve Türkiye*. Ankara: Gündüz Eğitim ve Yayıncılık.
- Soto, R., Lizama, S., Crawford, B., Galleguillos, C., Vilches, J., Muñoz, A., Misra, S., Barraza, J., & Paredes, F. (2015). *Comparing Cuckoo Search, Bee Colony, Firefly Optimization, and Electromagnetism-Like Algorithms for Solving the Set Covering Problem* (pp. 187–202). Springer.
- T.C. Çorum Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü. (2021). *Çorum İl Afet Risk Azaltma Planı (İRAP)*.
- Tanyaş, M., Günalay, Y., Aksoy, L. ve Küçük, B. (2013). İstanbul İli Afet Lojistik Planı Klavuzu.
- Tanyaş, M., Günalay, Y., Aksoy, L., & Küçük, B. (2013). *İstanbul İlinde Olası Deprem Sonrası Lojistik Yönetimi Üzerine Bir Çalışma*. II. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi, (S. 1-7). Aksaray.
- Tasnım, M., Rouf, S., & Rahman, M. S. (2012, December 1). *A CLONALG-based approach for the set covering problem*.
- Temiz, H. (2018). *Afet yönetiminde lojistik depo seçimi ve bir uygulama* (Doctoral dissertation, Temiz, H. (2018). *Afet yönetiminde lojistik depo seçimi ve bir uygulama* (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye).
- Tuncay, F. (2020). *Afet Lojistiği ve Türkiye’de Afet Yönetimi*. Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Usta, P., & Onat, Ö. (2022). An Overview of Temporary Housing Management after the Earthquakes in Turkey in terms of Disaster Management. *Journal of Turkish Operations Management*, 1460–1468.
- Xifeng, T., Ji, Z. ve Peng, X. (2013). Sürdürülebilir lojistik tesis yeri için çok amaçlı bir optimizasyon modeli. *Ulaştırma Araştırması Bölüm D: Ulaştırma ve Çevre*, 22, 45-48.
- Yaylacı, C. T. (2015). *Türkiye’deki Afet ve Acil Durum önetimi Uygulamaları: Bir Alan Araştırması*. İstanbul Gelişim Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Yeşilli, Z. (2023). *Sürdürülebilir afet lojistiğine yönelik uygun depo seçimi* (Master's thesis, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi).
- Yeşilli, Z. (2023). *Sürdürülebilir afet lojistiğine yönelik uygun depo seçimi* (Master's thesis, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi).

Yiğit, Ö. E. (2010). *Farklı Afet Tiplerine Ve Oluşma Olasılıklarına Göre Optimal Depo Seçimi Ve Malzeme Miktarının Belirlenmesi*. Yüksek lisans tezi. Ege Üniversitesi

Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye).



