

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
ÜRETİM YÖNETİMİ VE PAZARLAMA BİLİM DALI**

**YALIN TAŞIMA AĞI TASARIMI VE KAMUDA BİR
UYGULAMA**

**Hazırlayan
Erkan ASLANTAŞ**

**Danışman
Doç. Dr. Yasemin YAVUZ**

Yüksek Lisans Tezi

**Haziran 2020
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
ÜRETİM YÖNETİMİ VE PAZARLAMA BİLİM DALI**

**YALIN TAŞIMA AĞI TASARIMI VE KAMUDA BİR
UYGULAMA
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Erkan ASLANTAŞ**

**Danışman
Doç. Dr. Yasemin YAVUZ**

**Haziran 2020
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Erkan ASLANTAŞ
İmza:

“Yalın Taşıma Ağı Tasarımı ve Kamuda Bir Uygulama” adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan
Erkan ASLANTAŞ
İmza

Danışman
Doç. Dr. Yasemin YAVUZ
İmza

İşletme ABD Başkanı
Prof. Dr. Ayşegül Asuman AKDOĞAN

KABUL VE ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Yasemin YAVUZ danışmanlığında Erkan ASLANTAŞ tarafından hazırlanan “YALIN TAŞIMA AĞI TASARIMI VE KAMUDA BİR UYGULAMA” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

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

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Yasemin YAVUZ

Üye :.....

Üye :.....

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

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

.....

.....

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Yoğun çalışma temposuna rağmen, özverili bir şekilde ders anlatmasının yanında tez çalışmamın başından sonuna kadar rehberlik yapmakla kalmayıp, ilgisi, anlayışı ve çözüm odaklılığı ile motivasyonumu canlı tutmama yardımcı olan çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Yasemin YAVUZ 'a,

Lisansüstü öğrenimim sürecinde, tecrübe paylaşımları ve geniş bakış açısı sayesinde anlamlı istifadelerimin olduğu, odaklanmam ve dikkat etmem gereken konuları hatırlatmasıyla üzerimde kıymetli emeği bulunan, çok değerli hocam Prof. Dr. Filiz ÇALIŞKAN 'a,

Lisansüstü öğrenimimde derslerini aldığım ve tez çalışmam esnasında ilgilerini eksik etmeyen tüm bölüm hocalarıma,

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince, destek ve anlayışlarını esirgemeyen, kendilerine ayırmam gereken zamandan fedakârlık göstererek teşviklerini daima hissettiren değerli eşim Fatma Hanım'a ve çocuklarım Talha Said, Zehra Nursima ve Sümeyye Nur'a çok teşekkür ederim.

Erkan ASLANTAŞ

Kayseri, Haziran 2020

YALIN TAŞIMA AĞI TASARIMI VE KAMUDA BİR UYGULAMA

Erkan ASLANTAŞ

Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2020

Danışman: Doç. Dr. Yasemin YAVUZ

ÖZET

Yalın düşünce felsefesinin uygulandığı her alanda olduğu gibi, lojistik faaliyetlerde de yalınlığın sağlanmasındaki amaç, değer katmayan ve gereksinim duyulmayan her çeşit unsurun ortadan kaldırılması suretiyle israfların ve verimsizliğin önüne geçilmesidir. Bu tez çalışmasında, bir kamu kurumundaki mevcut taşıma ağı ele alınarak, bütünleşik aktarma merkezi (AKM) lokasyon ve araç rotalama problemi (ARP) çerçevesinde yalın bir taşıma ağı tasarlanmasına çalışılmıştır.

Tez çalışmasında, ülkemizdeki bir Bakanlığın 81 İl Müdürlüğünde denetim faaliyetleri için kullanılan ve dizüstü bilgisayar ebatlarında olan bir test cihazının kalibrasyon ve yazılım güncellemesi sürecine dair taşıma problemi ele alınmıştır. Tüm taşıma faaliyeti boyunca katedilen toplam mesafenin 85.692 km ve kullanılan araç sayısının 81 olduğu mevcut taşıma ağında değer katmayan taşıma faaliyetlerinin bulunması nedeniyle gereksiz taşıma mesafeleri ve maliyetlerine katlanılmaktadır.

Yalın taşıma ağı tasarımıyla değer katmayan taşıma faaliyetlerinin ortadan kaldırılması ve maliyetlerin azaltılması hedefiyle, bütünleşik AKM lokasyon ve araç rotalama problemi çerçevesinde toplam mesafe ile toplam araç sayısını minimize etme amacına yönelik olarak, AKM'lerin belirlenmesine, talep merkezlerinin bu AKM'lere atanmasına ve araç rotalarının belirlenmesine çalışılmıştır. İncelenen problemdeki rotalamanın değişken kapalı uçlu olmasından yola çıkılarak, literatürde yer alan ARP çeşitlerinden Kapalı Uçlu ARP, yapılan yeni bir sınıflandırma çerçevesinde Değişken Kapalı Uçlu ve Sabit Kapalı Uçlu olmak üzere ikiye ayrılmıştır.

“Bütünleşik tek atamalı kapasite kısıtsız AKM lokasyon ve mesafe kısıtlı ARP” olarak da adlandırılabilen bu optimizasyon probleminin çözümüne yönelik tamsayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir.

Modelin, AIMMS optimizasyon yazılımı ile çözümü sonucunda elde edilen yalın taşıma ağı ile tüm taşıma faaliyeti 51.042 km mesafe ve 32 araç ile gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla, mevcut taşıma ağına göre katedilen mesafe %40,4 oranında, kullanılan araç sayısı ise %60,4 oranında iyileştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yalın Taşıma Ağı, Tesis Lokasyon Problemi, Araç Rotalama Problemi, Bütünleşik Lokasyon ve Rotalama, Matematiksel Model.

LEAN TRANSPORTATION NETWORK DESIGN AND APPLICATION IN A PUBLIC INSTITUTION

Erkan ASLANTAŞ

Erciyes University, Institute of Social Sciences, Master's Thesis, June 2020

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Yasemin YAVUZ

ABSTRACT

As in every field where lean philosophy is utilized, the purpose of ensuring leanness in logistic activities is to eliminate waste and inefficiency by removing any kind of non-value added and redundant elements. In this study, the transportation problem in a public institution has been investigated, and a lean network has been designed within the framework of the integrated transfer center (TC) location and vehicle routing problem (VRP).

The investigated transportation problem is concerned with the calibration and software updating process of a test equipment with a size of laptop that used for inspection activities in 81 provincial directorates of a Ministry in Turkey. Due to the non-value added transportation activities, redundant transportation distances and costs have been observed in the existing network, in which a total distance of 85.692 km is incurred and 81 vehicles are utilized throughout the entire transportation process.

The objective of this study is to design a lean transportation network that reduces costs by eliminating non-value added transportation activities. The integrated TC location and VRP is solved to determine the location of TCs, to assign each demand center to these TCs and to determine the corresponding routes for each vehicle, so that the total distance and the total number of vehicles are minimized. In line with the properties of the addressed real-life problem, the closed-end VRP in the literature is classified as variable closed-end and fixed closed-end VRP.

An integer linear programming model is proposed for the solution of the optimization problem, which can also be called as “integrated single assignment uncapacitated TC location and distance-constrained VRP”.

In the lean transportation network, obtained by the solution of the proposed model conducted with AIMMS optimization software, all transportation activities are realized with a total distance of 51.042 km and 32 vehicles. Thus, the total distance and the total number of vehicles have been improved by 40,4% and 60,4%, respectively when compared to the existing transportation network.

Key Words: Lean Transportation Network, Facility Location Problem, Vehicle Routing Problem, Integrated Location and Routing, Mathematical Model.

İÇİNDEKİLER

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI.....	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI.....	ii
KABUL VE ONAY SAYFASI.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	xiii
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xv
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 1.....	5
TEMEL KAVRAMLAR.....	5
1.1. Tedarik Zinciri Yönetimi.....	5
1.2. Lojistik Yönetimi.....	6
1.3. Yalın Düşünce ve İlkeleri.....	7
1.4. Yalın Lojistik.....	9
1.5. Yalın Lojistikte Taşıma Ağı Tasarım Seçenekleri	9
1.5.1. Tek Bir Varış Noktasına Doğrudan Taşıma Ağı	10
1.5.2. Döngüsel Sefer İle Doğrudan Taşıma Ağı	11
1.5.3. Dağıtım Merkezi İle Taşıma Ağı.....	12
1.5.4. Çapraz Sevkiyat İle Taşıma Ağı.....	14
1.5.5. Özelleştirilmiş Taşıma Ağı.....	17
BÖLÜM 2.....	18
TESİS LOKASYON VE ROTALAMA PROBLEMLERİ.....	18
2.1. Tesis Lokasyon Problemleri.....	18
2.1.1. Küme Kapsama Problemi.....	20
2.1.2. Maksimum Kapsama Problemi	21
2.1.3. P-Merkez Problemi	21

2.1.4. P -Dağılım Problemi	21
2.1.5. P -Medyan Problemi	22
2.1.6. Sabit Maliyetli Lokasyon Seçimi Problemi.....	22
2.1.7. Maksimum Toplam Problemi.....	23
2.1.8. Ana Dağıtım Üssü Lokasyon Problemi.....	23
2.1.8.1. P -ADÜ Medyan Problemi.....	26
2.1.8.1.1. Tek Atamalı p -ADÜ Medyan Problemi.....	26
2.1.8.1.2. Çok Atamalı p -ADÜ Medyan Problemi	26
2.1.8.1.3. r -Atamalı p -ADÜ Medyan Problemi	27
2.1.8.2. Sabit Maliyetli ADÜ Lokasyon Problemi.....	27
2.1.8.3. P -ADÜ Merkez Problemi	27
2.1.8.4. ADÜ Kapsama Problemi.....	28
2.1.8.5. Yıldız Yerleşimli ADÜ Lokasyon Problemi.....	29
2.2. Rotalama Problemleri.....	29
2.2.1. Gezgin Satıcı Problemi.....	30
2.2.1.1. Gezgin Satıcı Probleminin Matematiksel Modeli.....	31
2.2.2. Çoklu Gezgin Satıcı Problemi	32
2.2.2.1. Çoklu Gezgin Satıcı Probleminin Matematiksel Modeli	33
2.2.3. Araç Rotalama Problemleri	35
2.2.4. Araç Rotalama Problemi Türleri	36
2.2.4.1. Kısıtlarına Göre Araç Rotalama Problemleri.....	36
2.2.4.1.1. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi	37
2.2.4.1.2. Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi.....	37
2.2.4.1.3. Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi	38
2.2.4.1.4. Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi	38
2.2.4.1.5. Eş Zamanlı Topla ve Dağıt Araç Rotalama Problemi	39
2.2.4.1.6. Karma Dağıtımlı Araç Rotalama Problemi	39
2.2.4.1.7. Bölünmüş Dağıtımlı Araç Rotalama Problemi.....	39
2.2.4.1.8. Çok Depolu Araç Rotalama Problemi.....	40
2.2.4.1.9. Periyodik Araç Rotalama Problemi.....	40

2.2.4.1.10. Kümelenmiş Araç Rotalama Problemi.....	41
2.2.4.2. Yol Durumuna Göre Araç Rotalama Problemleri	41
2.2.4.2.1. Simetrik Araç Rotalama Problemi	41
2.2.4.2.2. Asimetrik Araç Rotalama Problemi	41
2.2.4.3. Çevre Durumuna Göre Araç Rotalama Problemleri	42
2.2.4.3.1. Statik Araç Rotalama Problemi.....	42
2.2.4.3.2. Dinamik Araç Rotalama Problemi	42
2.2.4.4. Rotalama Durumuna Göre Araç Rotalama Problemleri	42
2.2.4.4.1. Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemi.....	43
2.2.4.4.1.1. Sabit Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemi.....	43
2.2.4.4.1.2. Değişken Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemi.....	44
2.2.4.4.2. Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi	45
BÖLÜM 3.....	46
LİTERATÜR TARAMASI.....	46
3.1. Bütünleşik Lokasyon ve Rotalama Problemi İle İlgili Çalışmalar.....	46
3.2. Literatür Değerlendirmesi ve Çalışmanın Katkıları.....	52
BÖLÜM 4.....	54
BÜTÜNLEŞİK LOKASYON VE ROTALAMA PROBLEMİNE DAİR	
MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİSİ.....	54
4.1. Problemin Tanımlanması	54
4.2. Probleme Dair Kısıtlar ve Varsayımlar.....	55
4.3. Önerilen Matematiksel Model.....	56
4.4. Modelin Örnek Problem Üzerinde Uygulanması.....	61
BÖLÜM 5.....	67
KAMUDA YALIN TAŞIMA AĞI TASARIMI UYGULAMASI.....	67
5.1. Uygulama Probleminin Tanımlanması	67
5.2. Mevcut Ağda Taşıma Mesafeleri	70
5.3. Uygulama Problemi İçin Yalın Taşıma Ağı Tasarımı	76
5.4. Uygulama Problemi Verileri	77
5.5. Uygulama Problemi Çözüm Sonuçları.....	79
5.6. Mevcut ve Yalın Taşıma Ağının Karşılaştırılması	91

SONUÇ.....	95
EKLER.....	97
EK I. Geliştirilen Matematiksel Modelin AIMMS Kodu	97
EK II. Uygulama Probleminde Yer Alan İller Arası Mesafe Matrisi	106
KAYNAKLAR.....	122
ÖZGEÇMİŞ.....	135



KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

ADÜ	Ana Dağıtım Üssü
AKM	Aktarma Merkezi
ARP	Araç Rotalama Problemi
AUARP	Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi
ASARP	Asimetrik Araç Rotalama Problemi
BDARP	Bölünmüş Dağıtım Araç Rotalama Problemi
ÇDARP	Çok Depolu Araç Rotalama Problemi
ÇGSP	Çoklu Gezgin Satıcı Problemi
DKUAR	Değişken Kapalı Uçlu Araç Rotalama
DKUARP	Değişken Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemi
DM	Dağıtım Merkezi
ETDARP	Eş Zamanlı Topla ve Dağıt Araç Rotalama Problemi
GSP	Gezgin Satıcı Problemi
GTARP	Geri Toplamalı Araç Rotalama Problemi
KAKLRP	Kapasiteli AKM Kapsama Lokasyon-Rotalama Problemi
KDARP	Karma Dağıtım Araç Rotalama Problemi
KKARP	Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
KUARP	Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemi
KÜARP	Kümelenmiş Araç Rotalama Problemi
DP	Doğrusal Programlama
MKARP	Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
ÖDSTARP	Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi
PARP	Periyodik Araç Rotalama Problemi
SARP	Simetrik Araç Rotalama Problemi
SKUARP	Sabit Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemi
TLARP	Tesis Lokasyon ve Araç Rotalama Problemi
TLP	Tesis Lokasyon Problemi
ZPARP	Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Örnek problemde yer alan iller.	62
Tablo 4.2. Örnek problemde yer alan iller arası mesafe matrisi.	63
Tablo 4.3. Örnek problemin çözüm sonuçları.	65
Tablo 5.1. Mevcut ağda İzmir AKM ile bağlı şehirler arasındaki mesafeler.	70
Tablo 5.2. Mevcut ağda Kocaeli AKM ile bağlı şehirler arasındaki mesafeler.	71
Tablo 5.3. Mevcut ağda İstanbul AKM ile bağlı şehirler arasındaki mesafeler.	72
Tablo 5.4. Mevcut ağda Adana AKM ile bağlı şehirler arasındaki mesafeler.	72
Tablo 5.5. Mevcut ağda Erzincan AKM ile bağlı şehirler arasındaki mesafeler.	73
Tablo 5.6. Mevcut ağda Ankara AKM ile bağlı şehirler arasındaki mesafeler.	74
Tablo 5.7. Mevcut ağda Samsun AKM ile bağlı şehirler arasındaki mesafeler.	74
Tablo 5.8. Mevcut ağda Diyarbakır AKM ile bağlı şehirler arasındaki mesafeler.	75
Tablo 5.9. Mevcut ağda AKM'ler ile Kalibrasyon Birimi arasındaki mesafeler.	76
Tablo 5.10. İllerin plaka kodları.	78
Tablo 5.11. Çeşitli amaç fonksiyonları için uygulama problemi çözüm sonuçları.	80
Tablo 5.12. Bitlis AKM ile ilgili çözüm sonuçları.	81
Tablo 5.13. Çorum AKM ile ilgili çözüm sonuçları.	82
Tablo 5.14. Erzurum AKM ile ilgili çözüm sonuçları.	83
Tablo 5.15. Gaziantep AKM ile ilgili çözüm sonuçları.	84
Tablo 5.16. İstanbul AKM ile ilgili çözüm sonuçları.	85
Tablo 5.17. Kocaeli AKM ile ilgili çözüm sonuçları.	86
Tablo 5.18. Nevşehir AKM ile ilgili çözüm sonuçları.	87
Tablo 5.19. Ordu AKM ile ilgili çözüm sonuçları.	88
Tablo 5.20. Uşak AKM ile ilgili çözüm sonuçları.	89
Tablo 5.21. Çözüm sonucu AKM'ler ile Kalibrasyon Birimi arası mesafeler.	90
Tablo 5.22. Mevcut taşıma ağı ile yalın taşıma ağının kıyaslanması.	94

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Doğrudan taşıma ağı.	10
Şekil 1.2. Döngüsel sefer ile doğrudan taşıma: Çok-müşteri ve çok-tedarikçi modeli... 12	12
Şekil 1.3. Dağıtım merkezi aracılığıyla taşıma.	12
Şekil 1.4. Sadece DM sonrası döngüsel sefer ile taşıma.....	13
Şekil 1.5. Çapraz sevkiyat ile taşıma.	15
Şekil 2.1. Tesis lokasyon problemi türleri.	19
Şekil 2.2. Küme kapsama problemi örnek ağı.	20
Şekil 2.3. ADÜ lokasyon problemi genel ağ gösterimi.	24
Şekil 2.4. ADÜ lokasyon problemi çeşitleri.	25
Şekil 2.5. ÇGSP örnek bir tur planı.	32
Şekil 2.6. Araç rotalama problemi türleri.	36
Şekil 2.7. Sabit kapalı uçlu ARP.....	43
Şekil 2.8. Değişken kapalı uçlu ARP.....	44
Şekil 2.9. Açık Uçlu ARP.....	45
Şekil 4.1. Örnek problemde yer alan illerin harita görünümü.	64
Şekil 4.2. Örnek problemin çözümü sonucunda bulunan AKM'ler ve alt tur rotaları....	64
Şekil 4.3. Örnek problemin çözümü sonucu AKM'ler ile hedef nokta arasındaki turlar.	66
Şekil 5.1. Mevcut taşıma ağının Türkiye haritasında gösterimi.	69
Şekil 5.2. Bitlis AKM'ye atanan şehirler ve alt tur rotaları.....	81
Şekil 5.3. Çorum AKM'ye atanan şehirler ve alt tur rotaları.	82
Şekil 5.4. Erzurum AKM'ye atanan şehirler ve alt tur rotaları.	83
Şekil 5.5. Gaziantep AKM'ye atanan şehirler ve alt tur rotaları.	84
Şekil 5.6. İstanbul AKM'ye atanan şehirler ve alt tur rotaları.	85
Şekil 5.7. Kocaeli AKM'ye atanan şehirler ve alt tur rotaları.....	86
Şekil 5.8. Nevşehir AKM'ye atanan şehirler ve alt tur rotaları.....	87
Şekil 5.9. Ordu AKM'ye atanan şehirler ve alt tur rotaları.	88
Şekil 5.10. Uşak AKM'ye atanan şehirler ve alt tur rotaları.	89

Şekil 5.11. Uygulama problemi çözüm sonucu: AKM alt tur rotalarının Türkiye haritasında genel görünümü. 92

Şekil 5.12. Uygulama problemi çözüm sonucu: AKM'ler ile Kalibrasyon Birimi arasındaki turlar.....93



GİRİŞ

İkinci Dünya Savaşı yıllarında Japonya ekonomisi ve şirketleri zor durumdaydı. 1950’li yıllarda Toyota yöneticisi Taiichi Ohno, şirketin iş yapma biçimini değiştirerek bu durumdan şirketini kurtarmayı hedeflemiştir (Mol and Birkinshaw, 2008). Ohno, makinelerin yerleşim yerlerinin yeniden düzenlenmesi ve çalışanların yeteneklerinin artırılarak işgücünden daha fazla yararlanılmasının sağlanması gibi değişikliklerle üretim ortamındaki süreçlerde israfın giderilmesine çalışmıştır.

Womack, Jones ve Ross, “Dünyayı Değiştiren Makina” adıyla 1990 yılında yayınladıkları ve dünya genelindeki otomotiv sektörünün kıyaslanmasını içeren bir araştırmanın sonucunu içeren kitaplarında, ölçüt ve süreç ne olursa olsun, Japonların çok geniş alanda (üretim verimliliği, ürün kalitesi, lojistik, tedarikçi ilişkileri, ürün geliştirme akış süresi ve verimliliği, dağıtım sistemleri vb.) Avrupalı ve Amerikan şirketlerinden çok daha üstün olduklarını ortaya koymuşlardır.

Yalın kelimesi, o zamanlar yüksek lisans öğrencisi olan John Krafcik tarafından önerilmiştir. Krafcik, “yalın” ın az şey ile çok şey yapmak anlamına geldiğini ve Japonların, özellikle Toyota’nın, hemen hemen her şeyin en azı ile müşteri için yapmaları gereken her şeyin daha fazlasını yaptıklarını iddia etmiştir (Liker ve Ross, 2012).

Womack ve Jones, 1996 yılında ilk baskısı yapılan “Yalın Düşünce” kitaplarıyla da kılavuz olacak prensipleri ortaya koyarak yalın sistemin anlaşılmasına önemli katkıda bulunmuşlardır.

Yalın düşünce, değeri tanımlamak, değer yaratan eylemleri en iyi sonucu verecek sıraya koymak, bu faaliyetleri kesintisiz olarak uygulamak, onları giderek daha etkili biçimde yapmak için bir yol sağlar. Kısacası yalın düşünce yalındır; çünkü daha az ile yani daha az insan çabası, daha az ekipman, daha az zaman ve daha az alan ile daha fazlayı elde etmenin yolunu gösterir ve böylece müşterilerin tam olarak istediklerini sağlamaya daha fazla yaklaşmış olur (Womack ve Jones, 2017).

Yalın düşüncede israf, bilinen anlamının ötesinde ürün ya da hizmetin kullanıcısına herhangi bir fayda sunmayan, müşterinin fazladan bedel ödemeyi kabul etmeyeceği her şeydir. Tasarımdan sevkiyata tüm ürün/hizmet yaratma aşamalarındaki her türlü israfın (hatalar, aşırı üretim, stoklar, beklemler, gereksiz işler, gereksiz hareketler, gereksiz taşımalar) yok edilmesi ile maliyetlerin düşürülmesi, müşteri memnuniyetinin artırılması, piyasa koşullarına uyum esnekliğinin kazanılması, nakit akışının hızlandırılması firma karlılığının artırılması hedeflenmektedir (<https://lean.org.tr/yalin-dusunce-nedir/>). Dolayısıyla, yalın düşünce kavramının uygulama alanlarından birisi, ulaşım ve taşıma faaliyetlerini de içeren lojistik sektörüdür.

Ulaşım ve taşıma, diğer canlılarda olduğu gibi, insanoğlunun da en çok ve sık yapageldiği faaliyetler arasında yer almaktadır. İnsanlar her zaman kendilerinin veya ürün, eşya gibi nesnelerin bir yerden başka bir yere taşınmasının en kolay, en hızlı, en güvenli ve en az maliyetli yolunu bulmak istemişlerdir. Tekerleğin icadı, insanların ve nesnelerin daha çok miktarda ve daha hızlı bir şekilde taşınması noktasında çok önemli bir adım olmuştur.

18. yüzyılın sonları ve 19. yüzyılın başlarında buharlı makinelerin icadı ve bunların sanayiye uygulanabilir hale gelmesi; küçük ölçekli atölye tipi işletmelerin, önce makinelerle üretim yapan büyük atölyelere sonra ise artan ölçüde kitle üretimi yapan fabrikalara dönüşmesine sebep olmuştur. Kol gücünden makineye geçiş döneminin yaşandığı bu dönem Endüstri Devrimi olarak bilinmektedir (Mucuk, 2003).

Artan ölçüde üretim yapar hale gelen işletmeler, bu üretimin gerçekleştirilebilmesi için gereken hammadde, malzeme ve yarı mamul gibi üretim girdilerinin tedarik edilerek imalatın yapıldığı fabrikaya, fabrikada üretilen ürünlerin de farklı yerlerdeki birçok müşteriye ulaştırılmasında etkili ve verimli olmayı sağlayacak yöntemler geliştirmenin çabası içerisinde olmuşlardır. Dolayısıyla endüstri devriminin, aslında tekerleğin icadıyla başlayan lojistik faaliyetler için de yeni bir dönemin başlangıcı olduğunu söylemek mümkündür.

Lojistik, doğru malzemenin doğru miktar ve şartlarda, doğru yerde ve zamanda, doğru müşteriye, doğru fiyatla ulaştırılmasını sağlamak için yapılması gereken faaliyetlerin

tamamıdır (Sürmen ve Aygün, 2006). Bir başka tanıma göre lojistik, genel olarak ürünün ya da hizmetin bir tedarik noktasından çeşitli talep merkezlerine taşınması olarak tanımlanmaktadır. Tam bir lojistik sistemi hammaddelerin satıcılardan ya da tedarikçilerden alınarak taşınması, bu hammaddelerin üretim için imalat fabrikalarına dağıtılması, üretilen bu ürünlerin depolara ya da dağıtım merkezlerine aktarılması ve son olarak müşterilere dağıtılmasını kapsamaktadır. Hem dağıtım hem de tedarik prosedürleri etkili bir taşıma yönetimine ihtiyaç duymaktadır. İyi bir dağıtım yönetimi işletmenin toplam dağıtım maliyetlerinde önemli ölçüde bir azalma sağlayabilmektedir (Tan, 2001).

Yalın düşünce felsefesinin uygulandığı her alanda olduğu gibi, lojistik faaliyetlerde de yalınlığın sağlanmasındaki amaç, değer katmayan ve gereksinim duyulmayan her çeşit unsur, faaliyet ve sürecin ortadan kaldırılması suretiyle israfların ve verimsizliğin engellenmesidir.

Lojistik faaliyetlerde de ürün veya hizmeti sunan firmanın maliyetlerini düşürerek tasarruf ve verimliliğin sağlanması bakımından en uygun araç rotası ile taşınmanın/dağıtımın yapılması, yani araç rotalama problemleri (ARP) işletmelerin ve araştırmacıların halen üzerinde çalıştıkları önemli konulardan birisidir. Dolayısıyla, lojistik süreçlerin daha verimli hale getirilerek optimize edilmesi, böylece yerel/küresel rekabet ortamında avantaj sağlanması noktasında alınması gerekli olan kararlardan birisi de araç rotalama veya taşıma ağı tasarımı ile ilgilidir.

Ülkemizdeki bir Bakanlığın 81 ilde bulunan İl Müdürlüklerinde denetim faaliyetleri için kullanılan bir test cihazının (dizüstü bilgisayar çantası ebatlarında) belirli zamanlarda kalibrasyon ve yazılım güncellemesi işleminin yapılması zorunludur. Bu işlem için cihazların Kocaeli ilinde bulunan Kalibrasyon Birimine taşınması, kalibrasyon ve yazılım güncellemesi işlemlerinin tamamlanmasının ardından, cihazların tekrar İl Müdürlüklerine getirilmesi gerekmektedir. Bu taşıma faaliyetine dair mevcut durum ele alınarak, taşıma ağındaki israf ve verimsizliğin ortadan kaldırılmasıyla etkinliği sağlayacak olan bütünleşik AKM lokasyon ve araç rotalama problemi çerçevesinde yalın bir taşıma ağı tasarlanması amaçlanmıştır.

Yalın taşıma ağı tasarımıyla, değer katmayan taşıma faaliyetlerinin ortadan kaldırılması ve maliyetlerin azaltılması hedefiyle, bütünleşik AKM lokasyon ve araç rotalama problemi çerçevesinde toplam mesafe ile toplam araç sayısını minimize etme amacına yönelik olarak, AKM'lerin belirlenmesine, talep merkezlerinin bu AKM'lere atanmasına ve araç rotalarının belirlenmesine çalışılmıştır.

“Bütünleşik tek atamalı kapasite kısıtsız AKM lokasyon ve mesafe kısıtlı ARP” olarak adlandırılabilen bu optimizasyon probleminin çözümüne yönelik tamsayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir.

Ayrıca, her türlü organizasyonun verimliliğinin ve etkinliğinin artırılmasında benimsenip uygulanabilecek temel prensipleri içeren yalın düşünce yöntemlerinin, kâr amacı gütmeyen, hizmet odaklı olan ve bu tekniklerin uygulanmasında nispeten daha az akademik çalışmalar yapıldığı alan olan kamu kurumlarının faaliyetlerine uyarlanması ve uygulanması ile “yalın kamu” anlayışının benimsenmesine katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Tez çalışmasının birinci bölümünde, tedarik zinciri, lojistik, yalın lojistik ve yalın lojistikte taşıma ağı tasarım seçenekleri gibi temel kavramlar hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde, tesis lokasyon ve rotalama problemlerine dair sınıflandırmalar ve tanımlamalar yapılmıştır. Üçüncü bölümde, lokasyon ve rotalama probleminin birlikte ele alındığı çalışmalar incelenerek literatür değerlendirmesi yapılmıştır. Dördüncü bölümde bütünleşik lokasyon ve rotalama problemi çerçevesinde bir matematiksel model önerisinde bulunulmuştur. Beşinci bölümde ise bir kamu kurumundaki taşıma ağı problemi ele alınarak, öncelikle problemin tanımı yapılmıştır. Yalın taşıma ağı tasarımı kapsamında, dördüncü bölümde önerilen matematiksel model bu uygulama problemi verileri ile çalıştırılarak problem çözülmüş ve elde edilen yalın taşıma ağı ile mevcut taşıma ağının karşılaştırması yapılmıştır.

BÖLÜM 1

TEMEL KAVRAMLAR

Bu bölümde, tedarik zinciri ve lojistik yönetimi, yalın düşünce ve yalın lojistik ile ilgili temel kavram ve tanımlara yer verilmiştir. Ardından, yalın lojistikte taşıma ağı tasarım alternatifleri incelenerek bu alternatiflere dair açıklamalar sunulmuştur.

1.1. Tedarik Zinciri Yönetimi

Tedarik zinciri; bir ürünün, ham maddesinin kaynaklarından başlayarak, ham madde ve malzemelerinin temini, üretim tesisine getirilmesi, üretiminin yapılması ve ardından son kullanıcısına ulaştırılması, hatta kullanıldıktan sonra çöp ve atıklar ile iadelerinin toplanmasına kadar olan faaliyetler zinciridir (Nebol, 2016).

Genel anlamda tedarik zinciri kavramı, müşteri için değer oluşturan tüm temel ve destek faaliyetlerini kapsamına rağmen, iş yaşamında ve uygulamada tedarik zinciri, dar anlamı ile sadece işletmenin gelir sağlayan ana mal ve hizmetlerinin üretimi için girdileri, kurumları ve faaliyetleri, bunun yanında üretilen mal ve hizmetlerin son tüketiciye kadar gönderilmesi ile ilgili kurumları ve faaliyetleri kapsamaktadır. İşletmenin alt yapısı olarak tanımlanabilecek olan, tesisler, makineler, diğer sabit kıymetler ve bunların çalışabilmesi için gerekli girdilerin temini ile ilgili kurum ve faaliyetler, “dar anlamdaki” tedarik zinciri içinde sayılmazlar. Bunlar da üretime katkı sağlayan yardımcı unsurlardır; ancak iş yaşamında ve uygulamada dar anlamı ile tanımlanan tedarik zinciri yönetimi içinde genellikle yer almazlar (Ülgen ve Mirze, 2016).

Chopra ve Meindl (2017), tedarik zincirine dair tanımlarını genel anlamda yaparak; müşterinin talebi yerine getirilirken, doğrudan veya dolaylı olarak ilgili tüm taraflardan oluştuğunu, tedarik zincirinin, sadece üreticiler ve tedarikçileri değil, aynı zamanda taşımacılar, depolar, perakendeciler ve hatta onların müşterilerini de içerdiğini, tedarik zincirinin, müşteri talebinin alınması ve karşılanması ile ilgili bütün fonksiyonları kapsadığını belirtmişlerdir.

Tedarik zinciri yönetimi ise, Tedarik Zinciri Yönetimi Profesyonelleri Konseyi (CSCMP-Council of Supply Chain Management Professionals) tarafından yapılan tanıma göre, “kaynakların bulunması ve tedarik edilmesi, bu kaynakların ürüne dönüştürülmesi ve lojistik yönetiminde yer alan tüm faaliyetlerin planlanmasını ve yönetimini, daha da önemlisi, tedarikçiler, aracılar, üçüncü taraf hizmet sağlayıcılar ve müşterileri de içine alan kanal ortaklarıyla koordinasyon ve işbirliğini içerir” şeklinde ifade edilmektedir (<https://cscmp.org/>).

Bu tanımdan da anlaşılacağı üzere, tedarik zinciri yönetimi, müşteri talebinin karşılanması için, lojistik faaliyetlerin yer aldığı tüm süreçleri kapsamaktadır. Dolayısıyla, lojistik yönetimine dair faaliyetler, tedarik zinciri yönetiminin bir parçası olarak ele alınmaktadır.

1.2. Lojistik Yönetimi

Lojistik, mal ve hizmetlerin, doğru zamanda, doğru yerde, doğru miktar ve şartlarda bulunmasını sağlamanın en düşük maliyet ile gerçekleştirilmesi olarak tanımlanabilir (Nebol, 2016).

Lojistik yönetimi ise, yine Tedarik Zinciri Yönetimi Profesyonelleri Konseyinin yaptığı tanıma göre tedarik zinciri yönetiminin bir parçasıdır ve müşteri ihtiyaçlarının karşılanması maksadıyla, mal ve hizmetler ile bunlara dair bilgilerin, kaynağından ve başlangıç noktasından, ürünün tüketildiği son noktaya kadar etkili ve verimli bir şekilde ileri-geri akışı ve stoklanmasının planlanması, yürütülmesi ve kontrolünü içerir (<https://cscmp.org/>).

Lojistik yönetimi, sadece tedarik, dağıtım, depolama ve taşıma gibi fonksiyonları içerirken, tedarik zinciri yönetimi, lojistik yönetiminin fonksiyonlarına ek olarak finans, ürün geliştirme ve pazarlama gibi alanları da kapsamaktadır. Bununla birlikte, tedarik zinciri yönetiminin etkinliğini azaltacak her türlü olumsuz etkenin ortadan kaldırılması, tedarik zinciri yönetiminin alanı içerisinde yer almaktadır (Görçün, 2016).

Lojistik yönetiminin bazı temel fonksiyonları; depo yeri seçimi, sipariş işleme, talep planlaması ve takibi, taşıma, dağıtım merkezi (DM) yönetimi, depolama ve stoklama, elleçleme, paketleme, sigortalama ve iade yönetimi olarak belirtilebilir (Bilginer ve Kayabaşı, 2007).

Tüm lojistik yönetimi faaliyetlerinin, en düşük maliyetle, etkin ve verimli yürütülmesine yönelik bir yaklaşım olan yalın lojistik kavramına geçmeden önce, yalın düşünce kavramı aşağıda kısaca incelenmiştir.

1.3. Yalın Düşünce ve İlkeleri

Yalın olmak; “gerçekten ihtiyaç duyulmayan her şeyden arındırılmış olmak” demektir (Ertürk, 1995). Wee ve Wu (2009), “yalın” terimini, israfı ortadan kaldırmak, katma değerli olmayan işlemleri azaltmak ve katma değeri olan işlemleri artırmak ve iyileştirmek için bir dizi faaliyet veya çözüm şeklinde tanımlamışlardır.

İsrafın kelime anlamı ise; gereksiz yere para, zaman, emek vb. harcama, savurganlık, tutumsuzluktur (<http://www.tdk.gov.tr/>). İsfraf başka bir ifadeyle, değer katan ya da katmayan faaliyetler esnasında meydana gelen amaçsız kaynak tüketimi olarak da tanımlanabilir (Özen, 2015).

Yalın düşünce, en az kaynak (işgücü, malzeme, ekipman, zaman) ile ürünlere ve müşterilere yüksek katma değer sağlayan, israfın ortadan kaldırılmasını amaçlayan bir yaklaşımdır (Liu; Leat; Moizer et al. 2013).

Womack ve Jones (2017), yalın düşüncenin beş temel ilkesi olduğunu belirtmişlerdir. Bu ilkeler aşağıda sıralanmıştır:

a) Değer: Müşterinin tanımladığı ve arzu ettiği olgu olarak tanımlanabilen değer, yalın düşüncenin merkezinde yer almakla birlikte en kritik ve başlangıç adımıdır. Bir ürün veya hizmete dair müşteri tarafından istenen değer doğru olarak anlaşılamazsa veya saptanamazsa, yanlış bir ürün veya hizmet gerçekleştirilmiş olacaktır ki bu da israftır.

b) Değer Akışı: Yalın düşüncede değer tanımlandıktan sonraki adım değer akışını belirlemektir. Değer akışı, belli bir ürün ve hizmeti elde etmek için gereken somut eylemler dizisidir. Değer akışının analiz edilmesi, akış boyunca oluşan üç tür eylemi tespit eder. Bunlar; tartışılmayacak kadar açık bir şekilde değer katan adımlar, değer katmayan, fakat mevcut teknolojiler ve olanaklar ile kaçınılmaz adımlar ve son olarak, değer katmayan ve hemen giderilebilecek olan fazladan adımlardır (Womack ve Jones, 2017).

c) Sürekli Akış: Değer tanımlanıp değer akış analizi sonucunda değer katmayan ve israfa yol açan adımların yok edilmesinin ardından, yalın düşüncenin sonraki adımı gelir ki, değer oluşturan adımların akışının kesintiye uğramadan sürekliliğinin sağlanmasıdır. Akış düşüncesinin nihai amacı, süreçlerin bütününde tüm duraklamaların veya beklemelerin yok edilmesidir (Womack ve Jones, 2017).

d) Çekme: Çekmede başlangıç noktası müşteri siparişi ve talepleridir. Çekme, sonraki aşamalarda yer alan müşteriden istek gelmeden, önceki aşamalarda hiçbir şekilde ürün ve hizmet üretilmemesi anlamına gelir. Başka bir deyişle, ürün müşteriye ulaşana kadar geçen tüm aşamaları geriye doğru izleyip, her aşamanın bir öncekinden talep etmesiyle üretimi başlatmak şeklinde uygulanır (Şeker, 2016).

e) Mükemmellik: Mükemmellik, son noktası olmayan yalın bir yolculuktur. Bu bakımdan kavramı “sürekli iyileştirmeler” şeklinde görmek gerekir. Yalın düşüncenin temelinde “iş doğru yapmak” yerine “doğru işi bir defada yapmak” ilkesi vardır. Buna karşın israf tümüyle yok edilemeyeceğinden, mükemmellik tamamen ulaşılması pek mümkün olmayan izafî bir hedef durumundadır. Dolayısıyla, daha gerçekçi bir amaç

sürecin ulaşılabilecek en yüksek performans değeri doğrultusunda işletilmesini ve bu değerin sürekli geliştirilmesini sağlamak olmalıdır (Türkan, 2010).

1.4. Yalın Lojistik

Temelleri Toyota firması tarafından ortaya atılan, “Toyota Üretim Sistemi”, “Tam Zamanında Üretim (*Just In Time*)” ve “Yalın Üretim Sistemi” adı verilen üretim sistemi aslında güçlü bir “prensipler” demetidir. Başlangıçta üretim sistemleri için tasarlanmış ise de, bu güçlü prensiplerin yalnızca üretim sistemleri için değil, tüm sistemler ve kuruluşlar için geçerli olduğu görülmüştür. Özünde israfların önlenmesi ve sürekli iyileşme yapılması gibi büyük hedefler içeren bu prensiplerin lojistik sistemlere uygulanması ile yalın lojistik kavramı ortaya çıkmaktadır (Nebol, 2016).

Kocabaş (2014), yalın lojistiği müşterinin arzu ettiği ürün ve hizmetleri, zaman ve maliyet açısından daha az kaynak ile üretebilme imkânı sağlayan, müşteri için ortaya değer koyan ve israfı ortadan kaldıran bir yaklaşım olarak ifade etmiştir.

Yalın lojistiğin ana amacı, doğru parçaları, doğru ambalajlarda, doğru yerde, doğru kalite ve miktarda, doğru zamanda teslim ederek malzeme stoklarını ve lojistik maliyetlerini düşürmektir. Yalın lojistik düşünce yapısının temelinde, sistem içindeki israfların ve etkin olmayan akışların detaylı olarak anlaşılması vardır (Kurtcan, 2009).

1.5. Yalın Lojistikte Taşıma Ağı Tasarım Seçenekleri

Bir taşıma ağının tasarımı, tedarik zincirinin performansını, çizelgeleme ve rotalamaya ilişkin operasyonel taşıma kararlarının verileceği altyapının oluşturulmasıyla etkiler. İyi tasarlanmış bir taşıma ağı, bir tedarik zincirinin hedeflenen hizmet düzeyine daha düşük maliyetle ulaşmasını sağlar. Bir tedarik zincirinde taşıma ağı tasarlanırken cevap verilmesi gereken üç temel soru vardır (Chopra ve Meindl, 2017):

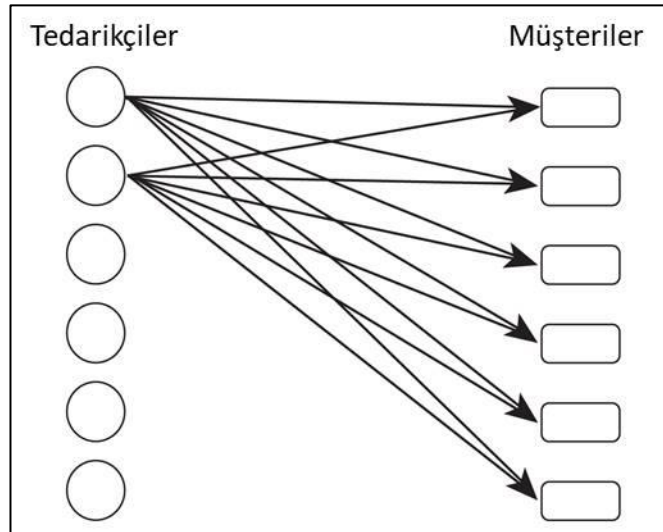
- Taşıma doğrudan mı yoksa bir ara nokta olarak aktarma merkezi üzerinden mi yapılmalıdır?
- Kullanılacak aktarma merkezi, sadece aktarma için mi kullanılmalı yoksa ürün de stoklayabilmeli midir?

- Her bir teslimat rotası tek bir varış noktası mı içermelidir yoksa birden çok varış noktası (döngüsel sefer ile) içerebilir mi?

Bu sorulara verilen cevaplara dayanılarak bir tedarik zinciri için çeşitli taşıma ağları tasarlanabilmektedir.

1.5.1. Tek Bir Varış Noktasına Doğrudan Taşıma Ağı

Tek bir varış noktasına doğrudan taşıma seçeneğinde taşıma ağı, Şekil 1.1’de görüldüğü üzere, tüm sevkiyatlar her bir tedarikçi den her bir müşteri konumuna doğrudan gönderilecek şekilde yapılandırılır. Doğrudan taşıma ağının en büyük avantajı, ara depoların ortadan kaldırılması ile operasyon ve koordinasyonun basit olmasıdır. Sevkiyat kararı tamamen yereldir ve bir sevkiyat için verilen karar diğerlerini etkilemez. Her sevkiyat doğrudan gittiğinden tedarikçi den müşteri konumuna taşıma süresi kısadır (Chopra ve Meindl, 2017). Doğrudan taşıma, yüksek partilerdeki ürün taleplerinin düşük taşıma maliyetleri ile karşılanmasını sağlar.



Şekil 1.1. Doğrudan taşıma ağı.

1.5.2. Döngüsel Sefer İle Doğrudan Taşıma Ağı

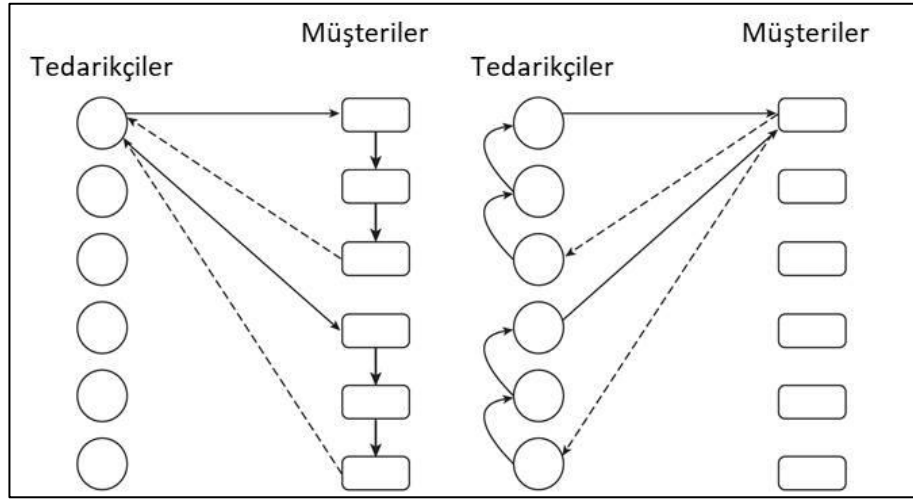
Döngüsel sefer tekniği mandıralar için çiftliklerden belirli bir rota ve sıra çerçevesinde süt toplanmasından esinlenilen bir teknik olduğundan, İngilizce milk-run terimi ile de adlandırılmaktadır.

Günlük olarak süt çiftliklerini dolaşan bir araç, taze sütleri üreticilerden toplamaktadır. Üreticiler, araca sütü zamanında yetiştirmek zorundadırlar. Aksi takdirde sütü satamayacaklar; kendileri göndermek veya sütün bozulması seçenekleriyle karşı karşıya kalacaklardır (Bakanay, 2002).

Döngüsel sefer tekniği, tedarikçilere ayrı ayrı araç gönderilerek gerekli parçaların veya ürünlerin toplanması yerine, öncesinde bölgelere ayrılmış tedarikçi gruplarından belirli rotalar ve sıralarda mümkün olduğunca en az araçla parça veya ürün toplama işleminin gerçekleştirilmesidir (Özalp, 2013).

Chopra ve Meindl (2017) döngüsel sefer ile doğrudan taşımayı; bir aracın, tek bir tedarikçiden birden çok müşteriye düşük miktardaki ürün/ürünlerin ulaştırılması veya birden fazla tedarikçiden alınan yine düşük miktardaki ürün/ürünlerin tek bir müşteri noktasına taşınması şeklinde tanımlamıştır. Şekil 1.2’de görüleceği üzere, döngüsel sefer ile doğrudan taşımada, birden çok varış noktası veya çıkış noktası söz konusu olduğundan, araç rotalarının belirlenmiş olması önem arz etmektedir.

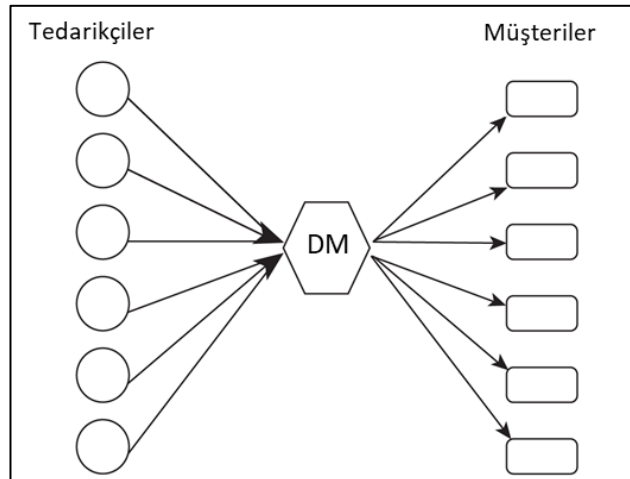
Doğrudan taşıma, ara depoların ortadan kaldırılmasını sağlarken, döngüsel sefer ile doğrudan taşıma, gönderilerin sadece bir araç ile birden fazla yere taşınması neticesinde taşıma maliyetlerini düşürmektedir.



Şekil 1.2. Döngüsel sefer ile doğrudan taşıma: Çok-müşteri ve çok-tedarikçi modeli.

1.5.3. Dağıtım Merkezi İle Taşıma Ağı

Dağıtım merkezi ile taşıma ağında, tedarikçilerden merkezî bir dağıtım noktasına gönderilen ürünler, müşteriler talep edene kadar Şekil 1.3'te gösterildiği gibi dağıtım merkezinde depolanır. Taşıma maliyetlerini azaltmak amacıyla tedarikçilerden yüksek miktarda ürün sevkiyatlarının gerçekleştirilmesi, ürünleri bir dağıtım merkezinde depolama ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Böyle bir durumda, yüksek miktarda ürün dağıtım merkezine gelir ve burada depolanarak, ihtiyaç halinde küçük partiler şeklinde müşterilere gönderilir (Chopra ve Meindl, 2017).

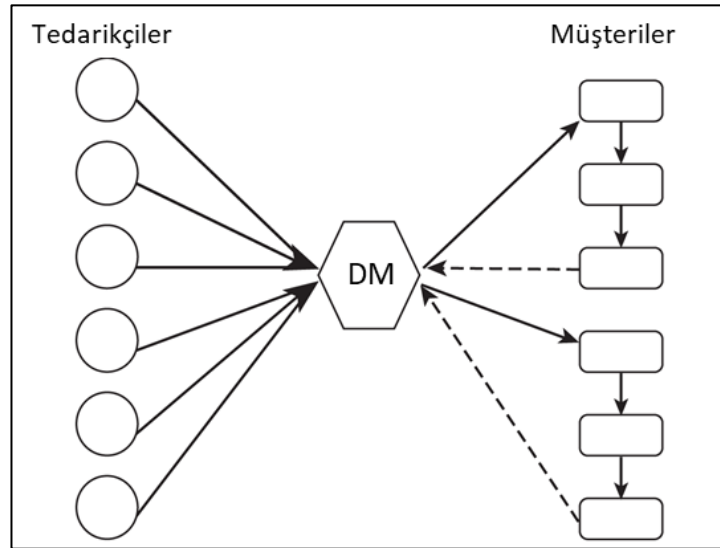


Şekil 1.3. Dağıtım merkezi aracılığıyla taşıma.

Dağıtım merkezinden taşımalar doğrudan sevkiyatla yapılabileceği gibi döngüsel seferle de yapılabilir. Dağıtım merkezinden döngüsel sefer ile taşıma, her bir müşteri konumuna gönderilecek veya her bir tedarikçi konumundan alınacak ürünlerin düşük miktarlarda olması halinde uygun bir seçenek olup taşıma maliyetlerinin azaltılmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, dağıtım merkezinden döngüsel sefer ile taşıma, yüksek derecede planlama, koordinasyon ve uygun yönlendirme gerektirir (Chopra ve Meindl, 2017). Dağıtım merkezinden döngüsel sefer ile taşımada; ihtiyaç ve gereklilikler çerçevesinde yapılan taşıma ağı tasarımına göre üç tip taşıma yapılabilecektir:

- Sadece DM öncesi döngüsel sefer,
- Sadece DM sonrası döngüsel sefer,
- DM öncesi ve sonrası döngüsel sefer.

Şekil 1.4'te sadece DM sonrası döngüsel sefer ile taşımaya dair örnek bir gösterim yer almaktadır.



Şekil 1.4. Sadece DM sonrası döngüsel sefer ile taşıma.

DM öncesi döngüsel sefer ile taşımada; çeşitli tedarikçilerden döngüsel sefer ile toplanan ürünler DM'ye getirilip, burada yük birleştirmeleri yapıldıktan sonra bu yükler her bir müşteri konumuna doğrudan taşıma yöntemiyle ulaştırılır.

DM sonrası döngüsel sefer ile taşımada, her bir tedarikçiden DM'lere taşımalar doğrudan yapılmaktadır. DM'lerde yük birleştirmeleri yapıp tek araca yüklenen ürünler döngüsel sefer yapılarak her bir müşteriye ulaştırılır.

Üçüncü tip uygulamada ise, hem DM öncesinde hem de sonrasında döngüsel sefer ile taşıma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu sayede tedarikçi, üretici ve perakendeciler en az stok seviyelerini yakalamış olurlar (Bektaş, 2010).

1.5.4. Çapraz Sevkiyat İle Taşıma Ağı

Yalın düşüncenin farklı alanlara uygulanması çalışmaları doğrultusunda ortaya çıkan ve yalın lojistikte taşıma ağı tasarım alternatiflerinden biri olan bir başka tekniğin adı çapraz sevkiyattır.

Çapraz sevkiyat (*cross-docking*); günümüzde farklı endüstrilerdeki birçok şirket tarafından kullanılan bir lojistik stratejisi olup, arz noktalarından gelen ürünlerin depolanmadan talep merkezlerine gidecek şekilde birleştirilerek (*consolidation*), doğrudan doğruya veya kısa süre bekletilerek giden araçlara aktarılması ve ürünlerin talep merkezlerine ulaştırılması olarak tanımlanabilir. Bu stratejide aktarma merkezleri, malların stoklandığı depolar olarak değil, transfer noktaları olarak işlev görürler. Ürünler, aktarma merkezinde bekletilecekse bu süre kısa olmalıdır. Bekleme süresini tam olarak belirtmek zor olmakla beraber bu sürenin genellikle 24 saati geçmemesi gerektiği belirtilmektedir. Genellikle bu strateji, gönderilerin birleştirilmesi, teslimat sürelerinin kısaltılması ve maliyetlerin düşürülmesi amacıyla kullanılmaktadır (Belle; Valckenaers; Cattrysse, 2012).

Çapraz sevkiyatın başarısı, gönderilerin tesiste kısa bir süre tutulmasına bağlıdır. Gönderilerin tesiste kısa süre bekletilmesini sağlamak için, fiziksel akışla beraber bilgi akışının da etkin şekilde yönetilmesi gerekir. Aynı zamanda çapraz sevkiyatta taşıma maliyetlerinin düşürülmesi tam yüklü araçların kullanılmasıyla sağlanır (Apte and

Depolama olmadan yapılan aktarmanın en önemli avantajları, düşük miktarda stok tutulması, ürün akışının hızlı olması ve elleçleme masraflarından tasarruf sağlanmasıdır (Chopra ve Meindl, 2017).

Çapraz sevkiyatın doğrudan taşıma ile karşılaştırıldığında sağladığı bazı avantajlar şunlardır (Yurtdaş, 2018):

- Taşıma ve işçilik maliyetlerinin azalması
- Gönderilerin birleştirilmesi
- Tam kamyon yüklü taşımalar yoluyla kaynak kullanımının artması
- Sevkiyat miktarları ile gerçek talebin daha iyi eşleşmesi.

Bu avantajlar çapraz sevkiyatı, firmalara önemli derecede rekabet gücü katan lojistik stratejisi haline getirmektedir (Stalk; Evans; Shulman, 1992).

Çapraz sevkiyatta taşımalar doğrudan olabileceği gibi döngüsel seferle de yapılabilmektedir. Çapraz sevkiyatta döngüsel sefer ile taşımada; dağıtım merkezinden döngüsel sefer ile taşımada olduğu gibi üç tip taşıma yapılabilecektir (Özalp, 2013):

- Sadece AKM öncesi döngüsel sefer,
- Sadece AKM sonrası döngüsel sefer,
- AKM öncesi ve sonrası döngüsel sefer.

Çapraz sevkiyatta döngüsel sefer ile taşıma, yüksek derecede planlama, koordinasyon ve uygun yönlendirme gerektirmektedir.

Maliyet, mesafe, zaman vb. açısından en uygun taşıma ağı tasarımı için gereken adımlar şunlardır (Özalp, 2013):

- Taşıma ağında yer alacak AKM'lerin lokasyonlarının belirlenmesi
- AKM'lerden hizmet alacakların AKM'lere atanması
- Taşımada kullanılacak araç rotalarının belirlenmesidir.

1.5.5. Özelleştirilmiş Taşıma Ağı

Özelleştirilmiş taşıma ağı, yukarıda bahsedilen taşıma seçeneklerinin uygun bir şekilde beraber kullanılması olup, tedarik zincirinin tepkisellik düzeyini artırırken aynı zamanda taşıma maliyetlerini düşürür. Amaç, her bir farklı durum (talebi yüksek ve düşük olan ürünler vb.) için en uygun taşıma seçeneklerinin kullanımıdır. Taşıma ağı karmaşıklığı yüksek olduğundan yönetilmesi diğerlerine nispeten zordur. Bu yüzden, özelleştirilmiş bir taşıma ağını yönetmek ve koordinasyonu sağlamak, bilgi teknolojisi alt yapısına ciddi bir yatırım yapılmasını gerektirmektedir (Chopra ve Meindl, 2017).



BÖLÜM 2

TESİS LOKASYON VE ROTALAMA PROBLEMLERİ

Bu bölümde, öncelikle tesis lokasyon problemlerine dair sınıflandırma ve tanımlara yer verilmiştir. Sonrasında rotalama problemlerinden; gezgin satıcı problemi ve çoklu gezgin satıcı probleminin tanımları ile matematiksel modelleri sunulmuştur. Son olarak araç rotalama problemleri incelenerek, kapalı uçlu araç rotalama problemine dair yeni bir sınıflandırma ortaya konmuştur.

2.1. Tesis Lokasyon Problemleri

Tesis lokasyon problemi (TLP), gerek kamu gerek özel sektörde yer alan her türlü organizasyonun karşı karşıya kaldığı stratejik bir karar problemidir. Organizasyonlar farklı amaçlara yönelik tesislerini (fabrika, depo, dağıtım merkezi vb.) en az maliyetle hangi lokasyonlara kurmaları gerektiğinin cevabını bulma arayışında olmuşlardır.

Tesis lokasyon belirleme kararları tüm tedarik zinciri performansını doğrudan etkileyen ve lojistik maliyetlerinde önemli ölçüde belirleyici olan kararlardır. Bu sebeple tesis lokasyon belirleme kararları işletmelerin kârlılıklarına uzun vadede etkisi olan, çok boyutlu ve önemli kararlardır. Dolayısıyla tedarik zinciri maliyetlerinin işletme giderleri içerisindeki payının sürekli arttığı son yıllarda tesis lokasyonunun belirlenmesi çok daha önemli hale gelmiştir (Bastı, 2012).

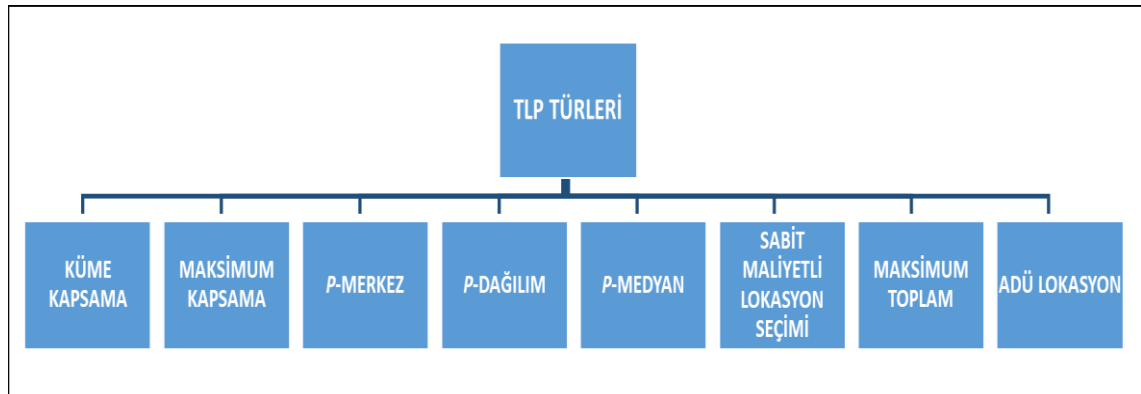
Tavakkoli ve Shayan (1998) TLP'yi, taşıma maliyetlerinin en aza indirilmesi amacıyla n adet tesisin m adet konuma yerleştirilmesi problemi olarak tanımlamışlardır.

Daha geniş bir tanıma göre TLP, müşteri taleplerinin karşılanması için bir grup hizmet veren tesisin bazı kısıtlar göz önünde bulundurularak, maliyetlerini en düşük düzeye indirecek şekilde uygun konumlara yerleştirilmesini ve her bir müşterinin hizmet veren tesislere atanmasını kapsayan problemlerdir. Literatür incelendiğinde, tesis lokasyon problemi konusunun her zaman dikkat çekmiş ve üzerinde farklı tekniklerle birçok çalışma yapılmış olduğu görülmektedir (Kısakol, 2015).

Tesis lokasyonu konusunda literatürdeki ilk çalışma 1909 yılında Alfred Weber tarafından yapılmıştır. Weber, birçok müşteriye hizmet veren bir depo tesisin yerinin talep merkezleri ile arasındaki toplam mesafeyi minimize edecek şekilde belirlenmesi için bir model önermiştir (Jamshidi, 2009).

TLP'nin literatürde farklı açılardan ele alınmış birçok sınıflandırması ile karşılaşmak mümkündür. Owen ve Daskin (1998) TLP'yi; merkez problemleri, kapsama problemleri, medyan problemleri ve sabit maliyetli tesis lokasyon problemleri olmak üzere 4 ana gruba ayırmışlardır.

TLP'ye dair bir başka sınıflandırma, Current, Daskin ve Schilling (2001) tarafından mesafeler göz önüne alınarak yapılmış olup, sıralamadaki ilk 4 başlık maksimum mesafeye, son 4 başlık ise toplam mesafeye göre incelenmiştir. Şekil 2.1'de gösterilen ve sekiz başlıkta incelenen bu sınıflandırmaya dair tanımlamalar aşağıda yer almaktadır.



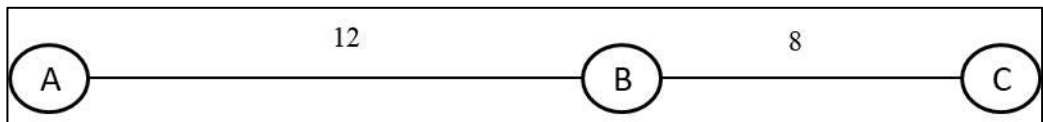
Şekil 2.1. Tesis lokasyon problemi türleri.

2.1.1. Küme Kapsama Problemi

Lokasyon kapsama problemlerinin ilki, küme kapsama (*set covering*) problemidir (Toregas; Swain; ReVelle et al. 1971). Bu problemde amaç, tüm talep merkezlerini “kapsamak” için gereken minimum tesis sayısını bulmaktır (Current; Daskin; Schilling, 2001).

Hizmet veren tesislerin niteliği gereği tesis lokasyonu, kabul edilebilir bir mesafe ve süreye bağlı olarak belirlenebilir. Yani bir talebin belirli bir kapsama mesafesi veya süresi içinde sunulabilmesi halinde karşılandığı söylenebilecektir. Küme kapsama probleminde amaç, belli bir kapsama seviyesini sağlayan yer seçimi kararı maliyetini minimize etmektir (Owen and Daskin, 1998). Problem modelinde her talep merkezinin en azından bir tesise atanması kısıtı vardır. Açılan her bir tesisin sabit maliyeti de söz konusu olduğu için bu model toplam sabit maliyetin minimize edilmesi gerektiği durumlarda da kullanılabilir (Current; Daskin; Schilling, 2001).

Aday tesisler ağın düğümlerinde bulunabileceği gibi, düğümlerin aralarındaki yaylar (kenarlar) boyunca da yerleştirilebilir. Tesisler düğüm aralarında yerleştirilebiliyorsa, daha az maliyetle bir tesis yerleştirme şeması mümkün olabilir. Şekil 2.2’deki örnek ağa bakıldığında, kapsama mesafesi 10 birim ise ve tesisler yalnızca düğümlerde konumlandırılabilirse, iki tesise ihtiyaç vardır. Bu tesislerden biri A düğümünde, diğeri B veya C düğümünde olacaktır. Eğer tesisler düğümlerin aralarındaki yaylar boyunca bulundurulabiliyorsa o zaman A düğümünün 10 birim sağında konumlanacak tek bir tesis, üç düğümü de kapsayacaktır (Current; Daskin; Schilling, 2001).



Şekil 2.2. Küme kapsama problemi örnek ağı.

2.1.2. Maksimum Kapsama Problemi

Maksimum kapsama probleminde (Church and ReVelle, 1974), hizmet veren belirli bir tesis sayısı kısıtı altında kapsanan talep merkezi sayısının maksimum yapılması amaçlanmaktadır. Yani modelde bütün talep merkezlerinin kapsanması şartı yerine belirli sayıdaki (p) hizmet verecek tesisle en fazla talep merkezine hizmet verilmesi hedeflenmektedir (Current; Daskin; Schilling, 2001).

2.1.3. P -Merkez Problemi

P -merkez problemi (Hakimi, 1964) maksimumun minimumu problemleri olarak da bilinmektedir. Amaç, herhangi bir talep merkezi ile o talep merkezine en yakın tesis arasındaki maksimum mesafeyi minimize etmektir (Owen and Daskin, 1998). Örneğin, bir şehirde itfaiye merkezlerinin lokasyonlarının belirlenmesi sırasında, itfaiyenin şehirdeki herhangi bir noktaya ulaşabileceği maksimum zamanın minimize edilmesi amaçlanmaktadır (Sule, 2001).

Bu problem türünün köşe p -merkezi problemi ve mutlak p -merkezi problemi olmak üzere iki çeşidi vardır. Köşe p -merkezi problemi aday tesis kümesini ağın düğümleriyle sınırlandırırken, mutlak p -merkezi problemi tesislerin düğümler arasındaki yaylar boyunca herhangi bir yerde olmasına izin verir. Her iki problem çeşidi de ağırlıklı veya ağırlıksız olabilir. Ağırlıksız modelde, tüm talep merkezleri eşit şekilde ele alınır. Ağırlıklı modelde, talep merkezleri ve tesisler arasındaki mesafeler talep merkezi ile ilişkili bir ağırlık ile çarpılır. Bu ağırlık, talep miktarı seviyesini veya farklı gerekçelerle bir düğümün önemini temsil edebilir. (Current; Daskin; Schilling, 2001).

2.1.4. P -Dağılım Problemi

Diğer tesis lokasyon problemlerinden farklı olarak p -dağılım probleminde hizmet verecek tesislerin arasındaki mesafeye odaklanılmaktadır. Burada amaçlanan, hizmet verecek tesislerin birbirleri arasındaki en kısa mesafenin maksimum yapılmasıdır (Kuby, 1987). Bu problem türüne örnek olarak, bayi yerleşiminde bayiler arasındaki mesafenin birbirlerine zarar vermeyecek ama en yakın olacak şekilde ayarlanması verilebilir (Current; Daskin; Schilling, 2001).

2.1.5. *P*-Medyan Problemi

1964 yılında Hakimi tarafından yapılan çalışmada telekomünikasyon şebekesi üzerindeki ağ bağlantı noktalarının ve otoyol üzerindeki polis noktalarının en uygun yerlerinin belirlenmesi için bir model önerilmiştir. Literatürde Hakimi tarafından ilk defa tanıtilen ve tesis lokasyon problemleri çerçevesinde yer alan bu problem türü *p*-medyan problemi olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmadan sonra, bir ağ üzerinde birden fazla tesis lokasyonunun belirlenmesi problemi üzerine yapılan çalışmalar artmaya başlamıştır.

Problem, *p* adet tesisin *n* adet düğümden oluşan ağ üzerindeki düğümlere minimum maliyet sağlanacak şekilde yerleştirilmesi ve yerleştirilen bu tesislerden hizmet alacak talep merkezlerinin belirlenmesi problemidir. Burada söz konusu olan maliyet; zaman, para, toplam mesafe veya buna benzer herhangi bir ölçüt olabilir. Eğer problemde talep merkeziyle ilişkili bir ağırlık söz konusu ise bu problem ağırlıklı *p*-medyan problemi olarak isimlendirilir. Ağırlıklı *p*-medyan problemi, problemdeki tüm talep merkezlerinin amaç fonksiyonunu eşit miktarda etkilemediği durumları ifade etmektedir (Sule, 2001).

P-medyan probleminde tesislerin sadece ağ üzerindeki düğümler üzerinde açılabilir olması koşulu, tesislerin ağ üzerinde herhangi bir yere yerleştirildiği modele göre daha kötü bir çözüm ortaya çıkaracağı fikrini doğurabilir. Fakat Hakimi (1965) tarafından yapılan çalışmada *p* adet tesisin ağ üzerindeki düğümlere yerleştirildiğinde de optimum sonuca ulaşıldığı ispatlanmıştır. Dolayısıyla sadece düğümler üzerinde tesis açılabilmesi optimum sonuca ulaşılması konusunda engel teşkil etmemektedir (Bastı, 2012).

2.1.6. Sabit Maliyetli Lokasyon Seçimi Problemi

P-medyan probleminde, bazı gerçek hayat senaryoları için uygun olmayan üç önemli varsayım vardır. İlk olarak, bir tesisi açmanın sabit maliyeti göz ardı edilir. İkinci olarak, açılan tesislerin kapasite kısıtsız olduğu, son olarak ise kaç tesis açılacağı bilindiği varsayılır. Sabit maliyetli lokasyon seçimi problemleri, bu üç varsayımı da gevşeterek, optimum tesis sayısının belirlenmesini, bu tesislerin en uygun noktalara yerleştirilmesini ve talep merkezlerinin bu tesislere minimum maliyet sağlanacak

şekilde atanmasını amaçlamaktadır. Kısaca problem modelinde toplam tesis açma ve taşıma maliyeti birlikte minimize edilmeye çalışılmaktadır. Bu problem türünde, diğer tesis lokasyon problemlerinden farklı olarak, bir talep merkezinin kapasite kısıtı olmasından dolayı en yakın hizmet veren tesise atanamaması durumuyla karşılaşılabilmesidir (Current; Daskin; Schilling, 2001).

2.1.7. Maksimum Toplam Problemi

Maksimum toplam probleminde, ortalama mesafe modelleri olarak bilinen p -medyan, sabit maliyetli lokasyon ve ana dağıtım üssü (ADÜ) lokasyon problemlerinden farklı olarak, açılacak olan tesislerin, maliyeti en aza indirecek şekilde talep merkezlerinden olabildiğince uzakta olmasını amaçlamaktadır. Bu model daha çok geri dönüşüm tesisleri, hapishaneler, enerji santralleri, çöp toplama merkezleri ve atık su arıtma tesisleri gibi yerleşim merkezlerine yakın olması istenmeyen tesislerin en düşük maliyet sağlanacak lokasyonlara yerleştirilmesinde kullanılmaktadır (Current; Daskin; Schilling, 2001).

2.1.8. Ana Dağıtım Üssü Lokasyon Problemi

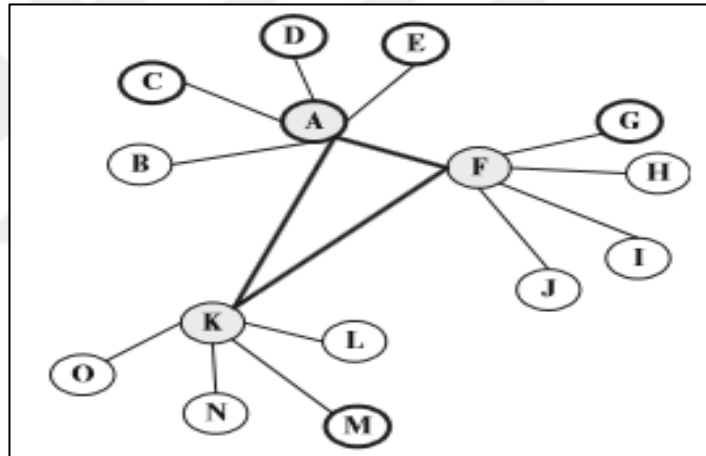
ADÜ lokasyon problemi, TLP literatüründe yeni ve gelişen araştırma alanlarından biridir. ADÜ, bir talebi karşılayabilmek için, insanların, malların veya bilgilerin, belirli başlangıç ve varış noktaları arasındaki hareketini içerir. ADÜ'ler, başlangıç ve varış noktaları arasındaki taşıma bağlantılarının sayısını azaltmak için uygulanır (Farahani; Hekmatfar; Arabani et al. 2013).

Sözlükteki karşılığı "merkez" olan "hub" kelimesi, bir faaliyetin, bölgenin veya ağın etkin merkezi olarak ifade edilebilmektedir. Türkçe çalışmalarda farklı şekillerde ifade edilen "hub" kelimesi için bu çalışmada "Ana Dağıtım Üssü" terimi kullanılmıştır.

ADÜ'ler birçok taşıma sisteminde toplama, birleştirme ve aktarma noktası olarak hizmet veren tesislerdir. Taşımaların tüm başlangıç ve varış noktaları arasında yapılması yerine, ADÜ'ler üzerinden gerçekleştirilmesiyle taşıma maliyetlerinde ölçek ekonomisinden faydalanılmış olur.

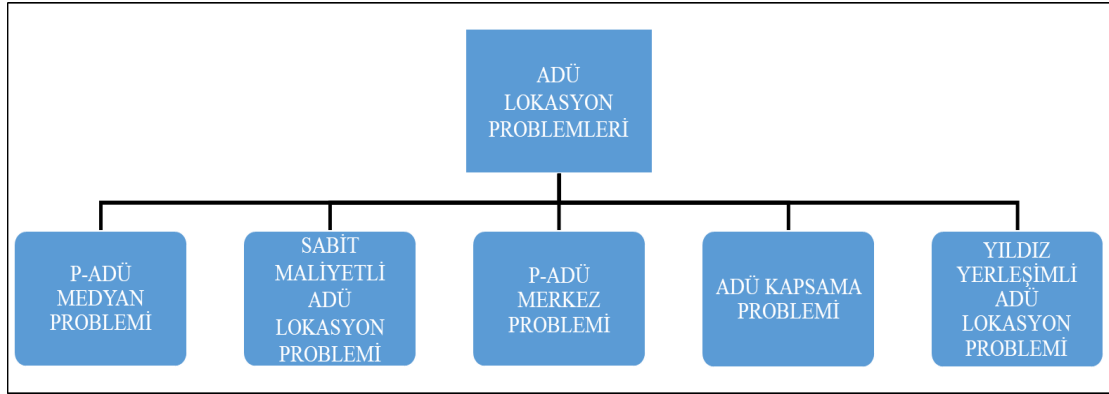
ADÜ lokasyon problemlerinde, n düğümlük bir kümede başlangıç noktası, varış noktaları kümesi ve bu kümenin içinde ADÜ düğümleri tanımlanmaktadır. Böyle bir ağda, bir düğüm aynı anda hem bir arz, hem de bir talep merkezidir. ADÜ lokasyon problemi genel olarak kaynak ve talep merkezleri arasındaki ürün akışlarının rotalanması için ADÜ'lerin belirlenmesi ve talep merkezlerinin ADÜ'lere atanması ile ilgilidir (Kartal, 2014).

Şekil 2.3'te 15 düğüme sahip ve bu 15 düğümden 3 adedinin (A-F-K düğümleri) ADÜ olarak seçilmiş olduğu örnek bir ağ gösterilmiştir (Daskin, 1995). Ağdaki bağlantılar ADÜ ağ yapısını açıklamaktadır.



Şekil 2.3. ADÜ lokasyon problemi genel ağ gösterimi.

Alumur ve Kara (2008) ADÜ lokasyon problemini dört ana grupta sınıflandırmış olup, bunlar; p -ADÜ medyan, sabit maliyetli ADÜ problemi, p -ADÜ merkez ve ADÜ kapsama problemleri şeklindedir. Yaman ve Elloumi (2012) ise çalışmalarında yıldız yerleşimli ADÜ lokasyon problemini ele almışlardır. Bu bağlamda, ADÜ lokasyon problemleri Şekil 2.4'te gösterildiği gibi 5 temel grupta incelenebilir.



Şekil 2.4. ADÜ lokasyon problemi çeşitleri.

Şekil 2.4'te yer alan ADÜ lokasyon problemleri için, atama kısıtları açısından tek atamalı ve çok atamalı olmak üzere iki problem tipi söz konusudur.

Tek atamada, her bir talep merkezine gelen ve talep merkezinden çıkan ürünler, talep merkezinin bağlı olduğu tek bir ADÜ üzerinden başlayan akışla gönderilip kabul edilirken, yani talep merkezi sadece bir ADÜ'ye atanırken, çoklu atamada ise her talep merkezi ürünlerini bağlı olduğu birden fazla ADÜ üzerinden başlayan akışla gönderip kabul edebilmekte, yani her bir talep merkezi birden fazla ADÜ'ye atanabilmektedir.

Talep merkezlerinin ADÜ'lere atanması noktasında literatürdeki iki temel yaklaşım olan tekli atama ve çoklu atamaya ilave olarak Yaman (2011) üçüncü bir yaklaşım olan her bir talep merkezinin en fazla r sayıda ADÜ'ye tahsis edilebildiği r -atama problemini ortaya koymuştur.

Kapasite kısıtına bağlı olarak ADÜ lokasyon problemleri kapasite kısıtlı ve kapasite kısıtsız olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Eğer ADÜ'ler üzerinde bir kapasite kısıtı dikkate alınıyorsa kapasite kısıtlı; kapasite kısıtı göz ardı ediliyorsa kapasite kısıtsız ADÜ lokasyon problemi söz konusudur. Bunlara ek olarak, açılacak ADÜ sayısı önceden biliniyorsa (p -sayıda) ADÜ lokasyon problemi ile karşılaşılmaktadır. Eğer p sayısı önceden bilinmiyorsa, kaç adet ADÜ'nün açılacağı, ADÜ tesisi açmanın sabit maliyetine göre belirlenir (Kartal, 2014).

2.1.8.1. *P*-ADÜ Medyan Problemi

P-ADÜ medyan probleminde (*p*-Hub Median Problem) amaç; ADÜ açmanın sabit maliyeti göz ardı edilerek, verilen n adet düğüm içerisinde toplam taşıma maliyetini minimize edecek şekilde başlangıç ve varış noktaları arasında, p sayıdaki ADÜ'nün hangi düğümlerde kurulması gerektiğini ve talep merkezlerinin ürünlerinin hangi ADÜ'ler üzerinden gönderileceğinin (her bir talep merkezinin hangi ADÜ'ye/ADÜ'lere atanacağını) tespit edilmesidir. Problem türü literatürde genellikle tek atamalı *p*-ADÜ medyan problemi, çok atamalı *p*-ADÜ medyan problemi ve r -atamalı *p*-ADÜ medyan problemi olarak ele alınmıştır.

2.1.8.1.1. Tek Atamalı *p*-ADÜ Medyan Problemi

Tek atamalı *p*-ADÜ medyan probleminde, ADÜ'ler haricindeki bir talep merkezinin sadece bağlı olduğu tek bir ADÜ üzerinden başlayan akışla hizmet alıp vermesi söz konusu olup, amaç yine toplam taşıma, uzaklık vb. maliyetini en aza düşürmektir.

Literatürde, ADÜ lokasyon probleminin matematiksel formülasyonu ve çözüm yöntemi ilk olarak O'Kelly (1986) tarafından önerilmiştir. Bu çalışmanın ardından O'Kelly (1987) hava taşımacılığı alanındaki tek atamalı *p*-ADÜ medyan problemi için kuadratik tamsayılı programlamaya dayanan ilk matematiksel modeli tanımlamıştır. Daha sonra, Campbell (1994) çalışmasında *p*-ADÜ medyan problemi için ilk doğrusal modeli önermiştir.

2.1.8.1.2. Çok Atamalı *p*-ADÜ Medyan Problemi

Çok atamalı *p*-ADÜ medyan problemi ise, taşıma maliyetlerinin minimize edilmesi amacına yönelik olarak, p adet ADÜ'nün belirlenerek, diğer düğümlerin bu ADÜ'lerin bir veya birden fazlasına atanmasını içerir. Tek atamalı problemden farkı her talep merkezinin birden fazla ADÜ'ye atanabilir olmasıdır (Kartal, 2014). Çok atamalı *p*-ADÜ medyan probleminin tamsayılı doğrusal programlama modeli ilk defa Campbell (1992) tarafından önerilmiştir.

2.1.8.1.3. r -Atamalı p -ADÜ Medyan Problemi

Yaman (2011), bir talep merkezinin en fazla r kadar ADÜ'ye atanmasının önemli tasarruflar sağlayacağını ifade ederek r -atamalı p -ADÜ medyan problemini tanımlamıştır. Araştırmacı, bu çalışmada kullandığı veri setleri bağlamında, tek atamalı problem çözümlerinin çok atamalı problem çözümlerine oranla maliyetli olduğunu, bunun yanında bir talep merkezinin sayı kısıtlaması olmadan birden çok ADÜ'ye atanmasını içeren çok atamalı problem çözümlerinin de daha maliyetli ve karmaşık ağlara neden olduğunu belirtmiştir.

2.1.8.2. Sabit Maliyetli ADÜ Lokasyon Problemi

Tek ya da çok atamalı p -ADÜ medyan problemlerinde açılacak tesis sayısı p parametresi ile ifade edilen sabit bir değer olduğu için tesis açmanın sabit maliyetleri göz ardı edilmektedir. Literatürde ilk olarak O'Kelly (1992) tarafından yapılan çalışmada açılacak ADÜ sayısının da bir karar değişkeni (p) olduğu ve toplam maliyeti en küçükleyen sabit maliyetli ADÜ lokasyon problemine (*Hub Location Problem with Fixed Costs*) dair bir matematiksel model önerilmiştir. Bu problem için ilk doğrusal matematiksel modeller ise Campbell (1994) tarafından sunulmuştur. Bu problemde, ADÜ sayısı sabit olmadığından kurulacak ADÜ tesislerinin kapasitelerinin de göz önüne alınması mümkündür. Bu nedenle sabit maliyetli ADÜ lokasyon problemleri kapasite kısıtlı ve kapasite kısıtsız olarak ayrı ayrı incelenmektedir (Serper, 2014).

2.1.8.3. P -ADÜ Merkez Problemi

Hem p -ADÜ medyan hem de sabit maliyetli ADÜ lokasyon problemleri toplam maliyetin en küçüklenmesini hedeflemektedir. Ancak bazı durumlarda en yüksek maliyetin veya en uzun sürede (uzaklıkta) hizmet alan talep merkezlerinin düşünülmesi gerekebilir. Campbell (1994) ın özellikle hizmet zamanlarının önemli olduğu uygulamalar için önerdiği p -ADÜ merkez probleminde (*p-Hub Center Problem*), en büyük maliyetle veya en uzun sürede hizmet alan iki talep merkezi arasındaki maliyetin veya hizmet süresinin en küçüklenmesi amaçlanmaktadır (Serper, 2014).

Bu problem, darboğaz (mini-max) tipinde bir problem olup, amacı p sayıda ADÜ'nün lokasyonlarının belirlenmesi ve talep merkezlerinin bu ADÜ'lere en büyük uzaklığı (süreyi) en küçükleyecek şekilde atanmasıdır (Kartal, 2014).

P -ADÜ merkez problemi, taşıma ağlarında bozulabilir malları içeren durumlar için geçerlidir. Bu problem türü, amaç fonksiyonunun mini-max olması dışında, p -ADÜ medyan problemine benzerdir (Farahani; Hekmatfar; Arabani et al. 2013).

2.1.8.4. ADÜ Kapsama Problemi

ADÜ kapsama problemi (*Hub Covering Problem*), başlangıç ve varış noktaları arasındaki maksimum maliyete (mesafe, süre vb.) bir kısıtlama ekleyerek ADÜ lokasyonunun belirlenmesini içerir (Ernst; Jiang; Krishnamoorthy et al. 2016).

Campbell (1994), ADÜ'ler için üç kapsama ölçütü tanımlamıştır. Bunlar;

- Başlangıç ve varış noktaları arasındaki maliyet belirli bir değerden fazla olamaz (iki uç arasında birden fazla ADÜ olabilir).
- ADÜ ile ADÜ olmayan talep merkezi arasındaki maliyet belirli bir değeri aşamaz.
- Başlangıç noktası-ADÜ, ADÜ-varış noktası ve ADÜ'ler arasında geçiş varsa bir ADÜ ile diğer ADÜ arasındaki bağlantıların her biri ayrı ayrı olarak belirli bir maliyet değerini aşamaz.

Bu ölçütler çerçevesinde ADÜ kapsama problemi, ADÜ'lerin lokasyonlarının belirlenmesi ve ADÜ açma maliyetinin en küçüklenerek tüm talep merkezlerinin kapsanacak şekilde ADÜ'lere atanmasına karar verme sürecini içerir (Alumur, 2009).

ADÜ kapsama problemi için ilk matematiksel model Campbell (1994) tarafından kuadratik tamsayılı matematiksel model olarak literatüre kazandırılmıştır. Kara ve Tansel (2003), kuadratik yapıdaki formülasyonu, tek atamalı ADÜ kapsama problemi için doğrusal hale getirmişlerdir. Bununla birlikte bu problemin NP-zor yapıda olduğunu ve önerdikleri yeni doğrusal modelin literatürdeki önceki modellere nispeten üstün performans gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

2.1.8.5. Yıldız Yerleşimli ADÜ Lokasyon Problemi

Yaman ve Elloumi (2012), bir telekomünikasyon ağı çalışmasında yıldız yerleşimli ADÜ lokasyon problemini ele almışlardır. Bu yerleşim tipinde bir merkez ADÜ bulunmakta, p adet ADÜ bu merkez ADÜ'ye atanmakta ve talep merkezleri de ADÜ'lere atanmaktadır. Araştırmacılar bu çalışmalarında; “yıldız p -ADÜ merkez (*Star p -Hub Center*)” ve “kısıtlı yol uzunluğuna sahip yıldız p -ADÜ medyan problemi (*Star p -Hub Median Problem with Bounded Path Lengths*)” olmak üzere iki problem üzerine odaklanmışlardır. Yıldız p -ADÜ merkez probleminde amaç, ağdaki en büyük uzaklığı en küçükmektir. Kısıtlı yol uzunluğuna sahip yıldız p -ADÜ medyan probleminde ise amaç, ağdaki toplam rotalama maliyetinin minimum olacağı ve herhangi bir farklı düğüm çiftini birbirine bağlayan yolun uzunluğunun önceden belirlenmiş bir değeri aşmayacağı çözümü bulmaktır. Araştırmacılar, ele aldıkları problemler için iki karma tamsayılı programlama modeli önermişlerdir.

2.2. Rotalama Problemleri

Bu kısımda, Rotalama Problemleri; Gezgin Satıcı Problemi, Çoklu Gezgin Satıcı Problemi ve Araç Rotalama Problemi başlıklarında incelenecektir.

İnsanoğlu tarih boyunca yolcu veya yükleri bir noktadan başka noktaya/noktalara taşımanın hızlı, güvenli ve en az maliyetli olacak şekilde yapılması arayışında olmuştur. Bu noktada, taşıma işleminin başlangıç noktasından varış noktasına hangi sıra ve güzergâh ile yapılacağının belirlenmesi olan rotalama kavramı ortaya çıkmaktadır.

Temel rotalama problemlerinin ilk olarak Gezgin Satıcı Problemi (GSP) olarak adlandırılan problemten geliştirildiği bilinmektedir. Literatürdeki geçmişi 1759 yılına kadar uzanan GSP, şövalye turu problemleri ile ilgilenen İsviçreli matematikçi Leonhard Euler tarafından incelenmiştir. Şövalye turu, bir şövalyenin $n \times n$ 'lik bir satranç tahtasında tüm kareleri bir kez ziyaret ettiği döngüsel bir dizi hareketidir. Şövalye Turu Problemi ise verilen n tane kare için tek bir döngünün oluşturulmasını içermektedir (Yücel, 2016).

2.2.1. Gezgin Satıcı Problemi

Euler'ın 1759 yılındaki çalışmalarından sonra GSP ile ilgili matematiksel problemler, İrlandalı matematikçi Sir William Rowan Hamilton ve İngiliz matematikçi Thomas Penygton Kirkman tarafından geliştirilmiştir. GSP, 1932 yılında Karl Menger tarafından matematiksel olarak tanımlanmış ve "Das Botenproblem" adıyla yayınlanmıştır. GSP, 1949 yılında J. B. Robinson tarafından "Travelling Salesman Problem" olarak adlandırılmıştır. Kaynaklarda GSP'nin ilk uygulaması olarak kabul edilen Amerika kıtasında 49 şehirli bir GSP'nin çözümü 1954 yılında Dantzig, Fulkerson ve Johnson tarafından doğrusal programlama modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Yalçın, 2014).

GSP, araç rotalama, makine-iş çizelgeleme, hücresel imalat, bilgisayar ağı kablolama gibi pek çok alanda kullanılmaktadır (Çetin, 2013). GSP; başladığı noktaya tekrar dönmek koşulu ile $n-1$ sayıda başka yerleşim yerlerine uğrayan satıcı ile ilgilidir. n sayıda düğümün (şehirin) bulunduğu problemde amaç, toplam mesafeyi minimize edecek şekilde ziyaret edilen düğümlerin optimal sıralamasını bulmaktır (Öztürk, 2016). Bu noktada, GSP ile uygulamadaki döngüsel sefer tekniği benzerlik göstermektedir. GSP'de belirli sayıdaki alıcılara uğramak suretiyle satış için en uygun rota bulunmaya çalışılırken, döngüsel seferde birden çok tedarikçiden malzemelerin toplanması veya birden çok müşteriye ürün sevkiyatının gerçekleştirilmesi sürecinde rotalama problemi ile karşılaşmaktadır.

GSP'de belirlenecek tur, graf teorisinde Hamilton çevrimi olarak ifade edilir. V düğümler kümesi, A kenarlar (yollar) kümesi, $C=(C_{ij})$ ise A kümesine ait maliyet (mesafe) matrisi olmak üzere, $G = (V, A)$ grafında her bir düğümden yalnızca bir kez geçerek gerçekleştirilen en kısa mesafeli tur Hamilton çevrimi olarak ifade edilmekte olup problemde bu çevrim belirlenmeye çalışılır. Burada, kenarlar arasındaki karşılıklı maliyetler birbirine eşit ise ($C_{ij} = C_{ji}$), problem Simetrik Gezgin Satıcı Problemi olarak tanımlanır. Aksi takdirde ise Asimetrik Gezgin Satıcı Problemi olarak adlandırılır (Yücel, 2016).

2.2.1.1. Gezgın Satıcı Probleminin Matematiksel Modeli

GSP'nin matematiksel modeli, Dantzig, Fulkerson ve Johnson (1954) tarafından aşağıda gösterildiğı gibi ifade edilmiştir. GSP'de her bir şehire (düğüme) bir kez uğranarak turun tamamlanması gerekmektedir. Bir minimizasyon problemi olan GSP'de amaç, minimum uzaklık veya maliyet ile turu oluşturmaktır.

Bir $G = (V, A)$ grafında, $V = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ düğüüm kümesi ve $A = \{(i, j) : i, j \in V, i < j\}$ kenar kümesi olmak üzere (Matai; Singh; Mittal, 2010);

İndisler

i, j : düğüümler (şehirler) ($i, j = 1, 2, 3, \dots, n$)

Parametreler

C_{ij} : i 'inci düğüümden j 'inci düğüüme geçmenin maliyeti ($C_{ij} = C_{ji}$)

Karar değışkenleri

$X_{ij} = \begin{cases} 1, & i'inci \text{ düğüümden } j'inci \text{ düğüüme geçilirse} \\ 0, & aksi \text{ takdirde} \end{cases}$

U_i, U_j = Oluşan alt turları kırmak için kullanılan rastgele reel sayılar. $U_i, U_j \geq 0$

Amaç fonksiyonu

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} \cdot X_{ij} \quad (2.1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{j=1, j \neq i}^n X_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.2)$$

$$\sum_{i=1, i \neq j}^n X_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2.3)$$

$$U_i - U_j + n \cdot X_{ij} \leq n - 1, \quad \forall i, j \mid i \neq j, i < n, j < n \quad (2.4)$$

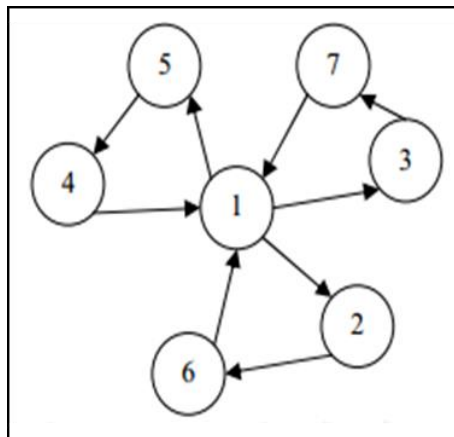
$$X_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j \mid i \neq j \quad (2.5)$$

Eşitlik (2.1), uzaklık ya da maliyeti minimize ederek turu oluşturmaktadır. Kısıt (2.2) ile her bir düğümden bir kez çıkış yapılması, Kısıt (2.3) ile de her bir düğüme bir kez giriş yapılması sağlanmış olur. Kısıt (2.4) alt turların elimine edilmesine dair bir kısıttır (Bellmore and Nemhauser, 1966). Kısıt (2.5) X_{ij} değişkeninin tanım aralığıdır.

2.2.2. Çoklu Gezgin Satıcı Problemi

Çoklu Gezgin Satıcı Problemi (ÇGSP), GSP'nin birden fazla satıcı için genelleştirilmiş hali olarak tanımlanır. ÇGSP'de başlangıç noktasından başlayarak aynı noktaya dönen m adet gezgin satıcı ve ziyaret edilen n adet şehir vardır. Problemde, her bir şehir sadece bir gezgin satıcı tarafından ziyaret edilir ve amaç tüm satıcılar tarafından katedilen minimum mesafeyi bulmaktır. Gezgin satıcı sayısı sabit değildir ve toplam maliyet satıcıların sayısından etkilendiği için gerekli görüldüğünde bu sayı azaltılabilir.

ÇGSP'nin çözümü GSP'den daha zor olup, öncelikle tüm satıcıların ziyaret edeceği şehirler belirlenerek atama yapılması, ardından da her satıcı için şehirlerin optimal şekilde sıralanması gerekmektedir (Çevre, 2008). ÇGSP'nin uygulanmasıyla oluşabilecek örnek bir tur planı Şekil 2.5'te görülmektedir.



Şekil 2.5. ÇGSP örnek bir tur planı.

2.2.2.1. Çoklu Gezgin Satıcı Probleminin Matematiksel Modeli

Çoklu gezgin satıcı probleminin (tek depolu) farklı kısıt ve amaç fonksiyonlarına göre çeşitli matematiksel formülasyonları yer almakla beraber örnek bir matematiksel model aşağıda verilmiştir (Kara ve Bektaş, 2006):

Bir $G = (V, A)$ grafında, $V = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ düğüm kümesi ve $A = \{(i, j) : i, j \in V, i < j\}$ kenar kümesi olmak üzere;

İndisler

i, j : düğümler (şehirler) ($i, j = 1, 2, 3, \dots, n$)

Parametreler

C_{ij} : i 'inci düğümden j 'inci düğüme geçmenin maliyeti

n : Ziyaret edilmesi gereken toplam düğüm sayısı

K : Bir gezgin satıcının bir turda ziyaret edebileceği en az düğüm sayısı

L : Bir gezgin satıcının bir turda ziyaret edebileceği en fazla düğüm sayısı

m : Toplam gezgin satıcı sayısı

Karar değişkenleri

$X_{ij} = \begin{cases} 1, i'inci\ düğümden\ j'inci\ düğüme\ geçilirse \\ 0, aksi\ takdirde \end{cases}$

U_i, U_j = Oluşan alt turları kırmak için kullanılan rastgele reel sayılar. $U_i, U_j \geq 0$

Amaç fonksiyonu

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} \cdot X_{ij} \quad (2.6)$$

Kısıtlar

$$\sum_{j=2}^n X_{1j} = m, \quad (2.7)$$

$$\sum_{j=2}^n X_{j1} = m, \quad (2.8)$$

$$\sum_{i=1, i \neq j}^n X_{ij} = 1, \quad j = 2, \dots, n \quad (2.9)$$

$$\sum_{j=1, j \neq i}^n X_{ij} = 1, \quad i = 2, \dots, n \quad (2.10)$$

$$U_i + (L - 2)X_{1i} - X_{1i} \leq L - 1, \quad i = 2, \dots, n \quad (2.11)$$

$$U_i + X_{1i} - (2 - K)X_{i1} \leq 2, \quad i = 2, \dots, n \quad (2.12)$$

$$X_{1i} + X_{i1} \leq 1, \quad i = 2, \dots, n \quad (2.13)$$

$$U_i - U_j + LX_{ij} + (L - 2)X_{ji} \leq L - 1, \quad 2 \leq i \neq j \leq n \quad (2.14)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j \mid i \neq j \quad (2.15)$$

Eşitlik (2.6), maliyeti (mesafe) minimize etmektedir. Kısıt (2.7) ve (2.8), m adet gezgin satıcının başlangıç noktasından ($i = 1$) çıkıp tekrar aynı noktaya dönmesini garantilemektedir. Kısıt (2.9) ve (2.10) her bir düğüme bir kez gidilmesi ve bir kez çıkılmasını sağlar. Kısıt (2.11) ve (2.12) her bir gezgin satıcı tarafından ziyaret edilebilecek en az ve en çok düğüm sayılarına dair kısıtlardır. Kısıt (2.13) bir gezgin satıcının sadece tek bir düğüme gitmesini yasaklamaktadır. Kısıt (2.14) oluşabilecek alt turları engellemektedirler. Kısıt (2.15) X_{ij} değişkeninin tanım aralığıdır.

Bu model, $2 \leq K \leq \left\lceil \frac{n-1}{m} \right\rceil$, $L \geq K$ sağlandığında geçerlidir. $K \geq 4$ olduğunda (2.11) ve (2.12) kısıtları $X_{1i} = X_{i1} = 1$ koşulunu sağlamamaktadır. $K \geq 2$ olduğunda bu kısıtlar geçerli olmaktadır.

2.2.3. Araç Rotalama Problemleri

ARP, bir veya daha fazla depodan coğrafi olarak dağınık olan müşterilere hizmet sağlayan araçlar için en az maliyetle ve belirli kısıtlar altında dağıtım ya da toplama rotalarının bulunması problemidir (Laporte, 1992).

ARP, 1959 yılında akaryakıt istasyonlarına akaryakıt dağıtım probleminin çözümüne yönelik ilk matematiksel modeli kuran Dantzig ve Ramser tarafından “The Truck Dispatching Problem” isimli makale ile literatüre girmiştir. ARP, 1964 yılında Clarke ve Wright’ın sezgisel bir çözüm yaklaşımı önermeleri sonrasında literatürde giderek artan bir ilgi görmüş olup, üzerinde en fazla çözüm yöntemi geliştirilen optimizasyon problemlerinden birisi haline gelmiştir (Toth and Vigo, 2002).

ARP, GSP’ye benzerliği ile bilinmektedir. GSP’de amaç, bir düğümden başlayıp tekrar aynı düğüme geri dönerek, tüm düğümleri bir kez ziyaret eden bir satıcı için en kısa turu bulmaktır. ARP, GSP’nin tek tip ve sınırlı kapasiteye sahip birden fazla aracın kullanıldığı ve bazı ilave kısıtlar ile genelleştirilmiş haline verilen isimdir (Floudas and Pardalos, 2008).

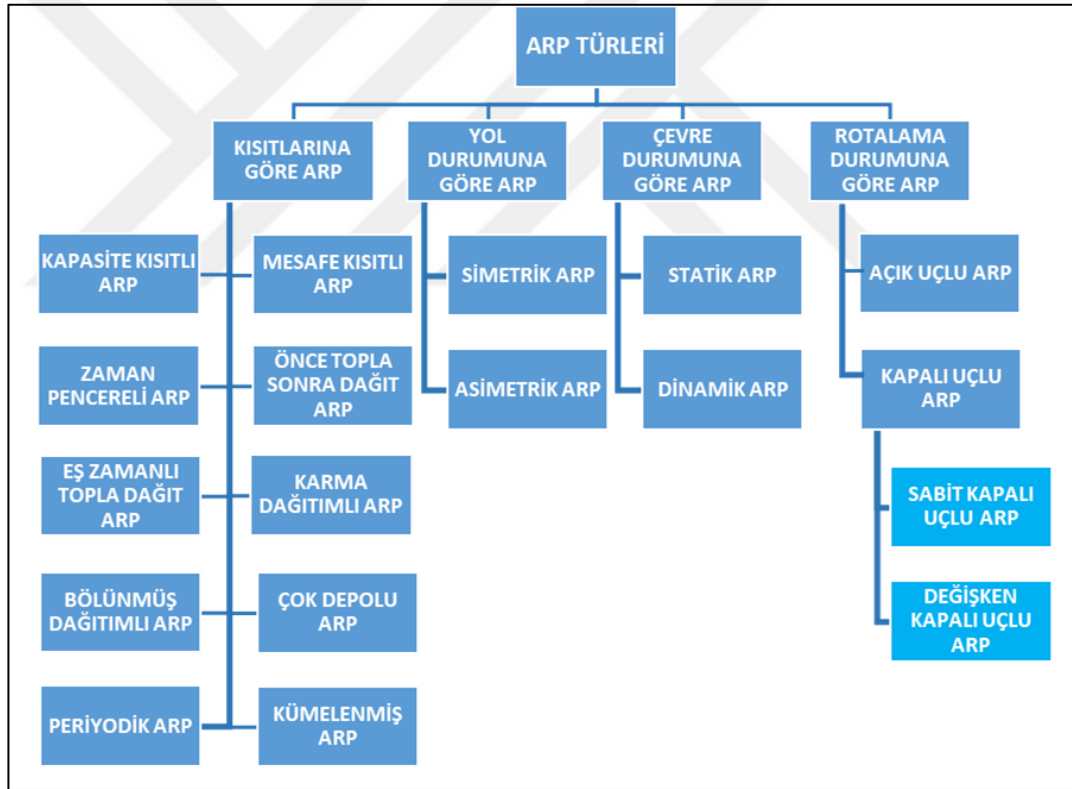
Dolayısıyla ÇGSP kapasite kısıtları kaldırılarak gevşetilmiş ARP olarak düşünülebilir. Yani, ARP için önerilen tüm modelleme ve çözüm yaklaşımlarının, satıcılara (araçlara) yeterince büyük kapasite ataması yapılarak ÇGSP için de geçerli ve uygulanabilir olduğu söylenebilir (Bektaş, 2006).

ARP’de amaç bazen en kısa mesafeyi tespit etmek iken, bazen de araç sayısını en küçükleme. Bu nedenle ARP’ye çeşitli çözüm yaklaşımları geliştirilmiş ve geliştirilmeye de devam edilmektedir. Geliştirilen bu çözüm yaklaşımları temel olarak maliyetleri, gidilen yol uzunluğunu, kullanılan araç sayısını ve harcanan zamanı en küçükleme üzere oluşturulurken, temel olarak birçok kısıtı da ele almaktadır. Bu kısıtlar; araçların ağırlık ya da hacim cinsinden kapasite, harcanan toplam zaman, araçların çalışma saatlerine ilişkin zaman kısıtları, müşteri talepleri, dağıtım operasyonları ile rota seçimleri için özel kısıtlar ve kullanılan depo sayısına ilişkin kısıtlar olarak özetlenebilir (Durak, 2015).

2.2.4. Araç Rotalama Problemi Türleri

ARP, coğrafik olarak dağılmış müşteri kümesine, bir veya daha fazla merkezi depodan dağıtım veya toplama rotalarının tasarımını içerir (Crainic and Laporte, 1997). Bununla birlikte gerçek hayatta farklı durumlar veya kısıtlarla karşılaşılmasından dolayı çeşitli problem sınıfları ortaya çıkmıştır.

Literatürde incelenen çeşitli ARP türleri Şekil 2.6’da gösterilmiştir (Yücel, 2016). ARP türlerine, bu tez çalışmasında kullanılan “Sabit Kapalı Uçlu ARP” ve “Değişken Kapalı Uçlu ARP” kavramları ilave edilmiştir.



Şekil 2.6. Araç rotalama problemi türleri.

2.2.4.1. Kısıtlarına Göre Araç Rotalama Problemleri

ARP’nin çeşitliliğine sebep olan en önemli etkenler, müşterilere ve araçlara bağlı kısıtlardır. Bu kısımda, ele alınan çeşitli kısıtlara göre farklı ARP türleri incelenmiştir.

2.2.4.1.1. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi

Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KKARP), ARP'nin en temel ve en çok karşılaşılan türüdür. Bu problem türünde, tüm araçların belli bir taşıma kapasitesi mevcuttur; bundan dolayı da müşteri taleplerinin önceden bilinmesi gerekmektedir (Lin; Lee; Ying et al. 2009). Klasik KKARP'de n adet müşteri tek bir depodan taleplerini tedarik etmektedir. Her müşterinin belirli bir talebi ve her aracın bir kapasite kısıtı söz konusudur. Amaç, müşteri talepleri eksiksiz olarak karşılanırken, toplam tur uzunlukları ya da sürelerinin minimize edilmesidir. Herhangi bir müşterinin talebi bölünememekle birlikte, her bir aracın dağıtım yaptığı rotadaki müşterilere ait toplam talep, ilgili aracın kapasitesinden büyük olmamalıdır. KKARP için önerilmiş birçok matematiksel model mevcuttur. Ancak bunların bazıları kısıtlar arttığında ya da asimetrik yol durumu söz konusu olduğunda kullanılamamaktadır (Keskintürk, 2009).

2.2.4.1.2. Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi

Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (MKARP), her bir rota için kapasite kısıtı yerine maksimum mesafe kısıtının kullanıldığı ARP türüdür. Farklı tipteki araçlar için farklı mesafe kısıtları yerine bununla orantılı bir şekilde seyir süresi kısıtları kullanılabilir. İlgili kısıt süre odaklı ise araçlar tüm müşteri ziyaretlerinde servis süreleri kadar zaman geçirmektedir (Erol, 2006).

Dağıtım probleminde mesafe ya da süre kısıtları, taşınan ürünlerin, araçların ya da sürücülerin özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkabilir. Örneğin, taşınan ürün için bozulma riski ya da sürücünün belirli bir çalışma süresi kısıtı varsa probleme mesafe kısıtı da eklenmelidir (Şen, 2014).

d : Her aracın gidebileceği (veya her turda yapılabilecek) maksimum mesafe kısıtı

C_{ij} : i 'inci ve j 'inci düğümler arasındaki uzaklık ($C_{ij} = C_{ji}$)

X_{ijb} : b 'inci aracın i 'inci düğümden j 'inci düğüme gidip gitmediğini gösteren 0-1 karar değişkeni

olmak üzere mesafe kısıtı denklemi şu şekildedir (Şen, 2014):

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} \cdot X_{ijb} \leq d$$

2.2.4.1.3. Zaman Pencere Reli Araç Rotalama Problemi

Müşterinin talep ettiğı ürününün kendisine ulaştırılması aşamasında, bir kabul zaman aralığını da belirlediğı durumlarda, ARP'ye bu zaman aralığı kısıtının da eklenmesi gerekmektedir. Böylece problem, literatürde Zaman Pencere Reli Araç Rotalama Problemi (ZPARP) olarak adlandırılan problem çeşidine dönüşmüş olur.

Her müşteri için belirlenmiş olan en erken ve en geç teslimat zamanları, zaman aralığı kısıtının sınırlarını oluşturmaktadır. Araç müşteriye en erken teslimat anından önce varmış ise en erken teslimat anına kadar bekleme yapmak durumundadır. Aracın müşteriye en geç teslimat anından sonra varış yapması durumunda müşteri teslimatı kabul etmeyeceğinden uygun olmayan bir çözüm oluşturulmuş olacaktır (Çeyrekoğlu, 2017).

ZPARP, sıkı zaman pencere Reli ARP ve esnek zaman pencere Reli ARP olarak iki gruba ayrılmaktadır. Eğer, müşteriye belirlenmiş zaman aralığında hizmet verilememiş ve müşteri başka zaman dilimine ertelenemiyorsa sıkı zaman pencere Reli ARP durumu söz konusudur. Esnek zaman pencere Reli türde ise müşteriye zaman aralığı dışında hizmet verilebilmektedir. Ancak böyle bir durumla karşılaşıldığında bir ceza fonksiyonu kullanılarak bu durum cezalandırılmaktadır. Ceza fonksiyonu genellikle maliyet cinsinden belirlenmektedir (Demirtaş, 2015).

2.2.4.1.4. Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi

Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi (ÖDSTARP), hem dağıtım hem toplama noktalarını içeren araç rotalama problemidir. ÖDSTARP, sırasıyla müşterilerin dağıtım ve toplama taleplerini karşılayacak optimal rotaları bulmayı amaçlamaktadır. ÖDSTARP modellenirken şu senaryo takip edilir: İlk olarak her bir araç depodan yola çıkar ve dağıtım talepleri karşılanır. Araç yükü tamamen boşaltıldıktan sonra depoya geri teslim edilecekleri toplamak üzere müşterilere toplama işlemi için hizmet vermektedir (Zachariadis and Kiranoudis, 2012).

Bu problemde müşteri kümeleri iki ayrı alt kümeye ayrılır. İlk alt küme dağıtım yapılacak müşteriler, diğer alt küme ise geri toplama yapılacak müşteri grubudur. Eğer rotada, her iki tür müşteri de bulunuyorsa, öncelik dağıtım yapılacak müşterilere verilmektedir (Alpaslan, 2015). ÖDSTARP literatürde Geri Toplamalı Araç Rotalama Problemi (GTARP) olarak da adlandırılmaktadır.

2.2.4.1.5. Eş Zamanlı Topla ve Dağıt Araç Rotalama Problemi

Eş Zamanlı Topla ve Dağıt Araç Rotalama Probleminde (ETDARP), müşteriler, ürün toplanacak ve teslim edilecek müşteriler şeklinde iki gruba ayrılmadan, aynı zaman diliminde ilgili müşteriye hem ürün teslim edilip, hem de ürün teslim alınmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, dağıtım ve toplama işlemi bir araç tarafından eş zamanlı olarak yapıldığından, toplanan ve dağıtılan ürün miktarı dengesinin araç kapasitesini geçmeyecek şekilde olmasıdır (Yücel, 2016).

2.2.4.1.6. Karma Dağıtımlı Araç Rotalama Problemi

Karma Dağıtımlı Araç Rotalama Probleminde (KDARP), bir araç rotası üzerinde gruplandırılmış olan toplama müşterileri ile dağıtım müşterilerine karma şekilde hizmet sağlanabilmektedir. Problem, araç kapasitesinin yeterli ve tur esnasında yeniden yüklemenin mümkün olduğu durumlar için geçerlidir. Bu durumda araç kapasitesi sürekli olarak kontrol edilmelidir (Yücel, 2016).

Hizmet sektöründe, bazı müşterilere kargo teslimatı yapılırken, bazı müşterilerin de kargolarının alınarak merkeze götürülmesi ya da sağlık sektöründe, merkezden ihtiyacı olan hastanelere kan götürülürken, kan alımı yapılan noktalardan da merkeze yeni kanların götürülmesi KDARP'ye örnek olarak verilebilir (Koç, 2012).

2.2.4.1.7. Bölünmüş Dağıtımlı Araç Rotalama Problemi

Bölünmüş Dağıtımlı Araç Rotalama Problemi (BDARP), bir müşteriye ait talep miktarının, tek araç kapasitesinden daha fazla olması halinde birden fazla araç tarafından karşılanabilmesine imkân sağlayan araç rotalama problemidir.

BDARP’de ana amaç olarak gidilen toplam mesafe minimize edilmeye çalışılırken, aşağıdaki kısıtlar sağlanmalıdır (Jin; Liu; Ekşioğlu, 2008):

- Bir talep noktası birden fazla araç tarafından hizmet alabilir.
- Tüm araçlar başlangıç noktasından servise başlayıp yine aynı noktada servisi bitirmelidir.
- Herhangi bir araç tarafından karşılanan talep miktarı, araç kapasitesinden fazla olamaz.

2.2.4.1.8. Çok Depolu Araç Rotalama Problemi

Çok Depolu Araç Rotalama Problemi (ÇDARP) türünde, araçlar birden çok depodan rotalarına başlayabilmektedir. Eğer tek depodan daha fazla depoya sahip bir firmanın rota düzenlemesi yapılmakta ise birden fazla depo kısıtının modele eklenmesi gerekmektedir. Bu problemde, müşteri ve depo konumları önceden belirlenmiş olup, depo kapasiteleri müşterilerin tüm taleplerini karşılayabilecek düzeydedir. Problemde araçlar depolara kayıtlı olduğundan, araç ancak çıkış yaptığı depoya geri dönebilecektir. Bu türdeki ARP’de en iyi çözüme ulaşabilecek herhangi etkin bir çözüm yöntemi yoktur ve bu sebeple problem NP-zor sınıfına girmektedir (Ho; Ho; Ji et al. 2008).

2.2.4.1.9. Periyodik Araç Rotalama Problemi

Periyodik Araç Rotalama Problemi (PARP), belirlenen bir zaman periyodu içerisinde gerçekleştirilecek olan müşteri ziyaretlerine dair rotalama problemidir. Araçlar, periyodun her bir birim zamanı için gidecekleri toplam mesafe minimize edilecek şekilde rotalanmaktadır (Yücel, 2016).

PARP’de belirli bir dönem için başlangıçta plan yapılmakta ve ziyaret noktaları bu dönemde periyodik olarak hizmet almaktadır. Genellikle belirli bir zaman diliminde, farklı müşterilerin farklı sayıda hizmete ihtiyaçları olmaktadır. Eğer bir müşterinin talep miktarı fazla ise ya da depolama alanı az ise, az miktarda talebi veya daha büyük depolama alanı olan müşterilere kıyasla daha çok kez hizmet alacaktır. PARP, günlük hayatta market ve alkolsüz içecek dağıtım sektörü için servis sağlama ya da çöplerin

toplaması şeklindeki uygulamalarla karşımıza çıkmaktadır (Hemmelmayr; Doerner; Hartl, 2009).

2.2.4.1.10. Kümelenmiş Araç Rotalama Problemi

Kümelenmiş Araç Rotalama Problemi (KÜARP), KKARP'nin özel bir türü olup, belirli kümelere yerleştirilmiş olan müşterilerin taleplerini tam olarak karşılayan araçlar için minimum uzunluktaki rotaların belirlenmesidir (Izquierdo; Rossi; Sevaux, 2013).

Kümelenmiş ARP'de müşteriler, birbiriyle kesişmeyen ve boş olmayan kümeler halinde gruplara ayrılmaktadır. Aynı kümede yer alan müşterilerin art arda ziyaret edilmesi gerekmektedir. Yani, bir müşteriyi ziyaret eden bir araç, aynı kümede yer alan diğer müşterilere uğramadan bu kümeyi terk edememektedir. Amaç, toplam seyahat maliyetini minimize edecek şekilde rotaların oluşturulmasıdır (Vidal; Battarra; Subramanian et al. 2015).

Aynı küme içerisindeki noktaların ardışık olarak ziyareti istendiğinden, müşterilere dağıtımı yapılacak olan ürünler tek bir araca yüklenmelidir. Literatürde az sayıda karşılaşılan KÜARP örneklerinde müşteriler sadece coğrafik açıdan yakınlıklarına göre kümelenmiştir (Yücel, 2016).

2.2.4.2. Yol Durumuna Göre Araç Rotalama Problemleri

Yol durumuna göre ARP, simetrik ve asimetrik olmak üzere iki sınıfta incelenmektedir.

2.2.4.2.1. Simetrik Araç Rotalama Problemi

İki nokta (müşteri, depo veya ADÜ konumları) arasındaki gidiş ve dönüş mesafesi (maliyeti) birbirine eşit olduğunda rotalama problemi, Simetrik Araç Rotalama Problemi (SARP) olarak tanımlanır. Bu mesafe eşitliği $C_{ij} = C_{ji}$ şeklinde gösterilmektedir.

2.2.4.2.2. Asimetrik Araç Rotalama Problemi

Asimetrik Araç Rotalama Probleminde (ASARP), iki nokta arasındaki gidiş ve dönüş mesafesi (maliyeti) birbirine eşit değildir ($C_{ij} \neq C_{ji}$). Mesafe matrisinin simetrik

olmadığı bu durum, güzergâhlardaki trafik düzenlemelerinden veya gidiş-dönüş yük miktarlarının farklılığından kaynaklanabilmektedir.

Bu tür ARP’de araçların ilk olarak hangi müşteriye gideceği önem kazanmakta, bu da rotanın gidiş yönünü saptayarak rota mesafesinin hesaplanmasını belirlemektedir (Erol, 2006).

2.2.4.3. Çevre Durumuna Göre Araç Rotalama Problemleri

Bu ARP türü, çevresel verilerin bilinmesi durumuna göre statik ve dinamik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

2.2.4.3.1. Statik Araç Rotalama Problemi

Statik ARP, problemin çözümünden önce müşteri talep miktarları, araç kapasiteleri, talep noktaları ile bu noktalar arasındaki mesafeler, zaman ve diğer ilgili parametrelerin bilindiği ve problemin çözüm süreci boyunca bu bilgilerin sabit kaldığı rotalama problemidir. Literatürde Deterministik ARP olarak da adlandırıldığı görülmektedir.

2.2.4.3.2. Dinamik Araç Rotalama Problemi

Dinamik ARP’de Statik ARP’nin tersi durum söz konusudur. Yani, problem çözümünden önce problemle ilgili talep miktarları, kapasite, zaman ve mesafe gibi parametrelerin tam olarak bilinmediği/bilinemediği rotalama problemleri Dinamik ARP olarak tanımlanır.

Gerçek hayatın dinamik koşulları düşünüldüğünde, uygulaması daha reel olan bir problemidir. Dinamik durumda bazı düğümlerdeki talep ve kısıtlar bilinmekte, bazıları ise araç rotasında devam ederken belirli olmaktadır (Yücel, 2016).

2.2.4.4. Rotalama Durumuna Göre Araç Rotalama Problemleri

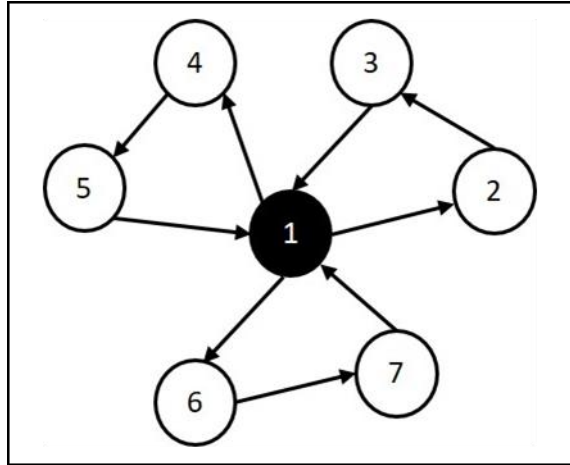
Rotalama durumuna göre ARP, Kapalı Uçlu ARP ve Açık Uçlu ARP olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Bu tez çalışmasında ele alınan uygulama problemi çerçevesinde, Kapalı Uçlu ARP, Değişken Kapalı Uçlu ARP ve Sabit Kapalı Uçlu ARP olarak ikiye ayrılarak açıklanmıştır.

2.2.4.4.1. Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemi

Her bir araç veya tur rotasının başlangıç noktası ile bitiş noktasının aynı olduğu rotalama problemlerine Kapalı Uçlu ARP (KUARP) denilmektedir. Probleme eklenen bir kısıt ile araçların tüm talep merkezlerine uğradıktan sonra başlangıç noktasına dönmeleri sağlanmaktadır (Yücel, 2016). Literatürdeki çalışmalarda, dağıtım veya toplamayı gerçekleştiren araçların başlangıç ve bitiş noktası merkez (depo, aktarma merkezi, fabrika vb.) olarak ele alınmış ve bu tür araç rotalama problemleri Kapalı Uçlu ARP olarak adlandırılmıştır. Bu tez çalışmasında ise Kapalı Uçlu ARP, Sabit Kapalı Uçlu ARP ve Değişken Kapalı Uçlu ARP olmak üzere iki grupta sınıflandırılarak yeni bir rotalama tanımı sunulmuştur.

2.2.4.4.1.1. Sabit Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemi

Sabit bir merkezden (depo vb.) çıkıp dağıtım veya toplama görevini yerine getirdikten sonra yine aynı merkeze dönen araçların rotalama problemleri, Sabit Kapalı Uçlu ARP (SKUARP) olarak tanımlanabilir. Literatürde tanımlanan Kapalı Uçlu ARP bu çalışmada SKUARP olarak ifade edilmektedir. Şekil 2.7’de SKUARP için örnek bir gösterim yer almaktadır.

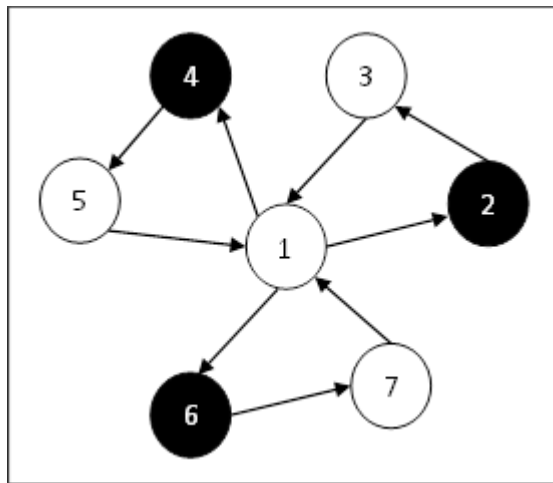


Şekil 2.7. Sabit kapalı uçlu ARP.

Şekil 2.7’de görüldüğü gibi sabit olan bir düğümden çıkan araçlar, düğümlere (talep merkezlerine) uğradıktan sonra rotasını yine merkez düğüme bitirmektedir. 1 nolu merkez düğümden çıkan araç $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ rotasını, diğer araç $1 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 1$ rotasını ve son araç ise $1 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 1$ rotasını takip ederek güzergâhını tamamlamaktadır. Rotaların başlangıç ve bitiş noktasının sabit bir merkez düğüm olması sebebiyle bu örnekte Sabit Kapalı Uçlu ARP söz konusudur.

2.2.4.4.1.2. Değişken Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemi

Sabit bir merkez düğümden değil, her biri farklı düğümlerden çıkan araçların, merkez düğüme ürünleri bıraktıktan sonra nihayetinde başladığı düğüme dönmesi suretiyle ortaya çıkan rotalama problemi Değişken Kapalı Uçlu ARP (DKUARP) olarak tanımlanabilir. Burada göz önünde bulundurulması gereken husus, araçların rotasını tamamlamadan önce son durağın mutlaka aktarma merkezi veya depo olarak belirtilen merkez düğüm olmasıdır. Bu tür rotalama problemleri, tez çalışmasında ele alınan uygulama probleminde olduğu gibi, farklı şehirlerden çıkan araçların taşınacak ürünleri toplayarak belirli bir aktarma merkezine bıraktığı ve tekrar başladığı şehre döndüğü durumlarda söz konusu olabilecektir. Şekil 2.8’de DKUARP için örnek bir gösterim yer almaktadır.



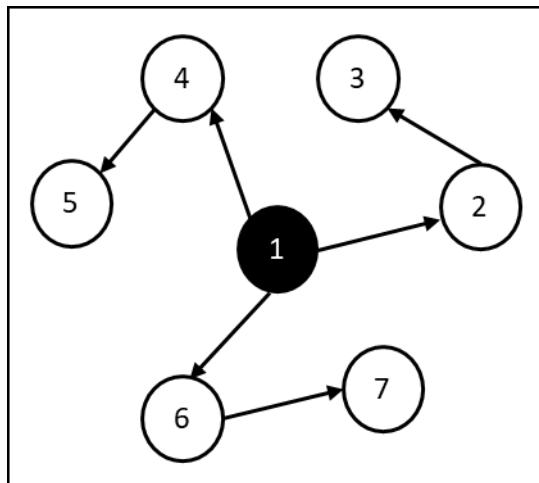
Şekil 2.8. Değişken kapalı uçlu ARP.

Şekil 2.8’de görüldüğü gibi farklı düğümlerden çıkan araçlar, 1 nolu merkeze uğradıktan sonra rotasını başladığı yerde bitirmektedir. 2 nolu düğümden çıkan araç $2 \rightarrow 3 \rightarrow 1 \rightarrow 2$ rotasını, diğer araç $4 \rightarrow 5 \rightarrow 1 \rightarrow 4$ rotasını ve son araç ise $6 \rightarrow 7 \rightarrow 1 \rightarrow 6$ rotasını takip ederek güzergâhını tamamlamaktadır. Rotaların başlangıç ve bitiş noktası, farklı düğümlerde başlayıp bittiğinden dolayı Değişken Kapalı Uçlu ARP söz konusudur.

2.2.4.4.2. Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi

Kapalı Uçlu ARP’de, araçların sabit bir merkezden başlayıp, ziyaret edilecek tüm müşteri noktalarına uğramalarından sonra tekrar başlangıç noktasına dönmeleri ile rota tamamlanırken, Açık Uçlu ARP’de (AUARP), merkez olarak kabul edilen noktadan başlayan rota, ziyaret edilen son müşteri noktasında tamamlanmaktadır. Rotanın merkez noktada tamamlanmamış olması sebebiyle açık uçlu olarak ifade edilmiştir.

AUARP çözümünde geriye dönüş için eklenen kısıta ihtiyaç duyulmamakta olup, çözüm doğal olarak açık uçlu rotalardan oluşmaktadır. Dolayısıyla, araçlar için oluşturulan turlar merkez olarak kabul edilen nokta ile başlamakta ve son ziyaret noktası ile bitmektedir (Li; Golden; Wasil, 2007). Şekil 2.9’da AUARP için örnek bir gösterim yer almaktadır.



Şekil 2.9. Açık Uçlu ARP.

BÖLÜM 3

LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde, tez çalışmasında incelenen taşıma problemi ile ilişkili olarak tesis lokasyon problemi ve araç rotalama probleminin birlikte ele alındığı çalışmalar incelenmiştir. Literatürdeki çalışmaların incelenmesinin ardından, bu çalışmalarla ilgili genel bir değerlendirme yapılarak tez çalışmasının katkıları ortaya konulmuştur.

3.1. Bütünleşik Lokasyon ve Rotalama Problemi İle İlgili Çalışmalar

Literatürde, tesis lokasyon ve araç rotalama probleminin (TLARP) birlikte ele alındığı çalışmalar çeşitlilik göstermektedir. Bu problem türü farklı birçok yönden ele alınmış olup, önce tesis lokasyonunu ardından rotalama problemini ele alan hiyerarşik çözüm yaklaşımları olduğu gibi her iki problemi bütünleşik olarak aynı anda çözen çalışmalar da mevcuttur.

TLARP, literatüre ilk kez kavram olarak 1961 yılında Boventer tarafından kazandırılmıştır. Laporte ve Nobert tarafından 1981 yılında yapılan çalışmada ilk kesin çözüm yöntemi kullanılmıştır. Yazarlar, kapasite kısıtı olmayan tek bir deponun lokasyonunun belirlenmesi ve sabit sayıda kapasite kısıtı olmayan aracın kullanılmasının söz konusu olduğu problem için tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Problemin çözümü için dal ve sınır algoritması kullanılarak minimum maliyetle en iyi rotalama ve en iyi depo lokasyonu belirlenmiştir.

Laporte, Nobert ve Pelletier (1983) çalışmalarında 7 aday tesis yeri ve 40 müşteri bulunan TLARP için tamsayılı programlama modeli önermişler ve Gomory kesmeleri kullanarak problemi çözmüşlerdir.

Madsen (1983) çalışmasında, gazetelerin ilk olarak fabrikadan transfer noktasına, buradan da 4500 müşteriye dağıtımının yapıldığı bir problemi ele almıştır. Problem çözümünde sezgisel yöntemler kullanılmıştır.

Perl ve Daskin (1985) çalışmalarında lokasyon ve rotalama probleminin her ikisinin aynı anda çözümüne dair karma tamsayılı programlama modeli önermişler ve 3 aşamalı sezgisel bir metotla problemi çözmüşlerdir. Veri boyutunun büyüklüğünden dolayı problemin çözümü için sezgisel algoritma kullanılmıştır.

Laporte, Nobert ve Arpin (1986), araçların kapasite kısıtını da TLARP problemine dahil etmişlerdir. Problem için tamsayılı programlama modeli önerilmiş, kısıt gevşetme algoritması ile çözülmüştür. 8 depo ve 20 müşteriye kadar etkin bir şekilde kesin çözüm bulunmuştur.

Laporte, Nobert ve Taillefer (1988) tarafından yapılan çalışmada ana problem 3 farklı şekilde ele alınmıştır. Bunlardan birincisi kapasite kısıtlı araç rotalama problemi, ikincisi maliyet kısıtlı araç rotalama problemi, üçüncüsü ise maliyet kısıtlı lokasyon ve araç rotalama problemidir. 80 düğümlü problem, dal ve sınır algoritması ile çözülmüştür.

Tuzun ve Burke (1999) tarafından, kapasite kısıtı olmayan çok tesisli, kapasite kısıtlı çok araçlı TLARP incelenmiş ve problemin çözümü için iki aşamalı tabu arama algoritması önerilmiştir. Algoritmanın ilk safhasında lokasyon, ikinci safhasında ise rotalama kararları verilmektedir. Algoritmanın başlangıcında rassal olarak seçilen bir tesis açılmakta ve bütün müşteriler bu tesise doğrudan atanmaktadır. Algoritmanın ileriki aşamalarında, araç rotalama problemi için geliştirilen kazanç algoritması (*saving algorithm*) ile çözüm iyileştirilmeye çalışılmıştır.

Wu, Low ve Bai (2002), çok depolu TLARP'yi birincisi lokasyon ve atama problemi, ikincisi ise araç rotalama problemi olarak iki aşamaya ayırarak ve her iki problemi de tavlama benzetimi metasezgiseli kullanarak çözmüşlerdir.

Albareda-Sambola, Díaz ve Fernández (2005) ise çalışmalarında araçların kapasite kısıtının olmadığı, depoların kapasite kısıtının olduğu TLARP'yi ele almışlardır. 30 müşterinin bulunduğu problemin çözümü için önerdikleri tamsayılı programlama modelinin çözümünde iki aşamalı bir tabu arama algoritması kullanmışlardır.

Berger, Coullard ve Daskin (2007) çalışmalarında, çeşitli mesafe kısıtlamaları olan 100 müşteri ve 10 aday tesis yerinin bulunduğu TLARP'yi ele almışlardır. Problemin çözümü için alt sınırı (*lower bound*) iyileştiren ilave kısıtlarla güçlendirilmiş tamsayılı programlama modeli önerilmiş olup, dal ve fiyat algoritması (*branch and price algorithm*) kullanılarak optimal çözüm sonucu bulunmuştur.

Nagy ve Salhi (2007) tarafından lokasyon-rotalama problemine yönelik bir literatür araştırması yapılmıştır. Çalışmada lokasyon-rotalama problemi; hiyerarşik yapısı, girdi verilerinin yapısı (belirli olması-belirsiz olması), planlama periyodu (tek dönemli-çok dönemli) ve çözüm yöntemleri (kesin algoritma-sezgisel yöntem) olmak üzere 4 temel kritere göre incelenmiştir. Bununla birlikte, amaç fonksiyonunun yapısına (tek amaçlı-çok amaçlı), çözüm uzayının yapısına (kesikli-sürekli-ağ), tesis sayısına (bir veya birden çok), araç çeşitleri ile yapısına (homojen-heterojen büyüklük, bir veya birden çok sayıda) ve araç rotalarının yapısına (tekrar depoya dönen-dönmeyen, birden fazla tur yapma durumu) göre de bir değerlendirme yapılmıştır.

Karaoğlu, Altıparmak, Kara ve Dengiz (2012), tesis lokasyon problemi ile Eş Zamanlı Topla ve Dağıt ARP'nin aynı anda çözümüyle, lokasyon ve rotalama maliyetini en aza indirmeyi amaçladıkları problem için alt sınırı iyileştiren ilave kısıtlarla güçlendirilmiş iki karma tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Problemin çözümü için tavlama benzetimi metasezgiselini kullanmışlardır.

Ting ve Chen (2013) ise çalışmalarında depolar ve araçların kapasite kısıtlı olduğu TLARP'yi; tesis lokasyon seçimi, müşteri ataması ve araç rotalama problemi olmak üzere 3 alt probleme ayırmışlardır. 200 den fazla müşteriye sahip olan alt problemlerin hepsini karınca koloni algoritması ile çözmüşlerdir.

Yu ve Lin (2015) çalışmalarında TLARP'den araçların müşterilerine ürünü dağıttıktan sonra dağıtım merkezi veya depoya geri dönmemesi konusu ile diğerlerinden ayrılan tesis lokasyon ve Açık Uçlu ARP problemini tavlama benzetimi ile çözmüşlerdir.

Rahmani, Cherif-Khettaf ve Oulamara (2016), TLARP'nin bir varyantı olan iki aşamalı çok ürünlü tesis lokasyon problemi ile Eş Zamanlı Topla ve Dağıt ARP problemini birlikte ele almışlardır. Birinci aşamada, açılacak ara tesislerin lokasyonu ve ürünlerin depolardan ara tesislere hangi rotalar ile ulaştırılacağı aynı anda tespit edilmektedir. İkinci aşamada ürünlerin ara tesislerden müşterilere Eş Zamanlı Topla ve Dağıt ARP çerçevesinde hangi rotalar üzerinden ulaştırılacağı belirlenmektedir. Yazarlar problem çözümü için karma tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Modelin çözümünde, en yakın komşuluk sezgiseli, en iyi sıralı ekleme sezgiseli ve hibrid kümeleme algoritması kullanmışlardır.

Nadizadeh ve Nasab (2019), kapasite kısıtlı depo lokasyonu ve kapasite kısıtlı araçlar için Eş Zamanlı Topla ve Dağıt ARP problemini birlikte ele almışlardır. Problem çözümünde, depoların kurulumu ile araçların kullanımına dair sabit maliyetlerin ve rota mesafelerinin en aza indirilmesi amacıyla yönelik olarak karma tamsayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Modeli çözmek için dört aşama içeren açgözlü bir kümeleme ve karınca kolonisi sezgiseli geliştirmişlerdir.

Tesis lokasyon problemlerinin özel bir türü olan ADÜ kapsama problemi, araç rotalama problemi ile birlikte literatürde ilk defa Nagy ve Salhi (1998) tarafından yapılan çalışmada bütünleşik olarak ele alınmıştır. Problemi “Kapasiteli ADÜ Kapsama Lokasyon-Rotalama Problemi” olarak isimlendirmişlerdir. Yazarlar, inceledikleri problemde; kapsamanın zamana dayandığı ve ADÜ'ler arası geçişlere izin verildiği bir senaryoyu ele almışlardır (ADÜ sayısı önceden belirli değildir ve bir sayı sınırlaması yoktur). ADÜ'lerin ve araçların kapasite kısıtı, oluşacak turların mesafe kısıtı bulunmaktadır. Bu kısıtlara uyularak, talep merkezlerinin biri teslim alma, diğeri teslim etme turu olmak üzere iki turla ziyaret edilmesine çalışılmıştır. İncelenen problem, toplam maliyeti en aza indirmek için, ADÜ lokasyonlarının belirlenmesi ile talep merkezlerinin ADÜ'lerde başlayan ve biten turlara tek atamalı olarak tahsis edilmesi kararlarını içerir. Araştırmacılar, amaç fonksiyonunun; birincisi turlarda ve ADÜ'ler

arasında kat edilen mesafeye bağılı olan, diğerrinin ise kapasite kısıtlı ADÜ açmanın sabit maliyeti olan iki bileşene sahip olduğu karma tamsayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Problemin çözümü için, önce ADÜ'lerin daha sonra rotalamanın belirlendiğı hiyerarşik bir sezgisel çözüm metodolojisi önermişlerdir.

Wasner ve Zäpfel (2004), stratejik kararlar arasında yer alan ADÜ lokasyon problemini ve taktik düzeyde bir karar olan araç rotalama problemini birlikte ele almanın nedenlerini ve gerekliliklerini tanımlamışlardır. Avusturya veri setlerini kullanarak Avusturya posta hizmetini, toplam taşıma maliyetini minimize edecek şekilde yeniden tasarlamak maksadıyla ve ADÜ olmayan düğümler arasında doğrudan geçişlere de izin vererek ADÜ lokasyon ve rotalama probleminin kapsamını genişletmişlerdir. ADÜ sayısının önceden belirli olmadığı, kapsamanın zamana dayandığı bu çok atamalı ADÜ lokasyon ve araç rotalama problemi için karma tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Problemin çözümü için hiyerarşik sezgisel yöntem kullanılmıştır. İki aşamalı olan çözüm prosedürünün birinci aşamasında ADÜ lokasyon problemini çözerek ADÜ lokasyonlarına karar verilmiş, bu çözüme ait değerler ikinci aşama için girdi verisi olarak kullanılıp ikinci aşamada rotalama problemi çözülmüştür. Mevcut şartlara göre toplam taşıma maliyetinde % 14,7 maliyet tasarrufu sağlamışlardır.

Çetiner, Sepil ve Süral (2010), Türkiye'deki posta dağıtım sisteminin veri setlerini kullanarak, çok atamalı ADÜ kapsama ve araç rotalama problemini birlikte ele almışlardır. Talep merkezleri, ADÜ'de başlayan ve biten turlar içinde kapasite kısıtsız araçlar tarafından ziyaret edilmektedir. Oluşturulan her tur için en fazla 900 km mesafe sınırı konulmuştur. İlk aşamada ADÜ lokasyonlarının ve bu ADÜ'lere atamaların yapıldığı, ikinci aşamada rotaların belirlendiğı hiyerarşik sezgisel yöntem geliştirmişlerdir.

De Camargo, De Miranda ve Løkketangen (2013), Avustralya posta servisine ait veri seti üzerinde yaptıkları çalışmalarında, tek atamalı ADÜ kapsama ve araç rotalama problemi için kesin çözüm yöntemi sunmuşlardır. Sayısında sınırlama olmayan ADÜ'lerin lokasyonu ve bir ADÜ'ye birden fazla tur tahsisinin yapılabileceğı rotalamaya karar veren yeni bir karma tamsayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. ADÜ açma maliyetinin sabit olduğu, turlar için maksimum süre kısıtının bulunduğu

problemde, toplam maliyeti minimize etmek amacıyla çözüm için problemi daha küçük iki alt probleme ayırıştırabilen Benders (1962) ayırıştırma algoritmasını kullanmışlardır.

Rodríguez-Martín, Salazar-González ve Yaman (2014), bütünleşik ADÜ kapsama lokasyon ve araç rotalama problemi için kesin çözüm yöntemi sundukları çalışmalarında, toplam taşıma maliyetini en aza indirebilmek amacıyla, ADÜ açmanın sabit maliyetinin olmadığı ve ADÜ'ler arası geçişlerin olduğu durumda, sayısı önceden belirli ADÜ'lerin yerlerinin belirlenmesine, düğümlerin ADÜ'lere atanmasına ve ADÜ'lere atanan düğümler arasındaki rotalamaya karar vermeye çalışmışlardır. Problemden, her bir ADÜ'nün sadece bir araca sahip olması, sadece bir alt turu olması ve alt turda ziyaret edilebilecek en fazla düğüm sayısının önceden belirli olması yönünde kısıtlar mevcuttur. Problemin çözümü için alt sınırı iyileştiren ilave kısıtlarla güçlendirilmiş karma tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Modeli dal-kesme (*branch and cut*) algoritması ile çözmüşlerdir.

Lopes, De Andrade, De Queiroz, Resende ve Miyazawa (2016), ADÜ'lerin belirlenmesini, düğümlerin ADÜ'lere tahsisini ve bunlara dair araç rotalaması ile birlikte tüm ADÜ'ler arası rotalamayı da içeren bütünleşik ADÜ kapsama lokasyon ve araç rotalama problemini ele almışlardır. Problem için, dal-kesme algoritması ile çözdükleri karma tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Çözümde ilki genetik algoritma, diğer ikisi değişken komşuluk arama metasezgisellerini içeren üç sezgisel yöntem kullanmışlardır.

Karimi (2018) çalışmasında Kapasiteli ADÜ Kapsama Lokasyon-Rotalama Problemi kapsamında bir taşıma ağı problemini incelemiştir. Önceden belirlenmiş seyahat süresine, ADÜ kapasitesine, araç kapasitesine ve eş zamanlı topla dağıt yöntemine bağlı olarak, ADÜ'ler arası geçişin olmadığı bütünleşik tek atamalı kapasiteli ADÜ kapsama ve araç rotalama probleminde toplam taşıma maliyetinin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Problem için, alt sınırı iyileştiren ilave kısıtlarla güçlendirilmiş polinom boyutlu karma tamsayılı programlama modeli önerilmiştir. Modelin çözümü için tabu arama metasezgiseli geliştirilmiştir.

3.2. Literatür Değerlendirmesi ve Çalışmanın Katkısı

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, kavramsal olarak 1960'lı yılların başında ortaya çıkan, 1981 yılında Laporte ve Nobert tarafından ilk kesin çözüm yönteminin kullanıldığı çalışma sonrası giderek artan bir ilgi gören tesis lokasyon ve araç rotalama problemine yönelik çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Gerçek hayat uygulamaları sebebiyle farklı kısıtların da dâhil edilmesiyle yapılan çalışmalarda genel olarak toplam maliyeti minimize edecek şekilde tesis lokasyonlarının belirlenmesine, talep merkezlerinin tek atamalı veya çok atamalı olarak tesislere atanmasına ve uygun araç rotalamasının bulunmasına çalışılmıştır.

Literatürdeki bazı çalışmalarda, tesis lokasyon ve araç rotalama problemini ayrı aşamalarda çözen hiyerarşik çözüm yöntemleri kullanılmıştır. Ancak, lokasyon ve rotalama problemleri birbirine bağlı olduğundan, bu yöntemlerin optimal çözümü verme garantisi yoktur. Bunun yanında, tesis lokasyon ve araç rotalama problemini bütünlük olarak aynı anda çözen çalışmalar da mevcuttur. Örneğin; Lopes, De Andrade, De Queiroz, Resende ve Miyazawa (2016) ile Karimi (2018) ele aldıkları bütünlük ADÜ lokasyon ve araç rotalama problemlerine dair karma tamsayılı programlama modeli önerdikleri gibi, problemin bir bütün halinde çözümü için genetik algoritma ve tabu arama metasezgisellerini kullanmışlardır.

Bu tez çalışmasında ise, TLARP çerçevesinde, bütünlük tek atamalı kapasite kısıtsız AKM lokasyon ve mesafe kısıtlı araç rotalama probleminin çözümüne yönelik olarak, açılacak olan AKM lokasyonlarının belirlenmesini, talep merkezlerinin bu AKM'lere atanmasını, belli bir mesafeyi geçmeyecek şekilde AKM alt tur rotalarının tespit edilmesini, taşıma esnasında kullanılan araç sayısı ile mesafelerin minimize edilmesini sağlayacak matematiksel model önerilmiştir. AKM lokasyon probleminde; talep merkezleri ile AKM arasındaki maksimum mesafe ölçütü ve alt tur maksimum mesafe ölçütü esas alınarak tek atamalı olarak AKM lokasyonlarının belirlenmesine çalışılmıştır. Ele alınan uygulama probleminin özellikleri çerçevesinde AKM'lerin ve taşımada kullanılacak araçların kapasite kısıtı bulunmamaktadır.

Çalışmanın literatüre bir diğer katkısı ise, uygulama probleminin özellikleri doğrultusunda, Kapalı Uçlu ARP probleminin, Değişken Kapalı Uçlu ve Sabit Kapalı Uçlu olmak üzere kavramsal olarak ikiye ayrılarak tanımlanmış olmasıdır.

Tez çalışmasında ele alınan uygulama problemi, ticari işletmelerden farklı olarak kâr amacı gütmeyen kamu sektöründe taşıma ağı tasarımına yönelik özgün bir çalışmadır. Yalın bir taşıma ağının tasarlanması, kamu kaynaklarının verimli kullanılıp israf edilmemesini sağlayacaktır. Ayrıca, bu taşıma işlemi üç farklı kamu kurumunda daha gerçekleştirilmekte olup, bu çalışmada önerilen modelin diğer kamu kurumları için de uygulanması ile aynı şekilde israf ve verimsizliğin azaltılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

BÖLÜM 4

BÜTÜNLEŞİK LOKASYON VE ROTALAMA PROBLEMİNE DAİR MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİSİ

Bu bölümde, öncelikle tez çalışması kapsamında incelenen bütünleşik lokasyon ve araç rotalama problemi tanımlanmıştır. Problemin çözümüne yönelik bir tamsayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Yalın taşıma ağı tasarımı ile ilgili olarak ele alınan uygulama probleminin niteliklerini yansıtan küçük bir örnek üzerinde model ve çözüm sonuçları açıklanmıştır.

4.1. Problemin Tanımlanması

Bütünleşik lokasyon ve rotalama problemi kapsamında bir problem olan tek atamalı kapasite kısıtsız AKM lokasyon ve mesafe kısıtlı ARP probleminde, AKM'lerin lokasyonlarının belirlenmesi, talep merkezlerinin AKM'lere atanması ve AKM'lere atanan talep merkezleri arasındaki alt tur rotalarının belirlenmesi gerekmektedir. Yalın taşıma ağı tasarımı, öncelikli olarak taşıma faaliyeti boyunca katedilen toplam mesafenin, ikinci öncelikli olarak ise kullanılan toplam araç sayısının minimize edilmesi amaçlanmıştır.

Bütünleşik tek atamalı kapasite kısıtsız AKM lokasyon ve mesafe kısıtlı araç rotalama problemi şu şekilde tanımlanabilir: Problemin $G = (N, A)$ grafında, $N = N_t \cup N_b$ düğümler kümesi, $A = \{(i, j): i, j \in N, i \neq j\}$ kenarlar (yollar) kümesidir. N_t , talep merkezini, N_b ise aday AKM'leri temsil eden düğümler kümesidir. C_{ij} , i 'inci ve j 'inci düğümler arasındaki mesafeyi göstermektedir.

n düğümlük kümede yer alan talep merkezleri ürünlerini hedef noktaya, m düğümlük kümede yer alan bir AKM üzerinden ulaştırmak istemektedir. Her AKM aynı zamanda, talep merkezlerinden topladığı ürünlerle birlikte kendi ürününü de hedef noktaya ulaştırması gereken bir talep merkezidir.

Talep merkezlerindeki ürünler, bir talep merkezinden başlayan ve aynı yerde biten rota çerçevesinde, kapasite kısıtsız homojen araçlarla toplanarak bağlı oldukları AKM'ye ulaştırılmakta ve buradan da AKM aracı ile hedef noktaya götürülmektedir. Ürünleri hedef noktaya ulaştıran AKM aracı tekrar AKM'ye dönmektedir. Dolayısıyla, taşıma işleminin mümkün olduğunca az sayıda araç kullanılarak en az toplam mesafe ile gerçekleştirilmesini sağlamak amacıyla, AKM'lerin lokasyonlarının belirlenmesi, talep merkezlerinin en uygun AKM'ye atanması ve alt tur rotalarının tespit edilmesi gerekmektedir.

4.2. Probleme Dair Kısıtlar ve Varsayımlar

Probleme dair kısıtlar ve varsayımlar şu şekildedir:

- AKM açmanın sabit maliyeti ve kapasite kısıtı bulunmamaktadır.
- Açılacak AKM sayısı önceden belli değildir.
- Taşıma için kullanılan tüm araçlar homojendir ve kapasite kısıtı bulunmamaktadır.
- Hedef noktaya gönderilecek ürünler, her talep merkezinde düşük miktarda bulunduğundan dolayı tek AKM üzerinden hedef noktaya ulaştırılmaktadır.
- AKM'lere ait alt turların başlangıç ve bitiş düğümü, aynı talep merkezi olacaktır.
- Açılacak AKM sayısı ve bu AKM'lere atanacak talep merkezi sayısında herhangi bir kısıt söz konusu değildir.
- AKM'ler arası geçiş ve ürün aktarımı söz konusu değildir.
- Mesafe matrisi simetriktir.
- Hedef noktanın bulunduğu şehrin başka bir şehirde bulunan AKM'ye ürün götürmesi uygun olmadığı için bu şehir AKM olarak belirlenecektir.

AKM lokasyonlarının belirlenmesinde, modeldeki diğer kısıtlarla birlikte özellikle aşağıdaki iki kriter esas alınmıştır:

- AKM ile o AKM'ye atanacak talep merkezi arasındaki mesafe önceden belirli bir değeri aşamaz.
- AKM'lere atanan talep merkezlerine ait her bir alt turun toplam mesafesi önceden belirli bir değeri aşamaz.

Bu parametre değerleri ile ilgili açıklamalara bir sonraki bölümdeki “Uygulama Problemi Verileri” kısmında yer verilmiştir.

4.3. Önerilen Matematiksel Model

Bütünleşik tek atamalı kapasite kısıtsız AKM lokasyon ve mesafe kısıtlı ARP probleminin çözümüne yönelik geliştirilen tamsayılı doğrusal programlama modeli aşağıda sunulmuştur.

Önerilen modelde hedef nokta, gidilecek bir yer olduğundan talep merkezleri kümesine dâhil edilmiş, fakat bu nokta AKM olamayacağı için AKM kümesine dâhil edilmemiştir. Dolayısıyla, aşağıda tanımlanan talep merkezleri kümesinin son elemanı hedef noktayı ifade etmektedir. Bununla birlikte, her bir AKM ile hedef nokta arasında gerçekleşen gidiş-geliş, AKM ile talep merkezleri arasındaki alt turlardan hariç tutulmuştur. Aşağıda r ile ifade edilen alt tur sayısı, AKM ile talep merkezleri arasında oluşturulabilecek maksimum alt tur sayısını ifade etmektedir. Bir AKM için S_k sayıda alt turun açılmasına karar verildiğinde o AKM için gerçekleşen toplam tur sayısı S_k+1 olacaktır. Modelde katedilen toplam mesafenin en az olması ve bunun da mümkün olduğunca az sayıda araç kullanılarak sağlanması amaçlanmıştır. Toplam mesafe öncelikli amaç olup amaç fonksiyonunda bu önceliği ifade edecek şekilde a parametresi ile ağırlandırılmıştır. Ağırlıklı toplam yaklaşımı (Rardin, 1998) kullanılarak tek bir amaç fonksiyonunda birleştirilen bu amaçlar için model, öncelikli olarak katedilen toplam mesafeyi minimize edip daha sonra araç sayısının en az olmasını sağlayacaktır.

Matematiksel modelde kullanılan notasyon aşağıda tanımlanmıştır.

İndisler

- i, j : Talep merkezleri (düğümler) ($i, j = 1, 2, 3, \dots, n$)
 k : Aktarma merkezleri (AKM'ler) ($k = 1, 2, 3, \dots, m$)
 l : Alt turlar ($l = 1, 2, \dots, r$)
 h : Hedef noktanın bulunduğu şehir, ($h \subset k$)

Parametreler

- C_{ij} : i 'inci ve j 'inci düğümler arasındaki uzaklık ($C_{ij} = C_{ji}$)
 n : Talep merkezi (düğüm) sayısı
 m : Aday AKM sayısı ($m = n - 1$)
 r : AKM ile talep merkezleri arasında oluşturulabilecek maksimum alt tur sayısı
 f : AKM ile o AKM'ye atanacak talep merkezi arasındaki maksimum mesafe
 d : Her bir alt turun maksimum toplam mesafesi
 a : Amaç fonksiyonunda öncelikli amaç için kullanılan ağırlık

Karar Değişkenleri

$$Y_k = \begin{cases} 1, k \text{ 'inci düğüm AKM olarak belirlenirse} \\ 0, \text{aksi takdirde} \end{cases}, Y_k \in \{0, 1\}, \forall k$$

$$Z_{ik} = \begin{cases} 1, i \text{ 'inci düğüm } k \text{ 'inci AKM'ye atanırsa} \\ 0, \text{aksi takdirde} \end{cases}, Z_{ik} \in \{0, 1\}, \forall i, k \mid i < n$$

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1, k \text{ 'inci AKM'ye atanan } i \text{ 'inci düğümden } j \text{ 'inci düğüme geçilirse} \\ 0, \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

$$X_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad \forall i, j, k \mid i \neq j, [(i < n, j < n) \text{ veya} \\ (i = n, j = k) \text{ veya } (j = n, i = k)]$$

$$W_{ijkl}$$

$$= \begin{cases} 1, k \text{ 'inci AKM'nin } l \text{ 'inci alt turuna atanan } i \text{ 'inci düğümden } j \text{ 'inci düğüme geçilirse} \\ 0, \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

$$W_{ijkl} \in \{0, 1\}, \quad \forall i, j, k, l \mid i \neq j, i < n, j < n$$

U_i, U_j

= AKM'ye uğramadan oluşan alt turları kırmak için kullanılan rastgele reel sayılar

$$U_i, U_j \geq 0, \forall i$$

$$T_{kl} = \begin{cases} 1, k'inci \text{ AKM'nin } l'inci \text{ alt turu açılırsa} \\ 0, aksi \text{ takdirde} \end{cases}, T_{kl} \in \{0,1\}, \forall k, l$$

$$S_k = k'inci \text{ AKM için açılan toplam alt tur sayısı}, S_k \geq 0, \forall k$$

Z : Amaç fonksiyonu değeri

Ele alınan uygulama problemi için önerilen karma tamsayılı doğrusal programlama modeli aşağıda verilmiştir.

Amaç Fonksiyonu

$$Min Z = a. \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m C_{ij} \cdot X_{ijk} + \sum_{k=1}^m S_k + \sum_{k=1}^m Y_k \quad (4.1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{k=1}^m Z_{ik} = 1, \quad \forall i \mid i < n \quad (4.2)$$

$$\sum_{i=1 \mid i < n}^n Z_{ik} \leq m \cdot Y_k, \quad \forall k \quad (4.3)$$

$$Z_{ik} + Z_{jk} \geq 2X_{ijk}, \quad \forall i, j, k \mid i \neq j, i < n, j < n \quad (4.4)$$

$$\sum_{j=1 \mid j \neq i, j < n}^n X_{ijk} = Z_{ik}, \quad \forall i, k \mid i \neq k, i < n \quad (4.5)$$

$$\sum_{i=1 \mid i \neq j, i < n}^n X_{ijk} = Z_{jk}, \quad \forall j, k \mid j \neq k, j < n \quad (4.6)$$

$$\sum_{j=1 \mid j \neq i}^n X_{ijk} \geq S_k + Y_k, \quad \forall i, k \mid i = k \quad (4.7)$$

$$\sum_{i=1 \mid i \neq j}^n X_{ijk} \geq S_k + Y_k, \quad \forall j, k \mid j = k, j < n \quad (4.8)$$

$$U_i - U_j + n.X_{ijk} \leq n - 1, \quad \forall i, j, k \mid i \neq j, i \neq k, j \neq k, i < n, j < n \quad (4.9)$$

$$X_{ijk} = Y_k, \quad \forall i, j, k \mid i = k, j = n \quad (4.10)$$

$$X_{ijk} = Y_k, \quad \forall i, j, k \mid j = k, i = n \quad (4.11)$$

$$Z_{ik} = Y_k, \quad \forall i, k \mid i = k \quad (4.12)$$

$$\sum_{l=1}^r W_{ijkl} = X_{ijk}, \quad \forall i, j, k \mid i < n, j < n, i \neq j \quad (4.13)$$

$$\sum_{j=1 \mid j < n}^n W_{jikl} = \sum_{j=1 \mid j < n}^n W_{ijkl}, \quad \forall i, k, l \mid i < n \quad (4.14)$$

$$\sum_{i=1 \mid i < n}^n \sum_{j=k} W_{ijkl} = T_{kl}, \quad \forall k, l \quad (4.15)$$

$$\sum_{l=1}^r T_{kl} = S_k, \quad \forall k \quad (4.16)$$

$$S_k \leq r.Y_k, \quad \forall k \quad (4.17)$$

$$S_k \geq Y_k , \quad \forall k \quad (4.18)$$

$$T_{kl} \geq T_{k,l+1} , \quad \forall k, l \mid l < r \quad (4.19)$$

$$C_{ik} \cdot Z_{ik} \leq f , \quad \forall i, k \mid i < n \quad (4.20)$$

$$\sum_i^n \sum_{j=1 \mid j < n}^n C_{ij} \cdot W_{ijkl} \leq d \cdot T_{kl} , \quad \forall k, l \quad (4.21)$$

$$Y_h = 1 , \quad (4.22)$$

$$Y_k \in \{0,1\}, \quad \forall k \quad (4.23)$$

$$Z_{ik} \in \{0,1\}, \quad \forall i, k \mid i < n \quad (4.24)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j, k \mid i \neq j, [(i < n, j < n) \text{ veya } (i = n, j = k) \text{ veya } (j = n, i = k)] \quad (4.25)$$

$$W_{ijkl} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j, k, l \mid i \neq j, i < n, j < n \quad (4.26)$$

$$U_i, U_j \geq 0 , \quad \forall i \quad (4.27)$$

$$T_{kl} \in \{0,1\} , \quad \forall k, l \quad (4.28)$$

$$S_k \geq 0 , \quad \forall k \quad (4.29)$$

Eşitlik (4.1), tüm alt tur rotalarının toplam mesafesini ve kullanılan araç sayısını en küçüklemektedir. Amaç fonksiyonundaki birinci terim, a parametresi ile ağırlandırılmış olan tüm alt tur rotalarının toplam mesafesini gösterir. Amaç fonksiyonundaki ikinci terim, alt turlar bünyesinde talep merkezleri tarafından kullanılacak araçların sayısını, üçüncü terim ise hedef noktaya gidiş-geliş turunda AKM'ler tarafından kullanılacak araçların sayısını gösterir. Talep merkezleri tarafından kullanılacak araç sayısı AKM

için açılan toplam alt tur sayısına ($\sum S_k$), AKM'ler tarafından kullanılan araç sayısı ise açılan AKM sayısına ($\sum Y_k$) eşittir.

Kısıt (4.2), her i 'inci talep merkezinin sadece bir AKM'ye atanmasını sağlar. Kısıt (4.3), herhangi bir i 'inci talep merkezinin k 'ıncı AKM'ye, o merkezde AKM tesisi kurulmadan atanamayacağını garantiler. Kısıt (4.4); k 'ıncı AKM'de i 'inci ve j 'inci talep merkezleri arasında geçişin olabilmesi için, hem i 'nin hem de j 'nin aynı AKM'ye atanmış olmasını gerektirir. Kısıt (4.5), AKM olmayan her bir talep merkezinden sadece bir kez çıkılmasını sağlayan kısıttır. Kısıt (4.6), AKM olmayan her bir talep merkezine sadece bir kez gidilmesini sağlar. Kısıt (4.7) ve Kısıt (4.8), sırasıyla AKM'lerden çıkışların ve AKM'lere girişlerin yapılmasını sağlayan kısıtlardır. Kısıt (4.9), AKM'ye uğramadan oluşan alt turları kırma kısıtıdır. Kısıt (4.10), her AKM'den hedef noktaya geçiş olmasını sağlayan kısıttır. Kısıt (4.11), hedef noktadan tüm AKM'lere giriş (dönüş) olmasını sağlar. Kısıt (4.12), bir AKM'nin sadece kendine atanmasını garantiler. Kısıt (4.13), X_{ijk} değişkenindeki i 'inci düğümden j 'inci düğüme geçişlerin k 'ıncı AKM'nin aynı alt turunda olmasını sağlamak amacıyla X_{ijk} ile W_{ijkl} değişkenlerini irtibatlandıran kısıttır. Kısıt (4.14), her bir talep merkezine giriş ve çıkışın, bulunduğu alt tur bünyesinde olmasını sağlayan kısıttır. Kısıt (4.15), açılmış her bir alt turdan ilgili AKM'ye sadece bir giriş olmasını sağlar. Kısıt (4.16), k 'ıncı AKM için açılan toplam alt tur sayısını belirler. Kısıt (4.17), her AKM için en fazla r sayıda alt tur açılmasını sağlar. Kısıt (4.18), açılan her AKM için en az bir alt turun oluşturulmasını sağlar. Kısıt (4.19), her AKM'deki alt turların indis numaralarına uygun olarak sırayla açılmasını sağlayan kısıttır. Kısıt (4.20), bir AKM ile o AKM'ye atanan talep merkezi arasındaki mesafenin, maksimum mesafeyi (f) aşmamasını garanti eder. Kısıt (4.21), hedef nokta turu hariç her bir alt turun toplam mesafesinin maksimum mesafeden (d) küçük veya eşit olmasını sağlar. Kısıt (4.22), hedef noktanın bulunduğu şehrin AKM olarak belirlenmesini sağlayan kısıttır. Kısıt (4.23)-(4.29), değişkenlerin tanım aralığını ifade eder.

4.4. Modelin Örnek Problem Üzerinde Uygulanması

Önerilen model, 19 ilden oluşan küçük bir örnek üzerinde çalıştırılarak çözüm sonuçlarına ilişkin açıklamalara aşağıda yer verilmiştir. Tablo 4.1'de örnek problem için

seçilen iller ve bu illerin modeldeki indis numaraları, Tablo 4.2’de ise iller arası mesafe matrisi gösterilmiştir. Şekil 4.1’de ise örnek problemde yer alan illerin harita görünümüne yer verilmiştir.

Tablo 4.1. Örnek problemde yer alan iller.

No	İl Adı	No	İl Adı	No	İl Adı
1	Amasya	8	Kastamonu	15	Kırıkkale
2	Ankara	9	Kocaeli	16	Bartın
3	Bilecik	10	Sakarya	17	Yalova
4	Bolu	11	Sivas	18	Karabük
5	Bursa	12	Tokat	19	Düzce
6	Çankırı	13	Yozgat	20	Hedef Nokta
7	Çorum	14	Zonguldak		

Örnek problemde modele girilen indis değerleri; talep merkezleri $i, j = 1,2,3,...,20$, AKM’ler $k = 1,2,3,...,19$, alt turlar $l = 1,2,3$ ve hedef noktanın bulunduğu şehir olarak Kocaeli $h = 9$ şeklindedir. Bununla birlikte, hedef nokta modelde talep merkezleri kümesinin son elemanı olarak yer almakta olup indis numarası 20 dir.

Modelin parametreleri; düğümler arasındaki uzaklık C_{ij} Tablo 4.2’de yer alan iller arası mesafe matrisi verileri, düğüm sayısı $n = 20$, aday AKM sayısı $m = 19$ ve amaç fonksiyonunda öncelikli amaç için kullanılan ağırlık olan a ise 10 şeklindedir. Modelde, herhangi bir AKM ile o AKM’ye atanan talep merkezi arasındaki maksimum mesafe olan f parametresi 360, her bir alt turun maksimum toplam mesafesi olan d parametresi 720, AKM ile talep merkezleri arasında oluşturulabilecek maksimum alt tur sayısını gösteren r değeri ise 3 olarak belirlenmiştir. f , d ve r parametre değerlerinin belirlenmesine ilişkin açıklamalara bir sonraki bölümdeki “Uygulama Problemi Verileri” kısmında yer verilmiştir.

Tablo 4.2. Örnek problemde yer alan iller arası mesafe matrisi.

NO	İL ADI	AMASYA	ANKARA	BİLECİK	BOLU	BURSA	ÇANKIRI	ÇORUM	KASTAMONU	KOCAELİ	SAKARYA	SİVAS	TOKAT	YOZGAT	ZONGULDAK	KIRIKKALE	BARTIN	YALOVA	KARABÜK	DÜZCE	HEDEF NOKTA
1	AMASYA		333	622	409	683	248	92	254	560	523	220	114	200	468	258	437	625	368	454	560
2	ANKARA	333		316	191	385	130	241	236	342	305	439	379	215	266	75	283	407	215	236	342
3	BİLECİK	622	316		213	95	446	565	458	136	99	763	703	539	281	399	368	129	347	168	136
4	BOLU	409	191	213		274	233	352	245	151	114	629	523	409	157	269	174	216	134	45	151
5	BURSA	683	385	95	274		507	626	519	132	160	832	772	608	342	468	429	69	408	229	132
6	ÇANKIRI	248	130	446	233	507		156	106	384	347	440	334	244	293	104	282	449	193	278	384
7	ÇORUM	92	241	565	352	626	156		197	503	466	284	178	108	411	166	380	568	311	397	503
8	KASTAMONU	254	236	458	245	519	106	197		396	359	474	368	301	214	210	183	461	114	290	396
9	KOCAELİ	560	342	136	151	132	384	503	396		37	780	674	560	219	420	306	65	285	106	5
10	SAKARYA	523	305	99	114	160	347	466	359	37		743	637	523	182	383	269	102	248	69	37
11	SİVAS	220	439	763	629	832	440	284	474	780	743		108	224	688	364	657	845	588	674	780
12	TOKAT	114	379	703	523	772	334	178	368	674	637	108		205	582	304	551	739	482	568	674
13	YOZGAT	200	215	539	409	608	244	108	301	560	523	224	205		484	140	484	625	415	454	560
14	ZONGULDAK	468	266	281	157	342	293	411	214	219	182	688	582	484		344	87	284	100	113	219
15	KIRIKKALE	258	75	399	269	468	104	166	210	420	383	364	304	140	344		361	485	293	314	420
16	BARTIN	437	283	368	174	429	282	380	183	306	269	657	551	484	87	361		371	89	200	306
17	YALOVA	625	407	129	216	69	449	568	461	65	102	845	739	625	284	485	371		350	171	65
18	KARABÜK	368	215	347	134	408	193	311	114	285	248	588	482	415	100	293	89	350		179	285
19	DÜZCE	454	236	168	45	229	278	397	290	106	69	674	568	454	113	314	200	171	179		106
20	HEDEF NOKTA	560	342	136	151	132	384	503	396	5	37	780	674	560	219	420	306	65	285	106	

Şekil 4.2’de görüldüğü üzere, Çorum ve Kocaeli illeri AKM olarak belirlenmiş ve açılabilir alt tur sayısı en fazla $r = 3$ olarak belirlenmesine rağmen her iki AKM için ikişer alt tur açılmıştır. Şekilde mavi nokta ile işaretlenen iller (Bilecik, Bolu, Kastamonu ve Yozgat) ise turun başladığı ve son bulduğu talep merkezleridir.

Tablo 4.3’te modelin örnek problem üzerinde çalıştırılması sonucu elde edilen çözüm sonuçları verilmiştir. Tablo 4.3 ve bir sonraki bölümde ele alınan uygulama probleminin çözüm sonuçlarının yer aldığı tabloların ilk sütununda açılan AKM, ikinci sütununda AKM’ye atanan talep merkezleri, üçüncü sütunda açılan turlar, dördüncü sütunda açılan turların Değişken Kapalı Uçlu güzergâhları ve son sütunda ise açılan turun rotası kapsamında katedilen toplam mesafe verilmiştir.

Çözümde, AKM’ye talep merkezlerinin atanmasının maksimum mesafe $f = 360$ kısıtına uygun olarak gerçekleştirildiği, yine her AKM için alt tur rotalarının maksimum mesafe $d = 720$ değerini aşmadığı görülmektedir.

Tablo 4.3. Örnek problemin çözüm sonuçları.

Açılan AKM (Y_k)	AKM’ye Atamalar (Z_{ik})	Açılan Turlar (T_{kl})	DKU Rota Güzergâhı (X_{ijk}, W_{ijkl})	Mesafe (km)
7 (Çorum)	1, 2, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 15	Birinci Tur	8→6→2→15→7→8	674
		İkinci Tur	13→11→12→1→7→13	646
9 (Kocaeli)	3, 4, 5, 9, 10, 14, 16, 17, 18, 19	Birinci Tur	3→5→17→9→3	365
		İkinci Tur	4→18→16→14→19→10→9→4	680
Açılan Turlardaki Toplam Mesafe				2.365
AKM’ler-Hedef Nokta Arası Toplam Mesafe				1.016
Toplam Mesafe				3.381

Tablo 4.3’te gösterilen dört alt tura ilave olarak, toplanan cihazların her iki AKM’den hedef noktaya götürülüp geri dönüldüğü iki turun da ilave edilmesi ile toplam olarak 6 tur ortaya çıkmaktadır. Şekil 4.3’te cihazların her iki AKM’den hedef noktaya götürülüp

geri döndüğü iki tur gösterilmiştir. Dolayısıyla, bulunan çözüm doğrultusunda taşımalar toplam 6 araç kullanılarak gerçekleştirilecektir.



Şekil 4.3. Örnek problemin çözümü sonucu AKM'ler ile hedef nokta arasındaki turlar.

Çorum AKM'den hedef noktaya olan 503 km mesafenin gidişte ve dönüşte katedilmesi sonucu ortaya çıkan 1.006 km mesafe ile Kocaeli AKM'den hedef noktaya olan 5 km mesafenin gidişte ve dönüşte katedilmesi sonucu ortaya çıkan 10 km mesafenin toplanmasıyla 1.016 km yol katedilmiş olacaktır. Her iki AKM'nin alt turları bünyesinde gidilen toplam mesafe olan 2.365 km'ye AKM'ler ile hedef nokta arasında katedilen toplam mesafe olan 1.016 km'nin ilave edilmesi sonucu, ürünlerin hedef noktaya bırakılması kapsamındaki taşıma boyunca 3.381 km yol gidilmektedir. Ürünlerin, hedef noktadaki işlemlerinin tamamlanmasının ardından hedef noktadan alınıp AKM ve talep merkezlerine tekrar taşınması faaliyetinde de yine 3.381 km katedileceğinden, tüm taşıma faaliyeti sürecinde 6.762 km mesafe katedilmiş olacaktır.

BÖLÜM 5

KAMUDA YALIN TAŞIMA AĞI TASARIMI UYGULAMASI

Bu bölümde, bir kamu kurumundaki taşıma ağı problemi ele alınarak, öncelikle uygulama probleminin tanımı yapılmıştır. Yalın taşıma ağı tasarımı çerçevesinde, dördüncü bölümde önerilen matematiksel model kullanılarak problem çözülmüş ve çözüm sonucunda elde edilen yalın taşıma ağı ile mevcut taşıma ağının karşılaştırması yapılmıştır.

5.1. Uygulama Probleminin Tanımlanması

Ülkemizdeki bir Bakanlığın 81 ilde bulunan İl Müdürlüklerinde denetim faaliyetleri için kullanılan bir test cihazının (dizüstü bilgisayar ebatlarında) kalibrasyon ve yazılım güncellemesi sürecine dair taşıma problemi ele alınmıştır. 81 ilde bulunan test cihazlarının Kocaeli ilindeki Kalibrasyon Birimine taşınması, kalibrasyon ve yazılım güncellemesi işlemlerinin bitmesini müteakip cihazların tekrar İl Müdürlüklerine sevk edilmesi gerekmektedir.

Mevcut taşıma ağında, İl Müdürlükleri kendi test cihazlarının kalibrasyon işleminin yapılmasını isteyen talep merkezleridir. Bununla birlikte her bir il potansiyel AKM adayıdır. Bölge iller AKM'dir. Kocaeli ilinde bulunan Kalibrasyon Birimi hedef nokta olarak tanımlanmış olup AKM olamamaktadır.

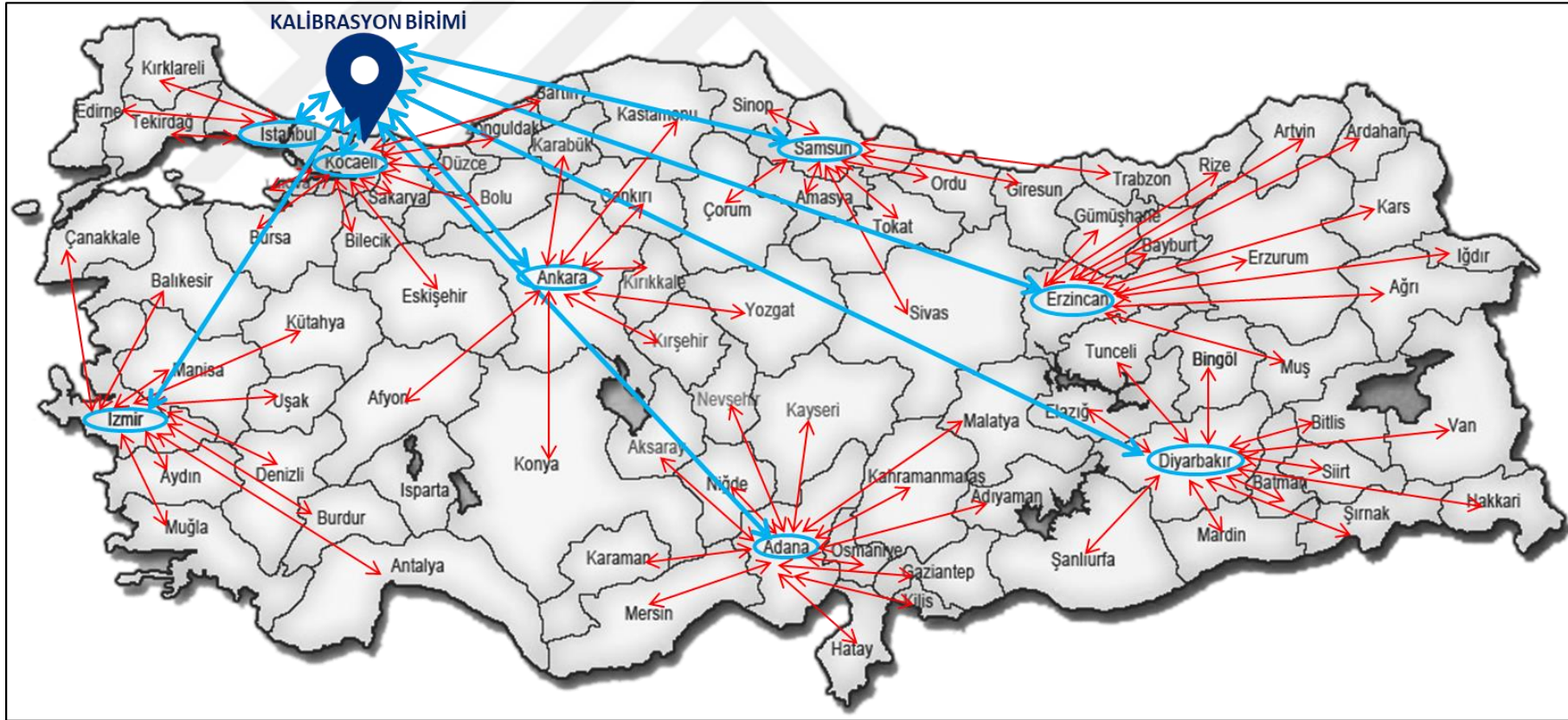
Mevcut uygulamada taşıma faaliyeti şu şekilde gerçekleşmektedir: Bakanlık tarafından yılda iki defa hazırlanan çizelge çerçevesinde, tüm İl Müdürlüklerinde bulunan test cihazları, İl Müdürlükleri tarafından kendilerinde kayıtlı bulunan minibüs araçlarla ilk olarak Bakanlığın belirlemiş olduğu 8 bölge ilde bulunan İl Müdürlüklerine taşınmaktadır.

Bölge iller (Adana, Ankara, Diyarbakır, Erzincan, İstanbul, İzmir, Kocaeli, Samsun) sırayla ve farklı tarihlerde, kendilerine bağlı tüm illerin cihazları ile birlikte kendi cihazlarını Kocaeli ilindeki Kalibrasyon Birimine götürmektedir.

Bir bölge ile ait cihazların Kalibrasyon Birimi tarafından yapılan yazılım ve kalibrasyon güncellemelerinin iki hafta süre zarfında gerçekleştirilmesinin ardından, bölge ilden gelen personel, cihazları Kalibrasyon Biriminden teslim alarak tekrar kendi iline dönmektedir. Cihazların sahipleri olan İl Müdürlükleri ise tekrar bağlı olduğu bölge ile giderek cihazları teslim alıp iline dönmektedir. 81 ilde gerçekleştirilen bu taşıma faaliyeti yılda iki defa tekrarlanmaktadır. Şekil 5.1’de mevcut taşıma ağının Türkiye haritası üzerindeki gösterimi yer almaktadır.

Taşıma faaliyetini bir örnek ile açıklamak gerekirse, örneğin Adana bölge iline, Adıyaman, Aksaray, Gaziantep, Hatay, Osmaniye, Kilis, Kahramanmaraş, Kayseri, Niğde, Nevşehir, Karaman, Mersin, Malatya illerinden cihazlar gelmektedir. Adana bölge iline cihazları bırakan araçlar tekrar kendi iline dönmektedir. Adana bölge ilinde toplanan cihazlar, bu bölge iline ait araçla Kalibrasyon Birimine bırakılmaktadır.

Kalibrasyon Birimine cihazları bırakan araç tekrar Adana’ya dönmektedir. Kalibrasyon ve yazılım güncellemesi tamamlanan cihazları almak üzere Adana’dan tekrar yola çıkan araç, cihazları teslim almasının ardından yine Adana’ya dönmektedir. Adana bölge iline gelen cihazlar, cihazların sahibi olan iller tarafından teslim alınmaktadır. Tüm bölge iller sırayla bu şekilde süreci tamamlamaktadır.



Şekil 5.1. Mevcut taşıma ağının Türkiye haritasında gösterimi.

5.2. Mevcut Ağda Taşıma Mesafeleri

Çalışma 81 ili kapsamakta olup, mevcut taşıma ağında katedilen toplam mesafeyi hesaplamak için Karayolları Genel Müdürlüğünün resmi web sayfasında belirtilen iller arası mesafeler esas alınmıştır. Mesafe matrisinde talep merkezlerinin bulunduğu şehir merkezleri arasındaki mesafeler kullanılmış olup, taşıma araçlarının şehir içi hareketlerinde katettikleri mesafeler hesaplamalara dâhil edilmemiştir. Her ilin cihazlarını taşıyan araçların aynı marka, model ve özelliklere sahip olduğu varsayılmıştır.

Aşağıda, taşıma faaliyeti boyunca talep merkezleri olan iller ve bağlı oldukları AKM arasında katedilen mesafeler tablolar halinde sıralanmış olup, sonrasında ise AKM'ler ile Kalibrasyon Birimi arasında katedilen mesafeler tablo halinde gösterilmiştir. Tablolarda, talep merkezleri ve bağlı oldukları AKM arasındaki mesafe 4 defa katedildiğinden dolayı her iki şehir arasındaki mesafe 4 ile çarpılmıştır. Aynı şekilde AKM'ler ile Kalibrasyon Birimi arasındaki mesafe de 4 defa katedildiğinden, her iki şehir arasındaki mesafe 4 ile çarpılmıştır.

Tablo 5.1. Mevcut ağda İzmir AKM ile bağlı şehirler arasındaki mesafeler.

AKM Adı	AKM'ye Bağlı Talep Merkezi Sayısı	AKM'ye Bağlı Talep Merkezi Adı	İki Şehir Arası Mesafe (km)	Tüm Taşıma Faaliyeti Boyunca Gidilen Toplam Mesafe (km)
İzmir	11	Manisa	35	35x4= 140
		Balıkesir	176	704
		Çanakkale	326	1.304
		Uşak	211	844
		Kütahya	333	1.332
		Antalya	444	1.776
		Aydın	126	504
		Muğla	225	900
		Denizli	233	932
		Burdur	374	1.496
		Isparta	382	1.528
		Toplam:	2.865	11.460

Tablo 5.1’de görüldüğü üzere cihazların kalibrasyona gönderilmesi için talep merkezlerinden İzmir AKM’ye ulaştırılması ve kalibrasyon işlemlerinin tamamlanmasının ardından AKM’den talep merkezlerine taşınması faaliyeti boyunca katedilen toplam mesafe 11.460 km’dir. Ayrıca taşıma faaliyeti, AKM’nin bulunduğu şehir olan İzmir hariç, bağlı talep merkezleri olan 11 ayrı ilden çıkan 11 araçla gerçekleştirilmektedir.

Tablo 5.2. Mevcut ağda Kocaeli AKM ile bağlı şehirler arasındaki mesafeler.

AKM Adı	AKM’ye Bağlı Talep Merkezi Sayısı	AKM’ye Bağlı Talep Merkezi Adı	İki Şehir Arası Mesafe (km)	Tüm Taşıma Faaliyeti Boyunca Gidilen Toplam Mesafe (km)
Kocaeli	9	Sakarya	37	37x4= 148
		Bilecik	136	544
		Bursa	132	528
		Düzce	106	424
		Zonguldak	220	880
		Bartın	309	1.236
		Yalova	65	260
		Bolu	151	604
		Eskişehir	213	852
		Toplam:	1.369	5.476

Tablo 5.2’de görüldüğü üzere cihazların kalibrasyona gönderilmesi için talep merkezlerinden Kocaeli AKM’ye ulaştırılması ve kalibrasyon işlemlerinin tamamlanmasının ardından AKM’den talep merkezlerine taşınması faaliyeti boyunca katedilen toplam mesafe 5.476 km’dir. Ayrıca taşıma faaliyeti, AKM’nin bulunduğu şehir olan Kocaeli hariç, bağlı talep merkezleri olan 9 ayrı ilden çıkan 9 araçla gerçekleştirilmektedir.

Tablo 5.3. Mevcut ağda İstanbul AKM ile bağlı şehirler arasındaki mesafeler.

AKM Adı	AKM'ye Bağlı Talep Merkezi Sayısı	AKM'ye Bağlı Talep Merkezi Adı	İki Şehir Arası Mesafe (km)	Tüm Taşıma Faaliyeti Boyunca Gidilen Toplam Mesafe (km)
İstanbul	3	Tekirdağ	132	132x4= 528
		Kırklareli	211	844
		Edirne	230	920
		Toplam:	573	2.292

Tablo 5.3'te görüldüğü üzere cihazların kalibrasyona gönderilmesi için talep merkezlerinden İstanbul AKM'ye ulaştırılması ve kalibrasyon işlemlerinin tamamlanmasının ardından AKM'den talep merkezlerine taşınması faaliyeti boyunca katedilen toplam mesafe 2.292 km'dir. Ayrıca taşıma faaliyeti, AKM'nin bulunduğu şehir olan İstanbul hariç, bağlı talep merkezleri olan 3 ayrı ilden çıkan 3 araçla gerçekleştirilmektedir.

Tablo 5.4. Mevcut ağda Adana AKM ile bağlı şehirler arasındaki mesafeler.

AKM Adı	AKM'ye Bağlı Talep Merkezi Sayısı	AKM'ye Bağlı Talep Merkezi Adı	İki Şehir Arası Mesafe (km)	Tüm Taşıma Faaliyeti Boyunca Gidilen Toplam Mesafe (km)
Adana	13	Aksaray	265	265x4= 1.060
		Hatay	191	764
		Osmaniye	87	348
		Kilis	248	992
		Gaziantep	212	848
		Kahramanmaraş	192	768
		Kayseri	333	1.332
		Niğde	205	820
		Nevşehir	287	1.148
		Karaman	289	1.156
		Mersin	69	276
		Malatya	392	1.568
		Adıyaman	336	1.344
		Toplam:	3.106	12.424

Tablo 5.4'te görüldüğü üzere cihazların kalibrasyona gönderilmesi için talep merkezlerinden Adana AKM'ye ulaştırılması ve kalibrasyon işlemlerinin tamamlanmasının ardından AKM'den talep merkezlerine taşınması faaliyeti boyunca katedilen toplam mesafe 12.424 km'dir. Ayrıca taşıma faaliyeti, AKM'nin bulunduğu şehir olan Adana hariç, bağlı talep merkezleri olan 13 ayrı ilden çıkan 13 araçla gerçekleştirilmektedir.

Tablo 5.5. Mevcut ağda Erzincan AKM ile bağlı şehirler arasındaki mesafeler.

AKM Adı	AKM'ye Bağlı Talep Merkezi Sayısı	AKM'ye Bağlı Talep Merkezi Adı	İki Şehir Arası Mesafe (km)	Tüm Taşıma Faaliyeti Boyunca Gidilen Toplam Mesafe (km)
Erzincan	10	Erzurum	190	190x4= 760
		Artvin	408	1.632
		Kars	390	1.560
		Ardahan	412	1.648
		Iğdır	481	1.924
		Ağrı	371	1.484
		Muş	382	1.528
		Bayburt	155	620
		Rize	309	1.236
		Gümüşhane	133	532
		Toplam:	3.231	12.924

Tablo 5.5'te görüldüğü üzere cihazların kalibrasyona gönderilmesi için talep merkezlerinden Erzincan AKM'ye ulaştırılması ve kalibrasyon işlemlerinin tamamlanmasının ardından AKM'den talep merkezlerine taşınması faaliyeti boyunca katedilen toplam mesafe 12.924 km'dir. Ayrıca taşıma faaliyeti, AKM'nin bulunduğu şehir olan Erzincan hariç, bağlı talep merkezleri olan 10 ayrı ilden çıkan 10 araçla gerçekleştirilmektedir.

Tablo 5.6. Mevcut ağda Ankara AKM ile bağlı şehirler arasındaki mesafeler.

AKM Adı	AKM'ye Bağlı Talep Merkezi Sayısı	AKM'ye Bağlı Talep Merkezi Adı	İki Şehir Arası Mesafe (km)	Tüm Taşıma Faaliyeti Boyunca Gidilen Toplam Mesafe (km)
Ankara	8	Konya	258	258x4= 1.032
		Kırıkkale	75	300
		Kırşehir	184	736
		Çankırı	131	524
		Kastamonu	243	972
		Karabük	215	860
		Yozgat	215	860
		Afyon.	256	1.024
		Toplam:	1.577	6.308

Tablo 5.6'da görüldüğü üzere cihazların kalibrasyona gönderilmesi için talep merkezlerinden Ankara AKM'ye ulaştırılması ve kalibrasyon işlemlerinin tamamlanmasının ardından AKM'den talep merkezlerine taşınması faaliyeti boyunca katedilen toplam mesafe 6.308 km'dir. Ayrıca taşıma faaliyeti, AKM'nin bulunduğu şehir olan Ankara hariç, bağlı talep merkezleri olan 8 ayrı ilden çıkan 8 araçla gerçekleştirilmektedir.

Tablo 5.7. Mevcut ağda Samsun AKM ile bağlı şehirler arasındaki mesafeler.

AKM Adı	AKM'ye Bağlı Talep Merkezi Sayısı	AKM'ye Bağlı Talep Merkezi Adı	İki Şehir Arası Mesafe (km)	Tüm Taşıma Faaliyeti Boyunca Gidilen Toplam Mesafe (km)
Samsun	8	Sinop	155	155x4= 620
		Çorum	172	688
		Tokat	230	920
		Sivas	338	1.352
		Ordu	151	604
		Giresun	195	780
		Trabzon	331	1.324
		Amasya	131	524
		Toplam:	1.703	6.812

Tablo 5.7’de görüldüğü üzere cihazların kalibrasyona gönderilmesi için talep merkezlerinden Samsun AKM’ye ulaştırılması ve kalibrasyon işlemlerinin tamamlanmasının ardından AKM’den talep merkezlerine taşınması faaliyeti boyunca katedilen toplam mesafe 6.812 km’dir. Ayrıca taşıma faaliyeti, AKM’nin bulunduğu şehir olan Samsun hariç, bağlı talep merkezleri olan 8 ayrı ilden çıkan 8 araçla gerçekleştirilmektedir.

Tablo 5.8. Mevcut ağda Diyarbakır AKM ile bağlı şehirler arasındaki mesafeler.

AKM Adı	AKM’ye Bağlı Talep Merkezi Sayısı	AKM’ye Bağlı Talep Merkezi Adı	İki Şehir Arası Mesafe (km)	Tüm Taşıma Faaliyeti Boyunca Gidilen Toplam Mesafe (km)
Diyarbakır	11	Bitlis	207	828
		Siirt	187	748
		Şırnak	282	1.128
		Hakkâri	471	1.884
		Batman	100	400
		Mardin	95	380
		Şanlıurfa	176	704
		Elazığ	153	612
		Tunceli	277	1.108
		Bingöl	144	576
		Van	370	1.480
		Toplam:	2.462	9.848

Tablo 5.8’de görüldüğü üzere cihazların kalibrasyona gönderilmesi için talep merkezlerinden Diyarbakır AKM’ye ulaştırılması ve kalibrasyon işlemlerinin tamamlanmasının ardından AKM’den talep merkezlerine taşınması faaliyeti boyunca katedilen toplam mesafe 9.848 km’dir. Ayrıca taşıma faaliyeti, AKM’nin bulunduğu şehir olan Diyarbakır hariç, bağlı talep merkezleri olan 11 ayrı ilden çıkan 11 araçla gerçekleştirilmektedir.

Bakanlık tarafından hazırlanan çizelge çerçevesinde her AKM’de toplanan cihazların AKM’lere ait araçlar tarafından Kocaeli şehrinde bulunan Kalibrasyon Birimine bırakılıp AKM’ye dönülmesi, cihazların kalibrasyon ve yazılım güncellemesi

işlemlerinin tamamlanmasının ardından Kalibrasyon Biriminden teslim alınarak AKM'ye gelmesi sebebiyle katedilen mesafeler Tablo 5.9'da gösterilmiştir.

Tablo 5.9. Mevcut ağda AKM'ler ile Kalibrasyon Birimi arasındaki mesafeler.

Kalibrasyon Biriminin Bulunduğu Şehir	AKM Sayısı	AKM Adı	İki Şehir Arası Mesafe (km)	Tüm Taşıma Faaliyeti Boyunca Gidilen Toplam Mesafe (km)
Kocaeli	8	İzmir	453	453x4= 1.812
		Kocaeli	5	20
		İstanbul	111	444
		Adana	828	3.312
		Erzincan	927	3.708
		Ankara	342	1.368
		Samsun	623	2.492
		Diyarbakır	1.248	4.992
		Toplam:	4.537	18.148

Tüm taşıma faaliyeti boyunca, 8 AKM ve bağlı talep merkezleri arasında gidilen toplam mesafe 67.544 km olup 73 araç ile gerçekleştirilmektedir. AKM'ler ile Kalibrasyon Birimi arasında gidilen toplam mesafe ise Tablo 5.9'da görüldüğü üzere 18.148 km olup 8 araç ile gerçekleştirilmektedir. Her iki toplam mesafenin de toplanmasıyla, tüm taşıma faaliyeti boyunca katedilen mesafenin 85.692 km, kullanılan araç sayısının ise 81 olduğu görülmektedir.

5.3. Uygulama Problemi İçin Yalın Taşıma Ağı Tasarımı

Mevcut taşıma ağında değer katmayan taşıma faaliyetlerinin olması ve taşımanın tüm illeri kapsamamasından dolayı coğrafi olarak geniş bir alanda yapılan bu faaliyetin yılda iki kez gerçekleştirilmesi nedenleriyle gereksiz taşıma mesafelerine ve maliyetlere katlanıldığı görülmektedir. Bunun neticesinde ortaya çıkan kaynak israfı ve verimsizlik düşünüldüğünde, yalın bir taşıma ağının tasarlanması, kamu kaynaklarının verimli ve etkin kullanılmasıyla israfların önüne geçilmesini sağlayacaktır.

İncelenen uygulama problemi için yalın taşıma ağını tasarlamak amacıyla, **tek atamalı kapasite kısıtsız AKM lokasyon ve mesafe kısıtlı araç rotalama problemi** birlikte ele alınarak bütünleşik bir optimizasyon probleminin çözümüne yönelik olarak dördüncü bölümde önerilen matematiksel model kullanılmıştır. Probleminin çözümü;

- AKM’lerin lokasyonlarının belirlenmesini (AKM sayısı önceden belirli değildir),
- Talep merkezlerinin AKM’lere atanmasını,
- AKM’lere atanan talep merkezleri arasındaki alt tur rotalarının belirlenmesini

İçermektedir.

5.4. Uygulama Problemi Verileri

Uygulama probleminde yer alan 81 ilin plaka kodu (Tablo 5.10), önerilen modelde o ilin indis numarası olarak belirlenmiş, hedef nokta olan Kalibrasyon Birimi 82 olarak numaralandırılmıştır. Problemde modele girilen indis değerleri; talep merkezleri $i, j = 1,2,3,...,82$, AKM’ler $k = 1,2,3,...,81$, alt turlar $l = 1,2,3$ ve hedef noktanın bulunduğu şehir olarak Kocaeli $h = 41$ şeklindedir.

Parametre değerleri; düğümler arasındaki uzaklık C_{ij} EK II’de yer alan iller arası mesafe matrisi verileri, düğüm sayısı $n = 82$, aday AKM sayısı $m = 81$ ve amaç fonksiyonunda öncelikli amaç için kullanılan ağırlık olan a ise 10 şeklindedir.

Modelde f parametresi ile gösterilen ve bir AKM ile o AKM’ye atanacak talep merkezi arasındaki maksimum mesafe değeri 360 km olarak belirlenmiştir. f değerinin belirlenmesinde, Karayolları Trafik Yönetmeliğinin “Araç Kullanma ve Dinlenme Sürelerine Uyuma Mecburiyeti ve Denetleme Esasları” maddesinde yer alan

“Ticari amaçla yük taşımacılığı yapan ve azami ağırlığı 3,5 tonu geçen araçların şoförleri ile ticari amaçla yolcu taşımacılığı yapan ve taşıma kapasitesi, şoförü dâhil 9 kişiyi geçen araçların şoförlerinin 24 saatlik herhangi bir süre içinde; toplam olarak 9 saatten ve devamlı olarak 4,5 saatten fazla araç sürmeleri yasaktır.”

hükmü göz önünde bulundurularak, taşıma araçları olan minibüslerin 80 km hız ile 4,5 saat devamlı seyahat halinde katedecekleri mesafe 360 km olarak belirlenmiştir. Modelde d parametresi ile gösterilen ve AKM'lere atanan talep merkezlerine ait her bir alt turun maksimum toplam mesafe değeri ise 720 km olarak belirlenmiştir. Bir şoförün 24 saatte toplam 9 saat süre ve 80 km ortalama hızla katedeceği mesafe 720 km'dir. Ayrıca, f ve d parametrelerine ait değerler göz önünde bulundurularak, r parametresi ile gösterilen ve AKM'lere atanan talep merkezlerine ait açılacak maksimum alt tur sayısı 3 olarak modele girilmiştir.

Tablo 5.10. İllerin plaka kodları.

İl Adı	Plaka Kodu	İl Adı	Plaka Kodu	İl Adı	Plaka Kodu
Adana	1	Gümüşhane	29	Sinop	57
Adıyaman	2	Hakkâri	30	Sivas	58
Afyon	3	Hatay	31	Tekirdağ	59
Ağrı	4	Isparta	32	Tokat	60
Amasya	5	Mersin	33	Trabzon	61
Ankara	6	İstanbul	34	Tunceli	62
Antalya	7	İzmir	35	Şanlıurfa	63
Artvin	8	Kars	36	Uşak	64
Aydın	9	Kastamonu	37	Van	65
Balıkesir	10	Kayseri	38	Yozgat	66
Bilecik	11	Kırklareli	39	Zonguldak	67
Bingöl	12	Kırşehir	40	Aksaray	68
Bitlis	13	Kocaeli	41	Bayburt	69
Bolu	14	Konya	42	Karaman	70
Burdur	15	Kütahya	43	Kırıkkale	71
Bursa	16	Malatya	44	Batman	72
Çanakkale	17	Manisa	45	Şırnak	73
Çankırı	18	Kahramanmaraş	46	Bartın	74
Çorum	19	Mardin	47	Ardahan	75
Denizli	20	Muğla	48	Iğdır	76
Diyarbakır	21	Muş	49	Yalova	77
Edirne	22	Nevşehir	50	Karabük	78
Elazığ	23	Niğde	51	Kilis	79
Erzincan	24	Ordu	52	Osmaniye	80
Erzurum	25	Rize	53	Düzce	81
Eskişehir	26	Sakarya	54	Kalib. Birimi	82
Gaziantep	27	Samsun	55		
Giresun	28	Siirt	56		

5.5. Uygulama Problemi Çözüm Sonuçları

Matematiksel model, EK-II'de yer alan iller arası mesafe matrisindeki veri seti kullanılarak AIMMS 4.64 optimizasyon yazılımı ile Intel i7 (2.70 GHz) ve 8 GB RAM'e sahip bir bilgisayar üzerinde çözülmüştür. Programın çalışma süresi 86.400 saniye (24 saat) ile sınırlandırılmıştır.

Modelde kullanılan amaç fonksiyonu;

$$\text{Min } Z_1 = a \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m C_{ij} \cdot X_{ijk} + \sum_{k=1}^m S_k + \sum_{k=1}^m Y_k \quad (a = 10)$$

şeklinde. 86.400 saniyelik süre sonunda bulunan en iyi çözümde toplam mesafe 25.521 km, toplam araç sayısı ise 32 olarak elde edilmiştir.

Model, ayrıca aşağıda verilen çeşitli amaç fonksiyonları için de 86.400 saniye boyunca çalıştırılmış ve elde edilen çözüm sonuçları Tablo 5.11'de sunulmuştur. Z_2 amaç fonksiyonunda sadece katedilen toplam mesafe minimize edilmiştir. a parametresinin etkisini incelemek amacıyla Z_3 amaç fonksiyonunda $a = 1$ olarak alınmıştır. Son olarak, Z_4 amaç fonksiyonunda ise kullanılan araç sayısı öncelikli amaç haline getirilmiştir.

$$\text{Min } Z_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m C_{ij} \cdot X_{ijk}$$

$$\text{Min } Z_3 = a \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m C_{ij} \cdot X_{ijk} + \sum_{k=1}^m S_k + \sum_{k=1}^m Y_k \quad (a = 1)$$

$$\text{Min } Z_4 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m C_{ij} \cdot X_{ijk} + a \cdot \left(\sum_{k=1}^m S_k + \sum_{k=1}^m Y_k \right)$$

(Araç sayısı öncelikli, $a = 10.000$)

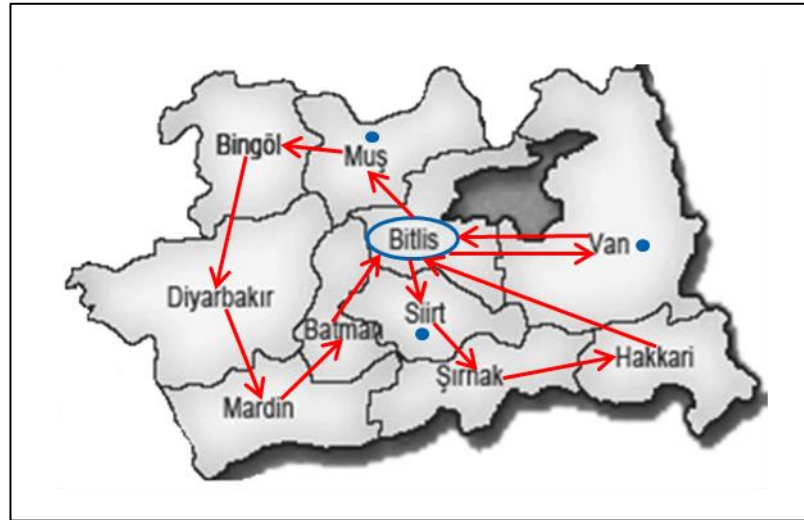
Tablo 5.11. Çeşitli amaç fonksiyonları için uygulama problemi çözüm sonuçları.

	<i>Min Z₁</i>	<i>Min Z₂</i>	<i>Min Z₃</i>	<i>Min Z₄</i>
Amaç Fonksiyonu Değeri	255.242	29.051	29.557	368.080
En İyi DP Sınırı	206.929	20.710	20.712	243.304
Fark (%)	18,93	28,71	29,92	33,90
AKM Sayısı	9	12	14	12
Alt Tur Sayısı	23	26	24	22
Toplam Araç Sayısı	32	38	38	34
Toplam mesafe (km)	25.521	29.051	29.519	28.080
Kısıt Sayısı	1.602.265			
Değişken Sayısı	2.106.732			
Tamsayılı Değişken Sayısı	2.106.567			

Uygulama probleminin Z_1 amaç fonksiyonu ile çözümü sonucunda katedilen toplam mesafe 25.521 km olarak bulunmuştur. Cihazların, kalibrasyon işlemlerinin tamamlanmasının ardından Kalibrasyon Biriminden alınıp AKM ve talep merkezlerine taşınması faaliyetinde de yine 25.521 km katedileceğinden dolayı, tüm taşıma faaliyeti sürecinde 51.042 km mesafe katedilecektir.

Çözüm sonucunda açılan AKM'ler; Bitlis, Çorum, Erzurum, Gaziantep, İstanbul, Kocaeli, Nevşehir, Ordu ve Uşak olmak üzere 9 adettir. AKM isimlerinin harf sırası gözetilerek, çözüm sonucuna göre belirlenen AKM'lere atanan şehirler ve alt tur rotaları haritalar (Şekil 5.2-5.10) üzerinde, elde edilen sayısal sonuçlar ise tablolar (Tablo 5.12-5.20) üzerinde gösterilmiştir.

Şekil 5.2'de görüleceği üzere Bitlis AKM'ye bağlı üç tur açılmış, birinci tur Siirt ilinde başlayıp yine bu ilde bitmiştir. İkinci tur, Van ilinde başlayıp bitmiştir. Üçüncü tur ise Muş ilinde başlayıp sona ermiştir. Dolayısıyla, farklı talep merkezlerinde başlayan güzergâhın dolaşılmasıyla yine aynı ilde rotanın tamamlanması sonucunda Değişken Kapalı Uçlu rotalar oluşmuştur.



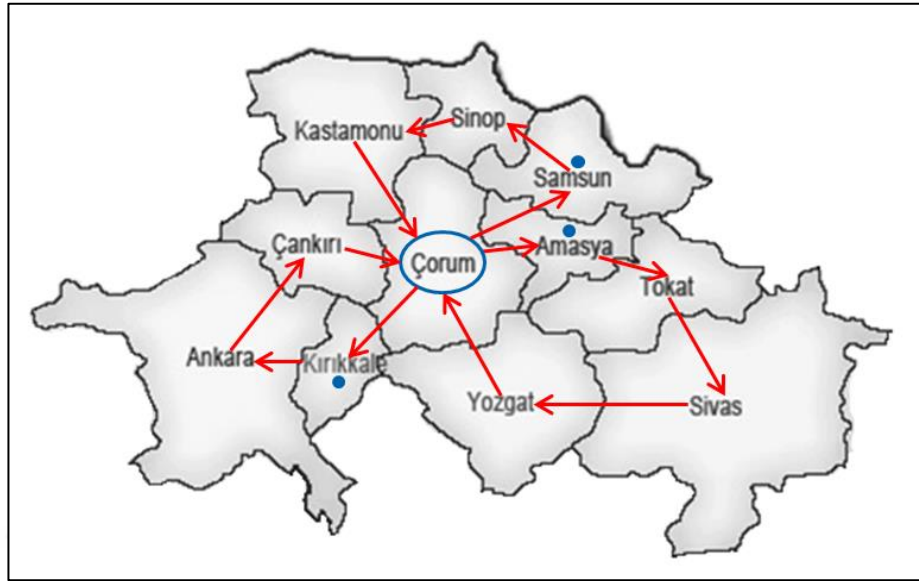
Şekil 5.2. Bitlis AKM'ye atanan şehirler ve alt tur rotaları.

Tablo 5.12’de uygulama probleminin çözümünde Bitlis AKM'ye ait sonuçlar görülmektedir.

Tablo 5.12. Bitlis AKM ile ilgili çözüm sonuçları.

Açılan AKM (Y_k)	AKM'ye Atamalar (Z_{ik})	Açılan Turlar (T_{kl})	DKU Rota Güzergâhı (X_{ijk}, W_{ijkl})	Mesafe (km)
13 (Bitlis)	12, 21, 30, 47, 49, 56, 65, 72, 73	Birinci Tur	56→73→30→13→56	716
		İkinci Tur	65→13→65	326
		Üçüncü Tur	49→12→21→47→72→ 13→49	716
Toplam Mesafe				1.758

Şekil 5.3’te görüleceği üzere Çorum AKM’ye bağlı üç tur açılmış, birinci tur Kırıkkale ilinde başlayıp bitmiş, ikinci tur Amasya ilinde başlayıp sona ermiş, üçüncü turun ise Samsun ilinde başlayıp bitmesiyle Değişken Kapalı Uçlu rotalar oluşmuştur.



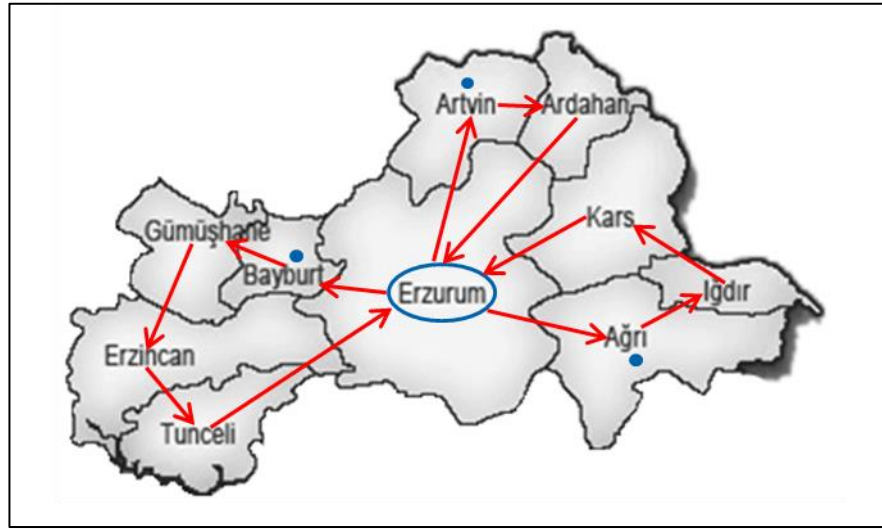
Şekil 5.3. Çorum AKM'ye atanan şehirler ve alt tur rotaları.

Tablo 5.13'te uygulama probleminin çözümünde Çorum AKM'ye ait sonuçlar görülmektedir.

Tablo 5.13. Çorum AKM ile ilgili çözüm sonuçları.

Açılan AKM (Y_k)	AKM'ye Atamalar (Z_{ik})	Turlar (T_{kl})	DKU Rota Güzergâhı (X_{ijk}, W_{ijkl})	Mesafe (km)
19 (Çorum)	5, 6, 18, 37, 55, 57, 58, 60, 66, 71	Birinci Tur	71→6→18→19→71	527
		İkinci Tur	5→60→58→66→19→5	646
		Üçüncü Tur	55→57→37→ 19→55	707
Toplam Mesafe				1.880

Şekil 5.4'te görüleceği üzere Erzurum AKM'ye bağlı üç tur açılmıştır. Değişken Kapalı Uçlu rotalar ise; birinci turun Ağrı ilinde başlayıp tamamlanmasıyla, ikinci turun Bayburt ilinde başlayıp bitmesiyle, üçüncü turun ise Artvin ilinde başlayıp sona ermesiyle oluşmuştur.



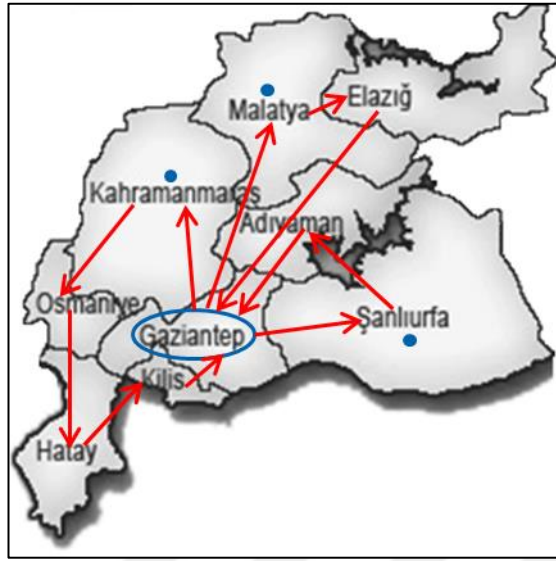
Şekil 5.4. Erzurum AKM'ye atanan şehirler ve alt tur rotaları.

Tablo 5.14'te uygulama probleminin çözümünde Erzurum AKM'ye ait sonuçlar görülmektedir.

Tablo 5.14. Erzurum AKM ile ilgili çözüm sonuçları.

Açılan AKM (Y_k)	AKM'ye Atamalar (Z_{ik})	Turlar (T_{kl})	DKU Rota Güzergâhı (X_{ijk}, W_{ijkl})	Mesafe (km)
25 (Erzurum)	4, 8, 24, 29, 36, 62, 69, 75, 76	Birinci Tur	4→76→36→25→4	672
		İkinci Tur	69→29→24→62→25→69	710
		Üçüncü Tur	8→75→ 25→8	575
Toplam Mesafe				1.957

Şekil 5.5'te görüleceği üzere Gaziantep AKM'ye bağlı üç tur açılmıştır. Değişken Kapalı Uçlu rotalar ise; birinci turun Kahramanmaraş, ikinci turun Şanlıurfa, üçüncü turun ise Malatya ilinde başlayıp sona ermesiyle oluşmuştur.



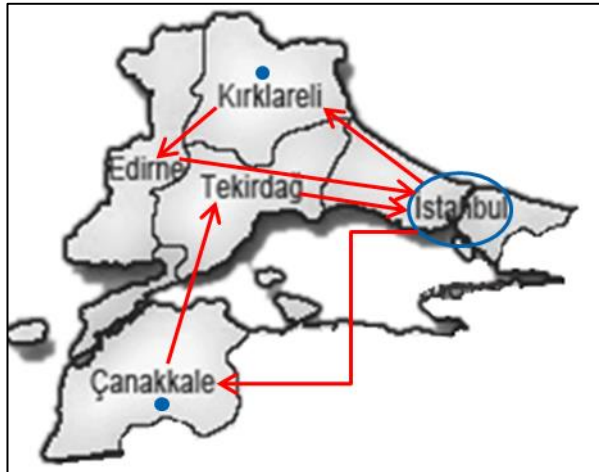
Şekil 5.5. Gaziantep AKM'ye atanan şehirler ve alt tur rotaları.

Tablo 5.15'te uygulama probleminin çözümünde Gaziantep AKM'ye ait sonuçlar görülmektedir.

Tablo 5.15. Gaziantep AKM ile ilgili çözüm sonuçları.

Açılan AKM (Y_k)	AKM'ye Atamalar (Z_{ik})	Turlar (T_{kl})	DKU Rota Güzergâhı (X_{ijk}, W_{ijkl})	Mesafe (km)
27 (Gaziantep)	2, 23, 31, 44, 46, 63, 79, 80	Birinci Tur	46→80→31→79→27→46	519
		İkinci Tur	63→2→27→63	399
		Üçüncü Tur	44→23→ 27→44	684
Toplam Mesafe				1.602

Şekil 5.6'da görüleceği üzere İstanbul AKM'ye bağlı iki tur açılmıştır. Değişken Kapalı Uçlu rotalar ise; birinci turun Kırklareli, ikinci turun Çanakkale ilinde başlayıp sona ermesiyle oluşmuştur.



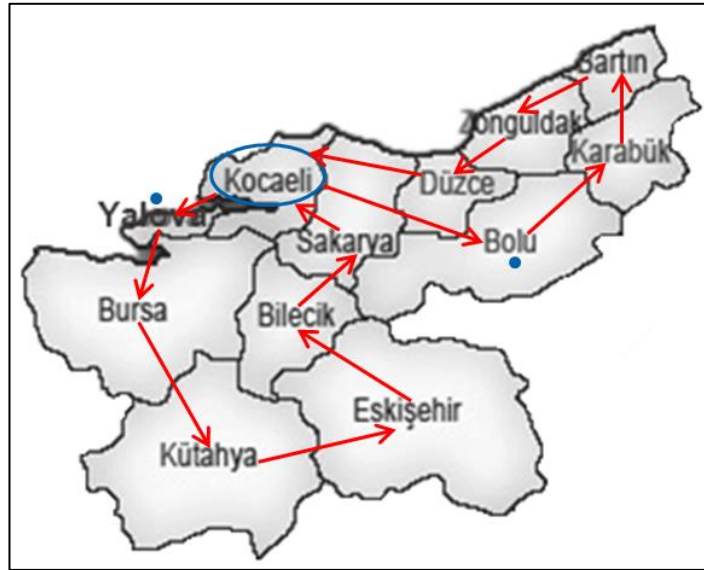
Şekil 5.6. İstanbul AKM'ye atanan şehirler ve alt tur rotaları.

Tablo 5.16'da uygulama probleminin çözümünde İstanbul AKM'ye ait sonuçlar görülmektedir.

Tablo 5.16. İstanbul AKM ile ilgili çözüm sonuçları.

Açılan AKM (Y_k)	AKM'ye Atamalar (Z_{ik})	Turlar (T_{kl})	DKU Rota Güzergâhı (X_{ijk}, W_{ijkl})	Mesafe (km)
34 (İstanbul)	17, 22, 39, 59	Birinci Tur	39→22→ 34 →39	503
		İkinci Tur	17→59→ 34 →17	636
Toplam Mesafe				1.139

Şekil 5.7'de görüleceği üzere Kocaeli AKM'ye bağlı iki tur açılmıştır. Değişken Kapalı Uçlu rotalar ise; birinci turun Yalova, ikinci turun Bolu ilinde başlayıp sona ermesiyle ortaya çıkmıştır.



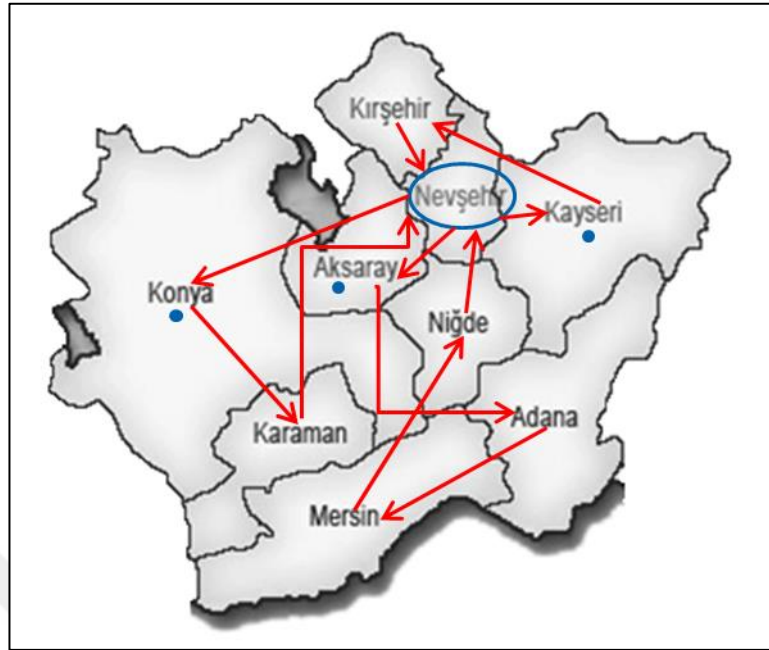
Şekil 5.7. Kocaeli AKM'ye atanan şehirler ve alt tur rotaları.

Tablo 5.17’de uygulama probleminin çözümünde Kocaeli AKM'ye ait sonuçlar görülmektedir.

Tablo 5.17. Kocaeli AKM ile ilgili çözüm sonuçları.

Açılan AKM (Y_k)	AKM'ye Atamalar (Z_{ik})	Turlar (T_{kl})	DKU Rota Güzergâhı (X_{ijk}, W_{ijkl})	Mesafe (km)
41 (Kocaeli)	11, 14, 16, 26, 43, 54, 67, 74, 77, 78, 81	Birinci Tur	77→16→43→26→11→54→41→77	608
		İkinci Tur	14→78→74→67→81→41→14	680
Toplam Mesafe				1.288

Şekil 5.8’de görüleceği üzere Nevşehir AKM’ye bağlı üç tur açılmıştır. Değişken Kapalı Uçlu rotalar ise; birinci turun Aksaray, ikinci turun Kayseri, üçüncü turun ise Konya ilinde başlayıp sona ermesiyle oluşmuştur.



Şekil 5.8. Nevşehir AKM'ye atanan şehirler ve alt tur rotaları.

Tablo 5.18'de uygulama probleminin çözümünde Nevşehir AKM'ye ait sonuçlar görülmektedir.

Tablo 5.18. Nevşehir AKM ile ilgili çözüm sonuçları.

Açılan AKM (Y_k)	AKM'ye Atamalar (Z_{ik})	Turlar (T_{kl})	DKU Rota Güzergâhı (X_{ijk}, W_{ijkl})	Mesafe (km)
50 (Nevşehir)	1, 33, 38, 40, 42, 51, 68, 70	Birinci Tur	68→1→33→51→ 50 →68	693
		İkinci Tur	38→40→ 50 →38	306
		Üçüncü Tur	42→70→ 50 →42	600
Toplam Mesafe				1.599

Şekil 5.9'da görüleceği üzere Ordu AKM'ye bağlı bir tur açılmış ve Giresun ilinde başlayıp sona ermiştir.



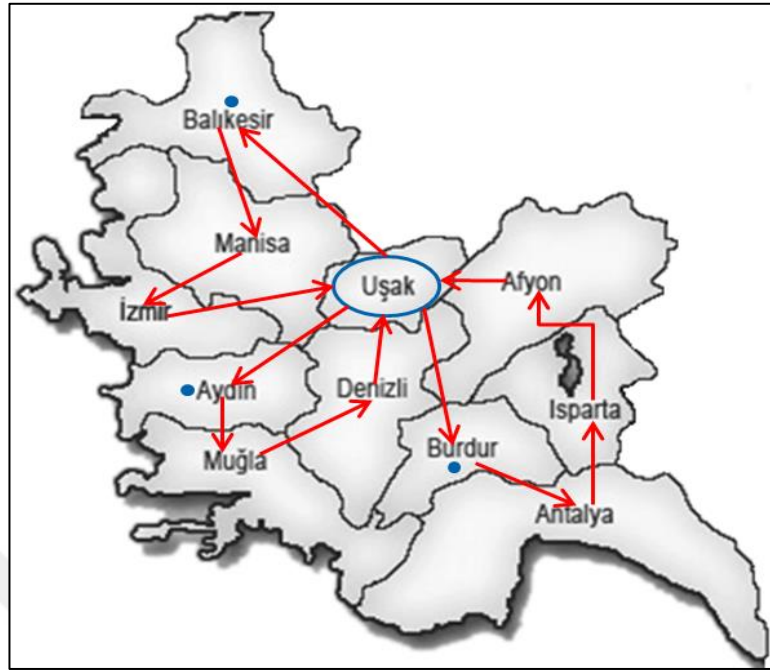
Şekil 5.9. Ordu AKM'ye atanan şehirler ve alt tur rotaları.

Tablo 5.19’da uygulama probleminin çözümünde Ordu AKM'ye ait sonuçlar görülmektedir.

Tablo 5.19. Ordu AKM ile ilgili çözüm sonuçları.

Açılan AKM (Y_k)	AKM'ye Atamalar (Z_{ik})	Turlar (T_{kl})	DKU Rota Güzergâhı (X_{ijk}, W_{ijkl})	Mesafe (km)
52 (Ordu)	28, 52, 53, 61	Birinci Tur	28→61→53→52→28	510
Toplam Mesafe				510

Şekil 5.10’da görüleceği üzere Uşak AKM’ye bağlı üç tur açılmıştır. Değişken Kapalı Uçlu rotalar ise; birinci turun Burdur, ikinci turun Aydın, üçüncü turun ise Balıkesir ilinde başlayıp sona ermesiyle oluşmuştur.



Şekil 5.10. Uşak AKM'ye atanan şehirler ve alt tur rotaları.

Tablo 5.20'de uygulama probleminin çözümünde Uşak AKM'ye ait sonuçlar görülmektedir.

Tablo 5.20. Uşak AKM ile ilgili çözüm sonuçları.

Açılan AKM (Y_k)	AKM'ye Atamalar (Z_{ik})	Turlar (T_{kl})	DKU Rota Güzergâhı (X_{ijk}, W_{ijkl})	Mesafe (km)
64 (Uşak)	3, 7, 9, 10, 15, 20, 32, 35, 45, 48	Birinci Tur	15→7→32→3→ 64 →15	707
		İkinci Tur	9→48→20→ 64 →9	667
		Üçüncü Tur	10→45→ 35→ 64 →10	610
Toplam Mesafe				1.984

Taşıma sürecinin birinci aşamasında; cihazların, Değişken Kapalı Uçlu Araç Rotalama ile talep merkezlerinden bağlı olunan AKM'ye aktarılmasının ardından, AKM'nin aracı ile cihazlar Kalibrasyon Birimine bırakılmaktadır. Araç cihazları bıraktıktan sonra

tekrar AKM'ye dönmektedir. Sürecin ikinci aşamasında; kalibrasyon ve yazılım güncelleme işlemlerinin tamamlanmasının ardından AKM aracı cihazları almak için Kalibrasyon Birimine gidip tekrar AKM'ye dönmektedir. Kalibrasyon Birimine gidip gelme faaliyeti, AKM'lerin ayrı bir alt turunda gerçekleşen bir faaliyet olarak değerlendirilmektedir. AKM'ler, Kalibrasyon Birimine cihaz bırakma ve alma faaliyetini, planlanan çizelge kapsamında sırayla gerçekleştirmektedirler.

Tablo 5.21'de, uygulama probleminin çözümünde AKM'ler ile Kalibrasyon Birimi arasında gerçekleşen alt turlara dair mesafeler verilmiştir.

Tablo 5.21. Çözüm sonucu AKM'ler ile Kalibrasyon Birimi arası mesafeler.

Kalibrasyon Biriminin Bulunduğu Şehir	AKM Sayısı	AKM Adı	İki Şehir Arası Mesafe (km)	Tüm Taşıma Faaliyeti Boyunca Gidilen Toplam Mesafe (km)
Kocaeli	9	Bitlis	1.391	1.391x4= 5.564
		Çorum	503	2.012
		Erzurum	1.116	4.464
		Gaziantep	1.000	4.000
		İstanbul	111	444
		Kocaeli	5	20
		Nevşehir	620	2.480
		Ordu	774	3.096
		Uşak	382	1.528
		Toplam km	5.902	23.608

Modelin çözümü sonucunda tüm taşıma faaliyeti boyunca, iller ve AKM'ler arasındaki alt turlarda gidilen toplam mesafe 27.434 km (13.717×2) olup 23 araç ile gerçekleştirilmektedir. AKM'ler ile Kalibrasyon Birimi arasında gidilen toplam mesafe ise Tablo 5.21'de görüldüğü gibi 23.608 km (11.804×2) olup 9 araç ile gerçekleştirilmektedir. Her iki mesafenin toplanmasıyla, tüm taşıma faaliyeti boyunca katedilen mesafenin 51.042 km (25.521×2), kullanılan araç sayısının ise 32 olduğu görülmektedir.

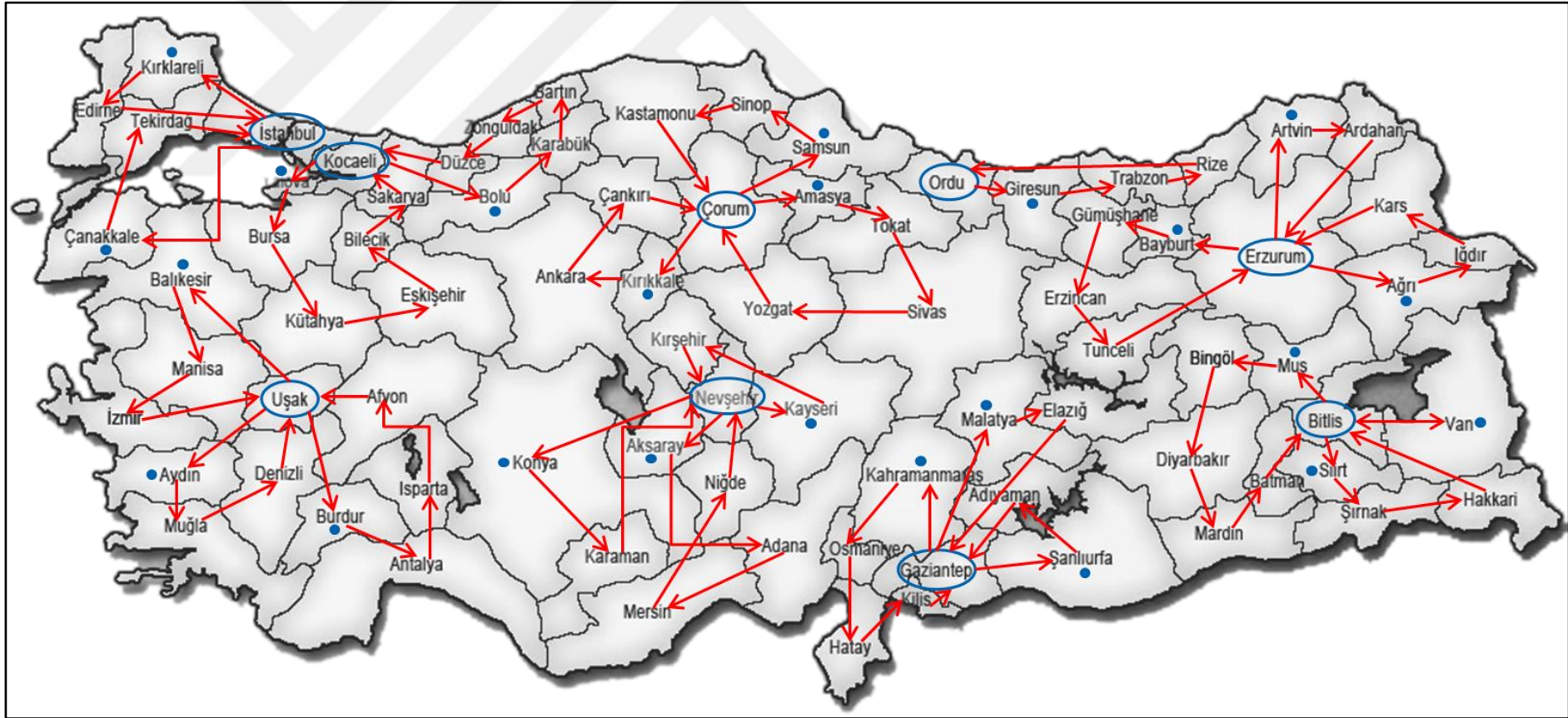
5.6. Mevcut ve Yalın Taşıma Ağının Karşılaştırılması

Test cihazının kalibrasyon ve yazılım güncelleme işlemleri için mevcut taşıma ağında katedilen toplam mesafe 85.692 km olup, kullanılan araç sayısı ise 81 adettir. Cihazların hedef nokta olan Kalibrasyon Birimine taşınması 8 AKM (Adana, Ankara, Diyarbakır, Edirne, İstanbul, İzmir, Kocaeli, Samsun) üzerinden yapılmaktadır.

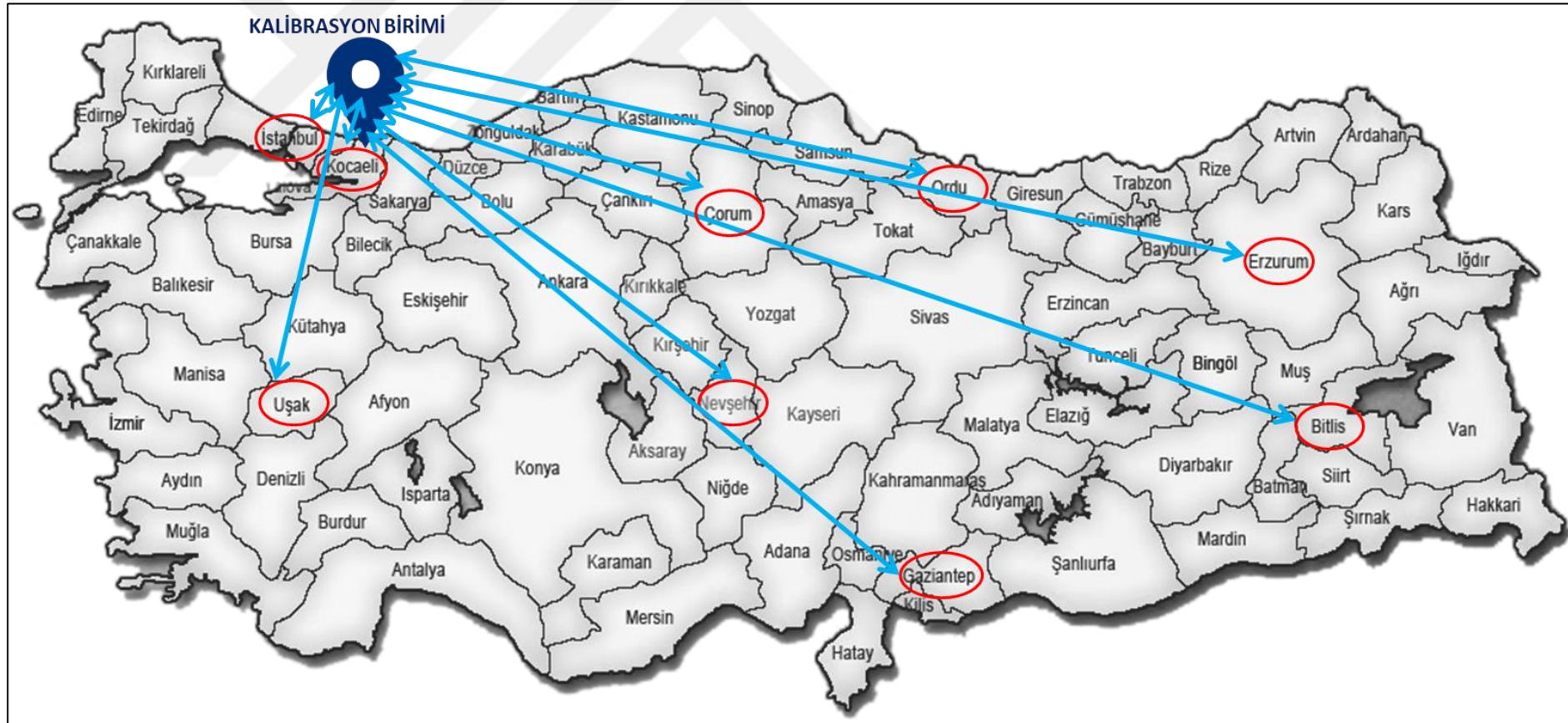
Taşıma faaliyetinin daha az araç ve daha az mesafe ile gerçekleştirilmesini sağlayacak yalın bir taşıma ağının oluşturulabilmesi amacıyla önerilen matematiksel modelin çözümü neticesinde, amaca uygun AKM yerleri tespit edilmiş, bu AKM'lere talep merkezlerinin ataması yapılmış ve atanan bu talep merkezleri arasında alt turlar oluşturularak Değişken Kapalı Uçlu Rota güzergâhları (Şekil 5.11) belirlenmiştir.

Çözüm sonucunda; Bitlis, Çorum, Erzurum, Gaziantep, İstanbul, Kocaeli, Nevşehir, Ordu ve Uşak olmak üzere 9 AKM açılmıştır.

Şekil 5.11'de çözüm sonucu ortaya çıkan AKM'lerin alt tur rotalarının ve Şekil 5.12'de AKM'ler ile Kalibrasyon Birimi arasındaki turların Türkiye haritasında genel görünümü verilmiştir.



Şekil 5.11. Uygulama problemi çözüm sonucu: AKM alt tur rotalarının Türkiye haritasında genel görünümü.



Şekil 5.12. Uygulama problemi çözüm sonucu: AKM'ler ile Kalibrasyon Birimi arasındaki turlar.

Matematiksel modelin çözümü sonucunda elde edilen yalın taşıma ağı ile tüm taşıma faaliyeti 51.042 km mesafe ve 32 araç ile gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla, katedilen mesafede mevcut duruma göre %40,4 oranında, kullanılan araç sayısında ise %60,4 oranında iyileşme sağlanmıştır.

Mevcut duruma göre AKM sayısı 8'den 9'a yükselmiştir. Ancak, uygulama probleminde AKM'ler İl Müdürlükleri olduğu için AKM sayısının artması maliyeti arttıran bir unsur değildir.

Tablo 5.22'de mevcut taşıma ağı ile oluşturulan yalın taşıma ağı arasındaki kıyaslamalar görülmektedir.

Tablo 5.22. Mevcut taşıma ağı ile yalın taşıma ağının kıyaslanması.

	Mevcut Taşıma Ağı	Yalın Taşıma Ağı	İyileşme Oranı (%)
Toplam Gidilen Mesafe (km)	85.692	51.042	% 40,4 ↓
AKM Alt Turlarının Toplam Mesafesi	67.544	27.434	% 59,3 ↓
AKM – Kalibrasyon Birimi Turlarının Toplam Mesafesi	18.148	23.608	% 30 ↑
Kullanılan Araç Sayısı	81	32	% 60,4 ↓
AKM Sayısı	8	9	% 12,5 ↑

SONUÇ

Bütünleşik tesis lokasyon ve araç rotalama probleminin incelendiği bu tez çalışmasında, Türkiye’de bulunan bir kamu kurumunun 81 İl Müdürlüğünce kullanılan test cihazının kalibrasyon ve yazılım güncelleme işlemleri için gerçekleştirilen taşıma problemi ele alınmıştır. Mevcut taşıma ağında değer katmayan taşıma hareketlerinin bulunması ve taşımanın tüm illeri kapsamından dolayı coğrafi olarak geniş bir alanda yapılan bu faaliyetin yılda iki kez gerçekleştirilmesi nedenleriyle gereksiz taşıma mesafelerine ve maliyetlere katlanıldığı görülmektedir. Yalın taşıma ağı tasarımıyla değer katmayan taşıma hareketlerinin ortadan kaldırılması ve maliyetlerin azaltılması hedeflenmiştir.

Çalışmaya ilk olarak, ele alınan optimizasyon problemi ile ilgili temel kavramların ve problem türlerinin tanımlanmasıyla başlanmıştır. Ardından bütünleşik tesis lokasyon ve araç rotalama problemine dair literatürdeki çalışmalar özetlenmiş ve sonrasında incelenen problemin çözümüne yönelik bir matematiksel model önerisinde bulunulmuştur.

Daha sonra, ele alınan taşıma ağının mevcut durumu incelenerek uygulama problemi tanımlanmıştır. Mevcut taşıma ağı incelendiğinde, önceden belirlenen AKM’lere, görece mesafe yakınlığı gözetilerek talep merkezlerinin atandığı görülmektedir. Her talep merkezine ait cihazların, bağlı olduğu AKM’ye doğrudan taşındığı mevcut taşıma ağında toplamda 81 araç ile katedilen mesafe 85.692 km’dir.

Uygulamadaki kısıtlar ve varsayımlar dikkate alınarak yalın bir taşıma ağının tasarlanmasında, toplam mesafe ve kullanılan araç sayısını minimize etmek amacıyla tesis lokasyon problemi çerçevesinde AKM’ler belirlenerek, talep merkezleri tek atamalı olarak bu AKM’lere atanmıştır. AKM ile talep merkezi arasındaki maksimum mesafe ve oluşacak alt turlardaki maksimum mesafe kısıtı göz önünde bulundurulduğu için rotalar mesafe kısıtlı ARP çerçevesinde belirlenmiştir. Problemde, AKM açmanın sabit maliyeti yoktur. Açılacak AKM sayısında sınır olmamakla birlikte AKM kapasitesi ve turlarda kullanılacak araç kapasitesinde de bir kısıt söz konusu değildir. Her iki problemin birlikte eş zamanlı olarak çözülmesi nedeniyle tez çalışmasında ele

alınan uygulama problemi “bütünleşik tek atamalı kapasite kısıtsız AKM lokasyon ve mesafe kısıtlı araç rotalama problemi” olarak adlandırılabilir.

Problemin çözümü için tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiş ve AIMMS optimizasyon yazılımı ile çözülmüştür. Çözüm sonucunda; mevcut duruma göre katedilen toplam mesafede %40,4 oranında, AKM alt turlarının toplam mesafesinde %59,3 oranında ve kullanılan araç sayısında %60,4 oranında iyileştirme sağlanarak daha yalın bir taşıma ağı elde edilmiştir.

Yalın taşıma ağının oluşturulmasının yanında, problemin çözümünde ortaya çıkan rotalamanın değişken kapalı uçlu olmasından yola çıkılarak, literatürde ARP çeşitlerinden olan Kapalı Uçlu ARP, yapılan yeni bir sınıflandırma çerçevesinde, Değişken Kapalı Uçlu ve Sabit Kapalı Uçlu olmak üzere ikiye ayrılmıştır.

Ayrıca, gerçek bir uygulama alanındaki bu çalışmada bütünleşik tek atamalı kapasite kısıtsız AKM lokasyon ve mesafe kısıtlı araç rotalama problemine dair matematiksel model önerilip, modelin uygulama probleminde bütünleşik olarak çözülmesiyle literatüre katkı sağlanmıştır.

Probleme dair yapılacak ileriki araştırmalarda maliyet tasarrufunu artırma hedefine yönelik olarak, AKM’ler arası geçişe de izin verilen farklı taşıma ağları üzerine çalışılabilir. Ele alınacak problem için geliştirilecek modellerin çözümünde uygun sezgisel yöntemler kullanılabilir.

Ayrıca bu çalışmayla, kamu faaliyetlerinin, kısıtlı kaynakların daha etkin kullanımıyla verimli bir şekilde gerçekleştirilerek daha yalın hale getirilmesinde, ticarî işletmelerin faaliyetlerinde kullanılan teknik ve araçlardan faydalanılabileceği gösterilmiştir. Kamudaki daha birçok faaliyette bu tür akademik çalışmaların yaygınlaştırılarak, “yalın kamu” anlayışının benimsenmesinin, başta ülke ekonomisi ve çevre alanındaki yararlarının yanında, hem çalışanlar hem de toplum açısından birçok fayda sağlayacağı değerlendirilmektedir.

EKLER

EK I. Geliştirilen Matematiksel Modelin AIMMS Kodu

```

Model Main {
Set TalepMerkezleri {
  Index: i, j;
  Definition: data { 1, 2, 3 ..82 };
}
Set AktarmaMerkezleri {
  SubsetOf: TalepMerkezleri;
  Index: k;
  Definition: data {1,2,3..81};
}
Set Hedefsehir {
  SubsetOf: AktarmaMerkezleri;
  Index: h;
  Definition: data {41};
}
Set AltTurKumesi {
  Index: l;
  Definition: {
    data
    { 1, 2, 3 }
  }
}
Parameter C {
  IndexDomain: (i,j);
  Text: "i nci ve j nci düğümler arasındaki uzaklık (Aşağıda verilerin bir bölümü gösterilmiş
olup,  $C_{ij}$  değerlerinin tamamı EK-II'deki tablolarda yer almaktadır)";
  Definition: {
    data
    { (1, 2) : 335, (1, 3) : 575, (1, 4) : 966, (1, 5) : 604, (1, 6) : 492, (1, 7)
): 535, (1, 8) : 1036, (1, 9) : 874, (1, 10) : 903, (1, 11) : 773, (1, 12) : 636, (1,
13) : 732, (1, 14) : 690, (1, 15) : 657, (1, 16) : 842, (1, 17) : 1101, (1, 18) : 577,
(1, 19) : 581, (1, 20) : 755, (1, 21) : 525, (1, 22) : 1178, (1, 23) : 494, (1, 24) :

```

671, (1 , 25) : 810, (1 , 26) : 690, (1 , 27) : 212, (1 , 28) : 721, (1 , 29) : 779, (1 , 30) : 898, (1 , 31) : 191, (1 , 32) : 617, (1 , 33) : 69, (1 , 34) : 948, (1 , 35) : 901, (1 , 36) : 1016, (1 , 37) : 683, (1 , 38) : 335, (1 , 39) : 1159, (1 , 40) : 377, (1 , 41) : 837, (1 , 42) : 358, (1 , 43) : 675, (1 , 44) : 396, (1 , 45) : 885, (1 , 46) : 192, (1 , 47) : 537, (1 , 48) : 846, (1 , 49) : 743, (1 , 50) : 289, (1 , 51) : 207, (1 , 52) : 709, (1 , 53) : 920, (1 , 54) : 800, (1 , 55) : 721, (1 , 56) : 707, (1 , 57) : 847, (1 , 58) : 423, (1 , 59) : 1079, (1 , 60) : 492, (1 , 61) : 845, (1 , 62) : 628, (1 , 63) : 349, (1 , 64) : 690, (1 , 65) : 895, (1 , 66) : 489, (1 , 67) : 765, (1 , 68) : 267, (1 , 69) : 801, (1 , 70) : 292, (1 , 71) : 477, (1 , 72) : 621, (1 , 73) : 709, (1 , 74) : 782, (1 , 75) : 1043, (1 , 76) : 1069, (1 , 77) : 902, (1 , 78) : 714, (1 , 79) : 246, (1 , 80) : 87, (1 , 81) : 735, (1 , 82) : 837,.....
 .., (82, 1) : 837, (82, 2) : 1087, (82, 3) : 343, (82, 4) : 1296, (82, 5) : 560, (82, 6) : 342, (82, 7) : 606, (82, 8) : 1190, (82, 9) : 573, (82, 10) : 279, (82, 11) : 136, (82, 12) : 1201, (82, 13) : 1391, (82, 14) : 151, (82, 15) : 484, (82, 16) : 132, (82, 17) : 399, (82, 18) : 384, (82, 19) : 503, (82, 20) : 528, (82, 21) : 1246, (82, 22) : 341, (82, 23) : 1095, (82, 24) : 926, (82, 25) : 1116, (82, 26) : 214, (82, 27) : 1000, (82, 28) : 818, (82, 29) : 981, (82, 30) : 1686, (82, 31) : 1028, (82, 32) : 483, (82, 33) : 830, (82, 34) : 111, (82, 35) : 453, (82, 36) : 1319, (82, 37) : 396, (82, 38) : 663, (82, 39) : 322, (82, 40) : 529, (82, 41) : 5, (82, 42) : 552, (82, 43) : 243, (82, 44) : 997, (82, 45) : 418, (82, 46) : 924, (82, 47) : 1325, (82, 48) : 671, (82, 49) : 1308, (82, 50) : 620, (82, 51) : 692, (82, 52) : 774, (82, 53) : 1029, (82, 54) : 37, (82, 55) : 623, (82, 56) : 1432, (82, 57) : 568, (82, 58) : 780, (82, 59) : 242, (82, 60) : 674, (82, 61) : 954, (82, 62) : 1057, (82, 63) : 1137, (82, 64) : 382, (82, 65) : 1526, (82, 66) : 560, (82, 67) : 219, (82, 68) : 570, (82, 69) : 1015, (82, 70) : 665, (82, 71) : 420, (82, 72) : 1346, (82, 73) : 1497, (82, 74) : 306, (82, 75) : 1298, (82, 76) : 1407, (82, 77) : 65, (82, 78) : 285, (82, 79) : 1060, (82, 80) : 924, (82, 81) : 106 }
 }
 }
 Parameter r {
 Text: "Alt Tur Sayısı";
 Definition: Card(AltturKumesi);
 }
 Parameter f {
 Text: "AKM ile o AKM ye atanacak talep merkezi arasındaki maksimum mesafe";
 Definition: 360;
 }

Parameter d {

Text: "Her bir alt turun maksimum toplam mesafesi";

Definition: 720;

}

Parameter a {

Text: "Amaç fonksiyonunda öncelikli amaç için kullanılan ağırlık";

Definition: 10;

}

Variable Y {

IndexDomain: k

Text: {

"1, k ıncı düğüm Aktarma Merkezi olarak belirlenirse; 0, aksi takdirde"

}

Range: binary;

}

Variable Z {

IndexDomain: (i,k) | $\text{val}(i) < \text{card}(\text{TalepMerkezleri})$;

Text: {

"1, i ıncı düğüm k ıncı Aktarma Merkezine atanırsa; 0, aksi takdirde"

}

Range: binary;

}

Variable X {

IndexDomain: {

$(i,j,k) \mid \text{val}(i) \neq \text{val}(j) \text{ and}$

$[(\text{val}(i) < \text{card}(\text{TalepMerkezleri}) \text{ and } \text{val}(j) < \text{card}(\text{TalepMerkezleri})) \text{ or}$

$(\text{val}(i) = \text{card}(\text{TalepMerkezleri}) \text{ and } \text{val}(j) = \text{val}(k)) \text{ or}$

$(\text{val}(j) = \text{card}(\text{TalepMerkezleri}) \text{ and } \text{val}(i) = \text{val}(k))]$

}

Text: {

"1, k ıncı Aktarma Merkezine atanan i ıncı düğümünden j ıncı düğüme geçilirse; 0, aksi takdirde"

}

Range: binary;

}

Variable W {

IndexDomain: $(i,j,k,l) \mid \text{val}(i) \neq \text{val}(j) \text{ and } \text{val}(i) < \text{card}(\text{TalepMerkezleri}) \text{ and } \text{val}(j) < \text{card}(\text{TalepMerkezleri});$

Text: {

" l , k ıncı AKM nin l inci alt turuna atanan i inci düğümünden j inci düğüme geçilirse; 0, aksi takdirde"

}

Range: binary;

}

Variable U {

IndexDomain: i ;

Text: "AKM ye uğramadan oluşan alt turları kırmak için kullanılan rastgele reel sayılar";

Range: nonnegative;

}

Variable T {

IndexDomain: (k,l) ;

Text: {

" k ıncı AKM nin l (L) inci alt turu açılırsa; 0 aksi takdirde"

}

Range: binary;

}

Variable S {

IndexDomain: k ;

Text: " k ıncı AKM için açılan toplam alt tur sayısı";

Range: nonnegative;

}

Variable Toplamkm {

Range: nonnegative;

Definition: $\sum (i,j,k), C(i,j) * X(i,j,k));$

}

Variable Toplamarac {

Range: nonnegative;

Definition: $\sum(k, S(k)) + \sum(k, Y(k));$

}

Variable AmacFonksiyonu {

Text: "Amaç Fonksiyonu";

Range: free;

Definition: $a * \text{Toplamkm} + \text{Toplamarac};$

}

Constraint Kisit4.2 {

IndexDomain: $i \mid \text{val}(i) < \text{card}(\text{TalepMerkezleri});$

Text: "Her i inci talep merkezinin sadece bir AKM'ye atanmasını sağlar";

Definition: $\sum (k, Z(i,k)) = 1;$

}

Constraint Kisit4.3 {

IndexDomain: $k;$

Text: "Herhangi bir i inci talep merkezinin k ıncı AKM'ye, o merkezde AKM tesisi kurulmadan atanamayacağını garantiler";

Definition: $\sum (i \mid \text{val}(i) < \text{card}(\text{TalepMerkezleri}), Z(i,k)) \leq \text{card}(\text{AktarmaMerkezleri}) * Y(k);$

}

Constraint Kisit4.4 {

IndexDomain: $(i,j,k) \mid \text{val}(i) \neq \text{val}(j) \text{ and } \text{val}(i) < \text{card}(\text{TalepMerkezleri}) \text{ and } \text{val}(j) < \text{card}(\text{TalepMerkezleri});$

Text: "i inci ve j inci talep merkezleri arasında geçişin olabilmesi için, hem i nin hem de j nin aynı AKM'ye atanmış olmasının gerektirir";

Definition: $Z(i,k) + Z(j,k) \geq 2 * X(i,j,k);$

}

Constraint Kisit4.5 {

IndexDomain: $(i,k) \mid \text{val}(i) \neq \text{val}(k) \text{ and } \text{val}(i) < \text{card}(\text{TalepMerkezleri});$

Text: "AKM olmayan her bir talep merkezinden sadece bir kez çıkılmasını sağlar";

Definition: $\sum (j \mid \text{val}(j) \neq \text{val}(i) \text{ and } \text{val}(j) < \text{card}(\text{TalepMerkezleri}), X(i,j,k)) = Z(i,k);$

}

Constraint Kisit4.6 {

IndexDomain: $(j,k) \mid \text{val}(j) \neq \text{val}(k) \text{ and } \text{val}(j) < \text{card}(\text{TalepMerkezleri});$

Text: "AKM olmayan her bir talep merkezine sadece bir kez gidilmesini sağlar";

Definition: $\sum (i \mid \text{val}(i) \neq \text{val}(j) \text{ and } \text{val}(i) < \text{card}(\text{TalepMerkezleri}), X(i,j,k)) = Z(j,k);$

}

Constraint Kisit4.7 {

IndexDomain: $(i,k) \mid \text{val}(i) = \text{val}(k);$

Text: "AKM'lerden çıkışların yapılmasını sağlar";

Definition: $\sum (j \mid \text{val}(j) \neq \text{val}(i), X(i,j,k)) \geq S(k) + Y(k);$

}

Constraint Kisit4.8 {

IndexDomain: $(j,k) | val(j)=val(k) \text{ and } val(j) < card(TalepMerkezleri);$

Text: "AKM'lere girişlerin yapılmasını sağlar";

Definition: $sum (i | val(i) < val(j), X(i,j,k)) \geq S(k) + Y(k);$

}

Constraint Kisit4.9 {

IndexDomain: $(i,j,k) | val(i) < val(j) \text{ and } val(i) < val(k) \text{ and } val(j) < val(k) \text{ and } val(i) < card(TalepMerkezleri) \text{ and } val(j) < card(TalepMerkezleri);$

Text: "AKM ye uğramadan oluşan alt turları kırmayı sağlar";

Definition: $U(i)-U(j)+card(TalepMerkezleri)*X(i,j,k) \leq card(TalepMerkezleri)-1;$

}

Constraint Kisit4.10 {

IndexDomain: $(i,j,k) | val(i)=val(k) \text{ and } val(j)=card(TalepMerkezleri);$

Text: "Her AKM den hedef nokta olan Kalibrasyon Birimine geçiş olmasını sağlar";

Definition: $X(i,j,k) = Y(k);$

}

Constraint Kisit4.11 {

IndexDomain: $(i,j,k) | val(j)=val(k) \text{ and } val(i)=card(TalepMerkezleri);$

Text: "Kalibrasyon Biriminden tüm AKM lere giriş (dönüş) olmasını sağlar";

Definition: $X(i,j,k) = Y(k);$

}

Constraint Kisit4.12 {

IndexDomain: $(i,k) | val(i)=val(k);$

Text: "Bir AKM nin sadece kendisine atanmasını garantiler";

Definition: $Z(i,k) = Y(k);$

}

Constraint Kisit4.13 {

IndexDomain: $(i,j,k) | val(i) < card(TalepMerkezleri) \text{ and } val(j) < card(TalepMerkezleri) \text{ and } val(i) < val(j);$

Text: "X değişkenindeki i inci düğümden j inci düğüme geçişlerin AKM'nin l inci alt turunda olabilmesini sağlamak amacıyla X ile W değişkenlerini irtibatlandırır";

Definition: $sum (l, W(i,j,k,l)) = X(i,j,k);$

}

Constraint Kisit4.14 {

IndexDomain: $(i,k,l) | val(i) < card(TalepMerkezleri);$

Text: "Her bir talep merkezine giriş ve çıkışın, bulunduğu alt tur bünyesinde olmasını sağlar";

Definition: $\sum (j \mid \text{val}(j) < \text{card}(\text{TalepMerkezleri}) , W(j,i,k,l)) = \sum (j \mid \text{val}(j) < \text{card}(\text{TalepMerkezleri}) , W(i,j,k,l));$
}

Constraint Kisit4.15 {

IndexDomain: (k,l);

Text: "Açılmış her bir alt turdan ilgili AKM'ye sadece bir giriş olmasını sağlar ";

Definition: $\sum (i,j) \mid \text{val}(i) < \text{card}(\text{TalepMerkezleri}) \text{ and } \text{val}(j) = \text{val}(k), W(i,j,k,l) = T(k,l);$

}

Constraint Kisit4.16 {

IndexDomain: k;

Text: "k ıncı AKM için açılan toplam alt tur sayısını belirler";

Definition: $\sum (l, T(k,l)) = S(k);$

}

Constraint Kisit4.17 {

IndexDomain: k;

Text: "Her AKM için en fazla r sayıda alt tur açılmasını sağlar";

Definition: $S(k) \leq r * Y(k);$

}

Constraint Kisit4.18 {

IndexDomain: k;

Text: "Açılan her AKM için en az bir alt turun oluşturulmasını sağlar";

Definition: $S(k) \geq Y(k);$

}

Constraint Kisit4.19 {

IndexDomain: (k,l) $\mid$ $\text{val}(l) < r;$

Text: "Her AKM deki alt turların indis numaralarına uygun olarak sırayla açılmasını sağlar";

Definition: $T(k,l) \geq T(k,l+1);$

}

Constraint Kisit4.20 {

IndexDomain: (i,k) $\mid$ $\text{val}(i) < \text{card}(\text{TalepMerkezleri});$

Text: "Bir AKM ile o AKM ye atanan talep merkezi arasındaki mesafenin, maksimum mesafeyi (f) aşmamasını garanti eder";

Definition: $C(i,k) * Z(i,k) \leq f;$

```

}
Constraint Kisit4.21 {
    IndexDomain: (k,l);
    Text: "Kalibrasyon Birimi turu hariç her bir alt turun toplam mesafesinin maksimum
mesafeden (d) küçük veya eşit olmasını sağlar";
    Definition: sum ( (i,j) | val(j)<card(TalepMerkezleri), C(i,j)* W(i,j,k,l) ) <= d * T(k,l);
}
Constraint Kisit4.22 {
    IndexDomain: (h)
    Text: "Hedef noktanın (h) bulunduğu Kocaeli şehrinin AKM olarak belirlenmesini sağlar";
    Definition: Y(h)=1;
}
MathematicalProgram MODEL {
    Objective: AmacFonksiyonu;
    Direction: minimize;
    Constraints: AllConstraints;
    Variables: AllVariables;
    Type: MIP;
}
Procedure MainInitialization {
    Comment: "Add initialization statements here that do NOT require any library being
initialized already.";
}
Procedure PostMainInitialization {
    Comment: {
        "Add initialization statements here that require that the libraries are already initialized
properly,
        or add statements that require the Data Management module to be initialized."
    }
}
Procedure MainExecution {
    Body: {
        Solve MODEL ;
        Write
        MODEL.Objective,
        MODEL.bestbound,

```

```
MODEL.ProgramStatus,  
MODEL.SolverStatus,  
MODEL.SolutionTime,  
MODEL.NumberOfConstraints,  
MODEL.NumberOfVariables,  
MODEL.NumberOfIntegerVariables  
to file "Report.out";  
}  
}
```



EK II. Uygulama Probleminde Yer Alan İller Arası Mesafe Matrisi

NO	İL ADI	ADANA	ADIYAMAN	AFYON K.	AĞRI	AMASYA	ANKARA	ANTALYA	ARTVİN	AYDIN	BALIKESİR	BİLECİK	BİNGÖL	BİTLİS	BOLU	BURDUR	BURSA	ÇANAKKALE	ÇANKIRI	ÇORUM	DENİZLİ
1	ADANA		335	575	966	604	492	535	1036	874	903	773	636	732	690	657	842	1101	577	581	755
2	ADIYAMAN	335		910	648	635	742	870	752	1209	1238	1045	348	414	936	992	1114	1385	771	699	1090
3	AFYON K.	575	910		1318	597	256	291	1244	345	328	212	1095	1285	420	169	277	526	397	505	222
4	AĞRI	966	648	1318		736	1054	1428	396	1640	1570	1358	356	234	1145	1423	1419	1690	984	828	1517
5	AMASYA	604	635	597	736		333	825	694	938	834	622	641	831	409	762	683	954	248	92	815
6	ANKARA	492	742	256	1054	333		543	980	597	536	316	892	1082	191	421	385	656	130	241	474
7	ANTALYA	535	870	291	1428	825	543		1466	339	507	475	1171	1267	683	122	540	702	667	733	220
8	ARTVİN	1036	752	1244	396	694	980	1466		1585	1464	1252	404	562	1039	1409	1313	1584	895	739	1462
9	AYDIN	874	1209	345	1640	938	597	339	1585		296	520	1404	1594	719	269	445	452	738	846	126
10	BALIKESİR	903	1238	328	1570	834	536	507	1464	296		246	1414	1604	425	395	151	198	658	777	287
11	BİLECİK	773	1045	212	1358	622	316	475	1252	520	246		1194	1384	213	353	95	366	446	565	397
12	BİNGÖL	636	348	1095	356	641	892	1171	404	1404	1414	1194		194	1050	1187	1264	1535	889	733	1281
13	BİTLİS	732	414	1285	234	831	1082	1267	562	1594	1604	1384	194		1240	1377	1454	1725	1079	923	1471
14	BOLU	690	936	420	1145	409	191	683	1039	719	425	213	1050	1240		561	274	545	233	352	605
15	BURDUR	657	992	169	1423	762	421	122	1409	269	395	353	1187	1377	561		418	593	562	670	150
16	BURSA	842	1114	277	1419	683	385	540	1313	445	151	95	1264	1454	274	418		271	507	626	436
17	ÇANAKKALE	1101	1385	526	1690	954	656	702	1584	452	198	366	1535	1725	545	593	271		778	897	482
18	ÇANKIRI	577	771	397	984	248	130	667	895	738	658	446	889	1079	233	562	507	778		156	615
19	ÇORUM	581	699	505	828	92	241	733	739	846	777	565	733	923	352	670	626	897	156		723
20	DENİZLİ	755	1090	222	1517	815	474	220	1462	126	287	397	1281	1471	605	150	436	482	615	723	

NO	İL ADI	DIYARBAKIR	EDİRNE	ELAZIĞ	ERZİNCAN	ERZURUM	ESKİŞEHİR	GAZİANTEP	GİRESUN	GÜMÜŞHANE	HAKKÂRİ	HATAY	ISPARTA	MERSİN	İSTANBUL	İZMİR	KARS	KASTAMONU	KAYSERİ	KIRKLARELİ	KIRŞEHİR
1	ADANA	525	1178	494	671	810	690	212	721	779	898	191	617	69	948	901	1016	683	335	1159	377
2	ADIYAMAN	207	1428	285	550	526	962	150	713	683	660	316	952	404	1198	1236	732	877	424	1409	558
3	AFYON K.	1100	684	953	948	1138	144	787	872	1015	1473	766	168	565	454	326	1341	503	521	665	426
4	AĞRI	441	1637	496	370	183	1295	754	546	383	432	947	1373	1035	1407	1640	217	990	812	1618	942
5	AMASYA	699	901	546	366	556	574	584	322	433	1138	681	719	639	671	919	759	254	346	882	312
6	ANKARA	901	683	750	684	874	233	655	608	751	1341	683	420	485	453	578	1077	236	318	664	184
7	ANTALYA	1060	910	1029	1058	1248	423	747	1100	1166	1433	726	130	466	717	444	1451	773	618	927	572
8	ARTVİN	545	1531	544	408	226	1221	858	372	337	768	1017	1366	1105	1301	1566	207	857	850	1512	950
9	AYDIN	1399	660	1262	1270	1460	477	1086	1213	1356	1772	1065	288	805	684	126	1663	844	830	677	767
10	BALIKESİR	1423	406	1272	1200	1390	303	1115	1092	1255	1801	1094	394	893	390	176	1593	670	840	423	706
11	BİLECİK	1203	477	1052	988	1178	83	957	880	1043	1643	964	352	763	247	420	1381	458	620	458	486
12	BİNGÖL	141	1542	144	275	178	1112	454	544	381	501	617	1137	705	1312	1421	384	895	574	1523	708
13	BİTLİS	207	1732	334	465	349	1302	520	712	549	335	713	1327	801	1502	1611	435	1085	764	1713	898
14	BOLU	1095	492	944	775	965	291	849	667	830	1535	881	560	683	262	599	1168	245	512	473	378
15	BURDUR	1182	801	1045	1053	1243	301	869	1037	1161	1555	848	51	588	595	374	1446	668	613	806	566
16	BURSA	1272	419	1121	1049	1239	152	1026	941	1104	1712	1033	417	832	243	325	1442	519	689	436	555
17	ÇANAKKALE	1543	216	1392	1320	1510	423	1297	1212	1375	1983	1292	592	1091	318	328	1713	790	960	233	826
18	ÇANKIRI	919	725	766	614	804	374	684	523	681	1370	768	561	570	495	719	1007	106	347	706	213
19	ÇORUM	763	844	610	458	648	482	618	367	525	1230	715	627	574	614	827	851	197	281	825	220
20	DENİZLİ	1280	690	1139	1147	1337	354	967	1090	1233	1653	946	165	686	639	224	1540	721	707	707	644

NO	İL ADI	KOCAELİ (İZMİT)	KONYA	KÜTAHYA	MALATYA	MANİSA	KAHRAMAN MARAŞ	MARDİN	MUĞLA	MUŞ	NEVŞEHİR	NİĞDE	ORDU	RİZE	SAKARYA (ADAPAZARI)	SAMSUN	SIİRT	SİNOP	SİVAS	TEKİRDAĞ	TOKAT
1	ADANA	837	358	675	396	885	192	537	846	743	289	207	709	920	800	721	707	847	423	1079	492
2	ADİYAMAN	1087	693	1010	187	1220	163	299	1181	459	505	542	729	785	1050	752	389	893	415	1329	523
3	AFYON K.	343	223	100	855	310	767	1112	367	1202	440	459	828	1083	306	677	1282	675	703	585	643
4	AĞRI	1296	1114	1373	592	1624	811	519	1662	245	891	938	590	439	1259	741	330	896	618	1538	675
5	AMASYA	560	511	652	466	903	508	795	960	748	361	439	278	533	523	131	885	258	220	802	114
6	ANKARA	342	258	311	652	562	579	980	619	999	275	347	564	819	305	413	1087	408	439	584	379
7	ANTALYA	606	322	363	931	428	727	1072	311	1278	537	544	1056	1307	569	905	1242	945	810	848	871
8	ARTVİN	1190	1152	1299	640	1550	864	641	1607	479	929	976	416	161	1153	567	658	722	656	1432	633
9	AYDIN	573	532	408	1164	155	1066	1411	99	1511	749	768	1169	1424	605	1018	1581	1016	1022	631	984
10	BALIKESİR	279	551	228	1174	141	1095	1440	394	1521	768	787	1048	1303	311	897	1609	842	983	377	923
11	BİLECİK	136	421	112	954	385	881	1282	542	1301	577	648	836	1091	99	685	1389	630	763	378	703
12	BİNGÖL	1201	878	1190	240	1405	464	237	1426	111	655	702	588	437	1164	721	280	866	470	1443	578
13	BİTLİS	1391	1068	1380	430	1595	577	285	1578	83	845	892	756	605	1354	907	96	1056	660	1633	768
14	BOLU	151	456	320	846	564	773	1174	750	1157	469	545	623	878	114	472	1281	417	629	393	523
15	BURDUR	484	314	241	947	358	849	1194	241	1294	532	551	993	1248	447	842	1364	840	805	726	808
16	BURSA	132	490	177	1023	290	950	1351	543	1370	646	717	897	1152	160	746	1458	691	832	374	772
17	ÇANAKKALE	399	749	426	1294	331	1221	1622	550	1641	917	985	1168	1423	431	1017	1729	962	1103	187	1043
18	ÇANKIRI	384	353	452	681	703	608	1009	760	996	304	386	479	734	347	328	1105	278	440	626	334
19	ÇORUM	503	419	560	530	811	542	859	868	840	296	374	323	578	466	172	949	266	284	745	178
20	DENİZLİ	528	409	285	1041	208	947	1292	145	1388	626	645	1046	1301	491	895	1462	893	899	661	861

NO	İL ADI	TRABZON	TUNCELİ	ŞANLIURFA	UŞAK	VAN	YOZGAT	ZONGULDAK	AKSARAY	BAYBURT	KARAMAN	KIRIKKALE	BATMAN	ŞIRNAK	BARTIN	ARDAHAN	IĞDIR	YALOVA	KARABÜK	KİLİS	OSMANİYE	DÜZCE	KALİB. BİRİMİ
1	ADANA	845	628	349	690	895	489	765	267	801	292	477	621	709	782	1043	1069	902	714	246	87	735	837
2	ADİYAMAN	784	419	112	1025	577	621	1011	580	651	627	671	303	471	1028	759	751	1152	960	210	248	981	1087
3	AFYON K.	1008	1079	924	115	1420	479	488	365	1037	336	339	1196	1284	515	1352	1429	341	447	821	662	375	343
4	AĞRI	476	423	617	1429	230	842	1204	966	305	1114	979	369	426	1173	311	143	1361	1104	814	879	1190	1296
5	AMASYA	458	497	719	708	966	200	468	422	455	615	258	799	981	437	781	847	625	368	644	613	454	560
6	ANKARA	744	815	792	367	1217	215	266	225	773	369	75	1001	1152	283	1088	1165	407	215	715	579	236	342
7	ANTALYA	1232	1163	884	294	1430	684	751	462	1188	374	567	1156	1244	802	1473	1539	604	734	781	622	638	606
8	ARTVİN	236	461	721	1355	566	838	1071	1004	343	1152	905	598	754	1040	116	341	1255	971	918	949	1084	1190
9	AYDIN	1349	1396	1223	273	1729	820	787	674	1378	641	680	1495	1583	856	1685	1751	510	788	1120	961	674	573
10	BALIKESİR	1228	1331	1252	223	1739	759	493	693	1289	664	619	1523	1612	580	1572	1681	216	559	1149	990	380	279
11	BİLECİK	1016	1119	1094	251	1519	539	281	526	1077	534	399	1303	1454	368	1360	1469	129	347	1017	860	168	136
12	BİNGÖL	474	144	317	1210	329	694	1109	730	303	878	821	194	376	1078	411	472	1266	1009	514	549	1095	1201
13	BİTLİS	642	334	383	1400	163	884	1299	920	471	1024	1011	135	192	1268	494	337	1456	1199	580	645	1285	1391
14	BOLU	803	906	986	459	1375	409	157	423	864	567	269	1195	1346	174	1147	1256	216	134	909	777	45	151
15	BURDUR	1173	1179	1006	172	1512	644	629	457	1183	419	504	1278	1366	680	1468	1534	482	612	903	744	516	484
16	BURSA	1077	1180	1163	308	1588	608	342	595	1138	603	468	1372	1523	429	1421	1530	69	408	1086	929	229	132
17	ÇANAKKALE	1348	1451	1434	421	1859	879	613	866	1409	862	739	1643	1794	700	1692	1801	336	679	1347	1188	500	399
18	ÇANKIRI	659	745	821	508	1214	244	293	310	703	464	104	1019	1181	282	1003	1095	449	193	744	664	278	384
19	ÇORUM	503	589	755	616	1058	108	411	330	547	530	166	863	1045	380	847	939	568	311	678	647	397	503
20	DENİZLİ	1226	1273	1104	150	1606	697	673	551	1255	518	557	1376	1464	733	1562	1628	501	665	1001	842	560	528

NO	İL ADI	ADANA	ADYAMAN	AFYON K.	AĞRI	AMASYA	ANKARA	ANTALYA	ARTVİN	AYDIN	BALIKESİR	BİLECİK	BİNGÖL	BİTLİS	BOLU	BURDUR	BURSA	ÇANAKKALE	ÇANKIRI	ÇORUM	DENİZLİ
21	DİYARBAKIR	525	207	1100	441	699	901	1060	545	1399	1423	1203	141	207	1095	1182	1272	1543	919	763	1280
22	EDİRNE	1178	1428	684	1637	901	683	910	1531	660	406	477	1542	1732	492	801	419	216	725	844	690
23	ELAZIĞ	494	285	953	496	546	750	1029	544	1262	1272	1052	144	334	944	1045	1121	1392	766	610	1139
24	ERZİNCAN	671	550	948	370	366	684	1058	408	1270	1200	988	275	465	775	1053	1049	1320	614	458	1147
25	ERZURUM	810	526	1138	183	556	874	1248	226	1460	1390	1178	178	349	965	1243	1239	1510	804	648	1337
26	ESKİŞEHİR	690	962	144	1295	574	233	423	1221	477	303	83	1112	1302	291	301	152	423	374	482	354
27	GAZİANTEP	212	150	787	754	584	655	747	858	1086	1115	957	454	520	849	869	1026	1297	684	618	967
28	GİRESUN	721	713	872	546	322	608	1100	372	1213	1092	880	544	712	667	1037	941	1212	523	367	1090
29	GÜMÜŞHANE	779	683	1015	383	433	751	1166	337	1356	1255	1043	381	549	830	1161	1104	1375	681	525	1233
30	HAKKÂRİ	898	660	1473	432	1138	1341	1433	768	1772	1801	1643	501	335	1535	1555	1712	1983	1370	1230	1653
31	HATAY	191	316	766	947	681	683	726	1017	1065	1094	964	617	713	881	848	1033	1292	768	715	946
32	ISPARTA	617	952	168	1373	719	420	130	1366	288	394	352	1137	1327	560	51	417	592	561	627	165
33	MERSİN	69	404	565	1035	639	485	466	1105	805	893	763	705	801	683	588	832	1091	570	574	686
34	İSTANBUL	948	1198	454	1407	671	453	717	1301	684	390	247	1312	1502	262	595	243	318	495	614	639
35	İZMİR	901	1236	326	1640	919	578	444	1566	126	176	420	1421	1611	599	374	325	328	719	827	224
36	KARS	1016	732	1341	217	759	1077	1451	207	1663	1593	1381	384	435	1168	1446	1442	1713	1007	851	1540
37	KASTAMONU	683	877	503	990	254	236	773	857	844	670	458	895	1085	245	668	519	790	106	197	721
38	KAYSERİ	335	424	521	812	346	318	618	850	830	840	620	574	764	512	613	689	960	347	281	707
39	KIRKLARELİ	1159	1409	665	1618	882	664	927	1512	677	423	458	1523	1713	473	806	436	233	706	825	707
40	KIRŞEHİR	377	558	426	942	312	184	572	950	767	706	486	708	898	378	566	555	826	213	220	644

NO	İL ADI	DİYARBAKIR	EDİRNE	ELAZIĞ	ERZİNCAN	ERZURUM	ESKİŞEHİR	GAZİANTEP	GİRESUN	GÜMÜŞHANE	HAKKÂRİ	HATAY	ISPARTA	MERSİN	İSTANBUL	İZMİR	KARS	KASTAMONU	KAYSERİ	KIRKLARELİ	KIRŞEHİR
21	DİYARBAKIR		1587	153	408	319	1121	313	685	522	471	506	1142	594	1357	1426	525	953	583	1568	717
22	EDİRNE	1587		1436	1267	1457	555	1341	1159	1322	2027	1369	800	1171	230	536	1660	737	1004	62	870
23	ELAZIĞ	153	1436		267	318	970	342	563	400	624	475	995	563	1206	1279	524	800	432	1417	566
24	ERZİNCAN	408	1267	267		190	925	607	296	133	772	740	1003	740	1037	1270	393	620	442	1248	572
25	ERZURUM	319	1457	318	190		1115	632	366	203	615	791	1193	879	1227	1460	206	810	632	1438	762
26	ESKİŞEHİR	1121	555	970	925	1115		874	849	992	1560	881	300	680	325	410	1318	480	537	536	403
27	GAZİANTEP	313	1341	342	607	632	874		701	740	686	193	829	281	1111	1113	838	790	337	1322	471
28	GİRESUN	685	1159	563	296	366	849	701		163	978	798	994	790	929	1194	569	485	492	1140	578
29	GÜMÜŞHANE	522	1322	400	133	203	992	740	163		815	856	1111	848	1092	1337	406	648	550	1303	680
30	HAKKÂRİ	471	2027	624	772	615	1560	686	978	815		879	1515	967	1797	1799	567	1392	1023	2008	1157
31	HATAY	506	1369	475	740	791	881	193	798	856	879		808	260	1139	1092	997	874	434	1350	568
32	ISPARTA	1142	800	995	1003	1193	300	829	994	1111	1515	808		564	594	382	1396	667	563	805	516
33	MERSİN	594	1171	563	740	879	680	281	790	848	967	260	564		941	891	1085	676	328	1152	370
34	İSTANBUL	1357	230	1206	1037	1227	325	1111	929	1092	1797	1139	594	941		564	1430	507	774	211	640
35	İZMİR	1426	536	1279	1270	1460	410	1113	1194	1337	1799	1092	382	891	564		1663	825	847	553	748
36	KARS	525	1660	524	393	206	1318	838	569	406	567	997	1396	1085	1430	1663		1013	835	1641	965
37	KASTAMONU	953	737	800	620	810	480	790	485	648	1392	874	667	676	507	825	1013		453	718	319
38	KAYSERİ	583	1004	432	442	632	537	337	492	550	1023	434	563	328	774	847	835	453		985	134
39	KIRKLARELİ	1568	62	1417	1248	1438	536	1322	1140	1303	2008	1350	805	1152	211	553	1641	718	985		851
40	KIRŞEHİR	717	870	566	572	762	403	471	578	680	1157	568	516	370	640	748	965	319	134	851	

NO	İL ADI	KOCAELİ (İZMİT)	KONYA	KÜTAHYA	MALATYA	MANİSA	KAHRAMAN MARAŞ	MARDİN	MUĞLA	MUŞ	NEVŞEHİR	NİĞDE	ORDU	RİZE	SAKARYA (ADAPAZARI)	SAMSUN	SIİRT	SİNOP	SİVAS	TEKİRDAĞ	TOKAT
21	DİYARBAKIR	1246	883	1199	249	1410	370	96	1371	252	664	711	729	578	1209	816	186	957	479	1488	587
22	EDİRNE	341	893	584	1338	539	1265	1666	758	1649	961	1033	1115	1370	378	964	1773	909	1121	140	1015
23	ELAZIĞ	1095	736	1048	98	1263	322	249	1284	251	513	560	592	576	1058	663	339	804	326	1337	434
24	ERZİNCAN	926	744	1003	363	1254	575	504	1292	382	521	568	325	309	889	446	555	591	248	1168	305
25	ERZURUM	1116	934	1193	414	1444	638	415	1482	266	711	758	410	259	1079	561	445	716	438	1358	495
26	ESKİŞEHİR	214	338	78	871	394	798	1199	499	1218	494	565	805	1060	177	654	1306	652	680	456	620
27	GAZİANTEP	1000	570	887	244	1097	76	325	1058	565	418	419	689	891	963	701	495	842	403	1242	472
28	GİRESUN	818	786	927	544	1178	625	781	1235	629	571	618	44	211	781	195	808	350	298	1060	261
29	GÜMÜŞHANE	981	852	1070	496	1321	683	618	1378	466	629	676	207	176	944	358	645	513	356	1223	372
30	HAKKÂRİ	1686	1256	1573	720	1783	762	386	1744	390	1104	1105	1022	871	1649	1173	285	1328	950	1928	1058
31	HATAY	1028	549	866	377	1076	173	518	1037	724	480	398	786	997	991	798	688	939	500	1270	569
32	ISPARTA	483	263	240	897	366	809	1154	292	1244	482	501	950	1205	446	799	1324	839	755	725	765
33	MERSİN	830	348	665	465	875	261	606	777	812	282	200	778	989	793	746	776	840	492	1072	561
34	İSTANBUL	111	663	354	1108	529	1035	1436	782	1419	731	803	885	1140	148	734	1543	679	891	131	785
35	İZMİR	453	549	332	1181	35	1093	1438	224	1528	766	785	1150	1405	485	999	1608	997	1025	507	965
36	KARS	1319	1137	1396	620	1647	844	621	1685	352	914	961	613	360	1282	764	531	919	641	1561	698
37	KASTAMONU	396	459	558	720	809	714	1049	866	1002	410	492	441	696	359	290	1139	183	474	638	368
38	KAYSERİ	663	304	616	334	831	261	662	852	681	81	128	480	691	626	453	769	547	194	905	263
39	KIRKLARELİ	322	874	565	1319	556	1246	1647	775	1630	942	1014	1096	1351	359	945	1754	890	1102	121	996
40	KIRŞEHİR	529	258	482	468	733	395	796	790	815	91	173	534	789	492	392	903	486	324	771	317

NO	İL ADI	TRABZON	TUNCELİ	ŞANLIURFA	UŞAK	VAN	YOZGAT	ZONGULDAK	AKSARAY	BAYBURT	KARAMAN	KIRIKKALE	BATMAN	ŞIRNAK	BARTIN	ARDAHAN	IĞDIR	YALOVA	KARABÜK	KİLİS	OSMANİYE	DÜZCE	KALİB. BİRİMİ
21	DİYARBAKIR	615	277	176	1215	370	703	1167	739	444	817	830	100	282	1136	552	544	1311	1067	373	438	1140	1246
22	EDİRNE	1295	1398	1478	629	1867	901	560	911	1356	1006	761	1687	1838	647	1639	1748	406	626	1401	1265	447	341
23	ELAZIĞ	501	136	319	1068	469	550	1014	588	396	736	679	253	435	983	551	612	1160	914	402	407	989	1095
24	ERZİNCAN	234	131	574	1059	600	472	834	596	155	744	609	469	651	803	415	481	991	734	667	672	820	926
25	ERZURUM	296	243	495	1249	413	662	1024	786	125	934	799	372	541	993	233	294	1181	924	692	723	1010	1116
26	ESKİŞEHİR	985	1056	1011	217	1436	456	359	443	1014	451	316	1220	1371	446	1329	1406	212	424	934	777	246	214
27	GAZİANTEP	825	476	137	902	683	534	924	479	736	504	584	409	497	941	865	857	1065	873	64	125	894	1000
28	GİRESUN	136	427	797	983	776	466	699	646	241	794	533	738	904	668	480	657	883	599	761	730	712	818
29	GÜMÜŞHANE	101	264	698	1126	613	577	862	704	78	852	676	575	741	831	428	494	1046	762	800	788	875	981
30	HAKKÂRİ	908	641	549	1588	202	1174	1606	1165	737	1190	1270	371	189	1575	655	427	1751	1506	746	811	1580	1686
31	HATAY	922	609	330	881	876	631	956	458	869	483	668	602	690	973	1024	1050	1093	905	145	129	926	1028
32	ISPARTA	1130	1129	966	171	1462	600	628	407	1133	368	461	1238	1326	679	1418	1484	481	611	863	704	515	483
33	MERSİN	914	697	418	680	964	482	758	260	870	235	470	690	778	775	1112	1138	892	707	315	156	728	830
34	İSTANBUL	1065	1168	1248	493	1637	671	330	681	1126	776	531	1457	1608	417	1409	1518	176	396	1171	1035	217	111
35	İZMİR	1330	1401	1250	211	1746	801	667	691	1359	662	661	1522	1610	754	1674	1751	390	733	1147	988	554	453
36	KARS	435	446	701	1452	365	865	1227	989	328	1137	1002	570	627	1196	94	140	1384	1127	898	929	1213	1319
37	KASTAMONU	621	751	927	614	1220	301	214	416	709	570	210	1053	1235	183	965	1101	461	114	850	770	290	396
38	KAYSERİ	616	566	474	636	899	197	587	156	572	304	247	683	834	604	857	923	728	536	397	366	557	663
39	KIRKLARELİ	1276	1379	1459	646	1848	882	541	892	1337	987	742	1668	1819	628	1620	1729	387	607	1382	1246	428	322
40	KIRŞEHİR	714	700	608	538	1033	112	453	110	702	321	113	817	968	470	987	1053	594	402	531	464	423	529

NO	İL ADI	ADANA	ADİYAMAN	AFYON K.	AĞRI	AMASYA	ANKARA	ANTALYA	ARTVİN	AYDIN	BALIKESİR	BİLECİK	BİNGÖL	BİTLİS	BOLU	BURDUR	BURSA	ÇANAKKALE	ÇANKIRI	ÇORUM	DENİZLİ
41	KOCAELİ (İZMİT)	837	1087	343	1296	560	342	606	1190	573	279	136	1201	1391	151	484	132	399	384	503	528
42	KONYA	358	693	223	1114	511	258	322	1152	532	551	421	878	1068	456	314	490	749	353	419	409
43	KÜTAHYA	675	1010	100	1373	652	311	363	1299	408	228	112	1190	1380	320	241	177	426	452	560	285
44	MALATYA	396	187	855	592	466	652	931	640	1164	1174	954	240	430	846	947	1023	1294	681	530	1041
45	MANİSA	885	1220	310	1624	903	562	428	1550	155	141	385	1405	1595	564	358	290	331	703	811	208
46	K.MARAŞ	192	163	767	811	508	579	727	864	1066	1095	881	464	577	773	849	950	1221	608	542	947
47	MARDİN	537	299	1112	519	795	980	1072	641	1411	1440	1282	237	285	1174	1194	1351	1622	1009	859	1292
48	MUĞLA	846	1181	367	1662	960	619	311	1607	99	394	542	1426	1578	750	241	543	550	760	868	145
49	MUŞ	743	459	1202	245	748	999	1278	479	1511	1521	1301	111	83	1157	1294	1370	1641	996	840	1388
50	NEVŞEHİR	289	505	440	891	361	275	537	929	749	768	577	655	845	469	532	646	917	304	296	626
51	NİĞDE	207	542	459	938	439	347	544	976	768	787	648	702	892	545	551	717	985	386	374	645
52	ORDU	709	729	828	590	278	564	1056	416	1169	1048	836	588	756	623	993	897	1168	479	323	1046
53	RİZE	920	785	1083	439	533	819	1307	161	1424	1303	1091	437	605	878	1248	1152	1423	734	578	1301
54	SAKARYA (ADAPAZARI)	800	1050	306	1259	523	305	569	1153	605	311	99	1164	1354	114	447	160	431	347	466	491
55	SAMSUN	721	752	677	741	131	413	905	567	1018	897	685	721	907	472	842	746	1017	328	172	895
56	SİİRT	707	389	1282	330	885	1087	1242	658	1581	1609	1389	280	96	1281	1364	1458	1729	1105	949	1462
57	SİNOP	847	893	675	896	258	408	945	722	1016	842	630	866	1056	417	840	691	962	278	266	893
58	SİVAS	423	415	703	618	220	439	810	656	1022	983	763	470	660	629	805	832	1103	440	284	899
59	TEKİRDAĞ	1079	1329	585	1538	802	584	848	1432	631	377	378	1443	1633	393	726	374	187	626	745	661
60	TOKAT	492	523	643	675	114	379	871	633	984	923	703	578	768	523	808	772	1043	334	178	861

NO	İL ADI	DİYARBAKIR	EDİRNE	ELAZIĞ	ERZİNCAN	ERZURUM	ESKİŞEHİR	GAZİANTEP	GİRESUN	GÜMÜŞHANE	HAKKÂRİ	HATAY	ISPARTA	MERSİN	İSTANBUL	İZMİR	KARS	KASTAMONU	KAYSERİ	KIRKLARELİ	KIRŞEHİR
41	KOCAELİ (İZMİT)	1246	341	1095	926	1116	214	1000	818	981	1686	1028	483	830	111	453	1319	396	663	322	529
42	KONYA	883	893	736	744	934	338	570	786	852	1256	549	263	348	663	549	1137	459	304	874	258
43	KÜTAHYA	1199	584	1048	1003	1193	78	887	927	1070	1573	866	240	665	354	332	1396	558	616	565	482
44	MALATYA	249	1338	98	363	414	871	244	544	496	720	377	897	465	1108	1181	620	720	334	1319	468
45	MANİSA	1410	539	1263	1254	1444	394	1097	1178	1321	1783	1076	366	875	529	35	1647	809	831	556	733
46	K.MARAŞ	370	1265	322	575	638	798	76	625	683	762	173	809	261	1035	1093	844	714	261	1246	395
47	MARDİN	96	1666	249	504	415	1199	325	781	618	386	518	1154	606	1436	1438	621	1049	662	1647	796
48	MUĞLA	1371	758	1284	1292	1482	499	1058	1235	1378	1744	1037	292	777	782	224	1685	866	852	775	790
49	MUŞ	252	1649	251	382	266	1218	565	629	466	390	724	1244	812	1419	1528	352	1002	681	1630	815
50	NEVŞEHİR	664	961	513	521	711	494	418	571	629	1104	480	482	282	731	766	914	410	81	942	91
51	NİĞDE	711	1033	560	568	758	565	419	618	676	1105	398	501	200	803	785	961	492	128	1014	173
52	ORDU	729	1115	592	325	410	805	689	44	207	1022	786	950	778	885	1150	613	441	480	1096	534
53	RİZE	578	1370	576	309	259	1060	891	211	176	871	997	1205	989	1140	1405	360	696	691	1351	789
54	SAKARYA (ADAPAZARI)	1209	378	1058	889	1079	177	963	781	944	1649	991	446	793	148	485	1282	359	626	359	492
55	SAMSUN	816	964	663	446	561	654	701	195	358	1173	798	799	746	734	999	764	290	453	945	392
56	SİİRT	186	1773	339	555	445	1306	495	808	645	285	688	1324	776	1543	1608	531	1139	769	1754	903
57	SİNOP	957	909	804	591	716	652	842	350	513	1328	939	839	840	679	997	919	183	547	890	486
58	SİVAS	479	1121	326	248	438	680	403	298	356	950	500	755	492	891	1025	641	474	194	1102	324
59	TEKİRDAĞ	1488	140	1337	1168	1358	456	1242	1060	1223	1928	1270	725	1072	131	507	1561	638	905	121	771
60	TOKAT	587	1015	434	305	495	620	472	261	372	1058	569	765	561	785	965	698	368	263	996	317

NO	İL ADI	KOCAELİ (İZMİT)	KONYA	KÜTAHYA	MALATYA	MANİSA	KAHRAMAN MARAŞ	MARDİN	MUĞLA	MUŞ	NEVŞEHİR	NİĞDE	ORDU	RİZE	SAKARYA (ADAPAZARI)	SAMSUN	SIİRT	SİNOP	SİVAS	TEKİRDAĞ	TOKAT
41	KOCAELİ (İZMİT)		552	243	997	418	924	1325	671	1308	620	692	774	1029	37	623	1432	568	780	242	674
42	KONYA	552		323	638	533	550	895	554	985	223	242	742	993	515	591	1065	631	496	794	557
43	KÜTAHYA	243	323		949	316	867	1212	430	1296	540	559	883	1138	206	732	1382	730	758	485	698
44	MALATYA	997	638	949		1165	224	345	1186	347	415	462	560	672	960	583	435	724	246	1239	354
45	MANİSA	418	533	316	1165		1077	1422	253	1512	750	769	1134	1389	450	983	1592	981	1009	510	949
46	K.MARAŞ	924	550	867	224	1077		401	1038	571	342	389	613	824	887	625	552	766	327	1166	396
47	MARDİN	1325	895	1212	345	1422	401		1383	348	743	744	825	674	1288	912	227	1053	575	1567	683
48	MUĞLA	671	554	430	1186	253	1038	1383		1533	771	790	1191	1446	636	1040	1553	1038	1044	729	1006
49	MUŞ	1308	985	1296	347	1512	571	348	1533		762	809	673	522	1271	824	179	973	577	1550	685
50	NEVŞEHİR	620	223	540	415	750	342	743	771	762		82	554	770	583	468	850	562	273	862	337
51	NİĞDE	692	242	559	462	769	389	744	790	809	82		606	817	655	546	897	640	320	934	389
52	ORDU	774	742	883	560	1134	613	825	1191	673	554	606		255	737	151	852	306	314	1016	217
53	RİZE	1029	993	1138	672	1389	824	674	1446	522	770	817	255		992	406	701	561	497	1271	472
54	SAKARYA (ADAPAZARI)	37	515	206	960	450	887	1288	636	1271	583	655	737	992		586	1395	531	743	279	637
55	SAMSUN	623	591	732	583	983	625	912	1040	824	468	546	151	406	586		1001	155	337	865	229
56	SIİRT	1432	1065	1382	435	1592	552	227	1553	179	850	897	852	701	1395	1001		1143	665	1674	773
57	SİNOP	568	631	730	724	981	766	1053	1038	973	562	640	306	561	531	155	1143		478	810	372
58	SİVAS	780	496	758	246	1009	327	575	1044	577	273	320	314	497	743	337	665	478		1022	108
59	TEKİRDAĞ	242	794	485	1239	510	1166	1567	729	1550	862	934	1016	1271	279	865	1674	810	1022		916
60	TOKAT	674	557	698	354	949	396	683	1006	685	337	389	217	472	637	229	773	372	108	916	

NO	İL ADI	TRABZON	TUNCELİ	ŞANLIURFA	UŞAK	VAN	YOZGAT	ZONGULDAK	AKSARAY	BAYBURT	KARAMAN	KIRIKKALE	BATMAN	ŞIRNAK	BARTIN	ARDAHAN	IĞDIR	YALOVA	KARABÜK	KİLİS	OSMANİYE	DÜZCE	KALİB. BİRİMİ
41	KOCAELİ (İZMİT)	954	1057	1137	382	1526	560	219	570	1015	665	420	1346	1497	306	1298	1407	65	285	1060	924	106	5
42	KONYA	918	870	707	338	1203	370	531	148	874	119	253	979	1067	548	1159	1225	550	480	604	445	501	552
43	KÜTAHYA	1063	1134	1024	139	1514	534	388	465	1092	436	394	1296	1384	475	1407	1484	241	454	921	762	275	243
44	MALATYA	597	232	271	970	565	470	921	490	492	638	581	349	531	903	647	708	1062	834	304	309	891	997
45	MANİSA	1314	1385	1234	195	1730	785	632	675	1343	646	645	1506	1594	719	1658	1735	355	698	1131	972	519	418
46	K.MARAŞ	749	456	213	882	740	458	848	417	705	484	508	466	573	865	871	914	989	797	136	105	818	924
47	MARDİN	711	373	188	1227	448	799	1249	804	540	829	909	150	197	1232	648	622	1390	1163	385	450	1219	1325
48	MUĞLA	1371	1418	1195	295	1741	842	818	696	1400	660	702	1467	1555	878	1707	1773	608	810	1092	933	705	671
49	MUŞ	559	251	428	1317	218	801	1216	837	388	985	928	218	275	1185	411	388	1373	1116	625	656	1202	1308
50	NEVŞEHİR	695	647	555	555	980	203	544	75	651	258	204	764	915	561	936	1002	685	493	478	376	514	620
51	NİĞDE	742	694	556	574	1027	285	620	122	698	176	286	811	916	637	983	1049	757	569	453	294	590	692
52	ORDU	180	456	813	939	820	422	655	629	285	782	489	782	948	624	524	701	839	555	749	718	668	774
53	RİZE	75	440	754	1194	669	677	910	845	254	993	744	631	797	879	269	494	1094	810	951	929	923	1029
54	SAKARYA (ADAPAZARI)	917	1020	1100	345	1489	523	182	533	978	628	383	1309	1460	269	1261	1370	102	248	1023	887	69	37
55	SAMSUN	331	577	836	788	971	280	504	502	436	702	338	915	1097	473	675	852	688	404	761	730	517	623
56	SİİRT	738	424	358	1397	259	889	1353	925	567	999	1016	86	96	1322	590	433	1497	1253	555	620	1326	1432
57	SİNOP	486	722	977	786	1126	374	397	588	591	742	382	1057	1239	366	830	1007	633	297	902	871	462	568
58	SİVAS	422	379	499	814	795	224	688	348	378	496	364	579	761	657	663	729	845	588	463	432	674	780
59	TEKİRDAĞ	1196	1299	1379	600	1768	802	461	812	1257	907	662	1588	1739	548	1540	1649	307	527	1302	1166	348	242
60	TOKAT	397	436	607	754	903	205	582	412	394	565	304	687	869	551	720	786	739	482	532	501	568	674

NO	İL ADI	ADANA	ADIYAMAN	AFYON K.	AĞRI	AMASYA	ANKARA	ANTALYA	ARTVİN	AYDIN	BALIKESİR	BİLECİK	BİNGÖL	BİTLİS	BOLU	BURDUR	BURSA	ÇANAKKALE	ÇANKIRI	ÇORUM	DENİZLİ
61	TRABZON	845	784	1008	476	458	744	1232	236	1349	1228	1016	474	642	803	1173	1077	1348	659	503	1226
62	TUNCELİ	628	419	1079	423	497	815	1163	461	1396	1331	1119	144	334	906	1179	1180	1451	745	589	1273
63	ŞANLIURFA	349	112	924	617	719	792	884	721	1223	1252	1094	317	383	986	1006	1163	1434	821	755	1104
64	UŞAK	690	1025	115	1429	708	367	294	1355	273	223	251	1210	1400	459	172	308	421	508	616	150
65	VAN	895	577	1420	230	966	1217	1430	566	1729	1739	1519	329	163	1375	1512	1588	1859	1214	1058	1606
66	YOZGAT	489	621	479	842	200	215	684	838	820	759	539	694	884	409	644	608	879	244	108	697
67	ZONGULDAK	765	1011	488	1204	468	266	751	1071	787	493	281	1109	1299	157	629	342	613	293	411	673
68	AKSARAY	267	580	365	966	422	225	462	1004	674	693	526	730	920	423	457	595	866	310	330	551
69	BAYBURT	801	651	1037	305	455	773	1188	343	1378	1289	1077	303	471	864	1183	1138	1409	703	547	1255
70	KARAMAN	292	627	336	1114	615	369	374	1152	641	664	534	878	1024	567	419	603	862	464	530	518
71	KIRIKKALE	477	671	339	979	258	75	567	905	680	619	399	821	1011	269	504	468	739	104	166	557
72	BATMAN	621	303	1196	369	799	1001	1156	598	1495	1523	1303	194	135	1195	1278	1372	1643	1019	863	1376
73	ŞIRNAK	709	471	1284	426	981	1152	1244	754	1583	1612	1454	376	192	1346	1366	1523	1794	1181	1045	1464
74	BARTIN	782	1028	515	1173	437	283	802	1040	856	580	368	1078	1268	174	680	429	700	282	380	733
75	ARDAHAN	1043	759	1352	311	781	1088	1473	116	1685	1572	1360	411	494	1147	1468	1421	1692	1003	847	1562
76	İĞDIR	1069	751	1429	143	847	1165	1539	341	1751	1681	1469	472	337	1256	1534	1530	1801	1095	939	1628
77	YALOVA	902	1152	341	1361	625	407	604	1255	510	216	129	1266	1456	216	482	69	336	449	568	501
78	KARABÜK	714	960	447	1104	368	215	734	971	788	559	347	1009	1199	134	612	408	679	193	311	665
79	KİLİS	246	210	821	814	644	715	781	918	1120	1149	1017	514	580	909	903	1086	1347	744	678	1001
80	OSMANİYE	87	248	662	879	613	579	622	949	961	990	860	549	645	777	744	929	1188	664	647	842
81	DÜZCE	735	981	375	1190	454	236	638	1084	674	380	168	1095	1285	45	516	229	500	278	397	560
82	KAL. BİRİMİ	837	1087	343	1296	560	342	606	1190	573	279	136	1201	1391	151	484	132	399	384	503	528

NO	İL ADI	DIYARBAKIR	EDİRNE	ELAZIĞ	ERZİNCAN	ERZURUM	ESKİŞEHİR	GAZİANTEP	GİRESUN	GÜMÜŞHANE	HAKKÂRİ	HATAY	ISPARTA	MERSİN	İSTANBUL	İZMİR	KARS	KASTAMONU	KAYSERİ	KIRKLARELİ	KIRŞEHİR
61	TRABZON	615	1295	501	234	296	985	825	136	101	908	922	1130	914	1065	1330	435	621	616	1276	714
62	TUNCELİ	277	1398	136	131	243	1056	476	427	264	641	609	1129	697	1168	1401	446	751	566	1379	700
63	ŞANLIURFA	176	1478	319	574	495	1011	137	797	698	549	330	966	418	1248	1250	701	927	474	1459	608
64	UŞAK	1215	629	1068	1059	1249	217	902	983	1126	1588	881	171	680	493	211	1452	614	636	646	538
65	VAN	370	1867	469	600	413	1436	683	776	613	202	876	1462	964	1637	1746	365	1220	899	1848	1033
66	YOZGAT	703	901	550	472	662	456	534	466	577	1174	631	600	482	671	801	865	301	197	882	112
67	ZONGULDAK	1167	560	1014	834	1024	359	924	699	862	1606	956	628	758	330	667	1227	214	587	541	453
68	AKSARAY	739	911	588	596	786	443	479	646	704	1165	458	407	260	681	691	989	416	156	892	110
69	BAYBURT	444	1356	396	155	125	1014	736	241	78	737	869	1133	870	1126	1359	328	709	572	1337	702
70	KARAMAN	817	1006	736	744	934	451	504	794	852	1190	483	368	235	776	662	1137	570	304	987	321
71	KIRIKKALE	830	761	679	609	799	316	584	533	676	1270	668	461	470	531	661	1002	210	247	742	113
72	BATMAN	100	1687	253	469	372	1220	409	738	575	371	602	1238	690	1457	1522	570	1053	683	1668	817
73	ŞIRNAK	282	1838	435	651	541	1371	497	904	741	189	690	1326	778	1608	1610	627	1235	834	1819	968
74	BARTIN	1136	647	983	803	993	446	941	668	831	1575	973	679	775	417	754	1196	183	604	628	470
75	ARDAHAN	552	1639	551	415	233	1329	865	480	428	655	1024	1418	1112	1409	1674	94	965	857	1620	987
76	İĞDIR	544	1748	612	481	294	1406	857	657	494	427	1050	1484	1138	1518	1751	140	1101	923	1729	1053
77	YALOVA	1311	406	1160	991	1181	212	1065	883	1046	1751	1093	481	892	176	390	1384	461	728	387	594
78	KARABÜK	1067	626	914	734	924	424	873	599	762	1506	905	611	707	396	733	1127	114	536	607	402
79	KİLİS	373	1401	402	667	692	934	64	761	800	746	145	863	315	1171	1147	898	850	397	1382	531
80	OSMANİYE	438	1265	407	672	723	777	125	730	788	811	129	704	156	1035	988	929	770	366	1246	464
81	DÜZCE	1140	447	989	820	1010	246	894	712	875	1580	926	515	728	217	554	1213	290	557	428	423
82	KAL. BİRİMİ	1246	341	1095	926	1116	214	1000	818	981	1686	1028	483	830	111	453	1319	396	663	322	529

NO	İL ADI	KOCAELİ (İZMİT)	KONYA	KÜTAHYA	MALATYA	MANİSA	KAHRAMAN MARAŞ	MARDİN	MUĞLA	MUŞ	NEVŞEHİR	NİĞDE	ORDU	RİZE	SAKARYA (ADAPAZARI)	SAMSUN	SIİRT	SİNOP	SİVAS	TEKİRDAĞ	TOKAT
61	TRABZON	954	918	1063	597	1314	749	711	1371	559	695	742	180	75	917	331	738	486	422	1196	397
62	TUNCELİ	1057	870	1134	232	1385	456	373	1418	251	647	694	456	440	1020	577	424	722	379	1299	436
63	ŞANLIURFA	1137	707	1024	271	1234	213	188	1195	428	555	556	813	754	1100	836	358	977	499	1379	607
64	UŞAK	382	338	139	970	195	882	1227	295	1317	555	574	939	1194	345	788	1397	786	814	600	754
65	VAN	1526	1203	1514	565	1730	740	448	1741	218	980	1027	820	669	1489	971	259	1126	795	1768	903
66	YOZGAT	560	370	534	470	785	458	799	842	801	203	285	422	677	523	280	889	374	224	802	205
67	ZONGULDAK	219	531	388	921	632	848	1249	818	1216	544	620	655	910	182	504	1353	397	688	461	582
68	AKSARAY	570	148	465	490	675	417	804	696	837	75	122	629	845	533	502	925	588	348	812	412
69	BAYBURT	1015	874	1092	492	1343	705	540	1400	388	651	698	285	254	978	436	567	591	378	1257	394
70	KARAMAN	665	119	436	638	646	484	829	660	985	258	176	782	993	628	702	999	742	496	907	565
71	KIRIKKALE	420	253	394	581	645	508	909	702	928	204	286	489	744	383	338	1016	382	364	662	304
72	BATMAN	1346	979	1296	349	1506	466	150	1467	218	764	811	782	631	1309	915	86	1057	579	1588	687
73	ŞIRNAK	1497	1067	1384	531	1594	573	197	1555	275	915	916	948	797	1460	1097	96	1239	761	1739	869
74	BARTIN	306	548	475	903	719	865	1232	878	1185	561	637	624	879	269	473	1322	366	657	548	551
75	ARDAHAN	1298	1159	1407	647	1658	871	648	1707	411	936	983	524	269	1261	675	590	830	663	1540	720
76	İĞDIR	1407	1225	1484	708	1735	914	622	1773	388	1002	1049	701	494	1370	852	433	1007	729	1649	786
77	YALOVA	65	550	241	1062	355	989	1390	608	1373	685	757	839	1094	102	688	1497	633	845	307	739
78	KARABÜK	285	480	454	834	698	797	1163	810	1116	493	569	555	810	248	404	1253	297	588	527	482
79	KİLİS	1060	604	921	304	1131	136	385	1092	625	478	453	749	951	1023	761	555	902	463	1302	532
80	OSMANİYE	924	445	762	309	972	105	450	933	656	376	294	718	929	887	730	620	871	432	1166	501
81	DÜZCE	106	501	275	891	519	818	1219	705	1202	514	590	668	923	69	517	1326	462	674	348	568
82	KAL. BİRİMİ	5	552	243	997	418	924	1325	671	1308	620	692	774	1029	37	623	1432	568	780	242	674

NO	İL ADI	TRABZON	TUNCELİ	ŞANLIURFA	UŞAK	VAN	YOZGAT	ZONGULDAK	AKSARAY	BAYBURT	KARAMAN	KIRIKKALE	BATMAN	ŞIRNAK	BARTIN	ARDAHAN	İĞDIR	YALOVA	KARABÜK	KİLİS	OSMANİYE	DÜZCE	KALİB. BİRİMİ
61	TRABZON		365	791	1119	706	602	835	770	179	918	669	668	834	804	344	569	1019	735	885	854	848	954
62	TUNCELİ	365		443	1190	469	603	965	722	260	870	740	338	520	934	468	534	1122	865	536	541	951	1057
63	ŞANLIURFA	791	443		1039	546	671	1061	616	620	641	721	272	360	1078	728	720	1202	1010	197	262	1031	1137
64	UŞAK	1119	1190	1039		1535	590	527	480	1148	451	450	1311	1399	614	1463	1540	375	558	936	777	414	382
65	VAN	706	469	546	1535		1019	1434	1055	535	1187	1146	298	355	1403	453	225	1591	1334	743	808	1420	1526
66	YOZGAT	602	603	671	590	1019		484	222	599	433	140	803	985	484	887	953	625	415	594	563	454	560
67	ZONGULDAK	835	965	1061	527	1434	484		498	923	642	344	1267	1421	87	1179	1315	284	100	984	852	113	219
68	AKSARAY	770	722	616	480	1055	222	498		726	211	210	839	976	515	1011	1077	635	447	513	354	468	570
69	BAYBURT	179	260	620	1148	535	599	923	726		874	698	497	663	892	350	416	1080	823	796	801	909	1015
70	KARAMAN	918	870	641	451	1187	433	642	211	874		364	913	1001	659	1159	1225	663	591	538	379	612	665
71	KIRIKKALE	669	740	721	450	1146	140	344	210	698	364		930	1081	361	1013	1090	485	293	644	564	314	420
72	BATMAN	668	338	272	1311	298	803	1267	839	497	913	930		182	1236	605	472	1411	1167	469	534	1240	1346
73	ŞIRNAK	834	520	360	1399	355	985	1421	976	663	1001	1081	182		1418	686	529	1562	1349	557	622	1391	1497
74	BARTIN	804	934	1078	614	1403	484	87	515	892	659	361	1236	1418		1148	1284	371	89	1001	869	200	306
75	ARDAHAN	344	468	728	1463	453	887	1179	1011	350	1159	1013	605	686	1148		228	1363	1079	925	956	1192	1298
76	İĞDIR	569	534	720	1540	225	953	1315	1077	416	1225	1090	472	529	1284	228		1472	1215	917	982	1301	1407
77	YALOVA	1019	1122	1202	375	1591	625	284	635	1080	663	485	1411	1562	371	1363	1472		350	1125	989	171	65
78	KARABÜK	735	865	1010	558	1334	415	100	447	823	591	293	1167	1349	89	1079	1215	350		933	801	179	285
79	KİLİS	885	536	197	936	743	594	984	513	796	538	644	469	557	1001	925	917	1125	933		159	954	1060
80	OSMANİYE	854	541	262	777	808	563	852	354	801	379	564	534	622	869	956	982	989	801	159		822	924
81	DÜZCE	848	951	1031	414	1420	454	113	468	909	612	314	1240	1391	200	1192	1301	171	179	954	822		106
82	KAL. BİRİMİ	954	1057	1137	382	1526	560	219	570	1015	665	420	1346	1497	306	1298	1407	65	285	1060	924	106	

KAYNAKLAR

Albareda-Sambola, M., J. A. Díaz and E. Fernández. (2005). “A Compact Model and Tight Bounds for a Combined Location-Routing Problem”. *Computers and Operations Research*, 32 (3), 407-428.

Alumur, S. A. and B. Y. Kara. (2008). “Network Hub Location Problems: The State of the Art”. *European Journal of Operational Research*, 190 (1), 1-21.

Alumur, S. A. (2009). *Hub Location and Hub Network Design*. Bilkent University Institute of Engineering and Sciences, PhD Thesis. Ankara.

Alpaslan, M. (2015). *Araç Rotalama Problemleri İçin Matematiksel Modeller ve Çözüm Yöntemleri*. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir.

Apte, U. M. and S. Viswanathan. (2000). “Effective Cross Docking for Improving Distribution Efficiencies”. *International Journal of Logistics*, 3 (3), 291-302.

Bakanay, U. (2002). *Müşteri-Üretim-Tedarikçi Zincirinde Malzeme Akışının Yeniden Düzenlenmesi ve Otomotiv Sanayinde Uygulanması*. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.

Bastı, M. (2012). “p-Medyan Kuruluş Yeri Seçim Probleminin Çözümünde Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması Yaklaşımı”. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 41 (2), 241-257.

Bektaş, T. (2006). “The Multiple Traveling Salesman Problem: An Overview of Formulations and Solution Procedures”. *Omega*, 34 (3), 209-219.

Bektaş, O. K. (2010). *Yalın Lojistikte Döngüsel Sefer, Çapraz Havuzlama Sistemleri ve Uygun Tekniğin Fayda-Maliyet Analiziyle Seçilmesi*. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.

Belle, V. J., P. Valckenaers and D. Cattrysse. (2012). “Cross-docking: State of the Art”. *Omega*, 40 (6), 827-846.

Bellmore, M. and Nemhauser G. L. (1966). “The Travelling Salesman Problem: A Survey”. *Operations Research*, 16 (3), 538-558.

Benders, J.F. (1962). “Partitioning Procedures for Solving Mixed-Variables Programming Problems”. *Numerische Mathematik*, 4, 238-252.

Berger, R. T., C. R. Coullard and M. S. Daskin. (2007). “Location-Routing Problems with Distance Constraints”. *Transportation Science*, 41 (1), 29-43.

Bilginer, N. ve A. Kayabaşı. (2007). “İşletmelerin Lojistik Faaliyetlerinin Rekabetçi Perspektifte Değerlendirilmesi: Üretim İşletmeleri Üzerine Bir Uygulama”. *Ege Akademik Bakış Dergisi*, 7 (2), 629-644.

Boventer, E. (1961). “The Relationship Between Transportation Costs and Location Rent in Transportation Problems”. *Journal of Regional Science*, 3 (2), 27-40.

Campbell, J. F. (1992). “Location-Allocation for Distribution to a Uniform Demand with Transshipments”. *Naval Research Logistics*, 39, 635-649.

Campbell, J. F. (1994). “Integer Programming Formulations of Discrete Hub Location-Problems”. *European Journal of Operational Research*, 72 (2) , 387-405.

Chopra, S. ve P. Meindl. (2017). *Tedarik Zinciri Yönetimi Strateji, Planlama ve Operasyon*. (6. Basımdan Çev. Doç. Dr. Emrah Bulut). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.

Church, R. and C. ReVelle. (1974). “The Maximal Covering Location Problem”. *Papers of the Regional Science Association*, 32, 101-118.

Clarke, G., Wright, J. W. (1964). "Scheduling of Vehicles From a Depot to a Number of Delivery Points". *Operations Research*, 12, 568-581.

Crainic, T.G. and G. Laporte. (1997). "Planning Models for Freight Transportation". *European Journal of Operational Research*, 97, 409-438.

Current, J., M.S. Daskin and D. Schilling. (2001). Discrete Network Location Model. Z. Drezner and H.W. Hamacher (Ed.), *Facility Location: Applications and Theory* içinde (ss. 83-120). Heidelberg, Germany. Springer-Verlag. 1. baskı.

Çetiner, S., C. Sepil and H. Süral. (2010). "Hubbing and Routing in Postal Delivery Systems". *Annals of Operations Research*, 181, 109-124.

Çevre, U. (2008). *Çoklu Gezgin Satıcı Probleminin Çözümü İçin Bir Eniyileme Kütüphanesinin Tasarımı ve Görsel Yazılım Geliştirme Ortamı ile Birlikte Gerçekleştirimi*. Ege Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. İzmir.

Dantzig, G., R. Fulkerson and S. Johnson. (1954). "Solution of a Large-Scale Traveling-Salesman Problem". *Journal of the Operations Research Society of America*, 2 (4), 393-410.

Dantzig, G. and J. H. Ramser. (1959). "The Truck Dispatching Problem". *Management Science*, 6 (1), 80-91.

Daskin, M. (1995). *Network and Discrete Location* (First edition). Newyork: A Wiley-Interscience Publication.

De Camargo, R. S., G. De Miranda and A. Løkketangen. (2013). "A New Formulation and an Exact Approach for the Many-to-Many Hub Location-Routing Problem". *Applied Mathematical Modelling*, 37 (12), 7465-7480.

Demirtaş, Y. E. (2015). *Dinamik Araç Rotalama Problemine Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması Çözüm Önerisi*. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı. Doktora Tezi. İstanbul.

Durak, M. Y. (2015). *Tedarik Süreçlerinde Döngüsel Sefer Sistemlerinin Yol ve Kapasite Ölçütlerine Dayalı Modellenmesi ve Uygulanması*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.

Ernst, A.T., H. Jiang, M. Krishnamoorthy and D. Baatar. (2016, November). “Reformulations and Computational Results for the Uncapacitated Single Allocation Hub Covering Problem”. *Proceedings of the National Conference of the Australian Society for Operations Research*, Canberra, Australia.

Erol, V. (2006). *Araç Rotalama Problemleri İçin Populasyon ve Komsuluk Tabanlı Metasezgisel Bir Algoritmanın Tasarımı ve Uygulanması*. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.

Ertürk, Mümin (1995). *İşletmelerde Yönetim ve Organizasyon* (1. Baskı). İstanbul: Beta Yayınevi.

Farahani, R. Z., M. Hekmatfar, A. B. Arabani and E. Nikbakhsh. (2013). “Hub Location Problems: A Review of Models, Classification, Solution Techniques, and Applications”. *Computers and Industrial Engineering*, 64 (4), 1096-1109.

Floudas, C. A. and P. M. Pardalos. (2008). *Encyclopedia of Optimization* (Second Edition). New York: Springer.

Görçün, Ömer Faruk (2016). *Tedarik Zinciri Yönetimi* (3. Baskı). İstanbul: Beta Basım Yayım.

Hakimi, S. (1964). “Optimum Location of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph”. *Operations Research*, 12, 450-459.

Hakimi, S. (1965). "Optimum Location of Switching Centers in a Communications Network and Some Related Graph Theoretic Problems". *Operations Research*, 13, 462-475.

Hemmelmayr, V. C., K. F. Doerner and R. F. Hartl. (2009). "A Variable Neighborhood Search Heuristic for Periodic Routing Problems". *European Journal of Operational Research*, 195 (3), 791-802.

Ho, W., G. T. S. Ho., P. Ji and H. C. W. Lau. (2008). "A Hybrid Genetic Algorithm for The Multi-Depot Vehicle Routing Problem". *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 21 (4), 548-557.

Izquierdo, C. E., A. Rossi and M. Sevaux. (2013, February). "Modeling and Solving the Clustered Capacitated Vehicle Routing Problem". *Proceedings of the 14th EU/ME Workshop*, Hamburg, Germany.

Jamshidi, M. (2009). Median Location Problem. R.Z. Farahani ve M. Hekmatfar (Ed.), *Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies* içinde (ss. 177-191). Heidelberg, Germany. Physica-Verlag. 1. baskı.

Jin, M., K. Liu and B. Ekşioğlu. (2008) "A Column Generation Approach for the Split Delivery Vehicle Routing Problem". *Operations Research Letters*, 36 (2), 265-270.

Kara, B.Y. and B. C. Tansel. (2003). "The Single-Assignment Hub Covering Problem: Models and Linearizations". *Journal of the Operational Research Society*, 54 (1), 59-64.

Kara, İ. and T. Bektaş. (2006). "Integer Linear Programming Formulations of Multiple Salesman Problems and its Variations". *European Journal of Operational Research*, 174 (3), 1449-1458.

Karaoğlu, İ., F. Altıparmak, İ. Kara and B. Dengiz. (2012). “The Location-Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery: Formulations and A Heuristic Approach”. *Omega*, 40 (4), 465-477.

Kartal, Z. (2014). *Bütünleşik Ana Dağıtım Üssü Belirleme ve Araç Rotalama Problemlerinin Modellenmesi ve Çözüm Önerileri*. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Doktora Tezi. Eskişehir.

Karimi, H. (2018). “The Capacitated Hub Covering Location-Routing Problem for Simultaneous Pickup and Delivery Systems”. *Computers & Industrial Engineering*, 116, 47-58.

Keskintürk, T. (2009). *Araç Rotalama Problemlerinin Global Karınca Koloni Optimizasyonu ile Çözümü*. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı. Doktora Tezi. İstanbul.

Kısakol, B. E. (2015). *Acil Sağlık Hizmetleri İstasyonlarının Yerleşim Probleminin Küme Kapsama ve Medyan Modeli Yaklaşımı ile Değerlendirilmesi: Manisa İl Merkezi İçin Bir Uygulama*. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir.

Kocabaş, D. (2014). *Yalın Lojistik ve Değer Akışı Haritalandırma Yöntemi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.

Koç, Ç. (2012). *Zaman Bağımlı Araç Rotalama Problemi*. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Konya.

Kuby, M. (1987). “The P-Dispersion and Maximum Dispersion Problems”. *Geographical Analysis*, 19, 315-329.

Kulwiec, R. (2004). “Crossdocking as a Supply Chain Strategy”. *Target*, 20 (3), 28-35.

Kurtcan, E. (2009). *Yalın Lojistik Tabanlı Sistemin Bağımsızlık ve Bilgi Aksiyomları Kullanılarak Tasarlanması ve Bir Firma Uygulaması*. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Doktora Tezi. İstanbul.

Laporte, G. and Y. Nobert. (1981). "An Exact Algorithm for Minimizing Routing and Operating Costs in Depot Location". *European Journal of Operational Research*, 6 (2), 224-226.

Laporte, G., Y. Nobert and P. Pelletier. (1983). "Hamiltonian Location Problems". *European Journal of Operational Research*, 12 (1), 82-89.

Laporte, G., Y. Nobert and D. Arpin. (1986). "An Exact Algorithm For Solving a Capacitated Location-Routing Problem". *Annals of Operations Research*, 6, 293-310.

Laporte, G., Y. Nobert and S. Taillefer. (1988). "Solving a Family of Multi-Depot Vehicle Routing and Location-Routing Problems". *Transportation Science*, 22 (3), 161-172.

Laporte, G. (1992). "The Vehicle Routing Problem: An Overview of Exact and Approximate Algorithms". *European Journal of Operational Research*, 59 (3), 345-358.

Li, F., B. Golden and E. A. Wasil. (2007). "The Open Vehicle Routing Problem: Algorithms, Large-Scale Test Problems, and Computational Results". *Computers and Operations Research*, 34 (10), 2918-2930.

Liker, J. K. ve K. Ross. (2012). *Toyota Tarzı Hizmette Mükemmellik*. (Çev. Ayşe Soydan) İstanbul: Optimist Yayınları.

Lin, S-W., Z-J. Lee, K-C. Ying and C-Y Lee. (2009). "Applying Hybrid Meta-Heuristics for Capacitated Vehicle Routing Problem," *Expert Systems with Applications*, 36 (2), 2009, 1505-1512.

Liu, S., M. Leat., J. Moizer., P. Megicks and D. Kasturiratne. (2013). “A Decision Focused Knowledge Management Framework to Support Collaborative Decision Making for Lean Supply Chain Management”. *International Journal of Production Research*, 51 (7), 2123-2130.

Lopes; M. C., C. E. De Andrade, T. A. De Queiroz, M. G. C. Resende and F. K. Miyazawa. (2016). “Heuristics for a Hub Location-Routing Problem”. *Networks*, 68 (1), 54-90.

Madsen, O. B. (1983). “Methods for Solving Combined Two Level Location-Routing Problems of Realistic Dimensions”. *European Journal of Operational Research*, 12 (3), 295-301.

Matai, R., S. P. Singh and M. L. Mittal. (2010). Travelling Salesman Problem: An Overview of Applications, Formulations and Solution Approaches. D. Davendra (Ed.), *Travelling Salesman Problem, Theory and Applications* içinde (ss. 1-24). Croatia, InTech Publisher. 1. baskı.

Moghadam, S. S., S. M. T. F. Ghomi and B. Karimi. (2014). “Vehicle Routing Scheduling Problem with Cross Docking and Split Deliveries”. *Computers and Chemical Engineering*, 69, 98-107.

Mol, M. J. and J. Birkinshaw (2008). *Giant Steps in Management: Creating Innovations that Change the Way We Work* (First edition). New York: Prentice-Hall.

Mucuk, İsmet (2003). *Modern İşletmecilik* (14. Baskı). İstanbul: Türkmen Kitabevi.

Nadizadeh, Ali. and H. H. Nasab. (2019). “Modelling and Solving the Capacitated Location-Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery Demands”. *International Journal of Transportation Engineering*, 6 (3), 217-235.

Nagy, G. and S. Salhi. (1998). “The Many-to-Many Location-Routing Problem”. *Sociedad de Estadística e Investigación Operativa Top*, 6 (2), 261-275.

Nagy, G. and S. Salhi. (2007). "Location-Routing: Issues, Models and Methods". *European Journal of Operational Research*, 177 (2), 649-672.

Nebol, Erdal (2016). *Tedarik Zinciri ve Lojistik Yönetimi* (1. Baskı). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.

O'Kelly, M. E. (1986). "The Location of Interacting Hub Facilities". *Transportation Science*, 20 (2) , 92-106.

O'Kelly, M. E. (1987). "A Quadratic Integer-Program for the Location of Interacting Hub Facilities". *European Journal of Operational Research*, 32 (3), 393-404.

O'Kelly, M. E. (1992). "Hub Facility Location with Fixed Costs". *Papers in Regional Science*, 71, 293-306.

Owen, S. H. and M. S. Daskin. (1998). "Strategic Facility Location: A Review". *European Journal of Operational Research*, 111 (3), 423-447.

Özalp, M. M. (2013). *Lojistik Yönetiminde Yalın Düşünce ile Sistem Tasarımı ve Bir Uygulama*. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.

Özen, İ. (2015). "Yalın Düşünce Uygulaması: Hastanelerde Değer Katmayan Faaliyetlerin Ortadan Kaldırılması". *Öneri Dergisi*, 11 (44), 205-219.

Öztürk, Ahmet (2016). *Yöneylem Araştırması* (16. Baskı). Bursa: Ekin Yayınevi.

Perl, J. and M. S. Daskin. (1985). "A Warehouse Location-Routing Problem". *Transportation Research Part B: Methodological*, 19 (5), 381-396.

Rahmani, Y., W. R. Cherif-Khettaf and A. Oulamara. (2016) "The Two-Echelon Multi-Products Location-Routing Problem with Pickup and Delivery: Formulation and

Heuristic Approaches". *International Journal of Production Research*, 54 (4), 999-1019.

Rardin, R. L. (1998). *Optimization in Operations Research* (First edition). New Jersey: Prentice Hall.

Rodríguez-Martín, I., J-J. Salazar-González and H. Yaman. (2014). "A Branch-and-Cut Algorithm for the Hub Location and Routing Problem". *Computers & Operations Research*, 50, 161-174.

Serper, E. Z. (2014). "Maliyet Odaklı Ana Dağıtım Üssü Yer Seçimi ve Kapasiteli İntermodal Ana Dağıtım Üssü Ağları Tasarımı". TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Ankara.

Stalk, G., P. Evans and L. E. Shulman. (1992). "Competing on Capabilities: The New Rules of Corporate Strategy". *Harvard Business Review*, 70 (2), 57-69.

Sürmen, Y. ve Aygün, D. (2006). "Türkiye’de Lojistik Faaliyetler ve Muhasebe İşlemleri-I". *MUFAD Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 30, 54-55.

Şeker, A. (2016). "Yalın Üretim Sisteminde Kanban, Tek Parça Akışı ve U Tipi Yerleştirme Sistemleri". *The Journal of Academic Social Science Studies*, 50, 449-470.

Şen, T. (2014). "Kümeleme ve Genetik Algoritma Destekli Yaklaşımlarla Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Probleminin Çözümü: Perakende Zincirinde Uygulanması". Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya.

Sule, D. R. (2001). *Logistics of Facility Location and Allocation* (First edition). New York: Marcel Dekker.

Tan, K. C. (2001). "A Framework of Supply Chain Management Literature". *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 7 (1), 39-48.

Ting, C. J. and C. H. Chen. (2013). "A Multiple Ant Colony Optimization Algorithm for the Capacitated Location Routing Problem". *International Journal of Production Economics*, 141 (1), 34-44.

Toregas, C., R. Swain., C. ReVelle and L. Bergman. (1971). "The Location of Emergency Service Facilities". *Operations Research*, 19 (6), 1363-1373.

Toth, P. and D. Vigo. (2002). *The Vehicle Routing Problem* (First edition). Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.

Türkan, Ö. U. (2010). "Üretimde Yalın Dönüşümün Temel Performans Kriterleri". *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12 (2), 28-41.

Tuzun, D. and L. I. Burke. (1999). "A Two-Phase Tabu Search Approach to the Location Routing Problem". *European Journal of Operational Research*, 116 (1), 87-99.

Ülgen, H. ve S. K. Mirze. (2016). *İşletmelerde Stratejik Yönetim* (8. Baskı). İstanbul: Beta Basım Yayım.

Vidal, T., M. Battarra, A. Subramanian and G. Erdoğan. (2015). "Hybrid Metaheuristics for the Clustered Vehicle Routing Problem". *Computers & Operations Research*, 58, 87-99.

Wasner, M. and G. Zäpfel. (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.

Wee, H. M. and S. Wu. (2009). “Lean Supply Chain and its Effect on Product Cost and Quality: A Case Study on Ford Motor Company”. *Supply Chain Management*, 14 (5), 335-341.

Wen, M., J. Larsen, J. Clausen, JF. Cordeau and G. Laporte. (2009). “Vehicle Routing with Cross-Docking”. *Journal of The Operational Research Society*, 60 (12), 1708-1718.

Womack, J. P., D. T. Jones and D. Ross. (1990). *The Machine that Changed The World* (1st ed.). New York: Rawson Associates.

Womack, J. P. ve D. T. Jones. (2017). *Yalın Düşünce*. (Çev. Oygur Yamak) İstanbul: Optimist Yayınları.

Wu, T. H., C. Low and J. W. Bai. (2002). “Heuristic Solutions to Multi-Depot Location-Routing Problems”. *Computers and Operations Research*, 29 (10), 1393-1415.

Yaman, H. (2011). “Allocation Strategies in Hub Networks”. *European Journal of Operational Research*, 211 (3), 442-451.

Yaman, H. and S. Elloumi. (2012). “Star P-Hub Center Problem and Star P-Hub Median Problem with Bounded Path Lengths”. *Computers and Operations Research*, 39 (11), 2725-2732.

Yu, F. V. and S. Y. Lin. (2015). “A Simulated Annealing Heuristic for the Open Location-Routing Problem”. *Computers and Operations Research*, 62, 184-196.

Yurtdaş, H. (2018). *Çapraz Sevkiyatta Araç Rotalama Problemi İçin Bir Sezgisel Çözüm Yaklaşımı*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Doktora Tezi. Ankara.

Yücel, A. (2016). *Mesafe Kısıtlı Çok Yönlü Kümelenmiş Açık Araç Rotalama Probleminin Genetik Algoritma ile Çözümü ve Bir Uygulama*. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı. Doktora Tezi. İstanbul.

Zachariadis, E. E. and C. T. Kiranoudis. (2012). "An Effective Local Search Approach for the Vehicle Routing Problem with Backhauls". *Expert Systems with Applications*, 39 (3), 3174-3184.

<https://lean.org.tr/yalin-dusunce-nedir/> (Erişim tarihi: 25.12.2018)

<http://tdk.gov.tr/> (Erişim tarihi: 26.12.2018)

<http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Uzakliklar/illerArasiMesafe.aspx> (Erişim tarihi: 22.11.2019)

https://www.cscmp.org/CSCMP/Academia/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx (Erişim tarihi: 03.03.2020)

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Erkan ASLANTAŞ

Uyruğu: Türkiye (TC)

Doğum Tarihi ve Yeri: 1978, Kırşehir

Medeni Durumu: Evli

Tel: 444 61 00 / 23802

Faks: +90 352 231 10 08

E-mail: 4030531723@erciyes.edu.tr

Yazışma Adresi: Kayseri Sanayi ve Teknoloji İl Müdürlüğü, Gevhernesibe Mah. Tekin Sok. Kocasinan Belediye Binası 4. Katı, 38010 Kocasinan/KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Tezsiz Yüksek Lisans	Sakarya Üni. Fen Bilimleri Ens. (Yönetim Bilişim Sistemleri)	2013
Lisans	AÖF İktisat	2011
-	Hava Tek. Okullar Komutanlığı	1995
Lise	Kartal Merkez E.M. L. / Kayseri	1994

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2011 - Halen	Kayseri Sanayi ve Teknoloji İl Md.	Araştırmacı
2010 - 2011	Mekosan Ltd. Şti.	Kalite Kontrol
1994 - 2009	Hava Kuvvetleri Komutanlığı	Astsubay

YABANCI DİL

İngilizce