

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AFET LOJİSTİĞİNDE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ VE GELİŞTİRİLEN
İKİ AŞAMALI BİR OPTİMİZASYON YÖNTEMİ İLE UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa BAL

Şehir Bölge Planlama Anabilim Dalı

Bölge Planlama Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin Murat ÇELİK

TEMMUZ 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AFET LOJİSTİĞİNDE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ VE GELİŞTİRİLEN
İKİ AŞAMALI BİR OPTİMİZASYON YÖNTEMİ İLE UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mustafa BAL
(502171807)**

Şehir Bölge Planlama Anabilim Dalı

Bölge Planlama Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin Murat ÇELİK

TEMMUZ 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502171807 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mustafa BAL, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “AFET LOJİSTİĞİNDE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ VE GELİŞTİRİLEN İKİ AŞAMALI BİR OPTİMİZASYON YÖNTEMİ İLE UYGULAMA” başlıklı projesini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Proje Danışmanı: **Prof. Dr. Hüseyin Murat ÇELİK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri: **Doç. Dr. İrem UÇAL SARI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Umut Rıfat TUZKAYA
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 15 Haziran 2020
Savunma Tarihi : 30 Haziran 2020





Aileme,



ÖNSÖZ

Hazırlamış olduğum çalışmamda, öncelikle beni yönlendiren, fikirleriyle bana yol gösteren ve her soruma cevap verip tez konumun şekillenmesine yardımcı olan Değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Hüseyin ÇELİK’e ve Endüstri Mühendisliği lisans eğitimimde bana bilgi birikimiyle destek olan hocam İrem UÇAL SARI’ya;

Bugünlere gelmemi sağlayan, beni her konuda ve aldığım her kararda destekleyen, en zor zamanlarımda yanımda olup güvenlerini hissettiren ve bana inanan ailemle sevdiklerime ve son olarak konuyla alakalı teknik desteğiyle bana yardımcı dokunan değerli arkadaşım Uğur Berk DUMANTEPE’ye, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2020

Mustafa BAL
Endüstri Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Araç Rotalamanın Önemi.....	3
1.2. Afet Lojistiğinin Önemi	4
1.3. Çalışmanın Amacı.....	4
1.4. Çalışma Metodolojisi	8
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	11
2.1. Araç Rotalamaya Genel Bakış	11
2.2. Araç Rotalama Problemi (ARP) Sınıflandırmaları	12
2.2.1. Kapasite kısıtlı araç rotalama problemleri (KARP).....	14
2.2.2. Mesafe kısıtlı araç rotalama problemleri (MARP)	15
2.2.3. Zaman pencereci araç rotalama problemi (ZPARP).....	15
2.2.4. Bölünebilir talep kısıtlı araç rotalama problemi (BTARP).....	16
2.2.5. Çoklu depolu araç rotalama problemi (ÇDARP).....	16
2.2.6. Teslim al / teslim et araç rotalama problemi (TTARP).....	17
2.2.7. Periyodik araç rotalama problemi (PARP)	17
2.2.8. Stokastik araç rotalama problemi (StARP).....	18
2.2.9. Zamana bağlı araç rotalama problemi (ZARP).....	19
2.2.10. Statik ve dinamik araç rotalama problemleri	19
2.3. ARP Temel Bileşenleri	25
2.4. Araç Rotalama Problemi Çözüm Yöntemleri	26
2.4.1. Tam sonuç veren yöntemler	27
2.4.2. Sezgisel yöntemler	28
3. AFET LOJİSTİĞİ (İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİ) KAVRAMI.....	31
3.1. Afet Ve Afet Sonrası Yardım Hizmetleri Kavramları	31
3.2. Afet Lojistiğinin Yapısı.....	34
3.3. Afet Lojistiği Ve Lojistik Kavramı İlişkisi	37
4. AFET LOJİSTİĞİ VE ARAÇ ROTALAMA.....	41
4.1. Afet Lojistiği Ve Araç Rotalama İlişkisinin Kurulması	41
4.2. Afet Lojistiği Ve Araç Rotalama İlişkisinin Literatürdeki Yeri	44
5. ARAÇ ROTALAMA İÇİN RİSK DEĞERLENDİRİLMESİ	47

5.1. Riskin Etki Alanına Göre Risk Değerlendirme Yöntemleri.....	49
5.1.1. Geleneksel risk yöntemi	49
5.1.2. Algılanan risk yöntemi	51
5.1.3. Şartlı risk yöntemi	52
5.2. Karar Ağacı Yöntemi İle Risk Değerlendirmesi	53
6. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ ÇÖZÜM YÖNTEMİ.....	57
6.1. Çözüm Yöntemlerine Genel Bakış Ve Çözüm Yöntemi Seçimi	57
6.2. Karınca Kolonisi Optimizasyon Meta-sezgiseli.....	58
6.3. Karınca Kolonisi Optimizasyon (KKO) Algoritmaları Ve Çeşitleri.....	66
6.3.1. Karınca sistemi.....	67
6.3.2. Elitist karınca sistemi	68
6.3.3. Karınca kolonisi sistemi	70
6.3.4. Maksimum-minimum karınca sistemi.....	71
6.3.5. Mertebe temelli karınca sistemi	72
6.4. Karınca Koloni Optimizasyonu Sezgisel Algoritmasının Uygulandığı Problemler	73
6.4.1. Araç rotalama problemleri	73
6.4.2. Gezgin satıcı problemi	74
6.4.3. Kuadratik atama problemi	75
6.4.4. Atölye tipi çizelgeleme problemi	75
6.4.5. Çizelge boyama problemi.....	76
6.5. Karınca Kolonisi Optimizasyonu İçin Gerekli Bilgiler.....	76
6.5.1. Kullanılan notasyonlar	76
6.5.2. Verilerin oluşturulması.....	77
6.5.3. Turların oluşturulması	78
6.5.4. Feromon güncellemesi denklemleri	80
6.5.5. Çözüm için akış şeması	82
7. AFET LOJİSTİĞİ İÇİN ARP UYGULAMASI.....	83
7.1. Uygulamaya Ait Bilgiler	87
7.2. Optimizasyon Sonuçları	97
7.2.1. P1 için sonuçların analizi	98
7.2.2. P2 için sonuçların analizi	98
7.2.3. P1 ve P2 için sonuçlarının risk analizi ile değerlendirmesi	101
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	111
KAYNAKLAR.....	115
ÖZGEÇMİŞ.....	125

KISALTMALAR

AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı
AKOM	: Afet Koordinasyon Merkezi
ARP	: Araç Rotalama Problemi
BTARP	: Bölünebilir Talep Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
ÇDARP	: Çok Depolu Araç Rotalama Problemi
DARP	: Dinamik Araç Rotalama Problemi
EKS	: Elitist Karınca Sistemi
GPS	: Global Positioning Systems
GIS	: Geographic Information Systems
HAA	: Hata Ağacı Analizi
İKKS	: İyileştirilmiş Karınca Koloni Sistemi
KARP	: Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
KKS	: Karınca Koloni Sistemi
km	: Kilometre
KS	: Karınca Sistemi
KKO	: Karınca Kolonisi Optimizasyonu
MARP	: Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
MM	: Markov Modellemesi
MMKS	: Maksimum-Minimum Karınca Sistemi
OKA	: Olay Karar Ağacı
PARP	: Periyodik Araç Rotalama Problemi
sa	: Saat
SARP	: Statik Araç Rotalama Problemi
StARP	: Stokastik Araç Rotalama Problemi
TTARP	: Teslim Al / Teslim Et Araç Rotalama Problemi
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UAV	: Uluslararası Afet Veritabanı
ZARP	: Zamana Bağlı Araç Rotalama Problemi
ZPARP	: Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi



SEMBOLLER

i ve j	:Her Bir Şehir (İstemlerin Gerçekleştiği Yerler)
m	:Karıncanın Sayısı
n	:Şehir Sayısı
τ	:Arklara (yollara) Bırakılan Feromon Miktarı
τ_{max}	:MMKS İçin Kullanılan Maksimum Feromon Miktarı
τ_{min}	:MMKS İçin Kullanılan Minimum Feromon Miktarı
M^k	:k Karıncasının Hafızası
ρ	:Karıncalara Ait Feromonlarını Buharlaştırma Oranı
γ	:KKS Algoritması İçin Yerel (Lokal) Feromon Güncelleme Parametresi
N_i^k	:i. Şehirdeyken k Karıncanın Daha Uğramadığı Şehirlerin Oluşturduğu Küme
L_k	:k Karıncanın Turunun Uzunluğu
p_{ij}^k	:k Karıncasının i'den j'ye Gitme Olasılığı
α ve β	:Sezgisel Parametreler
η_{ij}	:i'den j'ye Sezgisel Değer
d_{ij}	:i ve j Arası Mesafe
A^e	:Elitist Karıncalarda Feromon Korunumu İçin Kullanılan Parametre
p_{dec}	:MMKS İçin Feromon İle Sınırlandırılan Karıncaların En İyi Yola Sahip Rota İçin Yollara Karar Verme Olasılığı
R	: Rotalama Çalışması Yapıldığında Her Bir Yol Üzerinde Ve Rotanın Tamamında Çeşitli Faktörlerden Dolayı Bulunan Risk Değeri



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge1.1	:Yıllara göre yapılan akademik araç rotalama çalışmaları, Scopus veri tabanından uyarlanmıştır.	6
Çizelge1.2	:Afet lojistiği alanında yapılmış çalışma adetsel kırımım, Scopus veri tabanından uyarlanmıştır.	7
Çizelge1.3	:Afet lojistiği ve araç rotalama probleminin beraber çalışıldığı çalışmaların adetsel kırımımı, Scopus veri tabanından uyarlanmıştır... ..	8
Çizelge2.1	:Araç rotalama kırımımı, Pillac ve diğ. (2013)'den uyarlanmıştır.	20
Çizelge2.2	:Dinamiklik kaynakları ve yapılan çalışmalar, Abbatecola ve diğ. (2016)'dan uyarlanmıştır.	22
Çizelge2.3	:Dinamik araç rotalama çalışılan konular ve yapılan çalışmalar.....	23
Çizelge2.4	:Statik araç rotalama çalışılan konular ve yapılan çalışmalar.	24
Çizelge2.5	:Tam çözüm veren yöntemler ve yapılmış çalışma örnekleri.	27
Çizelge2.6	:Sezgisel yöntemlerin kullanıldığı ARP çalışma adetleri, Scopus veri tabanından uyarlanmıştır.	29
Çizelge3.1	:Afetlerin gruplandırılması, Uluslararası Afet Veri Tabanından uyarlanmıştır.....	32
Çizelge3.2	:Afetlerin sınıflandırılması, Van Wassenhove (2006)'dan uyarlanmıştır.....	33
Çizelge3.3	:Afet lojistiği temel kriterleri, Kovács ve Spens (2007)'den uyarlanmıştır.....	36
Çizelge3.4	:Lojistik kavramı ile afet lojistiği mukayesesi, Holguín-Veras ve diğ. (2012)'den uyarlanmıştır.	39
Çizelge4.1	:2007-2017 arası Türkiye ve İstanbul nüfusu, TÜİK verileri kullanılarak hazırlanmıştır.....	42
Çizelge4.2	:Türkiye'de yaşayan nüfusun şehirleşme kapsamında yaşadığı yerler, TÜİK verileri kullanılarak hazırlanmıştır.....	42
Çizelge6.1	:Seçilmiş meta-sezgisel yöntemler ve yapılmış çalışmalar, Dorigo ve Stützle (2004)'ten uyarlanmıştır.....	58
Çizelge6.2	:KKO ile yapılmış çalışma sayıları, Scopus veri tabanından uyarlanmıştır.....	59
Çizelge6.3	:KKO çözüm yöntemini kullanan ARP çalışmaları, Scopus veri tabanından uyarlanmıştır.	59
Çizelge6.4	:KKO algoritmasında kullanılan değerler, Dorigo ve Stützle, (2004)'ten uyarlanmıştır.....	79
Çizelge7.1	:Uygulamadaki durakların (istem yerlerinin) listesi.....	84
Çizelge7.2	:Birimi km olan uygulamada kullanılacak mesafeler matrisi.....	86
Çizelge7.3	:Yollardaki hız verileri, KGM ve AFAD verilerince uyarlanmıştır... ..	89
Çizelge7.4	:Şekil 7.3 ile belirtilen temel olayların olasılıkları.	91
Çizelge7.5	:Oluşturulan problemlerin istem yerleri.	92

Çizelge7.6	:P1 için hazırlanmış km biriminden mesafeler matrisi.....	95
Çizelge7.7	:P2 için hazırlanmış km biriminden mesafeler matrisi.....	95
Çizelge7.8	:β parametreleri ve iterasyonlar eşliğinde oluşan P1 sonuçları.	99
Çizelge7.9	:β parametreleri ve iterasyonlar eşliğinde oluşan P2 sonuçları.	100
Çizelge7.10	:P1'e ait sonuçlara göre rotalar ve taşıdıkları risk değerleri.....	103
Çizelge7.11	:P2'ye ait sonuçlara göre rotalar ve taşıdıkları risk değerleri.....	103
Çizelge7.12	:Problemin çözümü ile alakalı çıktıların gösterimi.	106
Çizelge7.13	:P1 için rotanın tamamlanma süresi.	107
Çizelge7.14	:P2 için rotanın tamamlanma süresi.	107
Çizelge7.15	:Hesaplanan süre sonuçlarının kombinasyonu.	108



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil1.1	:Yıllara göre yapılan akademik araç rotalama çalışmalarının grafiksel gösterimi, Scopus veri tabanından uyarlanmıştır.	6
Şekil2.1	:Üç farklı sistemden oluşan araç rotalama probleminin grafiksel gösterimi.	12
Şekil2.2:	Araç rotalama problemi sınıflandırması, Ekşioğlu ve diğ. (2009)'dan uyarlanmıştır.	13
Şekil2.3	:Araç rotalama problemi sınıflandırması devam, Ekşioğlu ve diğ. (2009)'dan uyarlanmıştır.	13
Şekil2.4:	Araç rotalama problemi (ARP) sınıflandırılmasının tarihi gelişimi, Kim ve diğ. (2015)'ten uyarlanmıştır.	14
Şekil2.5	:Dinamik araç rotalamanın zaman içerisinde oluşumu, Adewumi ve Adeleke (2018)'den uyarlanmıştır.	21
Şekil2.6	:Deterministik araç rotalama örneği.	25
Şekil3.1	:Afet lojistiği fazları, Kovács ve Spens (2007)'den uyarlanmıştır.	35
Şekil3.2	:Lojistik ve afet lojistiği aralarında kurulan ilişki.	40
Şekil4.1	:ARP ile afet lojistiği ilişkisi.	43
Şekil5.1	:Afet lojistiğinde risk analizi yaparken dikkat edilmesi gereken faktörler.	48
Şekil5.2	:Temsili araç rota ağı.	50
Şekil5.3	:HAA'da kullanılan şekiller ve anlamları.	53
Şekil5.4	:HAA'nın basit yapısının temsili gösterimi, Ferdous ve diğ. (2009)'dan uyarlanmıştır.	54
Şekil5.5	:Hata ağacı analizi için kullanılacak alt olaylar.	55
Şekil6.1	:Yöntemin seçilmesi.	58
Şekil6.2	:Karıncaların yuvadan yiyeceğe ulaşma hareketleri, Dalkılıç ve Türkmen (2002)'den uyarlanmıştır.	62
Şekil6.3	:Karıncaların yolları üzerinde bir engelle karşılaşma anı, Dalkılıç ve Türkmen (2002)'den uyarlanmıştır.	62
Şekil6.4	:Karıncaların engel sonrası yapmış oldukları hareket, Dalkılıç ve Türkmen (2002)'den uyarlanmıştır.	62
Şekil6.5	:Karıncaların engel sonrası kısa yolu bulmaları, Dalkılıç ve Türkmen (2002)'den uyarlanmıştır.	63
Şekil6.6	:Karınca hareketleri için yapılmış tek köprü deneyi, Deneubourg ve diğ. (1990)'dan uyarlanmıştır.	64
Şekil6.7	:Karınca hareketleri için yapılmış çift köprü deneyi, Dorigo ve diğ. (1999)'dan uyarlanmıştır.	64
Şekil6.8	:KKO'da olasılıkların hesaplanmasına dair bir örnek, Kazharov ve Kureichik (2010)'den uyarlanmıştır.	65
Şekil6.9	:Genel KKO algoritması, Talbi ve diğ. (2001)'den uyarlanmıştır.	66

Şekil6.10	:Elitist karınca sistemi için işlem akış şeması, Ataie-Ashtiani ve Ketabchi, (2011)'den uyarlanmıştır.....	69
Şekil6.11	:Verilerin tiplerini gösteren görsel, Dorigo ve Stützle, (2004)'ten uyarlanmıştır.....	78
Şekil6.12	:KKS için işlem akış şeması, Quaddi ve diğ. (2018)'den uyarlanmıştır.....	82
Şekil7.1	:Uygulama alanındaki durakların (istem yerlerinin) harita üzerinde gösterimi.	85
Şekil7.2	:Mesafe kısalığına göre yapılmış atamaları gösteren temsili yapı.....	88
Şekil7.3	:Çalışmada kullanılan HAA için faydalanılan olasılık değerleri, Derse ve Göçmen (2019)'dan olasılık değerleri uyarlanmıştır.....	90
Şekil7.4	:P1 kümesine ait ilçelerin haritadaki yerleri.	93
Şekil7.5	:P2 kümesine ait ilçelerin haritada gösterimi.	94
Şekil7.6	:Uygulamadaki iki problemin çözüm için takip edilecek prosedür....	97
Şekil7.7	:P1 için β değeri ve iterasyon sayılarına bağlı oluşan mesafelerin grafiksel gösterimi.	100
Şekil7.8	:P2 için β değeri ve iterasyon sayılarına bağlı oluşan mesafelerin grafiksel gösterimi.	101
Şekil7.9	:P1 için mesafe risk grafiği.....	104
Şekil7.10	:P2 için mesafe risk grafiği.....	104

AFET LOJİSTİĞİNDE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ VE GELİŞTİRİLEN İKİ AŞAMALI BİR OPTİMİZASYON İLE UYGULAMA

ÖZET

Günümüzde mal, hizmet veya insanların bir noktadan başka bir noktaya ulaştırılması faaliyetlerine dahil olan binlerce kuruluş bulunmaktadır. Çağımızın dinamik koşullarından dolayı kuruluşların hedefleri ve kısıtlamaları oldukça değişkendir. Bu kapsamda organizasyonların en çok karşılaştıkları sorunlardan biri de araçların hizmet noktalarına dağıtımı, ulaştırma ve lojistik gibi faaliyetlerinin doğru şekilde yapılamamasıdır. Bu kuruluşlardan biri de acil yardım durumlarında (afet vb. olaylar sonrası yardım hizmetleri) ulaştırma hizmeti veren organizasyonlardır. Bu faaliyetler için tahsis edilmiş araçların bahsedilen konuları gerçekleştirmek için bir rota üzerinden faaliyete geçtikleri andan bu rotayı tamamlama anına kadar geçen aradaki süre düşünülünce harcanan süre miktarı, oluşan maliyetler ile harcamalar ve bu hizmet sonunda elde edilecek fayda bu organizasyonlar için de geçerliliğini korumaktadır. Ulaştırma konusunda rota planları ve rotalama faaliyetleri tüm organizasyonlarda olduğu gibi acil durum hizmetleri (ambulans, kurtarma araçları gibi) kapsamında faaliyet gösteren organizasyonlar için de önemlidir. Afetlerin yol açtığı sonuçlar düşünüldüğünde ulaştırma konusundaki her türlü fayda organizasyonel başarıları artıracığı gibi toplumun da faydasını artırır. Toplumsal fayda aynı zamanda sosyal faydadır. Afetlerin ölümcül etkisini en aza indirme ve afet sonrası iyileştirme ile rehabilite çalışmaları ile sosyal fayda maksimize edilebilmektedir. Bunun için ulaştırma sistemlerinde yer alan her bir aracın afet bölgelerine en kısa sürede ulaşması oldukça önemlidir. Bu önem literatürde de ilk 72 saatlik zaman dilimi içerisinde yardımı ulaştırma şeklinde belirtilmiştir. Aynı şekilde deprem gibi yıkım gücü çok yüksek afetlerde ise ilk 12 saatte yardım hizmetlerinin ulaşması elzem bir konudur. Bu sebeplerden ötürü afet lojistiği için araç rotalarından oluşan bir ulaşım ağ planı oldukça önemlidir. Ulaştırma sisteminde yapılan planlamalar birer çizelgeleme örneğidir ve bu çizelgelemeler de rotalama ile özdeşlik göstererek konunun tamamlayıcısı haline gelmektedir. Araçların optimum rotalara sahip bir ağ içinde hareket etmesini sağlayacak planlama faaliyeti her sistem için uygulama alanı bulabilecek bir konudur ve bu özelliği ile sahip olduğu amaçlarda da çeşitlilik görülebilmektedir. Araç rotalama başlığı altında ulaşılmak istenen amaçlar çeşitlilik göstermektedir ve bunlardan bazıları, yolda harcanan sürenin minimum olması, maksimum müşteriye ulaşabilme, minimum maliyeti sağlama, maksimum karı elde etme ve minimum riske sahip yolların kullanılması gibidir. Bu amaçlar zaman içinde çeşitlenmiş ve daha detaylı hale gelmiştir. Araç rotalama ilk olarak Hamilton'un Halka Teorisi temelli ortaya çıkan gezgin satıcı problemi ile açıklanmaya çalışılmıştır. Zaman içerisinde de tır taşıma problemi olarak şekillenmiş ve günümüze araç rotalama problemi olarak ulaşmıştır. İlk ortaya çıktığında tüm müşterilere rota boyunca en fazla bir kere uğrayarak ulaşım ve ulaştırma hizmeti yükleme-boşaltma faaliyetlerine çözüm aramaya çalışmış ve günümüze kadar bu konu çeşitli sınıflandırmalarla daha detaylı hale gelmiştir. Son yıllarda ise afet sonrası yardım hizmetlerinde (afet lojistiğinde) detaylı araç rotalama çalışmaları kullanılarak çok sayıda başarılı rotalama faaliyetleri oluşturulmuştur. Bunların ışığında literatüre bakıldığında araç rotalama probleminin 12904 kere

çalışıldığı görülmektedir. Bununla beraber afet lojistiği kapsamında bahsedilen araç rotalama faaliyeti için literatürde 109 adet çalışmanın mevcut olduğu da fark edilmiştir. Bölge planlama biliminin ulaştırma konusu çatısı altında mevcut olan bu iki ortak alt başlık incelendiğinde ikisinin keşişim noktası olarak ağ analizi, tez çalışmasına ışık tutan nokta olmuştur. Bu tez çalışması afet sonrası yardım hizmetleri için başarılı ulaşım ve ulaştırma ağı ortaya çıkarmayı hedeflemektedir. Aynı zamanda bir başka hedef ise, toplumda büyük yaralar açan afetlerin negatif dışsallığını minimum noktaya çekmeye çalışacak bir çalışma ortaya koymak olmuştur ve bu hedefi niceliksel yöntemlerle uygulamaya dökme mümkün kılınmaya çalışılmıştır.

Afet lojistiğinde önemli kavramlardan biri de afetten sonra, kısa bir süre içinde afet bölgesine ulaşımın sağlanmasıdır. Afet lojistiği afetlere hazırlıklı olmak için alınan önlem olarak veya afet sonrası iyileştirme çalışması şeklinde iki temel amaçtan oluşmaktadır. Afet sonrası iyileştirme ve yardım çalışmaları daha hayati bir öneme sahiptir ve bu sebeple doğru yönlendirilmiş bir ulaşım ağı gereklidir. Afet lojistiğinde oluşturulan ulaşım ağı en az risk değerine sahip en kısa seyahat süreli araç rotalarından oluşmalıdır. En kısa ve en az süreli yollardan oluşan bir ağ analizi yapılmasında başka bir önemli husus da ağın taşıdığı risk değerinin minimum seviyede olmasıdır. Afet lojistiği kapsamında yapılacak uygulama ile optimum araç rotalarının oluşturulması faaliyetleri ile en kısa ve minimum riskli yolları bulma çalışması yapılacaktır. Bu sayede afet senaryolarındaki en kritik husus olan anında veya kısa sürede hizmeti istem sahiplerine sağlama konularına fayda sağlamaya çalışılacaktır. Afet durumları için uygulanabilecek bir konu olan araç rotalama problemlerinde Hazmat Ulaştırma Problemleri literatürden faydalanılarak bir optimizasyon çalışması yapılacaktır. Optimizasyon yöntemi olarak iki adımlı bir yöntem uygulanacaktır. İlk adımda en kısa rotalardan oluşan bir ağ tasarımı, ikinci adımda ise minimum risk değeri taşıyacak şekilde bir ağ için optimizasyon çalışması uygun görülmüştür. Hazmat Ulaştırma Problemlerinde diğer optimizasyon çalışmaları ise aşamalı optimizasyon ve fayda optimizasyonudur. İki aşamalı optimizasyonun iki aşamalıdan farklı olarak risk değerlendirmesini problemin bir kısıtı olarak kullanıp optimizasyonu tamamlamasıdır. Fayda optimizasyonu ise risk değerleri ve diğer kısıtlara atanan belli ağırlık dereceleri ile optimizasyonun yapılmasıdır. Çalışmada kullanılan iki adımlı optimizasyondaki ilk adımda uygulanacak optimizasyon için problem kümesinin karmaşıklığı arttıkça ve gerçek dünya problemleri ele alınmaya başladıkça, çözümlerinde bir o kadar zorlaştığı görülmektedir. Bu sebeple gerçek dünya problemlerinde klasik araç rotalama problemleri için daha kullanışlı çözümlere geçme gereği doğmuştur ve çözümler için birçok sezgisel algoritma oluşturulmuştur. Sezgisel algoritmalar özellik olarak esnek, hızlı ve kullanışlı bir yapıya sahiptir. Özellikleri ile karmaşık yapıya sahip araç rotalama problemleri için uygun çözüm yöntemleridir.

İstanbul ili Avrupa yakası ilçelerine sağlanması düşünülen hizmetin uygulama ile optimize edilmesi amaç edinilerek çalışma tamamlanmaya çalışılacaktır. Bu konu çerçevesince söz konusu problemin büyüklüğü düşünüldüğünde sezgisel algoritmaların etkinliğinin daha yüksek olduğu bilinmektedir. Bu sebepten dolayı sezgisel algoritmalar içinden Karınca Koloni Optimizasyonu sezgiseli ile bahsedildiği gibi ilk adımın optimizasyonu için çözüm sağlanacaktır. Çalışma kapsamında Karınca Koloni Optimizasyonu meta-sezgiselinin seçimi ile alt algoritmalarının da nasıl olduğuna dair bilgilere yer verilmektedir. Bu bilgiler aynı zamanda algoritmanın ortaya çıkış sürecini, nasıl çalıştığını, gerekli bilgilerinin neler olduğu ve çözümün nasıl gerçekleşeceği gibi alt kırımlarda incelenmiştir. Böylelikle araç rotalama

optimizasyonu için ne derece uygun olduğu ortaya koyulmaya çalışarak ilk adım optimizasyonunun çözümü sağlanmıştır.

Hata Ağacı Analizi ile risk analizi yapılarak ağıın sahip olduğu risk değeri için minimizasyon çalışması da araç rotalamada yapılan ikinci adım optimizasyonunu oluşturmaktadır. Hata Ağacı Analizi, risk analizi çalışmalarında kullanılan bir yöntem olup kantitatif risk analizi için tercih edilen bir yöntemdir. Hata Ağacı Analizi ile belli risk olasılık değerlerine sahip alt elemanlar tespit edilerek, riski en aza indirmek için önlem alma çalışmaları mümkün olabilmektedir. Bu çalışma kapsamında da risk analizi için her rotadaki yolların risk olasılıkları tespit edilerek bunların rota üzerindeki toplam risk değerleri hesaplanarak oluşturulan rota ağıındaki risk minimizasyonuna geçiş yapılmıştır.

Yapılan bu çalışma ile araç rotalama problemini tanımlayarak ne kadar detaylı olduğu konusunda sınıflandırmaları üzerinde durulmuş ve uygun bir algoritmayla çözüme geçilmesi düşünülmüştür. Çalışma kapsamında statik araç rotalama ana konu olarak ele alınmıştır. Çalışma afet lojistiğı sistemine uygulanarak sistem içerisinde oluşabilecek değişikliklerin en iyiyi sağlaması, sistemin taşıdığı risk değerinin minimum düzeyde olması ve sistemin elde edeceği faydayı maksimum yapma amaçları hedeflenmiştir. Afet lojistiğinin temel kriterleri, kapsamı, ulaşım ağıındaki yeri ve araç rotalama ile ilişkisi çalışmada ortaya koyularak elde edilmesi hedeflenen kriter için uygunluğu gösterilmeye çalışılmıştır. Bu hedef ile ulaşım sisteminin başarısı sağlanırken bölge düzeyinde ve büyük ölçekli perspektiften ulaşım sistemine de fayda sağlayacağı varsayılmıştır. Bu kapsamda afet sonrası hizmetlerinin olası afet bölgelerine ulaştırılması çalışmanın uygulama konusu olmak için kritik bir rol üstlenmektedir. Bu hedefi destekler nitelikte de “yapılan araç rotalama faaliyeti en kısa seyahat mesafelerini bulup seyahat süresini en aza indirerek afet sonrası mümkün olan en kısa sürede ve en az risk taşıyan yollardan hizmetin ulaştırılması ile afet lojistiğine fayda sağlayıcı faaliyet olacaktır” hipotezi test edilecektir.

Sonuç olarak araç rotalama probleminin hassas ve tutarlı sonuçlar vermesi ile ulaştırma faaliyetlerine katkı sağlaması çalışmanın vizyonu olarak belirlenmiştir. Bunun yanı sıra hizmet almayı bekleyen istem bölgelerine en kısa mesafeden ve en az risk taşıyacak şekilde ulaşım sağlanması amaç edinilmiştir. Bu noktada amaç fonksiyonu olarak en kısa seyahat mesafesi ve en az risk değeri kullanılmıştır. Elde edilen kısa mesafeler daha kısa sürelerde hizmetle pekişir düşüncesiyle çalışma tamamlanacaktır. Bu kısa mesafelerinde güvenli yani riskinin düşük olması ise uygulama konusunun ehemmiyetine vurgu yapar nitelikte olması düşünülmüştür. Çalışmanın sonunda ise amaç fonksiyonları doğrultusunda optimum rota önerisine sahip bir ağı yapısı geliştirilip sunulacaktır. Bu rotaların da kötümser, iyimser ve olması muhtemel farklı senaryolar eşliğinde süre analizleri yapılacaktır. Bu şekilde de araç rotalama faaliyetinin sisteme olan katkısını görebilmek mümkün olacaktır. Önceki çalışmalarda önerilen zaman kısıtına uygunluğu da test edilmiş olacaktır. Gerçekleştirilen katkı ile de ortaya konulan hipotezi değerlendirme fırsatı bulunabilecektir.



VEHICLE ROUTING PROBLEM AND A CASE STUDY WITH EVOLVED A TWO LEVEL OPTIMIZATION SOLUTION IN HUMANITARIAN LOGISTICS

SUMMARY

Current days, there are thousands of organizations involved in the activities of delivering goods, services or people from one place to another. Due to the dynamic conditions of our era, the goals and constraints of organizations in practice are highly variable. In this context, one of the problems that organizations face most is that their activities such as vehicle distribution, service delivery, transportation and logistics cannot be done correctly. One of these organizations is the organizations that provide humanitarian logistics (relief services after disasters). When considering the time elapsed from the start of the service period through a means to realize the issues enumerated for these activities, and the time taken until the moment of completing this route, the time spent, the costs, expenditures and the benefit to be obtained keep its importance. Transportation issues such as the plan of bus routes, distribution of taxis to customers, as well as emergency services (such as ambulance and rescue vehicles) can also be covered in this regard. Considering the consequences caused by disasters, all kinds of transportation benefits will increase organizational success as well as the benefit of the society. The benefit of the society is also a social benefit and is defined by minimizing the deadly impact of disasters and rehabilitation after disaster recovery. It is too crucial for each relief service vehicle in the transportation systems to reach disaster regions as soon as possible. This importance has been stated in the literature in the form of delivering relief for disaster regions within the first 72 hours. Similarly, in disasters with high destructive effect such as earthquakes, it is an essential issue that relief and rehabilitation services arrive in the first 12 hours. For these reasons, a transportation network plan consisting of vehicle routes for disaster logistics is an important part of transportation. In order to provide complete transportation system without any errors, every parts of it have not to been considered separate. For this reason, not only vehicle routing activities but also disaster logistics activities are important with relations of it with transportation systems. Routing activities contain scheduling and sequencing; therefore, activities are a complementary part of transportation because all transportation network needs scheduling and sequencing. Planning activities that enable the vehicles to move in a network with optimum routes is a subject that can find implementation areas for every system and with this feature, it shows diversity with its objectives. There are several objectives to be achieved under these issues, such as the minimum time spent on the road, reaching the maximum customer, providing the minimum cost, achieving maximum profit, and obtaining routes with minimum risk. These objectives have been diversified and more detailed over time. First of all, the problem of traveling salesman problem based on Hamilton's Cycle Theory has tried to explain this issue. Over time, the truck dispatching problem has been shaped as a transportation problem and has reached the present day as a vehicle routing problem. When it first appeared, it tried to find a solution to all transportation and transportation service loading-unloading activities by reaching the customers at most once throughout the route and to this day, this issue has become

more detailed with various classifications. In recent years, many successful vehicle routing activities has been studied by using detailed vehicle routing studies at disaster logistics. In this scope, vehicle routing problem had been studied 12.904 times in time horizon till half of 2020, when literature is reviewed. In the literature, until half of 2020, there are also 109 vehicle routing studies with disaster logistics. When these two common subtitles, which are available under the scope of transportation of the regional planning science, are reviewed, network analysis which is intersection of the two become the point that light to this thesis. This study aims to successful network with routing for disaster logistics. Besides, another objective is to minimize negative externalities of disasters which have destructive effects at society, and quantitative methods have been used to reach this aim.

One of the important concepts in disaster logistics is to reach to the disaster regions within a short period of time. When vehicle routing problem is studied with prevention to be prepared for disasters or rehabilitation activities, routes have to have minimum risk and the shortest travel times. Another important issue in conducting a network analysis consisting of the shortest routes is the minimum risk value of the network. Two-step optimization will be applied at this vehicle routing problem for disaster logistics. At first step, optimization for the network with shortest routes and at second step, optimization for risk value is proper method. Generally, vehicle routing problems are solved with one steps with exact methos or heuristic methods. However, when risk values are considered for this study, Hazmat (Hazardous Material Transportation) problems are used to compute risk values and optimize route's risk. In Hazmat literature, two-level optimization, two-step optimization, and utility. At two-level optimization, objective function has risk variables and distance variable, and it solves them with together. At utility, risk values and other variables have importance weight. For this study, two-step optimization is used. It optimize routes firstly, and a route set which matches objective function are obtained with first step optimization. At second step, risk optimization is made to obtained sets. By this way, optimization terminates for minimum distances and risk values. So, in this study first step optimization will be optimized distances and there exist a route set which are the closest solutions to optimum solution. These are obtained by changing parameter in the model. Then risk optimization will be applied to routes to find the safest route.

At first optimization step in studies, solutions get difficult when complexity of problem increases; therefore, for real world problems, the need to go to beyond applying classic vehicle routing solution methods. Heuristic solution methods have been developed for real world problems. Basic properties of heuristic solution methods are flexible for many types of problems, time effective, and easy applicable. Due to basic properties of heuristic methods, they are the most suitable and effective methods for complex vehicle routing problems which reflect real world issues. Also, they can be adapted so many problem types. By this flexibility property, applying of technological development to heuristic method is easy. Another main property is time effectiveness, mentioned above, which provides to save time when comparing exact solution methods. It needs to speciy that heuristics have two main types which are meta-heuristics and normal heuristics. Meta-heuristics become spesical based on specisific problems. On the other hand, normal heuristics can be applied to many problem types by using its main rules.

With the application to be carried out within the scope of disaster logistics, to create optimum vehicle routes and to find the shortest and routes will be done. In addition, optimization provides to obtain routes which have minimum risk values. In this way,

in disaster scenarios the most critical issue which provides to service to the regions instantly or in a short time will be solved. This study will be completed with the aim of optimizing the service that is planned to be provided to the European side districts of Istanbul province. Effectiveness of heuristic algorithms are the higher than exact solution methods when this problem size considers in this concept. For this reason, optimization will be made with Ant Colony Optimization that is a meta-heuristic method (a type of heuristic methods). In this study, detailed information about principle of working and choosing of Ant Colony Optimization meta-heuristic is explained. Explanations contain historical perspective, working principles, necessities to solve problems, application areas of it, algorithm types of Ant Colony Optimization and solution methods of algorithms. Thus, the solution of the first step optimization was provided by trying to reveal how suitable it is for vehicle routing optimization.

The second step in vehicle routing is optimization for the risk value of the network by performing risk analysis with Fault Tree Analysis. Fault Tree Analysis is a method used in risk analysis studies and is a preferred method for quantitative risk analysis. Risk analysis can be divided into with respect to analysis methods. One of them is qualitative and the other is quantitative. Qualitative methods describes, defines, presents solution techniques, and summarizes risk analysis with all sides of risk. Quantitative methods calculates risk values with set risk probabilities, and it presents what will be risk effects with its risk values. Quantitative methods use several techniques to calculate risk. Fault Tree Analysis, Markovian Modelling and Event Tree Analysis are the most common techniques. In this thesis Fault Tree Analysis is selected technique to determine risk values in order to optimize route. With the Fault Tree Analysis, it is possible to determine the sub-elements with certain risk probability values and take measures to minimize the risk. Within the scope of this study, risk possibilities of roads in each route were determined and the risk minimization in the route network was created by calculating the total risk values of them on the route. In second optimization level of problem, risk values obtained from Fault Tree Analysis will be inputs of optimization algorithm.

At this study, vehicle routing problem is defined and tried to solve. In addition to definition of vehicle routing problem disaster, disaster logistics and main concept of post-disaster activities and relief operations are presented. Then, classifications of them are explained. After presentation of them main problem of thesis which is vehicle routing problem is considered. Static vehicle routing problem is thought as a main subtype of problem. By applying the study to the disaster logistics system, it is aimed to provide the best possible results in the system, to minimize the risk value of the system and to maximize the benefits that the system will obtain. At this study, it is tried to reveal consistency of aimed objectives by explaining basic rules, contents, place at transportation system, and relation with vehicle routing of disaster logistics. With mentioned objectives, it is assumed to benefit to transportation system with large scale and regional perspective. Post-disaster service transportation has a crucial role as implementation area for vehicle routing activities at these perspectives. In order to support to objectives it needs to have a hypothesis like “vehicle routing activity will be beneficial activity for disaster logistics with routes have minimum delivery time and risk by providing the shortest travel distances and total travel times.” This hypothesis will be tested when study had been finished.

As a result, vision of study is to benefit to transportation activities with accurate and consistent results of vehicle routing problem. Also, it is aimed to be beneficial to regions are affected from disaster by delivering post-disaster services with routes

which are the shortest and have minimum risk. At this point, objective functions of study are the shortest travel distance and minimum risk value. The study will be completed with the shortest travel time calculations by obtaining the shortest travel distances. However, the important point is that the shortest travel distance must have minimum risk value because of disaster logistics risky nature. To deliver relief service to regions, it needs to use safe road that means they must not have any dangerous. At the end of the study, a transportation network for disaster logistics in European side of Istanbul with optimum routes will be developed and presented by supporting objective functions. These routes also will be tested for time analysis with pessimistic, optimistic, and expected scenarios by computing of travel times with distance and speed limits of roads. It can be possible to observe contribution to transportation system with these three scenarios. Then, a comparison with former studies about time limit for delivering of service will be made at the end of the study. The aim of this comparison is to check if the travel times which are outputs of optimization, are less than 12 hours because this duration is a critical threshold for disaster logistics. Finally, hyposthesis of this thesis can be asserted with outputs of vehicle routing for disaster logistics.

1. GİRİŞ

Günümüzde optimizasyon kavramı her konuda her organizasyonun ihtiyacına uygun şekilde uygulanabilir bir yapıya kavuşmuştur. Son zamanların oldukça sık konuşulan konularından biri olan afet kavramı ise toplumsal faydayı fazlasıyla etkileyen bir başka konudur. Afet kavramındaki toplumsal sıkıntıyı en aza indirmek için, her organizasyonun ihtiyacını karşılayabilecek bir yapıya sahip olan optimizasyon kavramı kaçınılmaz bir ihtiyaç olmuştur. Optimizasyon kavramı, afet sonrası olmazsa olmaz bir kavram olan afet lojistiği ilişkisiyle değerlendirildiğinde doğru araç yönlendirme ve sıralamalar söz konusu olmaktadır. Araç yönlendirme ve sıralama konusu araç rotalama kavramı altında değerlendirilir. Hizmet sektöründen kamu sektörüne, lojistikten taşımacılığa, acil durum hizmetlerinden ulaşıma birçok konuya fayda sağlayan araç rotalama ve araç rotalama problemleri, ilgili amaç fonksiyonlarını sağlayabilecek denklemlerden oluşur ve çeşitlerine göre de bu problemin çözümü sağlanmaya çalışılır. Bunlar içinde ise dikkat çeken acil durum hizmetleridir. Acil durum hizmetlerinde konunun özü itibarıyla gecikmeye tahammül gösterilemeyeceğinden, en etkili ve en doğru araç rotalama hayati öneme sahiptir. Bu sebeple de afet lojistiği kavramı ile sıkı sıkıya ilişki içindedir.

Araç rotalama probleminin acil durum hizmetlerinde de kullanımının sağlanması oldukça önemlidir ve bu önem bu ulaşım konusunun özünden kaynaklandığı belirtilmiştir. Buradaki aciliyete ihtiyaç duyan konular ise; doğal veya doğal olmayan afetler sonrası oluşan can ve mal kaybını en aza indirmek, insanlar üzerinde oluşan acıyı mümkün olduğunca ortadan kaldırmak ve toplum düzeninin sağlanması olarak nitelendirilebileceği düşünülmektedir. Uluslararası Afet Veritabanı'na (The International Disaster Database) göre afet kavramı doğal ve teknolojik afet olarak da ikiye ayrıldığı ve ana kırımının altında alt sınıflandırmalar olduğu görülmektedir. Afet kavramı ele alındığında, afet öncesi ve sonrası yapılacaklar önemli bir konudur.

Afet öncesi yapılacaklar afetler konusunda bilinçlendirme çalışmaları ve tedbir kuralları şeklinde incelenirken afet sonrası yapılacaklar ise oluşan olumsuzları en aza

indirmek veya ortadan kaldırmak olarak ele alınır. Afet sonrası olumsuzları en aza indirmek için ise afetten etkilenenlere hızlı bir şekilde yardım götürme oldukça etkilidir. Bu noktada hızlı ve etkili şekilde yardım ulaştırma hizmetleri için, yardım hizmetlerinin optimum rotaları seçmesi, afet öncesinde optimal bir şekilde tasarlanmış yardım dağıtım noktalarının tasarlanarak buraların kullanılması ve etkili iletişim alt yapısı ile afet sonrası kayıp yaşayan veya acı çeken insanlarla kolayca iletişim sağlamak şeklinde olabilir. Afet sonrası yardım hizmetleri ise literatürde farklı isimlerle kendine yer bulmuştur. Bu isimleri Kovács ve Spens (2007) çalışmasında bir araya getirmiştir ve bunlar literatürdeki İngilizce halleriyle çalışmada derlenmiştir. Bu kavramlar “Humanitarian Logistics”, “Humanitarian Aid Supply Chain”, “Disaster Relief”, “Disaster Relief Supply Chain”, “Disaster Recovery”, “Disaster Recovery Supply Chain”, “Emergency Logistics”, “Emergency Supply Chain” şeklindedir. Çalışma kapsamında bu konu “Afet Lojistiği” olarak değerlendirilerek isimlendirilecektir. Görüldüğü gibi lojistik kavramıyla beraber anılan afet sonrası yapılacaklar (rotalama, lokasyon seçimi, doğru noktalarda alt yapı hizmeti gibi) matematiksel problem çözme teknikleri ile daha hassas bir şekilde yapılabilir ve oluşan sorunlar ortadan doğru yöntemlerle kaldırılabilir.

Afet sonrası yapılacaklardan bahsedildiğinde, matematiksel yaklaşımların kaçınılmaz olduğunu belirttikten sonra, araç rotalama konusuna daha detaylı bakmak gerekmektedir. Literatürde “Gezgin Satıcı Problemi” kavramı altında gelişip günümüzde kendine çalışma konusu olarak yer bulmuştur. Gezgin Satıcı Problemi Hamilton’un Halka Probleminden oluşturulmuş olan, bahsedilen satıcının her şehirden sadece bir kere geçmesini anlatan ve en yoğun çalışılan bir matematik konusudur (Abdoun ve Abouchabaka, 2011). Gezgin Satıcı Problemini literatüre Flood (1956) tanıttı ve literatüre girişiyle de yerini zamanla tır dağıtım problemi olarak devam ettirdi. Lojistik ve tedarik firmalarının da bu problemin genel konseptiyle yani her bir müşteriye bir kere uğranması koşuluyla bu problem günlük yaşantıya girmiştir. Bunu takiben de birçok çalışma yapılmaya devam etmiş, çeşitlilikler sağlanmıştır.

Bahsedilenlerin hepsi düşünüldüğünde hizmeti sağlayan araçların (tır, kamyon, otobüs, ambulans, itfaiye aracı, uçak vb. tüm araçlar) bulundukları konumdan hareket ederek her bir noktaya uğrayarak çıktıkları seferi tamamladıkları biliniyor. Gün veya hizmet süresinin sonunda bu araçlar tekrar ait oldukları yere geri dönecek ve yeni rotalarının hazırlanmasıyla bir sonraki seferlerine çıkacaktır. İşte bu derece

sirkülasyonun olduğu durumda maliyetler istemsizce de olsa artmakta, yapılabilecek yanlış planlardan müşteri memnuniyeti düşmekte veya acil durum hizmetiye istenmeyen durumlar ortaya çıkmakta ve de kar veya imaj kaybı gibi olaylar yaşanabilmektedir. Bu denli önem arz eden bir konuda yapılacak planların hassas ve doğru olması, amaca uygunluğu ile başarısı organizasyon veya şirketlere olumlu sonuçlarla dönmesinin yanı sıra afet lojistiği kapsamında da insan hayatına etki etme şeklinde önemli bir konsepte sahiptir.

Acil durum hizmetleri kapsamında gelişen afet lojistiği konusu ile gezgin satıcı problemi temelli oluşan araç rotalama optimizasyonu bu çalışma için konu olarak belirlenmiştir. Bu sayede başarılı bir araç rotalama ile en hızlı ve etkili yardım hizmetlerinin sunulması sağlanması için matematiksel hesaplamalar ile çalışma desteklenecektir.

1.1. Araç Rotalamanın Önemi

Araç rotalama, taşımacılık, ulaştırma ve tedarik gibi istekleri belirlenen sayıdaki araç veya araçlar ile belirlenen sıralama, önceliklendirme ve bu isteklere bir rota sağlama işlemleridir. Tedarik zinciri, lojistik, sağlık hizmetleri, güvenlik hizmetleri ve ulaşım hizmetleri gibi birçok alanda önemli bir yere sahip bu konu kapsamında bahsedilen istekleri yerine getirmek için oluşturulacak olan en doğru yani amaca uygun optimize edilmiş rota önem arz etmektedir. Bunun yanı sıra rotalama yapılırken taşımadaki minimum maliyet, araçların hangi isteğe hangi sıra ile cevap vereceğinin kararı, bu rotanın uygulanabilir bir rota olup olmayacağı gibi kısıtlar göz önüne alınır. Günümüzde başarılı bir rotalama çalışması yapmak için dikkat edilen bu kısıtlar ve sisteme dahil edilen değişkenler gerçek hayat örneklerinde oldukça fazladır. Tedarik süreçleri, taşımacılık zamanları ve bunlara harcanan paralar düşünüldüğünde başarılı bir araç rotalama sistemi oldukça büyük önem taşımaktadır. Bir ürünün veya hizmetin tedarik edilmesinde sağlanan minimum zaman memnuniyeti beraberinde getirecektir. Günümüz rekabet koşulları düşünüldüğünde gerek özel sektörde gerekse kamu sektöründe bu memnuniyet başarısının anahtarı olmaktadır. Minimum hizmet zamanını sağlayabilmek için yapılan harcamalarda birer maliyet kalemi olup büyük sistemlerde yüksek seviyelere ulaşmaktadır. Bahsedilen maliyet kalemleri maddi anlamda maliyet veya sosyal maliyetlerden oluşmaktadır. Bu sebeple bahsedildiği gibi başarılı bir araç rotalama tüm sistemlerde uzun vadede kritik ve hassas bir role sahiptir.

1.2. Afet Lojistiğinin Önemi

Afet kavramı ile anılan afet lojistiğinin önemini vurgulama için uzaklara gitmeye gerek yoktur. Ülkemizde 1999 yılında yaşanan Marmara Depremi bu konu için son derece uygun bir örnektir. 1999 Marmara Depremi sonucunun etkilerini anlamak amacıyla yapılan araştırmada, 18.000 insanın öldüğü, 50.000 insanın deprem sonucu yaralandığı 5.000 binanın yıkıldığı ve 340.000 binanın da zarar gördüğü belirtilmiştir. Öte yandan yine 14.513 iş yerinin kapandığı 150.000 insanın işsiz kaldığı 129.338 insanın ise prefabrik konutlarda yaşamak zorunda kaldığı da belirtilmiştir. Ayrıca 129.338 kişinin deprem sonrası 39.928'i prefabrik konutlarda belli bir süre daha yaşamak zorunda kalmıştır (Kasapoğlu ve Ecevit, 2003). Bunun yanı sıra başka bir çalışmada ise dünya genelinde her yıl yaklaşık olarak 500 adet doğal afetin meydana geldiğini ve bu doğal afetlerin ise tahmini olarak 70.000 insanı ölümüne sebep olduğunu ve iki yüz milyondan fazla insanın da bu afetlerden etkilendiği belirtilmiştir (Duran ve diğ., 2011).

Belirtilen sayılara bakıldığında durumun ne kadar önem arz ettiğini fark etmemek mümkün değildir. Afetlerden etkilenmemenin mümkün olmadığı bir dünyada, afet sonrası hizmetlerin yerine getirilmesi oldukça önemli olduğunu veriler ortaya koymaktadır. Afet sonrası yardım ulaştırma hizmeti ile ölü sayısını en aza indirebilir, yaralı ve dolaylı etkilenen insanlara ise çekmiş oldukları acıları ortadan kaldırabilir bir hizmet götürülebilir. Bu sebeplerle afet lojistiği çalışılmaya ve geliştirilmeye ihtiyaç duyan bir konudur ve önemi ise bahsedilen sayısal verilerden ötürü de yadsınamazdır.

1.3. Çalışmanın Amacı

Önceki bölümden anlaşılan afetlerin insan hayatında oldukça derin etkilere sebebiyet verdiğidir. Afetlerin yaratmış olduğu yıkımı en aza indirebilmek adına afet lojistiği kavramı oluşmuştur. Bu kavramın geliştirilmesinde matematiksel modellemeler oldukça önemli yer tutmaktadır. Lojistik kavramının başarısı optimum sonuçlara ulaşarak ölçülmektedir. Bu optimum sonuçlar bazı durumlarda en kısa zamanda hizmet sağlamak bazı durumlarda ise en çok noktaya ulaşmak olarak farklı şekillerle karşımıza çıkmaktadır. Başka çalışmalarda ise riski en aza indirmek şeklinde de olmaktadır. Optimum sonuçlar göz önüne alındığında, afet lojistiğinde de en kısa

zamanda hizmet götürme afetzedeler için son derece kritik bir başarı göstergesi olacaktır.

En kısa sürede hizmet sağlayabilmenin temel faktörü ise, en uygun rotalar ile belirlenen noktalara hizmet sağlayabilmektir. Bu noktada araçların izleyeceği rotaların doğru, en kısa ve etkili yollar olması gerekmektedir. İşte bu sebepten ötürü, afet lojistiği için araç rotalama optimizasyonu önemli bir kavram olarak belirlemektedir. Araç rotalama optimizasyonu ile afet lojistiğinin kaçınılmaz bir şekilde ilişkili olduğu bir gerçektir.

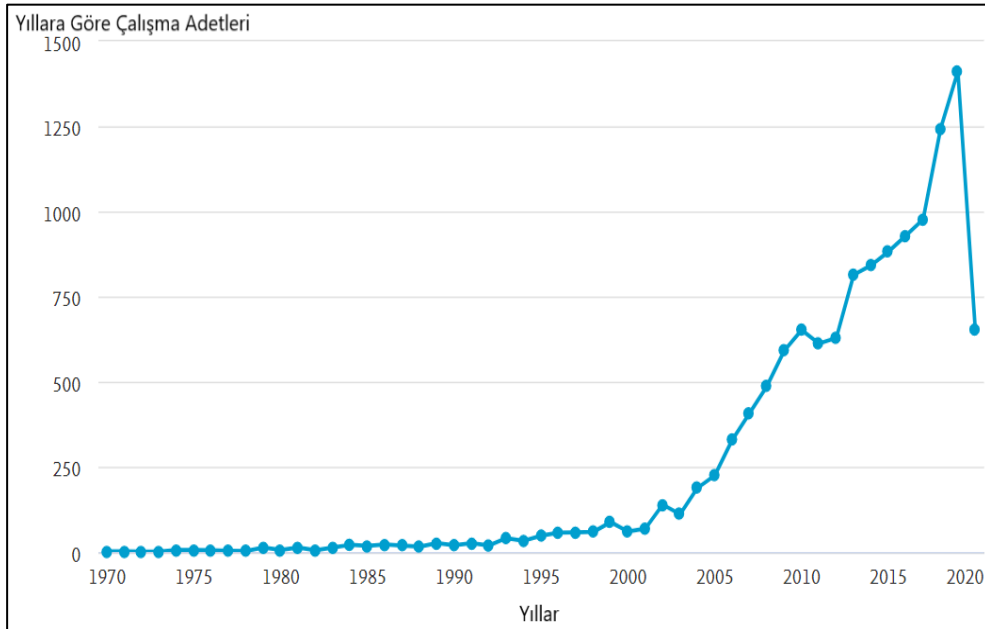
Araç rotalama için nasıl doğru sonuca ulaşılabilceğine karar verebilmek adına günümüzde birçok optimizasyon yöntemi kullanılmaktadır. Birçok çözüm tekniği de bunun paralelinde geliştirilmiştir. En doğru sonuca ulaşabilmek için bu yöntem ve tekniklerin uygulanması adına araç rotalama problemleri çeşitli sınıflandırmalara ayrılmıştır. Teorik olarak yapılan yöntemler gerçek hayat problemlerine döküldüğünde çözümü zor ve zaman alıcı olarak karşımıza çıktığından bu sınıflandırmayı yapmak son derece önemlidir. Sınıflandırmanın yanı sıra bu problemlerin çözüm yöntemleri de belli taksimlere ayrılarak farklı modelleri çözebilmek amaçlı farklılaşmışlardır.

50 yıldan fazla süredir birçok kişi ve akademisyen tarafından çalışılan araç rotalama bahsedilen unsurlardan dolayı son yıllarda daha yoğun bir şekilde çalışılmaya başlanmıştır. Yarım asırlık süre içinde ortaya konulan yeni araç rotalama konuları, çözüm modelleri, matematiksel ve sezgisel yöntemlerin sistematik bir şekilde artış gösterdiği görülmektedir. Her geçen yıl araç rotalama konusuna artan ilgi gittikçe artarak literatüre katkılar yapılmaya çalışılmaktadır. Çeşitli veritabanları yardımıyla dünya üzerinde çalışmalara bakıldığında bu gözle görülür bir gerçektir.

Bu çalışmaların adetsel kırımına bakıldığında “Araç Rotalama Problemi” adı altında 12904 adet çalışma yapıldığı görülmektedir. 2018 ve 2019 yıllarında ise araç rotalama konusu üzerine 1000’in üzerinde çalışma yapıldığı, 2019 yılında 1344 adetle de en yüksek seviyeye ulaşıldığı görülmektedir. Çizelge 1.1 ve Şekil 1.1 Scopus veri tabanından alınmış veriler olup 1970 yılından itibaren araç rotalama konusuna ait yapılan çalışmaların sayılarını yıl bazlı ifade etmektedir.

Çizelge 1. 1: Yıllara göre yapılan akademik araç rotalama çalışmaları, Scopus veri tabanından uyarlanmıştır.

Yıl	Sayı	Yıl	Sayı	Yıl	Sayı
1970	2	1987	19	2004	188
1971	2	1988	16	2005	225
1972	1	1989	26	2006	329
1973	1	1990	20	2007	409
1974	6	1991	26	2008	490
1975	6	1992	19	2009	589
1976	5	1993	41	2010	652
1977	4	1994	33	2011	612
1978	3	1995	48	2012	629
1979	13	1996	56	2013	814
1980	6	1997	58	2014	842
1981	13	1998	59	2015	882
1982	5	1999	88	2016	929
1983	13	2000	60	2017	977
1984	21	2001	69	2018	1242
1985	18	2002	139	2019	1412
1986	22	2003	111	2020	655



Şekil 1. 1 : Yıllara göre yapılan akademik araç rotalama çalışmalarının grafiksel gösterimi, Scopus veri tabanından uyarlanmıştır.

Çizelge 1.1 ve Şekil 1.1’den görülüyor ki araç rotalama son yıllarda çalışma konusu açısından oldukça fazla bir şekilde merak çekici bir araştırma konusudur. Bunun yanı sıra son on yıllık sürece de bakıldığında konunun yoğun talep görmesi, çalışmak için birçok fazla görüşten faydalanılabileceğini göstermektedir.

Gerek sağlık hizmetleri gerek güvenlik hizmetleri ve gerekse ulaşım ve lojistik hizmetleri, çağımızda oldukça büyük öneme sahiptir. Bu hizmetlerin günümüzde oldukça önemli olması sebebiyle yapılan bu çalışma ile konuya dair faydalar sağlamak amaç edinilmiştir. Bu noktada çalışma, amaç olarak afet lojistiği kavramı üzerinden yola çıkarak araç rotalama problemini uygulayacaktır. Bunun yanı sıra bu çalışma araç rotalama probleminin afet lojistiği için oldukça önemli bir kavram olduğunu vurgular nitelikte olmasını da amaç edinmektedir. Bu iki konunun beraber ele alınarak yapılacak rotalama faaliyetinin afet lojistiğine uygulanmasının altında yatan bir diğer nedense afet lojistiği kavramının zaman içerisinde çalışılma sayısıdır. Bahsedildiği üzere çalışma amaç olarak, afet lojistiği konusunu uygulama olarak seçmiş ve bunu araç rotalama problemi ile çözüme kavuşturma amacındandır. Bu sebeple araç rotalama kadar insani yardım hizmet lojistiği konusunun da neden seçildiğini belirtmek amaçlı yapılan çalışmalara bakmak ve devamında araç rotalama ile ilişkilendirilmiş çalışma konularının adetsel kırımlarına bakmak önemlidir. Bu amaçla Scopus veri tabanından alınan verilerin bulunduğu Çizelge 1.2 ve Çizelge 1.3 hazırlanmıştır

Çizelge 1. 2: Afet lojistiği alanında yapılmış çalışma adetsel kırımım, Scopus veri tabanından uyarlanmıştır.

Yıl	Adet	Yıl	Adet	Yıl	Adet	Yıl	Adet	Yıl	Adet
1976	1	1985	0	1994	9	2003	28	2012	177
1977	1	1986	2	1995	6	2004	34	2013	204
1978	1	1987	1	1996	10	2005	57	2014	238
1979	0	1988	4	1997	11	2006	61	2015	232
1980	0	1989	3	1998	11	2007	87	2016	300
1981	3	1990	2	1999	10	2008	93	2017	304
1982	1	1991	3	2000	9	2009	127	2018	346
1983	3	1992	2	2001	16	2010	179	2019	369
1984	3	1993	6	2002	26	2011	165	2020	96

Çizelge 1. 3: Afet lojistiği ve araç rotalama probleminin beraber çalışıldığı çalışmaların adetsel kırınımı, Scopus veri tabanından uyarlanmıştır.

Yıl	Adet	Yıl	Adet	Yıl	Adet
2004	1	2010	8	2016	9
2005	0	2011	5	2017	10
2006	0	2012	11	2018	18
2007	1	2013	4	2019	12
2008	4	2014	13	2020	8
2009	0	2015	5		

Sayılarla bakıldığında araç rotalama probleminin bu kadar yaygın çalışılan bir konu olması sebebiyle çalışma konusu olarak seçildiği söylenmiştir. Afet lojistiği kavramının ise son yıllarda çalışma adedi konusunda artış göstermesi de bu çalışma için uygun bir yolda olunduğunun göstergesidir. Ancak afet lojistiği konusu ile araç rotalama optimizasyonunu bir araya getirdiğimizde çalışma adetlerinin 109 adet ile oldukça düşük seviyede kaldığı görülmektedir. Bu sebepten dolayı afet lojistiği ile araç rotalama optimizasyonunu bir araya getirerek düşük seviyede kalan çalışma adetlerine katkı sağlanması istenilen amaçtır. Afet lojistiği ile araç rotalama optimizasyonunun birlikte incelenmesi ile oluşan sonuçlar bu denli önem arz etmesi ise aralarında bulunan sıkı ilişkiyi daha da güçlendirmektedir. Önceki bölümde bahsedildiği gibi günün rekabetçi koşulları ve ürün/hizmet sağlamada verimliliğin ön planda olması sebebiyle araç rotalama problemleri bu ilginin sebeplerinden biridir. Bunun yanı sıra afetlerin insan hayatında oldukça derin etkilere sebebiyet vermesi de gözle görülür gerçektir. Afetlerin yaratmış olduğu yıkımı en aza indirebilmek adına afet lojistiği kavramı oluşmuştur. Bölge biliminin temel konularından olan ulaşım konusu altında yer tutan afet lojistiği kavramı, ulaşım konusunun başlıca çalışma alanı olan ağ dizaynı ve araç rotalama problemi ile birleştirildiğinde faydalı modellerin ortaya çıkacağı hassas bir noktadır. Bu çalışma için amaç belirleme kısmında en büyük etmen bu hassas noktadır.

1.4. Çalışma Metodolojisi

Çalışma metodoloji olarak araç rotalama konusu ile afet lojistiği kapsamında seçilecek olan uygulama alanı belirleyerek ve bu uygulama alanına dair geliştirilecek optimizasyon yöntemi ile ulaşım sistemlerine katkı sağlamaya çalışacaktır. Yapılacak optimizasyon bir ağ ortaya çıkaracaktır. Bu ağın da çeşitli faktörlerden dolayı taşıdığı bir risk söz konusudur. Dolayısıyla bir risk analizi kısmı da çalışmada mevcut

olacaktır. Bu çalışmada yapılacak optimizasyon trafikten ve diğer sebeplerden kaynaklı ulaşım süresini azaltacağı hipotezi ile hareket edecektir, ancak bu hipotez test edilecek hipotezden ziyade çalışmaya bir başlangıç sağlaması için varsayımsal olarak ele alınmıştır. Yani çalışma için ışık tutmuş ve başlangıç adımını atmayı kolaylaştırmıştır. Bu konuda bahsedilen sürelerin azaltılması içinse en kısa yolların bulunup o yollar üzerinde mevcut riski de optimize ederek rotalama faaliyetlerin yapılması gerekmektedir. Bundan dolayı rotalamayı yaparken iki adımlı optimizasyon söz konusu olacaktır. İlk aşamada en kısa mesafenin oluşturulması amaç fonksiyonu kullanılacaktır. Devamında ise oluşturan rotanın taşıdığı risk değerinin minimizasyonunun yapılması mevcuttur. En kısa mesafeyi ve en az riski sağlayan rotalar üzerinden seyahat süreleri hesaplamaları ile çalışmanın çıktıları ortaya konulacaktır.

Bu çalışma kapsamında ise ilk bölümde genel bir giriş ile çalışmanın neden bu konu üzerinden yapıldığı ve araç rotalama konusu ile afet lojistiği arasındaki ilişki hakkında genel bir bakış açısı kazandırılmaya çalışılmıştır. İkinci bölümde araç rotalama problemlerinin sınıflandırılması ve bu konu ile ilgili çalışmaların değerlendirilmesine yer verilmiştir. Devam eden bölümlerde ise Araç Rotalama Problemi (ARP) ve alt kırımları ile afet lojistiği kavramından bahsedilecektir. Sonrasında ise afet lojistiği ve araç rotalamanın ilişkisi detaylı şekilde incelenecektir. Sonraki bölümde ise risk analizinin nasıl yapılacağı ve riskin nasıl optimize edileceği anlatılmıştır. Araç rotalama problemi için var olan çözüm yöntemlerinden ve seçilen yöntem olan Karınca Kolonisi Optimizasyonun (KKO) neden seçildiği ve KKO hakkında bilgiler ise risk analizi yöntemini takip eden bölümdedir. Devam eden bölümlerde ise uygulamaya ait bilgiler ve sonuç bölümleri yer almaktadır.

Çalışma, afet lojistiği için yapılacak araç rotalama faaliyetini KKO ile çözerek fayda sağlamaya çalışacaktır ve de “yapılan araç rotalama faaliyeti en kısa seyahat mesafelerini bulup seyahat süresini en aza indirerek afet sonrası mümkün olan en kısa sürede ve en az risk taşıyan yollardan hizmetin ulaştırılması ile afet lojistiğine fayda sağlayıcı faaliyet olacaktır” hipotezi ile test edilmeye çalışılacaktır.



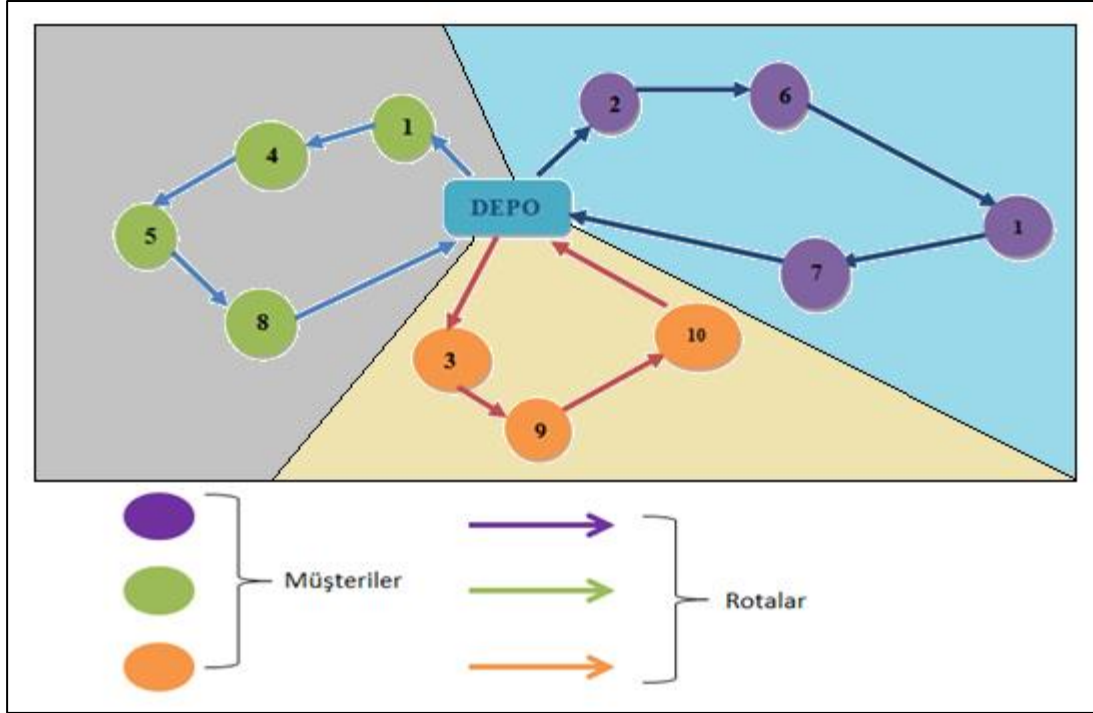
2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Araç Rotalamaya Genel Bakış

Giriş bölümünde de bahsedildiği gibi araç rotalama birçok çalışmanın konusu olmuştur. Özellikle de son yıllarda önemli derecede bir artış söz konusudur. Çalışmalara bakıldığında araç rotalama için tanım yapılmaya çalışılırsa farklı tanımlar göze çarpmaktadır. Bu tanımlar farklı şekilde dile getirilip aktarılsa da temelde benzerlikler taşımaktadırlar. Toth ve Vigo kitabında tanım olarak ulaşım isteklerinin, isteklerin tamamının veya birkaçının minimum maliyet ile araçların var olduğu bir kümeden hangi isteğin hangi sırayla karşılanacağına kararının verilerek bu araç rotalarının uygulanabilir bir şekilde gerçekleştirilmesinin belirlenmesi şeklinde ifade kullanmıştır (2014). Başka bir tanıma bakıldığında, araç rotalama problemi bir veya birden fazla depodan farklı yerlerdeki müşterilere mal ve ürünlerin var olan araçlar ile teslim edilmesi şeklinde ifadeye denk gelmektedir (Bright ve diğ, 2017). Yine benzer bir araç rotalama tanımı ise; araç kapasitesi, araçların yükleme ve/veya teslim zaman aralıkları, araçların zaman temelli kullanılabilirlik gibi farklı kısıt veya ihtiyaçlarının sağlanarak tüm dağıtım maliyetlerinin minimize edip, araç filosunun rotasının ve çizelgelerinin saptandığı etkili bir ürün dağıtımıdır (Psaraftis, 1995). Birbirinden farklı zamanlarda ortaya konulan tanımlardaki ortak noktalar kısıtların sağlanması ve isteklerin uygun rota ile karşılanması olarak değerlendirilebilir. Ve bunları sağlarken de en doğru rotayı minimum maliyet ile sağlamakta araç rotalama probleminin bir konusu olmuştur.

Son olarak daha sistematik bir şekilde ortaya koyulan tanıma bakmakta fayda olacaktır. Araç rotalama problemi ilk olarak Dantzig & Ramser tarafından Flood'un Gezgin Satıcı Problemi diye genelleştirdiği konu üzerinden formülleştirilerek depo veya depoları ifade eden köşelerin ($V = (v_0, v_1, \dots, v_n)$), rotaları belirten arkların ($\mathcal{E} = \{(v_i, v_j) \mid (v_i, v_j) \in V^2, i \neq j\}$), ve maliyet matrisinden ($C = (C_{ij})_{(v_i, v_j) \in \mathcal{E}}$) oluşan bir grafiktir ($G = (V, \mathcal{E}, C)$) (Pillac ve diğ, 2013).

Şekil 2.1 araç rotalama problemini yukarıda bahsedilen matematiksel ifadeleri basitçe ortaya koyacak şekilde görselleştirmektedir. Şekilde bir depodan çeşitli istemlere giden üç farklı rota ve bunların istenilen amaç fonksiyonuna uygun şekilde dizayn edilmiş yapısı temsil edilmiştir.



Şekil 2. 1 : Üç farklı sistemden oluşan araç rotalama probleminin grafiksel gösterimi.

2.2. Araç Rotalama Problemi (ARP) Sınıflandırmaları

Önceki bölümlerde bahsedildiği üzere araç rotalama problemlerinde çözümlerin daha pratik ve kolay bir şekilde sonuçlandırılması için sınıflandırmalar yapılmıştır. Sınıflandırma yapma amacı problem türünü görselleştirerek alınacak aksiyonları daha doğru belirleyebilmektir. Ayrıca sınıflandırmalar sayesinde konunun tarih boyunca ne kadar detaylıca çalışıldığı ve konunun ne kadar derinleştiği ortaya konulmaktadır.

Araç rotalama sınıflandırılmasında var olan sınıflandırmalara bakıldığında devam eden Şekil 2.2 ve 2.3'teki sınıflandırma iyi bir yol gösterici olmaktadır. Ekşioğlu ve diğ. (2009) ortaya koydukları çalışma ile konunun ne kadar detaylı ve problem çözümünde dikkat edilmesi gereken hususların neler olduğunu göstermektedir. Araç rotalama probleminde tablodaki alt başlıklar tek tek kısıt olarak kabul edilerek çözümler yapılmaya çalışılır. Şekil 2.2 ve 2.3 11 farklı duruma göre dallara ayrılan

araç rotalama konusunu açıklayan ve alt başlıklar halinde araç rotalamanın ne kadar detaylı olabileceğini gösteren yapıya sahip görsellerdir.

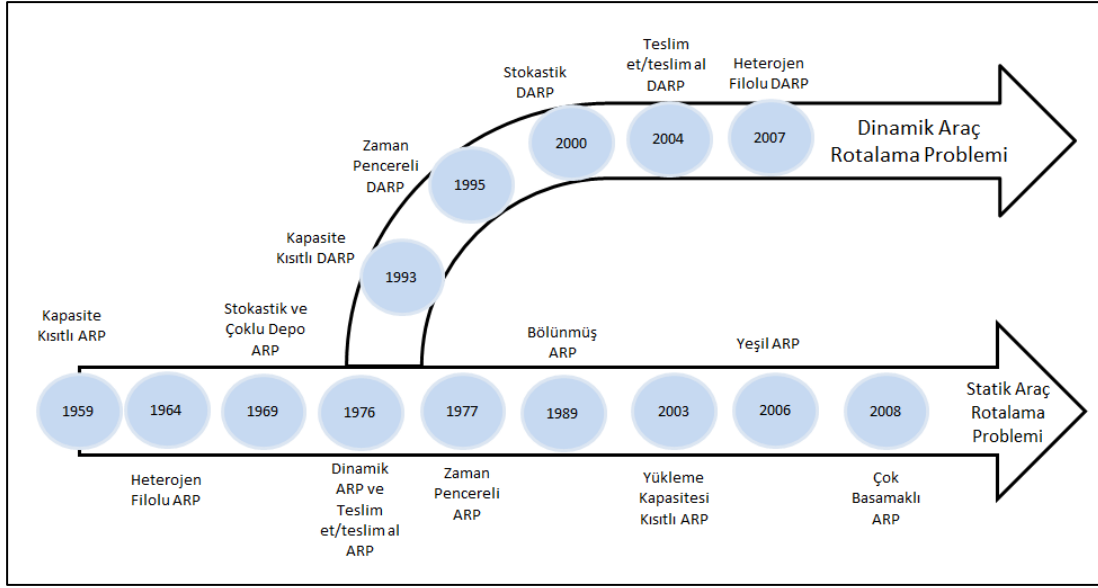
Problem Çeşidi	İçerik	Ulaşım Modu	Amaç Fonksiyonu	Filo Büyüklüğü
1. Statik ve Deterministik	1. Teslim Alma veya Teslim Etme	1. Genel	1. Minimum Maliyet	1. Tek Araç
2. Statik ve Stokastik	2. Teslim Alma ve Teslim Etme	2. Kara Yolu	2. Minimum Mesafe	2. Çok ve Kısıtlı Araç
3. Dinamik ve Deterministik	3. Diğer	3. Deniz Yolu	3. Minimum Seyehat	3. Çok ve Yeterli Araç
4. Dinamik ve Stokastik		4. Hava Yolu	4. Maksimum Müşteri	
		5. Yürüyüş	5. Diğer	

Şekil 2. 2 : Araç rotalama problemi sınıflandırması, Ekşioğlu ve diğ. (2009)'dan uyarlanmıştır.

Zaman Kısıtı	Araç Kapasite Kısıtı	Müşteri Talebini Reddetme	Dinamiklik Durumu	Stokastiklik Durumu	Çözüm Metodu
1. Var ve Katı	1. Kısıtlı	1. Edilebilir	1. İstekler Dinamik	1. Lokasyon	1. Tabu Arama
2. Var ve Normal	2. Kısıtlı Değil	2. edilemez	2. Zaman / Servis Dinamik	2. Talepler	2. Farklı Komşu Arama
3. Var ve Bulanık		3. Belli Değil	3. Araç Kullanımı Dinamik	3. Zaman	3. Ekleme Metodu
4. Yok				4. Stokastik Değil	4. Dinamik Programlama
5. Diğer					5. Markov Karar Süreci
					6. Diğer

Şekil 2. 3 : Araç rotalama problemi sınıflandırması devam, Ekşioğlu ve diğ. (2009)'dan uyarlanmıştır.

Bu sınıflandırma eşliğinde ARP'nin tarihsel gelişimine de bakarak konunun ortaya çıktığı ilk tarihten itibaren ne kadar derinleştiğini, zaman içerisinde ne kadar çeşitlendiğini görmek mümkün olmaktadır. Şekil 2.4 tarihsel süreçteki ARP'nin sınıflarının ortaya çıkışını göstermektedir. Bu şekilde araç rotalamaya tarihsel perspektiften de bakmak mümkün olabilmektedir. Tarihsel bakış açısı, konunun nereden nereye evrildiğini ve ARP için zaman içerisinde hangi konular için gelişim sağladığını anlamayı sağlar.



Şekil 2.4 : Araç rotalama problemi (ARP) sınıflandırılmasının tarihi gelişimi, Kim ve diğ. (2015)'ten uyarlanmıştır.

Araç rotalama konusunda bu kadar kısıt olduğu düşünüldüğünde çalışma konusu olarak birçok kişi farklı alt başlığa yönelerek çalışmalarını şekillendirmiştir. Araç rotalama problemlerinde sınıflandırma çalışmaları çeşitlilik göstermektedir ve problem çözümleri de çeşitli kısıtlar altında yapılmaya çalışılmıştır. Şekil 2.2, Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'teki sınıflandırmanın yanı sıra literatürde problemdeki kısıtlara göre oluşan sınıflandırma çeşitleri de mevcuttur.

Optimizasyon çalışmalarında amaç fonksiyonu, değişken tanımlamaları, değişken işaretleri gibi önemli olan bir husus da kısıtlardır. Araç rotalama problemlerinin de birer optimizasyon çalışması olduğu düşünülürse çözümlerinde önem derecesi yüksek olan kısıtlara göre de yapılan sınıflandırma ve çalışmalardan bahsetmek gerekir.

2.2.1. Kapasite kısıtlı araç rotalama problemleri (KARP)

Filodaki her aracın belirli bir kapasiteye sahip olduğu ve müşteri taleplerinin bilindiği durumdur. En çok karşılaşılan problem türüdür. Genellikle deterministik bir yapıya sahiptir. Araçlar taşıma işlemlerine başlar ve tekrar geri depoya dönerler. Bu problem türünün belirgin özelliği ise araçların toplam seyahat mesafesini minimize ederken bunu araçların belli bir sabit maliyet ve limitli kapasiteleri ile değerlendiriyor olmasıdır. Gendreau ve diğ. (2002) ile Berger ve Barkaoui (2003) konuyu çalıştıkları görülmektedir.

Kapasite kısıtlı araç rotalama (KARP) problemi, grafiksel gösterimde her müşterinin bir kenar veya arkla ilişkilendirilmesi sonucu taleplerinin karşılanmasının ifade eden ark rotalama problemi sınıflandırmasına girmektedir (Labadie ve diğ., 2016). Bu problem türünün çözümü için tam sayılı programlama uygun olsa da büyük çaplı problemlerde tam sayılı programlamanın zaman alıcı olduğu belirtilmektedir.

Bu problem türü için kurulan çözüm yöntemlerinde önemli olan kapasite kısıtının doğru ifadelendirilmesi ve de araçların turları içinde talep sahiplerine birden fazla seferde gitmesini engellenmesidir (Toth ve Vigo, 2002).

2.2.2. Mesafe kısıtlı araç rotalama problemleri (MARP)

Filodaki her aracın belirli bir mesafe kısıtının olmasıdır. Bu kısıtlama maksimum mesafe veya zaman olarak problem içinde yer bulur. Laporte ve diğ. (1987) bu kısıt üzerinden çalışma yapmışlardır.

Bu problem türünün oluşmasının altında yatan ana sebep ise, bazı taleplerin mesafe olarak deponun çok uzağında yer alması ve mesafeyi karşılamanın amaç fonksiyonunda dalgalanmalara sebebiyet vermesidir. Ayrıca problem çözümünde bu şekilde olan talepler özellikle sezgisel algoritmalar kullanıldığında, oldukça verimsiz sonuçlar vermektedir. Bu sebeple Li ve diğ. (1992) yaptıkları çalışmada uzak mesafedeki talepleri karşılamak için geliştirdikleri kısıta göre hizmet götürme şeklinde bir yapı oluşturmuşlardır.

2.2.3. Zaman pencereci araç rotalama problemi (ZPARP)

Bu problemde müşteri talepleri belirli bir zaman dilimi içinde karşılanmalıdır. $[m_i, n_i]$ içerisinde karşılanmalıdır. Burada m_i : i . müşteriye servisin başlaması gereken zamanı, n_i : i . müşteriden en geç çıkma zamanı olarak belirtilmektedir. Araçlar depodan ayrıldıktan sonra, t_{ij} (i şehrinden j şehrine gitmek için harcanan süre) kadarlık bir seyahat ederek sonrasında müşteri noktasına uğrayarak k_i kadarlık bir sürede müşteriye hizmet verirler (Vigo ve diğ., 2014).

Zaman pencereci ya da zaman kısıtlı araç rotalama problemi için matematiksel modeller ile tam sonuçlara ulaşılabildiği gibi sezgisel yöntemler için de oldukça uygun bir problem türüdür (Ho ve Haugland, 2004).

Öte yandan Yang ve diğ. (2017) ise zaman kısıtlı araç rotalama problemi için önemli gördükleri noktaları sırasıyla şu şekilde belirtmişlerdir; herhangi bir araç bir talebi

karşıladığında ya da talep sahibini ziyaret ettiğinde oradan ayrılmalıdır, araçların toplam seyahat süresi belirlenmiş bir zamanı geçmemelidir ve her araç tam olarak bir talep için bir kere kullanılmalıdır. Araç rotalama problemi için farklılık olarak belli bir zaman diliminin aşılması gerektiği kısıt olarak değerlendirilmesi gerektiğini belirten bir yöntemdir. Bu kısıt değerlendirilirken iki farklı şekilde ortaya çıktığı da görülmektedir. Bunlardan ilki, her bir talep sahibine hizmet sağlayabilmek için belli zaman kısıtlarının olmasıdır. Yani talebin karşılanacağı zamanın belli bir süre dahilinde olması ve talebin karşılanma esansında da belli süre kısıtlarına uymak gerektiğidir. İkinci olarak talepler özelinde değil de toplam seyahat süresine uygulanan zaman kısıtının olması dikkat çekici noktadır.

2.2.4. Bölünebilir talep kısıtlı araç rotalama problemi (BTARP)

Bolduc ve diğ. (2010) müşterilerin talebinin birden fazla araçla karşılandığı durum olarak tanımlamıştır. Dror ve diğ. (1994) problemi sezgisel yöntemlerden tam sayılı programlamaya çevirmişlerdir.

Literatürde kırsal postacı problemi (Rural Postman Problem) olarak geçen problem türünden etkilenen bölünebilir talep kısıtlı araç rotalamada taleplerin kesin olarak bir araçtan karşılanmayacağı yapılan çalışmalarla gösterilmiştir. Ho ve Haugland (2004) tarafından altı problem kümesi ile yapılan çalışma bölünebilir talep kısıtlı araç rotalama ile zaman kısıtlı araç rotalamayı bir araya getirmiştir.

2.2.5. Çoklu depolu araç rotalama problemi (ÇDARP)

Sistemdeki depo sayısının birden fazla olduğu türdür. Buradaki durumda araçların hangi depoları kullanacağını atamalarından dolayı zorlayıcı bir durumdur. Literatürde bu konuda en çok kullanılan örnek çalışma ise Cordeau ve diğ. (1997) tarafından yeni bir çözüm yöntemi geliştiren makalesidir.

Çoklu depolu araç rotalama problemlerinin gelişmesinde günümüz koşullarında tek depolu hizmet veren kuruluşların az olması ve depolar arası da aktarımların söz konusu olmasıdır. Bu problem türünde her depodan çıkan aracın kendi deposuna geri dönmesi ve ayrıca depolar arası rotalarında oluşabileceği durumlar söz konusudur. Ho ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmada bu problem türüne hiyerarşik olarak üç adımda çözüm sağlamışlardır ve bu hiyerarşik yapı şu şekildedir; ilk olarak talep sahiplerinin depolara atanması yani kümelenme yapılması, devamında atanan müşterilere amaç

fonksiyonuna uygun şekilde rotalar oluşturarak hizmet sağlanması ve son olarak da her bir rotanın depolara göre sıralanmasıdır. Depo sayısının artmasıyla paralel olarak da çözümün zorlaştığı düşünülünce sezgisel algoritmalarla çözüm daha kolay ve daha az zaman alıcı olmaktadır.

2.2.6. Teslim al / teslim et araç rotalama problemi (TTARP)

Aynı araç ile depodan müşteriye, müşteriden depoya taşımacılığın yapıldığı durumdur. Literatüre bakıldığında Berbeglia ve diğ. (2010) bu konuyu detaylıca çalışmışlardır.

Ayrıca teslim al / teslim et problem türünde üç farklı durumun olduğu literatür taramasında görülmektedir. Bunları Nagy ve Salhi (2005) çalışmasında sırasıyla aşağıdaki gibi olduğunu belirtmiştir;

-*Önce teslim et sonra teslim al:* Yapılan teslim etme ve teslim alma işleminde araçta bunu ayarlayabilecek elverişli bir durum olmamasından dolayı, teslim etme işlemleri bittikten sonra teslim almalarının yapılmasıdır.

- *Karışık olarak teslim etme ve alma:* Bu hususta herhangi bir zorlayıcı durum olmadığı için belli önceliklendirmeye gidilmeden aynı andı işlemlerin yapılabilmesidir.

- *Rastgele bir şekilde teslim et veya al:* Burada teslim alma ya da teslim etme durumunda herhangi bir şekilde kesinlik bilinmemekte ve tamamen müşterinin o anlık geliştirdiği bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır.

2.2.7. Periyodik araç rotalama problemi (PARP)

Rota planlarının periyodik yapıldığı problem türüdür. Vidal ve diğ. (2012) Genetik Algoritmasına dayalı geliştirdikleri yöntemle bu problem türünü çalışmışlardır.

Ayrıca periyodik araç rotalama konusunu bir başka bakış açısından ele alan Angelelli ve Speranza (2002) ise çalışmasında depodan müşterilere ürün veya hizmet götürme yerine müşterilerden teslim alarak depoya ürün veya hizmet getirme olarak problemde tersine bir değişiklik yapmışlardır. Bu çalışmayı atık toplama hizmeti ile ele alarak tersine lojistik konusuna önemli katkı yapmışlardır.

Öte yandan periyodik araç rotalamayı konu edinen çalışmalardan bir diğeri de Alonso ve diğ. (2008) 1000 müşteriye sahip bir sistem içerisinde sezgisel algoritma kullanarak

ulaşmış oldukları sonucun, aynı sayıdaki müşteriye sahip başka problem türlerinin sonuçlarına göre daha başarılı olduğunu belirttikleri çalışmadır.

2.2.8. Stokastik araç rotalama problemi (StARP)

Problemdeki değişkenlerde rassallığın söz konusu olduğu türdür. Bu problem tipinde geçmiş veri setleri ile modeller kurularak problem çözümü yapılmaya çalışılır. Birçok değişken stokastik olabileceğinden oldukça sık çalışma konusu olan bir problem türüdür. Literatürde, Schilde ve diğ. (2011), Laporte ve diğ. (1992), Gendreau ve diğ. (1995) ve Novoa ve Storer (2009) çalışmalarına bakıldığında stokastik araç rotalama ile ilgili stokastik yapıya sahip olmasını sağlayan etmenlerin aşağıdaki gibi olduğu görülmektedir;

-Stokastik talepler

-Stokastik müşteriler

-Araç seyahat süresinin stokastik olması

Sayılan sebeplerden dolayı araç rotalama stokastik bir yapıya bürünüp daha önceki olasılık verileri üzerinden oluşabilecek olasılık diyagramlarının çıkarımları ile amaç fonksiyonuna uygun optimizasyon yapılması sağlanmaktadır.

Stokastik kavramı farklı parametreler ve değişkenler üzerinde görülebilir. Geçmiş tarih veri setleri ile stokastik model yöntemleri ile yapılan optimizasyon da genel üç farklı karakteristik konu çalışıldığı dikkat çekmektedir. Müşteri talepleri, yapılan hizmetin süresi ve yolda geçen süre stokastik olabilir (Lahyani ve diğ, 2015). Stokastik modellerde rassal değişkenler atanarak çalışma başlar. Bu rassal değişken atama sebebi ise problem çözümü için elde kesin veri olmadığıdır. Problemin devamında geçmiş veriler ele alınarak belli olasılık yoğunluk fonksiyonlarına benzetilerek çalışma yapılır. Bent ve Hentenryck (2003) müşterilerin sistem içerisinde istekte bulunmalarını yani sisteme dahil olmalarını Poisson olasılık dağılımına benzeterek çalışmasını yapmıştır. Yapılan bu atama sonucunda da sezgisel ve matematiksel modeller ile çözüm yöntemleriyle problem sonuçlandırılmaya çalışılır. Matematiksel modeller için içinde literatürde en çok kullanılan Markow Zinciri Karar Verme Süreci metodudur. Literatürde Laporte ve diğ. (1992) seyahat süresinin stokastikliğini normal büyüklükteki problem ebatları için dal-kesim (branch and cut) metodunu kullandığı görülmektedir. Taleplerin stokastik oluşunu ise Laporte ve diğ. (2002) çalışmada tam

sayılı L-şekilli algoritma ile çözüme kavuşturmuşlardır. Ayrıca Secomandi (2001) de çalışmasında taleplerin stokastik oluşunu “rollout algorithms” ile ele almıştır. Bu konuda denildiği gibi parametrelerde kesin olmayan bilgilerin mevcut olduğu durum söz konusudur. Bu bilginin kesin olmayışını ise geçmişe ait verileri belli bir dağılıma uyarlayarak çalışmalar yapılır ve böylelikle ihtiyaç duyulan planı yapmak için elde edilmiş veriler araç rotalama problemlerinde kullanılabilir.

2.2.9. Zamana bağlı araç rotalama problemi (ZARP)

Araç yol boyunca geçirecekleri zamanın ve müşterilere ulaşmalarının bir süre dahilinde olması gerektiğini belirten problem türüdür.

Kısıtlara göre belirlenen sınıflandırmada kurulacak modeldeki problem türünü anlamının önemli olmasından dolayı açıklamalar yapılmıştır. Bunların yanı sıra depodan ayrılan aracın depoya gelmediği ve geldiği durumlara göre sırasıyla açık uçlu rota ve kapalı uçlu rota çeşitleri, rota boyunca müşteriler veya isteklerde bulunanların arası mesafenin eşit olduğu veya olmadığı duruma göre sırasıyla simetrik ve asimetrik problem tipleri mevcuttur. Homojen veya heterojen bir yapıya sahip olabilen filo yapısı da bir başka çeşidi oluşturmaktadır. Eğer bir filoda tüm araçlar maliyet, ebat, hız gibi fiziksel özellikler açısından aynı donanımlara sahipse homojen bir filodur. Aksi yönde bu fiziksel özelliklerde farklılıklar varsa heterojen bir filo olduğu söylenir. (Toth ve Vigo, 2002).

2.2.10. Statik ve dinamik araç rotalama problemleri

Literatürde en çok karşılaşılan sınıflandırmalardan biri de sisteme dahil olan bilgilerin değişkenliğine göre belirlenen dinamik ve statik araç rotalama problemi (DARP ve SARP) ayrımıdır. Sisteme giren bilgiler konusunda, planı yapacak kişiye öncesinde kesin ve eksiksiz bilgilendirmeler sağlanıyorsa bu statik bir araç rotalama problemidir. Diğer yandan bu bilgi zaman içerisinde değişimlere uğruyorsa (iptal etme, yeni sipariş, yeni müşteri gibi) ise dinamik bir araç rotalama problemi ortaya çıkmaktadır. Araştırmalar ışığında dinamik ve statik araç rotalama konuları kapsamında önem arz eden ve bu ayrımın daha net anlaşılmasını sağlayan iki faktör ise bilgi gelişimi ve bilginin kalitesidir. Bilginin gelişimi rotalamada isteklerin önceden bilinip bilinmemesi, bilginin kalitesi ise yani girdi olarak kullanılan verilerin kesinliğinin olup olmaması durumu ile alakalı olarak deterministik ve stokastik olarak ayrılmaktadır (Pillac ve diğ., 2013). Pillac ve diğ. (2013) yaptığı çalışmayı tablolandırmak gerekirse

çalışma konusuna odaklanmak daha kolay olacağından devam eden tablo bu temel ayrım üzerinden oluşturulmuştur. Bilginin elde edilişine göre parametrelerdeki duruma göre dört farklı kavram ikiyeşerli grup oluşturarak Çizelge 2.1 oluşmaktadır.

Çizelge 2. 1: Araç rotalama kırımını, Pillac ve diğ. (2013)’den uyarlanmıştır.

Bilgi Kalitesi			
		Deterministik Girdiler	Stokastik Girdiler
Bilginin Gelişimi	Girdilerin Öncesinde Bilinmesi (Statik)	<i>Statik ve Deterministik</i>	<i>Statik ve Stokastik</i>
	Girdilerin Zamanla Değişmesi (Dinamik)	<i>Dinamik ve Deterministik</i>	<i>Dinamik ve Stokastik</i>

Araç rotalama problemlerinde bahsedildiğinde ilk olarak akla klasik araç rotalama yani statik araç rotalama konuları gelmektedir. Statik araç rotalama problemi diye bilinen bu problemlerde rota ve problem ile ilgili bilgiler önceden bilinir vaziyettedir. Sistem nasıl çalışmaya başladıysa o şekilde devam eder ve çalışma anında sisteme yeni bilgi girişleri yapılmaz. Klasik ARP olarak da kendine literatürde yer edinmiş olan SARP’ın yanı sıra birçok dinamiklik kaynaklığından etkilenecek oluşan DARP’ın temel ayrım noktasını bilginin gelişimi kısmında açıkça görülmektedir. Dinamik araç rotalamada kısıtların, bilginin önceden bilinmemesi ve problemin optimizasyonun yapılması araç rotalama ve dağıtım/teslim etme/hizmet esnasında da devam eder. Statik araç rotalamadan farklı olarak bilginin kesin olmaması, gerçek zamanlı müşteri isteklerinin bulunması ve müşteri ile araç kontrolü arasında zaman temelli bir ilişki bulunması göze çarpmaktadır (Li ve diğ, 2016). DARP dinamikliği belirleyici asıl unsur dinamiklik derecesi kavramıdır. Dinamiklik derecesi denklem 2.1 ile açıklanarak DARP’ın yapısı hakkında bilgi verici olacaktır.

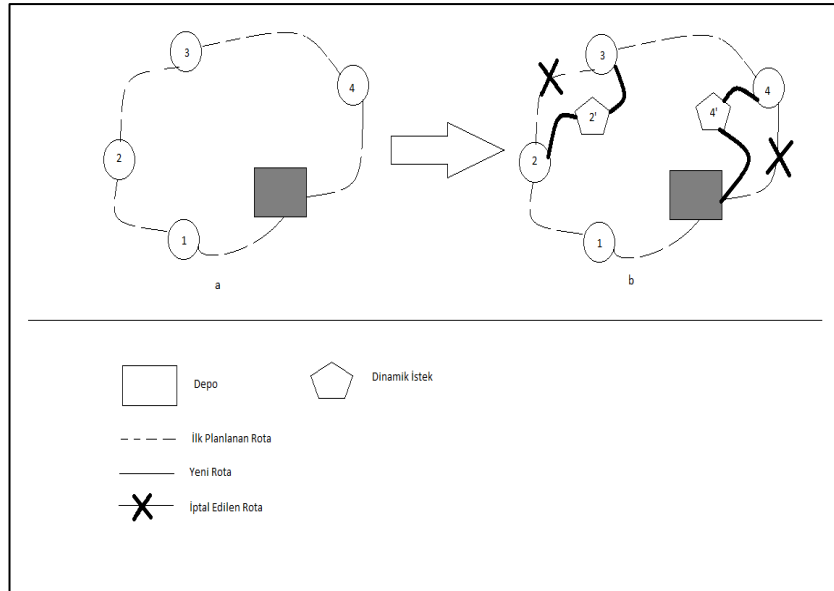
$$\text{Dinamiklik Derecesi} = \frac{\text{Toplam Dinamik Müşteri Sayısı}}{\text{Toplam Müşteri Sayısı}} \quad (2.1)$$

Dinamiklik derecesini matematiksel olarak küçük bir örnek üzerinden ifade ederek ne olduğu daha iyi anlaşılacaktır. Bir lojistik firması için daimi verilen 10 siparişin 5 tanesi gün içerisinde değişiklik gösterip dinamik olması sonucu (siparişlerin götürüleceği depoların sürekli değiştiği düşünülerek değişiklik gösterdiği ele alınmıştır) dinamiklik derecesi %50’dir. Bir başka deyişle bu oran başlangıç planından itibaren ne kadar yeni olayın meydana geldiğini de belirtmektedir. Dinamiklik derecesi ise sistemin

performansı ölçülebilmesi daha kolay ve hızlı olacaktır. Yüksek orandaki dereceler sistemin o kadar zorlaştıracak ve sisteme karmaşıklık katacaktır.

Dinamik ve statik araç rotalama arasındaki ayrımı daha net açıklamak gerekirse Adewumi ve Adeleke (2018) çalışmasından uyarlanan Şekil 2.5 faydalı olacaktır. Şekil 2.5'te a bölümü dinamik istek yokken yani sistemde statik araç rotalamanın yapılmış hali, b bölümü ise dinamik isteklerin başlaması ile oluşan dinamik araç rotalamayı göstermektedir.

Dinamik araç rotalamada bilginin bu şekilde değişkenlik göstermesinin sebepleri olarak ise tahmin edilmeyen veya kestirilemeyen olaylar, müşterilerin sıra dışı talepleri, trafik sıkışıklığı, trafik faktörü, afetler ile doğa olayları ve araçlarda beklenmeyen arızalar olarak şekillenebilir. Dinamik araç rotalamada bilgideki değişimin sebeplerinin yapılan çalışmalarla birlikte gösterildiği Çizelge 2.2 derli toplu bir gösterim sunmaktadır. Bilgideki değişim yani dinamikliğe sebebiyet veren etmenlerin sıralandığı çizelgede son yıllarda yapılmış olan çalışmalar dikkat çekmektedir. En çok çalışma konusu olarak tercih edilen dinamiklik kaynağı ise yeni müşterilerin sisteme girişidir. Çizelge en çok tercih edilen çalışma konusunda azalan sıralamayla giden bir yapıda hazırlanmış olup dinamiklik kaynaklarının çalışma sahipleri hakkında da bilgilendirici bir yapıdadır.



Şekil 2. 5: Dinamik araç rotalamanın zaman içerisinde oluşumu, Adewumi ve Adeleke (2018)'dan uyarlanmıştır.

Çizelge 2. 2: Dinamiklik kaynakları ve yapılan çalışmalar, Abbatecola ve diğ, (2016)'dan uyarlanmıştır.

Dinamiklik Kaynağı	Çalışmalar
Yeni Müşterilerin Sisteme Girişi	Ghannadpour ve diğ, 2013 de Armas ve Melian-Batista, 2015
Müşterilerin Talep Değişiklikleri	Mavrovouniotis ve Yang, 2015 Sarasola ve diğ, 2016
Talep İptali	Lin ve diğ, 2014
Seyahat Süresi	Binart ve diğ, 2016
Bozulma ve Aksaklıklar	Ferruci ve Bock, 2015

Günümüz araç rotalama problemlerine bakıldığında hem statik hem de dinamik araç rotalama konuları çözüm için kullanılmaktadır. Dinamik araç rotalama problemleri için akaryakıt teslimatları, kargo hizmetleri, çoklu ulaşım modlarını kapsayan taşımacılık hizmetleri, ağır yük gemisi ile taşınabilen ürünlerin taşımacılığı, teslim alma ve teslim etme gibi hizmetlerin bulunduğu taşımacılıklar, konteynır yükleme/boşaltma hizmetleri, endüstriyel ürünlerin taşınması, taksi ve servis araçları hizmetleri yoğun olarak ilgilenilen konulardır (Psaraftis, 1995). Çizelge 2.3 Psaraftis'in çalışmasında bahsettiği konular ve diğer kaynak taramaları sonucu yapılan çalışmaları göstermektedir. Çizelge 2.4'te ise statik araç rotalama probleminde sıkça çalışılan ana başlık konuları görmek mümkündür. Bu iki çizelge sayesinde iki problem tipi arasında çalışılan konular özelinde karşılaştırma yapabilme imkanı elde edilmektedir.

Çizelge 2.3 çalışma alanlarındaki ortaya konulan çalışmaların yoğunluğuna göre seçilerek hazırlanmıştır. İncelendiğinde DARP çalışmaları kargo ve lojistik alanlarında yoğunlaştığı da görülmektedir. Bu yoğunlaşmanın sebebi ise, bu konularda sürekli yeni müşterilerin sisteme girmese dinamiklik yarattığı içindir.

Çizelge 2. 3: Dinamik araç rotalama çalışılan konular ve yapılan çalışmalar.

Çalışma Alanları	Yapılan Çalışmalar
Akaryakıt Teslimatları	Dror ve diğ, 1985 Montemanni ve diğ, 2005
Kargo Hizmetleri	Lin ve diğ, 2014 Gengreau ve Potvin, 1998 Larsen ve Madsen, 2002
Ağır yük gemisi ile taşınabilen ürünlerin taşımacılığı	Ronen, 1985
Teslim Alma ve Teslim Etme Gibi Hizmetler	Berbeglia ve diğ, 2010 Haghani ve Jung, 2005
Konteynır yükleme/boşaltma hizmetleri	Johansson, 2006
Diğer Ulaşım Modları	Yang ve diğ., 2017
Ürün Taşımacılığı ve Lojistik	Ichoua ve diğ, 2001
Acil Durum Hizmetler	Beaudry ve diğ. 2008

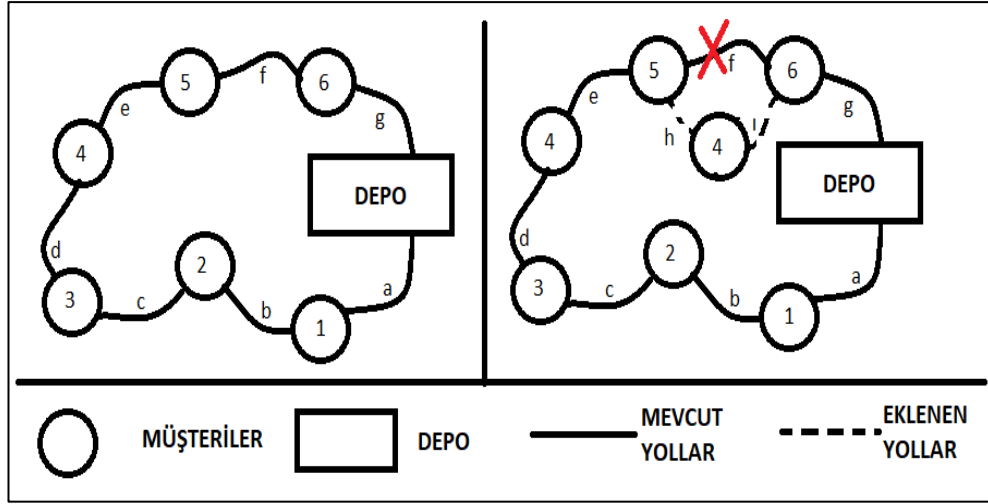
Çizelge 2.4'te ise seçilen konular, SARP kapsamında sıkça çalışılan konulara göre hazırlanmış olup, yapılan çalışmalarla birlikte verilmiştir. Çizelge 2.4'e bakıldığında bahsi geçen konular oldukça sık çalışılmış olup buna göre seçilmiş çalışmalarla konular ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Dinamik araç rotalama ile beraber ele alınınca sıkça çalışılan konuların benzerlik gösterdiği görülmektedir. Birkaç farklı konu hariç benzerliğin olduğu söz konusudur. Acil durum hizmetler olarak görülen konu araç rotalama kapsamında diğer konulara göre daha yeni çalışılan bir konu olduğu giriş bölümünde Çizelge 1.3 ile açıklanmıştır. Bu konunun az olarak karşılaşıldığından çalışma kapsamında uygulama olarak da ele alınmasına karar kılındığını bir kez daha belirtmek gerekir.

Çizelge 2. 4: Statik araç rotalama çalışılan konular ve yapılan çalışmalar.

Çalışma Alanları	Yapılan Çalışmalar
Akaryakıt Teslimatları	Popovic ve diğ, 2012
Enerji Tüketimi	Kara ve diğ, 2007 Xiao ve diğ, 2012 Erdoğan ve Miller-Hooks, 2012
Teslim Alma ve Teslim Etme Gibi Hizmetler	Gendreau ve diğ, 2006 Sevelsbergh ve Sol, 1995 Bianchessi ve Righini, 2007
Konteynır yükleme/boşaltma hizmetleri	Karadimas ve diğ, 2006
Diğer Ulaşım Modları	Assad,1980
Ürün Taşımacılığı ve Lojistik	Wasner ve Zäpfel, 2004 Crainic ve diğ, 2009

ARP bir diğer sınıflandırma ise bilginin kalitesi eşliğinde oluşmaktadır. Bilginin kalitesi konusunda deterministik veya stokastik yapıları mevcuttur. Sistemdeki elde edilen girdilerin veya değişkenliklerin hesaplamaların geçmiş verilere dayanması (stokastik modeller) ile mi yoksa kesin bilinirliği (deterministik) üzerinden mi yapılacağı ayrımıdır.

Araç rotalama problemlerinde ise deterministik kavramı parametrelerin problem çözüm çalışmaları başladığında, çalışmalar başlamadan önce ve çalışmaların devamında da kesin olarak bilindiği olarak tanımlanır (Lahyani ve diğ, 2014). Tanımda dikkat edilmesi gereken husus kesinlik kavramıdır. Şekil 2.6 için sol bölmedeki a, b, ... , g yollarının durumlarını (mesafeleri, trafik durumları vb.) ve 1, 2, ... , 6 numaralı istem sahiplerinin durumlarını (istemde bulunup bulunmayacakları, ne isteyecekleri, ne miktarda isteyecekleri vb.) rotalama için çözüm yapmadan önce bilinmesini ve kesinliğini anlatan bir örnektir.



Şekil 2. 6: Determistik araç rotalama örneği.

Şekil 3.1'in sağ bölmedeki kısmı ise araç rotalama için başka bir zaman için yapılmış optimizasyon sonucu olarak değerlendirilebilir. Bu durumda eklenen 5* müşterisine giden yollar da müşterinin istemleri de rotalama öncesi bilindiği bilinmektedir. Bu bilgiler ile yapılan çözüm yeni çözümde optimum rota ise a, b, ... , h, 1, g şeklinde olduğu görülmektedir. Kısacası deterministik çalışmalarda eklenen h ve 1 yollarının süresinin ne olacağı bu yolda harcanacak zaman veya buralarda eğer varsa yapılacak yükleme/boşaltma gibi faaliyetlerinin hepsi bilinir.

Stokastik araç rotalama problemi ise belirsizliğin bulunduğu, kesinlik taşımayan olguların olduğu modellerde geçmişteki bilgilerden olasılıklar üzerine kurulu matematiksel tahminler ile geleceğe yönelik plan yapma işidir.

2.3. ARP Temel Bileşenleri

ARP için bazı bileşenler olmazsa olmazdır. Bu bileşenler ARP'nin tanımı yapıldığında tanımların içerisinde yer alan kavramlardır. Bileşenlerden başında rota ve yol haritaları gelmektedir ve araçların ardışık olarak ziyaret edecekleri dağıtım noktalarının planlarıdır. Bu bileşendeki önemli husus yönlendirme ve zamanlama konularıdır. Araçların izleyeceği yolu belirten rota çözümü sağlanacak olan fonksiyondaki amacı karşılayacak şekilde oluşur.

Müşteriler ve sistemde istek oluşturanlar, dağıtım ağındaki ana düğüm noktalarıdır. Bu istekler müşteriden alınacak mal veya ürün olabilir veya müşteriye sağlanacak

hizmet olabilir. Lojistik dağıtımlarında hem müşteriden mal alma hem de mal teslim etme vardır. Acil durum hizmetlerinde ise müşteriye hizmet götürme vardır.

Depo veya duraklar, sistemdeki araçların güzergâh başlangıç, bitiş noktalarıdır. Otobüs, taksi gibi hizmetlerde ise duraklama noktaları olarak da adlandırılabilir.

Son bileşen olan araçlar ise kapasitesi, taşıyabilecekleri yükün durumu, taşıyabileceği maksimum ağırlık, boş seyahat edip etmeme prensibi açısından önemlidir. Rotalama problemlerinde araçların oluşturduğu yapı problem içinde filo olarak adlandırılır ve homojen veya heterojen bir yapıya sahip olabildiği önceki bölümde belirtilmiştir.

Araç rotalama problemlerinde çözüme ulaşmak için literatürde öncelikle adımlar ve olarak izlenilmesi gereken yollar belirtilmiştir. Bunları adım adım belirtmek gerekirse ilk olarak talepte bulunan müşteriler ile araçların kümelerini oluşturmak gelir. Bunu ilk rotayı oluşturmak takip eder. Devamında oluşturulan bu ilk rota ile devam eden bölümlerde değinilecek olan çözüm yöntemlerinden biri uygulanarak optimizasyon yapılır. Optimizasyonun yapılmasından sonra da araç rotalama probleminin ölçümünün yapılabilmesi sonuçların değerlendirilmesi ve literatürdeki çözümlerle mukayesesi yapılır (Sreelekshmi ve Nair, 2017).

Sayılan temel bileşenler ve çözüme nasıl ulaşılacağından sonra da yapılması gereken husus ise araç rotalama için nasıl bir çözüm yapılacağıdır. Çözüm yöntemi çeşitliliği açısından ARP oldukça zengin bir konudur. ARP'nin olmazsa olmazı temel bileşenlerini bir araya getirdikten sonraki aşama yani son aşama ise uygun çözüm yöntemini bulmaktır. Tam sonuç veren yöntemler veya sezgisel yöntemler farklı avantaj ve dezavantajlara sahiptirler.

2.4. Araç Rotalama Problemi Çözüm Yöntemleri

Araç rotalama ortaya çıkmasından itibaren birçok yöntemin kullanılarak problem çözümüne kavuşturulmaya çalışan bir problem türüdür. Ortaya çıkışının 1950'li yıllar olduğu belirtilmiştir. Bu tarihten itibaren ilk başlarda az sayıda müşteriden oluşan sistemler çözülmüştür. Devamında müşteri sayısını artırarak sezgisellerin kullanılması başlamıştır. İlerleyen zamanlarda matematiksel modellerden oluşan tam sonuç veren yöntemler çalışılmaya devam edilmiş ve bunun yanında sezgiseller de kullanılmaya devam edilmiştir. Son yıllarda ise meta-sezgisel yöntemler kendine yer edinmiştir.

ARP için literatüre kazandırılmış temelde iki farklı sınıflandırma mevcuttur. Bunlardan biri tam sonuç veren kesin yöntemler ile sezgisel yöntemlerdir.

2.4.1. Tam sonuç veren yöntemler

ARP çözümlerinde bahsedilen ilk çözüm yöntem grubu olan tam sonuç veren yöntemler işlem olarak fazla zaman almayan uygun problemler için optimal sonucu verirler. Tam sonuç veren algoritmaları Laporte'nin (1992) üç başlık halinde ele aldığı görülmektedir ve bunlar dinamik programlama, tam sayılı lineer programlama ve ağaç arama metotlarıdır. Literatüre bakıldığında bu yöntemlerin bir miktar daha derinleştiği ve detaylandırıldığı Ropke (2005)'dan uyarlanarak hazırlanmıştır. Tam sonuç veren yöntemler Çizelge 2.5'te görülmektedir. Bu yöntemlerde tam sonuca ulaşmak bir avantaj olsa da büyük çaplı problemlerde sonuca ulaşma hızının yavaş olması bir dezavantajdır.

Çizelge 2. 5: Tam çözüm veren yöntemler ve yapılmış çalışma örnekleri.

Çözüm Yöntemi	Çalışmalar
Dinamik Programlama	Secomandi, 2000
Dal ve Sınır Algoritması	Fischetti ve diğ, 1994 Lygaard ve diğ, 2004
Dal ve Kesme Algoritması	Fukasawa ve diğ, 2006
Sütun Üretme Algoritması	Barnhart ve diğ, 1998
Dal ve Değer Algoritması	Dell'Amico ve diğ, 2006 Christiansen ve Lygaard, 2007

Çizelge 2.5'te bahsedilen yöntemleri kısaca açıklamak gerekirse şu şekilde tanımlamalar yapılabilir. Dal ve sınır algoritması çözüm uzayını parçalara ayırarak buraları ayrı ayrı optimize etmeye çalışılır ve ilerleme aşamasında problem esnetilerek en iyi sonuç aranır. Dal ve kesme algoritmasına ise dal ve sınır algoritması ile kesme

düzlemi yardımıyla oluşan tam sayılı olmayan değerleri, tam sayılı çözüm bulana kadar ki optimum sonucu aramadır (Ropke, 2005). Dal ve değer algoritması daha alt dallarda sütun üretmeye izin veren bir yöntemle optimum sonucu arayan algoritmadır (Savelsbergh, 1995). Dinamik programlama ise tüm istem noktalarından depoya doğru çizilecek en iyi rotayı bulabilme ve optimizasyon yapmayı ifade eden sıralı adımlardan oluşan bir yapıdır. Son olarak sütun üretme algoritması ise tüm değişkenlerin açıkça kullanılmadığı alt kümeler oluşturularak bunların kullanılmasını ifade eder ve bu oluşturulan yeni küme çözülebilir hale gelene kadar sütunlar seçimi yapılır. Bu şekilde de optimum sonuç bulunmaya çalışılır (Ropke, 2005).

2.4.2. Sezgisel yöntemler

Sezgisel yöntemler tam sonucu vermeden çalışan ama tam sonuç veren yöntemlere göre belli sapmalara sahip yöntemlerdir. Ancak sonuca ulaşma pratikliği açısından daha uygun yöntemlerdir. Büyük problemler için yapısal olarak elverişli çözüm yöntemleridir. Esnek bir çözüm yapısına sahip olan sezgisel yöntemler fazla değişken olan büyük problemlerde oldukça hızlıdır ve bu da sezgisellerin en büyük avantajıdır. Tam sonuç veren çözüm yöntemleri ile mukayese edildiğinde büyük problemlerde çalışanlara faydaları bir hayli yüksek olduğu anlaşılmaktadır. ARP için sezgisel yöntemlerinin üç kategori halinde sırasıyla; yapısal sezgiseller, iki aşamalı sezgiseller ve iyileştirme sezgiselleri olarak incelendiği belirtilmiştir. (Ropke, 2005). Ayrıca Ropke'nin de belirttiği üzere sezgiseller amaca uygunluk açısından da normal sezgiseller ve meta-sezgiseller olarak ayrılmaktadırlar.

ARP için sezgisel algoritmaların avantajlarını ise aşağıdaki gibidir (Erol, 2006);

- Çözüm Kalitesi ve Hesaplama Zamanı,
- Kod Basitliği ve Gerçeklenebilirlik,
- Esneklik,
- Dinçlik,
- Basit ve Analiz Edilebilirlik,
- Etkileşimli Hesaplama ve Teknoloji Değişimleri.

Sayılan bu avantajlardan dolayı sezgisel algoritmaların ARP için sıkça kullanıldığı Çizelge 2.6'da görülmektedir. Çizelge 2.6 Scopus veri tabanı referans alınarak hazırlanmıştır ve çalışma adetlerinin 3219 olduğu görülmektedir.

Çizelge 2. 6: Sezgisel yöntemlerin kullanıldığı ARP çalışma adetleri, Scopus veri tabanından uyarlanmıştır.

Yıl	Adet	Yıl	Adet	Yıl	Adet
1974	4	1990	2	2006	70
1975	1	1991	7	2007	98
1976	0	1992	7	2008	122
1977	4	1993	9	2009	153
1978	0	1994	6	2010	186
1979	2	1995	11	2011	144
1980	1	1996	23	2012	194
1981	2	1997	15	2013	191
1982	1	1998	24	2014	211
1983	4	1999	29	2015	206
1984	6	2000	19	2016	240
1985	7	2001	28	2017	206
1986	5	2002	48	2018	259
1987	5	2003	43	2019	317
1988	4	2004	68	2020	163
1989	4	2005	70		

Çizelgeye bakıldığında 2000'li yıllardan itibaren araç rotalama problemleri için sezgisel algoritmaların oldukça sık kullanıldığı görülmektedir. Çözüm için pratiklik ve doğru sonuca yakınsamaların elde edilmesini arzulayan çalışmalar için oldukça önemli olan sezgisel algoritmaların bu kadar sık kullanılmasının başlıca sebebi ise günümüzde hız, pratiklik, tutarlılık ve analiz edebilirlik kavramlarının sıkça kullanılıyor oluşudur. Sezgisel algoritmaların sağladığı faydalara bakınca da bu özellikleri taşıyor oldukları görülmektedir.



3. AFET LOJİSTİĞİ (İNSANİ YARDIM LOJİSTİĞİ) KAVRAMI

3.1. Afet Ve Afet Sonrası Yardım Hizmetleri Kavramları

Afet kavramı günümüzün hassas bir konusu olup sonuçları ve etkisi düşünüldüğünde bu konuya değinmek oldukça önemlidir. Afetler çok çeşitli şekillerde insan yaşamını etkileyerek toplumsal yaralara sebebiyet vermektedir. Bu toplumsal yaraların en aza indirilmesi adına afetlere her zaman hazırlıklı olunması gerektiği su götürmez bir gerçektir. Afetler büyük yıkım getiren, deprem, sel, yangın, heyelan ve daha birçok doğa olayı ile insan eliyle oluşmuş doğaya ait olmayan olayları içinde barındıran bir kavramdır. Bu büyük yıkımın sonuçlarını en aza indirmek için afetle mücadele çalışmaları sürekli bir şekilde yapılmaktadır. İşte bu hususta, afet sonrası insan hayatını iyileştirme, insanları eski refahına kavuşturma ve bu büyük toplumsal izi silme amaçlı yardım faaliyetleri oldukça hassas bir noktadır. Yardım faaliyetlerinin mümkün olan optimum düzeyde sağlanması bu sonuçları en aza indirmeyi sağlayacak unsurdur. Bu sebeple, afetle beraber gelişen afet lojistiği de bu durumu ortaya koymaktadır. Afet lojistiğindeki en kritik kavram, afet sonrası yardıma muhtaç kalmış her bir bireyi en kısa zamanda yardımla buluşturmaktır. Bunu afet sonrası karmaşık ve dinamik çevre koşulları altında ulaştırma ve lojistik kavramları ile sağlamak mümkündür. Kısa zamanda ulaşmayan yardımlar yıkımın büyüklüğünü azaltmak yerine kat ve kat artırabilmektedir.

Afet lojistiği kavramı afet kavramından oluşan bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeple önce afet kavramının tam olarak ne ifade ettiğini yapılan çalışmalar ile tanımak önemli olacaktır. TDK tarafından afet; “çeşitli doğa olaylarının sebep olduğu yıkım.” olarak karşımıza çıkmaktadır. Literatürden bir çalışmada ise afet, bir sistemin önceliklerini ve amaçlarını tehdit eden ve fiziksel olarak bu sistemi etkileyen bir yıkımdır şeklinde tanımlanmıştır (Van Wassenhove, 2006). Literatürde bir başka çalışmada ise Birleşmiş Milletler Afet Azaltma Stratejileri (UN/ISDR) tarafından yapılan tanımlamaya yer verilerek, afetler şu şekilde tanımlanmıştır; bir kaza, doğa olayı veya insan eliyle yapılmış veya ani ya da uzun vadeli karmaşık bir

süreç sonucu oluşmuş insan hayatı, insan sağlığı, insanların mal ve mülklerine ve insanların yaşadıkları çevreye geniş çaplı önemli etkilerde bulunan ve toplumun fonksiyonlarının aksatan ciddi bir durumdur (Day ve diğ, 2012). Bu tanımlardan hareketle afet sonrası bir kaos durumu ve istenmeyen sonuçlar kaçınılmaz olduğu görülmektedir. Öte yandan tanımlamalardan ortak bir çıkarım ise yıkım kavramıdır. Afet sonrası kaotik durum ve yıkım afetler için ortak noktalardır. Bu kavramlar ekseninde afetlere eğilmek son derece kritik bir rol üstlenmek olacaktır. Afet kavramını Uluslararası Afet Veritabanı (UAV) ise farklı şekilde ele alarak incelemiştir. Çizelge 3.1 tarafından afet kavramının nasıl gruplandığını göstermektedir.

Çizelge 3. 1: Afetlerin gruplandırılması, Uluslararası Afet Veri Tabanından uyarlanmıştır.

ANA GRUP	ALT GRUP	Ana Sebep - 1	Ana Sebep - 2	Ana Sebep - 3
DOĞAL	Jeofiziksel	Deprem	Kütleli Hareketler	Volkanik Hareketler
	Meteorolojik	Aşırı Sıcak	Sis	Fırtına
	Hidrolojik	Sel	Heyelan	Dalga Hareketleri
	İklimsel	Kuraklık	Donmuş Göllerin Taşması	Yangınlar
	Biyolojik	Salgın	Böcek İstilasası	Hayvan Kazaları
	Dünya Dışı	Meteor Düşmesi	Patlamalar	
TEKNOLOJİK	Endüstriyel Kazalar	Kimyasal Sızıntılar	Çökmeler	Patlamalar
	Trafikle Alakalı Kazalar	Kara	Hava	Tren
	Muhtelif Kazalar	Çökmeler	Patlamalar	Yangın

Görüldüğü gibi afet kavramı doğal afet yanı sıra teknoloji kaynaklı olarak da ele alınmaktadır. Öte yandan Van Wassenhove çalışmasında afet kavramı iki temel

kategori altında incelemiştir. Bu kategoriler afetin kaynağının doğal olup olmayışı ve meydana gelişinin aniden olup olmayışıdır (2006).

Çizelge 3. 2: Afetlerin sınıflandırılması, Van Wassenhove (2006)'dan uyarlanmıştır.

	Doğal Yolla Oluşanlar	İnsan Eliyle Oluşanlar
Aniden Oluşanlar	Deprem	Terörizm
	Kasırga	Kimyasal Sızıntılar
	Hortum	Darbe
Yavaş Bir Şekilde Oluşanlar	Kıtlık	Politik Krizler
	Kuraklık	Göçmen Krizleri
	Yoksulluk	

Afet tanımı ve sınıflandırmalarından yola çıkıldığında, afet sonrası afetten etkilenen merkezlere yardım götürme işlemi, afetlerin olumsuz sonuçlarını en aza indirmek için önemli bir hal almaktadır. Afet kavramı ve yardım ulaştırma işlemi birlikte ele alındığında literatürde çeşitli başlıklar altında incelemelerin yapıldığı görülmektedir.

Bu yardım faaliyetleri 4 başlık altında toplanabilmektedir. Bu dört başlık sırasıyla;

- Acil durum yardım hizmetleri,
- Rehabilitasyonu sağlayacak yardım hizmetleri,
- Mevcut durumu geliştirici yardım hizmetleri,
- Geçinmeyi sağlayacak yardım hizmetleridir (Ludema ve Ross, 2000).

Ludema ve Ross (2000) tarafından bahsedilen bu kavramlara bakıldığında, acil durum yardım hizmetleri kısa süre içinde ihtiyaçların karşılanması gereken yardım faaliyetini, rehabilite edici yardım hizmetleri afet sonrası tekrar eski hayat koşullarının sağlanması için gereken yardım süreçlerini, mevcut durumu geliştirici yardım hizmetleri toplumun daha iyi olmasını sağlayacak yardım hizmetlerini ve geçinmeyi sağlayacak yardım hizmetleri ise temel ihtiyaçları karşılandığı yardım faaliyetine denk gelmektedir.

Ludema ve Ross (2000) tarafından kategorilere ayrılan yardım hizmetlerini götürme faaliyetleri literatürde başka bir çalışmada iki grup halinde incelenmiştir. Büyük miktarlarda hizmet ve ürünün ulaştırıldığı ve insanların sağlığı ile yaşam mücadelesi verenlerin yaşadıkları riskleri minimize etmek amaçlı bu hizmetin en kısa sürede

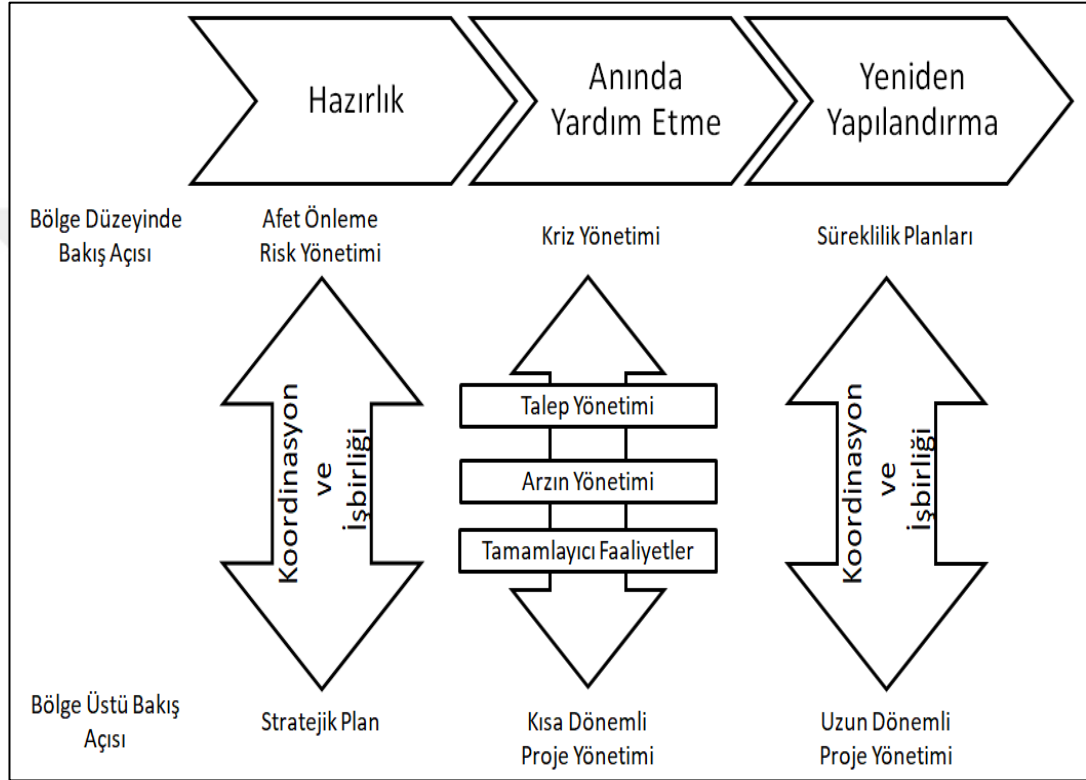
yerine getirilmesi gereken yardım faaliyetleri “yardım aktiviteleri” (relief activities) şeklinde birinci grubu oluştururken; sürekli ve güvenilir bir ulaşım, sağlık, barınma ile yiyecek ihtiyaçlarını sağlamak amaçlı toplumun kendine yeterli ve sürdürülebilir olabilmesi için uzun vadede yerine getirilmesi gereken faaliyetler de “gelişim aktiviteleri” (development activities) şeklinde iki kategoride incelenmiştir (Beamon ve Balcik, 2008).

3.2. Afet Lojistiğinin Yapısı

Afet lojistiği kavramı literatürde ilk başlarda afet kavramından yoksun olarak; ürün veya materyallerin bir başlangıç noktasından, ürünlerden faydalanacak kullanıcı noktalarına etkili ve uygun maliyetli olacak şekilde iletilmesini ve saklanmasını içeren planlama, uygulama ve kontrol etme süreçleridir şeklinde tanımlamıştır (Thomas ve Mizushima, 2005). Taleplerin lokasyon, zaman tip ve büyüklük açısından tahmin edilemez olduğu, çok büyük hacimlerde tedariki sağlanması gereken malzemelerin kısa bir süre içinde tedarik edilmesi gerektiğini konusunda ani bir şekilde oluşan talepleri, fazla miktarda zamanında tedarik edilecek malzemelerin olması ve arz, insan, teknoloji, ulaşım kapasitesi ve para gibi kaynaklar açısından yetersizlik olması gibi dört farklı başlık altında özellikler de ekleyerek Balcik ve Beamon (2008) afet lojistiğini biraz daha geliştirmişlerdir (Kovács ve Spens, 2009). Tanım olarak bakıldığında zaman içerisinde afet lojistiği gelişip lojistik kavramından farklılaşarak daha özel bir hal almaya başlamıştır. İtfaiye ve ambulans gibi istenmeyen durumlara müdahale edip acil durum görevini yerine getirme amaçlı reaktif bir yapıda ortaya çıkmış olan afet lojistiği kavramı bahsedilen başlıklardan yola çıkıldığında evrimleşmiştir.

Geçirdiği bu farklılaşma ve evrimleşmenin literatürde üç farklı fazda incelendiği görülmektedir. Bu üç faz sırasıyla afet durumları için hazırlık aşaması, anında yardımı iletme aşaması ve afet sonrası yeniden yapılandırma aşamasıdır (Kovács ve Spens, 2007). Hazırlık aşaması, her türlü afet senaryosu için hazırlıklı olmayı gerektiren bölge düzeyinde ve bölge üstü düzeyde bakış açısı ile çeşitli kuruluşlarla koordineli şekilde iş birliği içinde proaktif bir yapıyı anlatan afet lojistiğinin ilk aşamasıdır. Her türlü senaryoya hazırlıklı olma konusu, uygun lokasyonlarda konumlanmaktan en doğru ve kısa yollardan oluşan araç rotalarını kullanmaya kadar geniş bir yelpazeyi

içine alan stratejik düzeyde bir yapıdır. Anında yardım hizmeti ise kısa süreli bir proje yönetimi çatısı altında gelişen talep, arz yönetimini kapsamaktadır ve burada bir risk yönetimi kurallarının çalışması sağlanmalıdır. Son faz olan yeniden yapılandırma ise insanların ve toplumun yeniden refah ve sürdürülebilir bir yaşama kavuşmasını sağlamak için bölge düzeyinde süreklilik planları ile bölge üstü bakış açısında ise uzun vadeli proje yönetimini kapsayan bir fazdır. Bu fazların şematik hali ise Şekil 3.1’de görselleştirilmiştir.



Şekil 3. 1: Afet lojistiği fazları, Kovács ve Spens (2007)’den uyarlanmıştır.

Gittikçe gelişen, proaktif yapıya dönüşen afet lojistiği kavramı Şekil 3.1’i de kapsayacak şekilde çeşitli temel kriterler ile değerlendirildiği görülmüştür. Bu temel kriterler ile insani yardım lojistiği kavramı güden kuruluşların kullandığı tedarik zinciri yönetimi ve lojistik kavramlarından ayrılarak, kendine özgü bir yapıya bürünmüştür. Kovács ve Spens (2007) bu kriterleri on farklı konuda bir araya getirmiştir. Çizelge 3.3 bu kriterlerin insani yardım lojistiği için karşılıkları ile beraber ele alarak durumu görselleştirmektedir.

Afet lojistiğinde afet sonrası müdahale kavramını anlatan anında yardım etme kısmı literatürde belli sürelerle açıklanmıştır. Deprem sonrası öncelikli aksiyonların ilk 72

saat içinde alınması gerekmektedir ve bunun ilk 12 saati oldukça hayati öneme sahiptir. Bu sürelerdeki gecikme daha çok insanın ölümüne sebebiyet verebilmektedir. Bu zaman dilimleri içerisinde afetzedeler üzerindeki negatif dışsallığı azaltmak için yiyecek, içecek ve sağlık malzemeleri gibi ürünleri iletmek kritik bir öneme sahiptir ve öncelikli amaçtır (Tavana ve diğ., 2018). Bu çalışmadan anlaşılıyor ki afet lojistiğinde olması gereken olmazsa olmaz belli süreler mevcuttur ve sahip olduğu dışsallık açısından da toplumun zarar görmüş kesimi için önemli bir kısıttır.

Bu sebeple afet sonrası yardım çalışmaları düşünüldüğünde en kısa sürede yardımı ulaştırma konusunda ilk 12 saat içinde afetten etkilenenlere yardım araçları ile ulaşmak son derece önemlidir. Bu bölgeler ulaşmak için mümkün olan aksiyon seçenekleri ikiye ayrılır denilebilir. Bunlardan birisi afetzedelere gidecek yardım ürünlerinin bulunduğu depoların lokasyonun optimum bir noktada seçilmesi, diğeri ise en kısa yolları kullanarak bu bölgelere ulaşacak rotalarda oluşan bir ulaşım ağı oluşturulması şeklindedir. Tavana ve diğ. (2018) çalışmasında en uygun lokasyon seçimi üzerinden çalışmalarını şekillendirmişlerdir. Optimum rotaların oluşturulmasıyla afet sonrası yardım hizmetlerinin gerçekleştirilmesi ise Lin ve diğ. (2011)'de kritik ürünlerin dağıtılması şeklinde çalışıldığı görülmektedir.

Çizelge 3. 3: Afet lojistiği temel kriterleri, Kovács ve Spens (2007)'den uyarlanmıştır.

Kriterler	Açıklamalar
Temel Amaç	Zarar görmüş kişilerin zararını azaltmak
Aktörlerin Yapısı	Paydaşlar birbirlerine açıkça net bağlarla bağlı değil, ancak iş birliği içinde
3-Adım Yaklaşımı	Hazırlık – Anında Yanıt – Yeniden Yapılanma
Temel Özellikler	Değişken Tedarik Zinciri Aktörleri, Büyük Çaplı Aktiviteler, Düzensiz
Tedarik Felsefesi	Hizmetin Anında Yanıt Aşamasında İtilmesi, Yeniden Yapılanma Fazında
Ulaşım ve Altyapı	Stabil Olmayan Altyapı
Zaman Etkisi	Geç Kalmalar Büyük Kayıplara Neden Olur
Sınırlı Bilgi	Afetlerin Doğası Gereği Sınırlı Olan Bilgiyi Doğru Tahminleme
Tedarikçi Yapısı	Sınırlı ve Çoğu Zaman İsteksiz Kişiler
Kontrol Durumu	Acil Durumlarda Kontrol Eksikliği

3.3. Afet Lojistiği Ve Lojistik Kavramı İlişkisi

Reaktif bir yapıda olan insani yardım lojistiği kavramı detaylı olarak ele alındığında, yıllar içinde tanımlamalarda gözlenen değişim ile başlayan farklılaşma kar amacı güden kuruluşların kullandığı lojistik kavramından farklı bir noktaya evrimleştiği anlaşılmaktadır. Önceki bölümlerde afet lojistiğinin ne olduğu kavramsal olarak anlatılmıştır. Fonksiyonel olarak nasıl bir yapıda olduğu ise lojistik kavramı ile karşılaştırılarak anlatılacaktır. da Costa ve diğ. (2012) yaptıkları çalışmada iki kavramı incelerken hazırlık, planlama, satın alma, ulaşım, depolama, izleme ve gümrük işlemleri gibi aktiviteler açısından benzerlik olduğunu; ancak temel bir fark olduğunu ve bunun da odak noktası olduğunu belirtmişlerdir. Bu odak noktası, kar amacı güden kuruluşlarda kullanılan lojistik kavramında son müşteriye ürünün ulaşması iken afet lojistiğinde ise zarar görenlerin zararlarını telafi etmektir şeklinde belirtmişlerdir.

Kar amacı güden kuruluşlar için kullanılan lojistik kavramından bazı temel özellikler konusunda afet lojistiği kavramının ayrıldığını Beamon ve Balçık çalışmasında ele almıştır ve bu kapsamda bu farkı temelde 4 konu üzerinden olduğunu belirtmişlerdir. Stratejik hedefler, müşteri ve talep karakteristiği ile çevre faktörü şeklinde ele almıştır. Bunların yanı sıra insani yardım lojistiğini daha detaylı olarak bu konuların çatısı altında geniş bir yelpazede inceleyerek farklılaştığı özellikleri belirtmişlerdir. Beamon ve Balçık (2008) tarafından afet lojistiğini farklılaştıran özelliklere bakıldığında ise afet lojistiğinde aşağıdaki maddeler oluşmuştur:

- Taleplerin, ne zaman olacağı, yeri, tipi ve büyüklüğü konusunda bir tahmin edebilmenin söz konusu olmadığı,
- Yüksek miktarlarda ve aniden oluşan taleplerin kısa süre içerisinde teslim edilmesinin gerekmesi,
- Yeterli miktarı zamanında ilgili noktalara ulaşmanın gerekliliği,
- Talep edilen ürünlerin arzı, insan kaynağı, teknoloji, ulaşım kapasitesi ve para gibi konularda kaynak eksiklerinin olmasıdır.

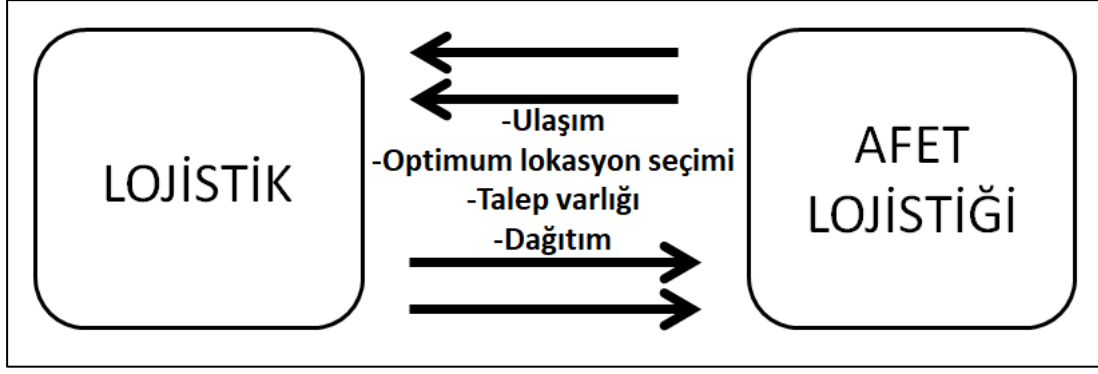
Safeer ve diğ. (2014) ise afet lojistiğini temelde maksimum seviyede yardım yanıtı ve minimum kayıp amacını ele alışıyla değerlendirip farklılığı belirtmiştir. Farklılığı gösteren ve kilit noktalarını belirten başka bir çalışmada, kar amacı güden kuruluşlar için kullanılan lojistik kavramının temel amacının üretim, dağıtım ve atıkların

kurtarılması gibi işlemlerde optimizasyonun sağlanması olduğu belirtilmiştir. Bunun yanı sıra temel amacının ulaşım maliyetlerinin minimize edilmesi, üreticiden son tüketiciye ürünlerin ulaşması olayının açık bir şekilde bilinir olması, talep miktarlarının bilinir olması, karar verme mekanizmalarının kurulu olması, belli rutinlerde yüksek miktarlarda ürün tedariği, sosyal ağ yapısının sağlam olması ve bu işlemlerin destek sistemleri ile desteklenir olması gibi de özellikler gösterir. Diğer tarafta afet lojistiği ise herhangi bir zamanda meydana gelen acil durumlar için çekilen sıkıntıyı hafifletme, hazırlıklı olma, müdahil olabilme ve iyileştirme faaliyetlerini kapsar. Hafifletme ve hazırlıklı olma afet durumları öncesi için, müdahil olabilme ulaşım hizmetleri konusunda afet sonrası için ve iyileştirme ise afet sonrası durumlarda eski refah düzeyine kavuşturma için uzun veya kısa süreli olmak üzere gibi kavramları barındırırlar. (Holguín-Veras ve diğ, 2012). Bu kapsamda Holguín-Veras ve diğ. (2012) çalışmasında; amaç, ürünlerin akış kaynağı, talep bilgisi, karar verme mekanizması, periyot, taleplerin hacmi, sosyal doku ve ağ yapısı ve ulaşım konusunda destek sistemleri olmak üzere 8 farklı konuda aradaki ilişkiyi ve farklılaşmayı ortaya koymaya çalışmışlardır. Çizelge 3.4 bahsedilen bu 8 karakteristiği, aradaki farkı ve ilişkiyi ortaya koymak için uygun bir yapıda olup insani yardım lojistiğinin kavramsal durumu ile temel özelliklerinin nasıl bir fonksiyonel yapıda olduğu hakkında daha da iyi bilgi verici olacaktır.

Afet lojistiğinin farklılaşmasına literatürde sıkça rastlamak mümkündür. Belli benzerlikler taşımalarına rağmen aralarındaki bu denli farklılaşma olması önceki bölümlerde belirtildiği üzere afet kavramı üzerinden olmaktadır. Afet kavramının yapısı itibariyle büyük yıkımlara sebebiyet verme özelliği ve bu yıkım sonrası etkilenen her bölgeye acil müdahale ve bölgedekileri iyileştirme süreçlerine sahip olması afet lojistiğini bu derece farklılaşmaya itmiştir denilebilir. Lojistik kavramındaki gibi sadece ürünün iletilmesi ile sonuçlanan bir yapıda değildir. Farklılıklardan bahsederken bu farklılaşmaya iten bir yapının olması söz konusudur. Bu yapı ise ulaşım konusudur. Afet lojistiğinin farklarını belirten çalışmalara bakıldığında bu çalışmaklar aralarındaki ilişkiyi hep aktivitelerden biri olan ulaşım faaliyetleri üzerinden kurmuşlardır. Şekil 3.2. aralarındaki benzerliği gösteren literatürdeki durum sonrası ortaya konmuş bir görseldir.

Çizelge 3. 4: Lojistik kavramı ile afet lojistiği mukayesesi, Holguín-Veras ve diğ. (2012)'den uyarlanmıştır.

Karakteristik	Kar Amacı Güden Kuruşlar İçin Lojistik Kavramı	Afet Lojistiği Kavramı
Amaç	Maliyetlerin minimize edilmesidir	Sosyal maliyetin minimize edilmesidir
Ürünlerin akış kaynağı	Bilinen tedarik zinciri aktörleri etkindir	Afetin durumuna göre devlet, yardım kuruluşlarından vb. kaynaklardan afet bölgelerine doğrudur
Talep bilgisi	Belli bir kesinlik vardır	Kesinlik yoktur ve dinamik bir yapıdadır
Karar verme mekanizması	Yapısal bir mekanizma mevcuttur	Belli bir yapıda karar verme mekanizması yoktur
Periyot	Tekrarlı ve sabit bir şekildedir	Hayat boyu bir kez yapılır ve anlıktır
Taleplerin hacmi	Ürün bazlıdır ancak çoğunlukla yüksek hacimlerde	Geniş hacimlidir
Sosyal doku ve sosyal ağ durumu	Normal ve standart bir yapıdadır	Belli kesin bir yapıda değildir
Destek sistemleri (ulaşım)	Sabit ve fonksiyonel	Gömülü bir sistem vardır ve dinamiktir



Şekil 3. 2: Lojistik ve afet lojistiği aralarında kurulan ilişki.

Afet lojistiği konusunu lojistik kavramından farklılaştıran özelliklerinin yanı sıra aralarındaki ilişkiyi sağlayan öğelere bakıldığında; dağıtım, optimum lokasyon seçimi, taleplerin varlığı ve ulaşım gibi öğeler karşımıza çıkmaktadır. Dağıtım konusu toplumun zarar görmüş kesimine yardım hizmetinin yeterli şekilde ve iyileştirmeye yönelik olması şeklinde afet lojistiğinde kendine yer edinmiştir. Talep konusunda ise afet lojistiğinde stokastik bir yapıda talepler mevcutken lojistik yönünde standart ve bilinir olduğu söz konusudur. Optimum lokasyon seçimi afet lojistiğinde yardım malzemelerin korunması veya afet sonrası toplanma alanları seçimleri iken lojistik yönünde depo seçimleri şeklinde olmaktadır. Son olarak ulaşım konusu ise ikisinde de merkezlerden kullanıcılara ulaşma olarak benzerlik göstermektedir. Bu kavramlar üzerinden kurulan benzerlik devamında içerik kaynaklı farklılaşmaların önünü açmıştır. Temelde aynı kavramları kullanan bu iki konu içlerinde kendilerine özgü yapıdadırlar. Bu çalışmada daha önce belirtildiği üzere ulaşım üzerinden afet lojistiği ele alınacaktır ve bu yönde açıklamalar yapılacaktır.

4. AFET LOJİSTİĞİ VE ARAÇ ROTALAMA

4.1. Afet Lojistiği Ve Araç Rotalama İlişkisinin Kurulması

Özellikle büyük şehirlerde trafik sıkışıklığının kaotik bir yapıda olduğu, araç yoğunluğunun da fazlalığı gibi sebeplerden araç rotalamanın önemi daha çok ortaya çıkmaktadır. Yaşadığımız ülkeden yola çıkılacak olursa İstanbul için araç sayısının bir hayli fazla olduğu ve bu araçların çoğunun özel kullanıma mahsus araçlar olduğu dikkat çekici gerçektir. Ancak belediye hizmet araçları, servis araçları, acil durum hizmet araçları, lojistik ve taşımacılık araçlarının da bu trafiğin ve ulaşım sorunun birer parçası olduğu ayrı bir durumdur. Bununla paralel olarak afet lojistiği kavramını ele aldığımızda, bu ulaşım sistemi içinde önemli bir husustur. Bu sebepten ötürü ulaşım sistemine yapılabilecek katkı doğru yapılmış bir araç rotalama mümkün olabilecektir. Doğru ve başarılı yapılmış araç rotalama afet lojistiğinin başarısını da artıracaktır. Afet lojistiği kavramının detaylı olarak anlatıldığı bölümlerde, afet sonrası durumlarda yardım ulaştırma hizmeti için ulaşım sistemi ile beraber gelen araç rotalama olgusu daha önemli hale gelmektedir. Afet lojistiğinin başarısını artırmak adına araç rotalama problemini bu konulara uygulamak oldukça hayati bir konu olacaktır. Araç rotalama probleminin yapısı gereği dinamik oluşu ile afet lojistiği kavramının özelliklerinden biri olan dinamiklik, tahmin edilemezlik gibi kavramlar üzerinde özdeşlik bulunduğundan iki konunun ilişkisi son derece açıktır.

Şehirleşmenin gittikçe artmasıyla kapasitelerinin belli sınırı olan yollarda zamanında hizmet götürme ve ulaştırma temel sorunlardan biri olmuştur. Çalışma konusu kapsamında zamanında hizmet götürme oldukça önemlidir. Bu sebeple kalabalık şehirlerin yaygınlaştığı günümüzde hizmetin aksamaması için yapılmış birçok plan vardır. Şehirleşmenin gittikçe artmasını şehir ve kırsalda yaşayan nüfuslara bakarak anlamak mümkündür. Ayrıca genel nüfus verileri de bu konuda bilgi verici olacaktır. Bu nüfus verileri Çizelge 4.1 ve 4.2’de TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) verileri esas alınarak hazırlanmıştır.

Çizelge 4. 1: 2007-2017 arası Türkiye ve İstanbul nüfusu, TÜİK verileri kullanılarak hazırlanmıştır.

YILLARA GÖRE TÜRKİYE VE İSTANBUL NUFUSU		
YIL	TÜRKİYE	İSTANBUL
2019	83.154.997	15 519 267
2018	82.003.882	15 067 724
2017	80.810.525	15.029.231
2016	79.814.871	14.804.116
2015	78.741.053	14.657.434
2014	77.695.904	14.377.018
2013	76.667.864	14.160.467
2012	73.997.128	13.854.740
2011	73.058.638	13.624.240
2010	72.137.546	13.255.685
2009	71.241.080	12.915.158
2008	70.363.511	12.697.164
2007	69.496.513	12.573.836

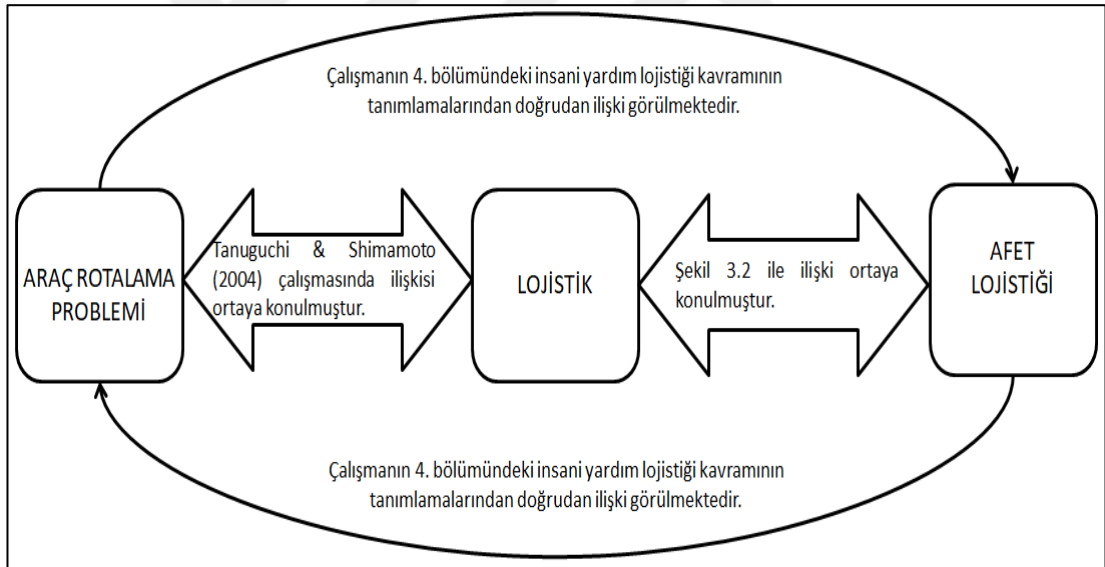
Çizelge 4. 2: Türkiye’de yaşayan nüfusun şehirleşme kapsamında yaşadığı yerler, TÜİK verileri kullanılarak hazırlanmıştır.

Yıl	Toplam Nüfus	İl ve İlçe Merkezi Nüfusu	Belde ve Köy Nüfusu
2007	70.586.256	49.747.859	20.838.397
2008	71.517.100	53.611.723	17.905.377
2009	72.561.312	54.807.219	17.754.093
2010	73.722.988	56.222.356	17.500.632
2011	74.724.269	57.385.706	17.338.563
2012	75.627.384	58.448.431	17.178.953
2013	76.667.864	70.034.413	6.633.451
2014	77.695.904	71.286.182	6.409.722
2015	78.741.053	72.523.134	6.217.919
2016	79.814.871	73.671.748	6.143.123
2017	80.810.525	74.761.132	6.049.393
2018	82.003.882	75.666.497	6.337.385
2019	83.154.997	77.151.280	6.003.717

Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi Türkiye nüfusunda bir artış ve bununla beraber il ve ilçe merkezi nüfuslarında da artış görülmektedir. Bu da gösteriyor ki ulaşım için en doğru planların yapılması gerekmektedir. Şehirlerin gittikçe kalabalık hale geldiği şehirleşme oranının arttığı açıkça görülmektedir. Bu sebeple araç rotalama daha da önemli hale gelmektedir. Literatürde araç rotalama ve ulaşım ilişkisi lojistik kavramı üzerinden tanımlanıp daha çok çalışılmıştır. Taniguchi çalışmasında araç rotalama ile optimize olgusunu şehir lojistiği ile kavramlaştırarak, “Trafik ortamını, trafik sıkışıklığını ve piyasa ekonomisi çerçevesinde enerji tüketimini göz önünde

bulundurarak kentsel alanlarda özel şirketler tarafından lojistik ve taşıma faaliyetlerini tamamen optimize etme süreci” olarak tanımlamıştır. (Taniguchi ve Shimamoto, 2004). Bu bağlamda, optimize etme sürecini sıkışıklığı gidermek için ulaşım faaliyetlerine uygulanabilir kılmak gibi bir bütün olarak ele almıştır.

Daha önceki bölümde lojistik kavramı ile afet lojistiği kavramları arasındaki benzerlik ve farklılaşan noktalar açıklığa kavuşturulmuştur. Buradan hareketle ARP ile afet lojistiği kavramlarının ilişkili olduğu bir kez daha gösterilmiş olmaktadır. Şekil 4.1. bu ilişkiye görsellik katan bir yapıdadır. ARP ile lojistik kavramı ilişkisi ile insani yardım lojistiği ve lojistik ilişkisi ortaya konulmuştur. Buradan hareketle ARP ile insani yardım lojistiği arasında dolaylı ilişki olduğu görülmektedir. Öte yandan görseldeki dış oklar ise aralarında ayrıca doğrudan ilişki olduğunu göstermektedir. Bunu önceki bölümde afet lojistiği kavramının tanımından anlamak mümkündür. Tanımlarda anında yardımı ulaştırma, ulaştırma hizmetleri ve talep noktalarının taleplerini karşılama kavramlarından bu doğrudan ilişki kurulmaktadır.



Şekil 4. 1: ARP ile afet lojistiği ilişkisi.

ARP ile afet lojistiği ilişkilendirildiğinde literatürde afet lojistiği için devam eden tanıma göz atmak önem arz etmektedir. Tedarikçilerin ve taşıyıcıların etkinliği, oluşan maliyet kalemleri, zamanında hizmetin dakikliği, yardım ürünlerinin uygunluğu ve bilgi akışının yönetimi konularında ortaya çıkan lojistik bilgi seti, ilerideki muhtemel afetlere karşı daha hazırlıklı olabilmek ve ders çıkarmak için yapılacak analizler açısından oldukça önemlidir (Thomas ve Kopczak, 2005). Afet lojistiğinin ARP ile

sıkı sıkıya bir ilişki içinde olduğunu Thomas ve Kopczak'ın çalışmasından anlamak mümkündür. Bu sıkı sıkıya ilişkiyi derinlemelesine incelemek gerekirse; afet sonrası, afet mağdurlarının veya afetten etkilenenlerin imkanlara ulaşmalarının zor bir olasılık olduğu dikkat çekmektedir. Bundan dolayı afet lojistiği kavramı, mağdurlara veya afetten etkilenenlere ihtiyaçları olanı ulaştırmak amaçlı ortaya çıktığı anlaşılmaktadır.

4.2. Afet Lojistiği Ve Araç Rotalama İlişkisinin Literatürdeki Yeri

Afet lojistiğindeki temel olgu yardım araçlarının mevcut depolarından çıktıktan sonra kullanılması mümkün en uygun rotalardan tüm bireylere kısa zaman içinde ulaşmasıdır. Bu sebeple yapılacak rotalama faaliyetleri ve ağ analizleri kritik bir noktadır. Tüm bu hususlar altında afet lojistiğinin doğru bir şekilde yapılmış araç rotalamaya ihtiyaç duyduğu görülmektedir. Yapılacak optimizasyon ile en kısa rotalar oluşturularak bireylere yardımın aksamadan ulaştırılması dinamik çevre koşulları altında mümkün hale gelebilecektir. Bu iki kavram arasındaki bahsedilen kaçınılmaz ilişkiye literatürde de rastlamak mümkündür. Literatürdeki bu ilişki giriş bölümündeki Çizelge 1.2 ve 1.3 ile çalışma adetleri ile gösterilmiştir.

Üç aşamalı bir şekilde yapılandırılan afet lojistiği kavramı araç rotalama ile ilişkilendirildiğinde, anında ihtiyaç duyulan yere ulaşma aşaması etkili olan aşamadır. Bu aşama için literatürde yapılan çalışmalara göz gezdirildiğinde incelenen çalışmaların ilk sırasında Barbarosoğlu ve diğ. (2002) çalışması ile karşılaşılmıştır. Bu çalışmada afetin söz konusu olduğu durumlarda helikopter ile afet bölgelerine ulaşımın matematiksel çözüm yolları ve optimizasyon algoritmaları ile sağlanması gerektiği söz konusudur. Alsalloum ve Rand (2006) ise önceden belirli ve hedeflenmiş zaman içinde afet bölgelerine ulaşma amaçlı Suudi Arabistan'ın Riyad şehrinde kullanılmak üzere geliştirilmiş bir rotalama çalışmasını literatüre kazandırmışlardır. Haiti depremi üzerinden çok periyotlu zamanlarda taleplerin dağıtılmasını esas alan bir rotalama çalışması da literatürde mevcuttur (Huang ve Rafiei, 2019). Oruç ve Kara (2018) ise sezgisel yöntemler ile yol segmentli ve popülasyon noktaları esaslı afet sonrası rotalama çalışmalarını İstanbul'un Kartal ilçesi üzerinden çalışmışlardır. Kesin olmayan taleplerin olduğu dinamik araç rotalama problemini inceleyen başka bir çalışma benzetilmiş tavlama yöntemi ile çözüme kavuşturulmuştur ve dinamik yapıda

olmasından kaynaklı esnek olabilme avantajının sağlandığı belirtilmiştir (Maghfiroh ve Hanaoka, 2018).

Parametrelerinin kesin olmadığı şekilde afet sonrası ulaşım hizmetinin daha gerçekçi bir yapısını kurabilmek adına ve meta-sezgisel yöntemle toplam maliyet ve süreyi minimize etmeye çalışan çalışmada da rotalama faaliyeti iki aşamalı optimizasyonla görülmektedir (Vahdani ve diğ, 2018). Karınca kolonisi algortiması olan meta-sezgisel yöntemi ile karmaşık yapıda bir ilişki içindeki taleplerin dağıtımı ile rota seçimini afet sonrası durumlar için çözmeye çalışılmıştır (Zhu ve diğ, 2016). Araç rotalama ile afet sonrası yardım hizmeti kavramı yapılan çalışmalardan da görüldüğü gibi sıkıya bir ilişki içindedir ve birçok yöntem ile bu ilişki karmaşık yapıdan kurtararak çözüme kavuşturulmaya çalışılmıştır. Yöntemler kimi zaman tam sonuç veren algoritmalar üzerinden kimi zamansa sezgisel algortimalar ile desteklenmiştir. Farklı ulaşım modları için de afet lojistiğinde araç rotalama çalışmaları yapılmıştır. Araç rotalama probleminin anlatıldığı ikinci bölümdeki sınıflandırma çeşitlerine göre de araç rotalama probleminin çeşitli vakalarla afet lojistiğine uygulandığı görülmektedir. Araç rotalama problemi yapısının afet lojistiği ile her anlamda desteklenir nitelikte olduğu bahsedilen çalışmalar ile bilim dünyasına gösterilmiştir. Afet lojistiğine katkı sağlamak ve afetlerin hasarını en aza indirmek için araç rotalama problemi uygulanması gereken bir konudur. Aynı şekilde araç rotalama problemi için de afet lojistiği oldukça uygun bir uygulama alanıdır. Bu sebeplerle bu iki kavramı bir bütün olarak ele almak gerekir ve bütünlüklerinden çıkan sonuçlarında akademik çalışmalara katkı yapacağı beklenir. Aralarındaki birbirlerini tamamlayıcı ve kompakt ilişki düşünüldüğünde bu çalışma ile yapılacak optimizasyon uygulamasının başarılı sonuçlar vereceği düşünülmektedir.



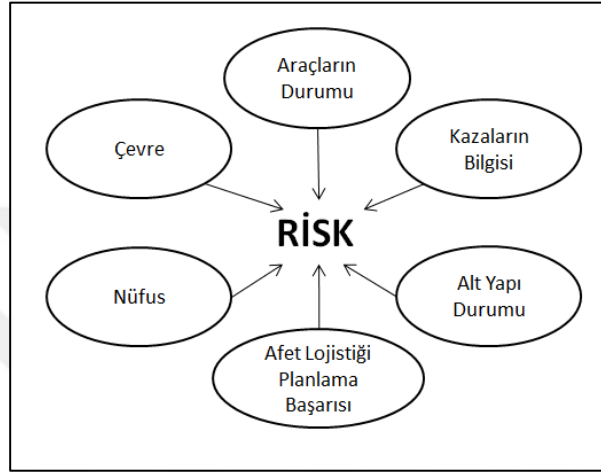
5. ARAÇ ROTALAMA İÇİN RİSK DEĞERLENDİRİLMESİ

Afet lojistiği için yapılacak rotalamala problemlerinde, rotalama yapılacak ağı dizayn ederken önemli hususlardan biri de bu ağ yapısının taşıdığı risk değeridir. Risk değerlendirilmesi yapılırken her bir ulaşım noktası arasında kullanılan yolların ayrı ayrı birer risk değerleri olup, bunların bu ağı nasıl etkileyecekleri göz önünde bulundurulur. Her bir yolun risk değeri ile de tüm rotanın risk değerlendirilmesi yapılır ve bu şekilde de tasarlanan rota planının taşıdığı risk belirlenmiş olur.

Her bir yola taşıdığı risk için atama yapılırken, bu risk değerlerinin nasıl yapılacağı konusunda tehlikeli materyallerin veya malzemelerin taşınmasına ait ulaşım modelleme konusu olan literatürde Hazmat Ulaşım Promlemleri (Hazardous Materials Routing Problems) olarak geçen konu ile ilişki kurularak buradan risk değerlendirilmesi yapılacaktır.

Risk kelimesinin tanımına bakıldığında, bir olay veya durumun muhtemel çıktıları arasında bilinmeyen ve istenmeyen bir sonucun oluşması şeklinde bir tanımlama yapılmıştır ve bu riskle alakalı süreç, aksiyon ve olayların tanımlama ve hesaplama çalışmalarının yapıldığı sistematik süreçlere de risk değerlendirilmesi tanımı yapılmıştır (Covello ve Markhofer, 1993). Hazmat ulaşım problemlerinde risk kavramı kaza bilgisi, nüfus, çevre ve alt yapı kavramlarını içeren bir yapıdadır (Mahmoudabadi ve Seyedhosseini, 2014). Şekil 5.1 sayılan bu dört kriter ile bunlara ilave edilen iki kriterin görselini oluşturmaktadır. İçeriğe bakıldığında alt yapı kavramı üzerinden yola çıkıldığında afet lojistiği konusunda da rotalama faaliyetleri sonucu hedef noktalara ulaşmada alt yapı kriteri önemli bir etken olmaktadır. Bunun yanı sıra, afet lojistiğinde afetten etkilenen merkezlere ulaşma konusunda nüfusun etkisi ise, ulaşılacak yerde temasa geçilecek kişi sayısı konusunda yadsınamaz gerçek olarak karşımıza çıkmaktadır. Kullanılan yolların fiziki yapısı alt yapı kategorisinde incelenirken bunların bulunduğu noktalardaki diğer fiziki yapıların durumu ise çevre kategorisi altında incelenebilir. Çalışma kapsamında risk kavramı incelenirken bu dört kavrama ilave olarak afet lojistiğinin planlama başarısı ve araçların durumu şeklinde iki kriter

daha eklendi. Afet öncesi tüm senaryolara karşı önlem alabilecek kapasitede yapılan planlama faaliyetleri riskli durumun oluşma olasılığını düşüren kriterlerdir. Ayrıca çalışmalara bakıldığında, afet lojistiğinde kullanılacak araçların durumu riskin oluşmasını etkilemektedir. Bu etki gerek araç bakımı gerekse afet durumuna uygun araç tedarikleri gibi birçok konuyu kapsamaktadır. Bu kriterler ışığı altında afet lojistiği için yapılan rotalama faaliyetinde risk değerlendirmesinin Hazmat Ulaştırma Problemleri ile incelemenin oldukça faydalı olacağı görülmektedir.



Şekil 5. 1: Afet lojistiğinde risk analizi yaparken dikkat edilmesi gereken faktörler, Mahmoudabadi ve Seyedhosseini (2014)’ten uyarlanmıştır.

Risk kavramı altında rota ağının planlanması konusunda literatürde çözüm yöntemi olarak üç farklı yaklaşımın olduğu görülmektedir. Bu yaklaşımlar yapılacak rotalama faaliyetinde istenen amaca nasıl bir problem çözümü ile ulaşılabileceğini göstermektedir. Bu üç yaklaşıma bakıldığında, optimum rotayı belirleyen amaç fonksiyonuna risk değerlendirmesini kısıt olarak ekleyerek yapılan “iki aşamalı optimizasyon”; optimum çözümün yapılarak belli bir rota setlerinin oluşturulmasıyla bu setlere risk atamalarının yapıldığı “iki adımlı optimizasyon”; riskin içinde bulunduğu çevre koşulları ve amaç fonksiyonun belli ağırlıklarla modele entegre edilerek yapılan “fayda optimizasyonu” şeklinde üç farklı yaklaşım görülmektedir (Mahmoudabadi ve diğ., 2018). Risk durumunu göz önüne alarak yapılacak rotalama faaliyetlerinde Hazmat Ulaştırma problemlerinde görülen kavramlar altında riskin sadece taşınan tehlikeli maddeye bağlı olmadığı, bunun yanı sıra seçilen rotadaki yolların yol tipleri ve bunun civarındaki nüfus durumu gibi rota ağının karakteristik özelliğine de bağlı olduğu belirtilmiştir (Erkut ve Verter, 1998).

Risk değerlendirme veya risk analizi, bir işletmenin süreçlerini ya da bir operasyonel sistemin sosyal risk, bireysel risk, bir kazadaki potansiyel insan kaybı ve bir sistemin güvenirliliği gibi parametrelerin kullanıldığı niteliksel ve yahut niceliksel bir şekilde yapılan analitik bir yöntemdir. Niteliksel yöntemde daha çok sistemdeki risklerin tanımı, tarifi ve mevcut tehlikelerin ilişkileri açıklanırken, niceliksel yöntemde ise bu tanımlardan sonra sistemdeki neden sonuçlar arasında kurulan ilişkiye dayalı hesaplamalara dayalı risk analizi yöntemidir ve deterministik ya da olasılıklara dayalı bir şekilde olabilir (Ferdous ve diğ, 2009). Çalışmadaki ifadelere bakıldığında niceliksel çalışmalarda sonuçların etkisi ne olur gibi bir sorunun cevabının arandığı görülmektedir. Yine Ferdous ve diğ. (2009) alışmasında niceliksel risk analizinde Hata Ağaç Analizi (HAA), Olay Karar Ağacı (OKA) ve Markov Modellemesi (MM) gibi yöntemlerin kullanıldığından bahsetmiştir.

Bu kapsamda tüm rota boyunca mevcut toplam riskin hesaplanması kapsamında literatürde geçen risk değerlendirme yöntemleri alt bölümlerde anlatılacaktır. Devam eden bölümde risk hesaplamalar belli bir olasılık ve riskli durumdan etkilenen kişi sayıları üzerinden yapıldığı görülecektir. Burada riskli durum aracın kaza yapması sonucu oluşacak risktir. Afet lojistiği konusunda aracın kaza yapma durumundan öte bu yollardaki afet sonrası oluşacak olumsuz durumlardan dolayı hedef noktalara ulaşamama sıkıntıları oluşacaktır ve bu da rotalama faaliyeti için bir risktir. Bu sebeple bu ilişi üzerinden Hazmat Ulaştırma Problemlerinin risk değerlendirme ve analizine ilişkin çalışmalardan adaptasyon sağlanılacaktır.

5.1. Riskin Etki Alanına Göre Risk Değerlendirme Yöntemleri

5.1.1. Geleneksel risk yöntemi

Risk tanımında da söylenen muhtemel sonuçlar içinde istenmeyen sonuçların varlığı kavramını klasik bir biçimde ele alıp değerlendirme yöntemi Geleneksel Risk (Traditional Risk) olarak adlandırılmıştır (Erkut ve Verter, 1998). Geleneksel Risk yöntemini açıklarken öncelikle birim yol başına düşen risk hesaplaması yapılır ve bunun devamında rota boyunca ağdaki tüm yollar için bu hesaplamalar yapılır. Denklem 5.1 ve şekil 5.2 Geleneksel Risk yönteminde birim yoldaki risk hesaplamasını göstermektedir.

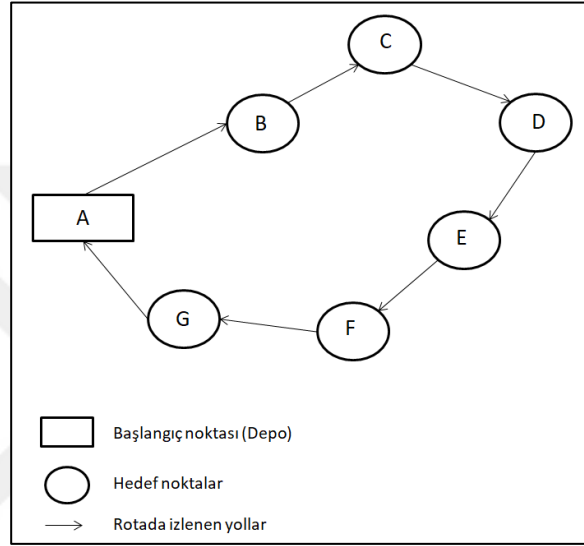
$$R_{AB} = p_{AB} \times C_{AB} \quad (5.1)$$

Denklemdaki R, p ve C kavramlara karşılık gelen değerlere bakıldığında bu kavramları Erkut ve Verter (1998) aşağıdaki gibi açıklamışlardır.

R_{AB} = A noktasından B noktasına giderken oluşacak risk değeri

p_{AB} = A noktasından B noktasına giderken riskin oluşma olasılığı

C_{ab} = A noktasından B noktasına giderken bu riskli olaydan etkilenen insan sayısı



Şekil 5. 2: Temsili araç rota ağı.

Denklem 5.1’i tüm rota için uyarladığımızda “Yol Riski” (Path Risk) diye bir kavrama evrilerek notasyonda ufak değişiklikler olduğu görülecektir. Denklem 5.2 Geleneksel Riski tüm rota boyunca hesaplayarak rotanın risk faktörünü hesaplamış olacaktır.

$$GR(P) = \sum_{i \in P} p_i \times C_i \quad (5.2)$$

Buradaki kavramlar ise;

$GR(P)$ = P rotası boyunca oluşan geleneksel risk

p_i = Her bir yoldaki riskin oluşma olasılığı

C_i = Her bir yol bu riskten etkilenecek kişi sayısı

Şeklinde tanımlanmıştır. Şekil 5.2'ye bakıldığında A noktasından çıkan araç tekrar geri dönene kadar yedi farklı yoldan geçecektir. Bu yedi yol üzerinde riskli durum için yedi farklı olasılık değeri mevcut olmalıdır. Aynı şekilde yedi farklı nüfus değeri de bu yöntemde risk hesaplaması yapabilmek için gereken girdi olmalıdır.

5.1.2. Algılanan risk yöntemi

Algılanan Risk yöntemi (Perceived Risk) için geliştirilen formülüzasyondan önce hangi durumlar için kullanılacağından bahsetmek gerekir. Riskli olayın olma ihtimalinin oldukça küçük olduğu ancak bunun aksine sonuçlarının oldukça yüksek kitlelere yönelik olumsuzluklar doğuracağı risktir. Bu yöntemde kitleler olarak bahsedilen yolun bulunduğu bölgedeki etkilenen kişi sayısı olarak değerlendirilir ve bunların riskli durumdan olumsuz şekilde etkilenmelerini daha önemli hale getiren yöntemdir. Literatürde Abkowitz ve diğ. (1992) tarafından geliştirilen bu yöntemin formüle edilmiş hali denklem 5.3'te görülmektedir.

$$AR(P) = \sum_{i \in P} p_i \times C_i^k \quad (5.3)$$

Buradaki kavramlar ise;

$AR(P)$ = P rotası boyunca oluşan algılanan risk

p_i = Her bir yoldaki riskin oluşma olasılığı

C_i = Her bir yol bu riskten etkilenecek kişi sayısı

k = Risk tercihi ($k=1$ risk içermeyen durum, $k>1$ riskten kaçınma davranışı olarak nitelendirilir. k değerinin daha da büyümesi riskten kaçınma seviyesini artırır.

Formüldeki k değeri riskin algılanma durumunu oluşturur. Popülasyonun o riskli duruma maruz kalmayı istemediğini belirten bir parametredir. Eğer bu riskli durumdan popülasyonun tamamı etkilenmekten kaçınıyorsa k değeri o denli büyür.

Her yıl az sayıda meydana gelen uçak kazalarına toplumca gösterilen tepki karayollarında oluşan kazalara nazaran oldukça fazladır ve bu uçak kazalarında ölümle sonuçlanan kazaların sayısı kara yollarında ölümle sonuçlanandan (her bir ulus için yaklaşık yıllık elli bin ölüm sayısı) daha da azdır (Abkowitz ve diğ, 1992). İşte burada dikkat çekilen husus algılanan risk değerindedir. Bu örnekle k parametresini

kullanarak, Abkowitz ve diğ. bu yöntemin nasıl bir yapıda olduğunu açıklamaya çalışmıştır (1992).

5.1.3. Şartlı risk yöntemi

Geleneksel Risk Yöntemine eleştiri olarak gelişen bu yöntemde ana amaç ilk olay olduktan sonra diğerlerinin gerçekleşmesinin şartlı olasılık kurallarına bağlı olarak gerçekleşmesidir. Riskin her bir yoldaki risk olasılıklarının toplamına ters ilişkili bir yapıda olduğunu belirten bu yöntem Sivakumar ve diğ. (1993) tarafından kullanılmıştır. Ana mantık beklenen risk değerinin ilk riskli olayın oluşmasına bağlı olduğu bir yöntemdir. Toplam riskin her bir yoldaki ayrı bir toplamından ziyade şartlı olasılıklar ile ilerleyeceğini söyleyen bir yöntemdir (Erkut ve Verter, 1998). Denklem 5.4 bu yöntemi açıklayacak bir yapıdadır.

$$\text{\text{ŞR}}(P) = \frac{\sum_{i \in P} p_i \times C_i}{\sum_{i \in P} p_i} \quad (5.4)$$

$\text{\text{ŞR}}(P)$ = P rotası boyunca oluşan şartlı risk

p_i = Her bir yoldaki riskin oluşma olasılığı

C_i = Her bir yol bu riskten etkilenecek kişi sayısı

Denkleme dikkat edildiğinde riskin Algılanan Risk Yöntemindeki gibi bir parametresinin olmadığı görülmektedir. Bu yöntem Geleneksel Risk Yöntemini geliştirmek amaçlı olasılık bilimini kullanarak yapılmış bir yöntemdir. Ana amacı her bir gelişen olayın bir önceki olaya bağlı olduğu ve bir anlamda önceki olayın sonucu ile alakalı bir yapıda olduğudur.

Bu yöntemde rota boyunca oluşan riski azaltmanın yöntemi ise, ilk oluşan olayın riskini mümkün mertebe azaltmaktır. Bunu sağlayabilmek için, bu olayın ya en az kişinin bulunduğu bir rotada olmasını sağlamak ya da riskli olayın olma ihtimalinin en düşük olduğu rota seçilecektir. Bu şekilde toplam risk minimize edilmiş olacaktır. Bu yöntemde anahtar konsept analaşılaacağı üzere en az riskin bulunduğu yoldan rotaya başlayarak rota boyunca oluşacak riski minimum çekebilmektir.

5.2. Karar Ağacı Yöntemi İle Risk Değerlendirmesi

Risk olasılığını belirlemek için çalışma kapsamında Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis) yöntemi kullanılacaktır. Goodman (1988) çalışmasında Hata Ağacı Analizi (HAA) kazaların oluşmasını inceleyen ve bunların sebeplerini inceleyip tanımlayan bir risk analiz yöntemi olarak tanımlamıştır (Derse ve Göçmen, 2019). Bu yöntem ana olayın altında dallanmalar ile alt olayların oluşturulması ile yapılır. Yukarıdan aşağıya bir analitik yöntem ile sonuca ulaşmaya yarayan HAA mantıksal cebiri (Boolean Algebra) kullanarak hesaplamaları yapar (Cheliyan ve Bhattacharyya, 2018). Görüleceği üzere HAA ile bir üst olay ve bunun çocukları olarak adlandırılacak olayların mevcut olduğu bir yöntemdir. Bu sayede kazaların oluşmasını önleyen ve bu kazaları kontrol altında tutmayı sağlayan oldukça kolay bir yöntemdir. HAA'yı daha iyi anlayabilmek için kullanılan notasyonlar ve terminolojisi Ferdous ve diğ. (2009)'dan faydalanılarak aşağıda Şekil 5.3 ile verilmiştir.

Şekiller	Şekillerin Anlamı
	En üst olay
	Temel olay
	Gelişmemiş olay
	Herhangi bir şartlı olay
	Dış bir olay
	VE kapısı, birleştiricisi
	VEYA kapısı, birleştiricisi
	Transfer kapısı, birleştiricisi

Şekil 5. 3: HAA'da kullanılan şekiller ve anlamları.

Olay: Sistemde oluşması istenmeyen olaydır.

En üst olay: HAA'da en başta duran olaydır.

Temel olay: Daha fazla geliştirilemeyen olaydır.

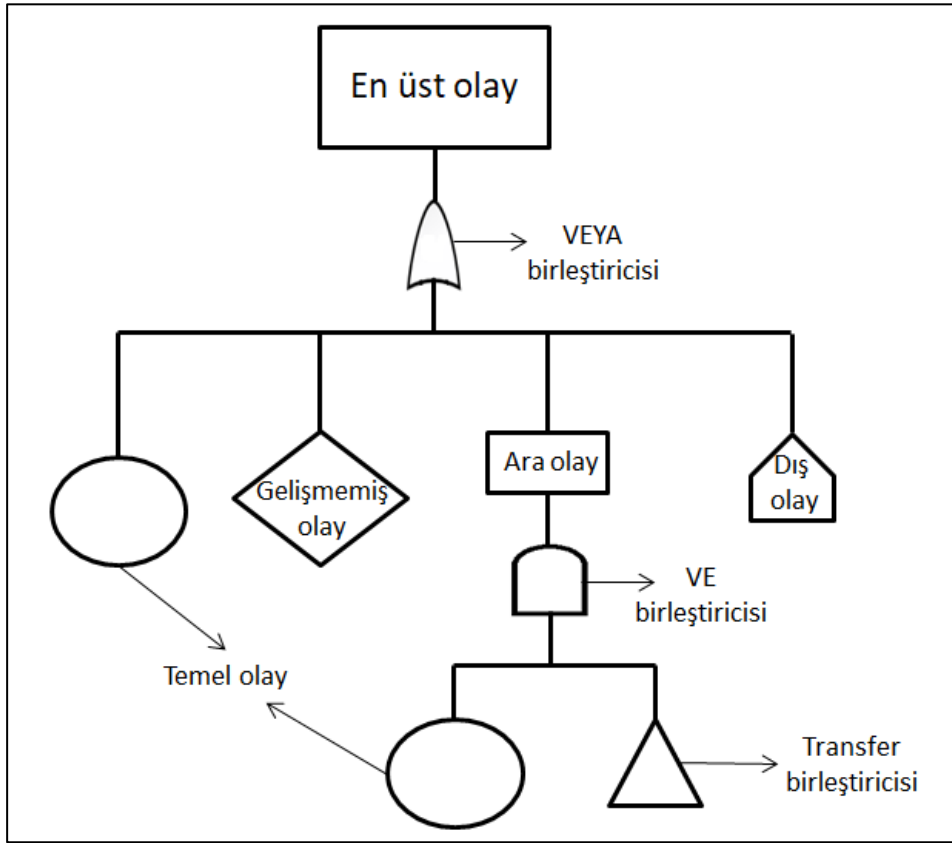
Mantık birleştiriciler: Mantıksal ilişkinin kurulması için kullanılan ifadelerdir. “VE” ve “VEYA” şeklinde ifadelerden oluşur.

Ara olay: Birden fazla temel olay ve ifadelerden oluşan olaydır.

Transfer birleştirici: Belli bir bilginin veya olayın ağaca transferidir.

Mantıksal cebir: İkili değişkenlerin (0,1) lineer bir fonsiyon tanımlar.

HAA'da istenmeyen, sonuçlarından kaçınılmak istenen durum “En üst olay” olarak değerlendirilir. Bu istenmeyen duruma sebebiyet veren her bir olay ise “Temel olay” ve en üst olayla temel olay arasındaki olay ise “Ara olay” olarak tanımlanmıştır. HAA'nın sürekliliğinin sağlanması için olayların birbirine bağlanmasına yardımcı olan işaretler ise “Mantıksal birleştiriciler” olarak kendilerine yer bulur. Birleştireler aynı zamanda temel olay ile ana olay arasındaki ilişkiyi de ortaya koymaktadır. Şekil 5.4 notasyon ve sembollerin nasıl kullanacağını ifade eden yapıdadır. Tüm HAA'lar bu yapı üzerinden kurulur ancak bu şekiller tüm HAA'larda kullanılması anlamına gelmemektedir.

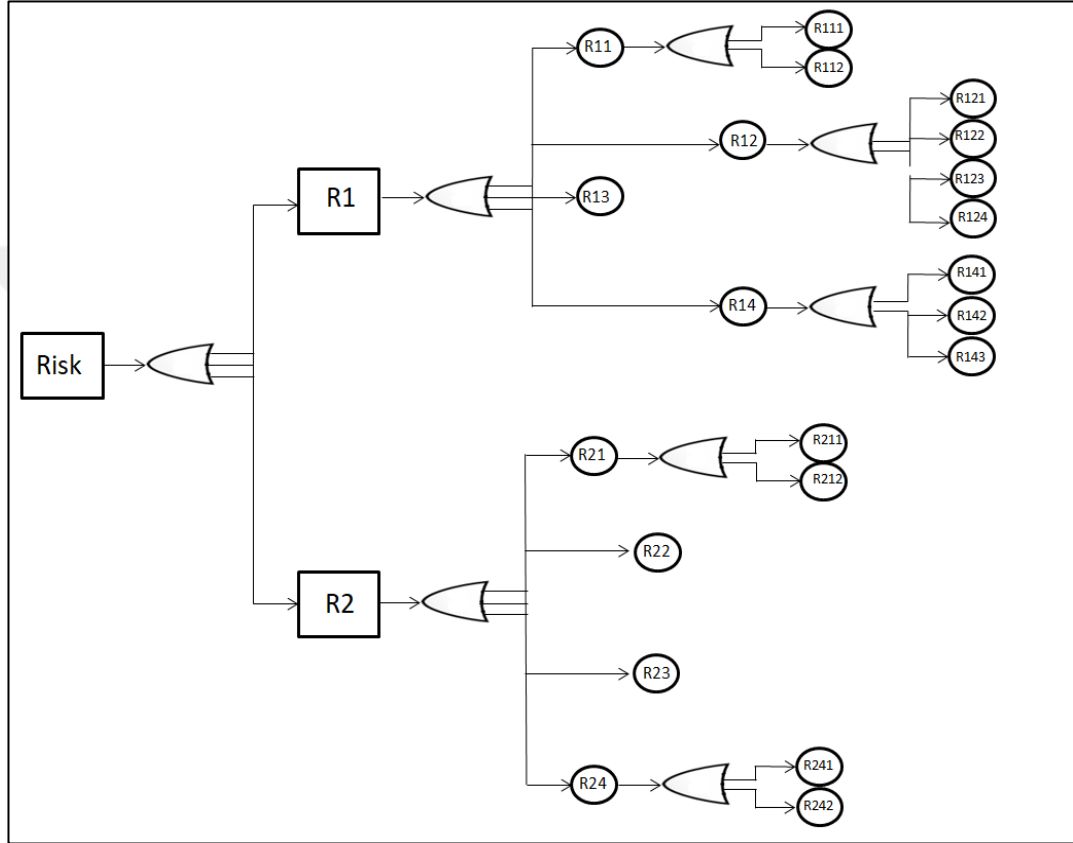


Şekil 5. 4: HAA'nın basit yapısının temsili gösterimi, Ferdous ve diğ. (2009)'dan uyarlanmıştır.

HAA yapılırken bu çalışmanın niteliksel ve niceliksel olması mümkündür ve niteliksel ile niceliksel risk analiz çalışmalarının ne olduğundan daha önce bahsedilmiştir. Çalışma kapsamında niceliksel bir risk analizi yapılacaktır. Niceliksel risk analiz çalışmalarında en önemli olgunun temel olayların oluşma olasılıklarının

belirlenmesidir. Bu olasıklar belirlenirken riskli durumun belirtilen temel olaydan kaynaklı oluşmasının sıklığı, temel olayın riskli duruma belli periyot içinde sebep olma oranı gibi yollarla belirlenmektedir (Kim ve diğ, 2020).

Şekil 5.5 çalışma kapsamında kullanılacak olan HAA'yı göstermektedir. HAA'da var olan olasılıklar literatürde yapılmış olan bir çalışma referans alınarak hazırlanmıştır (Derse ve Göçmen, 2019).



Şekil 5. 5: Hata ağacı analizi için kullanılacak alt olaylar.

Afet lojistiğinde araç rotalama yapılırken her rotadaki bir yolun afet ile beraber rota için risk oluşturma durumu Şekil 5.5'te ana olaydır. Bu ana olay iki ara olaya oradan detaylara yani temel olaylara ayrılmıştır. Bu çalışmadaki kavramların tanımları aşağıda verilmiştir.

Risk : Rotadaki her bir yolun taşıdığı risk değeri

R1 ve R2 : Çevreden ve alt yapı şartlarından kaynaklı oluşan risk olasılığı

R11 : Gece veya gündüz olmasından kaynaklı oluşan risk

R111 : Gece vaktinde oluşan risk değeri

R112	: Gündüz vaktinde oluşan risk değeri
R12	: Hava durumundan kaynaklı oluşan risk değeri
R121	: Güneşli bir havadan kaynaklı risk değeri
R122	: Karlı bir havadan kaynaklı risk değeri
R123	: Yağmurlu bir havadan kaynaklı risk değeri
R124	: Sisli bir havadan kaynaklı risk değeri
R13	: Yolun çevresindeki yerleşim yoğunluğundan oluşan risk değeri
R14	: Trafik yoğunluk durumundan kaynaklı risk değeri
R141	: %50'den daha az yoğun durumda oluşan risk değeri
R142	: %50'den fazla %75'ten daha az yoğun durumda oluşan risk değeri
R143	: %75'ten daha fazla yoğun durumda oluşan risk değeri
R21	: Afet durumları için trafiğe uygun bir altyapının olmasından kaynaklı risk değeri
R211	: Uygun bir altyapının olmasından kaynaklı risk değeri
R212	: Uygun bir altyapının olmamasından kaynaklı risk değeri
R22	: Rotanın bulunduğu yoldaki nehir, göl, deniz veya akarsulardan kaynaklı risk değeri
R23	: Rotanın bulunduğu yolun fiziki durumu (ana yol, tali yol vb.)
R24	: Işıklılandırmadan kaynaklı oluşan risk değeri
R241	: Işıklılandırmanın olduğu durumlarda oluşan risk değeri
R242	: Işıklılandırmanın olmadığı durumlarda oluşan risk değeri

6. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ ÇÖZÜM YÖNTEMİ

6.1. Çözüm Yöntemlerine Genel Bakış Ve Çözüm Yöntemi Seçimi

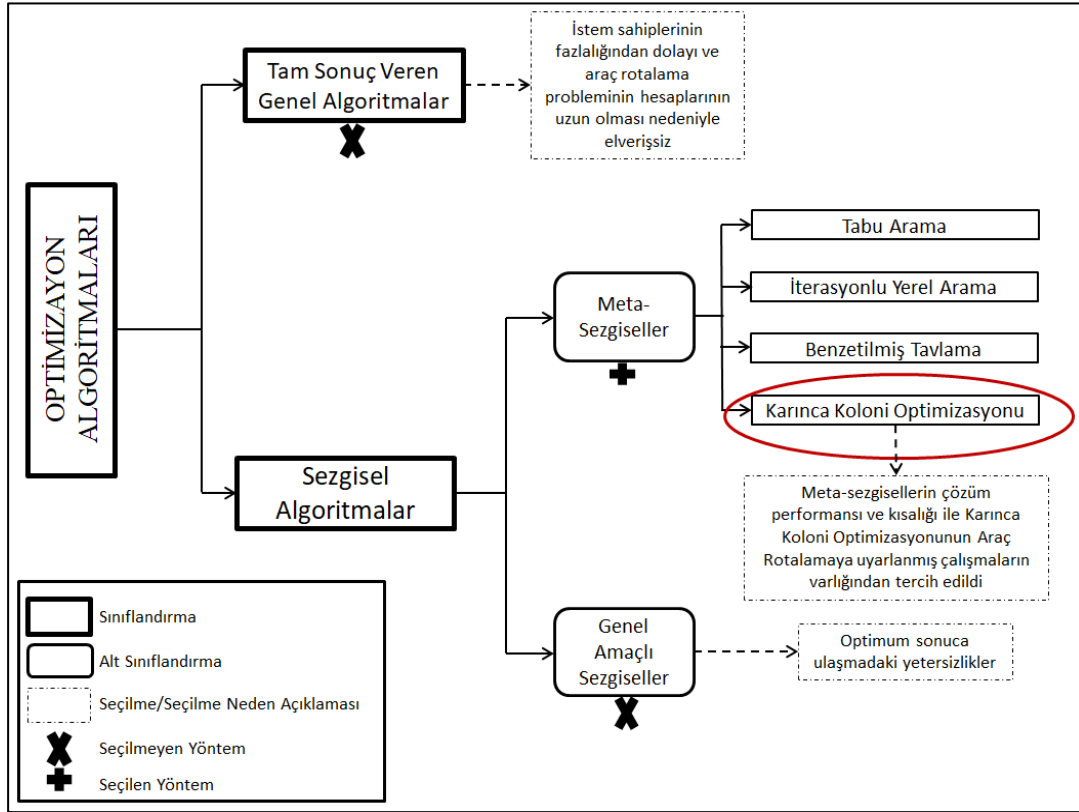
Çıktıların başarısı ve etkililiği açısından statik araç rotalama problemi, dinamik araç rotalama veya daha temel anlamda gezgin satıcı problemlerinde tam sonuç veren çözüm yöntemleri zorlu birer problem türüdür. En uygun çözümü uygulayabilmek bu problem türleri için oldukça zaman alıcıdır. Bu sebeple araç rotalama problemi gibi birçok probleme uyarlanmış sezgisel algoritmalar mevcuttur.

Sezgisel algoritmalar tam olarak en doğru sonucu veren ya da vermeyen problem türüne göre özelleşmiş algoritmalar olup, hesaplamaların oldukça yoğun olduğu problemlerde elverişli çalışma süresinde oldukça fayda sağlayan yöntemlerdir. Optimum sonucu bulmak için harcanan emek, para ve süre gibi günümüzdeki önemli kaynakları oldukça minimum seviyede tutmaya yarayan sezgisel yöntemler de kategori olarak ikiye ayrıldığı görülmektedir. Genel amaçlı sezgisel yöntemler ve özel amaçlı sezgisel yöntemler (meta-heuristics) olarak ayrılmaktadır.

Genel amaçlı sezgisel yöntemler optimum sonucu bulmak için oluşturulmuş yöntemlerdir. Genel amaçlı algoritmayı uygulayıp belli zaman sonunda algoritmayı sonlandırarak elde edilen çözüm yöntemidir. Bu yöntemlerdeki optimum sonucu bulmak konusunda yetersizlikler olduğu görülmüş ve her iterasyonda en yakın sonucu bulmak konusunda iyileştirmeler de yetersizlik fark edilmiştir (Dorigo ve Stützle, 2004).

Meta-sezgisel yöntemler ise genel algoritmayı spesifik problem kümesine uygulayarak optimum sonuca en yakın çözümü elde etmeyi sağlayan ve problem özelinde de başarılı sonuçlar veren birtakım algoritmalar (Dorigo & Stützle, 2004). Bu algoritmalar ise benzetilmiş tavlama (simulated annealing), tabu arama (tabu search), iterasyonlu yerel arama (iterated local search) ve karınca kolonisi optimizasyonu (ant colony optimization) olarak sıralanabilir.

Şekil 6.1'e göre kullanılan çözüm yöntemleri algoritmaları görülmektedir. Çalışma için seçilen algoritma ve seçilmeyenlerin ise neden seçilmediğine dair açıklamaların bulunduğu şekilde Karınca Kolonisi Optimizasyonun seçilip çalışmada kullanılacağını belirtmek gerekmektedir. Çizelge 6.1 ise meta-sezgisel algoritmalar konusunda yapılmış çalışmalara ait bilgi verici bir yapıda olup meta-sezgisel yöntemlerin tercih edilen çalışmalar olduğunu belirtir niteliktedir.



Şekil 6. 1: Yöntemin seçilmesi.

Çizelge 6. 1: Seçilmiş meta-sezgisel yöntemler ve yapılmış çalışmalar, Dorigo ve Stützle (2004)'ten uyarlanmıştır.

Algoritma Adı	Çalışan(lar)
Benzetilmiş Tavlama	Cerny 1985), Kirkpatrick ve diğ, (1983)
Tabu Arama	Glover (1989), Glover ve Laguna (1997)
İterasyonlu Yerel Arama	Finger ve diğ, (2002)
Karınca Kolonisi Optimizasyonu	Dorigo ve diğ, (1999)

6.2. Karınca Kolonisi Optimizasyon Meta-sezgiseli

Günümüzde rotalama algoritmalarındaki hesaplama dayalı işlem fazlalığı ve bu işlemlerin süre açısından çözüme ulaşmadaki yetersizlikleri tartışılan bir konudur.

Oldukça fazla sayıda çalışmada kullanımı görülen meta-sezgisel bir yöntem olan Karınca Algoritmaları yani Karınca Kolonisi Optimizasyon (KKO) yöntemi çalışma kapsamında kullanılacak olan uygun bir çözüm yöntemidir. Bu meta-sezgisel optimizasyonun ortaya çıkışından itibaren süre gelen çalışmaların olduğu adetsel kırınlara sahip Çizelge 6.2, Scopus veri tabanından hazırlanmış olup 2010’lu yıllardan itibaren konunun ne kadar yoğun çalışıldığını göstermektedir. Konuyla alakalı olarak ise KKO’nun ARP kapsamında çözüm sağlamak amaçlı ne kadar sıklıkta kullanıldığının da gösterilmesi gerekirse, yine Scopus veri tabanından hazırlanan Çizelge 6.3 uygun bir ölçüt olacaktır.

Çizelge 6. 2: KKO ile yapılmış çalışma sayıları, Scopus veri tabanından uyarlanmıştır.

Yıl	Sayı	Yıl	Sayı	Yıl	Sayı	Yıl	Sayı
1981	1	1991	0	2001	33	2011	1183
1982	1	1992	0	2002	104	2012	1298
1983	0	1993	1	2003	124	2013	1268
1984	1	1994	2	2004	250	2014	1372
1985	0	1995	4	2005	345	2015	1265
1986	0	1996	4	2006	576	2016	1363
1987	0	1997	8	2007	620	2017	1354
1988	1	1998	7	2008	984	2018	1517
1989	0	1999	20	2009	1198	2019	1759
1990	1	2000	21	2010	1383	2020	808

Çizelge 6. 3: KKO çözüm yöntemini kullanan ARP çalışmaları, Scopus veri tabanından uyarlanmıştır.

Yıl	Adet	Yıl	Adet
1999	1	2010	57
2000	0	2011	46
2001	1	2012	61
2002	4	2013	66
2003	3	2014	64
2004	14	2015	57
2005	6	2016	53
2006	22	2017	56
2007	27	2018	73
2008	52	2019	77
2009	42	2020	38

Görüldüğü üzere çalışma seksenli ve doksanlı yıllarda popüler olmasa da son on yılın popüler çözüm yöntemlerinden biri olmuştur. Bu sebebin yanı sıra algoritmanın ilgi çekici olması, meta-sezgisel optimizasyonlarda yüksek çözüm performansının varlığı ve hem statik hem de dinamik kombinatorik optimizasyon problemlerinde kullanılıp uygulanabilen bir yapıya sahip olmasından dolayı çalışma için uygun bir yöntem olarak görülmüştür.

KKO'yu daha iyi anlatmak gerekirse, sezgisel algoritmalar içinde doğanın örnek alınarak yüksek performanslı işlemler yapmak için ortaya çıktığını söylemek doğrudur. Doğanın yansımasını çalışmalarda konu olarak gören bu algoritma sayesinde sezgisel optimizasyon yönetmelerine farklı bir bakış açısı kazandırılmıştır. KKO arı, termit, karınca ve diğer sosyal grup özelliğine sahip böceklerin davranışlarının simüle edilip incelendiği geniş bir alanın alt parçası olarak belirmektedir. KKO meta-sezgisel bir algoritma olup kombinatorik işlemlerin yoğun olarak yapıldığı bir yöntemdir. Biyolojik olarak incelendiğinde karıncaların bir sosyal grup olarak yaşadıkları ve yiyeceklerini bulmak için ortak bir form halince hareket ettikleri görülmektedir. Bu davranışlarının gerçekleştirmek içinse kullandıkları feromon etkili olmaktadır ve optimizasyonları ise bu maddeye bağlıdır (Bell ve McMullen, 2004).

Karınca tabanlı algoritmalar ilk olarak Dorigo'nun doktora tezinde tanıtılmıştır ve grubun iki nokta arasındaki en kısa mesafeyi bularak hareket etmesini anlatan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (Talbi ve diğ, 2001).

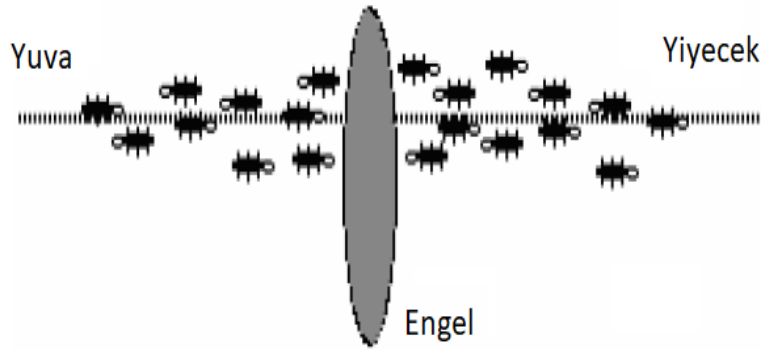
Algoritmayı daha iyi anlayabilmek için gerçek karıncalar üzerinden anlatımlar daha uygun olacaktır. Karıncalar, yuvalarından bir yiyecek kaynağına giden en kısa yolu, herhangi görsel duyu kullanmadan bulma kabiliyetinde ve çevrelerindeki değişikliklere çok iyi uyum sağlama özellikleri olan sosyal bir oluşum içindeki canlılardır. Karıncalar yiyeceklerine ulaşabilmek için oluşturdukları rotada bir engele rastlarsa veya mevcut rotanın kullanılamaz olması durumunda yeniden en kısa bulmaktadırlar. Karıncaların bu yolu bulmak için kullandıkları araç ise feromonlardır (pheromone). Feromon, doğada bazı hayvanların farklı amaçlar için sahip oldukları bir tür kimyasal salgıdır ve karıncalar ise bu salgıyı hareketleri esnasında hedeflerindeki yiyeceğe doğru ilerlerken yola bırakarak kullanırlar. Bu salgı kullanımında karıncalar feromonun çok olduğu yolu az olduğu yola tercih ettikleri görülmektedir. Buna sebep

olarak az olan feromon daha uzak yola işaret eder ve zaman içinde uzaklıktan kaynaklı buharlaşmış olması, çok olan feromon ise bunun tam tersine daha yakın mesafeyi işaret etmesidir. Bu içgüdüsel davranış karıncaların en kısa yolu seçmelerini sağlamaktadır (Karadimas ve diğ, 2005).

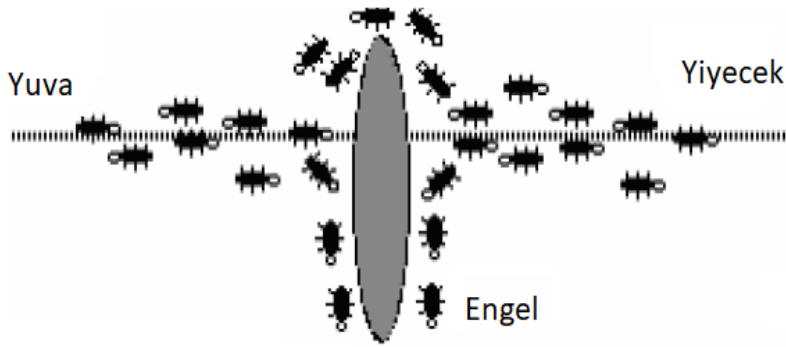
Karıncaların karşısına çıkan engel sonucu karıncalar bir tercih yapar ve farklı yollara yönelirler. Bu şekilde yollarına devam ederler ve zaman içinde ise en kısa yol hangisi ise grup onu tercih eder. Buradaki dikkat çekici nokta ise karıncaların engel sonrası bu farklı rotalara sapma olasılıklarının eşit olmasıdır. Yollar eşit seçilme olasılıklarına sahiptir ve zaman içinde de hangisi en kısa mesafeyi sağlıyorsa feromon etkisiyle tercih edilecek yol olmasıdır (Dalkılıç ve Türkmen, 2003). Bu olasılıkların eşit olması algoritmanın en iyiyi bulma konusunda tarafsızlığını göstermektedir. Bu şekilde bir yapıya sahip algoritmanın çalışma kapsamında kullanılacak olmasının sebebi yapılan çalışmaların fazlalığının yanı sıra bu şekilde rassal, hassas ve tarafsız bir yapıya sahip olmasıdır. Devam eden şekiller incelendiğinde Şekil 6.2 karıncaların yiyecekleri arasındaki mesafede kat ettikleri yol görülmektedir. Şekil 6.3'te ise karıncaların engelle karşılaşma durumu ve devamında Şekil 6.4'te engel sonrası eşit olasılıkla grubun iki yoldan birini seçmesi gösterilmektedir. Bu aşamada seçilen yollar üzerinde karıncalar feromonlarını bırakarak yollarına devam ederler. Grubun uzun süreli yolculuğunun sonunda uzun yoldaki feromonun zaman içinde daha fazla buharlaşacağı yani arkadan gelen karıncalara bu yol üzerinden daha az feromon kimyasal kalacağı belirtilmelidir. Aksine kısa yolun üzerinde ise daha az buharlaşmadan dolayı uzun yoldaki feromona kıyasla daha fazla kimyasal olacağı da bu sistemin temel bilinmesi gereken hususlarındandır. Son olarak Şekil 6.5'te ise karıncaların yeni oluşturdukları kısa yol görülmektedir. Bu yol uzun zaman sonra tüm karıncalar tarafından kullanılan yol olarak grubun aldığı mesafeyi şekillendirecektir. Bu şekiller yardımıyla KKO'nun altında yatan sezgisel algoritmanın nasıl işlediği anlaşılmaktadır.



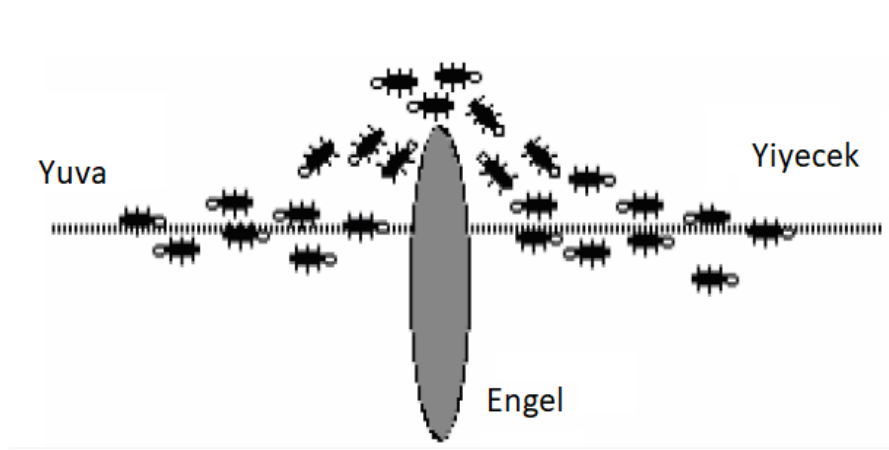
Şekil 6. 2: Karıncaların yuvadan yiyeceğe ulaşma hareketleri, Dalkılıç ve Türkmen (2002)'den uyarlanmıştır.



Şekil 6. 3: Karıncaların yolları üzerinde bir engelle karşılaşma anı, Dalkılıç ve Türkmen (2002)'den uyarlanmıştır.



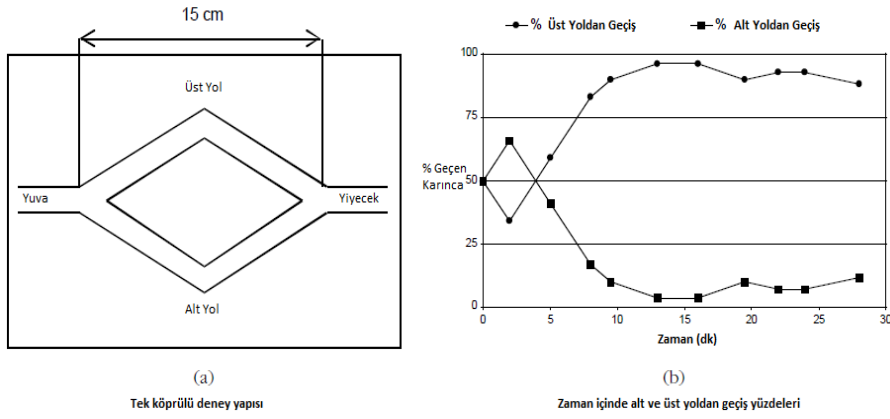
Şekil 6. 4: Karıncaların engel sonrası yapmış oldukları hareket, Dalkılıç ve Türkmen (2002)'den uyarlanmıştır.



Şekil 6. 5: Karıncaların engel sonrası kısa yolu bulmaları, Dalkılıç ve Türkmen (2002)'den uyarlanmıştır.

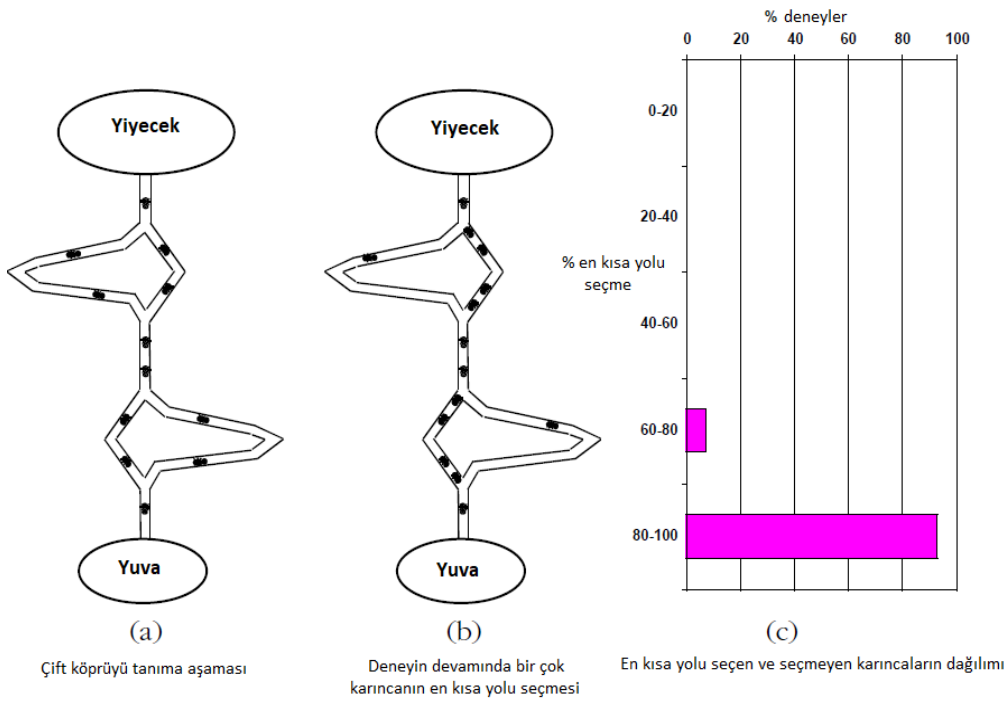
Karıncaların bu şekilde davranışlarının algoritmalara dökülebilmesi için üzerine deneysel çalışmalar yapılmıştır. Her seferinde en kısa yolun bulunup bulunmadığının tespit etmek amaçlı yapılan deneylere öncülük eden Deneubourg ve diğ. 1990'da yapmış oldukları tek köprü deneyidir. Deney yuva ve yiyecek arasında aynı uzunluğa sahip bir köprü tasarımına dayanmaktadır. Deneyin devamında karıncalar serbest bırakılır ve yollar eşit olmasına rağmen feromon çok olan taraftan gittikleri görülmüştür. Farklı eşit olasılığa sahip iki seçenek arasında belli zaman tutarlı bir şekilde aynı yolu kullandıkları görülmüştür. Bu davranış daha öncesinde de söylendiği gibi feromon etkisidir (Dorigo ve diğ, 1999). Eşit yol uzunluğunun olduğu durumda rastgele seçimin söz konusu olduğu görülmektedir.

Bu deney sonrası Dorigo ve diğerleri tarafından yapılan farklı bir deneyde de yollarının farklı uzunlukta ve köprü sayılarının birden fazla olduğu durum incelenmiştir. Bu şekilde karıncaların en kısa bulup bulamayacakları incelenmek istenmiştir. Feromon etkisi sayesinde gidiş ve dönüşlerde grubun zaman içinde kısa yolu seçtiği görülmüştür. Bu deney ile karıncaların ilk rastgele vermiş oldukları kararın önemi azalıp algoritmadaki başarının yüksek olması sağlanmış olur (Dorigo ve diğ, 1999). Devam eden Şekil 6.6'da tek köprülü deneye ait görsellere hakim olunabilir. Şekil 6.7 ise çift köprülü karınca deneyi ile algoritma konusuna nasıl adım atılacağı hakkında fikir edinmek kolaylaşmaktadır.



Şekil 6. 6: Karınca hareketleri için yapılmış tek köprü deneyi, Deneubourg ve diğ. (1990)'dan uyarlanmıştır.

Şekil 6.7'de görülen çift köprülü karınca deneyinde, grubun yiyeceğe ulaşana kadar köprüyü tanıma aşamaları ve devamındaki süreçte kısa olan yolları tercih etmeleri görülmektedir. Uzun sürede oluşan sonuçlara göre karıncaların kısa yolu tercih ettikleri deney sonuçlarından anlaşılmaktadır.

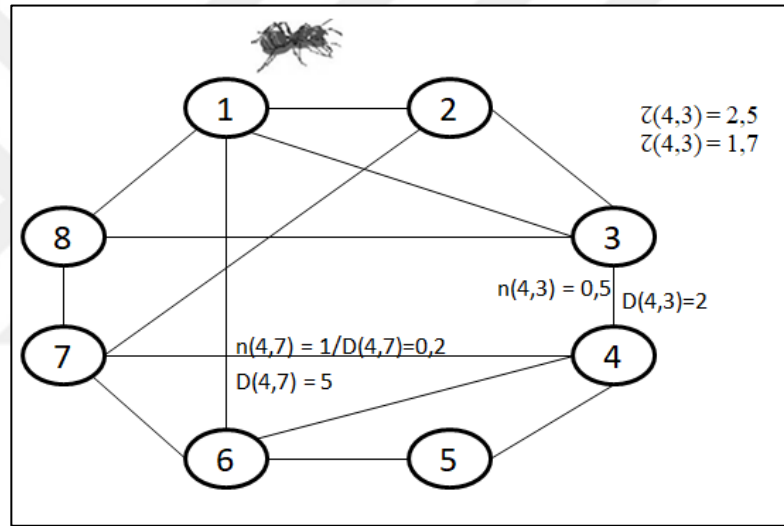


Şekil 6. 7: Karınca hareketleri için yapılmış çift köprü deneyi, Dorigo ve diğ. (1999)'dan uyarlanmıştır.

Şekil 6.6 ve 6.7 birlikte değerlendirildiğinde, karıncaların eşit uzunluktaki yolları tercih etmelerinde herhangi bir faktör devreye girmeyip tamamen rastgele hareket ettikleri ve grubun hareketini önceki gibi devam ettirdikleri söylenirken, farklı

mesafelerin olduğu durumda ise kısa olan yolu seçip turlarını tamamladıkları söylenebilmektedir.

Karıncaların davranışlarını daha iyi anlayabilmek için Kazharov ve Kureichik (2010) tarafından oluşturulan Şekil 6.8'e bakmak faydalı olacaktır. Şekle göre bir karıncanın bir numaralı noktadan diğer noktalara hangi sıra ile gideceğinin kararını vermesi beklenmektedir. KKO'da bahsedildiği üzere olasılıklara göre bir yol seçimi yapılır. Bu olasılık ise feromon miktarına bağlı olarak değişmektedir. KKO'da bu olasılıkların elde edebilmesi için feromon miktarı ile sezgisel bir değer olan η çarpımı gerekir ki bu η değeri mesafelerle ters orantılıdır. Yani mesafe uzadıkça sezgisel değer düşer ve o yolun tercih edilebilirliği düşebilir. Bunu anlatan görsel, hesaplamaları görmek için oldukça uygundur.



Şekil 6. 8: KKO'da olasılıkların hesaplanmasına dair bir örnek, Kazharov ve Kureichik (2010)'dan uyarlanmıştır.

KKO algoritmasının ortaya çıkmasında sosyal grup olarak yaşayan canlıların öneminin büyük olduğu anlaşılmaktadır. Burada gerçek karıncalardan elde edilen bilgilere ilaveten yapılan meta-sezgisel yöntemde eklemeler ve yaklaşımlar olduğu da bilinmektedir. Bir KKO algoritması gerçek karınca esinlenmesinin dışında iki mekanizmaya daha sahiptir. Bunlar, iz buharlaşması ve bekletici faaliyetler. İz buharlaşması zaman içinde birtakım bileşenlerdeki limitsiz iz birikimini önlemek için tüm iz değerlerini azaltır (Maniezzo ve diğ, 2003). Bunun sebebi sezgisel algoritmadaki geri dönüşlerin önüne geçmektir. Bekletici faaliyetler KKO seçimli

tarafıdır ve yerel optimizasyon probleminin aksiyon almasını veya yerel olmayan bakış açısından araştırma sürecini etkileyen mekanizmadır (Dorigo ve diğ., 1999).

KKO bir popülasyon temelli meta-sezgisel teknikler arasında en yeni olan algoritmalarından biri olarak; araç rotalama, ikinci dereceden atama problemleri, dinamik sürekli optimizasyonlar, gezgin satıcı problemi, araç çizelgeleme ve ağ tasarımı gibi kombinatorik çok etmenli konularda başarıyla uygulanmış yöntemlere sahiptir (Başkan ve diğ, 2009).

6.3. Karınca Kolonisi Optimizasyon (KKO) Algoritmaları Ve Çeşitleri

Genel KKO algoritmasında ilk adım feromon izinin başlatılmasıdır. Başlangıçta, her karınca olasılık temelli bir durum geçiş kurallarına göre soruna tam bir çözüm oluşturur. Tüm karıncalar bir çözüm ürettiğinde, küresel feromon güncelleme kuralı iki aşamada uygulanır; feromonun bir kısmının buharlaştığı bir buharlaşma fazı ve her karınca bir miktar feromon biriktiren bir takviye fazı uygunluk ile orantılıdır. Bu işlem durdurma kriterleri yerine getirilinceye kadar tekrar edilir (Başkan ve diğ, 2009).

KKO algoritmasının temelinde yatan stratejiyi Şekil 6.8 görselleştirmektedir. Şekil 6.9'a göre ilk adım feromon izinin yani başlangıç koşullarının belirlenmesiyle başlar. Bunu feromon izlerine bağlı olarak güncellemeleri kapsayan iterasyonlar takip eder. İterasyonlar ise bir durma kriteri seçilerek (optimum koşulun sağlanması) sonlandırılır.

Adım 1:	Başlangıç
	Feromon izi
Adım 2:	İterasyon
	Her bir karınca için tekrarla
	Feromon izi kullanılarak çözüm oluşturma
	Feromon izinin güncellenmesi
	Durma kriteri

Şekil 6. 9: Genel KKO algoritması, Talbi ve diğ. (2001)'den uyarlanmıştır.

KKO algoritmasındaki önemli olan kısım ise problemin çözüm başarısının kriteri olan karıncaların bıraktıkları feromon kimyasalıdır. Feromon miktarı karıncalar tarafından güncel bilgi olarak kullanılmakta ve her karınca tarafından güncelliğini korumaktadır.

Bu şekilde sürekli iterasyon yapma imkânı doğmaktadır. İterasyon adımların başarıya yakın olmasının anlamı bir yolda feromon kimyasalının yoğun olduğu anlamına gelmektedir. Bir iterasyon tamamlanması karıncaların yiyeceğe gidip gelmesi olarak metaforlaştırıldığında bir sonraki iterasyonda tercih feromon izinin çok olduğu taraftan devam edeceği anlamına gelir. Bu davranış grubun yiyeceğe ulaşmasını tamamlayana kadar yani algoritma sonlanana kadar devam edecektir. Bu sosyal davranış kalıbının incelenerek geliştirilen sezgisel algoritmanın çalışma prensibi temel olarak bu şekilde ilerlemektedir. Bu algoritma ile en kısa yol problemleri çözüme kavuşabilmektedir.

KKO algoritması ilk olarak geliştirildiğinde performans, işlem yükü ve çözümün etkinliği konusunda günümüzdeki başarı yüzdesine sahip değildi. Optimizasyonun günümüzdeki başarısına kavuşması için yeni çözüm yöntemleri ve işlemlerinde gelişmeler zaman içerisinde kendine yer bulmuştur. Bu konuda ilk önerilen algoritma olarak Dorigo ve diğ. 1996'daki çalışması olan karınca sistemi (ant system) algoritmasını, karınca kolonisi sistemi (ant colony system), maksimum-minimum karınca sistemi (max-min ant system), mertebe temelli karınca sistemi (rank based ant system) ve modifiye karınca kolonisi sistemi (modified ant colony system) ve benzeri gibi birçok farklı algoritma takip etmiştir (Dereli ve Daş, 2010). Bu çalışmada karınca sistemi, elitist karınca sistemi, karınca kolonisi sistemi, maksimum-minimum karınca sistemi ve mertebe temelli karınca sistemi algoritmalarından bahsedilecektir. KKO'nun bu denli çeşitlenmesinin asıl sebebi ise feromon izinin güncellenmesi kısmındaki oluşan farklılıklardır. Her algoritma farklı bir yöntem kullanarak feromon izini kullanarak problemleri çözmeye çalışmaktadır. Çalışma kapsamında KKO'ya ait beş farklı alt algoritma tanıtılacak olup, çalışmanın çözüm kapsamında ise Karınca Koloni Sistemi ile ARP'nin çözümü yapılacaktır.

6.3.1. Karınca sistemi

Karınca Sistemi (KS) ilk olarak geliştirilen ve Gezgin Satıcı Problemi ile İkinci Dereceden Atama Problemlerine uygulamasıyla literatüre kazandırılan Karınca Sistemi diğer algoritmalara temel oluşturmaktadır.

Dorigo ve Gambardella (1997) çalışmayı şu şekilde anlatmıştır: Her karınca olasılık temelli seçimler yaparak tam bir tur üretirler ve bu sırada da feromon kimyasalının en yoğun olduğu yani kısa kenarlarla bağlanan noktalara gitmeyi seçerler. Bütün

karıncalar kendi turlarını tamamlarlar, global feromon güncelleme kuralı uygulanır. Global feromon kuralı tüm karıncalar tarafından güncelleme işlemidir. Daha sonra bu süreç tekrarlanarak iterasyonlar yapılır.

Burada algoritmadaki karıncalar hepsi karakteristik ajanlardır ve karıncalara turlarını tamamlayana kadar geçtikleri yeri geçmelerine izin verilmez. Karınca turunu tamamlayana kadar her i kenarından j kenarına gidene kadar da feromon bırakarak yoluna devam eder. Bu iterasyon maksimum süreye ulaşana kadar devam eder.

Bu yöntemde varsayım olarak yapılacak iki husus dikkat çekmektedir. İlk olarak yollar üzerindeki kimyasalların buharlaşma oranlarının aynı kabul edilmesi ve kimyasal miktarının yolu kullanan karıncaların yol uzunluğuyla doğru orantılı olmayışdır (Stützle ve Hoos, 2000).

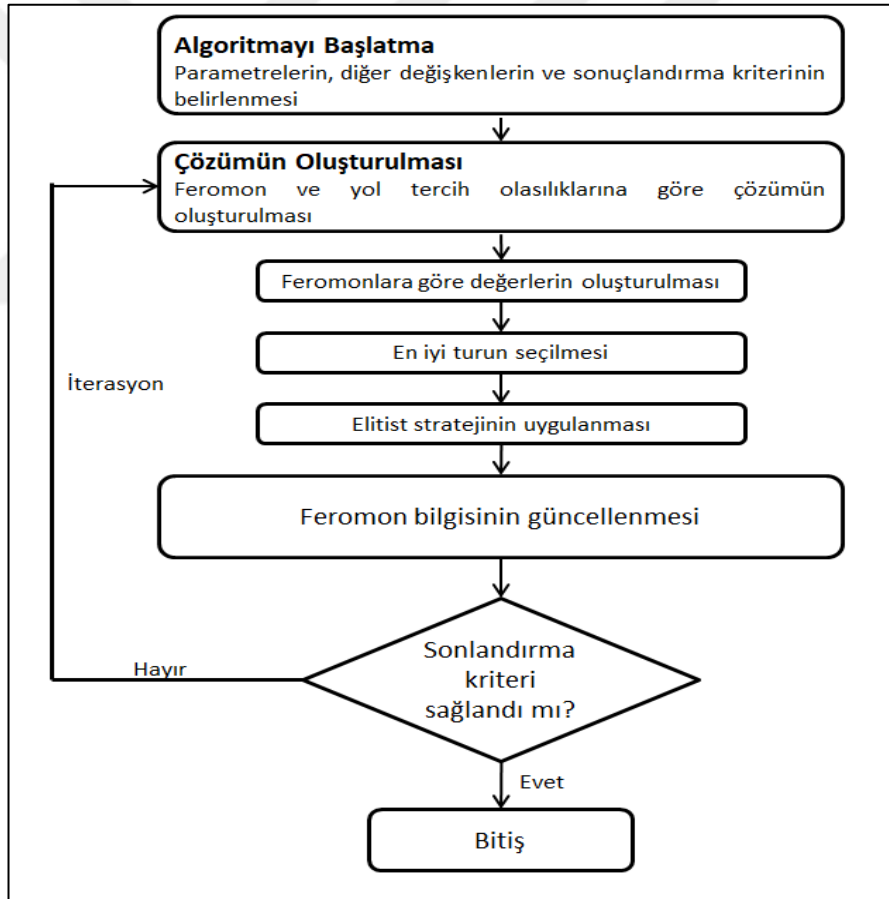
KS'de problemin boyutu büyüdükçe çözüm etkinliği düşüş göstermektedir. Bunun sebepleri bulunan en iyi çözümün muhtemel rota seçimi kuralı sayesinde kaybedilebilir oluşu, en iyi ve en kötü çözümlerin feromonların güncellenmesine yaklaşık eşit katkısı nedeniyle optimum seviyeye yakınsama düşüklüğü ve koloninin hafızası açıkça görünmeyen varyantları depolamasıdır; bu da yüksek boyutlu problemlerde arama alanının kayda değer bir şekilde genişlemesine yol açar şeklinde belirtilmiştir (Shtovba, 2005). Bu sebeple KS ilerleyen zaman dilimlerinde geliştirilmeye ve farklılaşarak yeni algoritmaların oluşmasına yol açmıştır.

6.3.2. Elitist karınca sistemi

KS devam eden yıllarda geliştirilerek Elitist Karınca Sistemi (EKS) olarak yeni bir alt kırıma uğradı. En iyi çözüme sahip karıncanın ek bir feromon takviyesi yapılmasını temel alan bu yapıda Dorigo (1992) ve Dorigo ve diğ. (1996) çalışmalarında en iyi tura bulmak iterasyon sayısının düşmesini sağlayıcı olduğunu deneylemişlerdir (Dorigo ve Stützle, 2004). Elitist karınca kavramı da en iyi tura sahip karıncalar için kullanılan bir kavramdır.

EKS çalışma prosedüründe ise temel olgu elitist karıncaların tamamladıkları turların, iterasyonun devamında da kullanılmasını sağlayıcı olmasıdır. Bunu elitist karıncaların bıraktıkları feromonlar üzerinden sağlayarak o tura ait yolların kullanılması sağlanır. EKS'nin KS'den temelde ayrıldığı nokta burası olup, bu süreç ise elitist karıncaların

bıraktıkları feromonlarını özel işlemler ile güncelleyerek olur. Bunu sağlamak için A^e şeklinde elitist karıncaları temsil eden bir parametre kullanılır. A^e buharlaşma faktörü üzerinden feromon miktarına etki eden ve sadece en iyi tura sahip karıncaların yollarının kullanılmasını sağlayan bir parametredir. Bu parametre yol uzunluklarına etki edecek şekilde formülize edilerek yeni feromon güncellemelerinde kullanılır (Kazharov ve Kureichik, 2010). Burada EKS için Kazharov ve Kureichik (2010), A^e değerinin sıfır olması durumunda sisteme etki edemez olduğunu zayıf sonuçların ortaya çıkacağını ve de sıfır ile bir arasındaki değerlerin daha etkili olacağını belirtmiştir. Ataie-Ashtiani ve Ketabchi (2011) tarafından hazırlanıp bu çalışmaya uyarlanan Şekil 6.10'a bakıldığında EKS'nin KS ile aynı süreçleri izlediği ancak beşinci adımda A^e etkisi ile elitist yöntemin uygulanmasıyla farklılık olduğu görülmektedir.



Şekil 6. 10: Elitist karınca sistemi için işlem akış şeması, Ataie-Ashtiani ve Ketabchi, (2011)'den uyarlanmıştır.

6.3.3. Karınca kolonisi sistemi

Karınca Kolonisi Sistemi (KKS) KS'nin performansını artırmak amaçlı Dorigo ve Gambardella (1997) tarafından tanıtılmış bir algoritmadır. Durum geçiş kuralı, global güncelleme kuralı en iyi karınca turunun bulunduğu kenara uygulanması ve karıncaların yeni bir çözümün yerel feromon güncelleme uygulaması gibi farklılıklarla KS'den ayrılmaktadır (Dorigo ve Gambardella, 1997).

Ayrıca DARP için uygulanan KKO yönteminde ise KKS'nin kullanılarak çözümün algoritma kısmı oluşturduğu yapılan çalışmalara bakıldığında görülmüştür. DARP'ta temel üç unsurun algoritma ayağını oluşturan KKS çalışmanın ilerleyen aşamalarında daha detaylı olarak anlatılacaktır. Montemanni ve diğ. (2003) yaptıkları çalışmada KKS algoritmasının uygun sonuçlar verdiği belirtmiştir. Bu algoritmaya ait tanımlamalar, veri grupları, formüller ve kodlar bir ayrı bir bölüm halinde çalışmanın ilerleyen kısımlarında sunulacaktır.

KKS sisteminde getirilen yeniliklere bakıldığında algoritmanın öncüsü olan Dorigo ve Gambardella (1997) üç hususta farklılık belirtmişlerdir:

- Durum kuralı ile yeni kenarların araştırılması ve problem hakkında önceki biriktirilen bilgiler kullanılır ve bu şekilde tur oluşturma sağlanır
- Global güncelleme kuralı en iyi karınca turunun seçimi yapılır,
- Karıncaların yeni bir çözüm araması esnasında yerel feromon güncelleme kuralı uygulanır.

Durum geçiş kuralı karıncaların yeni bir çözüm arayışında oldukları sırada ziyaret edilecek bir sonraki yeri seçme kararının verildiği durumdur. Bu algorithmada yeni durumun seçim kuralı; sözde-rastlantısal orantılı durum geçiş kuralı olarak kendine yer bulmuştur. Bu kural ile sıfır ve bir arasında düzgün dağılım özelliği gösterilen bir q rassal değişkeni oluşturulur q_0 bir parametre tanımlanır. Bunun anlamı q_0 olasılığı ile karıncalar mümkün olan en iyi turu daha önceden belirli (öğrenilen) feromon hareketleriyle ve sezgisel bilgiler eşliğinde tamamlar. Ayrıca $1 - q_0$ ile de yeni en iyi çözümler anlamına gelmektedir. q_0 olasılık düzenlemesi araştırmanın derecesini ayarlamaya ve araştırma uzayında keşif yapmaya fayda sağlamaktadır ve ayrıca 0,9 olarak alınması da literatürde uygun görülmüştür. (Dorigo ve diğ, 1999).

İkince farklılık olan sadece genel (global) olarak en iyi karıncanın yani en kısa tura sahip karıncanın feromon biriktirmesine izin verilmesi durumunda, sözde-rastlantısal-orantılı geçiş kuralı sayesinde optimum noktayı araştırma daha başarılı şekilde yapılmaya çalışılmaktadır. Global güncelleme, kendi turlarını güncelleyen bütün karıncaların feromonları da sonrasında güncellemeye tabi tutulur (Dorigo ve Gambardella, 1997). Feromon güncellemesi ayrıca lokal olarak da yapılabilir. Turların dinamik olarak değiştirilmesiyle elde edilen yeni yolların çekici olması amaçlanır ve her iterasyonda karıncaların turlarını değiştirmesi istenir. Bunun amacı her iterasyonda sürekli en iyiyi bulmaktır (Keskintürk ve Söyler, 2006). Bu şekilde de yerel olarak da feromon güncellemesi sağlanır.

KKS’de aday listesi olarak yerel sezgisel bilgi sağlayan veri yapıları ile ziyaret edilecek nokta seçimi yapılabilir. Aday listesi burada karıncalar için bir kural tanımlaması olup i ’den sonra ziyaret için tercih edilecek noktaların olduğu listesidir. Herhangi bir i noktasının aday listesinin belirlenmesi ziyaret edilebilecek noktaların artan mesafesine göre cl parametresi ile belirlenir (Dorigo ve diğ, 1999). Bu aday listesi büyüklük belirlemesi amaçlı yapılan çalışmalarda problemdeki tüm müşteri sayısının kesirleriyle sınırlandırma suretiyle belirleme veya toplam müşterinin çeyreği kadar (Bullnheimer ve diğ, 1999) olması gibi yöntemlerin kullanıldığı görülmektedir. Aday listesi ise probleme bir yasak koymak amaçlı belli bir kısıt koyma işlemi olarak da görülebilir.

6.3.4. Maksimum-minimum karınca sistemi

Maksimum-Minimum Karınca Sistemi (MMKS) yöntemi karakterize edici unsurları, sadece en iyi karıncanın feromon izlerini güncellemesi ve feromonun değerinin bağlı olması ile açıklanmaktadır. Feromonun bağlı olması ise minimum ve maksimum sınırlar içerisinde feromon izlerinin kalmasıdır. Dalgalanmaların önüne geçmek amaçlı yapılan bu uygulama ile yöntem KS’den ayrılmaktadır. Buradaki önemli nokta sınırların uygun seçilmesidir. Aksi halde karıncalar aynı kullanacak ve çözüm en iyiyi vermeyecektir (Keskintürk ve Söyler, 2006). Bunun önüne geçebilmek amacıyla sınırlar denklem 6.1’de maksimumu 6.2’de ise minimumu gösterecek şekilde formülize edilmiştir.

$$\tau_{max} = \frac{1}{\rho} * \frac{1}{L_b} \quad (6.1)$$

$$\tau_{min} = \frac{\tau_{max}}{2n} \quad (6.2)$$

Burada, L_b en iyi turun uzunluğunu, ρ ise feromon buharlaşma katsayısını ve de n ise karıncaların hareket ettikleri sistemdeki nokta sayısını ifade eder.

Bir iterasyon yapılırken veya algoritmanın çalışması sırasında bulunan en iyi çözümlerden yararlanmak için, her yinelemeden sonra yalnızca bir karıncaya feromon eklenmesi, durağanlaşmanın önüne geçebilmek için $[\tau_{min}, \tau_{max}]$ sınırları içinde feromonları tutmak ve kasıtlı olarak da feromonların τ_{max} 'tan başlatılması KS'nin performansını artırıcı bir unsur dikkat çekmektedir (Stützle ve Hoos, 2000).

Bu algoritmada öneminin vurgulanması gereken nokta ise, sadece bir karınca feromon güncellemesi konusunda izin verilmesidir. Tek bir karınca üzerinden feromon güncellemesi yapılması sebebiyle ortaya en iyi iki farklı kavram çıkmaktadır. Bunlar Stützle ve Hoos (2000) tarafından şu şekilde belirtilmiştir; ilk olarak en iyi iterasyon sonucu ve ikinci olarak global en iyi sonuçtur.

Bu iki kavrama bakıldığında daha önce bahsedilen algoritmalarından ayrıldığı görülmektedir. Sırasıyla diğer algoritmalarından farklılıkları şu şekildedir;

- En iyiye sahip karınca seçiminin olması ile KS'den farklılık,
- Sadece belli bir karıncayı belli limitlerde tutarak iterasyon güncellemeleri yapmak ile EKS'den,
- En iyi tur iterasyon sonucu ile KKS'den farklılık göstermektedir.

KKS'de global en iyi sonuç ve lokal en iyi sonuç kavramları olması ve MMKS'de en iyi tur iterasyon sonucu ve global en iyi sonuç kavramları ufak şekillerde farklılıklar göstermektedir.

6.3.5. Mertebe temelli karınca sistemi

Tur uzunluklarına göre karıncaların sıralandığı ve ziyaret edilen kenarlar karınca sırası orantılı şekilde feromon aldığı algoritmadır. Feromon izinin başlangıcından itibaren, optimum tura sahip karıncanın yolu ayrıca ek feromon alır. Bunun yanı sıra en iyi tura

sahip bir karınca grubu da ek feromon güncelleştirmesi alarak feromon güncelleme prosedürünü gerçekleştirirler. Bu güncelleştirme tur bitiminde yapılacak şekilde algoritma oluşturulur.

Bu şekilde karıncanın feromon düzeyinin karıncanın sırasına bağlı olarak değiştiği bir yöntem olan mertebe temelli karınca sistemi feromon miktarını sıra ve tur uzunluğuna bağlamıştır (Keskintürk ve Söyler, 2006).

6.4. Karınca Koloni Optimizasyonu Sezgisel Algoritmasının Uygulandığı Problemler

Karınca algoritmaları ilk defa Dorigo ve çalışma arkadaşlarının 1991'deki yapmış oldukları çalışmada Gezgin Satıcı Problemi (Traveler Salesman Problem) ile uygulamaya koyulmuş ve o çalışmadan sonra da birçok problem çeşidi için uygun bir algoritma olarak literatürde kendine yer bulmuştur. Devam eden alt başlıklarda KKO'nun uygulandığı problemler bulunmaktadır.

6.4.1. Araç rotalama problemleri

Bu çalışma kapsamında ele alınan konuya dair problem olan araç rotalama ile KKO ilişkisi 1997 yılına dayanmaktadır. Bu problem tipindeki ilk çalışmalara öncülük eden Bullnheimer ve diğ. (1999) KKO algoritması kullanılarak elde etmiş oldukları çalışmalarındaki sonuçları diğer sezgisel yöntemler ile kullanarak mukayese ederek KKO en iyi sonuçları verdiğini görmüşlerdir.

KKO ve ARP oldukça birbirini tamamlar nitelikte konular olup bu sebeple zaman içerisinde algoritmalarda sürekli güncellemeler ve yenilemeler yapılmıştır. Bullnheimer ve diğ. (1999) ARP için Geliştirilmiş Karınca Sistemini (IAS), devamında Gambardella ve arkadaşları yine aynı yılda zaman pencereli araç rotalama problemine çoklu karınca koloni sistemi (MACS-VRPTW) önerdiler. Bunların yanı sıra İyileştirilmiş Karınca Koloni Sistemi (İKKS) de zaman içerisinde gelişim imkanı bulmuştur. İKKS ile ARP çözümleri diğer meta sezgisellere göre avantaj yakalamış olup kıyaslama problemlerinden %25'inde en iyi sonuç verdiği görülmüştür (Chen ve Ting, 2005).

Araç Rotalama Problemlerinden müşteri taleplerinin sabit olmadığı Dinamik Araç Rotalama Problemine (DARP) KKS uygulandığında Montemanni ve diğ. (2003) problem ile alakalı için iyi sonuçları elde edilebilmişlerdi.

KKO algoritmaları sürekli feromon güncelleştirmesine dayanması ile birlikte DARP için oldukça önemli hale gelmiştir. Müşterilerin dinamik olması sebebiyle yeniden hesaplamaların önemli olduğu problemde KKO bu açıdan oldukça önemli bir algoritmadır. Ayrıca stokastik müşteri taleplerini karşılamada farklı araç tipleri ile karşılanması ve birden fazla depodan faydalanılması durumu çözümü için de KKO algoritmalarından faydalandığında başarı oranının yüksek olduğu görülmektedir (Gambardella ve diğ, 2003). Kapasite kısıtı bulunan araç rotalama problemi (KKARP) de KKO algoritmaları ile çözüme ulaşılmaya çalışılan başka bir alt problem olup sonuçların iç açıcı olduğu görülmüştür.

ARP için KKO algoritmaları kullanıldığında 50 noktaya kadar KKO algoritmasının iyi sonuç verdiği görülmüştür. Bunun sebebi ise diğer sezgisellere göre sürekli yerel ve global güncellemeler yapıyor olmasıyla dinamik koşulları göz ardı etmiyor olmasından dolayıdır (Mazzeo ve Loiseau, 2004).

6.4.2. Gezgin satıcı problemi

Gezgin satıcı problemi, önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi seyahat eden bir satıcının ve bu satıcının gezdiği şehirleri en ucuz maliyetle gezerek turunu önce uğradığı yere uğramadan bitirmesi olarak adlandırılan bir optimizasyon türüdür. Yıllar geçtikçe problemdeki önemli nokta olan gezilecek şehir sayısındaki artışın problemin zorluğunu artırdığı ve problemi daha kompleks hale getirdiğidir (Dalkılıç ve Türkmen, 2003).

Bu problem türünde KKO uygulama ve bu algoritma ile çözme nedenleri Dorigo ve diğ. (1999) şu şekilde bir liste yaptıkları görülmektedir:

- Diğer sezgisel çözüm yöntemlerine nazaran karınca kolonisi optimizasyonun uygulanabilirliğinin daha kolay olması,
- Gezgin satıcı probleminin şehir sayılarındaki artışla kombinatorik olarak çok zor bir problem haline dönüşmesi,

- Kombinatorik problemler içerisinde en çok çalışılan olmasından dolayı problemle alakalı bilgi birikimin fazla oluşu,
- Gezgin satıcı probleminin ifade edilmesinin kolay olmasından dolayı sezgisel algoritmalarla yatkın olması

Bu problem çeşidiyle ilgili KKO algoritması çözümlerinde çıkan sonuçlar, mevcuttaki en iyi çözümlerle mukayese edildiğinde KKO algoritmalarının daha az şehir sayısına (30-75 arası şehir) sahip problemlerde en iyi çözüme ulaştığı vurgulanmış, öte yandan büyüyen sayılarda performansta düşüklükler meydana geldiği de belirtilmiştir (Dorigo ve diğ, 1999).

6.4.3. Kuadratik atama problemi

Genel anlamda n adet faaliyetin n adet yere en iyi şekilde dağıtılmasını konu alan kuadratik atama problemleri gezgin satıcı problemlerinden sonra KKO algoritmalarının sıkça uygulandığı bir problem çeşididir. Genel kullanım alanlarının başında üniversite kampüs bina yerleşimleri, hastane bölümlerinin düzeni ve elektrik devrelerindeki minimum tel uzunluğunun sağlanması gibi konulara uygun olan bu problem tipinde $n \times n$ boyutunda, yerleşkeler arası uzaklıkların, yerleşkeler arası aktivitelerin akışının ve de lineer atama maliyetlerinin bulunduğu üç adet matris olması sebebiyle çözüm için sezgisel yöntemler kaçınılmaz olmaktadır (Maniezzo ve Colomi, 1999). Gambardella ve diğ. (1999) çalışmasında kuadratik atama problemlerinin zorluğunun gezgin satıcı problemi ile mukayese ettiğinde 20 kat daha fazla olduğunu belirtmiştir.

KKO algoritmasının, özellikle karınca sistemi algoritma tekniğinin uygulanmasıyla beraber problem için oldukça kolaylık sağlandığı ve en iyi çözümlere ulaşıldığı da Dorigo ve diğ. (1996) tarafından belirtilmiştir.

6.4.4. Atölye tipi çizelgeleme problemi

Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi, sonlu sayıda m tane tezgahta işlenmek üzere n adet sonlu sayıdaki işi belirli kapasite sınırlarını gözeterek atama işlemidir. KKO algoritmaları ile yapılan bu atama problemlerinde ise 15×15 (makine x tezgah) boyutlu problemlerde uygulanarak en iyi değerin %10'dan fazla olmayan sapmalara

ulaşılabilmektedir. Bu sonuçların iyi olmamasına rağmen uygulamada öncü görevi göreceği şeklinde değerlendirmeler yapılmıştır (Dorigo ve diğ, 1996).

6.4.5. Çizelge boyama problemi

Çizelge boyama uygun kısıtlara göre bir Çizelgedeki uygun nesnelere renklerin atanarak boyanmasıdır. Bahsedilen kısıtlara bakıldığında ise, komşu iki köşenin aynı rengi paylaşmayacak şekilde bir Çizelgenin boyanması şeklinde ifade kendine yer bulmaktadır. U problemde KKO algoritmalarından iki farklı olanı önerilerek problemin çözümü için uygulanmıştır. Bunlardan biri her karınca yapısal bir sezgisel varlık olduğu ve bir köşe seçmeye ve onu boyamaya bağımlı olduğu, diğeri ise her karınca yapısal bir sezgisel oluşum yerinde yerel arama olduğudur. Sonuçta ise bu problem için ikinci algoritmadaki başarının oldukça yüksek başarı seviyelerinde sonuçlar verdiği görülmüştür (Hertz ve Zufferey, 2006).

6.5. Karınca Kolonisi Optimizasyonu İçin Gerekli Bilgiler

KKO için hangi algoritmasına ait olursa olsun, belirli parametre, değişkenler ve denklemler kullanılır. Bu parametre, değişken ve denklemler algoritmaların özelinde daha öncesinde belirtildiği üzere farklılık gösterse de birçok aşamada aynıdırlar. Tüm algoritmalar için ortak olan başka bir durum ise algoritmanın yapısıdır.

Algoritma ilk olarak belli verilere ihtiyaç duyar. Verilerin oluşturulması ile KKO algoritmaları başlar. Verilerin oluşturulmasının ardından turların oluşturulması ve karıncaların bu turlara ataması yapılır. Bu şekilde KKO algoritması kurulur ve geriye iterasyonun başlaması kalır. İterasyon başlamadan sonlandırma prosedürü belirtilir ve buna göre hangi algoritmada çalışma yapılacaksa feromon güncellemeleri yapılır. Bu şekilde algoritma tarafından optimum sonuç elde edilene kadar çözüm arayışı başlar.

6.5.1. Kullanılan notasyonlar

KKO meta-sezgiselinde başlıca kullanılan tanımlamalar ve formüller nerdeyse tüm problem çeşitleri için temel olarak aynıdır. Devam eden liste kullanılan değişkenler, parametreler, diğeri notasyonlar ile denklemleri kapsamaktadır.

i ve j : Her bir şehir (istemlerin gerçekleştiği yerler)

m	: karınca sayısı
n	: şehir sayısı
τ_{ij}	: i'den j'ye giderken bırakılan feromon miktarı
τ_{max}	: MMKS için kullanılan maksimum feromon miktarı
τ_{min}	: MMKS için kullanılan minimum feromon miktarı
M^k	: k karıncasının hafızası
ρ	: karıncalara ait feromonlarını buharlaşma oranı
γ	: KKS algoritması için yerel (lokal) feromon güncellemesi parametresi
N_i^k	: i. şehirdeyken k karıncanın daha uğramadığı şehirlerin oluşturduğu küme
L_k	: k karıncanın turunun uzunluğu
p_{ij}^k	: k karıncasının i'den j'ye gitme olasılığı
α ve β	: sezgisel parametreler
η_{ij}	: i'den j'ye sezgisel değer
d_{ij}	: i ve j arası mesafe
A^e	: Elitist karıncalarda feromon korunumu için kullanılan parametre
p_{dec}	: MMKS için feromon ile sınırlandırılan karıncaların en iyi yola sahip rota için yollara karar verme olasılığı

6.5.2. Verilerin oluşturulması

Şekil 6.11 verilerin nasıl oluşturulup çözüme başlanması gerektiğini gösteren görseldir. Verilerin oluşturulması kısmında ise asıl vurgulanmak istenen, istemlerin geldiği noktalar arası uzaklıklardır. Koordinat düzleminde veya uzaklıkların olduğu bir matris şeklinde belirtilebilen mesafe verilerin ardından bir diğer önemli husus ise başlangıç feromon miktarıdır. Başlangıç feromon miktarının da girdi olarak sisteme dahil edilmesi gerekir. Mesafeler ile ters orantılı olan sezgisel değerlerin de feromonlar ile çarpılması sonucu olasılıklara ait verilerde algoritmaya belirtilmiş olacaktır. Sıralı işlemler halinde devam eden satırlarda verilerin yapısının da nasıl olacağı belirtilmiştir.

```

integer dist[n][n]           % uzaklık matrisi

integer nn_list[n][nn]       % en yakın komşu listesinin bulunduğu matris

real   pheromone[n][n]      % feromon matrisi

real   choice_info[n][n]    % feromon ve sezgisel bilgilerin kombini
% karınca verilerinin gösterimi

structure single_ant / multiple_and / colony

begin

    integer tur_uzunluk         % karıncanın tur uzunluğu

    integer tur[n+1]          % turlara ait karıncanın hafızasında
    tuttuğu bilgi

    integer ziyaret edilen[n]  % ziyaret edilen şehirler

end

```

Şekil 6. 11: Verilerin tiplerini gösteren görsel, Dorigo ve Stützle, (2004)'ten uyarlanmıştır.

Mesafelerin olduğu matris $n \times n$ boyutunda bir matris olmaktadır. En yakın komşu matrisinde ise her şehir için bir sonraki gidilecek şehrin seçiminin yapılabilmesi amaçlı artan mesafe değerine göre listelenmiş hali söz konusudur.

Feromon matrisinde ise durum mesafe matrisi şeklinde olmaktadır. $\tau_{ij}^k = \tau_{ji}^k$ ise ortaya yine $n \times n$ şeklinde matris çıkmaktadır. $n \times n$ şeklindeki matrisin i 'den j 'ye ve j 'den i 'ye mesafelerin eşit olduğu anlamına geldiğini belirtmek gerekmektedir.

Sezgisel değer matrisi ise olasılıklarla belirlenen durumu belirtir yani bir sonraki adımda hangi yolun seçileceği durumudur. $[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta$ değerlerini içinde bulunduran matris olan *choice_info* matrisi de problemdeki veri yapısının son adımıdır.

6.5.3. Turların oluşturulması

Karıncaların bir sonraki yeri seçme olasılıklarının var olduğu ve bunun iterasyon devamlılığı için şart olduğu hususu mevcuttur. Denklem 6.3'de bir iterasyonda

karıncaların bir sonraki adım için hangi yolları seçeceklerinin bulunduğu olasılık matrisi için p_{ij}^k algoritmalar için temel oluşturduğu gösterilmektedir.

$$p_{ij}^k = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N_i^k} ([\tau_{il}]^\alpha [\eta_{il}]^\beta)} \quad j \in N_i^k \quad (6.3)$$

Denklem içinde bulunan sezgisel değer olan η_{ij} ise denklem 6.4 ile ifade edilmektedir.

$$\eta_{ij} = 1 / d_{ij} \quad (6.4)$$

Görüldüğü gibi sezgisel değer mesafeler ile ters orantılı olarak değişmektedir. Mesafe arttıkça sezgisel değer küçülmekte ve bu da o yolun tercih edilirliliğini düşürdüğünden algoritma çalışma prensibi olarak araç rotalamaya uygunluğunu göstermektedir. Denklem 6.3'te N_i^k içinde yer almayan j parametresi seçilirse de olasılık 0 (sıfır) olarak karşımıza çıkmaktadır. (i, j) yollarının oluşturulup değerinin artışı ise feromon iziyle (τ_{ij}) ve sezgisel değer (η_{ij}) ile alakalıdır. Bakıldığında α ve β parametreleri bakıldığında $\alpha = 1$ durumunda en yakın şehrin seçileceği bilgisi kesinlik taşımaktadır ve lokal arama algoritmalarında ise bu şekilde olduğu kabul edilmektedir. β parametresi ise sezgisel değer ne kadar önemli olduğu vurgusunu yapmaktadır. Öte yandan $\beta=0$ olursa feromon artırma oluşacaktır ve sadece feromon kullanılacağından herhangi bir sezgisellik kalmayacaktır. Ayrıca $\alpha>1$ durumunda hızlı çözümler ortaya çıkacak, zaman içerisinde duraganlık söz konusu olacaktır ve aynı turların tercih edilir olduğu durumlar yaratılacaktır. Çizelge 6.4 Dorigo ve Stützle (2004) tarafından KKO'nun farklı algoritmalarında kullanılan değerleri göstermektedir.

Çizelge 6. 4: KKO algoritmasında kullanılan değerler, Dorigo ve Stützle, (2004)'ten uyarlanmıştır.

KKO Algoritması	α Değeri	β Değeri	ρ (feromon buharlaşma oranı) değeri	m (karınca adedi) değeri
EKS	1	[2, 5]	0.1	n (şehir sayısı)
KKS	-	[2, 5]	0.1	n (şehir sayısı)
MMKS	1	[2, 5]	0.1	n (şehir sayısı)

Her bir karınca M^k şeklinde hafızaya sahip olup bu sayede hali hazırda ziyaret ettiği şehirleri tekrar ziyaret etmeyecektir. Bu şekilde denklem 7.2’de gösterilen N_i^k içinde çözüm bulunabilecektir. Burada daha öncede belirtilen sözde-rastlantısal orantılı geçiş kuralına göre k karıncasının bir sonraki noktayı (i ’den j ’ye) seçmesi ise denklem 6.3 ile belirtilmiştir.

6.5.4. Feromon güncellemesi denklemleri

Tüm karıncalar turlarını oluşturduğunda feromon güncellemesi yapılır. Bu işlem ilk olarak tüm rotalardaki arkların sabit bir sayı ile azaltılmasıyla başlar ve sonrasında karıncaların geçtiği rotalar üzerinde ekleme yapılarak devam eder. Buradaki asıl kısım feromon buharlaşma durumudur. Denklem 6.5 buharlaşma olayını göstermektedir.

$$\tau_{ij} = (1 - \rho) \tau_{ij} + \rho \tau_0 \quad \forall (i, j) \in \quad (6.5)$$

Denklem 6.5’e göre ρ değeri $0 < \rho \leq 1$ eşitsizliğiyle buharlaşma değeri olarak sistemde yer almaktadır. Bu değer ile sınırsız birikmelerin önüne geçilerek kötü tercihlerin yani iterasyondaki çözümden uzak adımların unutulmasının sağlar. Feromon azaltılması sayesinde de tercih edilmeyen yollar iterasyon içerisinde üssel bir şekilde azalacaktır. Ayrıca dikkat edilmesi gereken nokta ise başlangıçta belirlenen feromon miktarının da buharlaşma katsayısı ile çarpılıyor olmasıdır. Diğer algoritmalara nazaran bu şekilde feromon güncelleme işlem sayısı oldukça düşük göstermektedir.

Belirtildiği üzere en iyi tura sahip karıncanın bilgilerinin saklanıp kullanılarak oluşturulan KKS’de feromon miktarı bu karıncaya göre şekillenerek güncellenir. Global feromon koruma olarak da nitelendirilmektedir. Denklem 6.6 bu durumu formülize etmektedir.

$$\tau_{ij} = (1 - \rho) \tau_{ij} + \rho / CostBest, \quad \forall (i, j) \in CostBest \quad (6.6)$$

ρ daha öncede söylendiği gibi buharlaşma katsayısı olup sıfır ile bir arasında değişmektedir. Burada yeni bir kavram olan $CostBest$ ise en iyi sonuca sahip karıncanın toplam seyahat uzunluğunu ifade etmektedir. En iyi sonuç ise algoritmanın başlamasından itibaren üretilen en iyi sonucu ifade etmektedir.

Son olarak bahsedilmesi gereken KKS’de kullanılan yerel feromon güncellemesi eşitliğidir. Turların oluşumu esnasında o anda güncelleştirme yapılması olarak da belirtilebilir. Denklem 6.7 yerel feromon güncellemesini göstermektedir.

$$\tau_{ij} = (1 - \gamma)\tau_{ij}^{old} + \gamma\tau_0 \quad (6.7)$$

Burada γ , $0 < \gamma < 1$ şeklinde bir parametredir. τ_{ij}^{old} değişkeni önceki çözüme ait feromon miktarıdır. Değer konusunda ise, yapılan deneysel çalışmalara göre 0.1 alınması durumunda oldukça başarılı sonuçlar ortaya çıkardığıdır. Bu şekilde hem yerel hem global feromon güncellemeleri yapılabilir ve bu sayede de istenilen optimum çözümün sağlanacağı rota oluşturma keşfi daha aktif ilerler. Ayrıca Dorigo ve Gamberalla bu sayede de sürekli optimum aramaların yapılarak algoritmada kısa zamanda yakınsam (aynı yolu tekrar tekrar seçme) olmayacağını dile getirmiştir (2004). EKS’de ise feromon güncellemesi için daha öncede belirtildiği üzere en iyi karıncanın seçiminin yapılması ile feromon güncellemesi yapılır. Bunun için A^e şeklinde (0,1) aralığında parametre tanımlaması ile süreç başlar ve denklem 6.8 ile gösterilmiştir.

$$\Delta\tau_e(t) = A^e * Q/L'(t) \quad (6.8)$$

L en kısa rotanın uzunluğunu belirtir. Bu şekilde elitist karıncanın feromon güncellemesi yapılarak algoritmaya dahil olur. MMKS’de ise bahsedilen denklemlere ek olarak bazı denklemlerden de bahsetmek gerekir. Feromon güncellemeleri için daha önceden de bahsedildiği üzere τ_{max} ve τ_{min} denklemleri kullanılır. Bunların kullanılması için denklem 6.9 ve 6.10 önem arz etmektedir.

$$p_{dec}^n = \tau_{max} / (\tau_{max} + (avg. - 1) * \tau_{min}) \quad (6.9)$$

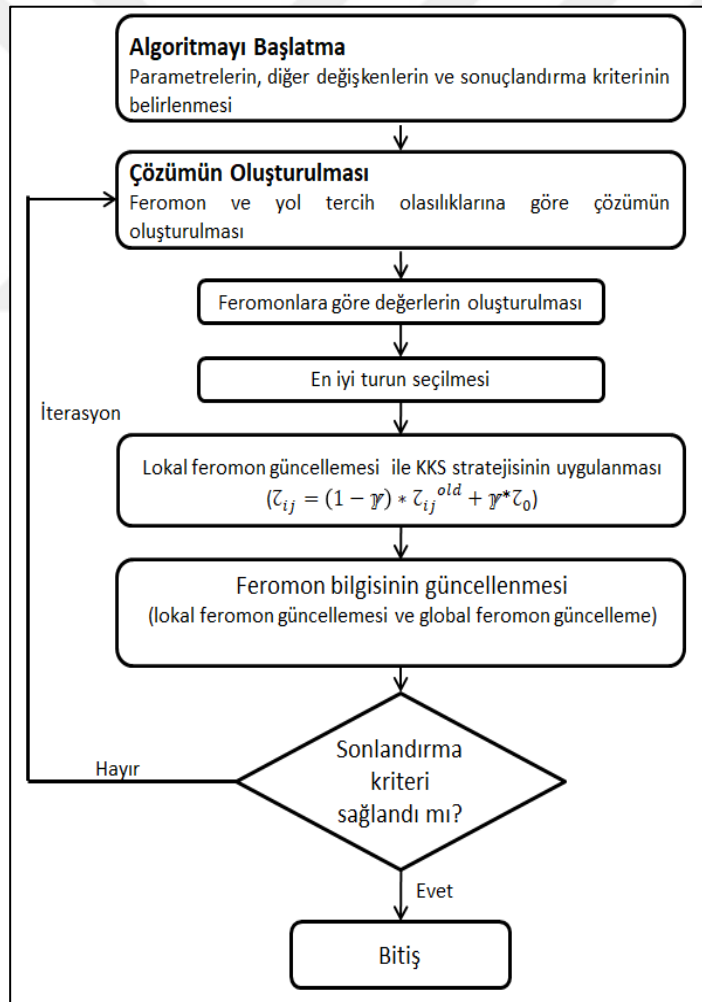
p_{dec}^n τ_{max} ve τ_{min} limitleri arasındaki seçilen karıncanın n defada en iyi yolu seçme olasılığı olarak tanımlanmaktadır. Bu eşitlik ise en iyi kararı verme olasılığı seçme olasılığı cinsinden yazıldığında denklem 6.10 oluşmaktadır.

$$p_{dec}^n = (p_{best})^{1/n} \quad (6.10)$$

Bu denklemde önem arz eden husus ise p_{best} değeridir. Eğer $p_{best}=1$ olursa $\zeta_{min} = 0$ olacaktır. Öte yandan çok küçük değer seçilmesi takdirde de $\zeta_{min} > \zeta_{max}$ olabilmektedir (Stützle ve Hoos, 2000).

6.5.5. Çözüm için akış şeması

KKO uygulamasında; tanımlamalar, verilerin tanıtılması, turların oluşturulması ve feromon denklemlerinin ardından bilinmesi gereken izlenecek prosedürdür. Algoritma yapısını akış şeması halinde gösteren prosedürler uygulamaya geçebilme de yardımcı olacak yapılardır. Uygulama da kullanılacak algoritma için hazırlanmış olan akış şeması Şekil 6.12, gösterilmiştir. KKS yöntemi ile çözüme kavuşturulacak olan algortimanın akış şeması çözümün nasıl yapılacağı konusunda yönlendirici ve bilgilendirici bir görseldir.



Şekil 6. 12: KKS için işlem akış şeması, Quaddi ve diğ. (2018)’den uyarlanmıştır.

7. AFET LOJİSTİĞİ İÇİN ARP UYGULAMASI

Araç rotalama problemi için yapılacak uygulama alanı seçiminde öncesinde de belirtildiği gibi afet lojistiği kapsamında olacaktır. Afet lojistiği için yapılacak araç rotalama faaliyetleri için çözüm yöntemi de KKO algoritması kullanılacaktır. Önceki bölümlerde bahsedilen risk analizini uygulayabilmek için de iki adımlı optimizasyon uygulanacaktır. İki adımlı optimizasyonu hatırlamak gerekirse, önce en kısa mesafeleri veren rotalardan oluşan belli bir küme oluşturulacak ve bu kümeye de risk değerlendirmesi kısıtı eklenecektir.

Bu kapsamda elde edilen veriler ile İstanbul Avrupa yakası için ilçe merkezlerinde bulunan afet toplanma noktalarına afet depolarından götürülecek hizmet için rotalama faaliyeti yapılacaktır. Afet sonrası senaryoları için zarar görenlerin, zarar görmesi muhtemel olanların veya acil yardım götürülmesi gereken kişilerin yardıma en kısa süre içinde ulaşabilmesi en önemli husus olduğu daha önceden de belirtilmiştir. Bu hizmet kapsamında en kısa mesafeli yollardan optimum zamanda toplanma merkezine ulaşma olduğu belirtilmiştir. Bu kapsamda en kısa yollardan oluşan rotaların kullanılarak hizmetin ihtiyaç sahiplerine götürülmesi gerekmektedir. Önemli kısım depodan çıkan araçların bir ilçe merkezine gittiğinde, bunun yanı sıra tüm ihtiyaç sahibi bölgelere de hizmetini götürülebilmesidir. Bu kapsamda SARP ele alınarak KKO ile çözüm sağlanmaya çalışılacaktır. Ayrıca edinilen bilgiye göre depodan eş zamanlı çıkan araçlar rotalarını tamamlayıp geri dönüşünü gerçekleştirmektedirler. Edinilen bir başka bilgi ise araç sayılarının olası bir afet senaryosunda anında artırılabilir bir şekilde planlandığıdır. Bu sebeple yardım hizmetinin tüm ilçelere yeteceği varsayımı yapılmıştır. Bununla beraber kapasite kısıtsız araç rotalama söz konusu olmaktadır. Tüm bu faaliyetler gerçekleştirilirken ve afet senaryolarından bahsederken en düşük riskli yolların seçilmesi de önemlidir. Riskin fazla olduğu yollar istenmeyen sonuçları ortaya çıkaracak ve yardım faaliyeti de aksayabilecektir.

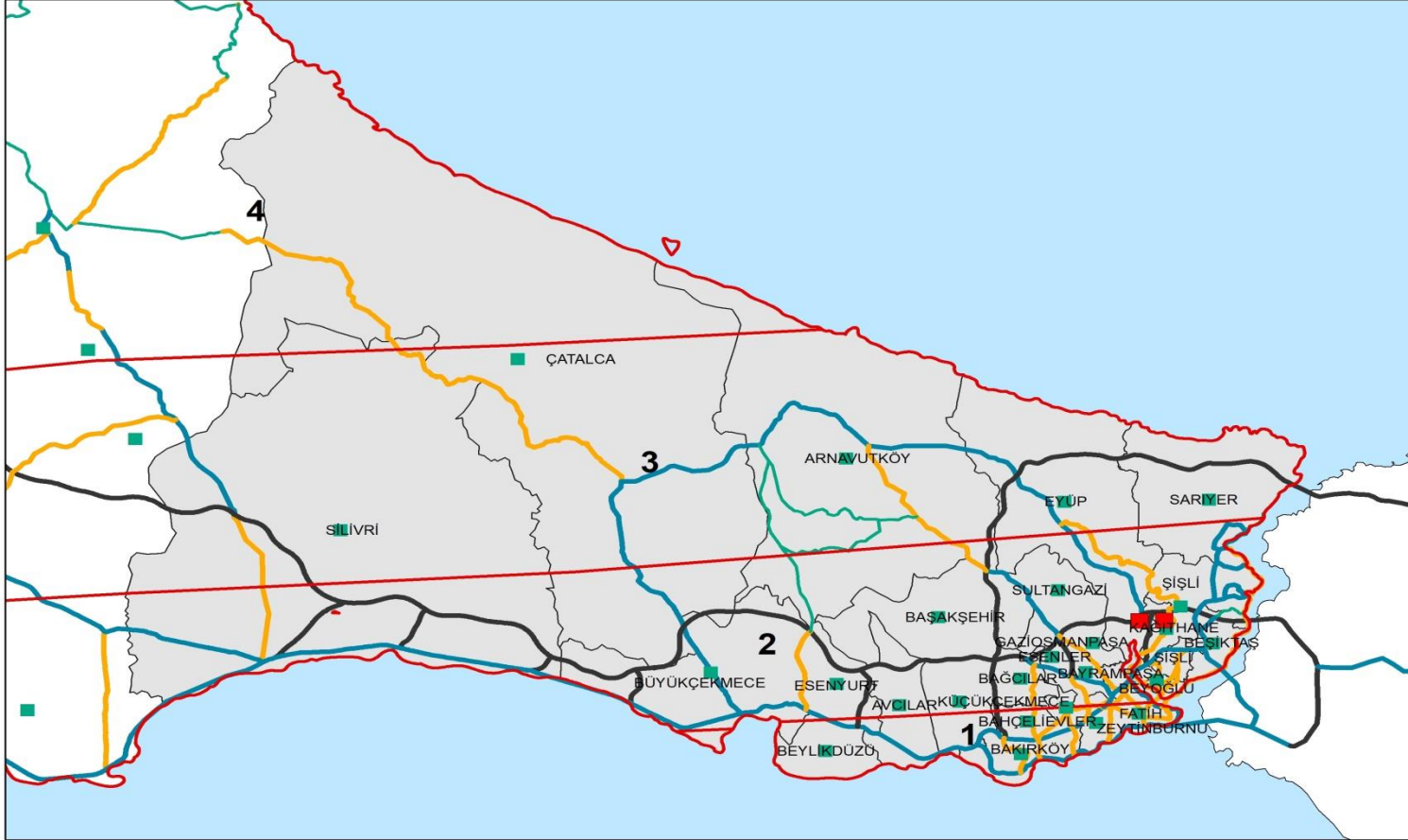
Problemin yapısına bakıldığında uygulama alanına ait 25 adet istem bölgesi (ilçe toplanma merkezi) bulunmaktadır. Bu 25 istem bölgesine 2 adet yardım deposundan

hizmet götürülebilmektedir. Bu mevcut bilgiler AFAD'tan elde edilmiştir. Şekil 7.1'de ilçe merkezleri ve depoların konumu görünmektedir. Çizelge 7.1 ise uygulamada bulunan 25 ilçe merkezini liste halinde göstermektedir. Bu istem bölgelerine yapılacak araç rotalama faaliyeti için mesafelere ihtiyaç duyulmaktadır. Mesafelerin bulunduğu veriler ise Çizelge 7.2'de bulunmaktadır.

Çizelge 7. 1: Uygulamadaki durakların (istem yerlerinin) listesi.

Sıra	İlçe	Sıra	İlçe	Sıra	İlçe
1	Arnavutköy	11	Büyükçekmece	21	Sarıyer
2	Avcılar	12	Çatalca	22	Silivri
3	Bağcılar	13	Esenler	23	Sultangazi
4	Bahçelievler	14	Esenyurt	24	Şişli
5	Bakırköy	15	Eyüp	25	Zeytinburnu
6	Başakşehir	16	Fatih		
7	Bayrampaşa	17	Gaziosmanpaşa		
8	Beşiktaş	18	Güngören		
9	Beylikdüzü	19	Kâğıthane		
10	Beyoğlu	20	Küçükçekmece		

25 ilçeye yapılacak olan araç rotalama için kullanılan 2 adet depo olduğu da söylenen bilgiler arasındaydı. Bu iki deponun ise Çizelge 7.2'de mesafeler matrisinde tüm ilçelere olan mesafeleri belirtilmiştir. Bahsi geçen bu iki depo adları Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı İstanbul Şubesi (AFAD) ve Afet Koordinasyon Merkezi (AKOM) şeklinde olduğu görülmektedir. AFAD ve AKOM yardım depolarına ve araçlarına sahip yapıda kuruluşlar olduğundan çalışmanın bu kısmından itibaren depo olarak adlandırılacaklardır. Şekil 7.1'de ilçe İstanbul Avrupa yakası il sınırları, ilçe merkezleri, AFAD ve AKOM depoları, deprem kuşakları ve ana arter yollar gösterilmiştir. Rakamlarla belirtilen (1, 2, 3 ve 4 numaralı) ve kırmızı çizgilerle bölünmüş aralıklar deprem kuşaklarını göstermektedir. Kırmızı kare kutular ile batıdan doğuya olacak şekilde sırasıyla AFAD ve AKOM temsil edilmektedir. İlçe merkezleri yeşil kutular ile gösterilmiş, diğer hatlar ise ana arter yolları ifade etmektedir. Ana hatları ile uygulama alanı bu şekilde tanımlanabilmektedir. Şekil 7.1 ve Çizelge 7.2 uygulama alanı için bilgilendirici olduğu düşünülen iki temel husustur.



Şekil 7. 1: Uygulama alanındaki durakların (istem yerlerinin) harita üzerinde gösterimi.

Çizelge 7. 2: Birimi km olan uygulamada kullanılacak mesafeler matrisi.

	Depo 1 (AKOM)	Depo 2 (AFAD İst.)	1. Arnavutköy	2. Avcılar	3. Bağcılar	4. Bahçelievler	5. Bakırköy	6. Başakşehir	7. Bayrampaşa	8. Beşiktaş	9. Beylikdüzü	10. Beyoğlu	11. Büyükçekmece	12. Çatalca	13. Esenler	14. Esenyurt	15. Eyüp	16. Fatih	17. Gaziosmanpaşa	18. Güngören	19. Kâğıthane	20. Küçükçekmece	21. Sarıyer	22. Silivri	23. Sultangazi	24. Şişli	25. Zeytinburnu
Depo 1 (AKOM)		3,1	27	32	19	20	17	25	16	12	38	9	44	58	14	31	5,4	12	7,9	15	3,7	25	15	73	13	6,2	14
Depo 2 (AFAD İst.)	3,1		24	31	16	20	20	22	14	20	35	16	40	55	11	28	10	18	6,3	17	10	26	23	70	11	14	19
1. Arnavutköy	27	24		34	22	30	35	13	24	38	31	35	31	43	22	27	45	28	21	28	32	29	41	69	18	35	28
2. Avcılar	32	31	34		18	14	17	21	21	32	11	27	17	34	28	12	17	22	30	18	30	7,2	44	47	30	29	18
3. Bağcılar	19	16	22	18		6,1	10	20	9,2	23	26	18	33	80	8,2	20	15	13	12	5,5	20	12	29	64	12	23	13
4. Bahçelievler	20	20	30	14	6,1		6	24	11	23	23	17	29	46	9,8	27	14	12	17	4,7	20	8,5	34	59	16	20	8,7
5. Bakırköy	17	20	35	17	10	6		23	8,2	20	27	14	32	48	15	26	15	8,3	14	5,4	17	11	31	63	25	17	5,7
6. Başakşehir	25	22	13	21	20	24	23		18	35	24	20	30	44	17	17	23	22	21	19	29	16	38	60	18	29	22
7. Bayrampaşa	16	14	24	21	9,2	11	8,2	18		16	31	12	35	50	4,3	23	9,2	7	6	6,6	15	19	28	65	14	13	8,2
8. Beşiktaş	12	20	38	32	23	23	20	35	16		38	6	45	62	16	36	12	9,6	13	15	5,7	24	17	74	20	4	13
9. Beylikdüzü	38	35	31	11	26	23	27	24	31	38		33	10	31	29	9,9	34	28	31	24	36	12	48	44	32	35	24
10. Beyoğlu	9	16	35	27	18	17	14	20	12	6	33		41	58	12	37	7,9	5,7	9,8	11	7,2	21	22	72	18	5,8	7,9
11. Büyükçekmece	44	40	31	17	33	29	32	30	35	45	10	41		20	36	11	40	35	39	31	43	20	55	33	40	42	32
12. Çatalca	58	55	43	34	80	46	48	44	50	62	31	58	20		47	33	56	51	50	51	58	39	67	27	50	58	51
13. Esenler	14	11	22	28	8,2	9,8	15	17	4,3	16	29	12	36	47		21	8,2	8,3	5,4	5,3	14	19	27	63	13	13	7,9
14. Esenyurt	31	28	27	12	20	27	26	17	23	36	9,9	37	11	33	21		30	27	26	24	34	17	43	43	26	34	28
15. Eyüp	5,4	10	45	17	15	14	15	23	9,2	12	34	7,9	40	56	8,2	30		6	6,6	10	8,3	19	21	70	15	7,5	8
16. Fatih	12	18	28	22	13	12	8,3	22	7	9,6	28	5,7	35	51	8,3	27	6		7,7	7	9,9	17	25	68	17	8,7	5,1
17. Gaziosmanpaşa	7,9	6,3	21	30	12	17	14	21	6	13	31	9,8	39	50	5,4	26	6,6	7,7		10	10	21	22	70	9	9,4	9,2
18. Güngören	15	17	28	18	5,5	4,7	5,4	19	6,6	15	24	11	31	51	5,3	24	10	7	10		15	12	30	64	17	14	5,1
19. Kâğıthane	3,7	10	32	30	20	20	17	29	15	5,7	36	7,2	43	58	14	34	8,3	9,9	10	15		23	16	74	18	2,8	12
20. Küçükçekmece	25	26	29	7,2	12	8,5	11	16	19	24	12	21	20	39	19	17	19	17	21	12	23		40	51	26	25	14
21. Sarıyer	15	23	41	44	29	34	31	38	28	17	48	22	55	67	27	43	21	25	22	30	16	40		85	30	17	27
22. Silivri	73	70	69	47	64	59	63	60	65	74	44	72	33	27	63	43	70	68	70	64	74	51	85		67	72	61
23. Sultangazi	13	11	18	30	12	16	25	18	14	20	32	18	40	50	13	26	15	17	9	17	18	26	30	67		20	18
24. Şişli	6,2	14	35	29	23	20	17	29	13	4	35	5,8	42	58	13	34	7,5	8,7	9,4	14	2,8	25	17	72	20		12
25. Zeytinburnu	14	19	28	18	13	8,7	5,7	22	8,2	13	24	7,9	32	51	7,9	28	8	5,1	9,2	5,1	12	14	27	61	18	12	

7.1. Uygulamaya Ait Bilgiler

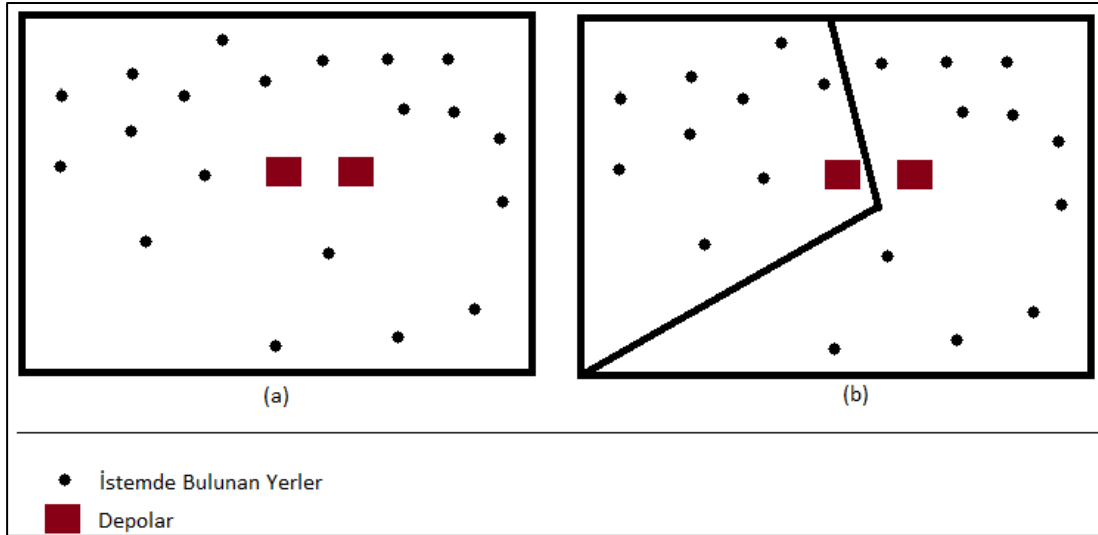
Uygulama esnasında iki adımlı optimizasyonun ilk adımının amaç fonksiyonu, iki deponun da kullanılarak tüm bölgelere afet sonrası bir durum için yardım hizmeti götürülmesi için toplam seyahat edilen mesafenin minimizasyonudur. Bunun için müşterilere birden fazla depodan yardım hizmeti götürülmektedir. Bu noktada literatür taramasında ÇDARP kapsamında anlatılan yaklaşımlardan birisi kullanılmalıdır. Kullanılacak olan yaklaşım ise depoların iki farklı hizmet noktası şeklinde ayrılarak hizmet vermeye çalışan sistemler olarak ele alınmasıdır. Bu sebepten dolayı bir bölgenin (ilçe merkezi) talebi sadece bir depodan tedarik edilebilir yani bir bölgenin birden fazla depodan yardım hizmeti görmesi söz konusu değildir. Ayrıca her bölgenin talepleri bir kerede karşılanması gerekmektedir yani talebinin bölünmesi veya parça parça karşılanması söz konusu değildir. Bunun anlamı da bölünebilir olmayan bir araç rotalama kullanılacağıdır. Her araç seyahata başladığı depoya geri döner ve bir araç birden fazla depodan yükleme yapamaz. Araçlar ilgili başka bir bilgi ise araçların tur esnasında arızalanmadığı, duraklama yapmadığı, rota esnasında araç yakıtının tükenmediği kabul edilmektedir. Bunu husus da iki farklı sistem olarak ele alınan probleminden kaynaklı oluşmuştur.

Problemle ilgili bahsedilmesi gereken husus ise depolarda bulunan ürün miktarı ve araç sayısının bölge taleplerini fazlasıyla karşılayacak durumda olmasıdır. Bu durumu araçların kapasitesi de tamamlayıcı özelliktedir. Her bölgenin talebi farklılık göstermemektedir ve bunun sebebi ise afet sonrası durumlarda yapılan yardımın aynı tür ve ölçekte olmasından kaynaklanmaktadır. SARP ile yapılacak uygulama bir yandan da ÇDARP özelliği gösterdiğinden çözüm için literatürden faydalanılarak önce bölgelerin gruplandırma işlemi, sonrasında rotalama işlemi yapılacaktır. Bunun için adımları net belirtmek gerekirse;

- İlk adımda bölgelerin depolara atanması,
- İkinci adımda rotalamanın yapılması şeklinde belirtilebilir.

Her ilçe merkezinin depolara atanması için literatürde bulunan kaynaklardan faydalanarak yapılmıştır. Her bölgeyi depoya en yakın olacak şekilde atama prosedürünü sağlayabilmeyi öneren Bompadre ve diğ. (2007) yakınlığa göre

atamalarını yapmışlardır. Şekil 7.2 literatürde bahsedilen atama prensibini göstermek amaçlı basitçe hazırlanmış bir görseldir. Görselin a kısmında atama yapılmamış şekilde bulunman sistemi, b kısmında ise atama ile depoların hizmet götüreceği istem yerlerini gösteren yapı mevcuttur.



Şekil 7. 2: Mesafe kısıtlığına göre yapılmış atamaları gösteren temsili yapı.

Bu çalışma kapsamında depoların konumlarından dolayı yakınlık durumunun göz önünde bulundurulmasının yanı sıra atanan istem yerlerinin yaklaşık aynı adette olması da istenmiştir. Şekil 7.3 ve 7.4 depolara atamalar sonucu oluşan yapıyı harita üzerinde göstermektedir. Şekil 7.3'te AKOM için atanan bölgeler ve Şekil 7.4'te ise AFAD için atanan bölgeler görülmektedir.

İkinci adıma geçildiğinde burada rotalama faaliyetinin yapılacağı belirtilmiştir. Rotalama yapılacak bölgeler oluşturulan atamalara göre yapılacaktır. İki farklı sistem oluşacağından rotalama için iki adet problem ele alınarak değerlendirmeler yapılacaktır. Çizelge 7.4 ise probleme atanan ilçeleri liste halinde göstermektedir. Çizelge 7.5 ve 7.6 ise atama yapılan bölgelerin uzaklık matrislerini sırasıyla AKOM ve AFAD depolarına göstermektedir.

Uygulama ile ilgili başka belirtilmesi gereken bilgiler ise kullanılan yollardır. Rotalama çerçevesince otoyollar, 1.derece bölünmüş yollar, 2. Derece bölünmüş yollar ve kent içi yollar (3. derece yollar) kullanılmaktadır. Rotalama esnasında ulaşım sağlandığı yollar bu ana arterlerden (otoyollar, 1.derece bölünmüş yollar, 2. Derece bölünmüş yollar) oluşmaktadır ve bu ana arterler sadece ilçe merkezlerine ulaşım için

kullanılmamaktadır. Bunun yerine kent içi ulaşın yolları kullanılmaktadır. Tüm bu yollara ait hız limitleri bilgileri elde edilmiş olup, bu verilere göre de sonuçların analizi tamamlanacaktır.

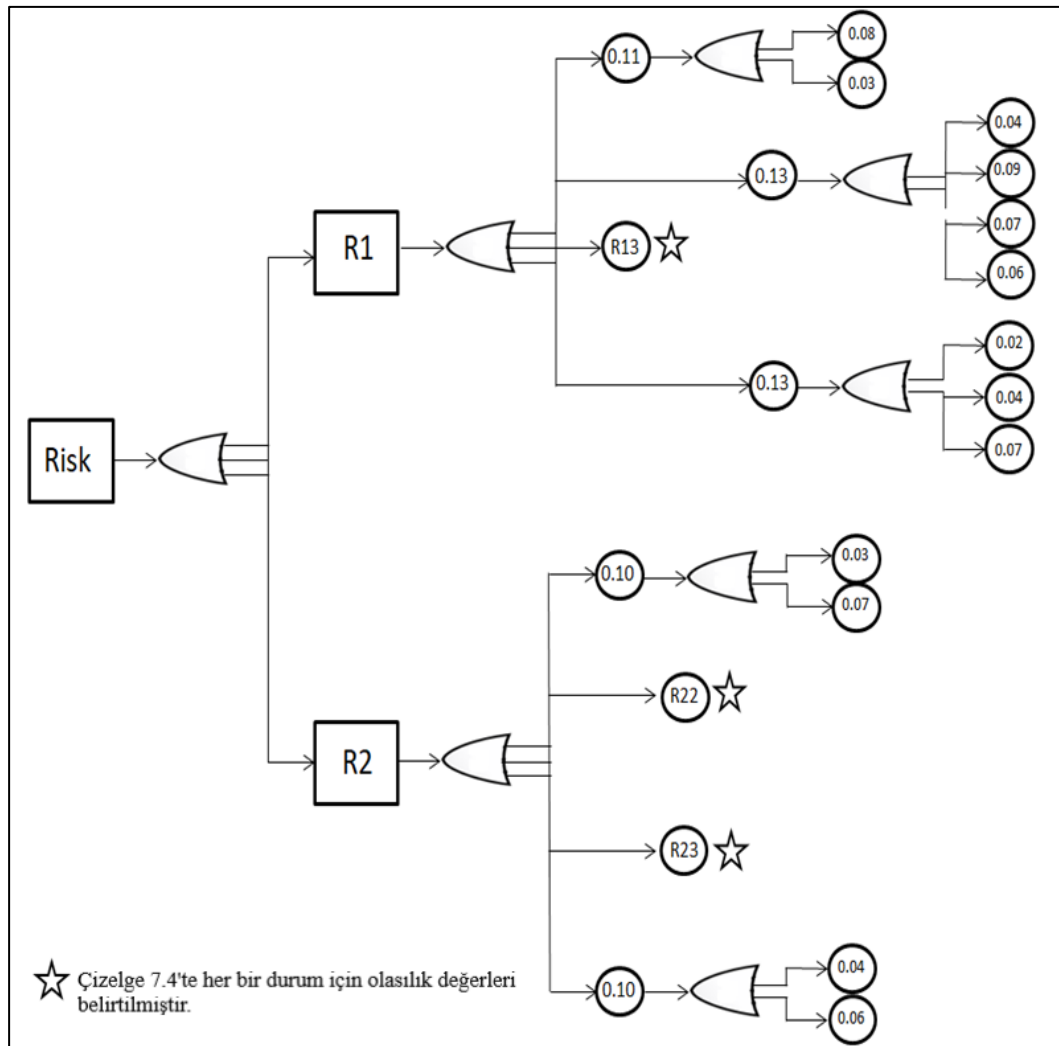
Bu noktada uygulama ile ilgili söylenmesi gereken özellik ise uygulama alanına ait kullanılan yollardaki hız limitleri ve bu limitlerin afet sonrasında azalabileceğidir. Afet sonrası durumunda acil bir yardım hizmeti söz konusu olduğundan araçların hız limitlerine uymayabileceği düşünülse de hız limitlerinin yolun uygunluk durumuna göre belirlendiği unutulmamalıdır. Çizelge 7.3'teki hız limiti verileri Karayolları Genel Müdürlüğünden (KGM) ve hız limitlerinin afet sonrası durum için azalacağı tahmini ise AFAD'tan elde edilmiştir. Bu hız verileri AFAD yardım araçlarının cinsine göre oluşturulmuştur. AFAD araçları kamyonet olup N1 ve N1G sınıflarını oluşturmaktadır.

Çizelge 7. 3: Yollardaki hız verileri, KGM ve AFAD verilerince uyarlanmıştır.

	Otoyollar	1.Derece Bölünmüş Yollar	2.Derece Bölünmüş Yollar	Kent İçi Yollar
Hız Limiti	95	85	80	50
Hızdaki Tahmini Azalma	%50	%60	%70	%80

Analiz için yapılan görüşmelerde elde edilen bilgilere, göre acil durumun söz konusu olmasından ve tek bir hız birimi kullanılmasını mümkün kılmak için araçların hızını tüm yollar için 85 km/sa alınmasının uygun olduğu kararlaştırılmıştır. Bu hız limitinin ise %50 'ye kadar azalma ise uygun görülen görüşlerdendir. Bu bilgiler ışığında problem çözümü yapıldıktan sonra oluşan rotalara bağlı olarak meydana gelen en kısa yollardaki seyahat süresi hesaplanması da sonuçların analiz kısmında, son aşama olarak yapılmasıyla uygulama tamamlanacaktır. Belirtilmesi gereken nokta, %50'ye varan hızdaki düşüşün sebebi olarak; trafik, afet ile beraber yollarda meydana gelen kazalar, afet sonrası oluşan kargaşa ve afet ile beraber yollarda meydana gelebilecek diğer aksaklıklar verilmektedir.

Bu kapsamda iki ayrı problem halinde ele alınan sistemde iki ayrı rota ve optimize edilmiş mesafeler oluşacaktır. Oluşan bu çıktıları da seyahat süresi ile tamamlayarak çalışmadaki hipotez kontrol edilecektir. Hipoteze ek olarak risk analize de eklenecektir. Risk analizi kapsamında HAA kullanılarak her bir yol için risk analizi yapılacaktır. Bu risk değerleri, ortalama sonucu oluşan rota setlerine eklenecek ve seçilmesi gereken rota sunulacaktır. Belirtilen risk analiz yönteminde, Şekil 7.4 esas alınacaktır. Şekil 7.4'te olasılık değerleri belirtilmemiş olan temel olaylar için kullanılacak olan risk değerleri ise Çizelge 7.4'te açıklanmıştır.



Şekil 7. 3: Çalışmada kullanılan HAA için faydalanılan olasılık değerleri, Derse ve Göçmen (2019)'dan olasılık değerleri uyarlanmıştır.

Risk analizinde elde edilecek olan rotalardan kurulacak olan ağın risk değerini belirlerken belirleyecek unsur olan temel olaylar R13, R22 ve R23 olaylarıdır. Bu değerler rotadaki her bir ilçe merkezi arasındaki yollara uygulanarak ana olayın risk

değeri hesaplanacaktır. Rotadaki her bir yolun risk değerlerinin toplamı ise rotanın toplam riskini oluşturacaktır. Belli seçenekler oluşan rotalara tek tek risk analizleri uygulandığında oluşan seçeneklerden optimum olan seçilerek risk değeri az ve toplam mesafenin en kısa olduğu rota oluşturulacaktır.

Çizelge 7. 4: Şekil 7.3 ile belirtilen temel olayların olasılıkları.

Risk Analizindeki Temel Olay Kodu	Açıklama	Olasılık Değeri
R13	Kullanılan yolun çevresindeki yerleşim yeri yoğunsa	0,08
	Kullanılan yolun çevresindeki yerleşim yeri ortalama yoğunsa	0,05
	Kullanılan yolun çevresindeki yerleşim yeri az yoğunluktaysa	0,03
R22	Eğer Haliç bölgesi üzerinde bulunan bir yol kullanılıyorsa	0,10
	Eğer İstanbul'daki göllerden biri üzerinden veya sahil yolundaki bir yol kullanılıyorsa	0,09
	Eğer kullanılan yol ilk iki maddeye girmeyen bir dere veya akarsu gibi bir yeri kullanıyorsa	0,07
	Yukarıda sayılanlar dışında bir yol rotada mevcutsa	0,02
R23	Kullanılan yol kent içi yolsa	0,11
	Kullanılan yol bölünmüş yolsa	0,06
	Kullanılan yol otoyolsa	0,02

Çalışmada rotaların risk değerleri denklem 7.1, 7.2, 7.3 ve 7.4 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Risk_{rota} = \sum_{i \in N} Risk_i \quad (7.1)$$

$$Risk_i = Risk_1 + Risk_2 \quad (7.2)$$

$$RISK_1 = 0,11(R11) + 0,13(R12) + R13 + 0,13(R14) \quad (7.3)$$

$$RISK_2 = 0,10(R21) + R22 + R23 + 0,1(R24) + R24 \quad (7.4)$$

Risk_i değeri rotanın toplam risk değerini, *i* değeri ise rota boyunca mevcut her bir yolu temsil etmektedir. R13, R22 ve R23 değerleri yolların durumlarına göre hangi olasılık sahipse, bunlar Çizelge 7.4’te gösterilmiştir. Diğer değerlerin karşılıkları bölüm 5’te açıklanmıştır. Bu risk değerlerinin olasılık değerleri de Şekil 7.3’te bulunmaktadır ve bu olasılık değerleri literatüre göre Şekil 7.3’e işlenmiştir.

Çizelge 7. 5: Oluşturulan problemlerin istem yerleri.

PROBLEMLER	ATANAN BÖLGELER
PROBLEM-1 (P1) (AKOM Deposuna Göre Yapılmış Atamalardan Oluşmaktadır.)	ARNAVUTKÖY BAŞAKŞEHİR BEŞİKTAŞ BEYOĞLU ÇATALCA EYÜP FATİH KAĞITHANE SARIYER SULTANGAZİ ŞİŞLİ
PROBLEM-2 (P2) (AFAD Deposuna Göre Yapılmış Atamalardan Oluşmaktadır.)	AVCILAR BAĞCILAR BAHÇELİEVLER BAKIRKÖY BAYRAMPAŞA BEYLİKDÜZÜ BÜYÜKÇEKMECE ESENLER ESENYURT GAZİOSMANPAŞA GÜNGÖREN KÜÇÜKÇEKMECE SİLİVRİ ZEYTİNBURNU

İstem yerlerinin birbirlerine olan uzaklıkları ise Çizelge 7.6 ve Çizelge 7.7.’de belirtilmiştir. Çizelge 7.6 ve 7.7’ye bakıldığında P1 ve P2 için tanımlanan istem yerlerinin (ilçe merkezlerinin) uzaklıklar matrisinin kilometre olarak olduğu anlaşılmaktadır. Buna göre tabloları anlama açısından bir örnek vermek gerekirse, AKOM’un Şişli ilçesine uzaklığının 6,2 km ve Arnavutköy ilçesine ise 27 km olduğu görülmektedir. Başka bir örnekte, Beşiktaş’ın AKOM’a uzaklığının 12 km, Çatalca’ya uzaklığının 62 km olduğu görülmektedir. Öte yandan AFAD’ın Esenyurt ilçesine uzaklığının 11 km, Silivri’nin AFAD’a uzaklığının 70 km olduğu örnekleri ile tablolar daha iyi anlaşılmaktadır. Buradaki önemli husus bu mesafeler matrisinin kuş uçuşu uzaklık olmadığı ana arter yollar üzerinden ulaşımın bu kadar km’ye denk geldiğidir.

Çizelge 7. 6: P1 için hazırlanmış km biriminden mesafeler matrisi.

	DEPO 1 (AKOM)	ARNAVUTKÖY	BAŞAKŞEHİR	BEŞİKTAŞ	BEYOĞLU	ÇATALCA	EYÜP	FATİH	KAĞITHANE	SARIYER	SULTANGAZİ	ŞİŞLİ
DEPO 1 (AKOM)		27	25	12	9	58	5,4	12	3,7	15	13	6,2
ARNAVUTKÖY	27		13	38	35	31	45	28	21	41	18	35
BAŞAKŞEHİR	25	13		35	20	44	23	22	29	38	18	29
BEŞİKTAŞ	12	38	35		6	62	12	9,2	5,7	17	20	4
BEYOĞLU	9	35	20	6		58	7,9	6	7,2	22	18	5,8
ÇATALCA	58	31	44	62	58		56	51	58	67	50	58
EYÜP	5,4	45	23	12	7,9	56		6	8,3	25	17	8,7
FATİH	12	28	22	9	6	51	6		9,9	25	17	8,7
KAĞITHANE	3,7	21	29	5,2	7,2	58	8,3	9,9		16	18	2,8
SARIYER	15	41	38	17	22	67	25	25	16		30	17
SULTANGAZİ	13	18	18	20	18	50	17	17	18	30		20
ŞİŞLİ	6,2	35	29	4	5,8	58	8,7	8,7	2,8	17	20	

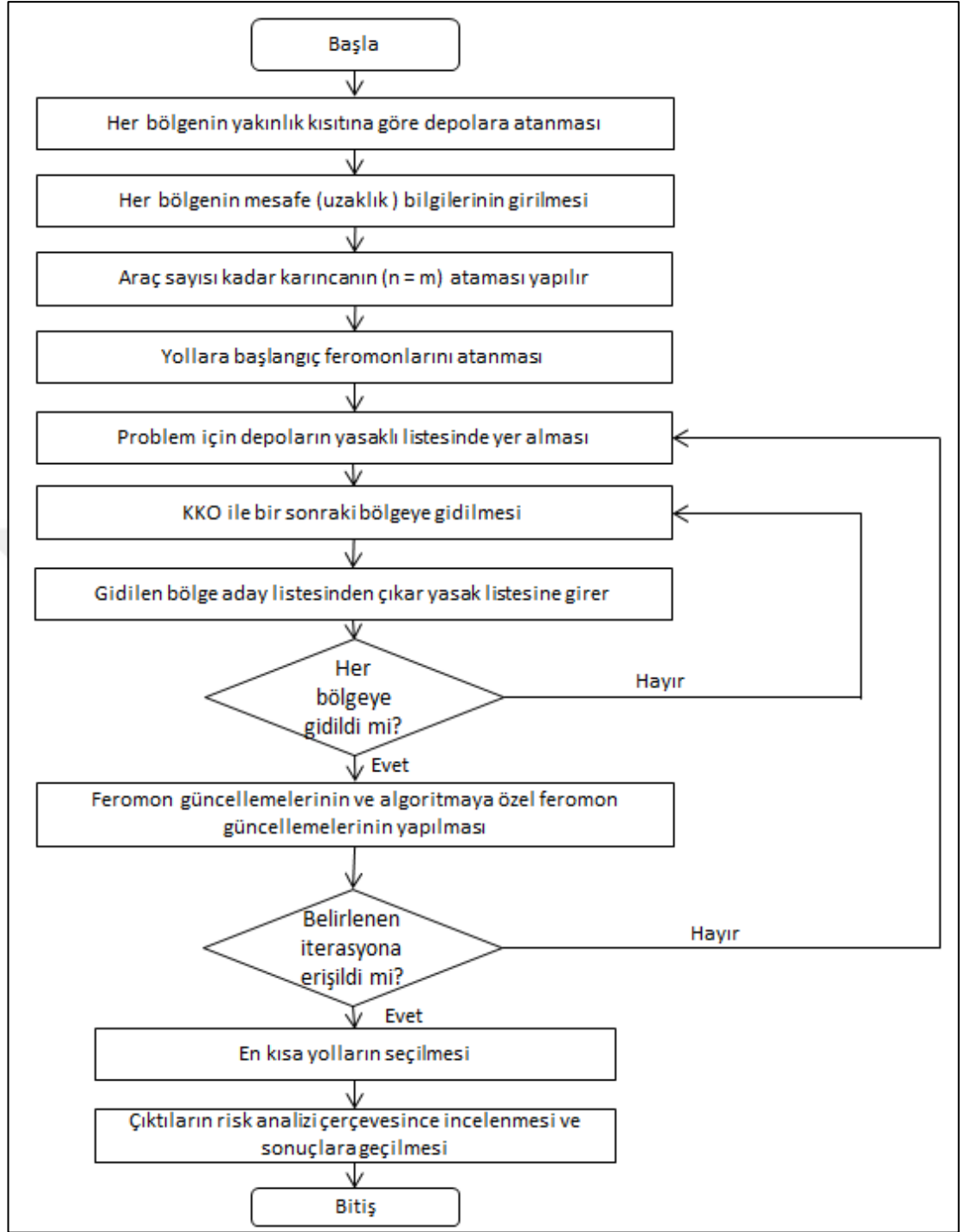
P1 ve P2’ye ait bu matrisler üzerinden yapılacak araç rotalama faaliyeti üç farklı algoritma ile hesaplanarak oluşturulacaktır. Üç farklı algoritma için farklı iterasyon kısıtlarında ve parametrelerin durumuna göre çalışma sonuçları analiz edilecektir. P1 ve P2 çözümlerine geçilmeden önce nasıl bir akış içinde problemlerin ele alınacağına da görülmesi gerekmektedir. Bu görebilmek için hazırlanacak bir akış şeması görsellik adına uygun bir yöntem olacaktır.

Çizelge 7. 7: P2 için hazırlanmış km biriminden mesafeler matrisi.

	DEPO 2 (AFAD)	AVCILAR	BAĞCILAR	BAHÇELİEVLER	BAKIRKÖY	BAYRAMPAŞA	BEYLİKDÜZÜ	BÜYÜKÇEKMECE	ESENLER	ESENYURT	GAZİOSMANPAŞA	GÜNGÖREN	KÜÇÜKÇEKMECE	SİLİVRİ	ZEYTİNBURNU
DEPO 2 (AFAD)		31	16	20	20	14	35	40	11	28	6,3	17	26	70	19
AVCILAR	31		18	14	17	21	11	17	28	12	30	18	7,2	47	18
BAĞCILAR	16	18		6,1	10	9,2	26	33	8,2	20	12	5,5	12	64	13
BAHÇELİEVLER	20	14	6,1		6	11	23	29	9,8	27	17	4,7	8,5	59	8,7
BAKIRKÖY	20	17	10	6		8,2	27	32	15	26	14	5,4	11	63	5,7
BAYRAMPAŞA	14	21	9,2	11	8,2		31	35	4,3	23	6	7	19	65	8,2
BEYLİKDÜZÜ	35	11	26	23	27	31		10	29	10	31	24	12	44	24
BÜYÜKÇEKMECE	40	17	33	29	32	35	10		36	11	39	31	20	33	32
ESENLER	11	28	8,2	9,8	15	4,3	29	36		21	5,4	5,3	19	63	7,9
ESENYURT	28	12	20	27	26	23	10	11	21		26	24	17	43	28
GAZİOSMANPAŞA	6,3	30	12	17	14	6	31	39	5,4	26		10	21	70	9,2
GÜNGÖREN	17	18	6	5	5	7	24	31	5	24	10		12	64	5,1
KÜÇÜKÇEKMECE	26	7,2	12	8,5	11	19	12	20	19	17	21	12		51	14
SİLİVRİ	70	47	64	59	63	65	44	33	63	43	70	64	51		61
ZEYTİNBURNU	19	18	13	8,7	5,7	8,2	24	32	7,9	28	9,2	5,1	14	61	

Oluşturulan problemlere ait temel bilgilerin yanı sıra yapılacak rotalama faaliyeti hakkında da bilgi vermek gerekir. İkinci adım olan rotalama faaliyeti için Şekil 7.6 nasıl bir prosedür izleneceği konusunda sürecin akışını gösteren faydalı bir görsel olacaktır. Akış şeması iki problem türü için de aynı şekilde uygulanacaktır. Bu şekile özdeş çözüme sahip iki farklı problem (iki farklı depoya ait oluşturulmuş sistemler) mevcut olup sonuçların analizinde birlikte değerlendirileceklerdir.

Şekil 7.6'yı açıklamak gerekirse, problemler KKO algoritması çeşitlerinden olan KKS yöntemi ile çözülecek ve bu yöntem ile en kısa mesafeli rotalardan oluşan kümeler elde edilecektir. Süreçteki adımlar izlenmeye devam edildiğinde, istenen iterasyonlara ulaşıp her bölgeye uğrama kriterlerinin sağlandığı rotaların kurulduğu görülecektir. Rotalardan elde edilen kümeler algoritmanın çıktısı olup, Şekil 7.3 ve Çizelge 7.4'teki kurallar uygulanarak bu çıktılarından minimum riske sahip rota seçilecektir. Böylelikle iki problem için amaca uygun optimize edilmiş iki rota elde edilmiş olacaktır. Minimum riske sahip rota belirlenirken seçeneklerin de mukayesesi sağlanarak var olan tüm seçenekler değerlendirilmiş de olacaktır.



Şekil 7. 6: Uygulamadaki iki problemin çözüm için takip edilecek prosedür.

7.2. Optimizasyon Sonuçları

Uygulama sonuçlarına bakıldığında P1 ve P2 için ayrı ayrı sonuçların değerlendirilmesi yapılacaktır. Bu değerlendirme de α parametresi sabit ve 1 (bir) olarak alınmış olup ve β parametresi ise 2 ve 3 değerlerine göre değerlendirmeler

yapılacaktır. Bunun yanı sıra iterasyon sayıları da analizlerde görülmektedir. Bu parametre ve iterasyon sayılarına göre optimum olan rotaların oluşturma işlemi gerçekleştirilmiş olacaktır.

7.2.1. P1 için sonuçların analizi

P1, 12 karınca ile yapılan hesaplar sonucu oluşan değerler üzerinden yapılacak değerleri göstermektedir. Oluşan rotalar ve bu rotaların toplam uzunluğunun da bulunduğu çizelgelerde rotalar için kullanılan notasyonlar da Çizelge 7.6'daki sıra esas alınmıştır. Bunu açıklamak gerekirse depo (AKOM) 1 numara ile Şişli ilçesi ise 12 numara ile tanımlanmıştır.

Çizelge 7.8'e bakıldığında uzun iterasyonlar daha kısa mesafeler elde etmeye fayda sağlamıştır. Problem-1 için yedi farklı çıktı edilmiş olup bunların optimumu 187,4 km ile üç ve dört numaralı çıktıdır. İki β değeri için de bu değer aynıdır ancak β parametresiyle bu değere daha erken iterasyonlarda ulaşıldığı görülmektedir. İterasyon sayısı arttıkça sistemdeki karıncalar en iyi sonucu bulma konusunda daha başarılı oldukları anlaşılmaktadır. Şekil 7.7 ile β ve iterasyon sayısına bağlı farklı çıktıları grafiksel olarak görmek mümkündür. Ancak optimum mesafeye sahip rotanın uygulanabilir olup olmadığı risk değerlerinin optimizasyonunun yapılmasıyla belirlenecektir. Başarılı bir ağ analizi için en kısa mesafeli rotanın yanı sıra en düşük risk değerine sahip rota da önemlidir. Bundan dolayı çıktılarından oluşan bu yedi elemanlı kümeden hangisinin afet lojistiği için uygulanacağını kararı risk analizi sonucunda verilecektir.

7.2.2. P2 için sonuçların analizi

P2, 15 karınca ile yapılan hesaplar sonucu oluşan değerler üzerinden yapılacak çalışmaları göstermektedir. Yapılan çalışmada farklı iterasyon sonuçlarına göre çizelgeler hazırlanmış bulunmaktadır. Oluşan rotalar ve bu rotaların toplam uzunluğunun da bulunduğu çizelgelerde rotalar için kullanılan notasyonlarda Çizelge 7.7'deki sıra esas alınmış olup, depo (AFAD) 1 numara ile Zeytinburnu ilçesi ise 15 numara ile tanımlanmıştır.

Çizelge 7.9 KKS algoritması β parametresinin değerlerine ve iterasyon sayılarına göre oluşan rotaları göstermektedir. Bu şekilde P2 için elimizde bir adet optimum sonuç

veren ve bunun yanında da optimum sonuçtan biraz daha uzun mesafelere sahip rotaların olduğu altı elemanlı bir küme bulunmaktadır. Bu kümede altı numaralı çıktı en kısa mesafeli rotadır ve bu sonuca $\beta=3$ parametresi ile 100’den sonraki iterasyonlarda ulaşılmıştır. P2 için algoritma $\beta=2$ parametresini kullandığında yakınsamanın çok geç olduğu ve $\beta=3$ ile elde sonuca da ulaşamadığı da belirtilmesi gereken bir noktadır. Sezgisel algoritmalarından da istenen yapılardan birisi de daha iyi sonucu arayıp bulabilmeye elverişliliklidir. Bunu iterasyon sayısını artırıp azaltmak gibi oynamalarla ve β parametresindeki değişikliklerle anlıyoruz. Bu elde edilen kümeden optimum olanının uygulanıp uygulanamayacağı ise risk değerlendirmesi sonucu karar verilecektir. Bu değerlendirme ile optimum mesafe ve optimum risk değerli rota seçilerek ağ analizi yapılacaktır. Şekil 7.8 ile de KKO sonucu oluşan ıktıları grafiksel olarak görmek mümkündür.

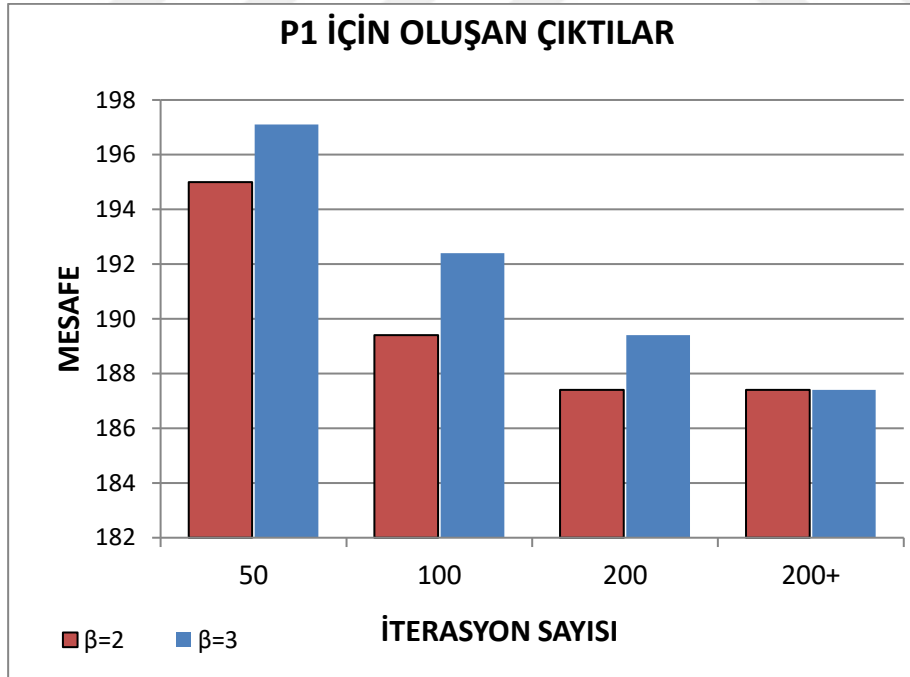
Çizelge 7. 8: β parametreleri ve iterasyonlar eşliğinde oluşan P1 sonuçları.

KOD	ROTA	MESAFE (KM)	İTERASYON SAYISI	β Değeri
P1.1	1-11-3-6-2-10-12-4-5-8-7-9-1	195	50	2
P1.2	1-9-10-12-4-5-8-7-6-2-3-11-1	189,4	100	2
P1.3	1-9-10-12-4-5-8-7-3-6-2-11-1	187,4	200	2
P1.4	1-9-10-12-4-5-8-7-3-6-2-11-1	187,4	200 sonrası	2 ve 3
P1.5	1-9-4-12-10-11-3-2-6-8-5-7-1	197,1	50	3
P1.6	1-9-4-12-10-6-2-3-11-8-5-7-1	192,4	100	3
P1.7	1-9-10-12-4-5-8-6-2-3-11-7-1	189,4	200	3

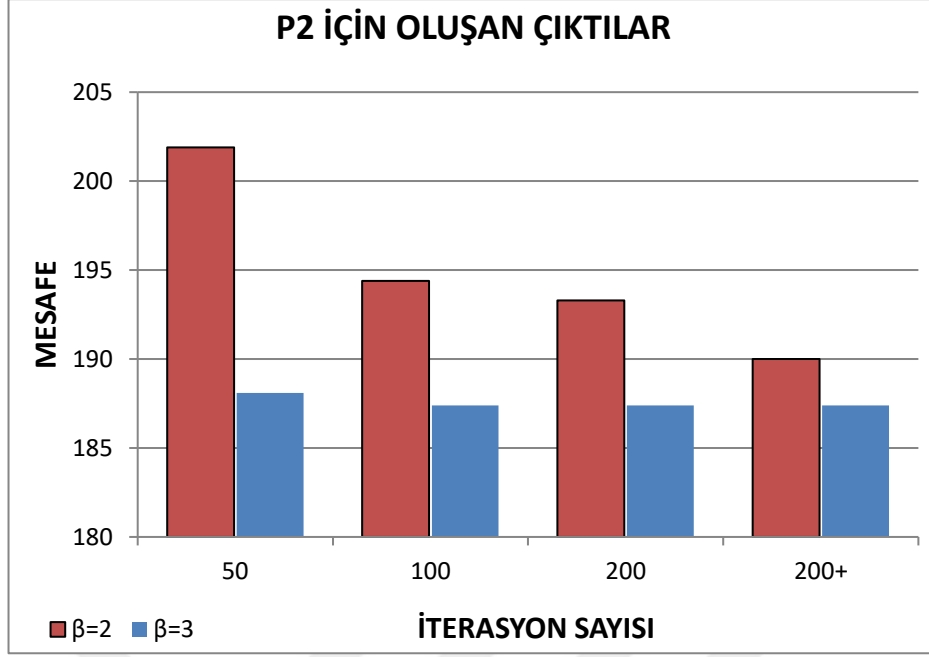
Çizelge 7. 9: β parametreleri ve iterasyonlar eşliğinde oluşan P2 sonuçları.

KOD	ROTA	MESAFE (KM)	İTERASYON ADEDİ	β DEĞERİ
P2.1	1-6-12-15-5-4-13-2-7-10-8-14-3-9-11-1	201,9	50	2
P2.2	1-15-5-4-13-2-14-8-7-10-3-12-6-9-11-1	194,4	100	2
P2.3	1-15-5-13-2-7-8-14-10-3-4-12-6-9-11-1	193,3	200	2
P2.4	1-11-9-3-10-14-8-7-2-13-4-5-15-12-6-1	190	200 sonrası	2
P2.5	1-3-10-14-8-7-2-13-4-5-15-12-6-9-11-1	188,1	50	3
P2.6	1-3-10-14-8-7-2-13-4-5-15-12-9-6-11-1	187,4	100, 200 ve 200 sonrası	3

Önceki satırlarda bahsedildiği üzere P1 ve P2 için oluşturulmuş olan Şekil 7.7 ve Şekil 7.8 rotalama sonucunda optimum sonuç ve bu optimum sonuçlara yakın diğer sonuçları göstermektedir.



Şekil 7. 7: P1 için β değeri ve iterasyon sayılarına bağlı oluşan mesafelerin grafiksel gösterimi.



Şekil 7. 8: P2 için β değeri ve iterasyon sayılarına bağlı oluşan mesafelerin grafiksel gösterimi.

7.2.3. P1 ve P2 için sonuçlarının risk analizi ile değerlendirmesi

P1 için bakıldığında $\beta=2$ veya $\beta=3$ parametresi ve iterasyon sayısındaki değişiklikler ile en kısa rotalardan oluşan bir set elde edilmiştir. Bu sette en iyi değer olan 187,4 km ile 1-9-10-12-4-5-8-7-3-6-2-11-1 rotası optimum sonuçtur. Bu rotaya bakıldığında sırası ile ilçe merkezleri sayıldığında oluşan rota aşağıdaki gibidir;

Depo (AKOM) – Kağıthane – Sarıyer – Şişli – Beşiktaş – Beyoğlu – Fatih – Eyüp – Başakşehir – Çatalca – Arnavutköy – Sultangazi– Depo (AKOM). Görüldüğü gibi depodan başlayan araç rotalama işlemi tüm ilçe merkezlerine uğrayarak yeniden depoya gelerek hizmetini tamamlamaktadır ve ARP için temel kuralları yerine getirmiş bulunmaktadır.

Aynı şekilde P2 için bakıldığında ise $\beta=2$ veya $\beta=3$ parametresi ve iterasyon sayısındaki değişiklikler ile en kısa rotalardan oluşan bir set elde edilmiştir. Optimize edilmiş rota toplam yol uzunluğu 187,4 km ile 1-3-10-14-8-7-2-13-4-5-15-12-9-6-11-1 rotası şeklinde bir ağ yapısına sahiptir. Bu noktada oluşan rotaya bakıldığında sırası ile ilçe merkezleri sırasıyla aşağıdaki gibidir;

Depo (AFAD) – Bağcılar – Esenyurt – Silivri – Büyükçekmece – Beylikdüzü – Avcılar – Küçükçekmece – Bahçelievler – Bakırköy – Zeytinburnu – Güngören –Esenler –

Bayrampaşa – Gaziosmanpaşa – Depo (AFAD). Problem iki içinde depodan kalkan araçların tüm ilçe merkezlerine uğrayarak depoya tekrar geri döndüğü görülmektedir.

Optimize edilmiş iki problem için bir sonraki aşama ise daha önceden belirtildiği gibi risk analizi kısmıdır. Optimum yolların (problem bir ve iki için optimum birer rota vardır.) taşıdığı risk değerlerini de optimize etmek için her bir problem özelinde en yakın sonuçlar veren diğer rotalar da çıkarılmıştır. Bu diğer rotalara ulaşabilmenin sebebi ise sezgisel bir çözüm yöntemi kullanılmasıdır. Sezgisel yöntem sayesinde parametrelerde ufak değişikliklerle hızlı sonuçlar almaya yaramaktadır ve en iyi çözüme yakın sonuçları da göstermektedir. Çizelge 7.8 ve Çizelge 7.9'daki çıktılar risk analizini yapmak için kullanılacak kümelerdir.

İki adımlı optimizasyonu uygulamak için iki probleme ait oluşturulan çözümdeki rotalar için risk değerleri HAA kullanılarak elde edilmiştir. HAA'da rotaların risk değerleri için belirleyici unsur R13, R22 ve R23 temel olaylarıdır. Bunlardan R12'nin risk değerlerinde kullanılacak olasılık değerleri oluşturulurken yolların deprem kuşaklarındaki durumu da göz önüne alınmıştır. Böylelikle afet lojistiğine daha da adapte edilmiş bir araç rotalama oluşturulmaya çalışılmıştır.

Çizelge 7.10 P1 için, Çizelge 7.11 P2 için rotaların taşıdığı risk değerleridir. Bu değerler bir sonraki adım olan risk minimizasyonu için girdi olarak kullanılacak değerlerdir. Bu risk değerlerinin önem düzeyi de yolların mesafesi kadar olduğu varsayılarak ikinci adım optimizasyonu yapılacaktır. Yani kısa mesafeli yollardan oluşan bir rota yapısına sahip ağ analizi ve yolun taşıdığı risk değerinin de minimum olması eşit ağırlıktadır. Bire bir bir orana sahip eşit ağırlıktaki bu iki optimizasyon unsuru amaç için aynı önem düzeyine sahiptir.

Belirtilmesi gereken bir diğer husus ise en kısa mesafeli yollardan oluşan yani KKO ile optimize edilmiş rotanın taşıdığı risk değerinin de en düşük düzeyde olması çalışmayı tamamlamak için ekstra adımları ortadan kaldıracaktır. Öte yanda daha uzun mesafelerden oluşan bir rota daha düşük risk değerine sahipse ekstra bir adım olarak normalizasyon yapılması gerekecektir. En kısa mesafeli yollardan oluşan rotanın taşıdığı risk değerinin de en düşük düzeyde olması demek eşit ağırlıktaki iki farklı kavram için ortaya normalize edilmesi gereken bir durumu çıkarmayacaktır.

Çizelge 7. 10: P1'e ait sonuçlara göre rotalar ve taşıdıkları risk değerleri.

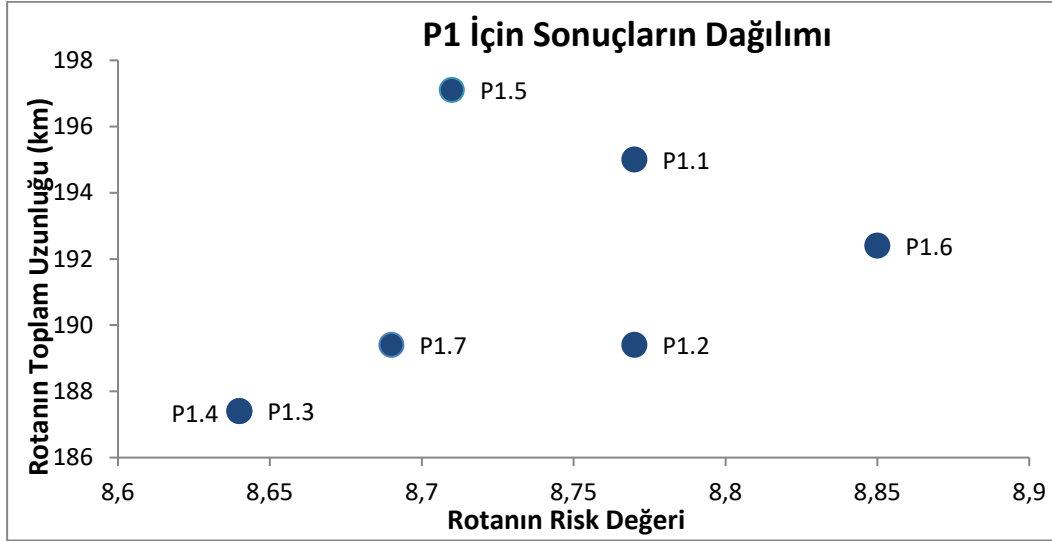
KOD	ROTA	MESAFE (KM)	RİSK DEĞERİ
P1.1	1-11-3-6-2-10-12-4-5-8-7-9-1	195	8,77
P1.2	1-9-10-12-4-5-8-7-6-2-3-11-1	189,4	8,77
P1.3	1-9-10-12-4-5-8-7-3-6-2-11-1	187,4	8,64
P1.4	1-9-10-12-4-5-8-7-3-6-2-11-1	187,4	8,64
P1.5	1-9-4-12-10-11-3-2-6-8-5-7-1	197,1	8,71
P1.6	1-9-4-12-10-6-2-3-11-8-5-7-1	192,4	8,85
P1.7	1-9-10-12-4-5-8-6-2-3-11-7-1	189,4	8,69

Çizelge 7. 11: P2'ye ait sonuçlara göre rotalar ve taşıdıkları risk değerleri.

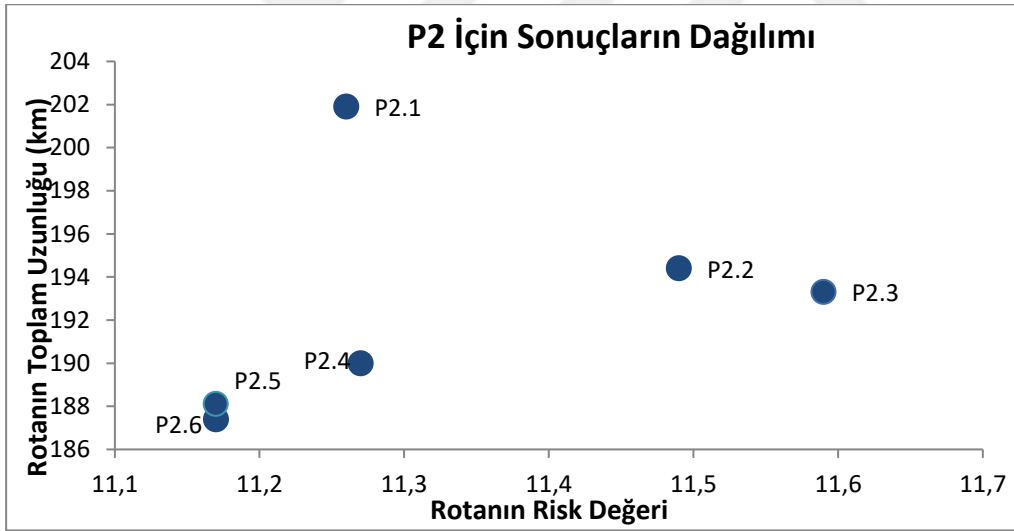
KOD	ROTA	MESAFE (KM)	RİSK DEĞERİ
P2.1	1-6-12-15-5-4-13-2-7-10-8-14-3-9-11-1	201,9	11,26
P2.2	1-15-5-4-13-2-14-8-7-10-3-12-6-9-11-1	194,4	11,49
P2.3	1-15-5-13-2-7-8-14-10-3-4-12-6-9-11-1	193,3	11,59
P2.4	1-11-9-3-10-14-8-7-2-13-4-5-15-12-6-1	190	11,27
P2.5	1-3-10-14-8-7-2-13-4-5-15-12-6-9-11-1	188,1	11,17
P2.6	1-3-10-14-8-7-2-13-4-5-15-12-9-6-11-1	187,4	11,17

Rotaları taşıdıkları risk açısından optimize etmeye çalıştığımızda hem en kısa mesafeli rota hem de en düşük riske sahip yolların tercih edilmesi amaç fonksiyonudur. En kısa mesafe ve taşınan risk değerlerinin ikisinin de önem düzeyi eşit kabul edilerek rotayı

optimize etmek gerekir. Bu şekilde hareket edildiğinde Şekil 7.9 P1 için, Şekil 7.10 P2 için çalışmada faydalı olacaktır. İki şekilde de eşit ağırlıkta önem düzeyine sahip rotalardan orijine en yakın olan optimize edilmiş seçenektir.



Şekil 7. 9: P1 için mesafe risk grafiği.



Şekil 7. 10: P2 için mesafe risk grafiği.

Şekil 7.9 ve 7.10'a bakıldığında kısa mesafeli rota ve risk optimizasyonu yapıldığında sonuçların P1 için 3 ve 4 numaralı sonuçlardır. 3 ve 4 numaralı sonuçlar farklı parametreler sonucu oluşmuş aynı rotalı sonuçlardır. Hem risk hem de toplam mesafeyi minimize eden bu sonuç aynı zamanda KKO algoritması sonucunda da optimum rotadır. P2 için de aynı durum söz konusudur. KKO ile elde edilen optimum çözüm olan 6 numaralı çıktı risk analizinde de minimize edilmiş sonuçtur. Risk değeri

ve en kısa mesafe değişkenlerinin eşit ağırlıkta olmasından dolayı en yakın nokta nihai optimizasyon sonucudur ve iki şekilde de (Şekil 7.9 ve Şekil 7.10) orijine olan en yakın sonuç seçimi ile çalışmanın sonucuna ait rotaların son hali ortaya çıkmış olacaktır. P1 için en kısa mesafeli çözümü veren üç ve dört numaralı çıktılar aynı rotanın farklı parametrelerle elde edilmiş halidir ve taşıdıkları risk değeri de doğal olarak aynıdır. Burada ekstra bir adım uygulamaya gerek kalmadan bu rotanın diğer yollara göre minimum düzeyde risk taşıdığını görüyoruz. Bu sebeple bir normalizasyon adımına gerek kalmamaktadır. P2 için baktığımızda ise beş ve altı numaralı çıktıların risk değerlerinin eşit mesafelerin farklı olduğu görülmektedir. Burada da aynı şekilde eşit önem düzeyine sahip iki kısıttan söz edildiği için optimum mesafeli rota seçimi yapılmıştır ve yine normalizasyon adımına gerek duyulmamıştır.

Şekil 7.9 ve 7.10'da y-eksenleri risk değerini, x-eksenleri ise mesafeleri göstermektedir. İki kriterinde önem düzeyinin eşit olarak ele alınmasıyla yeni optimizasyon bunların minimizasyonunu sağlamaktır. Bu ikili grupların minimum değerleri ise orijine en yakın noktadır.

İki değişkene eşit önem verilmeden sonuca ulaşmaya çalışılsaydı ilk optimizasyondaki optimum sonuçların ağ analizinin uygulanabilir rotaları olmama ihtimali söz konusu olacaktı. Ancak afet lojistiğinin anlatıldığı üçüncü bölümde en kısa sürede güvenli bir şekilde afet sonrası hizmetlerin gerçekleştirilmesi kavramından dolayı bu iki değişkenin önem düzeyi eşit alınmıştır. Bu bilgiler ışığında iki problem için de oluşturulan nihai rotalara ait oluşan rotadaki sıralama ve uzunluk bilgisi ile risk değeri bilgileri Çizelge 7.12'de verilmiştir. Tekrar belirtilmesi gerekir ki rota optimizasyonu KKO ile sağlanmış ve burada elde edilmiş olan rota kümeleri üzerinden risk analizi yapılmıştır. HAA yardımıyla yapılan risk analizinde iki problem için en kısa mesafeli ve en az riskli yollardan oluşan bir rota planı çıkarılarak çalışma başında amaçlanan ağ analizi tamamlanabilmiştir.

Bir sonraki yapılacak adım ise mesafe ve risk açısından optimize edilmiş rotaların seyahat sürelerinin analizidir. Seyahat süresi analizi ise afet lojistiğinin kritik bir parçası olup afet lojistiği için bir performans ölçüm kriteridir. Bu sebeple belli varsayımlara dayalı bir süre analizi yapılması ile çalışma sonlandırılmaya çalışılacaktır.

Çizelge 7. 12: Problemin çözümü ile alakalı çıktıların gösterimi.

Problem Adı	Oluşan Rota	Rotanın Uzunluğu	Rotanın Taşıdığı Risk Değeri
P1	Depo (AKOM) – Kağıthane – Sarıyer – Şişli – Beşiktaş – Beyoğlu – Fatih – Eyüp – Başakşehir – Çatalca – Arnavutköy – Sultangazi – Depo (AKOM)	187,4 km	8,64
P2	Depo (AFAD) – Bağcılar – Esenyurt – Silivri – Büyükkçekmece – Beylikdüzü – Avcılar – Küçükçekmece – Bahçelievler – Bakırköy – Zeytinburnu – Güngören – Esenler – Bayrampaşa – Gaziosmanpaşa – Depo (AFAD)	187,4 km	11,17

Seyahat mesaefelerinin süre analizini yapabilmek için daha önce belirtilen hız limitleri kullanılacaktır. Araçların durumuna göre yasal hız limitleri üzerinden dört farklı yüzdesel azalmayla beraber seyahat süresi hesaplaması yapılacaktır. Seyahat hızının 85 km/sa olarak ele alınmış olup hızdaki azalmanın değerlendirileceği dört farklı durum ise %20, %30, %40 ve %50’lik azalma değerleridir. Buna göre yapılacak ilk adım olarak 85 km/sa hızı bu yüzdesel değerlere göre modifiye etmektir. Devamında ise oluşan yeni hız değerlerine göre en kısa seyahat turunun ayarlandığı rotaların ne kadar sürede tamamlanacağıdır. Çizelge 7.13 ve 7.14 sırasıyla P1 ve P2 için bu hesaplamaların hepsini göstermektedir ve sonuç olarak ne kadar sürede turların tamamlandığı görülebilmektedir.

Çizelge 7. 13: P1 için rotanın tamamlanma süresi.

Hızdaki % Azalma Miktarı	Toplam Mesafe	Yasal Hız Limiti	Modifiye Hız	Turun Tamamlanma Süresi
%20	187,4 km	85 km/sa	68 km/sa	2,76 saat
%30	187,4 km	85 km/sa	59,5 km/sa	3,15 saat
%40	187,4 km	85 km/sa	51 km/sa	3,67 saat
%50	187,4 km	85 km/sa	42,5 km/sa	4,41 saat

Çizelge 7. 14: P2 için rotanın tamamlanma süresi.

Hızdaki % Azalma Miktarı	Toplam Mesafe	Yasal Hız Limiti	Modifiye Hız	Turun Tamamlanma Süresi
%20	187,4 km	85 km/sa	68 km/sa	2,76 saat
%30	187,4 km	85 km/sa	59,5 km/sa	3,15 saat
%40	187,4 km	85 km/sa	51 km/sa	3,67 saat
%50	187,4 km	85 km/sa	42,5 km/sa	4,41 saat

Çizelgelere bakıldığında P1 için afet sonrası olası bir durumda turun tamamlanması en geç 4,41 saat içinde gerçekleştiği görülmektedir. Daha iyi senaryolar da ise bu sürenin 2,76 saate düştüğü görülmektedir. P2 için bakıldığında ise rota uzunluğunun P1 ile aynı olmasından dolayı en geç 4,41 saat ve daha iyi afet senaryolarında ise 2,76 saate düşmektedir. Rotalama işlemi yapılırken ÇDARP kapsamında ilçe merkezlerindeki afet toplanma merkezlerini iki farklı depoya atama işlemi yapıldığından iki farklı sistem gibi inceleme yapıldı, ancak uygulama alanı olan İstanbul Avrupa yakasının 25 ilçesine bakıldığında yardım hizmetlerinin tamamlanması en geç 4,41 saat içinde gerçekleştiği görülmektedir. İki ayrı alt sisteminde aynı anda başlayıp anda ada bitmesinin muhtemel olduğu görülmektedir. Belirtilmesi gereken başka bir nokta ise ÇDARP kapsamında ilçe (istem yerleri) atamaların doğru ve tutarlı yapıldığıdır. Oluşan optimum rota mesafeleri düşünüldüğünde atama işleminin başarılı olduğu da söylenebilir. Tüm sistemde ulaştırma hizmetinin ne zaman tamamlanacağına dair

yapılan son analizde ise her problem türündeki hızların kombinasyonu yapılarak sonuçlar söylenecektir. Çizelge 7.15 sürelerin bahsedilen kombinasyonunu göstermektedir.

Çizelge 7. 15: Hesaplanan süre sonuçlarının kombinasyonu.

P1 İçin	P2 İçin			
Hız	Hız	P1 Tur	P2 Tur	Maks (Süre ₁ ,
Azalma	Azalma	Sonuçları	Sonuçları	Süre ₂)
Yüzdesi	Yüzdesi			
%20	%20	2,76 saat	2,76 saat	2,76 saat
%20	%30	2,76 saat	3,15 saat	3,15 saat
%20	%40	2,76 saat	3,67 saat	3,67 saat
%20	%50	2,76 saat	4,41 saat	4,41 saat
%30	%20	3,15 saat	2,76 saat	3,15 saat
%30	%30	3,15 saat	3,15 saat	3,15 saat
%30	%40	3,15 saat	3,67 saat	3,67 saat
%30	%50	3,15 saat	4,41 saat	4,41 saat
%40	%20	3,67 saat	2,76 saat	3,67 saat
%40	%30	3,67 saat	3,15 saat	3,67 saat
%40	%40	3,67 saat	3,67 saat	3,67 saat
%40	%50	3,67 saat	4,41 saat	4,41 saat
%50	%20	4,41 saat	2,76 saat	4,41 saat
%50	%30	4,41 saat	3,15 saat	4,41 saat
%50	%40	4,41 saat	3,67 saat	4,41 saat
%50	%50	4,41 saat	4,41 saat	4,41 saat

Çizelge 7.15'e bakıldığında en iyi ve en kötü afet senaryolarına göre hizmetin tamamlanma sürelerini tespit etmek mümkündür. En iyi durumda depolardan çıkan araçlar turlarını 2,76 saatte tamamlarken en kötü senaryoda ise 4,41 saatte tamamlamaktadırlar. Afet durumları için yapılmış araç rotalama ile turun tamamlanma süresi en geç 4,41 saat olacaktır. Ortalama olarak 16 farklı kombinasyona da bakıldığında sürenin 3,84 olduğu görülmektedir. Olası bir afet durumunda bu saat oldukça uygun olarak karşılanabilmektedir. Anında hizmet sağlama açısından en kötü senaryonun bile oldukça iyi bir zaman dilimini gösteriyor olması ve ortalama değerinde fazla bir süre olarak gözlemlenmemesi yapılan optimizasyon sonucunun başarısı ile alakalıdır.

Burada bu süre değerlerinin yapılan çalışmalar ile desteklenip desteklenmediği konusu önemli bir husustur. Yapılan literatür taramalarında afet lojistiği ile ilgili olarak hizmet süresinin afet sonrası ilk 12 saat içerisinde olması gerektiğinin kritik bir eşik olduğu önceki bölümlerde bahsedilmiştir. Araç rotalama faaliyeti ile yapılan ağ analizine bakıldığında ise en kötü ihtimalle uygulama alanındaki tüm bölgelere 4,41 saatte ulaşılacağı görülmüştür. İlk 12 saat içerisinde yardım hizmetlerinin götürülebilir oluşu optimizasyon sonucunun kabul edilebilir bir değerde olduğunu göstermektedir. Bundan dolayı yapılan optimizasyonla beraber afet lojistiğine en kısa ve en az risk değerine sahip yollardan oluşan bir ağ yapısı sağlanarak katkı sağlandığı söylenebilir. İki adımlı optimizasyon ile minimum seyahat mesafeli, minimum risk değerli ve kabul edilebilir bir süreye sahip ağ oluşturulması afet sonrası yardım hizmetlerinin ulaştırılması için kullanılabilir bir haldedir. Bu şekilde afet lojistiğine katkı sağlayarak ulaşım sistemlerine de bir katkı sağlandığı düşünülmektedir.



SONUÇ VE ÖNERİLER

Araç rotalama ile bir ulaşım ağı planlama konusunun ele alınma sebebi, bu konunun son yıllardaki artan popülerliği, geçmişten beri sıkça çalışılan bir konu olması ve önemli başka konulara çözüm sağlıyor olması gibi farklı birçok nedene dayalıdır. Günümüzde oldukça büyük bir sorun haline gelen ulaştırma ve taşımacılık hizmetlerindeki aksamalar ise tezin bir başka bakış açısı olmuştur. Bu aksamalara ise sebebiyet olarak artan nüfus, şehirleşme oranı ve bunların etkisiyle artış gösteren araç sayısı ile bu kavramlarla paralel ölçüde gelişemeyen yolların araç taşıma kapasiteleri verilebilmektedir. İşte bu noktada araç rotalama ile planlama yapma, ulaşım ve ulaştırma konularındaki aksaklıkların önüne geçmek amaçlı gerçek dünya modellerine daha uygun, etkili ve faydalı çözümler sunmaya çalışmaktadır. Bir ulaştırma hizmeti olan afet lojistiği de çalışma kapsamında ele alınmış olup uygulama konusu olarak seçilmiştir. Bu şekilde afet sonrası bireylerin acılarının en aza indirilmesi ve ihtiyaçlarının maksimum düzeyde karşılanmasını sağlayacak bir ulaştırma modeli kurmak önem arz etmektedir.

Afet kavramının büyük yıkıcı etkisi düşünüldüğünde optimum şartları sağlayan bir ağ yapısı olması gerekir. Böyle güçlü bir ağ yapısı ile afetzedelere afet sonrası yardım eli başarılı bir şekilde uzatılabilir. Bu güçlü ağ yapısı ise rotaların en az mesafeye sahip olmasının yanı sıra en az riske de sahip olması da demektir. Risk analiziyle desteklenmemiş bir rota planı belli bir zaman sonra aksamalara sebebiyet verebileceği için rotaların oluşturulmasında minimum risks değeri kısıtına göre hareket edilmiştir.

Konu ele alındığında literatür taraması kısmında ARP ve kullanım alanları tanıtılarak ARP'nin çok geniş bir yelpazede kullanım alanı olduğu görülmüştür. Bu sebeple çok fazla çalışma konusunun ortaya çıkaracağı karmaşayı engellemek adına sınıflandırma çalışmaları yapıldığı görülmektedir. Yapılan sınıflandırma çalışmaları her çalışanın ele alışına göre farklılık kazanmaktadır. Ancak kısıtlardaki duruma bakıldığında bu sınıflandırmaları belli başlıklar halinde kategorilendirmek mümkün olabilmektedir. Bu çalışma kapsamında araç rotalamaya yoğunlaşıldığında problem tiplerinin

Çözümlerinde literatürde temel matematiksel modellerin biraz daha ötesine çıkmak gerektiği kanısına varılmıştır. Bu yöntemler sezgisel  z m yöntemleridir. Bunun sebebi olarak problem türlerinin karmaşıklığı ve gerçek hayata uygularken değişkenliklerin görülmesidir. Bu sebeple matematiksel yöntemler ve bilgisayar sistemleri bunları  z mekte uzun zaman harcıyor olabilmektedir. Bunun önüne geçmek ve etkili sonuçlara varmak istendiğinden sezgisel yöntemlerin oldukça fazla kullanıldığı tespit edilmiştir. Sezgisel yöntemlerin de ARP konusu ile sıkl a kullanıldığı ve üzüm için oldukça önemli  z m yöntemleri oldukları görülmektedir. Sezgisel yöntemler; klasik sezgisel yöntemler ve meta-sezgiseller olarak ayrılmaktadır. Çalışma kapsamında ise meta-sezgiseller kategorisi içinde olan Karınca Koloni Optimizasyonu (KKO) ile  z m sağlanmaya çalışılmıştır.

Çalışmanın devam eden aşamasında ise ARP için uygun yöntem tespiti yapılarak sezgisel algoritmaların kullanılması gerektiğine karar verilmiştir. Sezgisel algoritmalar içinde KKO kullanımının ARP için uygun sonuçlar vermesi araştırmalar sonucu anlaşılarak seçimi yapılmıştır. Bunun sebebi uygulama alanının çoklu depolu yapıya sahip olması yani ÇDARP özelliğini gösteriyor olmasıdır. KKO algoritmalarının değişiklik gösterdiği ve birden fazla sayıda olması ile hangi problem tiplerine uygulandığı ortaya koyularak i lerinden ARP için uygun olanları seçilmiştir. KKS algoritması seçilerek optimizasyon çalışması yapılmıştır. Algoritma ile çalışma için yapılan optimizasyonun ilk adımı tamamlanmıştır. Buna ilaveten HAA yardımıyla risk minimizasyonu eklenmiştir ve böylece ikinci optimizasyon adımı tamamlanmıştır. İki adımlı bir optimizasyon yöntemiyle uygulamaya ait sonuçlar çıkarılmıştır.

Yapılan uygulama sonuçlarına geçmeden önce uygulama alanına dair bilgi verilmesi doğru olacaktır. İstanbul ili Avrupa yakasında bulunan 25 ilçenin ilçe afet sonrası toplanma merkezlerine yapılacak araç rotalama faaliyeti çalışmanın ana odak noktasıdır. Bu 25 ayrı bölgeye AFAD İstanbul ve AKOM olmak üzere iki farklı depodan hizmet verilmektedir. Çalışmada rotalama faaliyeti yapılacak bölgelere ulaşım için çoğunlukla 1. ve 2. dereceden yollar kullanılmış olmasına rağmen tüm yol katmanlarının da hesaba katıldığının söylenmesi gerekir. Bunun yanı sıra elde edilen bilgiler ışığında yardım araçlarının yapısı ve yollardaki hız limitleri ile afet sonrası oluşacak araçların yeni hız değerleri de bölge tanıtımında işlenmiştir.

Son olarak, optimizasyon çalışması yapılmaya başlanmıştır. Bunun için önce 25 ilçe 11 ve 14 sayılarını oluşturacak şekilde 2 farklı depoya atanmıştır. Atama sonrası KKS algoritmalarına göre farklı parametre değerlerine ve farklı iterasyon sayılarına göre rotalardan ve bu rotaların mesafelerinden oluşan küme elde edilmiştir. Bu kümelerin elemanlarına risk değerlerinin atanıp analiz edilmesiyle oluşan rotalarda mesafeler ve risk değerleri ise; AKOM deposuna atanan 11 ilçede toplam mesafe 187,4 km, toplam risk değeri 8,64 ve AFAD İstanbul deposuna atanan 14 ilçede de 187,4 km, toplam risk değeri 11,17 olarak ortaya çıkmıştır. Bu rotalar eşliğinde süre analizine geçildiğinde iki depodan da çıkan araçların turlarını tamamlamaları en geç 4,41 saatte olmaktadır. Sistem bir bütün olarak değerlendirildiğinde ise, iki farklı sisteme ait süre bazında 16 farklı kombinasyon değeri oluşmaktadır. Bu 16 farklı süreye ait analizlere bakıldığında en iyi senaryoda 2,76 saatte, ortalama 3,84 saatte ve en iyi kötü senaryo da ise 4,41 saatte turların tamamlanarak 25 ilçeye ulaştırma faaliyetinin gerçekleştirilebileceği görülmektedir.

Çalışmanın sonuçlarıyla hipotez değerlendirilmesi yapıldığında ise bu sürelerde İstanbul Avrupa bölgesine hizmet götürüyor olmak iyi bir durum olarak karşılanabilir. Böylelikle yapılan çalışmayla, afet lojistiği ulaştırma faaliyetine katkıda bulunulmuştur. Bu konuda eklenmesi gereken bir geliştirme noktası ise, sürelerin gerçekten kabul edilebilir olup olmadığına dairdir. İlk 12 saat içerisinde yani 4,41 saatte yardım hizmetlerinin götürülebiliyor oluşu optimizasyon sonucunun kabul edilebilir bir değerde olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak çalışmada ARP konusu tüm boyutlarıyla ele alınmış, risk faktörü ile desteklenmiş ve afet lojistiği kavramı ile pekiştirilerek İstanbul Avrupa yakasındaki 25 ilçeye ulaştırma hizmetinin en kısa mesafelerle sağlayacak optimizasyon yapılmıştır. Böylelikle en kısa sürede hizmet noktalarına ulaşım sağlanmaya çalışılmıştır.

Deprem sonrası bir ulaştırma konusu için geliştirilen bu çalışma diğer afetlerden sonra oluşan sonuçlara karşı ne derece başarılı olabileceği ise ucu açık bir konudur. Deprem senaryoları için var olan depolar kullanılarak oluşturulan ağ analizi çalışması diğer afetler için de uygulanabilir bir hale gelebilecek düzeyde geliştirilmelidir.



KAYNAKLAR

- Abbatecola, L., Fanti, M. P., & Ukovich, W.** (2016). A review of new approaches for Dynamic Vehicle Routing Problem. In *Automation Science and Engineering (CASE), 2016 IEEE International Conference on* (pp. 361-366). IEEE.
- Abdoun, O., & Abouchabaka, J.** (2012). A comparative study of adaptive crossover operators for genetic algorithms to resolve the traveling salesman problem
- Abkowitz, M., Lepofsky, M., & Cheng, P.** (1992). Selecting criteria for designating hazardous materials highway routes. *Transportation Research Record*, 1333(2.2).
- Adewumi, A. O., & Adeleke, O. J.** (2018). A survey of recent advances in vehicle routing problems. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 9(1), 155-172.
- Alonso, F., Alvarez, M. J., & Beasley, J. E.** (2008). A tabu search algorithm for the periodic vehicle routing problem with multiple vehicle trips and accessibility restrictions. *Journal of the Operational Research Society*, 59(7), 963-976.
- Alsalloum, O. I., & Rand, G. K.** (2006). Extensions to emergency vehicle location models. *Computers & Operations Research*, 33(9), 2725-2743.
- Angelelli, E., & Speranza, M. G.** (2002). The periodic vehicle routing problem with intermediate facilities. *European journal of Operational research*, 137(2), 233-247.
- Assad, A. A.** (1980). Models for rail transportation. *Transportation Research Part A: General*, 14(3), 205-220.
- Ataie-Ashtiani, B., & Ketabchi, H.** (2011). Elitist continuous ant colony optimization algorithm for optimal management of coastal aquifers. *Water resources management*, 25(1), 165-190.
- Balcik, B., & Beamon, B. M.** (2008). Facility location in humanitarian relief. *International Journal of Logistics*, 11(2), 101-121.
- Barbarosoğlu, G., Özdamar, L., & Cevik, A.** (2002). An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations. *European Journal of Operational Research*, 140(1), 118-133.
- Barnhart, C., Johnson, E. L., Nemhauser, G. L., Savelsbergh, M. W., & Vance, P. H.** (1998). Branch-and-price: Column generation for solving huge integer programs. *Operations research*, 46(3), 316-329.

- Başkan, O., Haldenbilen, S., Ceylan, H., & Ceylan, H.** (2009). A new solution algorithm for improving performance of ant colony optimization. *Applied Mathematics and Computation*, 211(1), 75-84.
- Beamon, B. M., & Balcik, B.** (2008). Performance measurement in humanitarian relief chains. *International Journal of Public Sector Management*, 21(1), 4-25.
- Beaudry, A., Laporte, G., Melo, T., & Nickel, S.** (2010). Dynamic transportation of patients in hospitals. *OR spectrum*, 32(1), 77-107.
- Bell, J. E., & McMullen, P. R.** (2004). Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem. *Advanced engineering informatics*, 18(1), 41-48.
- Dorigo, M., & Di Caro, G.** (1999). Ant colony optimization: a new meta-heuristic. In *Proceedings of the 1999 congress on evolutionary computation-CEC99* (Cat. No. 99TH8406) (Vol. 2, pp. 1470-1477). IEEE.
- Bent, R., & Van Hentenryck, P.** (2003). Dynamic vehicle routing with stochastic requests. In *IJCAI* (pp. 1362-1363).
- Berbeglia, G., Cordeau, J. F., & Laporte, G.** (2010). Dynamic pickup and delivery problems. *European journal of operational research*, 202(1), 8-15.
- Berger, J., & Barkaoui, M.** (2003). A hybrid genetic algorithm for the capacitated vehicle routing problem. In *Genetic and evolutionary computation conference* (pp. 646-656). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Bianchessi, N., & Righini, G.** (2007). Heuristic algorithms for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery. *Computers & Operations Research*, 34(2), 578-594.
- Binart, S., Dejax, P., Gendreau, M., & Semet, F.** (2016). A 2-stage method for a field service routing problem with stochastic travel and service times. *Computers & Operations Research*, 65, 64-75.
- Bolduc, M. C., Laporte, G., Renaud, J. ve Boctor, F. F.** (2010) A tabu search heuristic for the split delivery vehicle routing problem with production and demand calendars, *European Journal of Operational Research*, 202, 122-130.
- Bompadre, A., Dror, M., & Orlin, J. B.** (2007). Probabilistic analysis of unit-demand vehicle routing problems. *Journal of applied probability*, 44(1), 259-278.
- Bright, C., While, L., French, T., & Reynolds, M.** (2017). Using market-based optimisation to solve the dynamic vehicle routing problem. In *Computational Intelligence (SSCI), 2017 IEEE Symposium Series on* (pp. 1-8). IEEE.
- Bullnheimer, B., Hartl, R. F., & Strauss, C.** (1999). An improved ant System algorithm for the vehicle Routing Problem. *Annals of operations research*, 89, 319-328.

- Bullnheimer, B., Hartl, R. F., & Strauss, C.** (1999). Applying the ant system to the vehicle routing problem. In *Meta-heuristics* (pp. 285-296). Springer, Boston, MA.
- Černý, V.** (1985). Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm. *Journal of optimization theory and applications*, 45(1), 41-51.
- Cheliyan, A. S., & Bhattacharyya, S. K.** (2018). Fuzzy fault tree analysis of oil and gas leakage in subsea production systems. *Journal of Ocean Engineering and Science*, 3(1), 38-48.
- Chen, C. H., & Ting, C. J.** (2005). A hybrid ant colony system for vehicle routing problem with time windows. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, 2822-2836.
- Christiansen, C. H., & Lysgaard, J.** (2007). A branch-and-price algorithm for the capacitated vehicle routing problem with stochastic demands. *Operations Research Letters*, 35(6), 773-781.
- Cordeau, J. F., Gendreau, M., & Laporte, G.** (1997). A tabu search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problems. *Networks: An International Journal*, 30(2), 105-119.
- Covello, V. T. & Merkhofer, M. W.** (1993). *Risk Assessment Methods: Approaches for Assessing Health and Environmental Risks*. Plenum Press, NY.
- Crainic, T. G., Ricciardi, N., & Storchi, G.** (2009). Models for evaluating and planning city logistics systems. *Transportation science*, 43(4), 432-454.
- da Costa, S. R. A., Campos, V. B. G., & de Mello Bandeira, R. A.** (2012). Supply chains in humanitarian operations: cases and analysis. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 54, 598-607.
- Dalkılıç, G., & Türkmen, F.** (2002). Karınca Kolonisi Optimizasyonu. YPBS2002–Yüksek Performanslı Bilişim Sempozyumu, Kocaeli, Ekim.
- Day, J. M., Melnyk, S. A., Larson, P. D., Davis, E. W., & Whybark, D. C.** (2012). Humanitarian and disaster relief supply chains: a matter of life and death. *Journal of Supply Chain Management*, 48(2), 21-36.
- de Armas, J., & Melián-Batista, B.** (2015). Variable neighborhood search for a dynamic rich vehicle routing problem with time windows. *Computers & Industrial Engineering*, 85, 120-131.
- Dell'Amico, M., Righini, G., & Salani, M.** (2006). A branch-and-price approach to the vehicle routing problem with simultaneous distribution and collection. *Transportation science*, 40(2), 235-247.
- Dereli, T., & Sena Das, G.** (2010). A hybrid simulated annealing algorithm for solving multi-objective container-loading problems. *Applied Artificial Intelligence*, 24(5), 463-486.
- Derse, O., & Göçmen, E.** (2019). Transportation mode choice using fault tree analysis and mathematical modeling approach. *Journal of Transportation Safety & Security*, 1-19.

- Dorigo, M., & Gambardella, L. M.** (1997). Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem. *IEEE Transactions on evolutionary computation*, 1(1), 53-66.
- Dorigo, M., & Stützle, T.** (2004). *Ant colony optimization*. Cambridge: MIT Press.
- Dorigo, M., Caro, G. D., & Gambardella, L. M.** (1999). Ant algorithms for discrete optimization. *Artificial life*, 5(2), 137-172.
- Dorigo, M., Maniezzo, V., & Coloni, A.** (1996). Ant system: optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transactions on Systems, man, and cybernetics, Part B: Cybernetics*, 26(1), 29-41.
- Dror, M., Laporte, G. ve Trudeau, P.** (1994). Vehicle routing with split deliveries, *Discrete Applied Mathematics*, 50, 239-254.
- Duran, S., Gutierrez, M. A., & Keskinocak, P.** (2011). Pre-positioning of emergency items for CARE international. *Interfaces*, 41(3), 223-237.
- Eksioglu, B., Vural, A. V., & Reisman, A.** (2009). The vehicle routing problem: A taxonomic review. *Computers & Industrial Engineering*, 57(4), 1472-1483.
- Erdoğan, S., & Miller-Hooks, E.** (2012). A green vehicle routing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(1), 100-114.
- Erkut, E., & Verter, V.** (1998). Modeling of transport risk for hazardous materials. *Operations research*, 46(5), 625-642.
- Erol, V.** (2006). Araç rotalama problemleri için populasyon ve komşuluk tabanlı metasezgisel bir algoritmanın tasarımı ve uygulaması. (Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul).
- Ferdous, R., Khan, F., Veitch, B., & Amyotte, P. R.** (2009). Methodology for computer aided fuzzy fault tree analysis. *Process safety and environmental protection*, 87(4), 217-226.
- Ferrucci, F., & Bock, S.** (2014). Real-time control of express pickup and delivery processes in a dynamic environment. *Transportation Research Part B: Methodological*, 63, 1-14.
- Finger, M., Stützle, T., & Lourenço, H.** (2002). Exploiting fitness distance correlation of set covering problems. In *Workshops on Applications of Evolutionary Computation* (pp. 61-71). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Fischetti, M., Toth, P., & Vigo, D.** (1994). A branch-and-bound algorithm for the capacitated vehicle routing problem on directed graphs. *Operations Research*, 42(5), 846-859.
- Fukasawa, R., Longo, H., Lysgaard, J., de Aragão, M. P., Reis, M., Uchoa, E., & Werneck, R. F.** (2006). Robust branch-and-cut-and-price for the capacitated vehicle routing problem. *Mathematical programming*, 106(3), 491-511.
- Gambardella, L. M., Rizzoli, A. E., Oliverio, F., Casagrande, N., Donati, A., Montemanni, R., & Lucibello, E.** (2003). Ant colony optimization for

- vehicle routing in advanced logistics systems. In Proceedings of the International Workshop on Modelling and Applied Simulation (MAS 2003) (pp. 3-9).
- Gambardella, L. M., Taillard, É. D., & Dorigo, M.** (1999). Ant colonies for the quadratic assignment problem. *Journal of the operational research society*, 50(2), 167-176.
- Gendreau, M., & Potvin, J. Y.** (1998). Dynamic vehicle routing and dispatching. In *Fleet management and logistics* (pp. 115-126). Springer, Boston, MA.
- Gendreau, M., Guertin, F., Potvin, J. Y., & Séguin, R.** (2006). Neighborhood search heuristics for a dynamic vehicle dispatching problem with pick-ups and deliveries. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 14(3), 157-174.
- Gendreau, M., Laporte, G., & Potvin, J. Y.** (2002). Metaheuristics for the capacitated VRP. In *The vehicle routing problem* (pp. 129-154). Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Gendreau, M., Laporte, G., & Séguin, R.** (1995). An exact algorithm for the vehicle routing problem with stochastic demands and customers. *Transportation science*, 29(2), 143-155.
- Gendreau, M., Laporte, G., & Séguin, R.** (1996). Stochastic vehicle routing. *European Journal of Operational Research*, 88(1), 3-12.
- Gendreau, M., Laporte, G., & Semet, F.** (1997). Solving an ambulance location model by tabu search. *Location science*, 5(2), 75-88.
- Psaraftis, H. N.** (1995). Dynamic vehicle routing: Status and prospects. *Annals of operations research*, 61(1), 143-164.
- Ghannadpour, S. F., Noori, S., & Tavakkoli-Moghaddam, R.** (2013). Multiobjective dynamic vehicle routing problem with fuzzy travel times and customers' satisfaction in supply chain management. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 60(4), 777-790.
- Glover, F.** (1989). Tabu search—part I. *ORSA Journal on computing*, 1(3), 190-206.
- Glover, F., & Laguna, M.** (1989). Target analysis to improve a tabu search method for machine scheduling. *Working Papers on Artificial Intelligence in Management Science*, 1, 56-74.
- Haghani, A., & Jung, S.** (2005). A dynamic vehicle routing problem with time-dependent travel times. *Computers & operations research*, 32(11), 2959-2986.
- Hertz, A., & Zufferey, N.** (2006). A new ant algorithm for graph coloring. In *Workshop on Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization NISCO* (pp. 51-60).
- Ho, S. C., & Haugland, D.** (2004). A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with time windows and split deliveries. *Computers & Operations Research*, 31(12), 1947-1964.

- Ho, W., Ho, G. T., Ji, P., & Lau, H. C.** (2008). A hybrid genetic algorithm for the multi-depot vehicle routing problem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 21(4), 548-557.
- Holguín-Veras, J., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N., Pérez, N., & Wachtendorf, T.** (2012). On the unique features of post-disaster humanitarian logistics. *Journal of Operations Management*, 30(7-8), 494-506.
- Huang, K., & Rafiei, R.** (2019). Equitable last mile distribution in emergency response. *Computers & Industrial Engineering*, 127, 887-900.
- Ichoua, S., Gendreau, M., & Potvin, J. Y.** (2003). Vehicle dispatching with time-dependent travel times. *European journal of operational research*, 144(2), 379-396.
- Johansson, O. M.** (2006). The effect of dynamic scheduling and routing in a solid waste management system. *Waste management*, 26(8), 875-885.
- Kara, I., Kara, B. Y., & Yetis, M. K.** (2007). Energy minimizing vehicle routing problem. In *International Conference on Combinatorial Optimization and Applications* (pp. 62-71). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Karadimas, N. V., Kouzas, G. E. O. R. G. I. O. S., Anagnostopoulos, I. O. A. N. N. I. S., & Loumos, V. A. S. S. I. L. I.** (2005). Urban solid waste collection and routing: The ant colony strategic approach. *International Journal of Simulation*, 6(12-13), 45-53.
- Kasapoğlu, A., & Ecevit, M.** (2003). Impact of the 1999 East Marmara earthquake in Turkey. *Population and Environment*, 24(4), 339-358.
- Kazharov, A. A., & Kureichik, V. M.** (2010). Ant colony optimization algorithms for solving transportation problems. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 49(1), 30-43.
- Keskintürk, T., & Söyler, H.** (2006). GLOBAL KARINCA KOLONİSİ OPTİMİZASYONU. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(4).
- Kim, G., Ong, Y. S., Cheong, T., & Tan, P. S.** (2016). Solving the Dynamic Vehicle Routing Problem Under Traffic Congestion. *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, 17(8), 2367-2380.
- Kim, G., Ong, Y. S., Cheong, T., Tan, P. S. & Zhang N. A.** (2015) "City Vehicle Routing Problem (City VRP): A Review", *IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems*, Vol. 16, No. 4, August.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., & Vecchi, M. P.** (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, 220(4598), 671-680.
- Kovács, G., & Spens, K.** (2009). Identifying challenges in humanitarian logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 39(6), 506-528.
- Kovács, G., & Spens, K. M.** (2007). Humanitarian logistics in disaster relief operations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37(2), 99-114.

- Labadie, N., Prins, C., & Prodhon, C.** (2016). General Presentation of Vehicle Routing Problems. *Metaheuristics for Vehicle Routing Problems*, 3, 1-14.
- Lahyani, R., Khemakhem, M., & Semet, F.** (2015). Rich vehicle routing problems: From a taxonomy to a definition. *European Journal of Operational Research*, 241(1), 1-14.
- Laporte, G.** (1992). The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European journal of operational research*, 59(3), 345-358
- Laporte, G., Louveaux, F. V., & Van Hamme, L.** (2002). An integer L-shaped algorithm for the capacitated vehicle routing problem with stochastic demands. *Operations Research*, 50(3), 415-423.
- Laporte, G., Louveaux, F., & Mercure, H.** (1992). The vehicle routing problem with stochastic travel times. *Transportation science*, 26(3), 161-170.
- Laporte, G., Nobert, Y., & Taillefer, S.** (1987). A branch-and-bound algorithm for the asymmetrical distance-constrained vehicle routing problem. *Mathematical Modelling*, 9(12), 857-868.
- Larsen, A., Madsen, O. B. G. D., & Solomon, M.** (2002). Partially dynamic vehicle routing—models and algorithms. *Journal of the operational research society*, 53(6), 637-646.
- Li, C. L., Simchi-Levi, D., & Desrochers, M.** (1992). On the distance constrained vehicle routing problem. *Operations research*, 40(4), 790-799.
- Li, R., Cheng, C., Qi, M., & Lai, W.** (2016). Design of dynamic vehicle routing system based on online map service. In *Service Systems and Service Management (ICSSSM)*, 2016 13th International Conference on (pp. 1-5). IEEE.
- Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T., Chung, S. H., & Lam, H. Y.** (2014). Survey of green vehicle routing problem: past and future trends. *Expert systems with applications*, 41(4), 1118-1138.
- Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T., Lam, H. Y., Pang, G. K., & Chin, K. S.** (2014). A decision support system for optimizing dynamic courier routing operations. *Expert Systems with Applications*, 41(15), 6917-6933.
- Ludema, M. W., & Roos, H. B.** (2000). 8.1. 4 Military and civil logistic support of humanitarian relief operations. In *INCOSE International Symposium* (Vol. 10, No. 1, pp. 135-142).
- Lysgaard, J., Letchford, A. N., & Eglese, R. W.** (2004). A new branch-and-cut algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *Mathematical Programming*, 100(2), 423-445.
- Maghfiroh, M. F., & Hanaoka, S.** (2018). Dynamic truck and trailer routing problem for last mile distribution in disaster response. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*.

- Mahmoudabadi, A., & Seyedhosseini, S. M.** (2014). Developing a chaotic pattern of dynamic Hazmat routing problem. *IATSS research*, 37(2), 110-118.
- Mahmoudabadi, M., Mahmoudabadi, A., Kisomi, N. A., & Gholami, A.** (2018). How to Distribute Hazmat Transport Risk over the Intercity Network? An Empirical Study. In *Proceedings of the Second European Conference on Industrial Engineering and Operations Management* (pp. 2667-2675).
- Maniezzo, V., & Colorni, A.** (1999). The ant system applied to the quadratic assignment problem. *IEEE Transactions on knowledge and data engineering*, 11(5), 769-778.
- Maniezzo, V., Gambardella, L. M. ve de Luigi, F.,** (2003), "European Commission Project
- Mavrovouniotis, M., & Yang, S.** (2015). Ant algorithms with immigrants schemes for the dynamic vehicle routing problem. *Information Sciences*, 294, 456-477.
- Mazzeo, S., & Loiseau, I.** (2004). An ant colony algorithm for the capacitated vehicle routing. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 18, 181-186.
- Montemanni, R., Gambardella, L. M., Rizzoli, A. E., & Donati, A. V.** (2003). A new algorithm for a dynamic vehicle routing problem based on ant colony system. In *Second international workshop on freight transportation and logistics* (Vol. 1, No. 1, pp. 27-30).
- Montemanni, R., Gambardella, L. M., Rizzoli, A. E., & Donati, A. V.** (2005). Ant colony system for a dynamic vehicle routing problem. *Journal of Combinatorial Optimization*, 10(4), 327-343.
- Nagy, G., & Salhi, S.** (2005). Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries. *European journal of operational research*, 162(1), 126-141.
- Novoa, C., & Storer, R.** (2009). An approximate dynamic programming approach for the vehicle routing problem with stochastic demands. *European journal of operational research*, 196(2), 509-515.
- Oruc, B. E., & Kara, B. Y.** (2018). Post-disaster assessment routing problem. *Transportation research part B: methodological*, 116, 76-102.
- Pillac, V., Gendreau, M., Guéret, C., & Medaglia, A. L.** (2013). A review of dynamic vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*, 225(1), 1-11.
- Popović, D., Vidović, M., & Radivojević, G.** (2012). Variable neighborhood search heuristic for the inventory routing problem in fuel delivery. *Expert Systems with Applications*, 39(18), 13390-13398.
- Psaraftis, H. N.** (1995). Dynamic vehicle routing: Status and prospects. *Annals of operations research*, 61(1), 143-164.
- Quaddi, K., Benadada, Y., & Mhada, F. Z.** (2018). Ant Colony System for Dynamic Vehicle Routing Problem with Overtime. *INTERNATIONAL*

- Ronen, D.** (1986). Short-term scheduling of vessels for shipping bulk or semi-bulk commodities originating in a single area. *Operations Research*, 34(1), 164-173.
- Ropke, S.,** (2005), "Heuristic and Exact Algorithms for Vehicle Routing Problems", University of Copenhagen, Department of Computer Science, Doktora Tezi, Danimarka.
- Safeer, M., Anbuudayasankar, S. P., Balkumar, K., & Ganesh, K.** (2014). Analyzing transportation and distribution in emergency humanitarian logistics. *Procedia Engineering*, 97, 2248-2258.
- Sarasola, B., Doerner, K. F., Schmid, V., & Alba, E.** (2016). Variable neighborhood search for the stochastic and dynamic vehicle routing problem. *Annals of Operations Research*, 236(2), 425-461.
- Savelsbergh, M.** (1997). A branch-and-price algorithm for the generalized assignment problem. *Operations research*, 45(6), 831-841.
- Savelsbergh, M. W., & Sol, M.** (1995). The general pickup and delivery problem. *Transportation science*, 29(1), 17-29.
- Schilde, M., Doerner, K. F., & Hartl, R. F.** (2011). Metaheuristics for the dynamic stochastic dial-a-ride problem with expected return transports. *Computers & operations research*, 38(12), 1719-1730.
- Secomandi, N.** (2000). Comparing neuro-dynamic programming algorithms for the vehicle routing problem with stochastic demands. *Computers & Operations Research*, 27(11-12), 1201-1225.
- Secomandi, N.** (2001). A rollout policy for the vehicle routing problem with stochastic demands. *Operations Research*, 49(5), 796-802.
- Shtovba, S. D.** (2005). Ant algorithms: theory and applications. *Programming and Computer Software*, 31(4), 167-178.
- Sivakumar, R. A., Batta, R., & Karwan, M. H.** (1993). A network-based model for transporting extremely hazardous materials. *Operations Research Letters*, 13(2), 85-93.
- Sreelekshmi, V., & Nair, J. J.** (2017). Dynamic vehicle routing for solid waste management. In *IEEE Region 10 Symposium (TENSYP)*, 2017 (pp. 1-5). IEEE.
- Stützle, T., & Hoos, H. H.** (2000). MAX-MIN ant system. *Future generation computer systems*, 16(8), 889-914.
- Talbi, E. G., Roux, O., Fonlupt, C., & Robillard, D.** (2001). Parallel ant colonies for the quadratic assignment problem. *Future Generation Computer Systems*, 17(4), 441-449.
- Taniguchi, E., & Shimamoto, H.** (2004). Intelligent transportation system based dynamic vehicle routing and scheduling with variable travel

times. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 12(3-4), 235-250.

Tavana, M., Abtahi, A. R., Di Caprio, D., Hashemi, R., & Yousefi-Zenouz, R. (2018). An integrated location-inventory-routing humanitarian supply chain network with pre-and post-disaster management considerations. *Socio-Economic Planning Sciences*, 64, 21-37.

Thomas, A., & Mizushima, M. (2005). Logistics training: necessity or luxury. *Forced Migration Review*, 22(22), 60-61.

Thomas, A.S., & Kopczak, L.R. (2005). *From Logistics to Supply Chain Management: The Path Forward in the Humanitarian Sector*. Fritz Institute

Toth, P., & Vigo, D. (2002). *The vehicle routing problem*. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia.

Vahdani, B., Veysmoradi, D., Noori, F., & Mansour, F. (2018). Two-stage multi-objective location-routing-inventory model for humanitarian logistics network design under uncertainty. *International journal of disaster risk reduction*, 27, 290-306.

Van Wassenhove, L. N. (2006). Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear. *Journal of the Operational research Society*, 57(5), 475-489.

Vidal, T., Crainic, T. G., Gendreau, M., Lahrichi, N., & Rei, W. (2012). A hybrid genetic algorithm for multidepot and periodic vehicle routing problems. *Operations Research*, 60(3), 611-624.

Wasner, M., & Zäpfel, G. (2004). An integrated multi-depot hub-location vehicle routing model for network planning of parcel service. *International Journal of Production Economics*, 90(3), 403-419.

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

Yang, Z., van Osta, J. P., van Veen, B., van Krevelen, R., van Klaveren, R., Stam, A., ... & Emmerich, M. (2017). Dynamic vehicle routing with time windows in theory and practice. *Natural computing*, 16(1), 119-134.

Yi, W., & Özdamar, L. (2007). A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities. *European Journal of Operational Research*, 179(3), 1177-1193.

Zhu, C., Fang, G., & Wang, Q. (2016). Optimization on emergency resources transportation network based on bayes risk function: a case study. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016.

URL-1 <<https://www.scopus.com>>, erişim tarihi 30.06.2020.

URL-2 <<https://www.emdat.be/classification>>, erişim tarihi 03.02.2020.

URL-3 <<https://tuik.gov.tr>>, erişim tarihi 30.06.2020.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad :Mustafa BAL
Doğum Tarihi ve Yeri :Orhangazi / 03.05.1993
E-posta :bal.mstfa@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Mezun Olduğu Lise** :2011, Ankara Polis Koleji
- **Mezun Olduğu Lisans** :2015, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Siyasal Bilgiler Fakültesi, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Bölümü
- **Mezun Olduğu Lisans** :2019, İstanbul Teknik Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM:

- 2018 Ekim – 2019 Haziran arası, AXA Sigorta A.Ş’de yarı zamanlı olarak çalıştı.
- 2019 Haziran – 2019 Aralık arası, AXA Sigorta A.Ş’de Uzman Yardımcısı olarak çalıştı.
- 2020 Ocak – Günümüz arası, ICRON Teknoloji ve Bilişim A.Ş’de Ürün Geliştirme Uzmanı olarak çalışmaktadır.