

**FARKLI SERVİS TIPLERİ İÇİN ANA DAĞITIM ÜSSÜ YER SEÇİMİ  
VE KAPASİTELİ İNTERMODAL ANA DAĞITIM ÜSSÜ AĞLARI  
TASARIMI**

**SALİHA ALTUNTAŞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NİSAN 2014**

**ANKARA**

Fen Bilimleri Enstitü onayı

---

Prof. Dr. Necip CAMUŐCU

Müdü

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığımı onaylarım.

---

Prof. Dr. Tahir KHANIYEV

Anabilim Dalı Başkanı

SALIHA ALTUNTAŞ tarafından hazırlanan FARKLI SERVİS TİPLERİ İÇİN ANA DAĞITIM ÜSSÜ YER SEÇİMİ VE KAPASİTELİ İNTERMODAL ANA DAĞITIM ÜSSÜ AĞLARI TASARIMI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

---

Yrd. Doç. Dr. Sibel ALUMUR ALEV

Tez Danışmanı

Tez Jüri Üyeleri

Başkan: Yrd.Doç.Dr.Ayşegül ALTIN KAYHAN \_\_\_\_\_

Üye: Yrd.Doç.Dr.A. Murat ÖZBAYOĞLU \_\_\_\_\_

Üye: Yrd. Doç. Dr. Sibel ALUMUR ALEV \_\_\_\_\_

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

SALIHA ALTUNTAŞ

**Üniversitesi** : TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi  
**Enstitüsü** : Fen Bilimleri  
**Anabilim Dalı** : Endüstri Mühendisliği  
**Tez Danışmanı** : Yrd. Doç. Dr. Sibel ALUMUR ALEV  
**Tez Türü ve Tarihi** : Yüksek Lisans – Nisan 2014

**SALİHA ALTUNTAŞ**

**FARKLI SERVİS TİPLERİ İÇİN ANA DAĞITIM ÜSSÜ YER SEÇİMİ VE  
KAPASİTELİ İNTERMODAL ANA DAĞITIM ÜSSÜ AĞLARI TASARIMI**

**ÖZET**

Bu çalışmada, farklı servis tiplerine hizmet verebilmek için farklı ulaşım yolları ve farklı tip araçları göz önüne alan ana dağıtım üssü (ADÜ) yer seçimi ve ADÜ ağı tasarımı problemleri ele alınmaktadır. Bu kapsamda, üç farklı problem tanımlanmıştır. Birinci problemin amacı belirli servis seviyelerini sağlarken toplam maliyeti en küçükmek, ikinci problemin amacı toplam kârı en büyüleyecek şekilde talep noktaları arasında verilecek olan servis seviyelerini belirlemek, üçüncü problemin amacı ise belirli bir bütçe ile VIP hizmeti alan toplam talep miktarını en büyükmektir. Her bir problemde ADÜ'lerin yerlerine, talep noktalarının atanacağı ADÜ'lere, farklı servis tipleri için ADÜ'ler arasındaki bağlantılarda kullanılacak ulaşım yoluna, araç tipine ve her araç tipi için araç sayısına karar verilmektedir. Her bir problem için karışık tamsayılı bir matematiksel model oluşturulmuş ve farklı çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. Oluşturulan matematiksel modeller ve geliştirilen sezgisel yöntemler CPLEX ticari çözücüsü kullanılarak Türkiye veri kümesi üzerinde test edilmiştir. Türkiye veri kümesindeki problem parametreleri Türkiye'de hizmet veren üç büyük kargo şirketi ile yapılan görüşmeler sonucu belirlenmiştir. Önerilen sezgisel yöntemler ile elde edilen sonuçlar optimal çözümlerle kıyaslanarak analiz edilmiştir. Ayrıca, problem parametrelerindeki değişimin sezgisel yöntemler üzerindeki etkilerini görebilmek amacı ile istatistiksel bir analiz gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** ADÜ yer seçimi, ADÜ ağı tasarımı, servis ağı tasarımı, intermodal taşımacılık ağları.

**University** : TOBB University of Economics and Technology  
**Institute** : Institute of Natural and Applied Sciences  
**Science Programme** : Industrial Engineering  
**Supervisor** : Assist. Prof. Sibel ALUMUR ALEV  
**Degree Awarded and Date** : M.Sc. – April 2014

**SALIHA ALTUNTAŞ**

**HUB LOCATION AND THE DESIGN OF CAPACITATED INTERMODAL  
HUB NETWORKS WITH DIFFERENT SERVICE TYPES**

**ABSTRACT**

In this thesis, we study hub location and hub network design problems considering different transportation modes and different types of vehicles to serve different types of services. We propose three different problems in this regard. The objective of the first problem is to minimize total costs while providing predetermined service levels, the objective of the second problem is to maximize total profits while determining the service levels to be provided between origin-destination pairs, and the objective of the third problem is to maximize total demand of VIP service to be accepted considering a predetermined budget. All of the problems determine the location of hubs, the allocation of demand nodes to hubs, which hub links to establish, and how many vehicles of which type to operate on hub links to route the demand for different service types between given origin-destination pairs. For each problem, a mixed integer mathematical model is developed and different solution methods are proposed. Turkish network data set and the commercial solver CPLEX are used to solve the mathematical models and test the proposed heuristic methods. The values of the problem parameters on the Turkish network data set are determined based on the interviews made with the three largest cargo companies operating in Turkey. The results obtained by using the proposed heuristic methods are compared with the optimal solutions. In addition, a statistical analysis is conducted to observe the effects of changes in various problem parameters on the proposed heuristics.

**Keywords:** hub location, hub network design, service network design, intermodal transportation networks.

## TEŞEKKÜR

Çalışma boyunca bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren, ilgi ve desteğini asla esirgemeyen, bu çalışmayı tamamlamamda büyük katkıları olan tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Sibel ALUMUR ALEV'e, tez jürisinde bulunmayı kabul edip tezimi değerlendiren değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Ayşegül ALTIN KAYHAN ve Yrd. Doç. Dr. Murat ÖZBAYOĞLU'na, bu süreçte bana karşı sonsuz sabır ve anlayışla yaklaşan, maddi manevi tüm desteği ile beni hiç yalnız bırakmayan başta ablam Melike ALTUNTAŞ olmak üzere tüm aileme, yazma sürecinde bana olan güveni ile hep yanımda olduğunu hissettiğim Fırat ÖZBAY'a, iyi günümde kötü günümde hep yanımda olan, beraber gülüp beraber ağladığım çok sevdiğim dostlarım Fatma İŞLER, Tuğba YILMAZ, Büşra ÖLÇENKOL ve Buğra ERSÜ'ye ve tüm asistan arkadaşlarıma, tüm içtenliği ile yanımda olan, bu süreçteki sitemlerimi hep anlayışla karşılayan sevgili iş arkadaşlarım Zeynep BAYEZİT ve Mürşide ÇALIŞIR'a, 111M553 numaralı proje kapsamında çalışmalarımı destekleyen TÜBİTAK'a ve bu proje kapsamında beraber çalıştığım, yardımlarını ve arkadaşlığını hiçbir zaman benden esirgemeyen Elif Zeynep SERPER'e teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	ix
TABLoların LİSTESİ.....	x
EKLERİN LİSTESİ.....	xi
1 GİRİŞ.....	1
2 GERÇEK HAYAT GÖZLEMLERİ.....	4
2.1 Aras Kargo.....	5
2.2 Yurtiçi Kargo.....	6
2.3 MNG Kargo.....	7
2.4 Sentez.....	8
3 LİTERATÜR TARAMASI.....	13
3.1 ADÜ Yer Seçimi.....	13
3.2 ADÜ Yer Seçimi ve ADÜ Ağı Tasarımı.....	16
3.3 ADÜ Yer Seçimi ve Intermodal ADÜ Ağları Tasarımı.....	19
3.4 Servis Ağı Tasarımı.....	21
3.5 Sentez.....	22
4 PROBLEM TANIMLARI VE MATEMATİKSEL MODELLER.....	24
4.1 Problem 1.....	27
4.2 Problem 2.....	29
4.3 Problem 3.....	34
5 ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ.....	36
5.1 Problem 1.....	36
5.1.1 Değişken Sabitleme Yöntemi.....	36
5.1.2 Geçerli Eşitsizlikler.....	38
5.1.3 $z_{ij}^v$ Gevşetmeli Sezgisel Çözüm Yöntemi.....	38
5.1.4 Kaplama Problemi Bazlı Sezgisel Çözüm Yöntemi.....	39
5.2 Problem 2.....	40
5.2.1 Değişken Sabitleme Yöntemi.....	41

5.2.2	$z_{ij}^v$ Gevşetmeli Sezgisel Çözüm Yöntemi	42
5.2.3	Kaplama Problemi Bazlı Sezgisel Çözüm Yöntemi	42
5.2.4	Problem 1 Bazlı Sezgisel Çözüm Yöntemi	44
5.3	Problem 3 .....	44
5.3.1	Değişken Sabitleme Yöntemi	45
5.3.2	Kaplama Problemi Bazlı Sezgisel Çözüm Yöntemi	45
6	ÇÖZÜM YÖNTEMLERİNİN TÜRKİYE VERİSİ ÜZERİNDE UYGULAMASI.....	46
6.1	Problem Parametreleri .....	46
6.2	Problem 1 .....	50
6.2.1	Değişken Sabitleme Yöntemi	50
6.2.2	Geçerli Eşitsizlikler	52
6.2.3	$z_{ij}^v$ Gevşetmeli Sezgisel Çözüm Yöntemi	56
6.2.4	Kaplama Problemi Bazlı Sezgisel Çözüm Yöntemi	57
6.3	Problem 2 .....	58
6.3.1	Değişken Sabitleme Yöntemi	59
6.3.2	$z_{ij}^v$ Gevşetmeli Sezgisel Çözüm Yöntemi	61
6.3.3	Kaplama Problemi Bazlı Sezgisel Çözüm Yöntemi	63
6.3.4	Problem 1 Bazlı Sezgisel Çözüm Yöntemi	65
6.4	Problem 3 .....	69
6.4.1	Değişken Sabitleme Yöntemi	69
6.4.2	Kaplama Problemi Bazlı Sezgisel Çözüm Yöntemi	71
6.5	Türkiye Verisi ile Örnek bir Çözüm.....	73
6.6	İstatistiksel Analiz .....	77
6.7	Sonuçlar ve Değerlendirme .....	82
7	SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR.....	85
	KAYNAKLAR .....	89
	ÖZGEÇMİŞ .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b> 2
	EKLER.....	923



## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 4.1: Örnek bir çözüm .....	34
Şekil 6.1: Problem 1 için örnek çözüm .....	74
Şekil 6.2: Problem 2 için örnek çözüm .....	75
Şekil 6.3: Problem 3 için örnek çözüm .....	76

## TABLULARIN LİSTESİ

Tablo 2.1: Kargo şirketlerinin transfer merkezi yerlerinin karşılaştırılması.....	10
Tablo 6.1: Problem parametreleri .....	47
Tablo 6.2: Farklı araç tiplerine ait kapasite ve yakıt maliyetleri.....	48
Tablo 6.3: Problem 1 için optimal çözümde değişken sabitleme yönteminin çözüm sürelerine olan etkisi .....	51
Tablo 6.4: Problem 1 için optimal çözümde (GE 1) ve (GE 2)'nin çözüm sürelerine olan etkisi .....	53
Tablo 6.5: (GE 1) ve (GE 2)'nin eklenmesi ile elde edilen LP gevşetmesi değerlerinin optimal değere olan uzaklıklarının karşılaştırılması.....	55
Tablo 6.6: Problem 1 için $z_{ij}^v$ gevşetmeli sezgisel çözümün performansı .....	56
Tablo 6.7: Problem 1 için kaplama problemi bazlı sezgisel çözümün performansı ..	58
Tablo 6.8: Problem 2 için değişken sabitleme yönteminin optimal çözüm sürelerine olan etkisi .....	60
Tablo 6.9: Problem 2 için $z_{ij}^v$ gevşetmeli sezgisel çözümün performansı .....	62
Tablo 6.10: Problem 2 için kaplama problemi bazlı sezgisel çözümün performansı	64
Tablo 6.11: Problem 2 için Problem 1 bazlı sezgisel çözümün performansı.....	66
Tablo 6.12: Problem 1 ve Problem 2'nin optimal çözümlerinde kurulan ADÜ'lerin yerlerinin karşılaştırılması.....	68
Tablo 6.13: Problem 3 için değişken sabitleme yönteminin optimal çözüm sürelerine olan etkisi .....	70
Tablo 6.14: Problem 3 için kaplama problemi bazlı sezgisel çözümün performansı	72
Tablo 6.15: Problem 1 parametreleri için $p$ -değerleri.....	78
Tablo 6.16: Problem 2 parametreleri için $p$ -değerleri.....	80
Tablo 6.17: Problem 3 parametreleri için $p$ -değerleri.....	82
Tablo 6.18: Problem 1, 2 ve 3 için uygulanan yöntemlerin performansı.....	83

## **EKLERİN LİSTESİ**

EK 1: Türkiye’de bazı iller arasında dosya taşımacılığında ücret (TL) ve süre (saat) karşılaştırılması (Mayıs 2013 itibari ile) ..... **Error! Bookmark not defined.**

# 1 GİRİŞ

Ana dağıtım üsleri (ADÜ) çoklu dağıtım ağlarında aktarma, ayırma, birleştirme gibi işlemleri gerçekleştirmektedir. Talep noktaları arasındaki akış ADÜ'lerde toplanarak taşınmakta, bu sayede ölçek ekonomilerinden faydalanılmaktadır. ADÜ'ler ile telekomünikasyon, kargo taşımacılığı, havayolu yolcu taşımacılığı ağlarında karşılaşılmaktadır. Bu tez kapsamında kargo taşımacılığı sektöründeki ADÜ yer seçimi ve ADÜ ağı tasarımı problemleri ele alınmaktadır.

ADÜ yer seçimi problemlerinde ADÜ yerlerine ve talep noktalarının atanacağı ADÜ'lere karar verilmektedir. Literatürde, ADÜ yer seçimi kararlarının yanında ADÜ ağının tasarımı kararlarını içeren problemler de bulunmaktadır. Bu problemlerde hangi ADÜ'ler arasında bağlantı kurulacağına ve ADÜ'ler arasındaki akışın rotasına da karar verilmektedir.

Kargo taşımacılığı sektöründeki ADÜ ağlarının yapılarını ve işleyişlerini daha iyi inceleyebilmek adına Aras Kargo, MNG Kargo ve Yurtiçi Kargo olmak üzere Türkiye'de hizmet veren üç büyük kargo şirketine ziyaretler gerçekleştirilmiştir. Bu ziyaretlerde, kargo şirketlerinin genel işleyişi hakkında bilgi edinilmiştir. Her bir kargo şirketinin sahip olduğu ADÜ sayısı, ADÜ yerleri ve ADÜ ağlarının işleyiş prensipleri öğrenilmiştir.

Kargo taşımacılığı sektöründeki ağlar incelendiğinde ADÜ'ler arasında birden fazla bağlantı tipi bulunduğu ve bu bağlantılarda farklı tip araçların işletildiği görülmüştür. Ayrıca, kargo şirketlerinin farklı servis tiplerinde hizmet verdiği gözlemlenmiştir. ADÜ ağlarında talep noktaları arasındaki akışın ADÜ'lerde toplanması ile ölçek ekonomilerinden faydalanılmaktadır. Bu sayede birim taşıma maliyeti düşürülmektedir. Ağda farklı tip araçların kullanılması ile ADÜ'ler arasında talep noktaları arasında işletilen araçlardan daha yüksek kapasitede araçlar kullanılabilenekte, böylece ADÜ'ler arasında bir birim kargoyu bir km taşımının maliyeti düşürülmektedir.

Bu tez kapsamında incelenen problemlerde ADÜ yer seçimi ve ağ tasarımı kararlarının yanı sıra ADÜ'ler arasındaki bağlantılarda kullanılacak ulaşım yoluna, araç tipine ve araç sayısına da karar verilmektedir. Ayrıca talebi olan iki talep noktası (talep ikilileri) arasında farklı servis tiplerinde hizmet sağlanabilmektedir.

Literatürde ADÜ yer seçimi problemi üzerine farklı ulaşım yolları ve farklı tip servisleri göz önüne alan çalışmalar bulunmakta, ancak bu çalışmalarda, iki ADÜ arasında sadece tek tip ulaşım yolu ve bu ulaşım yoluna ait tek tip araç kullanıldığı varsayılmaktadır. Ayrıca, her bir talep ikilisi arasında tek tip servisin bulunduğu varsayılmaktadır. Bu tez kapsamında yapılan çalışmada ise iki ADÜ arasında birden fazla ulaşım yolu ve bu ulaşım yollarında farklı tip araçlar kullanılabilir. Ayrıca, talep ikilileri arasında birden fazla servis tipi sağlanabilmektedir.

Bu tez kapsamında üç farklı problem tanımlanmakta ve her bir problem için farklı çözüm yöntemleri önerilmektedir. Birinci problemde amaç belirli servis seviyelerini sağlamak için toplam maliyeti en küçükmek, ikinci problemde toplam kârı en büyükleyecek şekilde talep noktaları arasında verilecek olan servis seviyelerini belirlemek, üçüncü problemde ise belirli bir bütçe ile VIP hizmeti alan toplam talep miktarını en büyüklemektir. İkinci ve üçüncü problemin amaç fonksiyonu, literatürde ADÜ yer seçimi ve ADÜ ağı tasarımı problemi üzerine yapılan çalışmalarda daha önce hiç ele alınmamıştır.

Bu tez kapsamında yedi bölüm bulunmaktadır. Bir sonraki bölümde yapılan gerçek hayat gözlemleri anlatılmakta, tez kapsamında üzerinde çalışılan problemlerin gerçek hayattaki uygulamalarından bahsedilmektedir. Üçüncü bölümde literatürde yer alan ilgili çalışmalardan bahsedilmekte ve bu tez kapsamında sunulan çalışmanın literatürdeki çalışmalardan farkı anlatılmaktadır. Dördüncü bölümde üç farklı problem tanımlanmakta ve bu problemler için geliştirilen matematiksel modeller sunulmaktadır. Beşinci bölümde tanımlanan üç problem için önerilen çözüm yöntemleri anlatılmaktadır. Altıncı bölümde problemlerin uygulanması için kullanılan parametrelerden ve her bir problem için beşinci bölümde önerilen çözüm yöntemlerinin Türkiye verisi üzerindeki uygulamalarından bahsedilmektedir. Ayrıca,

her bir problem için örnek bir çözüm sunulmakta ve problem parametrelerinin geliştirilen çözüm yöntemleri üzerindeki etkilerini incelemek amacı ile istatistiksel bir analiz verilmektedir. Son olarak yedinci bölümde, tezden elde edilen sonuçlar değerlendirilmekte ve yapılabilecek gelecek çalışmalardan bahsedilmektedir.

## 2 GERÇEK HAYAT GÖZLEMLERİ

Son yıllarda ülkemizde ekonominin, ticaretin ve teknolojinin gelişmesine bağlı olarak taşımacılığa olan talep artmış ve kargo taşımacılığı, taşımacılık sektöründe önemli bir yer edinmiştir. Kargo şirketlerinin artması rekabeti beraberinde getirmiştir. Şirketler bu sektörde söz sahibi olabilmek için farklı politikalar uygulamaya başlamıştır.

Kargo taşımacılığında amaç düşük maliyetli, hızlı ve kaliteli hizmet verebilmektir. Müşteri için teslimat süresi ve güvenilirlik çok önemlidir. Dolayısı ile şirketlerin önceliği müşteriye hızlı servis verebilmek ve kargolara zarar gelmeden onları teslimat adreslerine ulaştırmaktır. Şirketler bu hizmeti sağlarken bir yandan da mümkün olan en düşük maliyetle servis verebilmeyi amaçlamaktadır.

Tüm şirketlerde kargonun taşınması benzer şekilde gerçekleştirilmektedir. İsteğe bağlı olarak kargo önce adresten alınır, ilgili şubeye getirilir. Şubeden alınan kargo, şubenin bağlı olduğu transfer merkezine ulaştırılır. Transfer merkezine gelen tüm kargolar ayrıştırılır. Teslimat adresine göre ilgili transfer merkezine gidecek olan araca yüklenir. İlgili transfer merkezine ulaşan kargolar teslimat şubelerine göre ayrıştırılır ve şube araçları ile ilgili şubelere teslim edilir. Daha sonra kargo şubelerden adreslere teslim edilir.

Bu çalışmada kargo şirketlerindeki küçük paket ve dosya taşımacılığı incelenmektedir. Kargo şirketlerinin işleyişini ve çalışma prensiplerini daha iyi anlayabilmek için Aras Kargo, Yurtiçi Kargo ve MNG Kargo olmak üzere Türkiye’de hizmet veren üç büyük kargo şirketi incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda her bir kargo şirketinden elde edilen bilgiler ve bilgilerin sentezi tezin bu bölümünde anlatılmaktadır.

## 2.1 Aras Kargo

1989 yılından beri Türkiye'ye hizmet veren Aras Kargo'nun 19 bölge müdürlüğü, 27 transfer merkezi, 790 şubesi, 3000 araçlık filosu ve 8800 kişilik kadrosu bulunmaktadır.

Uçak Kargo, Günaydın Kargo ve Güniçi Kargo gibi çeşitli özel hizmetleri bulunmaktadır. Uçak Kargo hizmeti ile dosya ve paket teslimat süreleri 48 saat olan ve hava taşımacılığına uygun olan iller için bu süre 24 saate indirilmektedir. Günaydın Kargo hizmeti ile teslimat süresi 24 saat olan iller için 10 kg/ds'yi aşmayan gönderiler ertesi sabah en geç saat 10:00'a kadar alıcıya teslim edilmektedir. Güniçi Kargo hizmeti ile şehir içinde ve bazı şehirler arasında en geç saat 11:00'de şubeye getirilen 10kg/ds'yi aşmayan gönderiler aynı gün içinde alıcıya teslim edilmektedir.

Kapasitelerine göre minibüs (2000-2500 desi), kamyonet (3000 desi), kamyon (7000 desi), büyük kamyon (17000 desi) ve kırkayak (21000 desi) olmak üzere beş çeşit araçları vardır. Minibüs ve kamyonetler şubeler ve transfer merkezleri arasında kullanılmaktadır. Kamyonlar duruma göre hem şube - transfer merkezi arasında hem de transfer merkezleri arasında kullanılmaktadır. Büyük kamyonlar ve kırkayaklar ise sadece transfer merkezleri arasında kullanılmaktadır. Kırkayaklar genellikle Erzurum, Van gibi doğu illerine kargo taşırken kullanılmaktadır.

Tüm transfer merkezleri arasında direkt bağlantı bulunmamaktadır. Coğrafi konumdan dolayı uğramalı hatlar oluşabilmektedir. Örneğin Ankara'dan Van'a gidecek olan araçta eğer boş yer var ise bu araç Malatya ve Kayseri'ye de uğrayabilmektedir.

Sabah transfer merkezlerine gelen kargoları şubelere bir önceki akşam şubeden kargoları getirmiş olan araç götürmektedir. Uzak transfer merkezlerinden gelen kargoları şube araçları beklememekte, bu kargoların şubelere götürülmesinde "ring"



araçları devreye girmektedir. Şubelere kargoları bırakan ring araçları aynı zamanda bir önceki gün yetişemeyen kargoları da alıp transfer merkezine getirmektedir. Ring araçlarının bir diğer görevi ise yanlış şubeye gönderilmiş olan kargoları transfer merkezine geri getirip, gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra öğleden sonraki ring ile doğru şubeye iletmektir.

## **2.2 Yurtiçi Kargo**

1982 yılından beri hizmet veren Yurtiçi Kargo Türkiye'nin ilk özel kargo şirketidir. 19 bölge müdürlüğü, 31 transfer merkezi, 725'ten fazla şubesi, 3000 araç filosu ve yaklaşık 11.000 çalışanı bulunmaktadır.

VIP 24, VIP Çeyrek, VIP Şehiriçi ve VIP Air Taxi gibi çeşitli özel hizmetleri bulunmaktadır. VIP 24 hizmeti ile dosya ve paketlerin teslimat sürelerinin 48 saat olduğu belirli iller için bu süre 24 saate indirilmektedir. VIP Çeyrek hizmeti ile belirli iller arasında acil teslim edilmesi gereken paketler aynı gün içerisinde alıcıya ulaştırılmaktadır. VIP Şehiriçi hizmeti ile İstanbul, Ankara ve İzmir şehirlerinde dosya ve paket gönderileri aynı gün içerisinde aynı şehir içerisindeki alıcıya teslim edilmektedir. VIP Air Taxi hizmeti ile özel helikopterler kullanılarak gönderiler Bursa, Ankara, İstanbul ve İzmir'deki alıcılara 2 saat içinde ulaştırılmaktadır.

Kapasitelerine göre dört çeşit araç kullanılmaktadır. Bunlar; şube – transfer merkezi arasında 3,5 ton taşıma kapasitesine sahip araçlar, nadir olarak bulunan yine şube-transfer merkezi arasında kullanılan 3,5-12,6 ton arasında taşıma kapasitesine sahip araçlar, transfer merkezleri arasında kullanılan 12 tondan yüksek taşıma kapasitesine sahip kamyonlar ve kamyonlardan daha yüksek kapasiteli römorklu tırlardır. Römorklu tırlar genellikle sadece İstanbul ile Ankara arasında kullanılmaktadır.

Kırşehir'de bulunan şubeler dışındaki tüm şubeler tek bir transfer merkezine bağlı iken Kırşehir şubeleri batısındaki bölgelere gidecek olan kargolarını Ankara transfer merkezine doğusundaki bölgelere gidecek olanları ise Kayseri transfer merkezine

göndermektedir. Şubeler her zaman kendisine en yakın transfer merkezine bağlı değildir. Örneğin; Sungurlu şubesi Merzifon transfer merkezine daha yakın olmasına rağmen Ankara transfer merkezine bağlıdır.

## **2.3 MNG Kargo**

2003 yılından beri Türkiye'ye hizmet veren MNG kargo Türkiye'de hava kargo taşımacılığını kendi yapan ilk ve tek kargo şirketidir. 20 bölge müdürlüğü, 26 transfer merkezi, 720 şubesi, 2000 kara taşıma aracı, 8 uçağı ve 6000 çalışanı bulunmaktadır.

MNG Kargo kendi uçak filosu ile hizmet veren ilk ve tek kargo şirketidir. Bünyesinde 8 adet uçak bulundurmaktadır. Uçaklarını genel olarak yurtdışına kargo taşımak için kullanmaktadır. Şirketin FedEX ile anlaşması vardır. Yurtdışı gönderilerini bu şirket aracılığı ile kendi uçak filolarını kullanarak gerçekleştirmektedir. Yurtiçi kargo gönderilerinde ise sadece İstanbul ve Ankara'dan bazı doğu illerine olan gönderiler için kendi uçak filosunu kullanmaktadır. Diğer kargo şirketlerinde olduğu gibi yurtiçinde dosyaları taşımak için THY ile anlaşması bulunmaktadır.

Güniçi, Güniçi Komşu, Güniçi İstanbul ve Güniçi TR gibi çeşitli özel hizmetleri bulunmaktadır. Güniçi hizmeti ile hava kargo taşımacılığı standartlarına uygun olan gönderiler yarım günde alıcıya ulaştırılmaktadır. Güniçi Komşu hizmeti ile illerin çevresinde bulunan yerleşim merkezlerine mesai saatleri içerisinde gönderi yapılmaktadır. Güniçi İstanbul hizmeti ile gönderiler mesai saatleri içinde İstanbul'da alıcısına ulaştırılmaktadır. Güniçi TR hizmeti ile 600 km'yi aşan mesafelerde hava kargo taşımacılığı standartlarına uygun olan gönderiler 24 saat içerisinde alıcıya ulaştırılmaktadır.

Kapasitelerine göre beş çeşit araç kullanılmaktadır. Kapasitelerine göre küçükten büyüğe doğru sıralandığında bunlar; şubelerde dağıtım yapmak amacıyla kullanılan

motosikletler, küçük koliler için kullanılan 750 kg taşıma kapasitesine sahip araçlar, şube-transfer merkezi arasında kullanılan 3,5 ton taşıma kapasitesine sahip araçlar, transfer merkezleri arasında kullanılan tırlar ve yine transfer merkezleri arasında kullanılan uçaklardır. Kargonun boşaltılacağı transfer merkezi alan olarak yeterli olduğunda tırlar kullanılmaktadır. Direkt olmayan hatlarda römorklu araçlar da kullanılabilir. Talepleri yaklaşık olarak aynı olan transfer merkezleri arasında karşılıklı olarak aynı araçlar çalışırken, talepleri çok farklı olanlarda bir araç kesin olarak karşılıklı hareket etmekte artan kargo ise araç kiralanarak gönderilmektedir. Bu sayede boş araç hareketleri önlenmektedir.

MNG Kargonun FedEx ile anlaşması bulunmaktadır. FedEx'in kargolarını taşıırken kendi uçak filosunu kullanmaktadır. Ayrıca, İstanbul-Ankara, İstanbul-Van, İstanbul-Adana, İstanbul-Hatay, İstanbul-Urfa, İstanbul-Erzurum, İstanbul-Diyarbakır, İstanbul-Trabzon, İstanbul-Samsun, Ankara-Diyarbakır, Ankara-Van, Ankara-Erzurum, İstanbul-Yurt dışı ve Adana-Kıbrıs bağlantılarında da kendi uçak filolarını bu bağlantılar haricinde ise uçak ile gönderilecek kargolar için THY'nin uçaklarını kullanmaktadır. Eğer uçak kullanılacak ise uçak isteği olmayan kargolar da 30 kg'ın altında olmak şartıyla müşteriye sorulmadan uçağa yüklenebilmektedir.

MNG Kargo'da transfer merkezinde kargoların ayrıştırılması işlemi bantlı sistem ile el değmeden otomatik olarak yapılmaktadır. Bu sistem Adana, Ankara, Bursa, İzmir ve üç adet İstanbul'da olmak üzere yedi transfer merkezine kurulmuştur. Günde bir milyon adet kargo işleme hacmine sahiptir. Bu sisteme sahip transfer merkezlerinde 2,5 - 3 saatte günde 10.000 desi kargo ayrıştırılmaktadır.

## **2.4 Sentez**

Bu bölümde, incelenen üç kargo şirketinin ortak özellikleri ve bazı karşılaştırmalar yer almaktadır.

Sağlanan hizmetlere bakıldığında tüm şirketlerin bazı gönderiler için belirli iller arasında aynı gün içinde teslimat hizmeti sağladığı görülmektedir. Ayrıca hava yolu taşımacılığı ile dosya ve paket teslimat süreleri 48 saat olan iller için bu süre 24 saate indirilmektedir. Tüm şirketler, en fazla 48 saat içinde tüm iller arasında hizmet verebilmektedir.

Tüm şirketlerin şubeleri arasında 600 km'ye kadar olan mesafelerde 24 saat içinde, 600 km üzeri mesafelerde ise 48 saatte hizmet verilmektedir. Farklı olarak, MNG Kargo 600 km üzeri mesafedeki bazı iller arasında kendi uçak filosu ile hızlı teslimat yapmaktadır.

Şubeler arasında direkt ulaşım izin verilmemektedir. Kargonun bir şubeden diğerine taşınması için mutlaka bağlı olduğu transfer merkezine uğraması gerekmektedir. Nadir durumlarda eğer bir şubeden diğer şubeye, tam dolu bir araç gidecekse, operasyonel bir karar ile sistemden hat açılıp aracın direkt olarak gönderilmesi mümkündür. Ayrıca, her şube tam bir adet transfer merkezine bağlıdır. Bu duruma tek bir istisna Yurtiçi Kargo'nun Kırşehir şubesinde bulunmaktadır.

Tüm şirketlerde her transfer merkezi arasında direkt bağlantı bulunmamaktadır. Örneğin; Aras Kargo'da Ankara'dan Van'a giden kargo Kayseri ve Malatya'ya uğrayabilmektedir. Başka bir örnekte ise; Ankara'dan Antalya'ya bir araç direkt giderken, ikinci araç Afyon'daki transfer merkezine uğrayarak gitmektedir. Yurtiçi Kargo'da sadece Ankara ve Düzce'den tüm transfer merkezlerine, tüm transfer merkezlerinden de Ankara ve İstanbul'a direkt ulaşım bulunmaktadır. MNG Kargo'da ise İstanbul'dan Erzurum'a kara yolu ile giden kargo Ankara'daki transfer merkezine uğramak zorundadır. İstanbul'dan Sivas hariç her yere direkt ulaşım bulunmaktadır.

Tablo 2.1'de üç kargo şirketine ait transfer merkezlerinin yerleri sunulmaktadır. Şirketlerin transfer merkezlerine bakıldığında MNG Kargo'nun 26, Aras Kargo'nun 27, Yurtiçi Kargo'nun ise 31 transfer merkezi olduğu görülmektedir. En çok transfer merkezine Yurtiçi Kargo sahiptir. Bunun nedeni olarak Yurtiçi Kargo'nun kargo

taşıma yoğunluğunun diğer şirketlere göre daha fazla olması gösterilebilir. Şirketlerin transfer merkezlerinin yerleri benzerlik göstermektedir. Öyle ki; Yurtiçi Kargo ve MNG Kargo'nun transfer merkezleri karşılaştırıldığında 23 tanesinin aynı illerde kurulduğu, üç şirketin de İstanbul'da birden fazla transfer merkezi bulundurduğu fakat yerlerinin İstanbul içinde değişkenlik gösterdiği görülmektedir.

**Tablo 2.1:** Kargo şirketlerinin transfer merkezi yerlerinin karşılaştırılması

İller	Aras Kargo	Yurtiçi Kargo	MNG Kargo
Adana	+	+	+
Afyon	+	+	+
Aksaray	+	+	+
Ankara	+	+	+
Antalya	+	+	+
Balıkesir	+	+	+
Bursa	+	+	+
Denizli	+	+	+
Diyarbakır	+	+	+
Düzce	+	+	+
Elazığ	-	-	+
Erzurum	+	+	+
Eskişehir	+	+	+
Gaziantep	+	+	+
İstanbul	4 tane	5 tane	3 tane
İzmir	+	2 tane	+
Kayseri	+	+	+
Kocaeli	+	+	+
Konya	+	+	+
Malatya	+	+	+
Mersin	+	+	-
Merzifon	+	+	+
Samsun	+	+	+
Sivas	-	+	-
Trabzon	+	+	+
Trakya	-	+	-
Van	+	+	+
<b>Toplam</b>	<b>27</b>	<b>31</b>	<b>26</b>

Günlük İstanbul'dan Ankara'ya Aras Kargo yaklaşık olarak dört tır, MNG Kargo 10-15 tır, Yurtiçi Kargo ise dördü e-ticaret olmak üzere 20 tır kargo taşımaktadır. Transfer merkezleri arasında günlük taşınan kargo miktarı araç sayısı cinsinden düşünülürse en çok kargoyu Yurtiçi Kargo'nun taşıdığı görülmektedir. Bunun en

büyük sebebi, Yurtiçi Kargo'nun Avon, Markafoni, Trendyol gibi e-ticaret şirketlerinin kargolarını da taşımasıdır.

Araçların cinsleri tüm şirketlerde benzerlik göstermektedir. Transfer merkezleri ile şubeler arasında minibüs ve kamyonet kullanılmaktadır. Transfer merkezleri arasında büyüklüklerine göre üç veya dört çeşit araç kullanılmaktadır. Bu araçlar kapasitelerine göre sırası ile kamyon, büyük kamyon, kırkayak ve römorklu tır şeklindedir. Farklı olarak MNG Kargo'nun kendi uçak filosu bulunmaktadır.

Tüm şirketlerde araçlar şirkete aittir. Bu araçlar şubelerin kullanımına atanmıştır. Her şubenin kendine ait araçları vardır. Araç yetmeme durumunda anlaşmalı şirketlerden araç kiralanmaktadır.

Tüm şirketler kargonun büyük bir kısmını kara yolu ile taşımaktadır. Dosya ve bazı paket gönderilerini daha hızlı bir şekilde taşıyabilmek için tüm şirketlerin THY ile anlaşması vardır. Kara yolu ve hava yolu dışında bir tek Yurtiçi Kargo Kıbrıs gönderileri için deniz yolunu kullanmaktadır. Demir yolu taşımacılığı ise hiç kullanılmamaktadır.

EK 1'de Aras Kargo, Yurtiçi Kargo ve MNG Kargo şirketinin dosya taşımacılığında standart ve VIP servis hizmeti için bazı il ikilileri arasındaki süre ve Mayıs 2013 itibari ile ücret bilgileri verilmektedir. İl ikilileri Türkiye coğrafyasını kaplayacak şekilde seçilmeye çalışılmıştır. İl ikilileri aralarındaki mesafeye göre artan sırada verilmiştir. Ücretlere bakıldığında standart servis hizmeti için en ucuz taşımayı Yurtiçi Kargo'nun, en pahalı taşımayı ise Aras Kargo'nun yaptığı görülmektedir. VIP servis hizmeti için en ucuz hizmeti Aras Kargo sağlamaktadır. Bunun sebebi VIP servis süresinin diğer şirketlere göre daha uzun olmasıdır. Yurtiçi ve MNG Kargo 8 saat içinde VIP hizmeti sağlarken, Aras Kargo 16 saat içinde sağlayabilmektedir. Ayrıca her il ikilisi arasında karşılıklı VIP servis hizmeti verilememektedir. Koyu renk ile belirtilen il ikilileri karşılıklı VIP servis hizmetinin verilmediği il ikililerini ifade etmektedir. Örneğin Ankara'dan Erzurum'a Yurtiçi Kargo ve MNG Kargo şirketlerinde VIP hizmeti sağlanamazken, Erzurum'dan

Ankara'ya VIP hizmeti sağlanabilmektedir. Üç kargo şirketi de mesafelere göre ücret stratejisi belirlemektedir. Üç şirket de 0-200 km, 200-600 km, 600-1000 km ve 1000 km'den fazla mesafeye sahip il ikilileri için dört farklı fiyat stratejisi uygulamaktadır.

### **3 LİTERATÜR TARAMASI**

Ana dağıtım üsleri (ADÜ) havayolu yolcu taşımacılığı, kargo taşımacılığı ve telekomünikasyon gibi çoklu dağıtım ağlarında ayırma, aktarma ve birleştirme gibi işlemleri gerçekleştirmektedir. Bu ağlarda, başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki akış direkt gönderilmek yerine, ölçek ekonomisinden faydalanılabilmesi için ADÜ tesislerinde birleştirilmektedir.

ADÜ yer seçimi problemlerinde ADÜ'lerin yerlerine ve talep noktalarının atanacağı ADÜ'lere karar verilmektedir. ADÜ yer seçimi ve ADÜ ağı tasarımı problemlerinde ise ADÜ yer seçimi kararlarına ek olarak ağ tasarımı kararları da ele alınmaktadır. Yani başlangıç-bitiş noktaları arasındaki akışın ADÜ ağı içerisindeki rotasına da karar verilmektedir. Akış direkt olarak gönderilebilir veya birden fazla ADÜ'ye uğrayarak gönderilebilir. Literatürde, ADÜ yer seçimi ve ağ tasarımı kararlarını intermodal ağlarda veren çalışmalar da bulunmaktadır. Bu çalışmalarda birden fazla ulaşım yolunun kullanılmasına, dolayısı ile birden fazla araç tipinin kullanılmasına, izin verilmektedir. Ayrıca, literatürde, servis süresinin yer aldığı, ADÜ yer seçimi kararlarını içermeyen ama ağ tasarımı kararlarının bulunduğu servis ağı tasarımı ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Bu kısımda dört başlık altında ADÜ yer seçimi üzerine yapılan çalışmalar, ADÜ yer seçimi ve ADÜ ağı tasarımı odaklı çalışmalar, intermodal ağlarda ADÜ yer seçimi problemini ele alan çalışmalar ve servis ağı tasarımı ile ilgili çalışmalar sunulmaktadır.

#### **3.1 ADÜ Yer Seçimi**

ADÜ yer seçimi kararlarını içeren problemlerde tekli atama ve çoklu atama olmak üzere iki tip atama çeşidi bulunmaktadır. Tekli atama ile bir talep noktasının sadece bir ADÜ'ye atanmasına izin verilmektedir. Çoklu atama ile ise bir talep noktası birden fazla ADÜ'ye atanabilmektedir.



ADÜ yer seçimi problemleri üzerine olan çalışmalar Campbell vd. [1], Alumur ve Kara [2], Farahani vd. [3] yayın taraması makalelerinde ayrıntılı olarak incelenmektedir.

ADÜ yer seçimi problemlerinde ölçek ekonomisinden faydalanılmaktadır. ADÜ bağlantılarındaki birim akış başına düşen maliyet ölçek ekonomisinden dolayı atama bağlantılarındaki birim akış başına düşen maliyetten daha düşüktür. Atama bağlantılarındaki akış ADÜ'lerde birleştirilerek taşınmakta, bu şekilde ADÜ bağlantılarındaki taşıma maliyeti atama bağlantılarındaki taşıma maliyetine göre daha düşük olabilmektedir. Maliyetteki bu farklılık sunulan matematiksel modellere, çoğunlukla, ADÜ'ler arasındaki birim akış başına düşen maliyetin  $[0,1]$  arasında değerler alabilen bir  $\alpha$  parametresi ile çarpılması ile yansıtılmaktadır.

Literatürde çalışılan birçok ADÜ yer seçimi probleminde ADÜ ağlarının tam serim olduğu varsayılmaktadır. Ayrıca iki talep noktası arasında ADÜ'ye uğramayan direkt ulaşım çoğunlukla izin verilmemektedir [2].

ADÜ yer seçimi problemi üzerine ilk matematiksel model O'Kelly [4] tarafından önerilmektedir. Bu model ile ADÜ'lerin yerlerine ve talep noktalarının atanacağı ADÜ'lere karar verilirken toplam maliyet en küçüklenmektedir. Bu problem *p-ADÜ ortanca* problemi olarak adlandırılmaktadır. Hem tekli hem de çoklu atama *p-ADÜ ortanca* problemleri için önerilen,  $O(n^4)$  mertebesinde karar değişkenleri ve kısıtları olan ilk doğrusal modeller Campbell [5] çalışmasında sunulmaktadır.

Açılacak olan tesis sayısının bir karar değişkeni olduğu, toplam maliyeti en küçükleyen *sabit maliyetli ADÜ yer seçimi* problemi için de ilk doğrusal matematiksel modeller Campbell [5] tarafından verilmektedir. Bu problem kapasiteli ve kapasitesiz olmak üzere ayrı ayrı incelenmektedir. Çünkü açılacak ADÜ sayısı sabit olmadığından ADÜ'lerin kapasitelerinin de göz önüne alınması mümkün olmaktadır.

ADÜ yer seçimi ile ilgili yapılan ilk çalışmalar arasında ADÜ yer seçimi probleminin hava yolu taşımacılığındaki uygulamasının incelendiği O’Kelly [6] çalışması sayılabilir. Bu çalışmada, ADÜ yer seçimi problemini klasik tesis yer seçimi probleminden ayıran farklılıklar üzerinde durulmaktadır. Daha sonra hava yolu yolcu taşımacılığı ile hava yolu yük taşımacılığının işleyişinden bahsedilmekte, arasındaki farklara değinilmektedir. Tekli atamanın hava yolu yük taşımacılığına, çoklu atamanın ise hava yolu yolcu taşımacılığına uygun olduğu sonucuna varılmaktadır.

Campbell [5]  $p$ -ADÜ merkez ve ADÜ kaplama problemi olmak üzere iki yeni problem tanımlamaktadır. Bu problemlerde odak maliyet değil servis süresidir.  $p$ -ADÜ merkez probleminde en uzun sürede servis alan iki talep noktası arasındaki servis süresinin en küçüklenmesi amaçlanmaktadır. ADÜ kaplama probleminde ise açılacak olan ADÜ tesislerinin toplam maliyeti en küçüklenirken her iki talep noktasının belirli bir servis süresi limiti içerisinde servis alabilmesi hedeflenmektedir.

Literatürde ADÜ yer seçimi üzerine yapılan çalışmalarda CAB, AP ve Türkiye veri kümesi olmak üzere üç çeşit kıyaslama verisi kullanılmaktadır. O’Kelly [4] çalışmasında Amerika’daki 25 şehir için hava yolu yolcu taşımacılığı bilgilerini içeren CAB veri kümesi sunulmaktadır. AP veri kümesi Avustralya Sidney’deki posta dağıtım verilerinden oluşmakta ve 200 posta dağıtım noktasını içermektedir. Bu veri kümesi ilk defa Ernst ve Krishnamoorthy [7] çalışmasında kullanılmaktadır. Türkiye veri kümesi ise Tan ve Kara [8] tarafından sunulmaktadır. Türkiye’de bulunan 81 il için kargo dağıtım verilerini içermektedir. Bu üç veri kümesine de OR Kütüphanesi’nden [9] ulaşılabilir.

Tanımlanan  $p$ -ADÜ ortanca, sabit maliyetli ADÜ yer seçimi,  $p$ -ADÜ merkez ve ADÜ kaplama problemleri NP-zor olarak sınıflandırılmaktadır [2]. Bu problemlerin her biri üzerine çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır [1, 2]. Bu tez kapsamında ele alınan problemler ise ADÜ yer seçimi kararlarının yanı sıra ADÜ ağı tasarımı kararlarını da

içermektedir. Dolayısı ile bir sonraki bölümde özellikle ADÜ ağı tasarımı kararlarını içeren çalışmalar ayrıntılı olarak incelenmektedir.

### 3.2 ADÜ Yer Seçimi ve ADÜ Ağı Tasarımı

Önerilen ADÜ yer seçimi problemlerinin büyük bir kısmında ADÜ ağlarının tam serim olma varsayımı geçerlidir. Yani tüm ADÜ'ler arasında direkt bağlantı bulunmaktadır. Ancak gerçek hayat problemleri düşünüldüğünde bu varsayım gerçekçi değildir. Örneğin, kargo taşımacılığında bir araç bir transfer merkezinden diğerine giderken başka bir transfer merkezine uğrayabilmekte, boşaltma ve yükleme işlemlerini gerçekleştirip son transfer merkezine gidebilmektedir. Bazı çalışmalarda ADÜ yer seçimi kararları ile beraber ADÜ ağı tasarımı kararları da verilmekte ve tam serim ADÜ ağı varsayımının gevşetildiği görülmektedir. Bu kısımda ADÜ yer seçimi ve ADÜ ağı tasarımının beraber ele alındığı çalışmalar incelenmektedir.

Nickel vd. [10] şehir içi yolcu taşımacılığı ağı için tam serim ADÜ ağı varsayımının gerçekçi olmadığını düşünerek  $O(n^4)$  mertebesinde karar değişkenleri olan çoklu atama karma bir matematiksel model sunmaktadır. Modelde ADÜ açma maliyetlerine ek olarak ADÜ'ler arası bağlantılarda sabit maliyetler bulunmakta ve ADÜ ağı kurmanın toplam maliyetini en küçükmek amaçlanmaktadır. Çalışmada verilen bir başka modelde ise araçların uğrayabileceği ADÜ sayısına kısıt getirilmektedir. Yoon ve Current [11] ise yine çoklu atama ADÜ yer seçimi ve ADÜ ağı tasarımı problemi için bir matematiksel model önermektedir. Modelde talep noktaları arasında ADÜ'ye uğramayan direkt bağlantı olmasına izin verilmekte, ayrıca sabit ADÜ açma maliyeti ve sabit ADÜ bağlantısı açma maliyetinin yanında ADÜ'ler arası bağlantılarda taşınan talebin değişken maliyeti ele alınmaktadır.

Campbell vd. [12,13] çalışmaları *ADÜ ayrıt yer seçimi problemleri* ile ADÜ yer seçimi ve ADÜ ağı tasarımı problemine farklı bir bakış açısı getirmektedir. Bu çalışmalarda ADÜ'lerin yerlerine karar vermek yerine, ölçek ekonomisinden faydalanılan ayrıtlara karar veren karma tamsayılı matematiksel modeller

sunulmaktadır. Amaç sabit sayıda ayırıt yerleştirerek toplam ulaşım maliyetini en küçüklemeektir.

Alumur ve Kara [14] kargo taşımacılığında tam serim olmayan tekli atama ADÜ kaplama problemi için  $O(n^3)$  mertebesinde karar değişkenleri olan bir matematiksel model sunmaktadır. Model belirli bir servis seviyesi için toplam ADÜ açma maliyetini ve ADÜ'ler arasında bağlantı kurma maliyetini en küçüklemeyi amaçlamaktadır. Kargoların yükleme boşaltma sırasında zarar görmesini engellemek amacıyla araçların başlangıç-varış noktaları arasında en fazla üç ADÜ'ye uğrayabilmelerine izin verilmektedir. Calık vd. [15] ise yine tam serim olmayan tekli atama ADÜ kaplama problemi için  $O(n^4)$  mertebesinde karar değişkenleri olan bir matematiksel model ve bu modelin çözümü için etkili bir sezgisel algoritma sunmaktadır. Modelde bir önceki çalışmadan farklı olarak başlangıç-varış noktaları arasında araçların uğrayabileceği ADÜ sayısı için herhangi bir kısıtlama getirilmemektedir. Modelin çözümü için tabu arama sezgisel algoritması kullanılmaktadır.

Alumur vd. [16] tekli atamalı  $p$ -ADÜ ortanca, sabit maliyetli ADÜ yer seçimi,  $p$ -ADÜ merkez ve ADÜ kaplama problemi olmak üzere başlıca dört ADÜ yer seçimi problemi için tam serim olmayan, ADÜ yer seçiminin yanında ADÜ ağı tasarımı kararlarını da içeren  $O(n^3)$  mertebesinde karar değişkenleri olan etkili matematiksel modeller önermektedir. Bu çalışmada tam serim ağı kurmanın bazı bağlantılarda düşük miktarda akış taşınmasına neden olduğu, dolayısı ile ölçek ekonomisinden yeterince faydalanılmadığı gösterilmektedir. Servis süresini içeren modellerde ise, bir çok örnekte tam serim ağı kurmadan da belirli bir servis süresinin sağlanabildiği gösterilmektedir.

Yukarıda verilen çalışmalarda servis süreleri taşıma maliyetleri ile birlikte ele alınmamaktadır. Halbuki gerçek hayat uygulamaları incelendiğinde servis sürelerinin en az taşıma maliyetleri kadar önemli olduğu görülmektedir. Örneğin; kargo taşımacılığında başlıca amaç müşterilere hem düşük maliyetli ve hem de kısa sürelerde hizmet verebilmektir. Taşıma maliyetleri ile birlikte servis sürelerini de ele

alan ilk çalışmalar arasında Jaillet vd. [17] gösterilebilir. Bu çalışmada yer seçimi, kapasiteli ağ tasarımı ve rotalama kararları için akış temelli modeller geliştirilmektedir. Üç farklı servis seviyesine göre modeller oluşturulmaktadır. Birincisi direk uçuşları ve bir ADÜ'ye uğrayan uçuşları, ikincisi iki ADÜ'ye uğrayanları ve üçüncüsü de uğranacak ADÜ sayısına bir kısıt getirmeyen uçuşları içermektedir. Çözüm için sezgisel algoritmalar önerilmektedir. Çalışmanın önemli özelliklerinden biri ölçek ekonomisinin modelin bir girdisi değil çıktısı olması ve şehir çiftleri arasında değişebilmesidir.

Campbell [18] çoklu atama  $p$ -ADÜ ortanca problemi için zaman limiti içeren bir matematiksel model önermektedir. Belirli bir servis süresini sağlayan tüm ikililerin bulunduğu bir küme oluşturulduktan sonra sadece bu küme için  $p$ -ADÜ ortanca ve ADÜ ayrıt yer seçimi problemleri çözülmektedir. Bu çalışmada ilk defa hem taşıma maliyetleri en küçüklenmekte hem de servis süreleri modele dahil edilmektedir.

Ishfaq [19] tam serim bir ADÜ ağı için çoklu ve tekli atamalı sabit maliyetli ADÜ yer seçimi problemine dayalı farklı servis seviyeleri içeren, yer seçimi ve atama kararları veren bir problem sunmaktadır. Amaç üç farklı servis seviyesi için kârlılığı en büyükmektir. Diğer çalışmalardan farklı olarak iki talep noktası arasında direkt bağlantı kurulmasına izin verilmektedir. Problemin çözümü için hibrit bir sezgisel algoritma sunulmaktadır.

Literatürde özel ADÜ ağı yapıları içeren çalışmalar da bulunmaktadır. Contreras vd. [20] telekomünikasyon ve taşımacılık sektöründe rastlanan ağaç ağı şeklinde bir ADÜ yer seçimi ve ADÜ ağı tasarımı problemi sunmaktadır. Bu ağ için  $p$  tane ADÜ'nün kurulduğu, ADÜ'ler arasındaki akışa bağlı toplam maliyeti minimize eden tekli atama bir matematiksel model önerilmektedir. Contreras vd. [21] tarafından yapılan benzer bir çalışmada ise yine ağaç şeklinde bir ADÜ ağı için  $O(n^4)$  mertebesinde karar değişkenleri bulunan bir matematiksel model önerilmektedir. Bir önceki çalışmaya göre daha sıkı kısıtlara sahip bu problemin çözümü için Lagrange gevşetmesi bazlı yöntemler kullanılmaktadır.

Labbe ve Yaman [22] telekomünikasyon ağı için yıldız şeklinde bir ADÜ ağı tasarlamaktadır. Bu ağda ADÜ ve merkezi ADÜ olmak üzere iki çeşit ADÜ bulunmaktadır. Merkezi ADÜ'lerin oluşturduğu ağ tam serim olmayan ADÜ ağı yapısındadır. Diğer ADÜ'ler ise tekli atama şeklinde merkezi ADÜ'lere bağlıdır. Her bir talep noktası ise yine yalnız bir ADÜ'ye atanmaktadır. Amaç toplam ADÜ kurma ve rotalama maliyetlerini en küçüklemektir. Problemin çözümü için Lagrange gevşetmesine dayalı sezgisel bir algoritma sunulmaktadır.

Yaman [23] ise üç seviyeli hiyerarşik ADÜ ağı tasarımı gerçekleştirmektedir. Birinci seviye merkezi ADÜ'lerden oluşmaktadır ve tam serim ağ yapısına sahiptir. İkinci ve üçüncü seviyeler ise yıldız şeklinde bir ağ oluşturmaktadır. İkinci seviyede ADÜ'ler merkezi ADÜ'lere, üçüncü seviyede ise talep noktaları ADÜ ve merkezi ADÜ'lere bağlanmaktadır. Ayrıca servis kalitesinin teslim zamanı ile belirlendiği problemin başka bir versiyonu üzerinde de durulmuştur. Amaç toplam rotalama maliyetini en küçüklemektir.

### **3.3 ADÜ Yer Seçimi ve Intermodal ADÜ Ağları Tasarımı**

Önceki bölümlerde verilen çalışmalarda ADÜ'ler arasında tek tip ulaşım yolunun kullanıldığı varsayılmaktadır. Gerçek hayat uygulamalarına bakıldığında ise ADÜ'lerin hava yolu, kara yolu, deniz yolu gibi birden fazla ulaşım yoluna hizmet verdiği görülmektedir. Örneğin; kargo taşımacılığında çoğunlukla hava yolu ve kara yolu kullanılmakta, bu iki ulaşım yoluna hizmet veren ADÜ'ler bulunmaktadır. Literatürde intermodal ağ tasarımı ile ilgili birçok çalışma yer almaktadır. Bu çalışmalarda birden fazla ulaşım yolunun kullanılmasına izin verilmekte, aynı zamanda birden fazla ulaşım yoluna hizmet verebilen ADÜ'ler bulunmaktadır.

Arnold vd. [24] yük taşımacılığında demir yolu ve kara yolu terminallerinin yer seçimi kararlarını içeren tam sayılı bir matematiksel model ve bu modelin çözümü için bir sezgisel yöntem önermektedir. Groothedde vd. [25] hızlı tüketim gıda piyasası üzerine bir vaka analizi çalışması sunmaktadır. Bu çalışmada toplam

maliyeti en küçükleme amaçlanmakta ve ADÜ'ler deniz yolu ve kara yoluna hizmet verebilmektedir. Ayrıca bu çalışmada yükleme, boşaltma, elleçleme, ADÜ'ler arasında ulaşım yolu değiştirme, sipariş verme ve envanter maliyeti olmak üzere farklı maliyet kalemleri yer almaktadır. Limbourg ve Jourquin [26] kara yolu ve demir yolu terminallerinin yerlerine karar veren tekli atama  $p$ -ADÜ ortanca problemi için bir matematiksel model sunmaktadır. Bu çalışmalarda servis süresi ele alınmamaktadır.

Literatürde intermodal ağlarda ADÜ yer seçimi kararları ile beraber servis sürelerinin ele alındığı çalışmalar da bulunmaktadır. Ishfaq ve Sox [27] farklı ulaşım yolları için taşıma yolu değiştirme maliyeti ve servis süresi kısıtları içeren  $p$ -ADÜ ortanca problemini çalışmaktadır. Ulaşım maliyetleri parçalı doğrusal fonksiyonlardır. Yani talep noktaları arasındaki akışın miktarına bağlı olarak maliyet değişmektedir. Akış ne kadar fazla ise ulaşım maliyeti o kadar düşük olmaktadır. Bu yöntem ölçek ekonomisi yaklaşımını modele yansıtmak için kullanılmaktadır. Modelde talep noktaları arasında direkt ulaşım da izin verilmektedir. Amaç belirli bir servis seviyesi için toplam maliyeti en küçükleyen  $p$  tane ADÜ yerleştirmektir. Modeli çözebilmek için tabu arama meta-sezgisel algoritması kullanılmaktadır. Ishfaq ve Sox [28] tarafından yapılan başka bir çalışmada ise demir yolu ve kara yolu içeren ulaşım ağı için servis süresi kısıtlarını içeren kapasitesiz çoklu atama ADÜ yer seçimi problemine ait matematiksel model sunulmaktadır. Problemin çözümü için tabu arama meta-sezgisel algoritması uygulanmakta, sezgiselin performansını ölçmek amacı ile elde edilen sonuçlar Lagrange gevşetmesinden elde edilen alt sınır değerleri ile karşılaştırılmaktadır.

Yukarıda bahsedilen çalışmalarda ADÜ ağının tam serim olduğu varsayımı geçerlidir. Yani bu çalışmalarda ADÜ ağı tasarımı kararları bulunmamaktadır. ADÜ yer seçimi kararları ile birlikte intermodal ADÜ ağı tasarımı kararlarının da bulunduğu, servis süresi kısıtlarını içeren çalışmalar da bulunmaktadır. Alumur vd. [29] farklı tip servis seviyelerinin ve ulaşım yollarının bulunduğu ADÜ yer seçimi ve ADÜ ağı tasarımı problemi için hem ulaşım zamanlarını hem de ulaşım maliyetlerini aynı anda düşünen karma tam sayılı bir matematiksel model sunmaktadır. Bu

çalışmada, aynı ikili arasında tek tip servis verilmekte ve tek tip ulaşım yolu kullanılmaktadır. Amaç belirlenen servis seviyeleri için toplam ADÜ açma, ADÜ bağlantısı kurma ve ulaşım maliyetlerini en küçükleme. İki tip servis seviyesi ve iki tip ulaşım yolu içeren modelin çözümü için sezgisel bir algoritma sunulmaktadır. Alumur vd. [30] çalışmasında ise hiyerarşik bir ADÜ ağında yer seçimi kararları ele alınmaktadır. ADÜ'ler kara yolu ve hava yolu olmak üzere iki tip ulaşım yoluna hizmet verebilmektedir. Çalışmada kara yolu, hava yolu ve merkezi hava yolu olmak üzere üç çeşit ADÜ bulunmaktadır. Talep noktaları kara yolu ve hava yolu ADÜ'lerine yıldız şeklinde bağlıdır. Her bir kara yolu ADÜ'sü ise ya hava yolu ADÜ'süne ya da merkezi hava yolu ADÜ'süne bağlıdır. Aynı hava yoluna bağlı iki kara yolu ADÜ'sü arasında direkt bağlantı kurulabilmektedir. Problemden ADÜ'lerin yerlerine, talep noktalarının atanacağı ADÜ'lere, kara yolu ADÜ'lerinin atanacağı hava yolu ADÜ'lerine, hangi kara yolu ADÜ'leri arasında direkt bağlantı kurulacağına karar verilmekte, toplam ulaşım maliyetini en küçükleme amaçlanmaktadır. Aynı zamanda iki nokta arasında belirli bir servis süresi içerisinde hizmet verilmesi gerekmektedir.

Farklı tip modellerin servis süresi kısıtları içeren ADÜ ağı tasarımı problemine entegre edildiği çalışmalar da bulunmaktadır. Isfaq ve Sox [31] servis süresi kısıtları içeren intermodal ADÜ ağlarında kısıtlı kaynaklardan dolayı meydana gelen gecikmeleri analiz etmektedirler. Bunun için ADÜ operasyonları G/G/1 kuyruk modeli ADÜ yer seçimi ve atama modeline entegre edilmektedir.

### **3.4 Servis Ağı Tasarımı**

Servis ağı tasarımı ile ilgili ADÜ yer seçimi kararları içermeyen birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda zamanın önemi vurgulanmakta ve zaman kısıtının problemi oldukça zorlaştırdığından bahsedilmektedir. Tez kapsamında sunulan problemlerde de farklı servis tipleri ve bu servis tiplerine ait zaman kısıtları bulunmaktadır. Dolayısı ile servis ağı tasarımı ile ilgili çalışmalar da incelenmiştir. Crainic [32] servis ağı tasarımı yayın taraması çalışmasında bu konuda 1998 yılına



kadar yapılmış olan modelleme çalışmalarını özetlemiş ve problem için yeni bir sınıflandırma ile formülasyon önermiştir.

ADÜ yer seçimi kararları içermemesine karşın intermodal taşımacılık ile ilgili yayınlar da ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu konu ile ilgili bir kitap bölümü olan Crainic ve Kim [33] çalışması oldukça kapsamlı bir çalışmadır. Bu çalışmada intermodal taşımacılık, yük taşımacılığı, servis ağları tasarımı, filo yönetimi ayrıntılı olarak incelenmekte, bu problemlerle ilgili modeller sunulmaktadır. Zaman kısıtının problemleri oldukça zorlaştırdığı ve üzerinde daha çok çalışılması gerektiği vurgulanmaktadır. Kim vd. [34] ise hızlı paket teslim servisi için servis ağı tasarımı problemini çalışmaktadır. Sıkı servis süreleri için limitli ayrıştırma kapasitesi olan, limitli sayıda kara yolu ve hava yolu filosu içeren bu problemde amaç maliyeti en küçükmektir. Bu çalışmada da ADÜ yer seçimi kararları yer almamaktadır.

Crainic ve Laporte [35] demir yolu ve bir kamyon yükünden az yük taşımacılığı ile ilgili yayın taraması sunmaktadır. Çalışma kapsamında stratejik, taktik ve operasyonel kararların içeriğinden ve problemlere getirilen çözüm yöntemlerinden bahsedilmektedir.

### **3.5 Sentez**

Bu tez kapsamında ele alınan problemlere en yakın problemler Alumur vd. [29] ve Alumur vd. [30] çalışmalarında ele alınmaktadır. Tez kapsamında ele alınan çalışmada ADÜ'lerin yerlerine, talep noktalarının atanacağı ADÜ'lere, farklı servis tipleri için ADÜ'ler arasındaki bağlantılarda kullanılacak ulaşım yoluna, araç tipine ve araç sayısına karar verilmektedir. Ayrıca üç farklı amaç fonksiyonu olan üç ayrı problem incelenmektedir. Alumur vd. [29] çalışmasında farklı ulaşım yolları ve farklı tip servisler bulunmaktadır. Ancak, her bir talep ikilisi arasında tek tip servis verilebilmekte, tek tip ulaşım yolu ve bu ulaşım yoluna ait tek tip araç kullanılabilir. Ayrıca problemde ADÜ kapasiteleri ve araç kapasiteleri dikkate alınmamaktadır. Tez kapsamında yapılan çalışmada ise talep ikilileri

arasında birden fazla servis verilebilmekte, birden fazla ulaşım yolunda farklı kapasitede araçlar kullanılabilen ve ADÜ'lerin kapasiteleri bulunmaktadır.

Alumur vd. [30] çalışmasında ise farklı tip servis süreleri yer almamakta ve ADÜ ağı belirli bir hiyerarşik yapıya sahip olmaya zorlanmaktadır. Çalışmada farklı ulaşım yolları bulunmakta, ancak aynı ikili arasında tek tip ulaşım yoluna ve tek tip araç kullanımına izin verilmektedir. Bu çalışmada da ADÜ kapasiteleri ve araç kapasiteleri yer almamaktadır.

Tez kapsamında oluşturulan problemlerin birisinin amaç fonksiyonu toplam kârı en büyüklemek iken, bir diğeri için amacı belirli bir servis tipini alan toplam talep miktarını en büyüklemektir. Bu iki amaç fonksiyonu ile beraber ADÜ yer seçimi ve intermodal ADÜ ağı tasarımı kararlarını veren, aynı zamanda servis süresi kısıtlarını içeren bir çalışma literatürde yer almamaktadır.

Bir sonraki kısımda bu tez çalışmasında üzerinde çalışılan problemlerden ve bu problemler için önerilen matematiksel modellerden ayrıntılı olarak bahsedilmektedir.

## 4 PROBLEM TANIMLARI VE MATEMATİKSEL MODELLER

Bu çalışmada, farklı tipteki servisler için farklı miktarda taleplere sahip olan talep noktaları arasındaki talebin, ADÜ'ler kullanılarak, bir ADÜ ağı üzerinde taşınması ele alınmaktadır. Bu kapsamda, kurulacak olan ADÜ'lerin yerlerine, bu ADÜ'ler arasında işletilecek olan bağlantılara ve bağlantılarda kullanılacak olan araç çeşidi ve sayılarına karar verilmesi gerekmektedir. Servis süresi odaklı ADÜ yer seçimi ve intermodal ADÜ ağları tasarımı için üç farklı problem tipi belirlenmiştir. Her bir problemin amacı farklıdır ve şu şekildedir:

*Problem 1:* Belirli servis seviyelerini sağlamak için toplam maliyeti en küçüklemek.

*Problem 2:* Toplam kârı en büyükleyecek şekilde talep noktaları arasında verilecek olan servis seviyelerini belirlemek.

*Problem 3:* Belirli bir bütçe ile VIP hizmeti alan toplam talep miktarını en büyüklemek.

Her bir problem tipinde ADÜ'lerin yerlerine, talep noktalarının atanacağı ADÜ'lere, farklı servis tipleri için ADÜ'ler arasındaki bağlantılarda kullanılacak ulaşım yoluna, araç tipine ve her araç tipi için araç sayısına karar verilmektedir.

İkinci ve üçüncü problem tipinde belirtilen amaçlar ADÜ yer seçimi ve ADÜ ağı tasarımı literatüründe daha önce hiç ele alınmamıştır. Birinci problem tipinin literatürde ele alınan çalışmalardan farkı ise aynı ulaşım yolunda farklı servis tipleri için farklı kapasitelerde araçların kullanılabilmesi ve kullanılacak olan araçların sayılarına da karar verilmesidir.

Tüm problemler kapsamında yapılan varsayımlar aşağıdaki gibidir:

- Her talep noktası tek bir ADÜ'ye bağlıdır.

- Talep noktaları ile ADÜ'ler arasında kara yolu ve tek tip araç kullanılmaktadır.
- Talep noktaları arasında ADÜ'ye uğramayan direkt bir bağlantı yoktur.
- Her bir araç tek bir bağlantı üzerinde hizmet vermektedir.

Tüm varsayımlar Bölüm 2'de anlatıldığı gibi gerçek hayat gözlemleriyle uyumludur ve gerçekçidir.

Her bir problem tipi için gerekli kümeler ve parametrelerin tanımları aşağıda verilmektedir:

### ***Kümeler***

$N$  : Talep noktaları kümesi

$H$  : Potansiyel ADÜ yerleri kümesi

$Q$  : ADÜ kapasiteleri kümesi

$M$  : Ulaşım yolları kümesi

$V$  : Araç tipleri kümesi

$V_m$ : :  $m \in M$  ulaşım yolunu kullanabilen araç tipleri kümesi ( $V_m \in V$ )

$S$  : Servis tipleri kümesi

$S_s$  :  $s \in S$  servisini alan  $(i, j)$  ikilileri kümesi ( $i \in N, j \in N$ )

### ***Parametreler***

$w_{ij}^s$  :  $i \in N$  noktasından  $j \in N$  noktasına  $s \in S$  servis tipi için olan talep

$c_{ik}$  :  $i \in N$  noktasından  $k \in H$  noktasına atama bağlantısı üzerindeki aracı kullanmanın birim maliyeti

- $c_{kl}^v$  :  $k \in H$  noktasından  $l \in H$  noktasına gidiş için  $v \in V$  tipi araç kullanmanın birim maliyeti
- $oc^v$  :  $v \in V$  tipi araç için araç işletme maliyeti
- $fc_k$  :  $k \in H$  noktasında ADÜ açma maliyeti
- $kc_k^{mq}$  :  $k \in H$  noktasında kurulacak olan ADÜ'de  $m \in M$  ulaşım yoluna hizmet verebilen  $q \in Q$  kapasitesi açma maliyeti
- $k^{vq}$  :  $q \in Q$  kapasitedeki bir ADÜ'nün elleçleyebileceği maksimum  $v \in V$  tipi araç sayısı
- $u^v$  :  $v \in V$  tipi aracın taşıma kapasitesi
- $t_{ik}$  :  $i \in N$  talep noktasından  $k \in H$  ADÜ'süne olan ulaşım süresi
- $t_{kl}^v$  :  $k \in H$  noktasından  $l \in H$  noktasına  $v \in V$  tipi araç kullanarak ulaşım süresi
- $\beta^s$  :  $s \in S$  servis tipi için servis zamanı
- $a_i$  :  $i \in N$  noktasından bağlı olduğu ADÜ'ye gelen akışı taşımak için gerekli araç sayısı
- $b_i$  : ADÜ'den  $i \in N$  noktasına gidecek akışı taşımak için gerekli araç sayısı

Tekli atama kullanıldığı ve atama bağlantılarında tek tip araç işletildiği için  $a_i$  ve  $b_i$  aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$a_i = \left\lceil \frac{O_i}{u} \right\rceil, \quad b_i = \left\lceil \frac{D_i}{u} \right\rceil$$

Yukarıdaki hesaplamalarda  $O_i = \sum_{j \in N} w_{ij}$ ,  $D_i = \sum_{j \in N} w_{ji}$  ve  $u$  ise atama bağlantılarında kullanılan aracın kapasitesini ifade etmektedir.

İleriki kısımlarda her bir problem tipi için oluşturulan matematiksel modeller ayrı başlıklar altında anlatılmaktadır. Her bir başlık altında sırasıyla problemler için

gerekli karar değişkenleri, oluşturulan matematiksel model ve açıklaması verilmektedir.

## 4.1 Problem 1

Bu problemde amaç istenilen belirli servis seviyelerini sağlayabilecek şekilde toplam maliyeti en küçükmektir.

Problem kapsamında gerekli karar değişkenlerinin tanımları şu şekildedir:

### *Karar Değişkenleri*

$$x_{ik} : \begin{cases} 1, \text{ eğer } i \in N \text{ noktası } k \in H \text{ noktasında kurulmuş olan bir ADÜ'ye atanırsa} \\ 0, \text{ diğer durumlarda} \end{cases}$$

$$(x_{kk} = 1, k \in H \text{ noktasında bir ADÜ kurulduğunu göstermektedir})$$

$$y_k^{mq} : \begin{cases} 1, \text{ eğer } k \in H \text{ noktasına } q \in Q \text{ kapasitede } m \in M \text{ ulaşım yoluna hizmet} \\ \text{ verebilen bir ADÜ kurulmuşsa} \\ 0, \text{ diğer durumlarda} \end{cases}$$

$$f_{ijkl}^{vs} : \begin{cases} 1, \text{ eğer } i \in N \text{ noktasından } j \in N \text{ noktasına olan } s \in S \text{ servis tipi için } v \in V \\ \text{ tipi araç kullanılarak } k \in H \text{ ADÜ'sünden } l \in H \text{ ADÜ'süne olan direkt} \\ \text{ bağlantı kullanılıyorsa} \\ 0, \text{ diğer durumlarda} \end{cases}$$

$$z_{kl}^v : k \in H \text{ ADÜ'sünden } l \in H \text{ ADÜ'süne direkt gidiş için kullanılan } v \in V \\ \text{ tipi araç sayısı}$$

Yukarıda tanımlanan parametreler ve karar değişkenleri kullanılarak Problem 1 için oluşturulan matematiksel model aşağıda sunulmaktadır:

## Model 1

En küçükle

$$\begin{aligned} & \sum_{i \in N} \sum_{k \in H} c_{ik} a_i x_{ik} + \sum_{i \in N} \sum_{k \in H} c_{ki} b_i x_{ik} + \sum_{k \in H} \sum_{l \in H} \sum_{v \in V} (c_{kl}^v + oc^v) z_{kl}^v \\ & + \sum_{k \in H} \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} k c_k^{mq} y_k^{mq} + \sum_{k \in H} f c_k x_{kk} \end{aligned} \quad (4.1)$$

kısıtları altında

$$\sum_{k \in H} x_{ik} = 1 \quad \forall i \in N \quad (4.2)$$

$$x_{ik} \leq x_{kk} \quad \forall i \in N, k \in H \quad (4.3)$$

$$\sum_{q \in Q} y_k^{mq} \leq x_{kk} \quad \forall k \in H, m \in M \quad (4.4)$$

$$\sum_{l \in H: l \neq k} z_{kl}^v \leq \sum_{q \in Q} k^{vq} y_k^{mq} \quad \forall k \in H, v \in V_m, m \in M \quad (4.5)$$

$$\sum_{k \in H: k \neq l} z_{kl}^v \leq \sum_{q \in Q} k^{vq} y_l^{mq} \quad \forall l \in H, v \in V_m, m \in M \quad (4.6)$$

$$\sum_{l \in H: l \neq k} \sum_{v \in V} f_{ijkl}^{vs} - \sum_{l \in H: l \neq k} \sum_{v \in V} f_{ijlk}^{vs} = x_{ik} - x_{jk} \quad \forall i, j \in N: i \neq j, k \in H, s \in S \quad (4.7)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N: i \neq j} \sum_{s \in S} w_{ij}^s f_{ijkl}^{vs} \leq u^v z_{kl}^v \quad \forall k, l \in H: k \neq l, v \in V \quad (4.8)$$

$$\sum_{k \in H: k \neq i} t_{ik} x_{ik} + \sum_{v \in V} \sum_{k \in H} \sum_{l \in H: l \neq k} t_{kl}^v f_{ijkl}^{vs} + \sum_{l \in H: l \neq j} t_{lj} x_{jl} \leq \beta^s \quad \begin{array}{l} \forall i, j \in N: i \neq j, \\ (i, j) \in S_s, s \in S \end{array} \quad (4.9)$$

$$z_{kl}^v \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad \forall k, l \in H: k \neq l, v \in V \quad (4.10)$$

$$x_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, k \in H \quad (4.11)$$

$$y_k^{mq} \in \{0,1\} \quad \forall k \in H, m \in M, q \in Q \quad (4.12)$$

$$f_{ijkl}^{vs} \in \{0,1\} \quad \begin{array}{l} \forall i, j \in N: i \neq j, k, l \in H: \\ k \neq l, v \in V, s \in S \end{array} \quad (4.13)$$

*Model 1*'in amaç fonksiyonunda (4.1) toplam maliyet en küçüklenmektedir. Amaç fonksiyonunda ilk iki terimde atama bağlantılarındaki ulaşım maliyetleri, üçüncü terimde ADÜ'ler arasındaki ulaşım ve araç işletme maliyetleri, son iki terimde açılan ADÜ'lerin toplam maliyeti hesaplanmaktadır.

Kısıt (4.2) tekli atama kısıtıdır. Bu kısıt ile, her bir talep noktasının tam bir adet ADÜ'ye atanması sağlanmaktadır. Kısıt (4.3) ile ancak açılan bir ADÜ'ye talep noktalarının atanması sağlanmaktadır. (4.4) numaralı kısıt sayesinde açılan bir ADÜ her bir ulaşım yolu için ancak tek tip kapasiteye sahip olabilmektedir. Bir ADÜ birden fazla ulaşım yoluna hizmet verebilmektedir. (4.5) ve (4.6) numaralı kısıtlar ile bir ADÜ'ye gelen ve giden araçların sayısının, o ADÜ'nün elleçleyebileceği araç kapasitesini aşmaması sağlanmaktadır. (4.7) numaralı kısıt akış dengesi kısıtıdır. Bu kısıt iki talep noktası aynı ADÜ'ye atanmadığı sürece, bu iki nokta arasında ADÜ ağı üzerinde bir birim akış gönderilmesini sağlamaktadır. Kısıt (4.8) her bağlantı üzerindeki akışın, o bağlantı üzerinde hizmet veren araçların toplam kapasitesini geçmemesini sağlamaktadır. Ayrıca bu kısıt bir bağlantıda kullanılacak her araç tipi için araç sayısının doğru hesaplanmasını sağlamaktadır. (4.9) numaralı kısıt servis süresi kısıtıdır. Bu kısıt ile belirli bir servis tipi için talep ikilileri arasındaki toplam ulaşım süresinin servis süresini aşmaması sağlanmaktadır. (4.10)-(4.13) numaralı kısıtlar kullanılan karar değişkenlerinin tanım kümelerini belirtmektedir.

## **4.2 Problem 2**

Bu tez kapsamında tanımlanan ikinci problemdeki amaç, talep noktaları arasındaki farklı servis tiplerini göz önüne alarak, toplam kârı en büyükmektir. Bu problemde, talep noktaları arasında farklı servis tiplerinde oluşan talebi kabul etme zorunluluğu yoktur. Model her bir servis tipi için kabul edilen talep ikililerine de karar vermektedir. Kabul edilen taleplerden gelen gelir, kabul edilmeyen taleplerden dolayı oluşan ceza maliyetleri bulunmaktadır.



Bu problem kapsamında daha önce tanımlanan parametrelerden ve karar değişkenlerinden farklı olarak kullanılan parametreler ve karar değişkenleri şu şekildedir:

### ***Ek Parametreler***

- $k^{vq}$  :  $q \in Q$  kapasitedeki bir ADÜ'ye her bir ADÜ'den gelebilecek maksimum  $v \in V$  tipi araç sayısı
- $r^s$  :  $s \in S$  servis seviyesi için kabul edilen birim talepten elde edilen gelir
- $pc^s$  :  $s \in S$  servis seviyesi için reddedilen birim talebin ceza maliyeti
- $M$  : yeterince büyük bir sayı

Bu problemde her talep ikilisi arasında her servis tipinin verilebileceği varsayılmaktadır. Her bir ikili arasında sağlanacak olan servislere ise model karar verecektir. Dolayısı ile daha önce tanımlanan  $S_s$  kümesine ihtiyaç bulunmamaktadır.

### ***Yeni Karar Değişkenleri***

- $f_{ijkl}^{vs}$  :  $\begin{cases} 1, \text{ eğer } i \in N \text{ noktasından } j \in N \text{ noktasına olan } s \in S \text{ servis tipi için } v \in V \\ \text{tipi araç kullanılarak } k \in N \text{ noktasından } l \in N \text{ noktasına olan direkt} \\ \text{bağlantı kullanılıyorsa} \\ 0, \text{ diğer durumlarda} \end{cases}$
- $z_{ij}^v$  :  $i \in N$  noktasından  $j \in N$  noktasına direkt gidiş için kullanılan  $v \in V$  tipi araç sayısı
- $h_{ij}^s$  :  $\begin{cases} 1, \text{ eğer } i \in N \text{ noktasından } j \in N \text{ noktasına olan } s \in S \text{ servis tipindeki} \\ \text{talep kabul edilirse} \\ 0, \text{ diğer durumlarda} \end{cases}$

$$aux_{ij} : \begin{cases} 1, \text{ eğer } i \in N \text{ noktasından } j \in N \text{ noktasına olan bağlantı ADÜ'ler arası} \\ \text{bağlantı ise} \\ 0, \text{ eğer } i \in N \text{ noktasından } j \in N \text{ noktasına olan bağlantı atama bağlantısı} \\ \text{ise} \end{cases}$$

Problem 2 için oluşturulan matematiksel model aşağıda sunulmaktadır:

### Model 2

En büyükle

$$\begin{aligned} & \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{s \in S} w_{ij}^s r^s h_{ij}^s - \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{s \in S} w_{ij}^s p c^s (1 - h_{ij}^s) - \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{v \in V} (c_{ij}^v + o c^v) z_{ij}^v \\ & - \sum_{j \in H} \sum_{q \in Q} \sum_{m \in M} k c_j^{mq} y_j^{mq} - \sum_{j \in H} f c_j x_{jj} \end{aligned} \quad (4.14)$$

kısıtları altında

(4.2)-(4.4), (4.11), (4.12)

$$\sum_{l \in N: l \neq k} \sum_{v \in V} f_{ijkl}^{vs} - \sum_{l \in N: l \neq k} \sum_{v \in V} f_{ijlk}^{vs} = \begin{cases} h_{ij}^s & \forall i, j, k \in N: i \neq j, k = i, s \in S \\ -h_{ij}^s & \forall i, j, k \in N: i \neq j, k = j, s \in S \\ 0 & \forall i, j, k \in N: k \neq i, k \neq j, s \in S \end{cases} \quad (4.15)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N: i \neq j} \sum_{s \in S} w_{ij}^s f_{ijkl}^{vs} \leq u^v z_{kl}^v \quad \forall k, l \in N: k \neq l, v \in V \quad (4.16)$$

$$\sum_{k \in N} \sum_{l \in N: l \neq k} \sum_{v \in V} t_{kl}^v f_{ijkl}^{vs} \leq \beta^s h_{ij}^s \quad \forall i, j \in N: i \neq j, s \in S \quad (4.17)$$

$$z_{ij}^v \leq \sum_{q \in Q} k^{vq} y_i^{mq} + M(1 - aux_{ij}) \quad \begin{aligned} & \forall i \in H, j \in N: i \neq j, m \in M, \\ & v \in V_m \end{aligned} \quad (4.18)$$

$$z_{ij}^v \leq \sum_{q \in Q} k^{vq} y_j^{mq} + M(1 - aux_{ij}) \quad \forall i \in N, j \in H: i \neq j, m \in M, \quad (4.19)$$

$$v \in V_m$$

$$z_{ij}^v \leq M(x_{ij} + x_{ji} + aux_{ij}) \quad \forall i, j \in N: i \neq j, v \in V \quad (4.20)$$

$$z_{ij}^v \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad \forall i, j \in N: i \neq j, v \in V \quad (4.21)$$

$$f_{ijkl}^{vs} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N: i \neq j, k, l \in N: k \neq l, \quad (4.22)$$

$$v \in V, s \in S$$

$$h_{ij}^s \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N, s \in S \quad (4.23)$$

$$aux_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N \quad (4.24)$$

Bu modelde (4.14) amaç fonksiyonunda toplam kâr en büyüklenmektedir. Amaç fonksiyonunda sırası ile kabul edilen taleplerden gelen gelir, kabul edilmeyen taleplerden dolayı oluşan ceza maliyeti, ulaşım ve araç işletme maliyetleri, açılan ADÜ'lerin toplam maliyeti hesaplanmaktadır.

(4.15) numaralı kısıtlar akış dengesini sağlamaktadır. Bu kısıtlar sayesinde talep noktaları arasında kabul edilen servis ağ üzerinde rotalanmaktadır. Kısıt (4.16) ile bir bağlantıdan geçen akışın, o bağlantı üzerinde hizmet veren araçların toplam kapasitesini aşması engellenmektedir. Bu kısıt ayrıca kullanılacak araç sayılarının belirlenmesini sağlamaktadır. Kısıt (4.17) servis zamanı kısıtıdır. Bu kısıt sayesinde kabul edilen talebin gerekli servis süresi içerisinde servis alması sağlanmaktadır. (4.18)-(4.20) numaralı kısıtlar iki nokta arasındaki bağlantının çeşidine karar vermektedir. Bu bağlantı bir atama bağlantısı veya ADÜ'ler arasında kurulan bir bağlantı olabilmektedir. Bu kısıtlar ya-ya da kısıtlarıdır ve beraber çalışmaktadır. Kısıtların doğru çalışabilmesini sağlayabilmek için yardımcı karar değişkenine ( $aux_{ij}$ ) ihtiyaç duyulmaktadır. Yardımcı karar değişkeni 1 değerini aldığı anda (4.18) ve (4.19) numaralı kısıtlar geçerli olmaktadır. Yardımcı karar değişkeni sıfır değerini aldığı anda ise (4.20) numaralı kısıt geçerli olmaktadır. (4.21)-(4.24) numaralı kısıtlar ise modelde kullanılan karar değişkenlerinin tanım kümelerini belirtmektedir.

Bu kısıtlara ek olarak, atama bağlantıları üzerinde hizmet veren aracın tipini belirlemek için (4.25) ve (4.26) numaralı kısıtlar tanımlanabilmektedir:

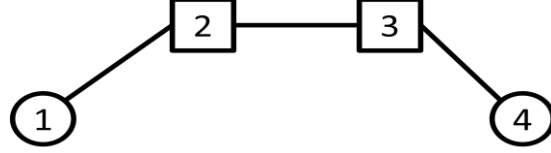
$$z_{ij}^v \leq M(x_{ij} + x_{ji}) \quad \forall i, j \in N: i \neq j, v \in V: v = \text{kamyonet} \quad (4.25)$$

$$z_{ij}^v \leq M(1 - x_{ij} - x_{ji}) \quad \forall i, j \in N: i \neq j, v \in V: v \neq \text{kamyonet} \quad (4.26)$$

Bu kısıtlar sayesinde atama bağlantısı üzerinde tek tip araç (kamyonet) kullanılmasına izin verilmektedir. Aynı zamanda ADÜ'ler arasında kurulan bağlantıya atama bağlantısında hizmet veren araç tipinin atanması engellenmektedir. İsteğe bağlı olarak bu kısıtlar kaldırıldığında, atama bağlantısı üzerinde kullanılan araç tipine modelin karar vermesi sağlanabilir.

Problem 1'de verilen modelde  $f_{ijkl}^{vs}$  karar değişkenleri sadece  $k \in H$  ve  $l \in H$  ADÜ'leri arasında tanımlı iken, bu modelde birbirlerinden farklı  $k \in N$  ve  $l \in N$  talep noktaları arasında tanımlanmaktadır. Şekil 4.1'de gösterilen örnek atamaları ele alalım. Problem 1'de, 1 no'lu düğümden 4 no'lu düğüme olan talep için sadece  $f_{1423}^{vs}$  karar değişkenleri tanımlanmaktadır. Problem 2'de ise 1 düğümünden 4 düğüme olan talep için  $f_{1412}^{vs}, f_{1423}^{vs}, f_{1434}^{vs}$  karar değişkenlerinin hepsinin tanımlanması gereklidir. Bunun sebebi Problem 2'de talep noktaları arasındaki talebin kabul edilip edilmeme kararının bulunmasıdır. Model 2'deki  $h_{ij}^s$  değişkenleri ve (4.15) numaralı akış dengesi kısıtı ile ancak ve ancak iki nokta arasındaki talep kabul edilirse, o iki nokta arasında akış gönderilebilmesi sağlanmaktadır. (4.15) numaralı akış dengesi kısıtı  $f_{ijkl}^{vs}$  karar değişkenlerinin tüm talep noktaları arasında tanımlı olması halinde doğru bir şekilde yazılabilmektedir. Eğer  $f_{ijkl}^{vs}$  karar değişkenleri Model 1'deki gibi tanımlanırsa ve (4.7) numaralı akış dengesi kısıtları kullanılırsa, o zaman iki nokta arasındaki talebin kabul edilmediği durumlarda da o iki nokta arasında akış gönderilebilecektir. Bu durumda ise Model 1'de (4.8) numaralı kısıt ile, Model 2'de ise (4.16) numaralı kısıt ile hesaplanan araç sayıları için kabul edilmeyen talep de göz önüne alınacak ve bu nedenle araç sayıları doğru olarak hesaplanmayacaktır. Dolayısı ile Model 2'de  $f_{ijkl}^{vs}$  karar değişkenlerinin tüm talep noktaları arasında

tanımlanması gerekmekte, bu nedenle karar değişkenlerinin sayısı Model 1'e göre artmakta ve problem zorlaşmaktadır.



Şekil 4.1: Örnek bir çözüm

Problem 2'de  $h_{ij}^s$  değişkenlerinin tamsayılık özelliği bulunmaktadır. Yani  $h_{ij}^s \geq 0$  olduğu durumda bile  $h_{ij}^s$  değişkenleri 0 veya 1 değerini almaktadır. Bu durum (4.15) numaralı kısıtlar ile sağlanmaktadır. Bu kısıtların sol tarafında yer alan  $f_{ijkl}^{vs}$  değişkenleri ikili değişkenlerdir. Dolayısı ile bu değişkenlerin farklarından elde edilen değer kesirli bir değer alması mümkün değildir. Yani  $h_{ij}^s$  değişkenleri ikili değişkenler yerine  $[0,1]$  arasında sürekli değişkenler olarak tanımlansa bile, herhangi bir olurlu çözümde 0 ya da 1 değerini almaktadır.

### 4.3 Problem 3

Tanımlanan üçüncü problem, Problem 2'nin özel bir durumudur. Amaç belirli bir bütçe ile "VIP" hizmeti alan toplam talebi en büyükmektir. Bu problemde tüm talep ikilileri arasında VIP servis hizmeti dışındaki tüm servis tiplerindeki talebin kabul edildiği varsayılmaktadır. Bir önceki problemden farklı olarak bu problemde bütçe kısıtı bulunmaktadır. Önceki kısımlarda tanımlanan parametreler ve karar değişkenleri ile oluşturulan matematiksel model aşağıdaki gibidir:

### Model 3

En büyükle

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} w_{ij}^{VIP} h_{ij}^{VIP} \quad (4.27)$$

kısıtları altında

(4.2)-(4.4), (4.11)-(4.12), (4.15)-(4.24)

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{v \in V} (c_{ij}^v + oc^v) z_{ij}^v + \sum_{k \in H} \sum_{q \in Q} \sum_{m \in M} kc_k^{mq} y_k^{mq} + \sum_{k \in H} fc_k x_{kk} \leq \text{Bütçe} \quad (4.28)$$

$$h_{ij}^s = 1 \quad \forall (i, j) \in S_s: i \neq j, s \in S \setminus \{VIP\} \quad (4.29)$$

Bu modelde amaç fonksiyonunda (4.27) “VIP” servis tipinden hizmet alan toplam talep miktarı en büyüklenmektedir. Kısıt (4.28) ulaşım ve araç işletme maliyetleri ile ADÜ açma maliyeti ve ADÜ işletme maliyetleri toplamı için belirli bir bütçe sınırının olduğunu belirtmektedir. (4.29) numaralı kısıt tüm talep noktalarının “VIP” servis tipi dışındaki tüm servis tiplerinden olan taleplerini kabul etme zorunluluğu getirmektedir.

Problem 2’ye benzer şekilde (4.25) ve (4.26) numaralı kısıtlar atama bağlantılarında sadece kamyonet kullanılabilmesi için bu modele de eklenebilir.

Bir sonraki bölümde her bir problem tipi için önerilen çözüm yöntemleri anlatılmaktadır.

## 5 ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Bu bölümde her bir problem tipi için geliştirilen çözüm yöntemleri ayrı başlıklar altında verilmektedir. Problem 1 için sırası ile değişken sabitleme yöntemi, geçerli eşitsizlikler önerilmesi,  $z_{ij}^v$  gevşetmeli ve kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm yöntemleri, Problem 2 için sırası ile değişken sabitleme yöntemi,  $z_{ij}^v$  gevşetmeli, kaplama problemi bazlı ve Problem 1 bazlı sezgisel çözüm yöntemleri, Problem 3 için ise değişken sabitleme yöntemi ve  $z_{ij}^v$  gevşetmeli sezgisel çözüm yöntemi anlatılmaktadır.

### 5.1 Problem 1

Bir önceki bölümde anlatıldığı gibi Problem 1’de amaç belirli servis seviyelerini sağlayabilecek şekilde toplam maliyeti en küçükmektir. Bu problemin optimal çözüm süresini kısaltmak için değişken sabitleme ve geçerli eşitsizlikler ekleme olmak üzere iki ayrı yöntem önerilmektedir. Ayrıca, nispeten daha kısa sürelerde iyi çözümler bulabilmek için iki ayrı sezgisel yöntem ele alınmaktadır.  $z_{ij}^v$  gevşetmeli ve kaplama problemi bazlı olarak adlandırılan iki sezgisel yöntem de problemin kapasitesiz hali için, yani ADÜ’lerin elleçleyebilecekleri araç sayılarında herhangi bir sınır olmadığı varsayımı altında geliştirilmiştir. Önerilen her bir yöntem aşağıdaki başlıklar altında anlatılmaktadır.

#### 5.1.1 Değişken Sabitleme Yöntemi

Değişken sabitleme yöntemi ile bazı değişkenlerin değerlerinin Model 1’in çözümünden önce sabitlenmesi, böylece modeldeki karar değişkenleri sayısının azaltılması ve çözüm sürelerinin kısaltılması amaçlanmaktadır. Bu yöntem ile belirli servis süresini sağlamayan yollar için rotalama kararlarını veren karar değişkeni sıfıra eşitlenmektedir.

Önerilen yöntem, her araç tipi için talep noktaları arasındaki ulaşım sürelerinin üçgen eşitsizliğini sağladığını varsaymaktadır.

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_a, \dots, v_{|V|}\}$  araçlar kümesi  $v_1$  en hızlı araç,  $v_{|V|}$  en yavaş araç olacak şekilde sıralansın. Verilen bir  $s \in S$  tipi servis için;

- i. Her  $i, j \in N, k, l \in H: i \neq j, k \neq l, i \neq k, j \neq l$  için;  
Eğer  $t_{ik}^{v_1} + t_{kl}^{v_a} + t_{lj}^{v_1} > \beta^s$  ise  $b \geq a$  için  $f_{ijkl}^{v_b^s} = 0$ 'dır.
- ii. Her  $i, l \in H, j \in N: i \neq j, i \neq l, j \neq l$  için;  
Eğer  $t_{il}^{v_a} + t_{lj}^{v_1} > \beta^s$  ise  $b \geq a$  için  $f_{ijil}^{v_b^s} = 0$ 'dır.
- iii. Her  $i \in N, j, k \in H: i \neq j, i \neq k, k \neq j$  için;  
Eğer  $t_{ik}^{v_1} + t_{kj}^{v_a} > \beta^s$  ise  $b \geq a$  için  $f_{ijkj}^{v_b^s} = 0$ 'dır.
- iv. Her  $i, j \in H: i \neq j$  için;  
Eğer  $t_{ij}^{v_a} > \beta^s$  ise  $b \geq a$  için  $f_{ijij}^{v_b^s} = 0$ 'dır.

Değişken sabitleme yöntemi bir örnek ile açıklanacak olursa, ADÜ'ler arasında uçak, kamyon ve tır olmak üzere üç çeşit araç işletildiği varsayılınsın. En hızlı araç uçak, en yavaş araç tır olmak üzere araçlar sıralansın. Atama bağlantılarında ise en hızlı araç olan uçağın işletildiği varsayılınsın. Eğer bir rotadaki ADÜ'ler arası bağlantıda en hızlı araç, yani uçak işletildiği zaman belirlenen zaman limiti aşıyorsa, bu durumda uçak için ilgili rotalama karar değişkeni sıfıra eşitlenmektedir. Bu zaman limiti o bağlantıda uçaktan daha yavaş olan araçlar yani kamyon ve tır işletildiği zaman da aşılmaktadır. Dolayısı ile bu araç tipleri için de ilgili rotalama karar değişkenleri sıfıra eşitlenmektedir. Diyelim ki bir rotadaki ADÜ'ler arası bağlantıda en hızlı araç olan uçak işletildiği zaman belirlenen zaman limiti sağlansın. Bu durumda o bağlantıda bir sonraki en hızlı araç olan kamyon için zaman limitinin aşılp aşılmadığı kontrol edilmektedir. Eğer ikinci en hızlı araç olan kamyon ile zaman limiti sağlanamıyorsa o zaman benzer şekilde ilgili rotalama karar değişkeni kamyon



için de kamyondan daha yavaş araçlar için de sıfıra eşitlenmektedir. Bu yöntem ile belirlenen rotalama karar değişkenleri sıfıra eşitlenerek problemin çözüm süresinin kısaltılması amaçlanmaktadır. Değişkenlerin yüzde kaçının sabitlenebildiği ve bunun çözüm sürelerine olan etkisi Bölüm 6.2.1’de incelenmektedir.

### 5.1.2 Geçerli Eşitsizlikler

Problemin optimal çözüm süresini azaltmak amacıyla Model 1 için geçerli eşitsizlik 1 (GE 1) ve geçerli eşitsizlik 2 (GE 2) olmak üzere iki geçerli eşitsizlik önerilmektedir. Önerilen eşitsizlikler aşağıda sunulmaktadır:

$$\sum_{i \in H} \sum_{j \in H} \sum_{v \in V} u^v z_{ij}^v + \sum_{i \in N} (a_i + b_i)u \geq \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{s \in S} w_{ij}^s \quad (\text{GE 1})$$

$$x_{jj} \leq \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} y_j^{mq} \quad \forall j \in H \quad (\text{GE 2})$$

(GE 1) ile ağa hizmet veren araçların toplam kapasitesinin ağ üzerinde taşınan toplam akış miktarından fazla olması gerekliliği sağlanmaktadır. (GE 2) ile ise bir noktada ADÜ açıldığı sürece o ADÜ’de en az bir tip kapasite ve ulaşım yolunun kurulması sağlanmaktadır. Geçerli eşitsizliklerin performansı Bölüm 6.2.2’de incelenmektedir.

### 5.1.3 $z_{ij}^v$ Gevşetmeli Sezgisel Çözüm Yöntemi

Kullanılan araç sayıları tam sayılı değişkenler olduğu için modelin çözüm süresini arttırması beklenmektedir. Model 1’in çözüm süresini kısaltmak için  $z_{ij}^v$  gevşetmeli bir sezgisel yöntem önerilmektedir. Bu yöntemde, öncelikle tam sayılı değişken olan  $z_{ij}^v$  değişkenlerinin tam sayı olma özelliği Model 1’de gevşetilerek bir çözüm elde edilmektedir. Daha sonra da gevşetilmiş çözüm ile elde edilen kesirli değerler yukarı yuvarlanarak sezgisel bir çözüm elde edilmektedir.

Bu yöntem problemin kapasiteli haline uygulanamamaktadır. Bunun sebebi değişken değerlerinin yukarı yuvarlanması sonucu ADÜ araç elleçleme kapasitelerinin aşılabilme ihtimalidir. Önerilen  $z_{ij}^v$  gevşetmeli sezgisel çözümün performansı Bölüm 6.2.3'te sunulmaktadır.

#### 5.1.4 Kaplama Problemi Bazlı Sezgisel Çözüm Yöntemi

“Kaplama problemi bazlı” adı verilen sezgisel yöntem, Problem 1'in iki aşamada çözülmesine dayanmaktadır. Bu yöntemde önce Problem 1'in daha basit bir hali olan kaplama problemi optimal olarak çözülmekte, daha sonra ise kaplama probleminin çözümünden elde edilen, ADÜ yerlerine ve talep noktalarının atanacağı ADÜ'lere karar veren  $x_{ij}$  değişkenleri Model 1'de sabitlenmektedir. Kaplama probleminde sadece ADÜ'lerin yerlerine, talep noktalarının atanacağı ADÜ'lere ve farklı servis tipleri için ADÜ'ler arasındaki bağlantılarda kullanılacak araç tipine karar verilmektedir. Problem 1'den farklı olarak ADÜ kapasiteleri, ADÜ'lerin hizmet verdiği ulaşım yolları bu problemde yer almamaktadır. Ayrıca bir bağlantıda kullanılan araç sayıları da hesaplanmamaktadır.

Problem 1 için oluşturulan kaplama probleminin modeli ise aşağıdaki gibidir:

##### *Kaplama Modeli 1*

En küçükle

$$\begin{aligned} & \sum_{i \in N} \sum_{k \in H} c_{ik} a_i x_{ik} + \sum_{i \in N} \sum_{k \in H} c_{ki} b_i x_{ik} + \sum_{k \in H} (f c_k + k c) x_{kk} \\ & + \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in H} \sum_{l \in H} \sum_{v \in V} \sum_{s \in S} (c_{kl}^v + o c^v) f_{ijkl}^{vs} w_{ij}^s / u^v \end{aligned} \quad (5.1)$$

kısıtları altında

$$(4.2), (4.3), (4.7), (4.9), (4.11), (4.13)$$

$$f_{ijkl}^{vs} \leq x_{kk} \quad \forall i, j \in N, k, l \in H, v \in V, s \in S \quad (5.2)$$

$$f_{ijkl}^{vs} \leq x_{ll} \quad \forall i, j \in N, k, l \in H, v \in V, s \in S \quad (5.3)$$

Kaplama problemindeki amaç belirli bir servis seviyesini sağlayabilecek şekilde toplam maliyeti minimize etmektir. Amaç fonksiyonu (5.1) üçüncü terim dışında Model 1'in amaç fonksiyonu ile aynıdır. Üçüncü terimde bağlantılarda kullanılacak araç sayıları toplam akışın araç kapasitesine bölünmesi ile kesirli olarak hesaplanmaktadır. Kaplama modelinde araç sayılarını belirleyen bir değişken bulunmamaktadır. Rotalama karar değişkenlerinin ADÜ'ler arasında tanımlı olduğunu gösterebilmek adına (5.2) ve (5.3) numaralı kısıtlar bulunmaktadır.

Modellenen kaplama problemi optimal olarak çözüldükten sonra, ADÜ yer seçimi ve atama kararlarını içeren  $x_{ij}$  değişkenlerinin optimal değerleri Model 1'de sabitlenmekte, değişkenlerin sabitlendiği problemin çözümünden ise sezgisel bir çözüm elde edilmektedir. Bu sezgisel çözümün performansı Bölüm 6.2.4'te değerlendirilmektedir.

## 5.2 Problem 2

Problem 2'de amaç, toplam kârı en büyükleyecek şekilde talep noktaları arasında verilecek olan servis seviyelerini belirlemektir. Bir önceki bölümde de anlatıldığı gibi bu problemde, talep noktaları arasında farklı servis tiplerindeki talebi kabul etme zorunluluğu yoktur. Model her bir servis tipi için kabul edilen talep ikililerine de karar vermektedir. Kabul edilen taleplerden gelen gelir, kabul edilmeyen taleplerden dolayı oluşan ceza maliyetleri bulunmaktadır.

Bu bölümde problemin çözüm süresini azaltmak için uygulanan değişken sabitleme yönteminden ve probleme “iyi” çözümler elde edebilmek için uygulanan  $z_{ij}^v$  gevşetmeli, kaplama problemi bazlı ve Problem 1 bazlı olmak üzere üç farklı sezgisel

çözüm yönteminden bahsedilmektedir.  $z_{ij}^v$  gevşetmeli, kaplama problemi bazlı ve Problem 1 bazlı sezgisel yöntemler problemin kapasitesiz hali için uygulanmaktadır.

### 5.2.1 Değişken Sabitleme Yöntemi

Problem 1'deki gibi değişken sabitleme yönteminin amacı Model 2'deki karar değişkeni sayısını azaltarak çözüm süresini kısaltmaktır. Problem 2 için uygulanan değişken sabitleme yönteminin Problem 1 için uygulanan yöntemden farkı  $f_{ijkl}^{vs}$  değişkenlerinin farklı kümeler için tanımlanmış olmasıdır. Problem 1'de verilen Model 1'de  $f_{ijkl}^{vs}$  karar değişkenleri sadece  $k \in H$  ve  $l \in H$  ADÜ'leri arasında tanımlı iken, Model 2'de  $k \in N$  ve  $l \in N$  talep noktaları arasında tanımlanmaktadır. Bu farklılık değişken sabitleme yöntemine de yansıtılmaktadır.

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_a, \dots, v_{|V|}\}$  araçlar kümesi  $v_1$  en hızlı araç,  $v_{|V|}$  en yavaş araç olacak şekilde sıralansın. Verilen bir  $s \in S$  tipi servis için;

- i. Her  $i, j, k, l \in N: i \neq j, k \neq l, i \neq k, j \neq l$  için;  
Eğer  $t_{ik}^{v_1} + t_{kl}^{v_a} + t_{lj}^{v_1} > \beta^s$  ise  $b \geq a$  için  $f_{ijkl}^{vbs} = 0$ 'dır.
- ii. Her  $i, j, l \in N: i \neq j, i \neq l, j \neq l$  için;  
Eğer  $t_{il}^{v_a} + t_{lj}^{v_1} > \beta^s$  ise  $b \geq a$  için  $f_{ijil}^{vbs} = 0$ 'dır.
- iii. Her  $i, j, k \in N: i \neq j, i \neq k, k \neq j$  için;  
Eğer  $t_{ik}^{v_1} + t_{kj}^{v_a} > \beta^s$  ise  $b \geq a$  için  $f_{ijkj}^{vbs} = 0$ 'dır.
- iv. Her  $i, j \in N: i \neq j$  için;  
Eğer  $t_{ij}^{v_a} > \beta^s$  ise  $b \geq a$  için  $f_{ijij}^{vbs} = 0$ 'dır.

Yukarıda sunulan dört farklı durum da göz önüne alınarak rotalama karar değişkenlerinin değeri ilgili durumlar için sabitlenmektedir. Bu yöntemin performansı Bölüm 6.3.1’de incelenmektedir.

### **5.2.2 $z_{ij}^v$ Gevşetmeli Sezgisel Çözüm Yöntemi**

Problemin çözüm süresini kısaltabilmek için Problem 1’dekine benzer şekilde Problem 2’ye  $z_{ij}^v$  gevşetmeli sezgisel çözüm yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntemde, öncelikle tam sayılı değişken olan  $z_{ij}^v$  değişkenlerinin tam sayı olma özelliği Model 2’de gevşetilerek gevşetilmiş bir çözüm elde edilmektedir. Daha sonra gevşetilmiş çözüm ile elde edilen kesirli değerler yukarı yuvarlanarak sezgisel bir çözüm elde edilmektedir. Önerilen bu sezgisel çözüm yönteminin performansı Bölüm 6.3.2’de değerlendirilmektedir.

### **5.2.3 Kaplama Problemi Bazlı Sezgisel Çözüm Yöntemi**

Kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm ile Problem 2 iki aşamada çözülmektedir. Bu sezgisel yöntemin uygulaması Problem 1’e uygulanan kaplama problemi bazlı sezgisel yöntemin uygulaması ile aynıdır. Önce Problem 2’nin basitleştirilmiş bir versiyonu olan “Kaplama Modeli 2” optimal olarak çözülmekte, daha sonra ise bu kaplama probleminin çözümünden elde edilen, ADÜ yerlerine ve talep noktalarının atanacağı ADÜ’lere karar veren  $x_{ij}$  değişkenleri Model 2’de sabitlenmektedir. Problem 2 için oluşturulan kaplama probleminde Model 2’den farklı olarak ADÜ kapasiteleri, ADÜ’lerin hizmet verdiği ulaşım yolları ve bağlantılarda kullanılacak araç sayıları bulunmamaktadır. Bunlar dışında kalan kararlar ise aynıdır.

Problem 2 için oluşturulan kaplama probleminin modeli aşağıda sunulmaktadır:

## Kaplama Modeli 2

En Büyükle

$$\begin{aligned} & \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{s \in S} w_{ij}^s r^s h_{ij}^s - \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{s \in S} w_{ij}^s p c^s (1 - h_{ij}^s) - \sum_{j \in H} (f c_j + k c) x_{jj} \\ & - \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in H} \sum_{l \in H} \sum_{v \in V} \sum_{s \in S} (c_{kl}^v + o c^v) f_{ijkl}^{vs} w_{ij}^s / u^v \end{aligned} \quad (5.4)$$

kısıtları altında

(4.2), (4.3), (4.7), (4.11), (4.13), (4.23), (5.2), (5.3)

$$\begin{aligned} & \sum_{k \in H: k \neq i} t_{ik} x_{ik} + \sum_{v \in V} \sum_{k \in H} \sum_{l \in H: l \neq k} t_{kl}^v f_{ijkl}^{vs} + \sum_{l \in H: l \neq j} t_{lj} x_{jl} \quad \forall i, j \in N: i \neq j, \\ & \leq \beta^s + M(1 - h_{ij}^s) \quad , s \in S \end{aligned} \quad (5.5)$$

Amaç fonksiyonunda (5.4) toplam kâr en büyüklenmektedir. Son terimde bağlantılarda kullanılacak araç sayıları toplam akışın araç kapasitesine bölünmesi ile kesirli olarak hesaplanmaktadır. (5.5) numaralı kısıt servis süresi kısıtıdır. Bu kısıt sayesinde kabul edilen talebin gerekli servis süresi içerisinde servis alması sağlanmaktadır.

Bu modelde  $f_{ijkl}^{vs}$  karar değişkenleri Model 2'deki gibi  $k \in N$  ve  $l \in N$  talep noktaları arasında değil Model 1'deki gibi sadece  $k \in H$  ve  $l \in H$  ADÜ'leri arasında tanımlanmıştır. Böylece kaplama problemi, karar değişkeni sayısında bir artış olmadan çözülebilmektedir. (4.7) numaralı akış dengesi kısıtı ile kabul edilmeyen talepler için ADÜ'ler arasında fazladan akış gönderilebilmektedir. Ancak, kaplama problemi sonucunda sadece  $x_{ij}$  değişkenleri sabitleneceğinden önemli olan çıkan sonucun Problem 2 için olurlu olmasıdır. Olurluluk ise (5.5) kısıtı sayesinde sağlanmaktadır.

Kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm yönteminin performansı Bölüm 6.3.3'te incelenmektedir.

#### 5.2.4 Problem 1 Bazlı Sezgisel Çözüm Yöntemi

Problem 2 için bir başka çözüm yöntemi olarak “Problem 1 bazlı” sezgisel yöntem önerilmektedir. Problem 2, Problem 1’den daha kapsamlı bir problem olduğu için ve Problem 1’de verilen tüm kararları içerdiği için böyle bir sezgisel yöntem uygulanabilmektedir. Problem 2’de Problem 1’e ek olarak her bir servis tipi için kabul edilen talep ikililerinin kararını veren bir değişken ( $h_{ij}^s$ ) bulunmaktadır. Yani talep noktaları arasında farklı servis tiplerindeki tüm talebi kabul etme zorunluluğu yoktur. Ayrıca, problemde kabul edilen taleplerden gelen gelir ve kabul edilmeyen taleplerden dolayı oluşan ceza maliyetleri bulunmaktadır. Problem 1’de amaç toplam maliyeti en küçüklemek iken, Problem 2’de amaç toplam kârı en büyüktür. Problem 2’de talep ikilileri arasındaki tüm talebin kabul edilmesi varsayımı altında Problem 1 ve Problem 2 birbirine çok benzemektedir.

Bu sezgisel yöntemde önce Model 1 optimal olarak çözülmekte, daha sonra bu çözümden elde edilen, ADÜ yerlerine ve talep noktalarının atanacağı ADÜ’lere karar veren  $x_{ij}$  değişkenleri Model 2’ye girdi olarak verilip sabitlenmektedir. Bu sezgisel çözüm yönteminin performansı Bölüm 6.3.4’te incelenmektedir.

### 5.3 Problem 3

Bölüm 4.3’te anlatıldığı gibi Problem 3, Problem 2’nin özel bir durumudur. Amaç belirli bir bütçe ile VIP hizmeti alan toplam talebi en büyüktür. Problem 2’den farklı olarak bu problemde bütçe kısıtı bulunmaktadır.

Problem 2’nin amaç fonksiyonunda bulunan toplam ulaşım, araç işletme ve ADÜ’lerin toplam maliyetini veren maliyet fonksiyonu ile Problem 3’ün bütçe kısıtında bulunan maliyet fonksiyonları aynıdır.

Problem 3'ün optimal çözüm süresini kısaltmak amacı ile değişken sabitleme yöntemi, çözüm yöntemi olarak da kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm yöntemi önerilmektedir.

### 5.3.1 Değişken Sabitleme Yöntemi

Uygulanan değişken sabitleme yöntemi Problem 2'ye uygulanan değişken sabitleme yöntemi ile birebir aynıdır. Problem 1'den farkı ise  $f_{ijkl}^{vs}$  değişkenlerinin tanım kümelerinin farklı olmasıdır. Bu sezgisel çözüm yönteminin performansı Bölüm 6.4.1'de değerlendirilmektedir.

### 5.3.2 Kaplama Problemi Bazlı Sezgisel Çözüm Yöntemi

Kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm yöntemi Problem 2'ye uygulanan kaplama problemi sezgisel çözüm yöntemi ile birebir aynıdır. Önce Problem 2'nin basitleştirilmiş bir versiyonu olan “*Kaplama Modeli 2*” optimal olarak çözülmekte, daha sonra ise kaplama probleminin çözümünden elde edilen, ADÜ yerlerine ve talep noktalarının atanacağı ADÜ'lere karar veren  $x_{ij}$  değişkenleri Model 3'te sabitlenmektedir. Problem 3'te bulunan bütçe kısıtından dolayı kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm yöntemi ile her zaman olurlu bir çözüm bulmak mümkün olmayabilir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için bütçe parametresi değerinin kaplama modelinin çözümünden elde edilen maliyetten daha yüksek olduğu varsayılmaktadır. Önerilen kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm yönteminin performansı Bölüm 6.4.2'de incelenmektedir.



## 6 ÇÖZÜM YÖNTEMLERİNİN TÜRKİYE VERİSİ ÜZERİNDE UYGULAMASI

Bu bölümde, geliştirilen matematiksel modeller ve önerilen sezgisel yöntemler gerçek hayat verileri üzerinde uygulanmaktadır.

Bölüm 6.1’de Türkiye verisi üzerindeki problem parametreleri anlatılmaktadır. Sırası ile Bölüm 6.2’de Problem 1 için, 6.3’te Problem 2 için, 6.4’te ise Problem 3 için önerilen çözüm yöntemlerinin Türkiye verisi üzerindeki sonuçları, 6.5’te Türkiye veri kümesi kullanılarak her bir problem için örnek çözümler, 6.6’da problem parametrelerinin çözüm yöntemleri üzerindeki etkisini görebilmek amacı ile yapılan istatistiksel analiz, son olarak 6.7’de de elde edilen sonuçlar ve yapılan değerlendirme sunulmaktadır.

Problemler için oluşturulan tüm matematiksel modeller OPL CPLEX 12.4 ticari çözücüsü kullanılarak kodlanmış ve çözdürülmüştür. Tüm koşullarlar 2xIntel Xeon 2.40 GHz işlemci 48 GB RAM özelliklerine sahip HP Z600 iş istasyonunda alınmıştır. Tüm koşullar için CPLEX’e bir saatlik (3600 sn) zaman limiti koyulmuştur.

### 6.1 Problem Parametreleri

Tez kapsamında tanımlanan tüm problemler kargo taşımacılığında karşılaşılan problemlerdir. Dolayısı ile problem parametrelerini belirlemek için Türkiye’deki üç büyük kargo şirketi olan Yurtiçi Kargo, Aras Kargo ve MNG Kargo ile görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Bu kargo şirketlerinin yapıları ve işleyişlerine ait bilgiler Bölüm 2’de ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. Bu görüşmelerden elde edilen bilgiler, ihtiyaç duyulan problem parametrelerinin oluşturulmasında kullanılmıştır.

Önerilen çözüm yöntemlerini test edebilmek için Türkiye'deki 81 il arasından Ankara, Antalya, Bursa, Diyarbakır, Erzurum, İstanbul, İzmir ve Trabzon olmak üzere sekiz il seçilmiştir. Seçilen tüm iller arasında karşılıklı olarak talep bulunmaktadır. Aynı zamanda bu sekiz il potansiyel ADÜ yerleri kümesini de oluşturmaktadır. Bu çalışmada talep noktaları kümesi ile potansiyel ADÜ yerleri kümesi aynı kabul edilmiştir. Problemler için önerilen matematiksel modellerde değişken sayısı çok fazladır. Buna bağlı olarak verinin boyutu arttıkça, çözüm süresi de büyük ölçüde artış göstermektedir. Dolayısı ile önerilen tüm çözüm yöntemleri bu küçük ölçekli Türkiye verisi üzerinde test edilmiştir.

Oluşturulan modellerde kullanılan kümelere ait bilgiler Tablo 6.1'de verilmektedir. ADÜ'lerin hizmet verebileceği araç sayısına bağlı olarak küçük ve büyük olmak üzere iki çeşit ADÜ kapasitesi ele alınmaktadır. Türkiye'deki kargo şirketleri incelendiğinde ADÜ'ler arasında hava yolu ve kara yolu kullanıldığı gözlemlenmektedir. Dolayısı ile iki çeşit ulaşım yolu içeren ulaşım yolları kümesi bulunmaktadır. Ulaşım yollarında kargo taşıma kapasitelerine ve hızlarına göre dört farklı çeşit araç kullanıldığı varsayılmaktadır. Kamyonet, kamyon ve tır kara yolu taşımacılığında, uçak ise hava yolu taşımacılığında hizmet vermektedir. Kargo şirketlerinin müşteri memnuniyetini sağlayabilmek adına farklı hizmetler verdiği gözlemlenmektedir. Bu çalışmada servis sürelerine göre normal ve VIP olmak üzere iki servis tipi ele alınmaktadır.

**Tablo 6.1:** Problem parametreleri

<b>Kümeler</b>	<b>Tanımlar</b>	<b>Değerler</b>
$Q$	ADÜ kapasiteleri	Küçük, Büyük
$M$	Ulaşım yolları	Kara yolu, Hava yolu
$V$	Araç tipleri	Kamyonet, Kamyon, Tır, Uçak
$S$	Servis tipleri	Normal, VIP

Her bir servis tipi için talep noktaları arasındaki akış ( $w_{ij}^s$ ) verisi Çetiner vd. [36] çalışmasında kullanılan verilerden elde edilmektedir. Yurtiçi Kargo İstanbul'dan

Ankara'ya günlük yaklaşık 100 ton kargo taşımaktadır. Elde edilen bu bilgiye göre akış verisi ölçeklendirilerek model için kullanılacak hale getirilmiştir. Her bir servis tipi için talebin eşit olduğu varsayılmaktadır. Dolayısı ile ölçeklendirilen akış miktarının yarısının normal, diğer yarısının ise VIP servis tipindeki talep için olduğu varsayılmaktadır.

Bağlantılar üzerinde farklı tip araç kullanmanın birim maliyeti araçların yakıt maliyetlerine ve iller arası mesafelere bağlı olarak hesaplanmaktadır. Her bir araç için taşıma kapasitesi  $u^v$  ve km başına yakıt maliyeti  $c_{ij}^v$  Tablo 6.2'de verilmektedir. Bu veriler kargo şirketleri ile yapılan görüşmeler sonucu elde edilmiştir. İller arası mesafe ise Kara Yolları Genel Müdürlüğü'nden elde edilmiştir [37]. Araçların taşıma kapasiteleri ton cinsinden, yakıt maliyetleri ise 1 km mesafe için TL cinsinden tüketilen yakıt olarak verilmektedir. Örneğin; Ankara ile İstanbul arası farklı tip araç kullanmanın birim maliyeti, Ankara ile İstanbul arası mesafenin her bir araç tipi için ilgili  $c_{ij}^v$  değeri ile çarpılması sonucu elde edilmektedir.

**Tablo 6.2:** Farklı araç tiplerine ait kapasite ve yakıt maliyetleri

	<b>Kamyonet</b>	<b>Kamyon</b>	<b>Tır</b>	<b>Uçak</b>
Taşıma kapasitesi, $u^v$ (ton)	3,5	15	25	200
Yakıt maliyeti, $c_{ij}^v$ (TL/km)	0,5	1	1,2	6,4

Araç işletme maliyeti ( $oc^v$ ) şoför ve araçların bakım maliyetlerini içermektedir. Kargo şirketleri ile yapılan görüşmeler sonucu elde edilen bilgiler ışığında çalışanların maaşlarına ve araçların bakım maliyetlerine bağlı olarak araç işletme maliyeti uçak için 4000 TL, kamyon ve tır için ise 200 TL olarak belirlenmiştir. Kamyonet için araç işletme maliyeti şubeye ait olduğu için bu çalışmada böyle bir maliyetin olmadığı varsayılmaktadır.

ADÜ'lerin toplam maliyeti bir noktaya ulaşım yoluna bağlı ADÜ kapasitesi açma maliyeti ( $kc_k^{mq}$ ) ve ADÜ açma maliyeti ( $fc_k$ ) olmak üzere iki maliyet kalemi içermektedir. Bir noktaya ADÜ açma maliyeti ADÜ'nün kapasitesinden ve hizmet verdiği ulaşım yolundan bağımsız olan arsa vb. maliyetleri içermektedir. ADÜ açma

maliyeti ( $fc_k$ ) olarak 10.000 TL'lik aralıklarla 60.000 TL ile 120.000 TL arasında farklı değerler ele alınmaktadır. ADÜ kapasitelerine ve ADÜ'lerin hizmet verdiği ulaşım yoluna bağlı olan maliyet kalemi ( $kc_k^{mq}$ ) için ise kara yolu ADÜ'sü için büyük kapasiteli ADÜ kurma maliyeti 2500 TL, küçük kapasiteli ADÜ kurma maliyeti 1000 TL olarak alınırken, hava yolu ADÜ'sü için büyük kapasiteli ADÜ kurma maliyeti 2800 TL, küçük kapasiteli ADÜ kurma maliyeti ise 1200 TL olarak alınmaktadır. Bu çalışmada ulaşım yoluna bağlı ADÜ kapasitesi açma maliyetinin potansiyel ADÜ yerlerine bağlı olarak değişmediği varsayılmaktadır.

ADÜ'lerin elleçleyebileceği maksimum araç sayısı ( $k^{vq}$ ) ADÜ'lerin kapasitelerine göre değişkenlik göstermektedir. Büyük kapasiteli ADÜ'lerin elleçleyebileceği maksimum kamyonet sayısı 140, kamyon sayısı 30, tır sayısı 20 ve uçak sayısı 6 olarak ele alınırken, küçük kapasiteli ADÜ'lerin elleçleyebileceği maksimum kamyonet sayısı 70, kamyon sayısı 15, tır sayısı 10 ve uçak sayısı 3 olarak ele alınmaktadır.

Her araç tipi için talep noktaları arasındaki ulaşım süresi ( $t_{ij}^v$ ) iller arası mesafe matrisinin her bir araç tipinin hızına (km/sa) bölünmesi ile elde edilmektedir. Çalışmada dört tip araç kullanılmaktadır. Ortalama kamyonet hızı 90 km/sa, kamyon hızı 80 km/sa, tır hızı 70 km/sa, uçak hızı ise 700 km/sa olarak alınmaktadır.

Normal ve VIP olmak üzere iki servis tipi ele alınmaktadır. Her iki servis tipinin tüm talep noktaları arasında sağlanabileceği varsayılmaktadır. Türkiye'deki iller arasında sunulan farklı tip servisler için teslimat süreleri elde edilmiştir. Bu değerler EK 1'de sunulmaktadır. Bazı kargo şirketleri normal servis için kargonun saat 18:00'de teslim alınıp ertesi gün saat 12:00'ye kadar teslim edilmesi gerektiğini; VIP servisi ile ise aynı gün içinde, yani sabah teslim alınıp akşam teslim etme şeklinde, servis verilmesi gerektiğini göz önüne alarak servis sürelerini normal servis için 18 saat, VIP servis için ise 8 saat olarak kabul etmektedir. Bazı kargo şirketleri ise VIP servisi için 16 saat içerisinde, normal servis için ise 24 saat içerisinde teslimat sağlayabilmektedir. Dolayısı ile bu çalışmada iki tip servis süresi ( $\beta^s$ ) kullanılmıştır. Birinde servis

süreleri normal servis için 18 saat, VIP servis için 8 saat, diğesinde ise servis süreleri normal servis için 24, VIP servis için 16 saat olarak kabul edilmektedir.

Problem 2’de her servis tipi için talep ikilileri arasında kabul edilen talebin geliri ( $r^s$ ), kabul edilmeyen talebin ise ceza maliyeti ( $pc^s$ ) bulunmaktadır. Kargo şirketlerinin verileri incelenerek normal servis tipi için kabul edilen bir ton talep için gelir 1000 TL, VIP servis tipi için ise 2500 TL olarak belirlenmiştir. Kabul edilmeyen talebin birim maliyeti, kabul edilen talebin birim gelirinin %1’i olacak şekilde alınmaktadır. Normal servis tipi için bu değer 10 TL, VIP servis tipi için ise 25 TL’dir.

Problem 3’te Problem 2’nin optimal çözümünden elde edilen toplam maliyet değerleri baz alınarak iki çeşit bütçe değeri kullanılmıştır. Yüksek bütçe değeri 600.000 TL, düşük bütçe değeri ise 500.000 TL olarak kabul edilmiştir.

## 6.2 Problem 1

Bu bölümde Problem 1’in çözüm sürelerini kısaltmak için uygulanan değişken sabitleme ve geçerli eşitsizlik ekleme yöntemlerinin ve  $z_{ij}^v$  gevşetmeli ve kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm yöntemlerinin Türkiye veri kümesi üzerindeki uygulaması anlatılmaktadır.

### 6.2.1 Değişken Sabitleme Yöntemi

Bu kısımda değişken sabitleme yönteminin Model 1’in optimal çözüm süresine olan etkisi incelenmektedir. Tablo 6.3’te farklı servis süreleri ve sabit maliyetler altında elde edilen optimal çözüm süreleri değişken sabitleme yönteminin uygulanıp uygulanmadığı iki ayrı durum için ayrı ayrı incelenmektedir. Tablo 6.3’ün birinci sütununda kullanılan servis süreleri, ikinci sütununda kullanılan sabit maliyet değerleri, üçüncü sütununda optimal çözümden elde edilen amaç fonksiyonu değerleri, dördüncü sütununda değişken sabitleme yöntemi uygulanmadan elde

edilen çözüm süreleri ve son sütunda değişken sabitleme yöntemi uygulandığında elde edilen çözüm süreleri verilmektedir. Bir saatlik zaman limitinin aşıldığı durumlarda CPLEX tarafından sunulan optimal çözüme olan yüzde uzaklıklar parantez içinde belirtilmektedir. Ortalama çözüm süreleri zaman limitinin aşıldığı durumlar da göz önüne alınarak hesaplanmaktadır.

Değişken sabitleme yöntemi ile normal servis süresinin 18, VIP servis süresinin 8 saat alındığı durumlarda ilgili değişkenlerin %27'si, normal servis süresinin 24, VIP servis süresinin 16 saat alındığı durumlarda ise ilgili değişkenlerin %10'u sabitlenebilmektedir.

**Tablo 6.3:** Problem 1 için optimal çözümde değişken sabitleme yönteminin çözüm sürelerine olan etkisi

Servis süresi (Normal, VIP) (sa)	Sabit Maliyet	Minimum Maliyet	<i>Model 1</i>	<i>Model 1+ Değişken Sabitleme</i>
			<i>Çözüm Süresi (sn)</i>	<i>Çözüm Süresi (sn)</i>
(18, 8)	60.000	428.238	3600 (%1,28)	3600 (%0,26)
	70.000	488.001	3600 (%1,30)	3600 (%0,58)
	80.000	548.480	3600 (%0,60)	3600 (%0,09)
	90.000	600.061	185,86	148,48
	100.000	650.061	138,90	108,69
	110.000	700.061	259,12	120,20
	120.000	750.061	45,12	87,69
(24, 16)	60.000	301.031	4,66	3,57
	70.000	321.031	3,42	3,00
	80.000	341.031	3,06	2,20
	90.000	361.031	3,11	2,20
	100.000	381.031	4,73	2,59
	110.000	401.031	5,16	3,00
	120.000	421.031	5,07	4,26
<b>Ortalama</b>			954,85	940,49

Tablo 6.3'teki çözüm sürelerine bakıldığında değişken sabitleme yönteminin bir durum haricindeki tüm koşullarda çözüm süresini kısalttığı görülmektedir. Normal servis süresinin 18 saat, VIP servis süresinin 8 saat olduğu durumda ve sabit maliyetin 60.000, 70.000 ve 80.000 alındığı örnekler için belirlenen zaman limiti

içerisinde optimal çözüm bulunamamıştır. Bu örnekler için belirlenen zaman limiti sonunda elde edilen çözümün optimal çözüme olan yüzde uzaklıkları incelendiğinde ise, değişken sabitleme yöntemi uygulandığında elde edilen yüzde uzaklıkların uygulanmadığı duruma göre daha düşük olduğu görülmektedir. Normal servis süresinin 24 saat, VIP servis süresinin 16 saat alındığı durumda ise çok daha kısa sürelerde çözüm alınmakta ve değişken sabitleme yöntemi ile çözüm süreleri her durumda kısalmaktadır.

Yapılan analiz sonucu değişken sabitleme yönteminin performansının iyi olduğu yani çözüm süresini kısalttığı gözlemlenmekte, dolayısı ile Problem 1 ile ilgili yapılan diğer analizlerin hepsinde değişken sabitleme yöntemi kullanılmaktadır.

### **6.2.2 Geçerli Eşitsizlikler**

Bu bölümde, geçerli eşitsizlik 1 (GE 1)'i ve geçerli eşitsizlik 2 (GE 2)'yi Model 1'e eklemenin çözüm sürelerine olan etkisi incelenmektedir. Tablo 6.4'te farklı servis süreleri ve sabit maliyet değerleri için sırası ile amaç fonksiyonu değerleri, modelin herhangi bir geçerli eşitsizlik eklenmeden çözülmesi ile elde edilen çözüm süreleri, modele (GE 1) eklendiğinde elde edilen çözüm süreleri, modele (GE 2) eklendiğinde elde edilen çözüm süreleri ve son olarak modele iki eşitsizlik birden eklendiği zaman elde edilen çözüm süreleri verilmektedir. Son satırda ise çözüm süreleri için hesaplanan ortalama değerler verilmektedir. Bir saatlik zaman limitinin aşıldığı örnekler için CPLEX tarafından sunulan optimal çözüme olan yüzde uzaklıklar parantez içerisinde gösterilmektedir. Ortalama çözüm süreleri hesaplanırken zaman limitinin aşıldığı koşullar da hesaba katılmıştır.

**Tablo 6.4:** Problem 1 için optimal çözümde (GE 1) ve (GE 2)'nin çözüm sürelerine olan etkisi

Servis süresi (Normal, VIP) (sa)	Sabit Maliyet	Minimum Maliyet	Çözüm Süresi (sn)	GE 1	GE 2	GE 1 + GE 2
				Çözüm Süresi (sn)	Çözüm Süresi (sn)	Çözüm Süresi (sn)
(18, 8)	60.000	428.238	3600 (%0,26)	3600 (%0,24)	3600 (%0,47)	3600 (%0,47)
	70.000	488.001	3600 (%0,58)	3600 (%0,48)	3600 (%0,51)	3600 (%0,52)
	80.000	548.480	3600 (%0,09)	3600 (%0,07)	3600 (%0,66)	3600 (%0,65)
	90.000	600.061	148,48	148,83	110,53	110,42
	100.000	650.061	108,69	108,98	159,39	159,96
	110.000	700.061	120,20	119,18	152,05	151,23
	120.000	750.061	87,69	87,77	114,22	114,24
(24, 16)	60.000	301.031	3,57	3,09	2,98	3,01
	70.000	321.031	3,00	2,67	0,00	0,00
	80.000	341.031	2,20	2,20	2,57	2,20
	90.000	361.031	2,20	2,15	0,00	0,00
	100.000	381.031	2,59	2,71	3,09	2,87
	110.000	401.031	3,00	2,90	3,60	4,80
	120.000	421.031	4,26	4,62	6,11	2,75
<b>Ortalama</b>			806,13	806,08	811,04	810,82

Ortalama çözüm sürelerine bakıldığında (GE 1) ve (GE 2)'yi modele ayrı ayrı eklemenin de, beraber eklemenin de modelin çözüm süresini azaltmadığı görülmektedir. (GE 1) eklendiğinde ortalama çözüm süresi neredeyse aynı kalırken, (GE 2) eklendiğinde ve (GE 1) ile (GE 2) birlikte eklendiğinde ortalama çözüm süresi az da olsa artmaktadır. Koşullar ayrı ayrı incelendiğinde ise bazı koşullar için geçerli eşitsizliklerin çözüm süresini azalttığı bazıları ise arttırdığı görülmektedir. Optimal çözüm sürelerinin çok kısa olduğu koşullardaki sonuçlar ile genel bir sonuca varmanın doğru olmadığı düşünülmektedir. Çözüm sürelerinin göreceli olarak daha yüksek olduğu koşulların çoğunluğunda ise geçerli eşitsizliklerin CPLEX'in optimal çözüm süresini arttırdığı görülmektedir.

Normal servis süresinin 18 saat, VIP servis süresinin 8 saat olduğu ve sabit maliyetin 60.000, 70.000 ve 80.000 olduğu durumlarda (GE 1) ve (GE 2) ayrı ayrı eklendiğinde de beraber eklendiğinde de bir saat zaman limiti içerisinde optimal



çözüm bulunamamaktadır. Bu koşullar için bir saat zaman limiti sonunda CPLEX'in verdiği optimal çözüme olan yüzde uzaklık değerleri Tablo 6.4'te parantez içerisinde belirtilmektedir. (GE 1) eklendiğinde yüzde uzaklık değerleri azalırken (GE 2) eklendiğinde ve (GE 2) ile (GE 1) beraber eklendiğinde yüzde uzaklık değerleri artmaktadır.

Tablo 6.5'te (GE 1) ve (GE 2)'nin Model 1'e eklenmesi ile elde edilen LP gevşetmesi değerlerinin optimal amaç fonksiyonu değerlerine olan yüzde uzaklıkları karşılaştırılmaktadır. Farklı servis süreleri ve sabit maliyet değerleri için sütunlarda sırası ile değişken sabitleme dışında herhangi bir yöntem kullanılmadan modelin LP gevşetmesi değerinin optimal çözüme olan yüzde uzaklığı, modele (GE 1) eklendiğinde, (GE 2) eklendiğinde, (GE 1) ile (GE 2) beraber eklendiğinde elde edilen LP gevşetmesi değerlerinin optimal çözüme olan yüzde uzaklıkları verilmektedir. Son satırda ise yüzde uzaklıkların ortalama değerleri sunulmaktadır.

LP gevşetmesi değerinin optimal çözüme olan yüzde uzaklığı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$Fark (\%) = \frac{\text{Optimal amaç fonksiyon değeri} - \text{LP gevşetmesi değeri}}{\text{LP gevşetmesi değeri}} * 100$$

**Tablo 6.5:** (GE 1) ve (GE 2)'nin eklenmesi ile elde edilen LP gevşetmesi değerlerinin optimal değere olan uzaklıklarının karşılaştırılması

Servis Süresi (Normal, VIP) (sa)	Sabit Maliyet	Minimum maliyet	Fark (%)	GE 1	GE 2	GE 1 + GE 2
				Fark (%)	Fark (%)	Fark (%)
(18, 8)	60.000	428.238	33,58	33,58	33,04	33,04
	70.000	488.001	38,80	38,80	38,13	38,13
	80.000	548.480	44,68	44,68	44,01	44,01
	90.000	600.061	47,58	47,58	46,93	46,93
	100.000	650.061	50,09	50,09	49,47	49,47
	110.000	700.061	52,36	52,36	51,77	51,77
	120.000	750.061	54,39	54,39	53,82	53,82
(24, 16)	60.000	301.031	1,21	1,21	0,72	0,72
	70.000	321.031	1,13	1,13	0,67	0,67
	80.000	341.031	1,06	1,06	0,63	0,63
	90.000	361.031	1,00	1,00	0,60	0,60
	100.000	381.031	1,88	1,88	1,54	1,54
	110.000	400.031	3,01	3,01	2,68	2,68
	120.000	421.031	4,05	4,05	3,74	3,74
<b>Ortalama</b>			23,92	23,92	23,41	23,41

LP gevşetmesi değerlerinin optimal çözüme olan ortalama uzaklık değerlerine bakıldığında (GE 1)'i tek başına eklemenin LP gevşetmesine bir etkisi olmadığı, (GE 2)'yi tek başına eklemenin ise LP gevşetmesi değerini az da olsa iyileştirdiği görülmektedir. (GE 1) tek başına LP gevşetme değerine etki etmediği için (GE 1) ile (GE 2) beraber eklendiği zaman da (GE 2)'nin tek başına eklenmesi ile aynı sonuç elde edilmektedir. Normal servis süresinin 24 saat, VIP servis süresinin 16 saat olduğu durumda LP gevşetmesi değerlerinin optimal çözüme olan uzaklık değerleri, normal servis süresinin 18 saat, VIP servis süresinin ise 8 saat olduğu duruma göre çok daha düşüktür. Bunun sebebi olarak servis süresinin artması ile neredeyse tüm talebin en ucuz yoldan karşılanabilmesi sonucu kesirli karar değişkeni sayılarının azalması gösterilebilir.

Geçerli eşitsizlikleri modele eklemenin optimal çözüm sürelerinde beklenen azalmayı sağlayamaması ve geçerli eşitsizlikler eklendikten sonra LP gevşetmesi değerlerinde çok fazla iyileşme olmaması sonucu Problem 1 ile bundan sonra yapılan analizlerde geçerli eşitsizliklerin kullanılmamasına karar verilmiştir.

### 6.2.3 $z_{ij}^v$ Gevşetmeli Sezgisel Çözüm Yöntemi

Bu kısımda,  $z_{ij}^v$  gevşetmeli çözümden elde edilen kesirli  $z_{ij}^v$  değişkeni değerlerinin yukarı yuvarlanması sonucu elde edilen sezgisel çözümün performansı incelenmektedir. Farklı servis süreleri ve sabit maliyet değerleri ile elde edilen optimal amaç fonksiyonu değerleri ve çözüm süreleri, sezgisel amaç fonksiyonu değerleri ve çözüm süreleri, sezgisel çözümün optimal çözüme olan yüzde uzaklıkları Tablo 6.6'da verilmektedir. Ayrıca çözüm sürelerinin ortalama değerleri son satırda gösterilmektedir.

Sezgisel çözümün optimal çözüme olan yüzde uzaklığı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$Fark (\%) = \frac{\text{Sezgisel amaç fonksiyon değeri} - \text{Optimal amaç fonksiyon değeri}}{\text{Optimal amaç fonksiyon değeri}} * 100$$

**Tablo 6.6:** Problem 1 için  $z_{ij}^v$  gevşetmeli sezgisel çözümün performansı

Servis süresi (Normal, VIP) (sa)	Sabit Maliyet	Optimal Çözüm		Sezgisel Çözüm		
		Minimum Maliyet	Çözüm Süresi (sn)	Maliyet	Çözüm Süresi (sn)	Fark (%)
(18, 8)	60.000	427.539	792,50	516.908	14,51	20,90
	70.000	487.539	1194,08	576.908	31,77	18,33
	80.000	547.539	574,04	636.908	37,10	16,32
	90.000	600.061	93,66	659.160	13,93	9,85
	100.000	650.061	97,70	709.160	13,44	9,09
	110.000	700.061	94,10	759.160	15,47	8,44
	120.000	750.061	27,39	809.160	9,72	7,88
(24, 16)	60.000	301.031	4,66	301.031	1,04	0
	70.000	321.031	3,42	321.031	1,08	0
	80.000	341.031	3,06	341.031	1,50	0
	90.000	361.031	3,11	361.031	1,09	0
	100.000	381.031	4,73	381.031	1,64	0
	110.000	401.031	5,16	401.031	1,61	0
	120.000	421.031	5,07	421.031	1,54	0
<b>Ortalama</b>			207,33		10,39	6,49

Ortalama çözüm sürelerine bakıldığı zaman sezgisel çözüm ile çözüm süresinin 207,33 sn'den 10,39 sn'ye düştüğü görülmektedir. Tüm koşullar ayrı ayrı incelendiğinde de beklendiği gibi çözüm süresi her bir koşulda kısalmaktadır. Normal servis süresinin 18 saat, VIP servis süresinin 8 saat ve sabit maliyetin 70.000 alındığı koşulda çözüm süresi 1194,08 sn'den 31,77 sn'ye düşürülmüş, yani çözüm süresinde yaklaşık %97 azalma sağlanmıştır. Ancak, daha kısa süre içerisinde elde edilen bu sezgisel çözümün optimal çözüme olan uzaklığı %18,33'tür. Normal servis süresinin 18 saat, VIP servis süresinin 8 saat olduğu durumda sezgisel çözümün optimal çözüme olan uzaklık değerleri oldukça yüksek olmakla beraber, normal servis süresinin 24 saat, VIP servis süresinin 16 saat olduğu durumda ise sezgisel çözüm tüm koşullarda optimal çözümü vermektedir. Bu sonuç, sezgisel çözümün performansının daha yüksek servis süreleri için daha iyi olduğunu göstermektedir. Bunun sebebinin servis sürelerinin artması sonucu talebin en ucuz yoldan karşılanabilmesi ile kesirli karar değişkeni sayılarının azalması ve gevşetilen karar değişkeni değerlerinin çoğunlukla tam sayı çıkmasının bir sonucu olduğu tahmin edilmektedir.

#### **6.2.4 Kaplama Problemi Bazlı Sezgisel Çözüm Yöntemi**

Farklı servis süreleri ve sabit maliyet değerleri için kaplama problemi bazlı sezgisel çözümün performansı bu bölümde incelenmektedir. Tablo 6.7'de farklı servis süreleri ve sabit maliyet değerleri için sırası ile Model 1'in optimal çözümünden elde edilen amaç fonksiyonu değerleri ve çözüm süreleri, sezgisel çözümden elde edilen amaç fonksiyonu değerleri ve çözüm süreleri ve sezgisel çözümün optimal çözüme olan yüzde uzaklıkları yer almaktadır. Ayrıca, ortalama çözüm süreleri ve yüzde fark değerleri de tabloda verilmektedir. Sezgisel yöntemin çözüm süresi, Bölüm 5.2.3'te verilen Problem 1 için oluşturmuş kaplama probleminin çözüm süresi ile kaplama probleminde elde edilen çözümün bir kısmının Problem 1'de sabitlendikten sonra elde edilen çözüm süresinin toplanması sonucu elde edilmektedir.

**Tablo 6.7:** Problem 1 için kaplama problemi bazlı sezgisel çözümün performansı

Servis süresi (Normal, VIP) (sa)	Optimal Çözüm			Sezgisel Çözüm		
	Sabit Maliyet	Minimum Maliyet	Çözüm Süresi (sn)	Maliyet	Çözüm Süresi (sn)	Fark (%)
(18, 8)	60.000	427.539	792,50	427.539	277,95	0
	70.000	487.539	1194,08	487.539	580,17	0
	80.000	547.539	574,04	547.539	618,31	0
	90.000	600.061	93,66	600.061	13,26	0
	100.000	650.061	97,70	650.061	12,60	0
	110.000	700.061	94,10	700.061	14,38	0
	120.000	750.061	27,39	750.061	13,36	0
(24, 16)	60.000	301.031	4,66	301.031	3,01	0
	70.000	321.031	3,42	321.031	3,03	0
	80.000	341.031	3,06	341.031	2,73	0
	90.000	361.031	3,11	361.031	2,78	0
	100.000	381.031	4,73	381.031	3,58	0
	110.000	401.031	5,16	401.031	4,81	0
	120.000	421.031	5,07	421.031	4,51	0
<b>Ortalama</b>			207,33		111,04	0

Ortalama çözüm süreleri incelendiğinde sezgisel yöntem ile çözüm süresinin neredeyse yarıya indiği görülmektedir. Tüm koşullar ayrı ayrı incelendiğinde ise sadece normal servis süresinin 18 saat, VIP servis süresinin 8 saat olduğu ve sabit maliyetin 80.000 olduğu durumda çözüm süresinin arttığı, diğer 13 koşulda ise çözüm sürelerinin kısaldığı görülmektedir.

Yüzde fark değerlerine bakıldığında sezgisel çözümün tüm koşullarda optimal çözümü bulduğu görülmektedir. Alınan bu koşullarla yapılan analiz sonucu kaplama problemi bazlı sezgisel çözümün hem çözüm süresi hem de optimal çözüme uzaklık bakımından oldukça iyi performans gösterdiği görülmektedir.

### 6.3 Problem 2

Bu bölümde Problem 2'nin optimal çözüm süresini azaltmak için uygulanan değişken sabitleme yönteminin, ayrıca, önerilen  $z_{ij}^v$  gevşetmeli, kaplama problemi

bazlı ve Problem 1 bazlı sezgisel çözüm yöntemlerinin Türkiye veri kümesi üzerindeki uygulamasından elde edilen sonuçlar sunulmaktadır.

### **6.3.1 Değişken Sabitleme Yöntemi**

Bu kısımda değişken sabitleme yönteminin Model 2'nin optimal çözüm sürelerine olan etkisi incelenmektedir. Tablo 6.8'de yüksek ve düşük birim gelir ve ceza maliyeti değerleri ile Model 2'nin optimal çözümü için değişken sabitleme yönteminin çözüm sürelerine olan etkisi sunulmaktadır. Tablolarda sırası ile kullanılan servis süreleri, sabit maliyet değerleri, optimal amaç fonksiyonu değerleri, Model 2 ile elde edilen çözüm süreleri ve değişken sabitleme yöntemi uygulandıktan sonra elde edilen çözüm süreleri verilmektedir. Ayrıca ortalama çözüm süreleri de tablolarda yer almaktadır.

Değişken sabitleme yöntemi ile normal servis süresinin 18, VIP servis süresinin 8 saat alındığı durumlarda ilgili değişkenlerin %27'si, normal servis süresinin 24, VIP servis süresinin 16 saat alındığı durumlarda ise ilgili değişkenlerin %10'u sabitlenebilmektedir. Sabitlenen değişkenlerin yüzdesi Problem 1'de sabitlenen değişkenlerin yüzdesi ile aynıdır. Bunun nedeni problem verilerinde talep noktaları kümesi ile potansiyel ADÜ yerleri kümesinin aynı olmasıdır.

**Tablo 6.8:** Problem 2 için değişken sabitleme yönteminin optimal çözüm sürelerine olan etkisi

	Servis Süresi (Normal, VIP) (sa)	Sabit Maliyet	Maksimum Kâr	Model 2	Model 2 + Değişken Sabitleme
				Çözüm Süresi (sn)	Çözüm Süresi (sn)
Yüksek birim gelir ve ceza maliyeti değerleri	(18, 8)	60.000	1.470.484	1329,63	798,85
		70.000	1.430.484	1312,95	1784,79
		80.000	1.390.484	2337,80	1293,90
		90.000	1.350.484	688,49	1109,83
		100.000	1.310.484	1482,10	1234,84
		110.000	1.270.484	2101,65	545,93
		120.000	1.230.484	2151,07	619,95
	(24, 16)	60.000	1.556.314	791,22	949,05
		70.000	1.536.314	3980,02	472,46
		80.000	1.516.314	1213,61	573,12
		90.000	1.496.314	1159,96	260,12
		100.000	1.476.314	454,95	272,99
		110.000	1.456.314	523,63	431,53
		120.000	1.436.314	369,66	326,46
Düşük birim gelir ve ceza maliyeti değerleri	(18, 8)	60.000	570.875	945,65	1051,88
		70.000	530.875	1252,16	789,51
		80.000	494.292	857,60	547,97
		90.000	464.292	633,74	840,17
		100.000	434.292	1058,06	636,61
		110.000	404.292	674,75	695,80
		120.000	374.292	710,26	936,82
	(24, 16)	60.000	627.642	703,25	336,51
		70.000	607.642	1822,56	622,46
		80.000	587.642	959,45	406,62
		90.000	567.642	497,13	730,58
		100.000	547.642	360,86	257,88
		110.000	527.642	455,29	387,38
		120.000	507.642	469,66	267,34
<b>Ortalama</b>				1117,76	685,05

Tablo 6.8 incelendiğinde değişken sabitleme yöntemi ile ortalama çözüm süresinin 1117,76 sn'den 685,05 sn'ye düştüğü görülmektedir. Koşumlar ayrı ayrı incelendiğinde ise toplam 28 koşumdan 20 tanesinde çözüm süresinin kısaldığı, kalan 8 koşumda ise çözüm sürelerinin arttığı görülmektedir. Değişken sabitleme

yöntemi ile genel olarak optimal çözüm sürelerinin oldukça azaldığı sonucuna varılmaktadır, dolayısı ile Problem 2 ile ilgili yapılan diğer analizlerin hepsinde değişken sabitleme yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir.

### 6.3.2 $z_{ij}^v$ Gevşetmeli Sezgisel Çözüm Yöntemi

Bu kısımda yüksek ve düşük birim gelir ve ceza maliyeti değerleri için,  $z_{ij}^v$  gevşetmeli sezgisel çözümün performansı incelenmektedir. Tablo 6.9’da farklı servis süreleri ve sabit maliyet değerleri için sırası ile Problem 2’nin optimal çözümünden elde edilen amaç fonksiyonu değerleri ve çözüm süreleri, sezgisel çözümden elde edilen amaç fonksiyonu değerleri ve çözüm süreleri, sezgisel çözümün optimal çözüme olan yüzde uzaklıkları verilmektedir. Ayrıca çözüm sürelerinin ortalama değerleri ve yüzde uzaklıkların ortalama değerleri de hesaplanıp tabloların son satırlarında gösterilmektedir.

Problem 2 bir maksimizasyon problemi olduğu için sezgisel çözümün optimal çözüme olan yüzde uzaklığı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$Fark (\%) = \frac{Optimal\ amaç\ fonksiyon\ değeri - Sezgisel\ amaç\ fonksiyon\ değeri}{Sezgisel\ amaç\ fonksiyon\ değeri} * 100$$



**Tablo 6.9:** Problem 2 için  $z_{ij}^v$  gevşetmeli sezgisel çözümün performansı

	Servis Süresi (Normal, VIP) (sa)	Optimal Çözüm			Sezgisel Çözüm		
		Sabit Maliyet	Maksimum Kâr	Çözüm Süresi (sn)	Kâr	Çözüm Süresi (sn)	Fark (%)
Yüksek birim gelir ve ceza maliyeti değerleri	(18, 8)	60.000	1.470.484	566,76	1447.962	36,15	1,56
		70.000	1.430.484	1297,27	1407.962	76,29	1,60
		80.000	1.390.484	481,31	1367.962	120,95	1,65
		90.000	1.350.484	385,12	1327.962	47,79	1,70
		100.000	1.310.484	495,87	1287.962	141,09	1,75
		110.000	1.270.484	515,33	1247.962	44,28	1,80
		120.000	1.230.484	435,13	1207.962	41,08	1,86
	(24, 16)	60.000	1.556.314	547,11	1556.314	42,67	0
		70.000	1.536.314	597,92	1536.314	61,67	0
		80.000	1.516.314	377,02	1516.314	65,60	0
		90.000	1.496.314	445,38	1496.314	53,50	0
		100.000	1.476.314	564,88	1476.314	44,53	0
		110.000	1.456.314	417,24	1456.314	45,06	0
		120.000	1.436.314	797,10	1436.314	69,59	0
Düşük birim gelir ve ceza maliyeti değerleri	(18, 8)	60.000	570.875	561,21	548.352	31,90	4,11
		70.000	530.875	558,81	508.352	52,64	4,43
		80.000	494.292	794,81	488.420	53,22	1,20
		90.000	464.292	660,48	458.420	35,18	1,28
		100.000	434.292	604,77	428.420	50,91	1,37
		110.000	404.292	620,37	398.420	43,64	1,47
		120.000	374.292	476,04	368.420	55,54	1,59
	(24, 16)	60.000	627.642	591,10	627.642	39,63	0
		70.000	607.642	801,13	607.642	29,94	0
		80.000	587.642	349,47	587.642	35,56	0
		90.000	567.642	364,04	567.642	58,94	0
		100.000	547.642	404,36	547.642	53,54	0
		110.000	527.642	480,89	527.642	68,83	0
		120.000	507.642	1114,97	507.642	64,68	0
Ortalama			582,36		55,87	0,98	

Çözüm süreleri incelendiğinde tüm koşumlarda sezgisel çözüm ile çözüm sürelerinin oldukça azaldığı görülmektedir. Ortalama çözüm süresine bakıldığında 55,87 sn olan sezgisel çözüm süresinin 582,36 sn olan optimal çözüm süresinin yaklaşık onda biri kadar olduğu görülmektedir.

Sezgisel çözümün optimal çözüme olan yüzde uzaklıkları incelendiğinde, ortalama yüzde uzaklık değerinin yaklaşık %1 olduğu görülmektedir. Tablo 6.9'daki koşullarda sezgisel çözümün optimal çözüme olan uzaklık değeri en fazla %4.43 değerini almıştır. Normal servis süresinin 24 saat, VIP servis süresinin 18 saat olduğu durumlarda ise tüm sabit maliyet değerleri için sezgisel çözüm optimal çözümü vermektedir. Bunun sebebinin servis sürelerinin artması sonucu talebin en ucuz yoldan karşılanabilmesi ile talebin çoğunun kabul edilmesi ve Problem 1'de olduğu gibi gevşetilen karar değişkeni değerlerinin çoğunlukla tam sayı çıkmasının bir sonucu olduğu tahmin edilmektedir. Elde edilen bu sonuçlar sezgisel çözümün performansının hem optimal çözüme yüzde uzaklık bakımından hem de çözüm süresi bakımından oldukça iyi olduğunu göstermektedir.

### **6.3.3 Kaplama Problemi Bazlı Sezgisel Çözüm Yöntemi**

Bu kısımda yüksek ve düşük birim gelir ve ceza maliyeti değerleri kullanılarak Problem 2 için önerilen kaplama problemi bazlı sezgisel çözümün performansı incelenmektedir. Tablo 6.10'da sırası ile kullanılan servis süreleri, sabit maliyet değerleri, optimal çözümden elde edilen amaç fonksiyonu değerleri ve çözüm süreleri, sezgisel çözümden elde edilen amaç fonksiyonu değerleri ve çözüm süreleri, sezgisel çözümün optimal çözüme olan yüzde uzaklık değerleri verilmektedir. Ayrıca optimal ve sezgisel çözümün ortalama çözüm süreleri ve ortalama yüzde uzaklık değerleri de gösterilmektedir. Sezgisel yöntemin çözüm süresi sezgisel algoritmanın her iki aşamasını da içerecek şekilde toplam olarak sunulmaktadır.

**Tablo 6.10:** Problem 2 için kaplama problemi bazlı sezgisel çözümün performansı

	Servis Süresi (Normal, VIP) (sa)	<i>Optimal Çözüm</i>			<i>Sezgisel Çözüm</i>		
		Sabit Maliyet	<i>Maksimum Kâr</i>	<i>Çözüm Süresi (sn)</i>	<i>Kâr</i>	<i>Çözüm Süresi (sn)</i>	<i>Fark (%)</i>
Yüksek birim gelir ve ceza maliyeti değerleri	(18, 8)	60.000	1.470.484	566,76	1.423.816	41,64	3,28
		70.000	1.430.484	1297,27	1.383.816	286,96	3,37
		80.000	1.390.484	481,31	1.343.816	61,76	3,47
		90.000	1.350.484	385,12	1.303.816	168,40	3,58
		100.000	1.310.484	495,87	1.263.816	515,61	3,69
		110.000	1.270.472	515,33	1.223.816	66,33	3,81
		120.000	1.230.484	435,13	1.228.502	308,95	0,16
	(24, 16)	60.000	1.556.314	547,11	1.494.604	26,50	4,13
		70.000	1.536.314	597,92	1.443.595	24,40	6,42
		80.000	1.516.314	377,02	1.433.595	20,93	5,77
		90.000	1.496.314	445,38	1.423.595	23,65	5,11
		100.000	1.476.314	564,88	1.413.595	17,07	4,44
		110.000	1.456.314	417,24	1.403.595	16,75	3,76
		120.000	1.436.314	797,10	1.393.595	16,81	3,07
Düşük birim gelir ve ceza maliyeti değerleri	(18, 8)	60.000	570.875	561,21	554.292	73,87	2,99
		70.000	530.875	558,81	524.292	112,79	1,26
		80.000	494.292	794,81	494.292	70,68	0
		90.000	464.292	660,48	464.292	46,00	0
		100.000	434.292	604,77	403.234	82,77	7,70
		110.000	404.292	620,37	383.234	46,24	5,49
		120.000	374.292	476,04	363.234	35,91	3,04
	(24, 16)	60.000	627.642	591,10	564.025	26,01	11,28
		70.000	607.642	801,13	554.025	16,09	9,68
		80.000	587.642	349,47	544.025	16,14	8,02
		90.000	567.642	364,04	534.025	15,46	6,29
		100.000	547.642	404,36	524.024	16,29	4,51
		110.000	527.642	480,89	514.025	16,24	2,65
		120.000	507.642	1114,97	504.025	16,11	0,72
<b>Ortalama</b>			582,36		80,38	4,33	

Sezgisel yöntemin çözüm süresi bakımından performansına bakıldığında, Tablo 6.10'da sezgisel çözüm ile ortalama çözüm süresinin 582.36 sn'den 80.38 sn'ye yani yaklaşık yedide bire düştüğü görülmektedir. Yüksek birim gelir ve birim ceza maliyeti için, normal servis süresinin 18 saat, VIP servis süresinin 8 saat ve sabit maliyetin 100.000 olduğu koşum hariç tüm koşumlarda kaplama problemi bazlı sezgisel yöntem ile çözüm süresi azalmıştır.

Uygulanan sezgisel yöntem çözüm süresi bakımından iyi performans gösterirken, optimal çözüme olan yüzde uzaklık değeri bakımından değişkenlik göstermektedir. Örneğin, düşük birim gelir ve ceza maliyeti değerleri için, normal servis süresinin 18 saat, VIP servis süresinin 8 saat ve sabit maliyet değerlerinin 80.000 ve 90.000 olduğu durumlarda sezgisel çözüm optimal çözümü bulurken, normal servis süresinin 24 saat, VIP servis süresinin 16 saat olduğu durumda sabit maliyet değeri 60.000 iken sezgisel çözümün optimal çözüme olan yüzde uzaklığı yaklaşık %11 civarındadır. Dolayısı ile sezgisel çözüm yönteminin performansının kullanılan parametre değerlerine bağlı olarak çok fazla değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Bölüm 6.6'da verilen istatistiksel analizde optimal çözüme olan yüzde uzaklıkların kullanılan iki parametre değerine (sabit maliyet değerleri, birim gelir ve ceza maliyet değerleri) göre belirli bir eğilim göstermediği görülebilir.

#### **6.3.4 Problem 1 Bazlı Sezgisel Çözüm Yöntemi**

Bu kısımda yüksek ve düşük birim gelir ve ceza maliyeti değerleri için Problem 1 bazlı sezgisel çözümün performansı incelenmektedir. Tablo 6.11'de farklı servis süreleri ve sabit maliyet değerleri için optimal çözümden elde edilen amaç fonksiyonu değerleri ve çözüm süreleri, sezgisel çözümden elde edilen amaç fonksiyonu değerleri ve çözüm süreleri, çözüm sürelerinin ortalama değerleri verilmektedir. Ayrıca sezgisel yöntemin performansını ölçebilmek için sezgisel çözümün optimal çözüme olan yüzde uzaklıkları da son sütunda sunulmaktadır. Sezgisel yöntemin çözüm süresi Problem 1'in çözüm süresi ve Problem 1'in çözümünün bir kısmı Problem 2'de sabitlendikten sonra elde edilen çözüm süresinin toplanması sonucu elde edilmektedir.

**Tablo 6.11:** Problem 2 için Problem 1 bazlı sezgisel çözümün performansı

	Servis Süresi (Normal, VIP) (sa)	Sabit Maliyet	Optimal Çözüm		Sezgisel Çözüm		
			Maksimum Kâr	Çözüm Süresi (sn)	Kâr	Çözüm Süresi (sn)	Fark (%)
Yüksek birim gelir ve ceza maliyeti değerleri	(18, 8)	60.000	1.470.484	566,76	1.429.806	1083,86	2,85
		70.000	1.430.484	1297,27	1.369.806	1396,63	4,43
		80.000	1.390.484	481,31	1.309.806	865,73	6,16
		90.000	1.350.484	385,12	1.257.284	97,61	7,41
		100.000	1.310.484	495,87	1.207.284	106,02	8,55
		110.000	1.270.472	515,33	1.157.284	101,87	9,78
		120.000	1.230.484	435,13	1.107.284	35,32	11,13
	(24, 16)	60.000	1.556.314	547,11	1.556.314	4,66	0
		70.000	1.536.314	597,92	1.536.314	4,09	0
		80.000	1.516.314	377,02	1.516.314	3,31	0
		90.000	1.496.314	445,38	1.496.314	3,29	0
		100.000	1.476.314	564,88	1.476.314	3,68	0
		110.000	1.456.314	417,24	1.456.314	4,11	0
		120.000	1.436.314	797,10	1.436.314	5,37	0
Düşük birim gelir ve ceza maliyeti değerleri	(18, 8)	60.000	570.875	561,21	501.133	1160,94	13,92
		70.000	530.875	558,81	441.133	1612,94	20,34
		80.000	494.292	794,81	381.133	869,41	29,69
		90.000	464.292	660,48	328.611	102,02	41,29
		100.000	434.292	604,77	278.611	107,61	55,88
		110.000	404.292	620,37	228.611	103,10	76,85
		120.000	374.292	476,04	178.611	35,83	109,56
	(24, 16)	60.000	627.642	591,10	627.642	4,66	0
		70.000	607.642	801,13	607.642	4,09	0
		80.000	587.642	349,47	587.642	3,29	0
		90.000	567.642	364,04	567.642	3,29	0
		100.000	547.642	404,36	547.642	3,68	0
		110.000	527.642	480,89	527.642	4,11	0
		120.000	507.642	1114,97	507.642	5,35	0
<b>Ortalama</b>				582,36		266,28	14,20

Tablo 6.11’de ortalama çözüm süreleri incelendiğinde sezgisel yöntem ile ortalama çözüm süresinin neredeyse yarı yarıya azaldığı görülmektedir. Koşumlar ayrı ayrı incelendiğinde ise 28 koşumdan 6 tanesinde sezgisel çözüm yöntemi ile çözüm süresinin arttığı görülmektedir. Bu koşumlar yüksek ve düşük birim gelir ve ceza maliyeti değerleri için, normal servis süresinin 18 saat, VIP servis süresinin 8 saat

olduğu ve sabit maliyet değerlerinin 60.000, 70.000 ve 80.000 olduğu koşumlardır. Sezgisel çözümler yöntemi servis sürelerinin düşük alındığı koşumlarda, servis sürelerinin yüksek alındığı koşumlara göre daha uzun sürelerde çözüm bulabilmektedir. Bunun sebebi düşük servis süreleri için Problem 1'in çözüm sürelerinin, yüksek servis süresine göre çok daha yüksek olmasıdır. Dolayısı ile Problem 1'e bağlı olarak Problem 1 bazlı sezgisel çözüm yöntemi ile elde edilen çözüm süreleri de uzamaktadır.

Sezgisel çözümün optimal çözüme olan yüzde uzaklık değerlerine bakıldığında normal servis süresinin 24 saat, VIP servis süresinin ise 16 saat olduğu durumlarda sezgisel çözümün optimal çözümü bulduğu, normal servis süresinin 18 saat, VIP servis süresinin 8 saat olduğu durumlarda ise yüzde uzaklık değerlerinin çok yüksek olduğu görölmektedir. Bunun sebebi Problem 1'in çözümü sonucu kurulan ADÜ yerleri ve talep noktalarının atandığı ADÜ'ler ile Problem 2'nin çözümü sonucu kurulan ADÜ yerleri ve talep noktalarının atandığı ADÜ'lerin büyük farklılık göstermesidir. Tablo 6.12'de normal servis süresinin 18 saat, VIP servis süresinin 8 saat olduğu durumda, yüksek ve düşük birim gelir ve birim ceza maliyet değerleri ve farklı sabit maliyet değerleri için Problem 1'in optimal çözümünden ve Problem 2'nin optimal çözümünden elde edilen ADÜ yerleri gösterilmektedir.

**Tablo 6.12:** Problem 1 ve Problem 2'nin optimal çözümlerinde kurulan ADÜ'lerin yerlerinin karşılaştırılması

	Sabit Maliyet	<i>Optimal Problem 1</i>	<i>Optimal Problem 2</i>
		<i>Çözümü</i>	<i>Çözümü</i>
		<i>ADÜ Yerleri</i>	<i>ADÜ Yerleri</i>
Yüksek birim gelir ve ceza maliyeti değerleri	60000	1,2,3,5,6,7	1,5,6,7
	70000	1,2,3,5,6,7	1,5,6,7
	80000	1,2,3,5,6,7	1,5,6,7
	90000	2,3,4,5,8	1,5,6,7
	100000	2,3,4,5,8	1,5,6,7
	110000	2,3,4,5,8	1,5,6,7
	120000	2,3,4,5,8	1,5,6,7
Düşük birim gelir ve ceza maliyeti değerleri	60000	1,2,3,5,6,7	1,5,6,7
	70000	1,2,3,5,6,7	1,5,6,7
	80000	1,2,3,5,6,7	5,6,7
	90000	2,3,4,5,8	5,6,7
	100000	2,3,4,5,8	5,6,7
	110000	2,3,4,5,8	5,6,7
	120000	2,3,4,5,8	5,6,7

Normal servis süresinin 24 saat, VIP servis süresinin ise 16 saat olduğu durumda Problem 1 ve Problem 2 sonucunda kurulan ADÜ yerleri ve talep noktalarının atandığı ADÜ'ler birebir aynı olduğu için Problem 1 bazlı sezgisel çözüm optimal çözüme vermektedir. Ancak normal servis süresinin 18 saat, VIP servis süresinin 8 saat olduğu durumlarda Tablo 6.12'den de görüldüğü gibi Problem 1'in optimal çözüme sonucunda kurulan ADÜ yerleri ile Problem 2'nin optimal çözüme sonucu kurulan ADÜ'lerin yerleri farklılık göstermektedir. Bu durum Problem 1 bazlı sezgisel çözümün optimal çözüme olan yüzde uzaklıklarının çok yüksek çıkmasına neden olmaktadır. Ayrıca, sabit maliyet değerleri arttıkça sezgisel çözüm optimal çözümden daha çok uzaklaşmaktadır. Bunun sebebi Problem 1 ile Problem 2'nin çözüme sonucu açılan ADÜ sayısının farklı olması, bu durumun da iki problem arasındaki toplam ADÜ açma maliyeti farkının sabit maliyet arttıkça artan bir eğilim ile artmasıdır.

Bu sonuçlar Problem 1 ile Problem 2'nin oldukça farklı problemler olduğunu ve ayrı ayrı çözümleri gerektiğini göstermektedir. Beklenenin aksine maliyeti en

küçükleyen bir çözüm aynı zamanda en kârlı çözüm olmamaktadır. Dolayısı ile, bu iki problemde verilen bazı kararlar ortak olmasına rağmen, iki problemin de ayrı olarak ele alınıp çözülmesi önerilmektedir.

## **6.4 Problem 3**

Bu bölümde Problem 3'ün optimal çözüm süresini kısaltmak için uygulanan değişken sabitleme yönteminin ve kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm yönteminin Türkiye veri kümesi üzerindeki uygulamasından elde edilen sonuçlardan bahsedilmektedir.

### **6.4.1 Değişken Sabitleme Yöntemi**

Bu kısımda değişken sabitleme yönteminin Model 3'ün optimal çözüm sürelerine olan etkisi incelenmektedir. Tablo 6.13'te yüksek ve düşük bütçe değerleri, farklı servis süreleri ve sabit maliyet değerleri için optimal çözümde amaç fonksiyonu değerleri, değişken sabitleme yöntemi uygulanmadan elde edilen çözüm süreleri, değişken sabitleme yöntemi uygulandıktan sonra elde edilen çözüm süreleri ve çözüm sürelerinin ortalama değerleri verilmektedir.



**Tablo 6.13:** Problem 3 için değişken sabitleme yönteminin optimal çözüm sürelerine olan etkisi

	Servis Süresi (Normal, VIP) (sa)	Sabit Maliyet	Maksimum Talep	Model 3	
				Çözüm Süresi (sn)	Model 3 + Değişken Sabitleme Çözüm Süresi (sn)
Yüksek bütçe değeri (600.000)	(18, 8)	60.000	531	7,38	7,82
		70.000	531	43,90	17,63
		80.000	531	75,24	225,16
		90.000	527	2129,29	3600 (%0,64)
		100.000	524	707,30	144,86
		110.000	515	310,47	188,56
		120.000	508	323,09	744,53
	(24, 16)	60.000	531	12,01	26,02
		70.000	531	14,15	45,93
		80.000	531	22,62	60,01
		90.000	531	130,42	417,88
		100.000	531	64,54	303,98
		110.000	531	210,34	390,44
		120.000	531	2234,50	356,31
Düşük bütçe değeri (500.000)	(18, 8)	60.000	531	51,37	38,44
		70.000	531	179,99	193,54
		80.000	524	276,12	453,17
		90.000	508	306,68	3600 (%4,53)
		100.000	508	1014,30	545,05
		110.000	472	1268,69	477,05
		120.000	472	564,46	1613,13
	(24, 16)	60.000	531	64,04	307,01
		70.000	531	97,06	90,51
		80.000	531	218,93	666,05
		90.000	531	318,80	727,14
		100.000	531	930,94	1081,13
		110.000	531	3600,00	1303,62
		120.000	531	1484,88	1283,33
<b>Ortalama</b>				595,06	450,32

Tablo 6.13'teki ortalama çözüm süreleri incelendiğinde değişken sabitleme yöntemi uygulandığında ortalama çözüm süresinin azaldığı görülmektedir. Ortalama çözüm süresi dikkate alındığında değişken sabitleme yöntemi ile ortalama değer azalmış görünse de, çözüm süresinin azaldığı koşum sayısı oldukça azdır. Tablo 6.13'te 28

koşumdan sadece 10 tanesi için optimal çözüm süresinin azaldığı görülmektedir. Ayrıca, normal servis süresinin 18 saat, VIP servis süresinin 8 saat ve sabit maliyetin 90.000 olduğu iki durumda da değişken sabitleme yöntemi ile bir saatlik zaman limiti içerisinde optimal çözümün bulunamadığı görülmektedir. Değişken sabitleme yöntemi kullanılmadığında ise bir saatlik zaman limiti içerisinde tüm koşullar için optimal çözüm bulunabilmektedir. Tablo 6.13'te elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında Problem 3 için yapılan diğer analizlerde değişken sabitleme yönteminin kullanılmamasına karar verilmiştir.

Normal servis süresinin 24 saat, VIP servis süresinin 16 saat olduğu durumda Tablo 6.13'teki tüm koşullarda optimal amaç fonksiyonu değeri 531'dir. Bunun nedeni VIP hizmeti alan tüm talebin kabul edilmesidir. Bu durum servis süresinin yüksek alındığı durumda meydana gelmektedir. Servis süresinin düşük alındığı, yani normal servis süresinin 18 saat, VIP servis süresinin 8 saat olduğu, durumda ise amaç fonksiyonu kabul edilen "VIP" talebi miktarına göre değişiklik göstermektedir.

#### **6.4.2 Kaplama Problemi Bazlı Sezgisel Çözüm Yöntemi**

Bu kısımda yüksek ve düşük bütçe değerleri kullanılarak Problem 3 için önerilen kaplama problemi bazlı sezgisel çözümün performansı incelenmektedir. Tablo 6.14'te sırası ile kullanılan servis süreleri, sabit maliyet değerleri, optimal çözümden elde edilen amaç fonksiyonu değerleri ve çözüm süreleri, sezgisel çözümden elde edilen amaç fonksiyonu değerleri ve çözüm süreleri, sezgisel çözümün optimal çözüme olan yüzde uzaklık değerleri verilmektedir. Ayrıca optimal ve sezgisel çözümün ortalama çözüm süreleri ve ortalama yüzde uzaklık değerleri de gösterilmektedir. Sezgisel yöntemin çözüm süresi sezgisel algoritmanın her iki aşamasını da içerecek şekilde toplam olarak sunulmaktadır.

Sezgisel çözümün optimal çözüme olan yüzde uzaklığı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$Fark (\%) = \frac{Optimal\ amaç\ fonksiyon\ değeri - Sezgisel\ amaç\ fonksiyon\ değeri}{Sezgisel\ amaç\ fonksiyon\ değeri} * 100$$

**Tablo 6.14:** Problem 3 için kaplama problemi bazlı sezgisel çözümün performansı

	Servis Süresi (Normal, VIP) (sa)	Optimal Çözüm			Sezgisel Çözüm		
		Sabit Maliyet	Maksimum Talep	Çözüm Süresi (sn)	Talep	Çözüm Süresi (sn)	Fark (%)
Yüksek bütçe değeri (600.000)	(18, 8)	60.000	531	7,38	515	39,33	3,11
		70.000	531	43,90	515	284,67	3,11
		80.000	531	75,24	515	59,61	3,11
		90.000	527	2129,29	515	166,31	2,33
		100.000	524	707,30	515	513,06	1,75
		110.000	515	310,47	515	66,07	0
		120.000	508	323,09	472	307,47	7,63
	(24, 16)	60.000	531	12,01	531	26,49	0
		70.000	531	14,15	501	22,64	5,99
		80.000	531	22,62	501	19,19	5,99
		90.000	531	130,42	501	21,98	5,99
		100.000	531	64,54	501	15,20	5,99
		110.000	531	210,34	501	14,94	5,99
		120.000	531	2234,50	501	15,13	5,99
Düşük bütçe değeri (500.000)	(18, 8)	60.000	531	51,37	472	73,04	12,50
		70.000	531	179,99	472	111,88	12,50
		80.000	524	276,12	472	69,81	11,02
		90.000	508	306,68	472	45,14	7,63
		100.000	508	1014,30	392	80,92	29,59
		110.000	472	1268,69	392	44,41	20,41
		120.000	472	564,46	392	34,04	20,41
	(24, 16)	60.000	531	64,04	501	24,09	5,99
		70.000	531	97,06	501	14,22	5,99
		80.000	531	218,93	501	14,46	5,99
		90.000	531	318,80	501	14,68	5,99
		100.000	531	930,94	501	14,64	5,99
		110.000	531	3600,00	501	14,46	5,99
		120.000	531	1484,88	501	14,27	5,99
<b>Ortalama</b>				595,06	76,51	7,61	

Sezgisel yöntemin çözüm süresi bakımından performansına bakılırsa, sezgisel çözüm ile ortalama çözüm süresinin 595,06 sn'den 76,51 sn'ye düştüğü görülmektedir. Koşumlar ayrı ayrı incelendiğinde 28 koşumdan 5 tanesinde sezgisel yöntem ile

çözüm süresi artmıştır. Bazı koşullarda ise sezgisel yöntem ile çözüm süresi oldukça azaltılmıştır. Örneğin, yüksek bütçe için normal servis süresinin 18 saat, VIP servis süresinin 8 saat olduğu durumda ve sabit maliyet değeri 90.000 iken çözüm süresi sezgisel yöntem ile 2129,29 sn'den 166,31 sn'ye düşürülmüştür. Elde edilen bu sezgisel çözümün optimal değere olan uzaklığı ise %2,33'tür.

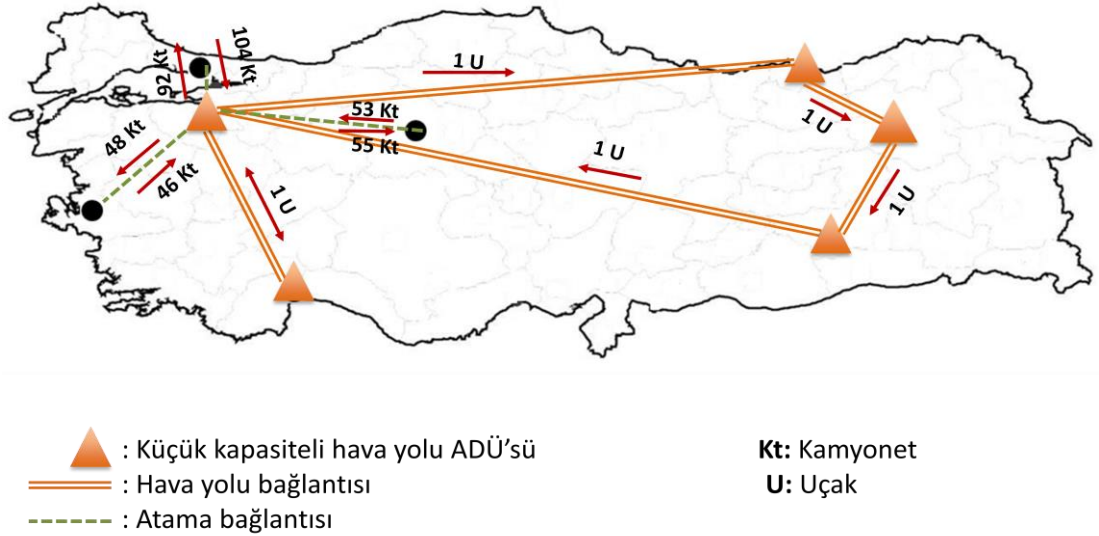
Uygulanan sezgisel yöntem çözüm süresi bakımından iyi performans gösterirken, optimal çözüme olan yüzde uzaklık değeri bakımından değişkenlik göstermektedir. Örneğin, yüksek bütçe değeri için normal servis süresinin 18 saat, VIP servis süresinin 8 saat ve sabit maliyet değerinin 110.000 olduğu, normal servis süresinin 24 saat, VIP servis süresinin 18 saat ve sabit maliyet değerinin 60.000 olduğu durumlarda sezgisel çözüm optimal sonucu bulurken, düşük bütçe değeri için normal servis süresinin 18 saat, VIP servis süresinin 8 saat olduğu durumda, sabit maliyet değeri 100.000 iken sezgisel çözümün optimal çözüme yüzde uzaklığı yaklaşık %30'dur. Dolayısı ile sezgiselin performansının kullanılan parametre değerlerine bağlı olarak çok fazla değişkenlik gösterdiği ve sezgisel algoritmanın performansı hakkında bir sonuca varmanın güç olduğu söylenebilir.

## **6.5 Türkiye Verisi ile Örnek bir Çözüm**

Bu bölümde Problem 1, Problem 2 ve Problem 3 için Türkiye veri kümesi kullanılarak elde edilen birer örnek çözüm sunulmaktadır. Talep noktaları olarak Ankara, Antalya, Bursa, Diyarbakır, Erzurum, İstanbul, İzmir ve Trabzon olmak üzere Türkiye'deki sekiz il kullanılmıştır. Her bir problem için sunulan çözüm, sabit maliyet değeri 110.000, normal servis süresi 18 saat, VIP servis süresi 8 saat ve yüksek birim gelir ve ceza maliyetleri kullanılarak elde edilmiştir.

Şekil 6.1'de Problem 1 ile elde edilen çözüm yer almaktadır. Bu çözüm Model 1'in optimal olarak çözdürülmesi ile elde edilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi Bursa, Antalya, Trabzon, Diyarbakır ve Erzurum olmak üzere beş noktaya küçük kapasiteli havayolu ADÜ'sü kurulmuştur. İzmir, Ankara ve İstanbul talep noktaları ise Bursa

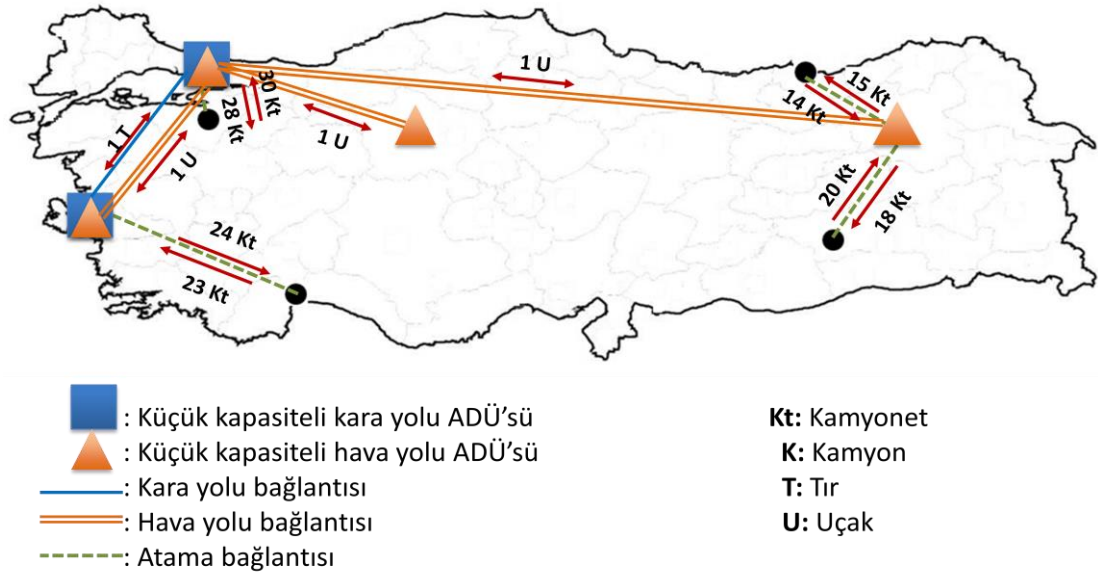
ADÜ'süne atanmıştır. Kurulan ADÜ ağı tam serim bir ağ değildir. Yani tüm ADÜ'ler arasında direkt bir bağlantı bulunmamaktadır. ADÜ'ler arası tüm bağlantılarda bir adet uçak işletilmektedir. Atama bağlantılarında ise mecbur tutulduğu gibi kamyonet işletilmektedir. Talep noktaları arasındaki talep miktarı simetrik olmadığı için, hem ADÜ'ler arasındaki hem de atama bağlantılarındaki araç sayıları da simetrik değildir. Uçaklar talebe göre bazı bağlantılarda tek yönlü, bazılarında ise karşılıklı olarak işletilebilmektedir. Problem 1'de talebi kabul edip etmeme kararı bulunmamakta, yani talep noktaları arasındaki tüm talep kabul edilmektedir. Dolayısı ile tüm noktalar arasında hem normal servis, hem de VIP servis hizmeti verilebilmektedir.



**Şekil 6.1:** Problem 1 için örnek çözüm

Şekil 6.2'de Problem 1 ile aynı parametre değerleri kullanılarak Problem 2 ile elde edilen çözüm verilmektedir. Bu çözüm Model 2'nin optimal olarak çözdürülmesi ile elde edilmiştir. Bu çözümde, İstanbul, İzmir, Ankara ve Diyarbakır olmak üzere 4 noktaya ADÜ kurulmuştur. İstanbul ve İzmir'e küçük kapasiteli kara yolu ADÜ'sü ve hava yolu ADÜ'sü, Ankara ve Erzurum'a ise sadece küçük kapasiteli hava yolu ADÜ'sü kurulmuştur. Örnekten de anlaşıldığı gibi bir ADÜ'ye birden fazla ulaşım yoluna hizmet verebilen ADÜ kurulabilmektedir. Antalya talep noktası İzmir ADÜ'süne, Bursa talep noktası İstanbul ADÜ'süne, Trabzon ve Diyarbakır talep

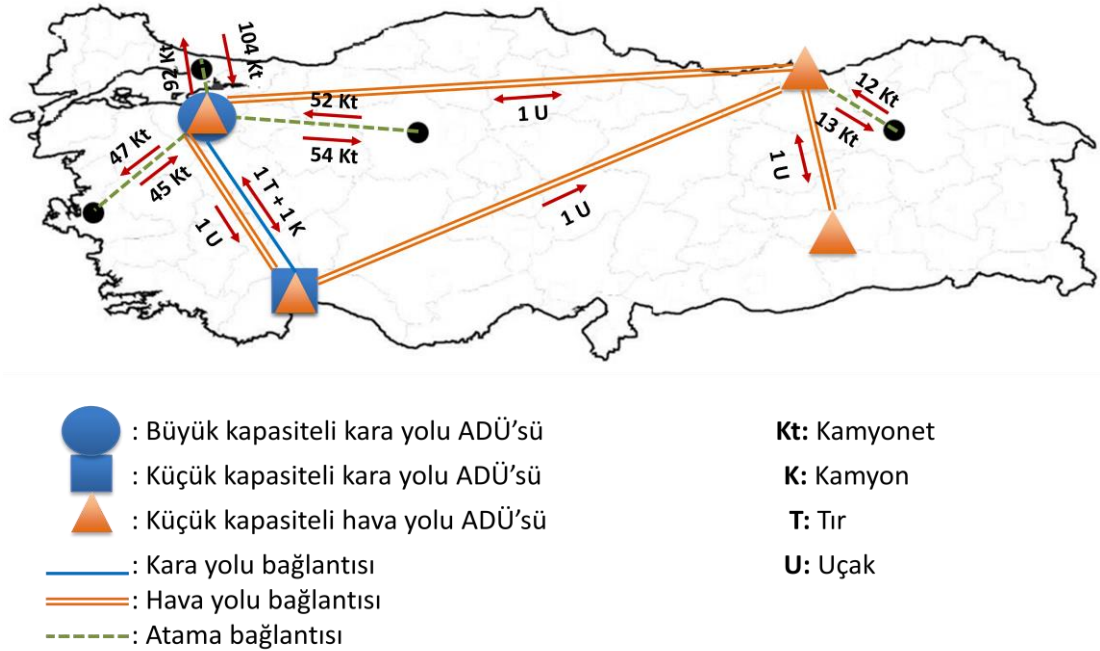
noktaları ise Erzurum ADÜ'süne atanmıştır. İstanbul ve İzmir ADÜ'sü arasında hem uçak hem de tır işletilmektedir. İstanbul-Ankara, İstanbul-Erzurum arasında ise sadece uçak işletilmektedir. Şekil 6.2'den de görüldüğü gibi kurulan ADÜ ağı tam serim bir ağ yapısına sahip değildir. Problem 1'den farklı olarak Problem 2'de talep noktaları arasında farklı servis tiplerindeki talebi kabul etme zorunluluğu yoktur. Verilen örnek çözümde de, toplam talebin yaklaşık %93'ü kabul edilmektedir. Antalya'dan Bursa'ya, Diyarbakır'a ve Trabzon'a, Bursa'dan Antalya'ya ve Diyarbakır'a, Diyarbakır'dan Antalya'ya ve Bursa'ya, Trabzon'dan Antalya'ya servis süresi kısıtından dolayı VIP servis hizmeti verilememektedir. Normal servis için ise talep noktaları arasındaki tüm talep kabul edilmektedir. Yani bu çözümde, tüm talep noktaları arasında normal servis hizmeti verilebilmektedir.



**Şekil 6.2:** Problem 2 için örnek çözüm

Şekil 6.3'te Problem 3 ile elde edilen çözüm verilmektedir. Bu çözüm Model 3'ün önceki parametre değerleri ile bütçe değeri 600.000 alınarak optimal olarak çözdürülmesi sonucu elde edilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi Bursa, Antalya, Trabzon ve Diyarbakır olmak üzere 4 noktaya ADÜ kurulmuştur. Bursa'ya büyük kapasiteli kara yolu ADÜ'sü ve küçük kapasiteli hava yolu ADÜ'sü, Antalya'ya küçük kapasiteli kara yolu ADÜ'sü ve küçük kapasiteli hava yolu ADÜ'sü,

Trabzon'a ve Diyarbakır'a ise küçük kapasiteli hava yolu ADÜ'sü kurulmuştur. İstanbul, Ankara ve İzmir noktaları Bursa ADÜ'süne, Erzurum noktası ise Trabzon ADÜ'süne atanmıştır. Bursa ve Antalya arasında hem hava yolu bağlantısı hem de kara yolu bağlantısı bulunmaktadır. Bu iki ADÜ arasında bir tır, bir kamyon karşılıklı olarak işletilmekte, Bursa'dan Antalya'ya ise ek olarak 1 uçak işletilmektedir. Bursa-Trabzon ve Trabzon-Diyarbakır arasında karşılıklı olarak 1'er uçak, Antalya'dan Trabzon'a ise tek yön olarak bir uçak işletilmektedir. Talep noktaları ile ADÜ'ler arasında ise talebin miktarına göre karşılıklı kamyonetler işletilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi tüm ADÜ'ler arasında bağlantı bulunmamaktadır. Yani kurulan ADÜ ağı tam serim bir ADÜ ağı değildir. Bu problemde tüm talep noktaları arasında normal servis hizmeti verilmek zorunlu iken, VIP servis hizmetini verme zorunluluğu yoktur. Zaten Problem 3'ün amacı VIP hizmeti alan toplam talebi en büyükmektir. Bu örnek çözümde de toplam talebin yaklaşık %96'sı kabul edilmektedir. Ankara'dan Erzurum'a, Erzurum'dan Ankara ve İzmir'e, İzmir'den de Erzurum'a VIP servis hizmeti verilememektedir.



**Şekil 6.3:** Problem 3 için örnek çözüm

Verilen örnek çözümlerden de anlaşılacağı üzere Problem 1, Problem 2 ve Problem 3 incelenmesi gereken ayrı problemlerdir. Aynı parametre değerleri kullanılmasına karşın üç problemde de farklı optimal çözümler elde edilmiştir. Bu çözümlerde, ADÜ yerleri, ADÜ'lere atanan talep noktaları, kurulan ADÜ kapasiteleri, ADÜ'lerin hizmet verdiği ulaşım yolları, araç sayıları ve verilen servisler farklılık göstermektedir.

## 6.6 İstatistiksel Analiz

Problemlerde kullanılan parametrelerin, önerilen yöntemlerin çözüm sürelerine ve bu yöntemlerden elde edilen çözümlerin optimal çözümlere olan yüzde uzaklıklarına olan etkilerini ölçebilmek için istatistiksel bir analiz yapılmıştır. Bu analiz her bir probleme önerilen her bir çözüm yöntemi için ayrı olarak gerçekleştirilmiştir. Problem 1'de değişken sabitleme yöntemi ve geçerli eşitsizlikler için servis süreleri ve sabit maliyet değerlerinin çözüm sürelerine olan etkileri,  $z_{ij}^v$  gevşetmeli ve kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm yöntemleri için servis süreleri ve sabit maliyet değerlerinin çözüm sürelerine ve sezgisel çözümün optimal çözüme olan yüzde uzaklıklarına olan etkileri incelenmektedir. Problem 2'de değişken sabitleme yöntemi için servis sürelerinin, sabit maliyet değerlerinin ve birim gelir ve ceza maliyeti değerlerinin çözüm sürelerine olan etkileri,  $z_{ij}^v$  gevşetmeli, kaplama problemi bazlı ve Problem 1 bazlı sezgisel çözüm yöntemleri için servis sürelerinin, sabit maliyet değerlerinin ve birim gelir ve ceza maliyeti değerlerinin çözüm sürelerine ve optimal çözüme olan yüzde uzaklıklarına olan etkileri incelenmektedir. Problem 3'te ise değişken sabitleme yöntemi için servis sürelerinin, sabit maliyet değerlerinin ve birim gelir ve ceza maliyeti değerlerinin çözüm sürelerine olan etkileri, kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm yöntemi için servis sürelerinin, sabit maliyet değerlerinin ve birim gelir ve ceza maliyeti değerlerinin çözüm sürelerine ve optimal çözüme olan yüzde uzaklıklarına olan etkileri incelenmektedir.

Gerçekleştirilen istatistiksel analizde Problem 1 için Bölüm 6.2'de, Problem 2 için Bölüm 6.3'te, Problem 3 için ise Bölüm 6.4'te sunulan sonuçlar kullanılmıştır.



İstatistiksel analiz, Design Ease 7.1.5 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler sırasında kullanılan hipotezler şöyledir:

$H_0$  = Faktör istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde anlamlı değildir.

$H_{alternatif}$  = Faktör istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde anlamlıdır.

İstatistiksel hipotezin sınanması için anlamlılık düzeyini gösteren  $p$ -değerleri 0,05'ten küçük ise boş hipotez ( $H_0$ ) reddedilmekte, alternatif hipotez doğrulanmaktadır. Yani deneysel çalışmada ele alınan faktörlerin  $p$ -değerleri 0.05'ten küçük ise, o faktör anlamlıdır ve sonuç üzerinde etkisi vardır. Diğer durumda ise boş hipotez doğrulanmaktadır.

Problem 1 için programın kullanılması ile elde edilen ve istatistiksel hipotezin sınanması için anlamlılık düzeyini gösteren  $p$ -değerleri Tablo 6.15'te görülmektedir. Tabloda değişken sabitleme yöntemi ve geçerli eşitsizlikler için servis süresinin ve sabit maliyet değerlerinin çözüm sürelerine etkisini ölçmek amacı ile hesaplanmış  $p$ -değerleri,  $z_{ij}^v$  gevşetmeli ve kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm yöntemleri için servis süresinin ve sabit maliyet değerinin çözüm süresine ve optimal çözüme olan yüzde uzaklığa (fark) etkisini ölçmek için hesaplanmış  $p$ -değerleri verilmektedir.

**Tablo 6.15:** Problem 1 parametreleri için  $p$ -değerleri

Faktörler	Değişken sabitleme yöntemi	Geçerli eşitsizlikler	$z_{ij}^v$ gevşetmeli sezgisel çözüm yöntemi		Kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm yöntemi	
	Çözüm Süresi	Çözüm Süresi	Çözüm Süresi	Fark	Çözüm Süresi	Fark
Servis süresi	0,0348	0,0395	0,0007	<0,0001	0,0629	-
Sabit maliyet	0,7247	0,7134	0,9388	0,9829	0,6714	-

Tablo 6.15 incelendiğinde değişken sabitleme yöntemi için servis süresinin  $p$ -değeri 0,05'ten küçük, sabit maliyetin  $p$ -değeri ise 0,05'ten büyüktür. Yani servis süresi çözüm süresi üzerinde anlamlı bir faktördür. Sabit maliyet değerlerinin ise çözüm süresi üzerinde bir etkisinin bulunmadığı görülmektedir. Bölüm 6.2'de sunulan Tablo 6.3'e bakıldığında servis süresine bağlı olarak çözüm sürelerinin değiştiği, yani

yüksek servis süresi için daha kısa sürelerde çözüm alındığı, sabit maliyet değerlerine bağlı olarak ise çözüm sürelerinde herhangi bir eğilim olmadığı görülebilir.

Geçerli eşitsizlikler için, değişken sabitleme yöntemine benzer şekilde, servis süresinin  $p$ -değeri 0,05'ten küçük, sabit maliyetin  $p$ -değeri ise 0,05'ten büyüktür. Yani servis sürelerinin çözüm süreleri üzerinde etkisi olduğu görülmektedir. Bu analiz, Tablo 6.4'te verilen GE 1 ve GE 2'nin beraber Model 1'e eklendiği durum için yapılmıştır. Servis süresinin çözüm sürelerine olan etkisi Tablo 6.4'te görülebilir. Yüksek servis süreleri kullanıldığında düşük servis sürelerine göre daha kısa sürelerde çözüm alınmaktadır.

$z_{ij}^v$  gevşetmeli sezgisel çözüm yöntemi için yapılan analize bakıldığında servis süresinin hem çözüm süreleri üzerinde hem de optimal çözüme olan yüzde uzaklıkları üzerinde etkisi olduğu, sabit maliyet değerlerinin her iki faktör üzerine de etkisi olmadığı görülmektedir. Tablo 6.6 incelendiğinde yüksek servis süreleri için sezgisel çözümün optimal çözümü bulduğu görülmekte, aynı zamanda çözüm sürelerinin kullanılan servis süresine bağlı olarak oldukça değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Yüksek servis süreleri kullanıldığında, düşük servis sürelerine göre çok daha kısa sürelerde çözüm elde edilmektedir.

Kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm yöntemi için çözüm süresi bakımından servis süresinin de, sabit maliyet değerlerinin de  $p$ -değeri 0,05'ten büyüktür. Yani iki faktörün de çözüm sürelerine bir etkisinin bulunmadığı görülmektedir. Optimal çözüme olan yüzde uzaklıklar incelendiğinde ise tüm koşullarda sezgisel çözümün optimal çözümü verdiği görülmektedir. Dolayısı ile kullanılan faktörlerin yüzde uzaklıklara etkisini gözlemlemek mümkün değildir.

Tablo 6.16'da Problem 2 için belirlenen faktörlerin anlamlılık düzeyini gösteren  $p$ -değerleri verilmektedir. Tabloda değişken sabitleme yöntemi için servis sürelerinin, sabit maliyet değerlerinin, birim gelir ve ceza maliyet değerlerinin çözüm sürelerine

etkisini ölçmek amacı ile hesaplanmış  $p$ -değerleri,  $z_{ij}^v$  gevşetmeli, kaplama problemi bazlı ve Problem 1 bazlı sezgisel çözüm yöntemleri için servis sürelerinin, sabit maliyet değerlerinin, birim gelir ve ceza maliyeti değerlerinin çözüm sürelerine ve optimal çözüme olan yüzde fark değerlerine olan etkisini ölçmek amacı ile hesaplanmış  $p$ -değerleri görülmektedir.

**Tablo 6.16:** Problem 2 parametreleri için  $p$ -değerleri

Faktörler	Değişken sabitleme yöntemi	$z_{ij}^v$ gevşetmeli sezgisel çözüm yöntemi		Kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm yöntemi		Problem 1 bazlı sezgisel çözüm yöntemi	
	Çözüm Süresi	Çözüm Süresi	Fark	Çözüm Süresi	Fark	Çözüm Süresi	Fark
Servis süresi	0,0002	0,4647	<0,0001	0,0041	0,0161	0,0017	0,0027
Sabit maliyet	0,7658	0,4858	0,9514	0,7549	0,5763	0,1495	0,8564
Birim gelir ve ceza maliyetleri	0,2752	0,0961	0,5922	0,0968	0,5201	0,9092	0,0313

Değişken sabitleme yöntemi için faktörlerin arasında sadece servis süresinin  $p$ -değeri 0,05'ten küçüktür. Yani, servis süresi çözüm süreleri üzerinde etkili bir faktör iken, sabit maliyet değerleri ve birim gelir ve ceza maliyetleri çözüm süreleri üzerinde etkili faktörler değildir. Bu durum bölüm 6.3'te verilen Tablo 6.8 incelendiğinde de görülebilmektedir. Yüksek servis süreleri kullanıldığında, düşük servis sürelerine göre daha kısa sürelerde çözümler elde edilmektedir.

$z_{ij}^v$  gevşetmeli sezgisel çözüm yöntemi incelendiğinde üç faktörün de çözüm süreleri üzerinde anlamlı etkisi olmadığı görülmektedir. Optimal çözüme olan yüzde farklar incelendiğinde ise, servis süresinin anlamlı olduğu, sabit maliyet ve birim gelir ve ceza maliyetlerinin ise anlamlı olmadığı görülmektedir. Tablo 6.9 incelendiğinde de yüksek servis süreleri kullanıldığında sezgisel çözümün optimal çözümü verdiği, düşük servis süreleri kullanıldığında ise optimal çözümün bulunamadığı görülebilir. Ayrıca, sabit maliyetlere ve birim gelir ve ceza maliyetlerine göre değişen bir eğilim olmadığı da gözlemlenebilir.

Kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm yöntemi incelendiğinde servis süresi için anlamlılık düzeyini gösteren  $p$ -değerlerinin 0,05'ten küçük olduğu, yani, servis

sürelerinin hem çözüm süreleri için hem de optimal çözüme olan yüzde fark değerleri için etkili bir faktör olduğu görülmektedir. Sabit maliyet değerlerinin, birim gelir ve ceza maliyeti değerlerinin ise hem çözüm sürelerine hem de optimal çözüme olan yüzde farklara etkisi yoktur. Bu sonuç Tablo 6.10'a bakılarak desteklenebilir. Düşük servis süreleri kullanıldığında, yüksek servis sürelerine göre daha uzun sürelerde çözüm alınırken, optimal çözüme olan yüzde uzaklık değerleri daha düşüktür. Sabit maliyetlere ve birim gelir ve ceza maliyetlerine göre ise çözüm sürelerinde ve optimal çözüme olan yüzde fark değerlerinde belirli bir eğilim görülmemektedir.

Problem 1 bazlı sezgisel çözüm yöntemi için servis sürelerinin çözüm süreleri ve optimal çözüme olan yüzde fark değerleri üzerindeki anlamlılık düzeyini gösteren  $p$ -değerlerinin 0,05'ten küçük olduğu görülmektedir. Yani servis süresinin hem çözüm süreleri üzerinde hem de optimal çözüme olan yüzde fark değerleri üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmaktadır. Sabit maliyet değerleri ise çözüm süreleri ve optimal çözüme olan yüzde fark değerleri için etkili bir faktör değildir. Birim gelir ve ceza maliyetleri ise çözüm süreleri üzerinde etkili bir faktör değilken, optimal çözüme olan yüzde fark değerleri üzerinde etkili bir faktördür. Ayrıca, Tablo 6.11'de elde edilen değerler incelenerek, yüksek servis süreleri kullanıldığında tüm koşumlarda sezgisel çözümün optimal çözümü bulduğu ve düşük servis sürelerine göre çok daha kısa sürelerde çözüm alındığı görülmektedir. Sabit maliyet değerlerine göre hem çözüm sürelerinde hem de optimal çözüme olan yüzde fark değerlerinde herhangi bir eğilim görülmemektedir. Yüksek birim gelir ve ceza maliyeti değerleri kullanıldığında ise optimal çözüme olan yüzde uzaklık değerleri düşük birim gelir ve ceza maliyetleri kullanıldığı duruma göre daha düşüktür. Çözüm süreleri için ise böyle bir karşılaştırma yapmak mümkün değildir.

Tablo 6.17'de değişken sabitleme yöntemi için servis süresi, sabit maliyet, birim gelir ve ceza maliyeti değerlerinin çözüm süresi üzerinde anlamlılık düzeylerini gösteren  $p$ -değerleri ve kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm yöntemi için belirlenen faktörlerin çözüm süresi ve optimal çözüme olan yüzde fark değerleri üzerindeki anlamlılık düzeylerini gösteren  $p$ -değerleri verilmektedir.

**Tablo 6.17:** Problem 3 parametreleri için  $p$ -değerleri

Faktörler	Değişken sabitleme yöntemi	Kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm yöntemi	
	Çözüm Süresi	Çözüm Süresi	Fark
Servis süresi	0,3396	0,0040	0,0970
Sabit maliyet	0,0147	0,7999	0,9046
Birim gelir ve ceza maliyetleri	0,2413	0,0973	0,0023

Tabloya bakıldığında değişken sabitleme yöntemi için servis süresinin ve birim gelir ve ceza maliyetlerinin  $p$ -değerlerinin 0,05'ten büyük olduğu, sabit maliyetin  $p$ -değerinin ise 0,05'ten küçük olduğu görülmektedir. Yani, servis süresinin ve birim gelir ve ceza maliyetlerinin çözüm süresi üzerinde etkili bir faktör olmadığı, sabit maliyetin ise çözüm süreleri üzerinde etkili bir faktör olduğu görülmektedir. Bölüm 6.4'te verilen Tablo 6.13 incelendiğinde de sabit maliyet değerleri arttıkça çözüm sürelerinin arttığı, servis süresi ve birim gelir ve ceza maliyetlerine bağlı olarak çözüm sürelerinde herhangi bir eğilim olmadığı görülebilir.

Kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm yöntemi için servis süresinin çözüm süreleri üzerinde etkili bir faktör olduğu, birim gelir ve ceza maliyet değerlerinin ise optimal çözüme olan yüzde fark değerleri üzerinde etkili bir faktör olduğu görülmektedir. Tablo 6.14'e bakıldığında da bu faktörlerin anlamlı olduğu sonucuna varılabilir. Yüksek servis süreleri kullanıldığında düşük servis sürelerine göre daha kısa sürelerde çözüm alınmaktadır. Ayrıca, yüksek birim gelir ve ceza maliyetleri kullanıldığında elde edilen optimal çözüme olan yüzde fark değerleri düşük birim gelir ve ceza maliyeti değerlerine göre daha düşüktür.

## 6.7 Sonuçlar ve Değerlendirme

Bu bölümde Problem 1, 2 ve 3 için uygulanan yöntemlerden elde edilen sonuçlar özetlenmektedir. Yöntemlerin performanslarını yorumlamak için çözüm süresi ve uygulanan yöntemin optimal çözüme olan yüzde uzaklığı (fark) olmak üzere iki kriter kullanılmaktadır. Ortalama çözüm süresinin herhangi bir yöntem

uygulanmadığı duruma göre daha kısa olması, yüzde fark değerlerinin ise ortalamada %5'in altında olması durumunda uygulanan yöntemin performansının iyi olduğu yorumu yapılmaktadır.

Tablo 6.18'de her bir problem tipi için uygulanan yöntemlerin ortalama çözüm süresinin ve yüzde farkının kabul edilebilir değerlerde olup olmadığı yorumlanmaktadır. Tabloda sırası ile, problem tipleri, uygulanan yöntemler, yöntemlerin çözüm süresi ve yüzde farkları verilmektedir. Çözüm süresi sütununda bulunan "+" uygulanan yöntemin ortalama çözüm süresini kısalttığını, "-" ise ortalama çözüm süresini uzattığını ifade etmektedir. Yüzde fark sütununda bulunan "+" elde edilen çözümün optimal çözüme olan ortalama uzaklığının kabul edilebilir değerlerde olduğunu, "-" elde edilen çözümün optimal çözüme olan ortalama uzaklığının kabul edilebilir değerlerde olmadığını, boş olan hücreler yüzde fark değerlerinin yöntemin performansını belirlemede bir kriter olmadığını ifade etmektedir.

**Tablo 6.18:** Problem 1, 2 ve 3 için uygulanan yöntemlerin performansı

Problemler	Yöntemler	Çözüm Süresi	Fark (%)
<b>Problem 1</b>	Değişken sabitleme	+	
	Geçerli eşitsizlikler	-	
	$z_{ij}^v$ gevşetmeli sezgisel çözüm	+	-
	Kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm	+	+
<b>Problem 2</b>	Değişken sabitleme	+	
	$z_{ij}^v$ gevşetmeli sezgisel çözüm	+	+
	Kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm	+	+
	Problem 1 bazlı sezgisel çözüm	+	-
<b>Problem 3</b>	Değişken sabitleme	+	
	Kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm	+	-

Değişken sabitleme ve geçerli eşitsizlikler ekleme yöntemlerinin amacı çözüm süresini kısaltabilmektir. Bu iki yöntem uygulandığında bulunan çözüm optimal çözümü vermektedir. Dolayısı ile bu iki yöntemin performansı sadece çözüm süreleri üzerinden değerlendirilmektedir.

Tablo 6.18'e bakıldığında Problem 1 için uygulanan değişken sabitleme yönteminin performansının çözüm süresi bakımından iyi olduğu görülmektedir. Dolayısı ile Problem 1 için yapılan tüm analizlerde değişken sabitleme yöntemi kullanılmıştır. Geçerli eşitsizlikler ise çözüm süresini arttırmaktadır. Bu yüzden geçerli eşitsizlikler Problem 1 ile ilgili yapılan analizlerde kullanılmamıştır.  $z_{ij}^v$  gevşetmeli sezgisel çözüm ile çözüm süresi kısalırken yüzde fark değerleri bakımından iyi bir performans görülmemektedir. Kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm ile ise çözüm süreleri azalırken, yüzde fark bakımından oldukça iyi bir performans görülmektedir. Problem 1 için yapılan analizler sonucu, problemin optimal çözüm süresini kısaltmak için değişken sabitleme yöntemi, sezgisel yöntem olarak ise kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm yöntemi önerilmektedir.

Problem 2 için uygulanan değişken sabitleme yönteminin ortalama çözüm süresini azalttığı,  $z_{ij}^v$  gevşetmeli sezgisel çözüm yönteminin performansının ise belirlenen iki kriter için de iyi olduğu görülmektedir. Kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm yöntemi çözüm süresi açısından iyi bir performans gösterirken, optimal çözümün sezgisel çözüme olan yüzde uzaklığı bakımından kullanılan parametre değerlerine göre oldukça değişkendir. Problem 1 bazlı sezgisel çözüm yöntemi ile ise çözüm süresi azalırken, yüzde fark değerleri kabul edilebilir değerler almamaktadır. Bu da Problem 1 ile Problem 2'nin incelenmesi gereken ayrı problemler olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak Problem 2'nin optimal çözüm süresini kısaltmak amacı ile değişken sabitleme yöntemi, sezgisel yöntem olarak ise  $z_{ij}^v$  gevşetmeli sezgisel çözüm yöntemi önerilmektedir.

Problem 3'ün optimal çözüm süresini azaltmak için uygulanan değişken sabitleme yöntemi ile ortalama çözüm süresi azalırken kullanılan parametre değerlerine göre çözüm süreleri değişkenlik göstermektedir. Kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm ile çözüm süresi azalırken, yüzde fark değerleri bakımından iyi bir performans elde edilmemektedir.

## 7 SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Günümüzde, kargo taşımacılığı, hava yolu yolcu taşımacılığı, telekomünikasyon gibi çeşitli sektörlerde, farklı tip ADÜ yer seçimi ve ADÜ ağı tasarımı problemleri ile karşılaşmaktadır. Bu çalışmada kargo taşımacılığında farklı servis tipleri için ADÜ yer seçimi ve kapasiteli intermodal ADÜ ağı tasarımı problemleri ele alınmaktadır.

Bu tez kapsamında üç farklı problem tanımlanmıştır. Her bir problemde, kurulacak ADÜ'lerin yerlerine, talep noktalarının atanacağı ADÜ'lere, farklı servis tipleri için ADÜ'ler arasındaki bağlantılarda kullanılacak ulaşım yoluna, araç tipine ve her araç tipi için gerekli olan araç sayısına karar verilmektedir. Birinci problemin amacı, belirli servis seviyelerini sağlayacak şekilde toplam maliyeti en küçükmektir. İkinci problemde amaç talep noktaları arasındaki farklı servis tiplerini göz önüne alarak toplam kârı en büyükmektir. Bu problemde, talep noktaları arasında farklı servis tiplerindeki talebi kabul etme zorunluluğu yoktur. Üçüncü problemin amacı ise belirli bir bütçe ile "VIP" hizmeti alan toplam talebi en büyükmektir. Bu problem tanımlanan ikinci problemin özel bir durumudur. İkinci problemden farklı olarak bu problemde bütçe kısıtı bulunmaktadır.

Literatürde bu konularda ele alınan problemlerde her bir talep ikilisi arasında tek tip servis verilebilmekte, tek tip ulaşım yolu ve bu ulaşım yoluna ait tek tip araç kullanılabilir. Tez kapsamında ele alınan problemlerde ise talep ikilileri arasında birden fazla servis tipinde hizmet verilebilmekte, birden fazla ulaşım yolunda farklı kapasitede araçlar kullanılabilir. Ayrıca ADÜ'lerin kapasiteleri bulunmaktadır. Bu tez kapsamında ele alınan ikinci ve üçüncü problem tipinde belirtilen amaçlar ADÜ yer seçimi ve ADÜ ağı tasarımı literatüründe daha önce hiç ele alınmamıştır. Dolayısı ile literatürde bu iki amaç fonksiyonu ile beraber ADÜ yer seçimi ve intermodal ADÜ ağları tasarımı kararlarını veren, aynı zamanda servis süresi kısıtlarını içeren bir çalışma da yer almamaktadır.

Her bir problem tipi için karma tamsayılı matematiksel modeller oluşturulmuş ve modellerin çözümü için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Oluşturulan matematiksel



modeller ve geliştirilen çözüm yöntemleri CPLEX ticari çözücüsü kullanılarak çözülmüştür. Modellerin ve çözüm yöntemlerinin uygulaması Türkiye veri kümesi kullanılarak yapılmıştır. Verilerin bir kısmı Türkiye’de hizmet veren üç büyük kargo şirketinden elde edilmiştir.

Problem 1’in çözüm sürelerini kısaltmak için değişken sabitleme yöntemi ve geçerli eşitsizlikler, Problem 1’e çözüm yöntemi olarak  $z_{ij}^v$  gevşetmeli ve kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm yöntemi, Problem 2’nin çözüm sürelerini kısaltmak için değişken sabitleme yöntemi, çözüm yöntemi olarak  $z_{ij}^v$  gevşetmeli, kaplama problemi bazlı ve Problem 1 bazlı sezgisel çözüm yöntemleri, Problem 3’ün çözüm süresini azaltmak için değişken sabitleme yöntemi, çözüm yöntemi olarak ise kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntemler farklı parametre değerleri ile test edilerek performansları incelenmiştir. Problemlere uygulanan bazı çözüm yöntemlerinin iyi performans göstermediği görülmüştür. Problem 1 için değişken sabitleme yönteminin ve kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm yönteminin, Problem 2 için ise değişken sabitleme yönteminin ve  $z_{ij}^v$  gevşetmeli sezgisel çözüm yönteminin hem çözüm süresi hem de optimal çözüme uzaklık bakımından iyi performans gösterdiği görülmüştür. Problem 3 için uygulanan yöntemler ise beklenen performansı göstermemiştir. Problem 1’de ve Problem 2’de verilen bazı kararlar ortak olmasına rağmen Problem 2 için uygulanan Problem 1 bazlı sezgisel çözüm yönteminin iyi performans göstermemesi Problem 1 ile Problem 2’nin oldukça farklı problemler olduğunu ve ayrı olarak çözülmeleri gerektiğini göstermektedir. Problem 1’de maliyet en küçüklenirken, Problem 2’de toplam kâr en büyüklenmektedir. Yani, birçok örnekte, maliyeti en küçükleyen çözümün aynı zamanda en kârlı çözüm olmadığı görülmektedir.

Türkiye veri kümesindeki bir örnek üzerinde her bir probleme ait optimal çözümler sunulmuştur. Bu çözümler incelendiğinde her problem için aynı parametre değerleri kullanılmasına rağmen sonuçların oldukça farklı olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar üç problemin de birbirinden farklı ve incelenmesi gereken ayrı problemler olduğunu göstermektedir.

Problem parametrelerinin her bir problem için uygulanan çözüm yöntemlerinden elde edilen çözüm sürelerine ve optimal çözümlere olan yüzde uzaklıklarına olan etkilerini incelemek için istatistiksel bir analiz yapılmıştır. Problem 1’de değişken sabitleme yöntemi, geçerli eşitsizlikler ve  $z_{ij}^v$  gevşetmeli sezgisel çözüm yöntemi olmak üzere üç yöntem için servis sürelerinin çözüm sürelerinde etkili bir faktör olduğu, sadece  $z_{ij}^v$  gevşetmeli sezgisel çözüm yöntemi için ise servis sürelerinin optimal çözüme olan yüzde farklara da etkisinin olduğu görülmektedir. Problem 2’de değişken sabitleme, kaplama problemi bazlı ve Problem 1 bazlı sezgisel çözüm yöntemi olmak üzere üç yöntem için servis sürelerinin çözüm süreleri üzerinde etkili bir faktör olduğu, uygulanan tüm yöntemler için ise servis sürelerinin optimal çözüme olan yüzde farklar üzerinde etkili bir faktör olduğu görülmektedir. Problem 3’te değişken sabitleme yöntemi için sabit maliyet çözüm süreleri üzerinde etkili bir faktör iken, kaplama problemi bazlı sezgisel çözüm yöntemi için servis süresinin çözüm süresi üzerinde, birim gelir ve ceza maliyeti değerlerinin optimal çözüme olan yüzde fark üzerinde etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak üç problem için kullanılan parametreler incelendiğinde servis sürelerinin uygulanan yöntemlerin sonuçları üzerinde oldukça etkili bir faktör olduğu görülmektedir. Önerilen tüm yöntemlerde yüksek servis süreleri kullanıldığında, düşük servis sürelerine göre daha kısa sürelerde çözümler elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada, her bir problem için önerilen çözüm yöntemlerinin performansı küçük veri kümeleri ile analiz edilebilmiştir. Bu analiz farklı parametre değerleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çözüm süreleri parametre değerlerine göre oldukça değişkenlik gösterebilmektedir. Bazı parametre değerleri kullanıldığında oldukça kısa sürelerde çözümler alınırken, bazı değerlerle ise çözüm süreleri uzamaktadır. Bundan sonra yapılacak olan çalışma, performansı iyi olan çözüm yöntemlerini daha büyük veri kümeleri üzerinde test etmek olmalıdır. Ancak, geliştirilen karma tamsayılı matematiksel modelleri çözmek için kullanılan CPLEX ticari çözücüsü ile büyük veri kümeleri üzerinde makul sürelerde çözüm almak mümkün olmamaktadır. Büyük veri kümelerinde kabul edilebilir sürelerde çözüm elde edebilmek için sezgisel algoritmalar geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Önerilen her bir problem

için geliştirilecek olan bir sezgisel algoritmada, servis süresi kısıtlarından ötürü, olurlu çözüm ve komşu oluşturulmasının güç olduğu düşünülmektedir. Dolayısı ile önerilen problemler için geliştirilecek olan sezgisel algoritmalarda belirli bir ceza parametresi ile olursuz çözümlere gidilmesine izin verilmesi düşünülebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Campbell, J.F., Ernst, A.T., Krishnamoorthy M., Hub Location Problems, Facility Location: Applications and Theory, ed: Drezner, Z., Hamacher, H., *Springer-Verlag*, Berlin, 2002.
- [2] Alumur, S., Kara, B.Y., Network hub location problems: The state of the art, *European Journal of Operational Research*, 190, 1-21, 2008.
- [3] Farahani, R.Z., Hekmatfar, M., Arabani, A.B., Nikbakhsh, E., Hub location problems: A review of models, classification, solution techniques, and applications, *Computers and Industrial Engineering*, 64, 1096-1109, 2013.
- [4] O'Kelly, M.E., A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities, *European Journal of Operational Research*, 32, 393-404, 1987.
- [5] Campbell, J.F., Integer programming formulations of discrete hub location problems, *European Journal of Operational Research* 72, 387–405, 1994b.
- [6] O'Kelly, M.E., A geographer's analysis of hub-and-spoke Networks, *Journal of Transport Geography*, 6 (3), 171–186, 1998.
- [7] Ernst, A.T., Krishnamoorthy, M., Efficient algorithms for the uncapacitated single allocation p-hub median problem, *Location Science*, 4(3), 139–154, 1996.
- [8] Tan, P.Z., Kara, B.Y., A hub covering model for cargo delivery systems, *Networks* 49(1), 28–39, 2007.
- [9] "Beasley J.E., OR-Library: Hub location" erişim adresi: <http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/orlib/phubinfo.html>, erişim tarihi: 11 Ağustos 2011.
- [10] Nickel, S., Schobel, A., Sonneborn, T., Hub location problems in urban traffic Networks, *Mathematics Methods and Optimization in Transportation Systems*, ed: Niittymäki, J., Pursula, M, *Kluwer Academic Publishers*, 2001.
- [11] Yoon, M.G., Current J., The hub location and network design problem with fixed and variable arc costs: formulation and dual-based solution heuristic, *Journal of the Operational Research Society*, 59, 80-89, 2008.
- [12] Campbell, J.F., Ernst, A.T., Krishnamoorthy, M., Hub arc location problems: Part I-Introduction and Results, *Management Science*, 51, 1540-1555, 2005.

- [13] Campbell, J.F., Ernst, A.T., Krishnamoorthy, M., Hub arc location problems: Part II-Formulations and Optimal Algorithms, *Management Science*, 51, 1556-1571, 2005.
- [14] Alumur, S., Kara, B.Y., A hub covering network design problem for cargo applications in Turkey, *Journal of the Operational Research Society*, 60, 1349-1359, 2009.
- [15] Calik, H., Alumur, S.A., Kara, B.Y., Karasan, O.E., A tabu-search based heuristic for the hub covering problem over incomplete hub networks, *Computers and Operations Research*, 36, 3088-3096, 2009.
- [16] Alumur, S.A., Kara, B.Y., Karasan, O.E., The design of single allocation incomplete hub networks, *Transportation Research Part B*, 43, 936-951, 2009.
- [17] Jaillet, P., Song, G., Yu, G., Airline network design and hub location problems, *Location Science*, 4(3), 195–212, 1996.
- [18] Campbell, J.F., Hub location for time definite transportation, *Computers and Operations Research*, 36, 3107-3116, 2009.
- [19] Ishfaq, R., LTL logistics networks with differentiated services, *Computers and Operations Research*, 39, 2867-2879, 2012.
- [20] Contreras, I., Fernandez, E., Marin, A., The tree of hubs location problem, *European Journal of Operational Research*, 202, 390-400, 2010.
- [21] Contreras, I., Fernandez, E., Marin, A., Tight bounds from a path based formulation for the tree of hub location problem, *Computers and Operations Research*, 36, 3117-3127, 2009.
- [22] Labbe, M., Yaman, H., Solving the hub location problem in a star-star network, *Networks*, 51, 19-33, 2008.
- [23] Yaman, H., The hierarchical hub median problem with single assignment, *Transportation Research Part B*, 43, 643-658, 2009.
- [24] Arnold, P., Peeters, D., Thomas, I., Modelling a rail/road intermodal transportation system, *Transportation Research Part E*, 40, 255-970, 2004.
- [25] Groothedde, B, Ruijgrok, C, Tavasszy, L., Towards collaborative, intermodal hub networks: a case study in the fast moving consumer goods market, *Transportation Research Part E*, 41, 567–83, 2005.
- [26] Limbourg, S., Jourquin, B., Optimal rail-road container terminal locations on the European network, *Transportation Research Part E*, 45, 551-563, 2009.

- [27] Ishfaq, R., Sox, CR., Intermodal logistics: the interplay of financial, operational and service issues, *Transportation Research Part E*, 46, 926–949, 2010.
- [28] Ishfaq, R., Sox, C.R., Hub location-allocation in intermodal logistic networks, *European Journal of Operational Research*, 210, 213-230, 2011.
- [29] Alumur, S.A., Kara, B.Y., Karasan, O.E., Multimodal hub location and hub network design, *OMEGA*, 40, 927-939, 2012.
- [30] Alumur, S.A., Yaman, H., Kara, B.Y., Hierarchical multimodal hub location problem with time-definite deliveries, *Transportation Research Part E*, 48, 1107-1120, 2012.
- [31] Ishfaq, R., Sox, CR., Design of intermodal logistics networks with hub delays, *European Journal of Operational Research*, 220, 629-641, 2012.
- [32] Crainic, T.G., Service network design in freight transportation, *European Journal of Operational Research*, 122(2), 272–88, 2000.
- [33] Crainic, T.G., Kim, K.H., Intermodal Transportation, *Handbooks in operations reserach and management*, ed: Barnhart, C., Laporte, G., *Elsevier*, Amsterdam, 2007.
- [34] Kim, D., Barnhart, C., Ware, K., Reinhardt, G., Multimodal express package delivery: a service network design application, *Transportation Science*, 33(4), 391–407, 1999.
- [35] Crainic, T.G., Laporte, G., Planning models for freight transportation, *European Journal of Operational Research*, 97(3), 409–38, 1997.
- [36] Cetiner S., Sepil C., Süral H., Hubbing and routing in postal delivery systems, *Annals of Operations Research*, 181, 109-124, 2010.
- [37] Karayolları genel müdürlüğü. “İller arası mesafe cetveli”. <http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Root/Uzakliklar.aspx>, Son erişim tarihi: 8 Ağustos 2011.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ALTUNTAŞ, Saliha  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 24.07.1989 Ankara  
Medeni hali : Bekar  
Telefon : 0 (541) 770 85 14  
e-mail : salihaaltuntass@gmail.com

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Y. Lisans	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği	2014
Lisans	Hacettepe Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği	2011

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-	Türk Hava Yolları A.O. Genel Yönetim Binası	Uzman
2011-2013	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

### Yabancı Dil

İngilizce

### Konferans bildirileri

Altuntaş, S., Serper, E., Alumur, S.A., Hub Location and the Design of Capacitated Intermodal Hub Networks, 20th EURO Working Group on Locational Analysis Meeting (EWGLA XX), Nisan 2013.

Altuntaş, S., Alumur, S.A., Hub Location and the Design of Capacitated Intermodal Hub Networks with Different Service Types, 26th European Conference on Operational Research (EURO/INFORMS XXVI), Temmuz 2013.