

**ZAMAN ARALIKLI ÇEKİCİ VE TREYLER ROTALAMA  
PROBLEMİ VE BİR UYGULAMA**

**Çağrı Timurkaynak**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**  
**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yavuz Boğaç Türkoğulları**

**İstanbul**  
**T.C. Maltepe Üniversitesi**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**Ocak 2019**

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Çağrı TİMURKAYNAK'ın "Kaynakların Yeterliliğinin Yöneylem Araştırması Yöntemleri İle Değerlendirilmesi Ve Bu Yöntemlerin Bir Lojistik Firmasında Uygulanması" başlıklı tezi 18.01.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Maltepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans/Doktora tezi **oy birliğiyle** oy çokluğuyla olarak kabul edilmiştir.

Unvanı, Adı ve soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Dr. Öğr. Üyesi Yavuz Boğaç TÜRKÖĞULLARI



Üye : Prof. Dr. Umut Rıfat TUZKAYA  
( Yıldız Teknik Üniversitesi )




Üye : Dr. Öğr. Üyesi Abbas DÜNDAR




Prof. Dr. İlder BÜYÜKDİĞAN

Enstitü Müdürü

	<b>ŞEKİL ONAY SAYFASI</b>	Doküman No	FR-105
		İlk Yayın Tarihi	20.12.2017
		Revizyon Tarihi	10.12.2018
		Revizyon No	01
		Sayfa	1/2

## ŞEKİL ONAY SAYFASI

24/01/2019


<b>FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE,</b> Aşağıda bilgileri bulunan lisansüstü öğrencinin tezi şekil yönünden tarafımda incelenmiş ve Enstitüye teslim edilmesi uygun bulunmuştur.	
Anabilim Dalı Başkanı Adı-Soyadı Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Cileci Tokluş İmza 	

<b>ÖĞRENCİ BİLGİLERİ</b>	
ADI SOYADI	Çağrı Timurkaynak
ÖĞRENCİ NUMARASI	161403105
ANABİLİM DALI	Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı
PROGRAMI	<input checked="" type="checkbox"/> YÜKSEK LİSANS <input type="checkbox"/> DOKTORA <input type="checkbox"/> SANATTA YETERLİK
DANIŞMANI	Dr. Öğr. Üyesi Yavuz Boğaç Türkoğulları
TEZ BAŞLIĞI	Zaman Aralıklı Çekici ve Treyler Rotalama Problemi ve Bir Uygulama
SAVUNMA TARİHİ	18/01/2019
e-posta	c.tmrkynk@windowslive.com

İç Kapak	<input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
Jüri Onay Sayfası	<input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
Etik İlike ve Kurallara Uyum Beyanı	<input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
İntihal Raporu	<input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
Teşekkür Sayfası	<input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
Öz (Başlık-Öz-Anahtar Sözcükler)	<input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
Abstract (Title-Abstract-Key Words)	<input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
İçindekiler	<input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
Çizelgeler Listesi	<input type="checkbox"/> Var <input checked="" type="checkbox"/> Yok
Şekiller Listesi (varsa)	<input type="checkbox"/> Şekil yok <input checked="" type="checkbox"/> Uygun <input type="checkbox"/> Uygun Değildir
Kısaltmalar Listesi	<input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
Tablolar Listesi (varsa)	<input type="checkbox"/> Tablo yok <input checked="" type="checkbox"/> Uygun <input type="checkbox"/> Uygun Değildir
Ekler Listesi (varsa)	<input type="checkbox"/> Ek yok <input checked="" type="checkbox"/> Uygun <input type="checkbox"/> Uygun Değildir
Özgeçmiş	<input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok

Hazırlayan İlgili Birim	Kalite Koordinatörü Dr. Öğr. Üyesi Şafak GÜNDÜZ	Kurumsal Yetkili Prof. Dr. Belma AKŞİT
----------------------------	--	---

(Doküman No: FR-105; Yayın Tarihi 20.12.2017; Revizyon Tarihi: ; Revizyon No:00)

	<b>ŞEKİL ONAY SAYFASI</b>	Doküman No	FR-105
		İlk Yayın Tarihi	20.12.2017
		Revizyon Tarihi	10.12.2018
		Revizyon No	01
		Sayfa	2/2


Sayfa Genişliği	<input checked="" type="checkbox"/> Uygun <input type="checkbox"/> Uygun Değildir
Yazı Tipi	<input checked="" type="checkbox"/> Uygun <input type="checkbox"/> Uygun Değildir
Referans Kullanımı	<input type="checkbox"/> Uygun <input type="checkbox"/> Uygun Değildir
Kaynakça Yazımı	<input checked="" type="checkbox"/> Uygun <input type="checkbox"/> Uygun Değildir
Ekler (varsa)	<input type="checkbox"/> Ek yok <input checked="" type="checkbox"/> Uygun <input type="checkbox"/> Uygun Değildir

Dr. Öğr. Üyesi Erdal GÜVENÖĞLU  
İmza



Hazırlayan İlgili Birim	Kalite Koordinatörü Dr. Öğr. Üyesi Şafak GÜNDÜZ	Kurumsal Yetkili Prof. Dr. Belma AKŞİT
----------------------------	--	---

(Doküman No: FR-105; Yayın Tarihi 20.12.2017; Revizyon Tarihi: ; Revizyon No:00)

 maltepe üniversitesi	<b>ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI</b>	Doküman No	FR-178
		İlk Yayın Tarihi	01.03.2018
		Revizyon Tarihi	
		Revizyon No	00
		Sayfa	1/1

#### Revizyon Takip Tablosu

REVİZYON NO	TARİH	AÇIKLAMA
00	01.03.2018	İlk yayın.

#### ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI

22/01/2019

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarından bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilmeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; çalışmamın Maltepe Üniversitesinde kullanılan "bilimsel intihal tespit programı" ile tarandığını ve öngörülen standartları karşıladığımı beyan ederim.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Çağrı Timurkaynak



Hazırlayan İlgili Birim	Kalite Koordinatörü Dr. Öğr. Üyesi Şafak GÜNDÜZ	Kurumsal Yetkili Prof. Dr. Belma AKŞİT
----------------------------	--	---

(Doküman No: FR-178; Yayın Tarihi: 01.03.2018; Revizyon Tarihi: ; Revizyon No:00)

## Zaman Aralıklı Çekici ve Treyler Rotalama Problemi ve Bir Uygulama

### ORIGINALITY REPORT

<b>4%</b>	<b>3%</b>	<b>1%</b>	<b>3%</b>
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

### PRIMARY SOURCES

<b>1</b>	<b>Submitted to The Scientific &amp; Technological Research Council of Turkey (TUBITAK)</b> Student Paper	<b>2%</b>
<b>2</b>	<b>sbe.maltepe.edu.tr</b> Internet Source	<b>&lt;1%</b>
<b>3</b>	<b>Submitted to Üsküdar Üniversitesi</b> Student Paper	<b>&lt;1%</b>
<b>4</b>	<b>Submitted to Özyegin Üniversitesi</b> Student Paper	<b>&lt;1%</b>
<b>5</b>	<b>M. Carriquiry, B. A. Babcock. "Reputations, Market Structure, and the Choice of Quality Assurance Systems in the Food Industry", American Journal of Agricultural Economics, 2007</b> Publication	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>Submitted to Baskent University</b> Student Paper	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>Zhaowei Miao, Shun Cai, Di Xu. "Applying an</b>	

Uygundur. Dr. Öğr. Üyesi  
Xavuz Boğaç Tokoğulları  
YKT

## TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın yürütölmesi sırasında bana destek olan danıőmanım Yrd. Doç. Dr. Yavuz Boğaç Türkoğulları'na, aileme, özellikle sonsuz destekleri için annem ve babama, Mukaddes ve Zafer Timurkaynak'a, okula gitmek zorunda olduğum için beni her seferinde gelip alan kardeőim Anıl Timurkaynak'a, İő arkadaşlarıma, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalındaki Hocalarıma teşekkür ederim.

aėrı Timurkaynak

Ocak 2019

## ÖZ

### ZAMAN ARALIKLI ÇEKİCİ VE TREYLER ROTALAMA PROBLEMİ VE BİR UYGULAMA

Çağrı Timurkaynak

Yüksek Lisans Tezi

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yavuz Boğaç Türkoğulları

Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019

Bir firmanın verilen bir işi yapmadan, bir projeyi gerçekleştirmeden önce kaynaklarının yeterli olup olmadığını değerlendirmesi önemli bir konudur. Firmanın yanlış bir karar vererek yetersiz kaynaklarla bir işi gerçekleştirmeye kalkışması sonradan onarılması güç zararlara yol açabilmektedir. Söz konusu kaynaklar, firmanın finansal kaynakları, işgücü, ekipman ve firmanın faaliyetlerini gerçekleştirdiği tesisleridir.

Bu tezde kaynakların yeterliliğinin yöneylem araştırması yöntemleri ile değerlendirilmesi konusu üzerinde durulmaktadır. Türkiye’de otomobil yedek parçası lojistiği yapan bir firmanın çekici ve treyler sayısının verilen işi zamanında yapmaya yeterli olup olmadığı, yine teslimatların zamanında yapılabilmesi için ortaya çıkan toplam maliyeti yöneylem araştırması yöntemleri ile belirleyerek firmanın bu maliyeti görmesi ve projeyi ona göre kabul edip etmemesi üzerinde çalışılmaktadır. Bilimsel literatürde bu probleme zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama problemi ismi verilmektedir.

NP zor olan zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama problemi için tavlama benzetimi temelli bir sezgisel yöntem literatürde bulunmaktadır. Bu tezde bilimsel literatüre bir katkı olarak bu problemin bir matematik modeli yapılmaktadır. Buna ek olarak en yakın noktaya gitmeyi temel alan etkin bir sezgisel yöntem önerilmektedir. Bu üç yöntemin performansları otomobil yedek parçası lojistiği firmasının karşılaştığı problem üzerinden üretilmiş 18 örnek üzerinden ölçülmekte ve raporlanmaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** 1. matematik model 2. yöneylem araştırması 3. çekici ve treyler rotalama problemi 4. sezgisel yöntem 5. lojistik



## ABSTRACT

### TRUCK AND TRAILER ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS AND AN APPLICATION

Çağrı Timurkaynak

Master Thesis

Industrial Engineering Department

Thesis Advisor: Dr. Öğr. Üyesi Yavuz Boğaç Türkoğulları

Maltepe Üniversitesi Graduate School of Science and Engineering 2019

For a firm the evaluation of the sufficiency of the resources before doing a job, before making a project is an important issue. A bad decision of trying to accomplish a job with insufficient resources can cause irreversible losses. The resources in question are the firm's financial resources, workforce, equipment and the facilities where the firm does its activities.

In this thesis the topic of evaluation of the sufficiency of the firm's resources with operations research technics is investigated. Are the trucks and the trailers of a firm in Turkey that works on the logistics of automobile spare parts sufficient in number in order to deliver the spare parts on time? Also the firm should see and evaluate the total cost of the project before accepting it. In the scientific literature this problem is called the truck and trailer routing problem with time windows.

In the scientific literature for the NP Hard truck and trailer routing problem with time windows there is a simulated annealing based heuristic method. In this thesis as a contribution to the scientific literature a mathematical model of this problem is done. In addition to that, a new and efficient heuristic method which is based on going to the nearest point is proposed. The performance of these three methods is measured on 18 instances which are produced from the problem faced by the automobile spare parts logistics firm. The performance results are also reported.

**Keywords:** 1. mathematical model 2. operations research 3. truck and trailer routing problem 4. Heuristic method 5. logistics

# İÇİNDEKİLER

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI .....	i
ŞEKİL ŞARTI ONAY SAYFASI .....	ii
ETİK, İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI.....	iv
İNTİHAL RAPORU .....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÖZ .....	vii
ABSTRACT.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
KISALTMALAR.....	xiii
ÖZGEÇMİŞ .....	xiv
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
Problem .....	1
Amaç .....	2
Önem.....	2
Varsayımlar.....	3
Sınırlılıklar .....	3
Tanımlar .....	3
İlgili Literatür .....	4
BÖLÜM 2. YÖNTEM .....	8
Kaynakların Yeterliliğinin Yöneylem Araştırması Yöntemleri ile Değerlendirilmesi. 8	
Yöneylem Araştırması Literatüründe Tanımlanmış Çeşitli Problemlerin	
Kaynakların Yeterliliğinin Değerlendirilmesi Açısından Analizi.....	8
Zaman Aralıklı Çekici ve Treyler Rotalama Problemi .....	13
Matematiksel Modelleme .....	13
Sezgisel Yöntemler .....	20
Metasezgisel Yöntemler .....	21
Yöneylem Araştırması Yöntemlerinin Bir Lojistik Firmasında Uygulanması .....	23
Firmadaki Problemin Tanımı .....	23
Yöntemlerin Performanslarının Değerlendirilmesi ve Karşılaştırılması.....	24
Lojistik Firmasındaki Problemin Çözümü .....	27
BÖLÜM 3. BULGULAR VE YORUMLAR .....	37
Bulgular.....	37

Yorumlar .....	38
BÖLÜM 4. SONUÇ .....	40
Özet .....	40
Yargı.....	41
Öneriler .....	42
EK A. CPLEX ÇÖZÜCÜSÜNÜN GİRİDİ VE MODEL DOSYALARI.....	43
EK B. FİRMANIN KARŞILAŞTIĞI PROBLEMİN 20 ÇEKİCİ VE 60 TREYLER İÇİN ÇÖZÜMÜ .....	48
KAYNAKÇA.....	52



## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Yöneylem Araştırması Literatüründe Bulunan Problemlerin Kaynakların Yeterliliğinin Değerlendirilmesi Açısından Analizi (Birinci Kısım) .....	11
Tablo 2.2. Yöneylem Araştırması Literatüründe Bulunan Problemlerin Kaynakların Yeterliliğinin Değerlendirilmesi Açısından Analizi (İkinci Kısım) .....	12
Tablo 2.3. Matematiksel Modelin Parametreleri .....	15
Tablo 2.4. Matematiksel Modelin Karar Değişkenleri .....	16
Tablo 2.5. Arz Noktalarından Talep Noktalarına Uzaklıklar (km).....	23
Tablo 2.6. Arz Noktaları Arasındaki Uzaklıklar (km).....	24
Tablo 2.7. Veri Kümeleri İçin Matematik Modelin, Tavlama Benzetiminin ve En Yakın Araç Sezgiselinin Verdiği Çözümler .....	25
Tablo 2.8. Veri Kümeleri İçin Matematik Modelin, Tavlama Benzetiminin ve En Yakın Araç Sezgiselinin İşlem Süreleri.....	26
Tablo 2.9. Büyük Veri Kümeleri İçin Tavlama Benzetiminin ve En Yakın Araç Sezgiselinin Verdiği Çözümler .....	27
Tablo 2.10. Çekici ve Treyler Sayısının Fonksiyonu Olarak Toplam Maliyetler ve İşlerin Bitiş Zamanları .....	30
Tablo 2.11. Tavlama Benzetimi Temelli Sezgisel Yöntemi Uygulayan Programın İşlem Süreleri.....	35
Tablo B.1. Treylerlerin Varış Noktaları ve Treylerlere Atanan Çekiciler.....	48

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Tavlama Benzetimi Yönteminde Çözümün Yapısı .....	22
Şekil 2.2 Aksaray Tesisi .....	28
Şekil 2.3 Çayırova Tesisi .....	28
Şekil 2.4 Tır Parkı .....	29
Şekil 2.5 Rampalardaki Kapalı Kasa Treyler Yükleme ve Boşaltımı .....	29
Şekil 2.6. Treyler Sayısının Fonksiyonu Olarak Toplam Maliyet .....	32
Şekil 2.7. Çekici Sayısının Fonksiyonu Olarak Toplam Maliyet .....	32
Şekil 2.8. Treyler Sayısının Fonksiyonu Olarak Çayırova'daki İş Bitiş Zamanları .....	33
Şekil 2.9. Treyler Sayısının Fonksiyonu Olarak Kemalpaşa'daki İş Bitiş Zamanları ....	33
Şekil 2.10. Çekici Sayısının Fonksiyonu Olarak Çayırova'daki İş Bitiş Zamanları .....	34
Şekil 2.11. Çekici Sayısının Fonksiyonu Olarak Kemalpaşa'daki İş Bitiş Zamanları ...	34
Şekil 2.12. Treyler Sayısının Fonksiyonu Olarak Programın Çalışma Süresi (sn).....	36
Şekil 2.13. Çekici Sayısının Fonksiyonu Olarak Programın Çalışma Süresi (sn) .....	36
Şekil A.1. Cplex Çözücüsünün Girdi Dosyası.....	43
Şekil A.2. Cplex Çözücüsünün Model Dosyası.....	47

## KISALTMALAR

- $db_{sa_{d1}}$  : d treylerinin 1 inci seferin başında arz noktasında bekleme süresi
- $db_{st_{d1}}$  : d treylerinin 1 inci seferinde talep noktasında bekleme süresi
- $L_d$  : bir treylerin yapabileceği maksimum sefer sayısı
- $L_s$  : bir çekicinin yapabileceği maksimum sefer sayısı
- $d_{ys}$  : bir treylerin yüklenme süresi
- $db_s$  : bir treylerin boşaltılma süresi
- $p1_{jk}$  : yüklü bir treylerin j arz noktasından k talep noktasına çekici ile birlikte gidiş süresi
- $p2_{kj}$  : boş bir treylerin k talep noktasından j arz noktasına çekici ile birlikte gidiş süresi
- $sds_{n1n2}$  : şoförün bir noktadan (n1) diğerine (n2) gittikten sonra dinlenme süresi
- $e_k$  : k talep noktasına varılabilecek en erken zaman
- $g_k$  : k talep noktasında bir treylerin yükünü teslim edebileceği (boşaltma bitirilerek) en geç zaman

# ÖZGEÇMİŞ

Çağrı Timurkaynak

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

## Eğitim

Ls. 2016 Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi  
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı  
Lise 2008 Ayrancı Lisesi YDA

## İş/İstihdam

*Yıl* *Görev*  
2016 - İş Geliştirme Uzman / Ekol Lojistik A.Ş

## Kişisel Bilgiler

Doğum yeri ve yılı	:Sivas 1990	Cinsiyet:Erkek
Yabancı diller	: İngilizce	
GSM / e-posta	: 0554 847 0290/ c.tmrkynk@windowlive.com	

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Bu giriş bölümünde önce tezde ele alınan problem tarif edilmektedir. Sonrasında tezin amacı, önemi, varsayımları ve sınırlılıkları anlatılmaktadır. Müteakiben, bazı tanımlar verilmekte ve ilgili literatür ortaya konulmaya çalışılmaktadır.

### Problem

Bu tezde kaynakların yeterliliğinin yöneylem araştırması yöntemleri ile değerlendirilmesi problemi bir lojistik firması üzerinde uygulama ile birlikte ele alınmaktadır. Bir firma bir işi veya projeyi yapmadan önce sahip olduğu finansal kaynaklar, işgücü, ekipman ve tesislerinin yeterli olup olmadığını değerlendirmek zorundadır. Örnek olarak tezde ele alınan lojistik firması arz noktalarından talep noktalarına eşya taşımalarını zamanında yapabilmek için sahip olduğu çekici ve treyler sayısının yeterli olup olmadığını önceden bilmelidir. Yine, lojistik firması bu taşımanın yapılması için gerekli olan finansal maliyeti önceden bilmeli ve bu maliyeti karşılayabilecek ise projeyi kabul etmelidir. Ayrıca, firma verilen işe daha fazla kaynak ayırdığında işlerin bitiş zamanlarındaki, dolayısıyla hizmet kalitesindeki artışı görebilmeli ve toplam maliyetteki artışı da göz önünde bulundurarak bir değerlendirme yapabilmelidir.

Bilimsel literatürde arz noktalarından talep noktalarına taşıma yapılırken treylerlerin çekicilere atanması, bir başka deyişle hangi treylerin hangi çekici tarafından çekilmesi gerektiği problemine zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama problemi ismi verilmektedir (Lin, Yu & Lu, 2011). Zaman aralığı terimi çekici ve treylerlerin arz ve talep noktalarını yalnızca belirli zaman aralıklarında ziyaret etmeleri zorunluluğu ile ilgilidir. Bu problemde amaç toplam taşıma maliyetini minimize etmektir. Bir çekici bir treyleri bir noktada bırakabilmekte, boş veya dolu bir başka treyleri alıp yoluna devam edebilmekte böylelikle zaman kazanılmaktadır. Çünkü bir treylerin doldurulması veya boşaltılması bir zaman almaktadır. Birçok durumda treyler sayısı çekici sayısına göre daha azdır. Çekici içerdiği motor ve diğer elektronik aksam nedeniyle treylere göre daha değerli ve firmada daha az sayıda bulunan bir kaynaktır. Zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama problemi NP zor bir problemdir (Lin, Yu & Lu, 2011).



## **Amaç**

(Lin, Yu & Lu, 2011) zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama problemi için tavlama benzetimi temelli bir sezgisel yöntem önermektedirler. Bu tezde bu problemin bir matematik modeli yapılmaktadır. Yine bu tezde en yakın noktaya gitme temelli yeni ve etkin bir sezgisel yöntem geliştirilmektedir. Bu tezde amaç önerilen bu iki yöntem ile zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama probleminin çözüm yöntemlerini zenginleştirmektir. Bu tezde Türkiye’de otomobil yedek parça lojistiği üzerinde çalışan bir firmanın karşılaştığı bir proje önerisi üzerinden 18 yeni örnek veri oluşturularak literatüre kazandırılmaktadır. Bu yeni örnek veriler üzerinden var olan ve önerilen yöntemlerin performansı ölçülmektedir. Uluslararası bilimsel literatüre katkı oluşturan yukarıda sayılan amaçların yanı sıra, Türkçe yazılan bu tezin Türkiye’deki lojistik firmalarının kaynaklarını doğru değerlendirmelerine yardımcı olmak, teslimatlarını zamanında yapmaya yeterli sayıda çekici ve treylerleri olup olmadığına karar vermelerini sağlayacak yöntemler önermek ve bu yöntemlerin nasıl kullanılacağını göstermek amacı da vardır. Özellikle lojistik firmalarının karşılarına çıkan projenin minimum toplam maliyetini hesaplamaya ihtiyaçları vardır ve bu tez minimum toplam maliyeti hesaplama ile ilgili yöntem ve karar destek araçları ortaya koymayı da amaçlamaktadır. Buna ek olarak bu tez, lojistik firmalarına, karşılarına çıkan iş ve projelere ayırdıkları kaynakların (çekici, treyler) miktarının bir fonksiyonu olarak işlerin bitiş zamanlarındaki azalmayı ve dolayısıyla verdikleri hizmetin kalitesindeki artışı görebilecekleri araçlar vermeyi hedeflemektedir.

## **Önem**

Bu tez, yukarıda tarif edilen, lojistikteki çok temel bir problemi ele almakta ve çözüm önerileri getirmektedir. Türkçe yazılan bu tez zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama problemi ile ilgili varolan yöntemlerin önemli bir kısmını içermekte ve bu yöntemlerin bir kısmını geliştirmektedir. Performanslarını ölçmektedir. Bu açılarından bilimsel literatüre katkıda bulunan önemli bir tezdur. Bu tez Türkiye’deki lojistik kuruluşları için de önem arz etmektedir. Yöntemler Türkiye’deki bir lojistik firmasında uygulanmakta ve tezde algoritmaları verilmektedir. Bu tür lojistik firmalarından Türkiye genelinde çok miktarda bulunmaktadır ve bu tez en azından bu firmalara katkı sağlama potansiyeline sahiptir. Tezde ele alınan problem genel bir problemdir ve önerilen

yöntemler lojistik üzerinde çalışan Türk veya Dünya Sanayisindeki her kuruluşu ilgilendirmektedir. Bu açıdan da tez önem arz etmektedir.

### **Varsayımlar**

Tezde bulunulan temel varsayımlar zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama problemi konusunda önerilen matematik modelde, maliyet hesabında, araçların arıza yapması, yolların hava koşulları nedeniyle kapanması gibi maliyet unsurlarının modelin dışında tutulmasıdır. Ancak uluslararası bilimsel literatürde tanımlanmış zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama veya araç rotalama problemlerinde de bu durumlar ele alınmamakta bu varsayımlar yapılmaktadır.

### **Sınırlılıklar**

Bu tezde yapılması önceden planlanan bütün araştırma yapılmış ve raporlanmıştır. Bu açıdan herhangi bir sınırlılık yoktur. Ele alınan konular var olan yönleri ile incelenmiş ve bu tezde raporlanmıştır. Uluslararası literatürde açıkça tanımlanmış bir problem ele alınmış ve bu problemin çözüm yöntemleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Bir lojistik firmasının karşısına çıkan proje önerisi üzerinden 18 yeni test veri örneği oluşturulmuştur. İçeriği literatürde açıkça tanımlanmış bir problem üzerinde çalışıldığından problem üzerinde bir daraltma veya genişletmeye gidilmemiştir. Bu tezde hedeflenen, sınırları literatürde açıkça tanımlanmış bir problemin çözüm yöntemlerini geliştirmek ve bu yöntemleri gerçek dünyadan bir veri kümesi üzerinde test etmektir.

### **Tanımlar**

Bu tezde çözücü kavramı da önemli bir yer tutmaktadır. “Cplex” çözücüsü kullanılmaktadır. Endüstri mühendisleri bazı problemlerin matematik modellerini amaç fonksiyonu ve kısıtlar halinde oluşturabilmektedirler. Lineer ve tamsayı programlama teknikleri kullanılarak bu problemlerin bir kısmı çözülebilmektedir. Simpleks yöntemi ve dal sınır yöntemi ismi verilen yöntemler bu modellerin çözümünün temelini oluşturmaktadır. Sözü edilen yöntemler büyük problemlerde bilgisayarda yazılmış çözücü ismi verilen programlar kullanılarak uygulanmaktadır. Endüstri mühendisliğinde yöneylem araştırması alanında önemli bir yer tutan bu konular için (Bazaraa, Jarvis & Sherali, 2010), (Bazaraa, Sherali & Shetty, 2006), (Bertsekas, 1999), (Hillier & Lieberman, 2010), (Taha, 2016) kaynakları önemli kaynaklardan bazılarıdır.

Bu tezde ele alınan zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama problemi yukarıda problem başlığı altında tanımlanmaktadır. Literatürde, bu problem ile yakından ilgili araç rotalama problemi problemi de bulunmaktadır (Dantzig & Ramser, 1959), (Laporte & Nobert, 1987), (Laporte & diğerleri., 2000). Bu problemin çekici ve treyler rotalama probleminden farkı araçların treylerlerini bir yerde bırakmadan, treylerleri ile bütünleşik şekilde arz noktalarından talep noktalarına taşıma yapmalarıdır. Araç rotalama probleminde çekici veya treyler kavramından bahsedilmeden araçların yük dağıtım yapmaları söz konusu olmaktadır. Ancak gerçek dünyadaki birçok lojistik probleminde çekici sayısı treyler sayısından daha azdır ve bu tezde anlatılan çekicileri treylerlere atama ve rotalama problemi ortaya çıkmaktadır.

### **İlgili Literatür**

Bu tezde yöneylem araştırması teknikleri uygulanmaktadır. Doğrusal programlama ile ilgili bazı önemli kaynaklar (Taha, 2016) ve (Bazaraa, Jarvis & Sherali, 2010) dur. (Taha, 2016) kaynağının 6. Baskısının Türkçe bir çevirisi bulunmaktadır (Taha, 2007). Bu iki kaynakta, matematiksel modelleme, simpleks yöntemi, lineer tamsayı programlama, sezgisel ve metasezgisel yöntemler anlatılmaktadır. Doğrusal olmayan programlama ile ilgili kaynaklar (Bertsekas, 1999) ve (Bazaraa, Sherali & Shetty, 2006) dır. Bu iki kaynakta kısıtlanmamış ve kısıtlanmış doğrusal olmayan optimizasyon yöntemleri anlatılmaktadır. Örnek olarak Karush Kuhn Tucker ve Fritz John optimalite koşulları bu kaynaklarda yer almaktadır. Tamsayı programlama ile ilgili faydalanılan kaynak (Wolsey & Nemhauser, 1999) dur. Bu kaynakta politoplar, yüz kavramı ve geçerli eşitsizlikler, içbükey kümeler ve özellikleri, Minkowski teoremi gibi konulara yer verilmektedir. Tezde bir matematik model yapılmıştır. Matematik modeller oluşturmakla ilgili önemli bir kaynak (Williams, 1993) dür. Bu kaynakta model oluşturma teknikleri var olan modeller üzerinden örneklendirilerek anlatılmaktadır. Kaynakların yeterliliğinin yöneylem araştırması yöntemleri ile değerlendirilmesi konusunda örnekler incelenirken üretim yönetimi ile ilgili (Çalikçapa, 2000), (Yamak, 2007) ve (Kobu, 2017) dir.

Bu tezde bir metasezgisel yöntem de irdelenmektedir. Metasezgisel yöntemler ile ilgili öğretici bir bölüm (Taha, 2016) kaynağında bulunmaktadır. Özellikle genetik

algoritma üzerinde yoğunlaşmasına rağmen metasezgisel yöntemlerde çözümlerin temsil edilmesi konusunu anlatan (Gen & Cheng, 1999) kaynağı önemlidir.

Bu tezde zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama problemi üzerinde çalışılmaktadır. Bu problemin zaman aralıklarını içermeyen halini ilk tanımlayan (Chao, 2002) dir. Zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama problemi araç rotalama veya zaman aralıklı araç rotalama probleminin bir varyantıdır. Araç rotalama problemi ile ilgili bazı temel kaynaklar (Dantzig & Ramser, 1959), (Laporte & Nobert, 1987), (Laporte & diğerleri., 2000) ve (Toth & Vigo, 2002) dir. Zaman aralıklı araç rotalama problemi çok zor bir kombinatoriyal optimizasyon problemi olması nedeniyle sezgisel yaklaşımlarla ele alınmaktadır. Bu şekilde yapılmış bazı temel çalışmalar (Abramson, 1991), (Bent & VanHentenryck, 2004), (Hombberger & Gehring, 2005), (Le Bouthillier & Crainic, 2005) ve (Ting & Huang, 2005) dir.

Çekici ve treyler rotalama problemi ile ilişkili bir diğer araç rotalama problemi mevkiye bağlı araç rotalama problemidir. Bu problemde araçlar heterojendir ve talep noktalarının kendilerine uygun araçlar tarafından hizmet görmesi gerekmektedir. Bu problem ile ilgili temel kaynaklar (Nag, Golden & Assad, 1988), (Chao, Golden & Wasil, 1998) ve (Chao, Golden & Wasil, 1999) dir.

Bu tezde ele alınan zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama probleminin zamanı hiç dikkate almayan yalnızca çekici ve treyler rotalamaktan ibaret durumu için çeşitli uygulamalar içeren çalışmalar bulunmaktadır. (Gerdessen, 1996) Hollanda'daki mandıra ürünlerinin dağıtımı ile ilgili bir uygulama anlatmaktadır. (Semet & Taillard, 1993) İsviçre'deki bir yiyecek zincir mağazasının 21 çekici ve 7 treyler ile dağıtım çizelgesi üzerinde çalışmışlardır. (Bodin & Levy, 2000) çekici ve treyler rotalama problemine benzeyen posta dağıtımı problemini ele almışlardır. (Hoff, 2006) Norveç mandıracılığında bir uygulama üzerinde durmaktadır. Çiftliklerden fabrikalara çekici ve treylerlerin mandıra ürünlerini ulaştırma çizelgeleri üzerinde çalışılmaktadır.

Zaman aralıklarını içermeyen çekici ve treyler rotalama problemi de NP-zordur. Bu nedenle önerilmiş kesin çözüm yöntemleri de azdır. (Drexyl, 2007) bir dal fiyat

(branch and price) algoritması önermektedir. Yapılan sayısal deneyler göstermektedir ki dal fiyat algoritması dal kes (branch and cut) algoritmasından daha iyi sonuçlar vermektedir. (Drexl, 2011), (Drexyl, 2007) deki dal fiyat algoritmasını geliştiren bir başka kesin çözüm çalışmasıdır. (Belenguer & diğerleri., 2015) tek bir çekici durumunda çekici ve treyler rotalama problemini dal ve kes algoritması ile çözmüşlerdir. Çeşitli geçerli eşitsizlikler ile önerdikleri formülasyonu kuvvetlendirmeye çalışmışlardır.

Zaman aralıklarını içermeyen çekici ve treyler rotalama probleminin yüksek zorluk derecesi nedeniyle sezgisel yöntemler de önerilmiştir. (Caramia & Guerriero, 2010) çekici ve treyler rotalama problemini sezgisel bir anlayışla iki parçaya bölen bir sezgisel yöntem önermişlerdir. (Drexl, 2011) de önerilen dal fiyat yönteminin sezgisel varyantlarına da yer verilmektedir.

Zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama problemi için yayınlanmış başlıca çalışma (Lin, Yu & Lu, 2011) dir. Yazarlar bu çalışmalarında, çalışmalarının, tümüyle zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama problemine dedike olan tek çalışma olduğunu anlatmaktadırlar. (Lin, Yu & Lu, 2011) zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama problemi için bir tavlama benzetimi sezgiseli önermektedir. Bu tezde (Lin, Yu & Lu, 2011) çalışmasına katkı olarak zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama probleminin tek aşamada çözülebilen bir matematik modeli yapılmaktadır. Bu model Türkiye’de otomobil yedek parça lojistiği örnekleri üzerinde bir çözücü yardımı ile çözümlenerek (Lin, Yu & Lu, 2011) nun tavlama benzetimi algoritmasının performansı ölçülmektedir. Tezde önerilen model zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama problemlerinin küçük örneklerini optimum çözebilmektedir. Bu nedenle tezde önerilen matematik model literatüre bir katkıdır. Literatürde alt problemler çözümlenerek birden fazla aşama gerektiren dal fiyat algoritmalarına temel olan basit matematik modeller bulunmaktadır (Parragh & Cordeau, 2015). Bu tezde yenilik tek aşamada bir çözücü ile çözülebilen kapsamlı bir matematik model önerilmesidir. Buna ek olarak büyük ölçekli problemleri çok daha kısa sürede çözebilmek için en yakın noktaya ulaşmayı temel alan etkin bir sezgisel de bu tezde önerilmektedir. Böylelikle (Lin, Yu & Lu, 2011) nun tavlama benzetimi algoritmasının performansı büyük ölçekli problemlerde de ölçülebilmektedir. Tezde önerilen hızlı ve etkin sezgisel anlık karar vermek gereken durumlar için başlı başına bir çözüm

yöntemidir. Son olarak tezin literatüre bir diğer katkısı Türkiye’deki bir otomobil yedek parça lojistiğinden üretilmiş on sekiz örnek veridir. Bu verilerin küçük olanlarının optimum çözümleri bulunmuştur. Büyük olanlar için ise iki farklı sezgiselin verdiği çözümler bulunmuş ve raporlanmıştır. Bu veriler ve çözümleri ileride yapılacak çalışmalar için örnek teşkil edebileceklerdir. Ayrıca bu tezde bir lojistik firmasının karşılaştığı problemin çözümü ayrıntılı bir şekilde anlatılmakta ve bu uygulamada lojistik sektöründe çalışanlara ışık tutabilecek çeşitli sonuçlar çıkarılmaktadır.



## BÖLÜM 2. YÖNTEM

Bu bölümde tezin konusu olan kaynakların yeterliliğinin yöneylem araştırması yöntemleri ile değerlendirilmesine yer verilmiştir. Bu konuda önerilen yöntemler bir lojistik firmasında uygulanmaktadır. Yöntemlerin performansı ölçülmektedir. Aslında bu bölümün bir parçası olan “cplex” çözücüsünde yazılmış programlara tezin okunması ve anlaşılmasını kolaylaştırma amacıyla tezin ekinde yer verilmiştir.

### **Kaynakların Yeterliliğinin Yöneylem Araştırması Yöntemleri ile Değerlendirilmesi**

Firmalar verilen işleri yaparken kurumsal kaynaklarını kullanmaktadırlar. Bir firmanın kaynaklarına örnek olarak işgücü, ekipman, finansal kaynaklar, firmanın sahip olduğu ve firmanın faaliyetlerini gerçekleştirdiği tesisler sayılabilir. Bir firmada önemli olan ve firmanın yapması gereken değerlendirmelerden bir tanesi firmanın sahip olduğu kaynakların talip olunan işi yapmaya yeterli olup olmadığının belirlenmesidir.

Kaynakların yeterliliğinin değerlendirilmesinde yöneylem araştırması yöntemlerinin kullanılması bu bölümde bir lojistik firması örneği üzerinden anlatılmaktadır. Yöneylem araştırması literatürde bulunan çeşitli problemler kaynakların yeterliliğinin değerlendirilmesi açısından analiz edildikten sonra lojistik firmasının karşılaştığı problemin bilimsel literatürdeki karşılığı incelenmekte, sonra bu problemin çözümü ile ilgili matematiksel modelleme, sezgisel yöntemler ve metasezgisel yöntemler gibi yöneylem araştırması yöntemlerine yer verilmektedir.

### **Yöneylem Araştırması Literatüründe Tanımlanmış Çeşitli Problemlerin Kaynakların Yeterliliğinin Değerlendirilmesi Açısından Analizi**

Yöneylem araştırması literatüründe bulunan atama probleminde işçiler işlere toplam atama maliyetini minimize edecek şekilde atanmaktadırlar (Taha, 2016), (Bazaraa, Jarvis & Sherali, 2010). Bu problem yöneylem araştırması yöntemlerinden biri olan macar yöntemi ile çözülmektedir. Fabrikasında veya işletmesinde bu atama modelini kuran ve çözen bir yönetici aslında yapılması gereken işleri tamamlamaya mali olarak kaynaklarının yeterli olup olmadığına bakmakta ve değerlendirmektedir.

Yine yöneylem araştırması literatüründe bulunan ulaştırma probleminde arz noktalarından talep noktalarına ulaştırma yolları miktarları ile birlikte, toplam ulaştırma maliyetini minimize edecek şekilde bulunmaktadır (Taha, 2016), (Bazaraa, Jarvis & Sherali, 2010). Bu problem yöneylem araştırması yöntemlerinden biri olan ulaştırma algoritması ile çözülmektedir. Firmasında bu modeli kuran ve çözen bir yönetici, mali kaynaklarının elindeki ulaştırma işlerini gerçekleştirmeye yeterli olup olmadığını değerlendirmektedir.

Yöneylem araştırması literatüründe bulunan bir başka problem olan kapasiteli parti hacmi büyüklüğü belirleme probleminde üretim yapılabilecek periyotlarda hangi miktarda üretim yapılacağına karar verilmektedir. Amaç, tüm talebi karşılamak ve toplam üretim artı stok tutma maliyetini minimum yapmaktır (Hax & Candea, 1984), (Silver & Peterson, 1985), (Tersine, 1994). Bu problem NP-zor bir problemdir ve çeşitli sezgisel yöntemler ile çözülmektedir: Silver-Meal sezgiseli, dinamik programlamanın sezgisel bir yaklaşımla uygulanması gibi. Firmasında bu modeli kuran bir yönetici üretim kapasitesinin, imkanlarının ve mali kaynaklarının talebi karşılamaya yeterli olup olmadığını değerlendirmektedir.

Küme kapsama probleminde örnek olarak çeşitli noktalara tesisler yerleştirilmesi planlanmaktadır. Bu noktaların hizmet verebileceği diğer noktalar bellidir. Amaç tüm noktaların hizmet almasını sağlayacak şekilde minimum sayıda tesis yerleştirmek olmaktadır (Taha, 2016). Bu problem de NP-zor bir problemdir ve obur (greedy) sezgisel yöntem ile çözülmektedir. Örnek olarak bu modeli kuran bir kamu kuruluşu yöneticisi tüm noktalara hizmet vermeye yetecek kadar tesisi kurmaya işgücü kaynağının, mali kaynaklarının ve inşaat imkanlarının yeterli olup olmadığını değerlendirmek istemektedir.

Tesis yerleştirme probleminde tesislerin ilk maliyetlerini ve talep noktalarına olan ulaştırma maliyetlerini minimize edilecek şekilde yerleştirilmeleri problemi ile ilgilenilmektedir (Sliva & Serra, 2007). Önemli bir kısıt talebi karşılamaktır. Bu problem de NP-zor bir problemdir. Lagrange sezgiseli, lokal arama sezgiseli ve benzeri sezgisel yöntemler ile çözülmektedir. Örnek olarak tesis yerleştirme modelini kuran bir kamu



kuruluşu yöneticisi, talebi karşılamak için gerekli tesisleri kurmaya ve sonrasında işletmeye, işgücü kaynağının, mali kaynaklarının, inşaat ve ulaştırma imkanlarının yeterli olup olmadığını değerlendirmek istemektedir.

Proje seçimi probleminde seneler boyunca gerektirdiği harcamaların bilindiği projeler arasından hangilerinin gerçekleştirileceğine karar verilmektedir. Amaç toplam net getiriye maksimize etmektir (Taha, 2016). Bu problem matematiksel modelleme ile çözülmektedir. Firma yöneticisi finansal kaynaklarının projelerini gerçekleştirmeye yeterli olup olmadığını değerlendirmektedir.

İşgücü seviyeleme ve planlama probleminde bir fabrikanın talebi karşılayacak gerekli üretimi yapabilmesi için işgücü seviyesinin zaman dilimleri boyunca nasıl olması gerektiğine karar verilmektedir (Chopra & Meindl, 2004). Amaç toplam işgücü maliyetini minimize etmektir. Bu problem matematiksel modelleme ile çözülmektedir. Örnek olarak, bir fabrikanın üretim planlama departmanı müdürü mali kaynaklarının ve elindeki işgücünün gerekli üretimi yapmaya yeterli olup olmadığını değerlendirmek amacıyla bir işgücü seviyeleme ve planlama modeli kurabilmekte ve çözebilmektedir.

Çizelgeleme problemlerinde genel olarak makinelerin hangi parçayı ne zaman işlemesi gerektiğine karar verilmektedir (Pinedo, 2008). Çeşitli amaçlar bulunmaktadır: tüm işlerin bitiş zamanını öne çekmek, maksimum geç kalmayı minimize etmek, geç kalan iş sayısını minimize etmek ve benzeri. Çizelgeleme problemlerinin bazıları NP-zordur. Bu problemler sipesifik çizelgeleme algoritmaları veya sezgisel yöntemler ile çözülmektedir. Örnek olarak bir fabrikanın üretim planlama sorumlusu, zaman, makine, işgücü gibi kaynaklarının verilen işi zamanında bitirmeye yeterli olup olmadığını değerlendirmek için çizelgeleme modellerini kullanabilmektedir.

Tablo 2.1 ve Tablo 2.2 yukarıda anlatılan yöneylem araştırması literatüründe bulunan problemlerin kaynakların yeterliliğinin değerlendirilmesi açısından analizini özetlemektedir.

Tablo 2.1. Yöneylem Araştırması Literatüründe Bulunan Problemlerin Kaynakların Yeterliliğinin Değerlendirilmesi Açısından Analizi (Birinci Kısım)

Problem	Yeterliliği değerlendirilen kaynaklar	Amaç	Verilen karar	Çözüm için kullanılan yöneylem araştırması yöntemi
atama problemi	mali kaynaklar	toplam atama maliyetini minimize etmek	hangi işçinin hangi işe atanacağı kararı	macar yöntemi
ulaştırma problemi	mali kaynaklar	toplam ulaştırma maliyetini minimize etmek	arz noktalarından talep noktalarına ulaştırma yolları ve miktarlarının ne olacağı kararı	ulaştırma algoritması
kapasiteli parti hacmi büyüklüğü belirleme problemi	üretim kapasitesi, imkanları ve mali kaynaklar	toplam üretim artı stok tutma maliyetini minimum yapmak	hangi periyotda ne miktarda üretim yapılacağına karar vermek	Silver-Meal sezgiseli, dinamik programlamanın sezgisel bir yaklaşımla uygulanması
küme kapsama problemi	işgücü ve mali kaynaklar, inşaat imkanları	toplam tesis sayısını minimum yapmak	Tesislerin kurulacağı noktalara karar vermek	obur (greedy) sezgisel

Tablo 2.2. Yöneylem Araştırması Literatüründe Bulunan Problemlerin Kaynakların Yeterliliğinin Değerlendirilmesi Açısından Analizi (İkinci Kısım)

Problem	Yeterliliği değerlendirilen kaynaklar	Amaç	Verilen karar	Çözüm için kullanılan yöneylem araştırması yöntemi
tesis yerleştirme problemi	işgücü ve mali kaynaklar, inşaat ve ulaştırma imkanları	tesisleri yerleştirmenin ve tesisleri devam ettirmenin maliyetlerini minimize etmek	hangi tesislerin hangi noktalara yerleştirileceği kararı	Lagrange sezgiseli, lokal arama ve benzeri sezgisel yöntemler
proje seçimi problemi	finansal kaynaklar	projelerin toplam net getirisini maksimize etmek	hangi projelerin gerçekleştirileceği kararı	matematiksel modelleme
işgücü seviyeleme ve planlama problemi	İşgücü ve mali kaynaklar	toplam işgücü maliyetini minimize etmek	zaman dilimleri boyunca işgücü seviyesine karar vermek	matematiksel modelleme
çizelgeleme problemleri	Zaman, makineler, işgücü	tüm işlerin bitiş zamanını, maksimum geç kalmayı, minimize etmek	bir makinenin bir parçayı ne zaman işleme gerektiğine, iş çizelgesine karar vermek	sipesisfik çizelgeleme algoritmaları, sezgisel yöntemler

### **Zaman Aralıklı Çekici ve Treyler Rotalama Problemi**

Bu problemde lojistik firması kaynaklarının yeterliliği açısından şu soruların yanıtlarını aramaktadır : Firmanın sahip olduğu çekici sayısı verilen işi zaman aralıklarına uyarak yapmaya yeterlimidir? Firmanın sahip olduğu treyler sayısı verilen işi yine zaman aralıklarına uyarak yapmaya yeterlimidir? Son olarak, firma ortaya çıkan maliyeti karşılayabilecek mali kaynaklara sahip midir?

Bilimsel literatürde arz noktalarından talep noktalarına taşıma yapılırken treylerlerin çekicilere atanması, bir başka deyişle hangi treylerin hangi çekici tarafından çekilmesi gerektiği problemine zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama problemi ismi verilmektedir (Lin, Yu & Lu, 2011). Zaman aralığı terimi çekici ve treylerlerin arz ve talep noktalarını yalnızca belirli zaman aralıklarında ziyaret etmeleri zorunluluğu ile ilgilidir. Bu problemde amaç toplam taşıma maliyetini minimize etmektir. Bir çekici bir treyleri bir noktada bırakabilmekte, boş veya dolu bir başka treyleri alıp yoluna devam edebilmekte böylelikle zaman kazanılmaktadır. Çünkü bir treylerin doldurulması veya boşaltılması bir zaman almaktadır. Birçok durumda treyler sayısı çekici sayısına göre daha azdır. Çekici içerdiği motor ve diğer elektronik aksam nedeniyle treylere göre daha değerli ve firmada daha az sayıda bulunan bir kaynaktır. Zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama problemi NP zor bir problemidir (Lin, Yu & Lu, 2011).

### **Matematiksel Modelleme**

Bu bölümde zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama probleminin bir matematik modeli verilmektedir. Matematiksel modelleme bir problemi amaç fonksiyonu ve kısıtlar yardımı ile matematiksel olarak ifade etme amacını taşıyan ve yöneylem araştırmasında da kullanılan bir yöntemdir (Taha, 2016). Matematiksel modellerde karşılaşılan problemin donelerine, bir başka deyişle var olan spesifik bilgilerine parametre ismi verilmektedir. Karar verici parametrelerde bir değişiklik yapamamaktadır. Parametreler problemin içinde vardır. Buna karşılık karar vericinin değerlerine karar vererek maliyeti minimize etmeye çalıştığı değişkenlere karar değişkenleri ismi verilmektedir. Matematiksel modelin parametreleri Tablo 2.3 de verilmektedir.

Amaç toplam taşıma maliyetini minimum yapmaktır :

$$\text{Min } \sum_i \sum_j \sum_k \sum_s c1_{jk} x_{ijks} + \sum_i \sum_j \sum_k \sum_s c2_{kj} y_{ikjs} + \sum_i \sum_s \sum_{j1} \sum_{j2} c2_{j1j2} v_{ij1j2s} + \sum_i \sum_s \sum_{k1} \sum_{k2} c2_{k1k2} u_{ik1k2s} \quad (2.1)$$

(2.2) ve (2.3) kısıtları, treylerlerin birinci ve sonraki seferlerinin başında arz noktalarına vardıkları zamanı belirlemektedirler.

$$\forall \text{ treyler } d \text{ talep noktası } k \text{ da olan için } ibs_d + \sum_j \sum_i \sum_s p2_{kj} z_{djis} = b_{d1} \quad (2.2)$$

$\forall$  treyler  $d$  için ve  $l = 1..Ld-1$  için

$$m_{dl} + dbs + dbst_{dl} + \sum_i \sum_j \sum_k \sum_s p2_{kj} h_{isdakjl} = b_{d,l+1} \quad (2.3)$$

(2.4) kısıtları treylerlerin seferleri sırasında talep noktalarına vardıkları zamanları belirlemektedirler.

$\forall$  treyler  $d$  için ve  $l = 1..Ld$  için

$$b_{dl} + dys + dbsa_{dl} + \sum_i \sum_j \sum_k \sum_s p1_{jk} f_{isdajkl} = m_{dl} \quad (2.4)$$

Tablo 2.3. Matematiksel Modelin Parametreleri

$L_d$	bir treylerin ilk arz noktasına ulaştıktan sonra yapabileceği maksimum sefer sayısı
$L_s$	bir çekicinin yapabileceği maksimum sefer sayısı
$dys$	bir treylerin yüklenme süresi
$db_s$	bir treylerin boşaltılma süresi
$p1_{jk}$	yüklü bir treylerin $j$ arz noktasından $k$ talep noktasına çekici ile birlikte gidiş süresi
$p2_{kj}$	boş bir treylerin $k$ talep noktasından $j$ arz noktasına çekici ile birlikte gidiş süresi
$sds_{n1n2}$	şoförün bir noktadan ( $n1$ ) diğerine ( $n2$ ) gittikten sonra dinlenme süresi
$e_k$	$k$ talep noktasına varılabilecek en erken zaman
$g_k$	$k$ talep noktasında bir treylerin yükünü teslim edebileceği (boşaltma bitirilerek) en geç zaman
$talep_k$	$k$ noktasının talebi
$arz_j$	$j$ noktasının arzı
$c1_{n1,n2}$	$n1$ noktasından $n2$ noktasına çekicinin yüklü bir treyleri taşımalarının maliyeti
$c2_{n1,n2}$	$n1$ noktasından $n2$ noktasına çekicinin yüksüz gitmesinin maliyeti

Tablo 2.4. Matematiksel Modelin Karar Değişkenleri

$z_{ajis}$	d treyleri başlangıçta j arz noktasına i çekicisinin s inci seferi ile gidiyorsa 1 gitmiyorsa 0 olan değişken
$ibs_d$	d treylerinin ilk bulunduğu yerde ilk bekleme süresi
$b_{dl}$	d treylerinin l inci seferin başında arz noktasına vardığı an
$m_{dl}$	d treylerinin l inci seferinde talep noktasına vardığı an
$f_{isdjkl}$	i çekicisi s inci seferinde d treylerini j arz noktasından k talep noktasına l treyler seferinde taşıyorsa 1 taşıyamıyorsa 0 olan değişken
$h_{isdkjl}$	i çekicisi s inci seferinde d treylerini k talep noktasından j arz noktasına treylerin l inci seferinin dönüşünde taşıyorsa 1 taşıyamıyorsa 0 olan karar değişkeni
$dbsa_{dl}$	d treylerinin l inci seferin başında arz noktasında bekleme süresi
$dbst_{dl}$	d treylerinin l inci seferinde talep noktasında bekleme süresi
$x_{ijks}$	i çekicisi j arz noktasından k talep noktasına s seferinde gidiyorsa 1 gitmiyorsa 0 olan karar değişkeni
$y_{ikjs}$	i çekicisi k talep noktasından j arz noktasına s seferinde gidiyorsa 1 gitmiyorsa 0 olan karar değişkeni
$v_{ij1j2s}$	i çekicisi j1 arz noktasından j2 arz noktasına s seferinde gidiyorsa 1 gitmiyorsa 0 olan karar değişkeni
$u_{ik1k2s}$	i çekicisi k1 talep noktasından k2 talep noktasına s seferinde gidiyorsa 1 gitmiyorsa 0 olan karar değişkeni
$çsbha_{is}$	i çekicisinin s seferinin başında hareket ettiği an
$bs_{is}$	i çekicisinin s inci seferinin başında bekleme süresi

Bir treyleri ilk arz noktasına götüren çekici atanırken en çok bir çekici atanmalıdır:

$\forall$  treyler  $d$  için (treylerin başlangıçta nerede olduğu biliniyor)

$$\sum_i \sum_s \sum_j z_{djis} \leq 1 \quad (2.5)$$

Bir çekici herhangi bir seferinde en çok bir treylere atanmalıdır:

$\forall$  çekici  $i$  için, çekicinin  $\forall$   $s$  seferinde

$$\sum_d \sum_j z_{djis} + \sum_d \sum_j \sum_k \sum_l f_{isdjkl} + \sum_d \sum_j \sum_k \sum_l h_{isdakjl} \leq 1 \quad (2.6)$$

Bir treyler bir seferinde arz noktasından talep noktasına en çok bir taşıma için atanmalıdır:

$\forall$  treyler  $d$  nin  $\forall$   $l$  seferinde

$$\sum_j \sum_k \sum_i \sum_s f_{isdjkl} \leq 1 \quad (2.7)$$

Bir treyler bir seferinde talep noktasından arz noktasına en çok bir taşıma için atanmalıdır:

$\forall$  treyler  $d$  nin sonuncusu hariç  $\forall$   $l$  seferinin dönüşünde

$$\sum_k \sum_j \sum_i \sum_s h_{isdakjl} \leq 1 \quad (2.8)$$

Bir treylerin talep noktasına vardığı an ve yükünün boşaltılmasının bittiği an talep noktasının kabul ettiği zaman aralıkları arasında olmalıdır:

$\forall$  treyler  $d$  için  $\forall$   $l$  seferinde

$$\sum_j \sum_k \sum_s \sum_i e_k f_{isdjkl} \leq m_{dl} \quad (2.9)$$

$\forall$  treyler  $d$  için  $\forall$   $l$  seferinde

$$m_{dl} + d b s \leq \sum_j \sum_k \sum_s \sum_i g_k f_{isdjkl} + M(1 - \sum_j \sum_k \sum_s \sum_i f_{isdjkl}) \quad (2.10)$$

Talep noktalarının talepleri karşılanmalıdır:

$\forall$  talep noktası  $k$  için

$$\sum_i \sum_s \sum_d \sum_j \sum_l f_{isdjkl} = talep_k \quad (2.11)$$



Arz noktalarının kapasiteleri aşılmamalıdır:

$\forall$  arz noktası j için

$$\sum_i \sum_s \sum_d \sum_k \sum_l f_{isdjkl} \leq arz_j \quad (2.12)$$

(2.13)-(2.15) kısıtları treylerlerin izledikleri yolun bağlı bir yol olmasını, kopukluk olmamasını sağlamaktadırlar:

$\forall$  arz noktası j den  $\forall$  treyler d için

$$\sum_i \sum_s \sum_k f_{isdjk1} \leq \sum_i \sum_s z_{djis} \quad (2.13)$$

$\forall$  arz noktası j den  $\forall$  treyler d için ve  $l = 2..L_d$  için

$$\sum_i \sum_s \sum_k f_{isdjkl} \leq \sum_i \sum_s \sum_k h_{isdkj,l-1} \quad (2.14)$$

$\forall$  talep noktası k dan  $\forall$  treyler d için ve  $l = 1..L_d-1$  için

$$\sum_i \sum_s \sum_j h_{isdkjl} \leq \sum_i \sum_s \sum_j f_{isdjkl} \quad (2.15)$$

(2.16), (2.17) kısıtları çekicilerin seferlerinin başında hareket ettikleri zamanları belirlemektedirler:

$\forall$  çekici i için

$$bs_{i1} = \zeta sbha_{i1} \quad (2.16)$$

$\forall$  çekici i için ve  $s = 2..L_s$  için

$$\begin{aligned} & \zeta sbha_{is-1} + \sum_j \sum_k (p1_{jk} + sds_{jk})x_{ijk_{s-1}} + \sum_j \sum_k (p2_{kj} + sds_{kj})y_{ikj_{s-1}} + \\ & \sum_{j1} \sum_{j2} (p2_{j1j2} + sds_{j1j2})v_{ij1j2_{s-1}} + \sum_{k1} \sum_{k2} (p2_{k1k2} + sds_{k1k2})u_{ik1k2_{s-1}} + bs_{is} = \\ & \zeta sbha_{is} \end{aligned} \quad (2.17)$$

(2.18)-(2.20) kısıtları treylerler ve bu treylerlere atanmış çekicilerin bir noktadan bir noktaya beraber gitmelerini belirlemekte ve sağlamaktadırlar.

$\forall$  çekici  $i$  için,  $\forall$   $s$  seferinde,  $\forall$  arz noktası  $j$  den  $\forall$  talep noktası  $k$  ya

$$\sum_l \sum_d f_{isdjkl} \leq x_{ijks} \quad (2.18)$$

$\forall$  çekici  $i$  için,  $\forall$   $s$  seferinde,  $\forall$  talep noktası  $k$  dan  $\forall$  arz noktası  $j$  ye

$$\sum_l \sum_d h_{isdakjl} \leq y_{ikjs} \quad (2.19)$$

$\forall$  arz noktası  $j$ ,  $\forall$  çekici  $i$  için,  $\forall$   $s$  seferinde

$$\sum_d \text{başlangıçta talep noktası } k \text{ da olan } z_{djis} \leq y_{ikjs} \quad (2.20)$$

(2.21) kısıtları çekicilerin yaptıkları her seferde tek bir noktadan tek bir noktaya gitmeleri zorunluluğunu ifade etmektedirler.

$\forall$  çekici  $i$  için,  $\forall$   $s$  seferinde

$$\sum_j \sum_k x_{ijks} + \sum_j \sum_k y_{ikjs} + \sum_{j_1} \sum_{j_2} v_{ij_1j_2s} + \sum_{k_1} \sum_{k_2} u_{ik_1k_2s} \leq 1 \quad (2.21)$$

(2.22)-(2.27) kısıtları çekici ve çektikleri treylerlerin noktalardan hareket zamanlarını eşit yapmaktadırlar.

$\forall$  çekici  $i$  için,  $\forall$   $s$  seferinde,  $\forall$  treyler  $d$  için  $\forall$   $l$  seferinde

$$b_{dl} + d_{ys} + db_{sa_{dl}} \leq \zeta sbha_{is} + M(1 - \sum_j \sum_k f_{isdjkl}) \quad (2.22)$$

$$M(1 - \sum_j \sum_k f_{isdjkl}) + b_{dl} + d_{ys} + db_{sa_{dl}} \geq \zeta sbha_{is} \quad (2.23)$$

$\forall$  çekici  $i$  için,  $\forall$   $s$  seferinde,  $\forall$  treyler  $d$  için

$$ibs_d \leq \zeta sbha_{is} + M(1 - \sum_j z_{djis}) \quad (2.24)$$

$$M(1 - \sum_j z_{djis}) + ibs_d \geq \zeta sbha_{is} \quad (2.25)$$

$\forall$  çekici  $i$  için,  $\forall$   $s$  seferinde,  $\forall$  treyler  $d$  için  $\forall$   $l$  seferinin dönüşünde

$$m_{dl} + db_s + db_{st_{dl}} \leq \zeta sbha_{is} + M(1 - \sum_j \sum_k h_{isdakjl}) \quad (2.26)$$

$$M(1 - \sum_j \sum_k h_{isdskjl}) + m_{dl} + dbs + dbst_{dl} \geq \text{çsbha}_{is} \quad (2.27)$$

(2.28)-(2.31) kısıtları çekicilerin izledikleri yolun bağlı bir yol olmasını, kopukluk olmamasını sağlamaktadırlar:

$\forall$  çekici  $i$  nin  $\forall s = 2 \dots L_s$  seferinde,  $\forall j$  arz noktası

$$\sum_k x_{ijk_s} \leq \sum_k y_{ikj_{s-1}} + \sum_{j_1} v_{ij_1, j, s-1} \quad (2.28)$$

$\forall$  çekici  $i$  nin  $\forall s = 2 \dots L_s$  seferinde,  $\forall k$  talep noktası

$$\sum_j y_{ikj_s} \leq \sum_j x_{ijk_{s-1}} + \sum_{k_1} u_{ik_1, k, s-1} \quad (2.29)$$

$\forall$  çekici  $i$  nin  $\forall s = 2 \dots L_s$  seferinde,  $\forall j_1$  arz noktasından

$$\sum_{j_2} v_{ij_1 j_2 s} \leq \sum_k y_{ik, j_1, s-1} + \sum_j v_{ij, j_1, s-1} \quad (2.30)$$

$\forall$  çekici  $i$  nin  $\forall s = 2 \dots L_s$  seferinde,  $\forall k_1$  talep noktasından

$$\sum_{k_2} u_{ik_1 k_2 s} \leq \sum_j x_{ij, k_1, s-1} + \sum_k u_{ik, k_1, s-1} \quad (2.31)$$

### Sezgisel Yöntemler

Kaynakların yeterliliği yöneylem araştırması yöntemleri ile değerlendirilirken sezgisel yöntemler kullanılabilir. Zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama problemi NP-zor olduğu için (Lin, Yu & Lu, 2011) sezgisel yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Sezgisel yöntemler optimum çözümü vermeyi garanti etmemektedirler. Ancak, optimum çözüm yöntemlerine göre daha kısa sürede uygun bir çözüm bulmaktadırlar. Uygun çözümü oluştururken, adımları boyunca, bir değeri veya bir oranı ençok veya enaz yaparak ilerleyen sezgisel yöntemlere obur (greedy) sezgisel ismi verilmektedir.

Bu tezde zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama problemi için aşağıdaki sezgisel yöntem önerilmektedir. Önerilen sezgisel yöntem, gezgin satıcı problemi için önerilmiş en yakın komşu sezgiseline (Lawler & diğerleri., 1985) benzemektedir .

Adım1: Arz noktalarına en yakın treyleri seç ve bu treyleri treylerin bulunduğu yere en yakın çekici ile birlikte arz noktasına gitmek ile görevlendir

Adım2: Eğer arz noktasında bir treyler varsa bu treyleri en yakındaki çekici ile tüm talebi henüz karşılanmamış ve en geç olası teslim saati en önce olan talep noktasına yönlendir.

Adım3: Çekici veya çekici ile treylerin yolculuk, yükleme ve boşaltma zamanlarını değerlendirerek arz ve talep noktalarına ulaşma ve bu noktaları terk etme zamanlarını değişkenlerde depola.

Adım4: Çekici veya çekici ile treylerin yolculuk maliyetini hesapla ve bunu toplam maliyete ekle.

Adım5: Tüm talep karşılanmışsa dur, yoksa Adım1 e dön.

### **Metasezgisel Yöntemler**

Yöneylem araştırması literatüründe tabu arama, tavlama benzetimi ve genetik algoritma gibi sezgisel yöntemlere sezgisel ötesi anlamına gelen metasezgisel yöntemler ismi verilmektedir (Taha, 2016). Bu sezgisel yöntemler uygun bir çözüm veya çözüm kümesi ile başlamakta ve rassal sayılar kullanılarak yeni çözümler üretmektedirler. Bir bilgisayar ve bir derleyici (compiler) yardımı ile bu çözümlerden çok miktarda üretmek iyi bir çözüm bulmayı hedeflemektedirler. Metasezgisel harici diğer sezgisellerde birtakım prensipler çerçevesinde kurallar belirlenmekte ve bir uygun çözüm bulunmaktadır. Metasezgisel yöntemler ise var olan bir çözümün yapısına odaklanmakta ve bu çözümü kısmen değiştirerek yeni bir çözüm elde etmektedir. Genetik algoritmalar kısmi değişiklikleri doğadan esinlenerek yapmakta, tabu arama ve tavlama benzetimi yöntemleri eldeki çözümün komşuluğundaki bir çözümü rassal bir şekilde seçmektedirler. Tabu arama yönteminde çözümden çözüme geçerken eski çözümleri tekrar etmemek ve çözüm uzayında daha çok nokta değerlendirmek için çözümün komşuluğu içinde bazı geçişlere izin verilmemektedir. Söz konusu geçişler tabu listesi ismi verilen bir listede kaydedilmektedir.

Bu tezde tavlama benzetimi temelli bir sezgisel yöntem önerilmektedir. Bu yöntem metal işlemedeki tavlama (annealing) yönteminden esinlenilerek üretilmiş bir yöntemdir. Yöntemin adımları aşağıdaki gibidir.

Adım1: Rassal bir şekilde bir treyler, çekici ve bir hedef noktası (arz veya talep) seç. Çekiciyi treyler ile birlikte hedef noktasına gitmek ile görevlendir.

Adım2: Tüm talep karşılanmışsa dur. Karşılanmamışsa adım1 e git.

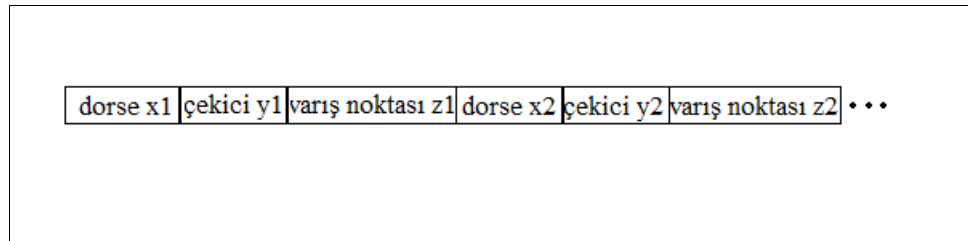
Adım3: Çekici ve treylerlerin yolculuk, yükleme ve boşaltma zamanlarını değerlendirerek arz veya talep noktalarına ulaşma zamanlarını hesapla. Eğer bu zamanlar, noktaların izin verilen zaman aralıklarınıniki ile uyuyorsa toplam maliyeti hesapla. Eğer toplam maliyet bir önceki kabul edilen çözüme göre azalmışsa en son kabul edilen çözümü eldeki yeni çözüm olarak güncelle. Eğer toplam maliyet artıyorsa eldeki yeni çözümü  $e^{-\frac{\text{maliyet farkı}}{\text{sıcaklık değeri}}}$  olasılıkla kabul et.

Adım4: Kabul edilen çözümün bir çekici, treyler, hedef noktası kısmını rassal bir şekilde seç ve bu kısmı rassal bir şekilde değiştirerek yeni bir çözüm oluştur. Adım3 e git.

Adım5: Sıcaklık değerini önceden belirli bir kabul etme sayısına ulaşılnca yarıya düşür.

Adım6: Belirli bir tekrar sayısına ulaşılnca dur.

Yukarıda tarif edilen tavlama benzetimi yönteminde oluşturulan çözümlerin yapısı Şekil 1 de gösterilmiştir. Yeni bir çözüm elde etmek için Şekil 2.1 de tarif edilen çözümün bir bölümü rassal bir şekilde seçilmekte ve değiştirilmektedir. Üçüncü adımda tarif edilen  $e^{-\frac{\text{maliyet farkı}}{\text{sıcaklık değeri}}}$  değerinin anlamını biraz daha açıklamak gerekirse, bu değer yeni çözümün hangi çözümden üretileceğini belirlemektedir. Son elde edilen çözümde amaç değeri kötüleşiyorsa (maliyet artıyorsa) yeni çözüm üretilirken bu çözümün seçilme olasılığı  $e^{-\frac{\text{maliyet farkı}}{\text{sıcaklık değeri}}}$  ifadesinin yapısı gereği azalmaktadır. Yine, tekrarlar ilerledikçe sıcaklık değeri düşmekte ve yine ifadenin yapısı gereği çözümler daha çok lokal komşuluk etrafında elde edilmektedir. Uygulamanın başlarında sıcaklık değerleri daha yüksek olduğu için çözüm uzayının daha geniş bir alanı taranmaktadır.



Şekil 2.1. Tavlama Benzetimi Yönteminde Çözümün Yapısı

## Yöneylem Araştırması Yöntemlerinin Bir Lojistik Firmasında Uygulanması

Bu tezde anlatılan kaynakların yeterliliğinin değerlendirilmesinde kullanılan yöneylem araştırması yöntemleri bir lojistik firmasının karşılaştığı bir probleme uygulanmıştır. Bu altbölümde önce problemin tanımı verilmekte sonra bu problemde üretilen test verileri üzerinde yöntemler uygulanmakta ve performansları ölçülmektedir. Sonrasında firmanın karşılaştığı lojistik problemi çözülmektedir.

### Firmadaki Problemin Tanımı

Otomobil yedek parça ürünlerinin dört arz noktasından iki talep noktasına ulaştırılması gerekmektedir. Arz noktaları Konya Aksaray, İstanbul Yeşilyurt, İstanbul Sultanbeyli ve İstanbul Hadımköy'dedir. Talep noktaları ise Kocaeli Çayırova ve İzmir Kemalpaşa'da bulunmaktadır. Arz noktalarından talep noktalarına uzaklıklar Tablo 2.5'te bulunmaktadır.

Tablo 2.5. Arz Noktalarından Talep Noktalarına Uzaklıklar (km)

	<i>talep noktası</i>	
<i>arz noktası</i>	Çayırova	Kemalpaşa
Aksaray	632	660
Yeşilyurt	74	487
Sultanbeyli	27	529
Hadımköy	92	520

Arz noktalarından talep noktalarına bir çekicinin dolu bir treyleri taşımalarının maliyetinin arz ve talep noktaları arasındaki mesafe ile doğru orantılı olduğu bu tezde kabul edilmektedir. "Cplex" çözücüsünün sayısal hata yapmaması için kilometre başına maliyet 0,1 birim alınmakta olup, elde edilen sonuç kilometre başına gerçek maliyet ile çarpılıp, 0,1'e bölünerek gerçek maliyet bulunabilmektedir. Çekicinin yüksüz şekilde yol almasının maliyeti yüklü treyler ile yol alma durumuna göre 1/7 oranında daha az olmaktadır. Çekicilerin treylerleri yüklü iken saatte ortalama 60 km, yüksüz bir şekilde geri dönerken saatte ortalama 70 km yol katettikleri kabul edilmektedir. Arz noktaları arasındaki uzaklıklar Tablo 2.6'da verilmektedir. İki talep noktası (Çayırova-Kemalpaşa) arasındaki uzaklık 436 km'dir. Bir çekicinin seferini tamamladıktan sonra şoförün

dinlenmesi ve bu arada çekicinin motorunun soğuması ve aracın bakımı için bir önceki sefer süresinin 10% u kadar bir zaman hareket etmeyeceği kabul edilmektedir.

Tablo 2.6. Arz Noktaları Arasındaki Uzaklıklar (km)

	<i>arz noktası</i>			
<i>arz noktası</i>	Aksaray	Yeşilyurt	Sultanbeyli	Hadımköy
Aksaray	*	690	652	720
Yeşilyurt	690	*	45	38
Sultanbeyli	652	45	*	75
Hadımköy	720	38	75	*

### **Yöntemlerin Performanslarının Değerlendirilmesi ve Karşılaştırılması**

Yukarıda parametreleri verilen problem için farklı arz, talep değerleri ve talep noktalarının farklı zaman aralıkları değerlendirilerek 18 farklı veri elde edilmiştir. Bu veriler tezde anlatılan yöntemlerin performansının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Tablo 5 “cplex” çözücüsünün optimum çözüm verebildiği orta ölçekli 9 veri örneği için “cplex” çözücüsünün, tavlama benzetiminin ve en yakın araç sezgiselinin verdiği maliyet değerlerini bulundurmaktadır. Sezgisel yöntemler Microsoft Visual C# derleyicisinde (compiler) programlanmıştır. Tavlama benzetimi yöntemi uygulanırken tekrar sayısı 1,000,000 olarak alınmıştır. Her 100,000 tekrarda bir sıcaklık değeri yarıya düşürülmüştür. İlk sıcaklık değeri (Taha, 2016) da önerildiği gibi ilk çözümün maliyet değerinin yarısı olarak alınmıştır. Sezgisel yöntemler uygulanırken bilgisayar programında bir veri yapısı tipi olan bağlı liste (linked list) kullanılmıştır. Böylelikle çözümün parçaları olan treylerler, çekiciler ve varış noktaları çözümlere eklenirken listenin boyutu kolaylıkla yeniden düzenlenebilir. Bu durum sabit dizi (array) kullanmaya göre avantaj yaratmaktadır. Tablo 2.7 de aynı zamanda tavlama benzetiminin ve en yakın araç sezgiselinin verdiği maliyet değerlerinin optimum maliyetten sapmaları da gösterilmektedir.

Tablo 2.7. Veri Kümeleri İçin Matematik Modelin, Tavlama Benzetiminin ve En Yakın Araç Sezgiselinin Verdiği Çözümler

Veri	Cekici sayısı	Treyler Sayısı	Optimum maliyet	Tavlama benzetiminin verdiği maliyet	Tavlama benzetimi sapma	En yakın araç sezgiselinin verdiği maliyet	En yakın araç sezgiseli sapma
Veri1	4	8	260,24	262,13	0,73%	270,43	3,92%
Veri2	4	8	620,71	625,08	0,70%	640,98	3,27%
Veri3	4	8	1217,53	1217,53	0,00%	1268,32	4,16%
Veri4	3	7	266,80	266,80	0,00%	272,21	2,03%
Veri5	3	7	627,27	630,98	0,59%	651,63	3,88%
Veri6	3	7	3601,14	3622,05	0,58%	3643,97	1,19%
Veri7	3	6	195,18	197,24	1,06%	201,87	3,43%
Veri8	3	6	451,47	451,47	0,00%	456,31	1,07%
Veri9	3	6	546,92	546,92	0,00%	552,48	1,02%

Tablo 2.7 teki sonuçlar göstermektedir ki tavlama benzetimi optimum maliyeten çok az sapan değerler vermektedir. En yakın araç sezgiselinde sapma biraz daha fazladır. Ancak yine de kabul edilebilir seviyededir. Tablo 2.8 yöntemlerin uygulanmaları sırasında bilgisayar programlarının çalışma zamanlarını içermektedir.



Tablo 2.8. Veri Kümeleri İçin Matematik Modelin, Tavlama Benzetiminin ve En Yakın Araç Sezgiselinin İşlem Süreleri

Veri	Cekici sayısı	Treyler sayısı	CPLEX'in süresi (sn)	En yakın araç sezgiselinin süresi (sn)	Tavlama benzetiminin süresi (sn)
Veri1	4	8	24,17	0,05	22,94
Veri2	4	8	231,89	0,01	26,86
Veri3	4	8	1116,53	0,01	26,72
Veri4	3	7	136,16	0,01	12,27
Veri5	3	7	188,53	0,01	13,41
Veri6	3	7	223,28	0,02	26,11
Veri7	3	6	15,72	0,08	8,66
Veri8	3	6	8,66	0,08	17,09
Veri9	3	6	43,81	0,03	10,23

Tablo 2.8 göstermektedir ki “cplex” çözücüsü önemli bir zaman almaktadır. Tavlama benzetimi temelli sezgisel yöntem daha hızlıdır ancak yine de bir süre istemektedir. En yakın araç sezgiseli yöntemler arasında en hızlı ve zaman açısından verimli olanıdır. Tablo 2.9 daha büyük veri kümeleri için sezgisel yöntemlerin verdiği sonuçları, bilgisayar programlarının işlem süreleri ile birlikte vermektedir. Bu örneklerde “cplex” çözücüsü gün seviyesinde çalışma süre limitleri verildiğinde bile bir çözüm vermemektedir.

Tablo 2.9. Büyük Veri Kümeleri İçin Tavlama Benzetiminin ve En Yakın Araç Sezgiselinin Verdiği Çözümler

Veri	Cekici sayısı	Treyler Sayısı	Tavlama benzetiminin verdiği maliyet	En yakın araç sezgiselinin verdiği maliyet	En yakın araç sezgiseli sapma	Tavlama benzetiminin süresi (sn)	En yakın araç sezgiselinin süresi (sn)
Veri10	10	30	8998,43	9053,74	0,61%	40,17	0,02
Veri11	10	30	11865,32	12013,98	1,25%	43,76	0,01
Veri12	10	30	26269,96	26906,63	2,42%	40,14	0,01
Veri13	15	45	8154,56	8262,13	1,32%	45,71	0,11
Veri14	15	45	11132,86	11244,13	1,01%	44,38	0,12
Veri15	15	45	25325,18	25980,41	2,59%	46,92	0,11
Veri16	20	60	7176,34	7570,28	5,49%	50,21	0,23
Veri17	20	60	10116,32	10574,04	4,52%	55,43	0,22
Veri18	20	60	23548,06	24116,21	2,41%	53,29	0,21

Tablo 2.9 deki sonuçlar Tablo 2.7 ve Tablo 2.8 deki sonuçlarla paralellik göstermektedirler. Tavlama benzetimi temelli sezgisel yöntem, en yakın araç sezgiseline göre bir miktar daha az maliyet değerleri vermektedir. Ancak, bilgisayar programının çalışma süresi daha fazladır.

### Lojistik Firmasındaki Problemin Çözümü

Lojistik firması problemin tanımı bölümünde verilen problemi Konya Aksaray'dan günlük 30 araçlık, İstanbul Yeşilyurt'tan günlük 3 araçlık, İstanbul Sultanbeyli'den günlük 1 araçlık, İstanbul Hadımköy'den günlük 1 araçlık yük çıkartılan durum için çözmek istemektedir. Çayırova'daki talep 45 treyler, Kemalpaşa'daki talep 15 treyler yüküdür. Çayırova'ya üç gün içinde, Kemalpaşa'ya dört gün içinde yükün ulaştırılması gerekmektedir. Lojistik firması farklı çekici ve treyler sayıları için ortaya çıkan toplam maliyeti ve talep noktalarında iş bitiş zamanlarını hesaplamak istemektedir. Lojistik firması böylelikle kaynaklarının verilen işi zamanında yapmaya yeterli olup

olmadığını görecek ve sahip olduğu kaynakların (çekici, treyler) ne kadarlık bir kısmını söz konusu işe ayırması gerektiğine karar verecektir. Lojistik firması aynı zamanda farklı çekici ve treyler sayıları için toplam maliyet ile işlerin talep noktalarında bitiş zamanları arasındaki değişimi de görmek ve değerlendirmek istemektedir. Böylelikle kendisine uygun bir çözümü seçebilecektir. Uygunluk toplam maliyetin firma için karşılanabilir bir seviyede olması, müşteri için ise yüklerin taşınmasının yeterince hızlı yapılması açılarındandır. Şekil 2.2 ve 2.3 Aksaray ve Çayırova tesislerini, Şekil 2.4 örnek bir tır parkını, Şekil 2.5 treylerlerin yüklenmesini ve boşatılmasını göstermektedirler.



Şekil 2.2 Aksaray Tesisi



Şekil 2.3 Çayırova Tesisi



Şekil 2.4 Tır Parkı



Şekil 2.5 Rampalardaki Kapalı Kasa Treyler Yükleme ve Boşaltımı

Tablo 2.10. Çekici ve Treyler Sayısının Fonksiyonu Olarak Toplam Maliyetler ve İşlerin Bitiş Zamanları

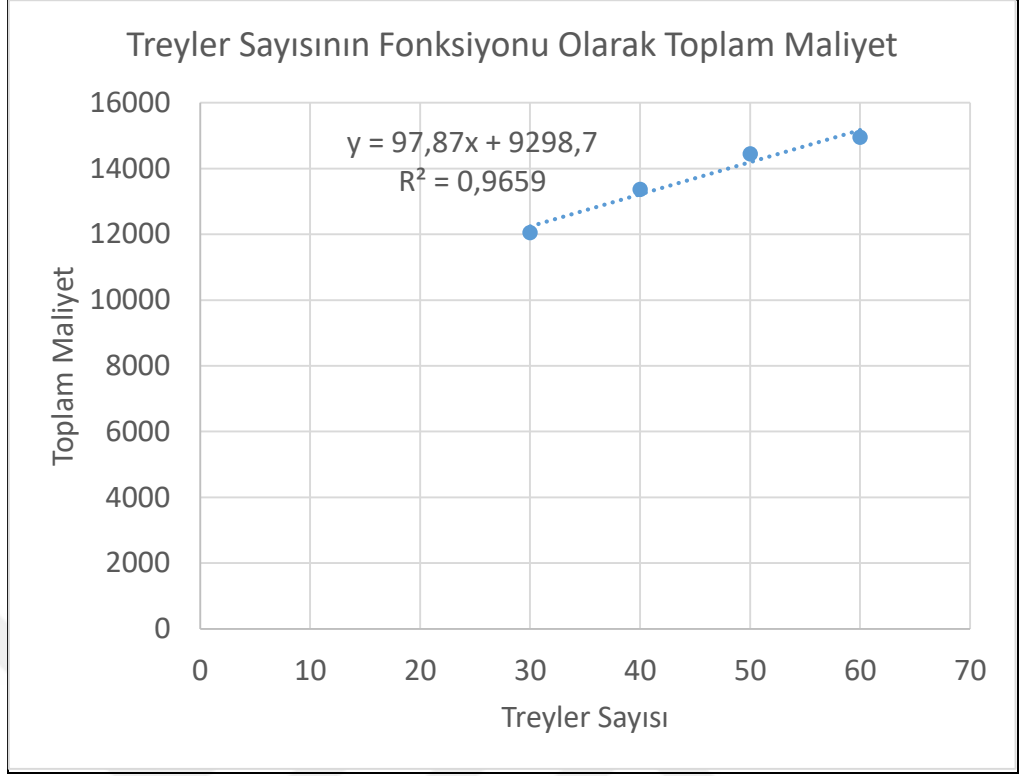
Çekici sayısı	Treyler sayısı	Toplam maliyet (birim)	Çayırova'da iş bitiş zamanı (saat)	Kemalpaşa'da iş bitiş zamanı (saat)
15	45	13442,81	65,42	45,23
20	30	12050,09	72,42	50,21
20	40	13363,56	64,66	46,64
20	50	14446,01	60,11	41,69
20	60	14951,62	53,63	36,83
25	60	15534,73	48,21	31,53
30	60	17911,54	44,66	27,51
35	60	18413,06	40,91	25,19
40	90	28436,83	29,68	22,20

Tablo 2.10 çekici ve treyler sayısının fonksiyonu olarak ortaya çıkan toplam maliyeti ve talep noktalarındaki iş bitiş zamanlarını göstermektedir. Görüldüğü gibi çekici ve treyler sayısını arttırmak toplam maliyeti arttırmakta, talep noktalarında iş bitiş zamanlarını azaltmaktadır.

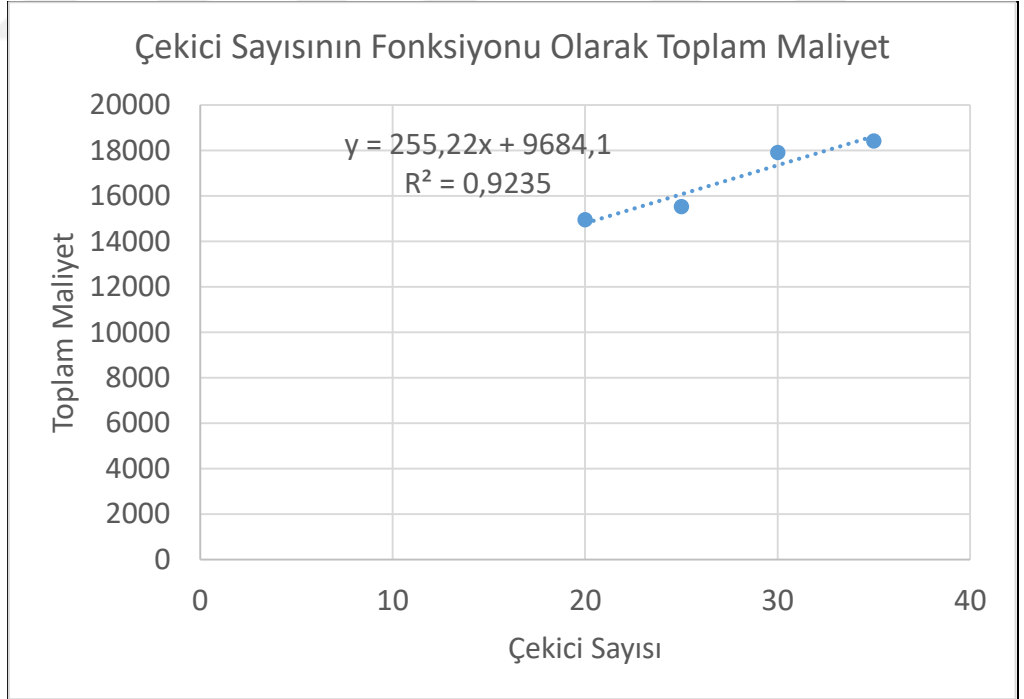
Tablo 2.10'da verilen durumlar tavlama benzetimi temelli sezgisel yöntem ile çözülmüştür. İlk sıcaklık değeri (Taha, 2016) da önerildiği gibi ilk toplam maliyet değerinin yarısı olarak alınmıştır. Firmanın çekici ve treyler sayıları ile ilgili değerlendirmelerini doğru yapabilmesi için 10,000,000 tekrar yapılmış ve her 1,000,000 tekrarda sıcaklık değeri yarıya düşürülmüştür. Her bir tekrarda bir yeni çözüm üretilmektedir. Elde edilen çözümlerden 20 çekici, 60 treylere karşılık gelen çözüm EK B'de verilmektedir. EK B'de verilen çözümde, hangi çekicinin hangi treylere atandığı ve hangi noktadan hangi noktaya gideceği gösterilmektedir.

Tüm işlerin bitiş zamanlarının öne çekilmesi lojistik firmasının kaliteli hizmet vermesi anlamına gelmektedir. Kalitenin boyutlarından biri verilen hizmetin olabildiğince hızlı yerine getirilmesidir. Ancak, Tablo 2.10 da görüldüğü ve beklendiği gibi daha hızlı hizmet, daha fazla kaynak gerektirmekte ve toplam maliyet artmaktadır. Yine de lojistik firması Tablo 2.10 a bakarak bir değerlendirme yapabilir, yeterince hızlı olan ve toplam maliyetin karşılanabilir olduğu bir çözüm seçebilir.

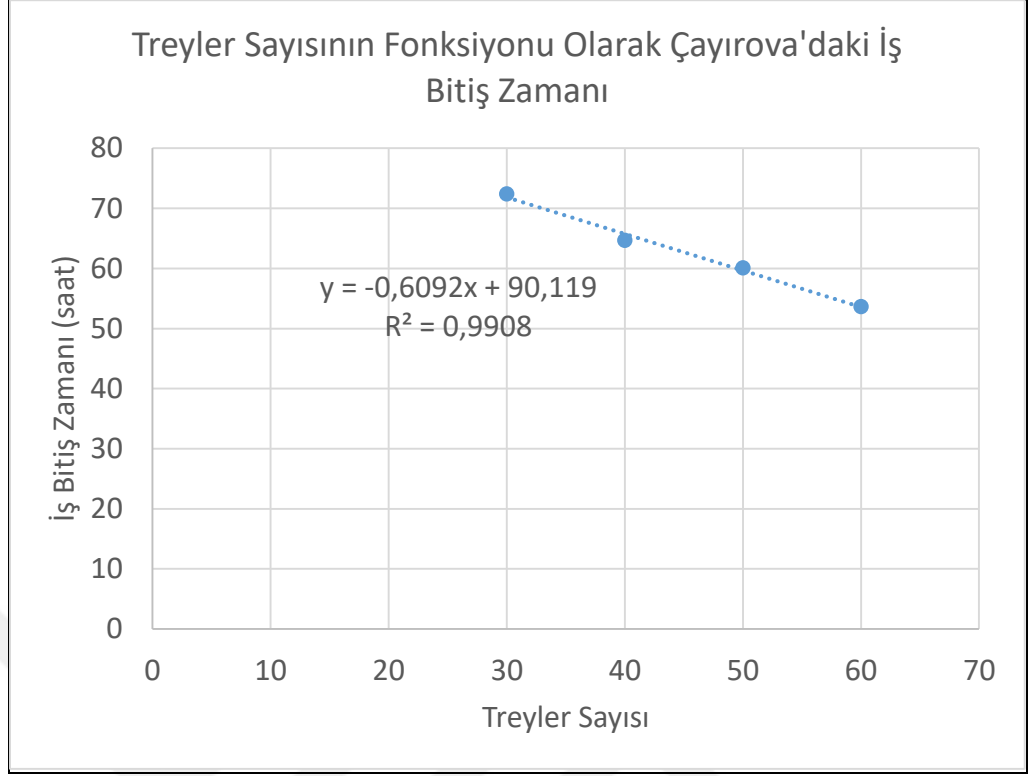
Tablo 2.10 da verilen değerlerden çekici sayısı 20 olarak sabitken treyler sayısı değiştirildiğinde elde edilen değerler Şekil 2.6'da grafiklenmiştir. Yine treyler sayısı 60 olarak sabitken çekici sayısı değiştirildiğinde elde edilen değerler Şekil 2.7'de yer almıştır. Yapılan lineer regresyonların verdikleri denklemler şekiller üzerinde görülmektedir. Çekici sayısındaki birim artışın toplam maliyette yaptığı artışın treyler sayısının yaptığı artışa göre çok daha fazla olduğu gözlemlenmektedir. Benzer regresyonlar Çayırova ve Kemalpaşa'daki iş bitiş zamanları için yapılmıştır ve Şekil 2.8 den Şekil 2.11 e kadar şekillerde gösterilmiştir. Her iki talep noktasında da çekici sayısındaki birim artışın, treyler sayısındaki birim artışa göre iş bitiş zamanlarında saat olarak çok daha fazla azaltma yaptığı gözlemlenmektedir.



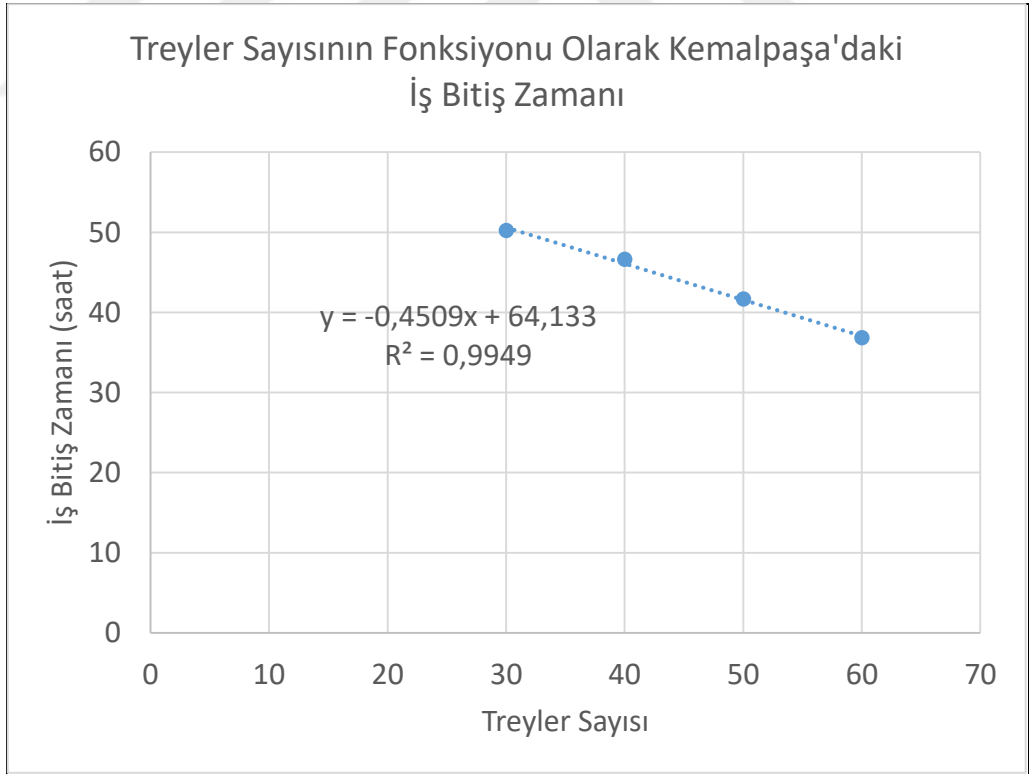
Şekil 2.6. Treyler Sayısının Fonksiyonu Olarak Toplam Maliyet



Şekil 2.7. Çekici Sayısının Fonksiyonu Olarak Toplam Maliyet

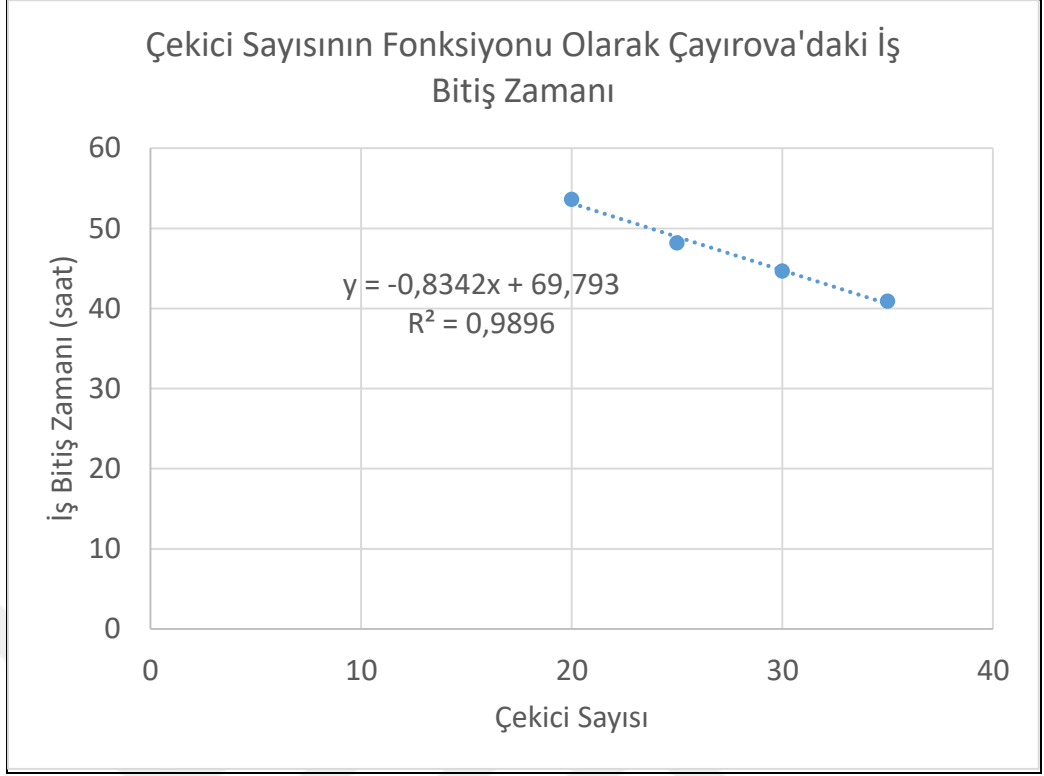


Şekil 2.8. Treyler Sayısının Fonksiyonu Olarak Çayırova'daki İş Bitiş Zamanları

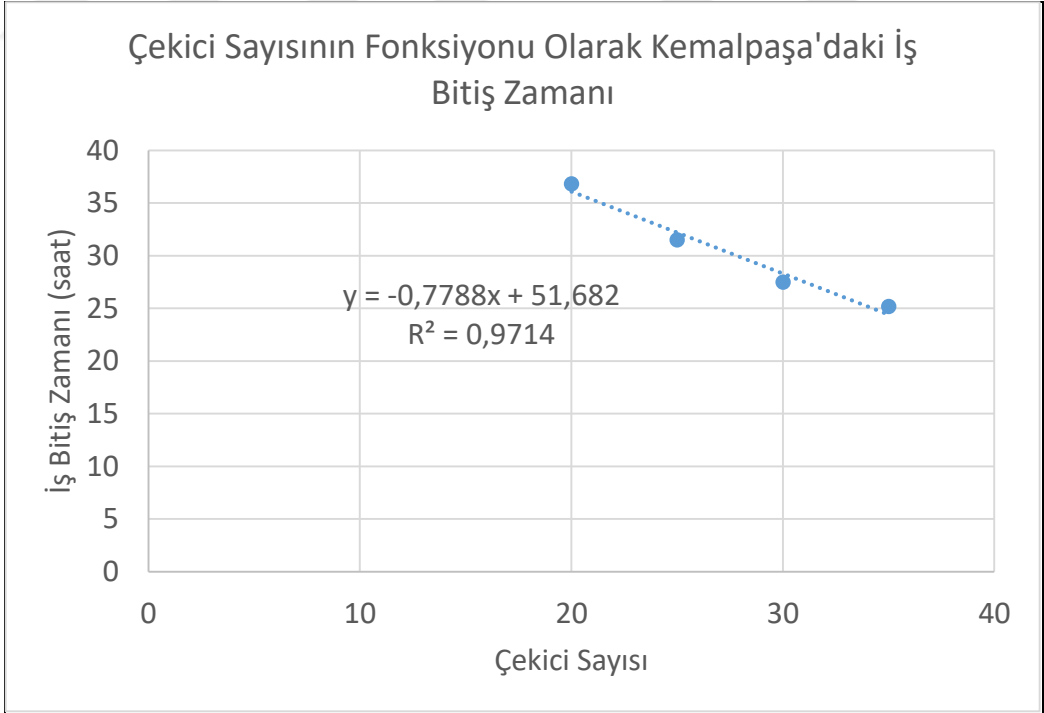


Şekil 2.9. Treyler Sayısının Fonksiyonu Olarak Kemalpaşa'daki İş Bitiş Zamanları





Şekil 2.10. Çekici Sayısının Fonksiyonu Olarak Çayırova'daki İş Bitiş Zamanları



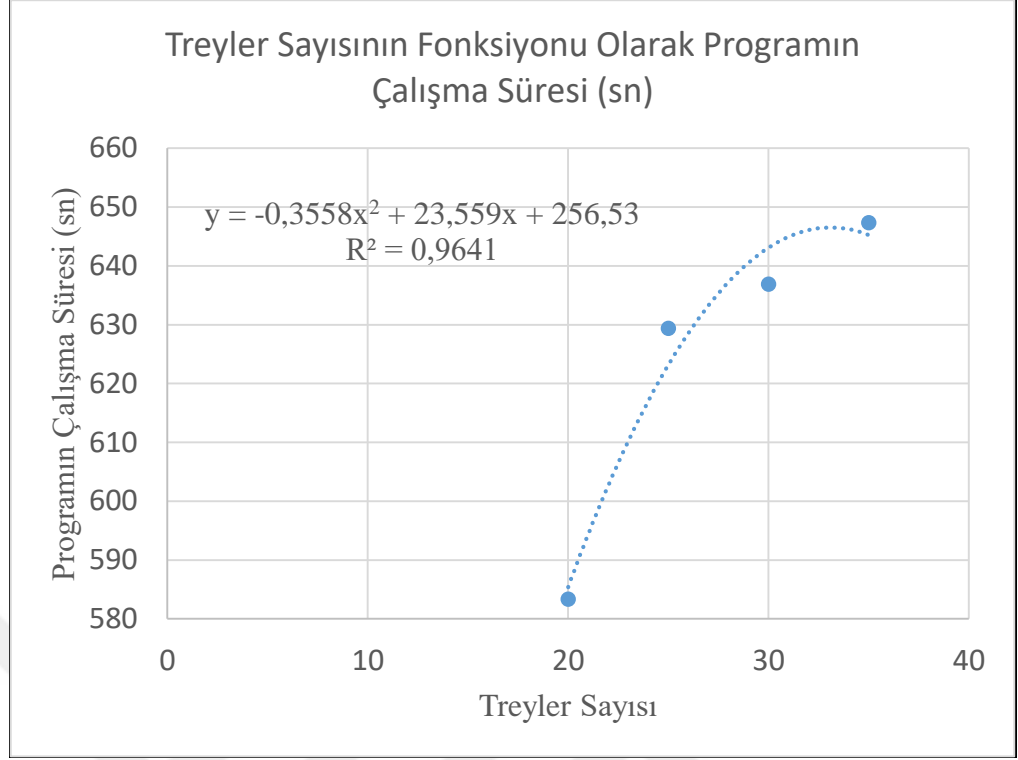
Şekil 2.11. Çekici Sayısının Fonksiyonu Olarak Kemalpaşa'daki İş Bitiş Zamanları

Bu tezde, Tablo 2.10 da, çekici ve treyler sayısındaki artışa bağlı olarak tavlama benzetimi temelli sezgisel yöntemi uygulayan programın işlem süresi üzerinde de bir değerlendirme yapılmaktadır. Öncelikle, Tablo 2.11, Tablo 2.9 da verilen örnek durumlar için, tavlama benzetimi temelli sezgisel yöntemi uygulayan programın işlem sürelerini içermektedir.

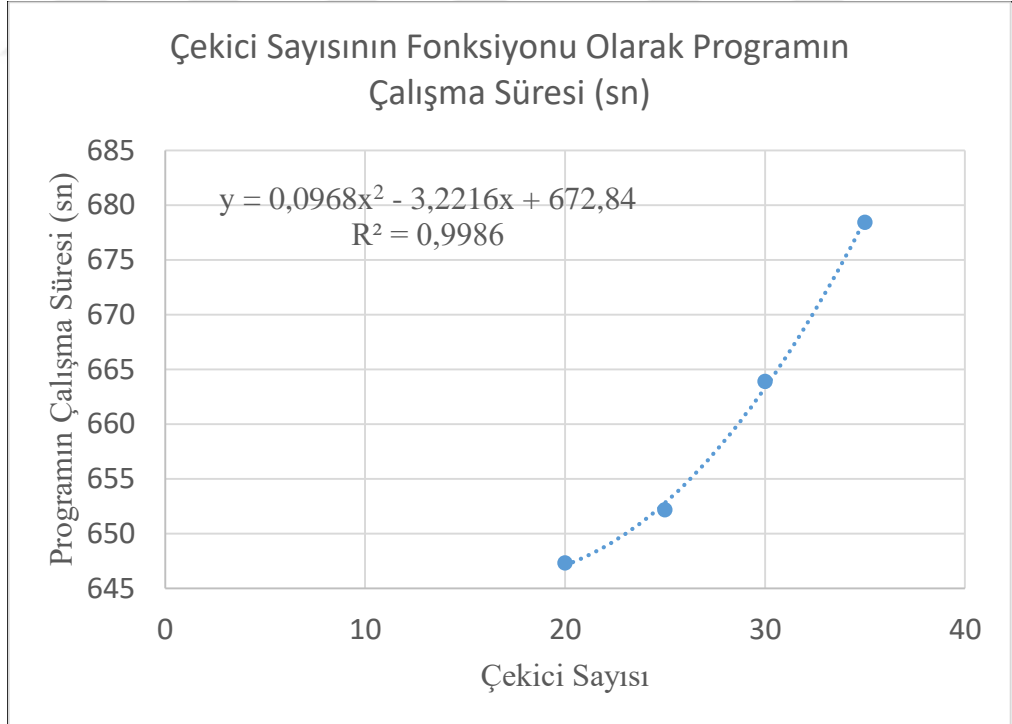
Tablo 2.11. Tavlama Benzetimi Temelli Sezgisel Yöntemi Uygulayan Programın İşlem Süreleri

Çekici sayısı	Treyler sayısı	Programın işlem süreleri (sn)
15	45	617,60
20	30	583,33
20	40	629,36
20	50	636,88
20	60	647,33
25	60	652,19
30	60	663,92
35	60	678,46
40	90	698,77

Şekil 2.12 çekici sayısı 20 olarak sabit iken treyler sayısındaki değişimin programın çalışma süresine etkisini grafiklemektedir. Benzer şekilde Şekil 2.13 treyler sayısı 60 olarak sabit iken çekici sayısındaki değişimin çalışma süresine etkisini grafiklemektedir. Şekiller üzerinde gösterildiği gibi ikinci dereceden bir polinom yüksek  $R^2$  değeri ile süreleri eşleştirebilmektedir.



Şekil 2.12. Treyler Sayısının Fonksiyonu Olarak Programın Çalışma Süresi (sn)



Şekil 2.13. Çekici Sayısının Fonksiyonu Olarak Programın Çalışma Süresi (sn)

## BÖLÜM 3. BULGULAR VE YORUMLAR

Bu bölümde, önce araştırmanın amaçlarını yansıtan elde edilen bulgulara; sonra onların kümeler ve bütün halinde anlamlandırılmaya çalışıldığı yorumlara yer verilmektedir.

### **Bulgular**

Tavlama benzetimi temelli sezgiselin ve en yakın araç sezgiselinin optimum çözüme yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Tavlama benzetimi temelli sezgisel yöntem en yakın araç sezgiseline göre biraz daha iyi sonuç vermektedir. Ancak daha fazla süre gerektirmektedir. Bazı durumlarda firmalar tavlama benzetimi sezgiselinin istediği süreyi bekleyebilmektedir. Bazı durumlarda ise firmalar anlık kararlar vermekte, anında bir çözüm istemektedirler. Bu nedenle her iki sezgiselinde uygulama alanı vardır.

Tezde önerilen matematik modelin orta ölçekli problemleri optimum çözebildiği gözlemlenmiştir. Ancak optimum çözümü elde etmek sezgisel yöntemlere göre daha fazla süre almaktadır. Daha kısa zamanda çözüm isteniyorsa tezde önerilen sezgisel yöntemler kullanılmalıdır.

Tavlama benzetimi temelli sezgisel yöntemin verimli olduğu gözlemlenmiştir. Bu yöntemde bir uygun çözümden başka bir uygun çözüme gidilmektedir. Bunu yaparken eski çözümün bir kısmı rassal bir şekilde değiştirilmekte ve bir kısmı korunmaktadır. Böylelikle çabuk bir şekilde yeni bir çözüm elde edilmektedir. Bu yöntem ile 2,000,000 civarında çözüm güncel bir derleyici (compiler) ile 50 saniyeler civarında bir sürede gözden geçirilebilmekte, en iyi çözüm seçilmektedir. Bu tezde altı çizilen vurgu çözümün bir kısmını koruyarak ve rassal bir şekilde yalnızca çözümün bir kısmını değiştirmenin verimli ve etkin olduğudur. Derleyici (compiler) rassal sayıları üretmeyi ve yerinde kullanmayı çabuk bir şekilde yapabilmektedir.

En yakın araç veya en yakın nokta sezgiselinin az işlem gerektirmesi nedeniyle saniye seviyesinde sürelerde epey iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Tabii ki milyonlarca çözümü değerlendiren tavlama benzetimi temelli sezgisel yöntem biraz daha iyi sonuç vermektedir. Ancak çok daha az işlem gerektirmesi nedeniyle en yakın araç sezgiseli 20

çekici 60 treyler içeren büyük bir örneği 0,22 saniyede çözebilmektedir. Birçok kullanıcı bir yazılım kullandığı zaman ekran karşısında 1 veya 2 saniye beklemeye tahammül etmektedir. Görüşülen bir lojistik firmasının endüstri mühendisi yöneticisi de bunu doğrulamıştır. Bu nedenle en yakın nokta sezgiseli de önem taşımaktadır.

Lojistik firmasının karşılaştığı problem çözümlenirken görülmüştür ki çekici ve treyler sayısını arttırmak toplam maliyeti arttırmakta, talep noktalarında işlerin bitiş zamanlarını öne çekmektedir. Müşterinin işlerinin daha erken bitirilerek hizmet kalitesinin artırılması, daha fazla kaynak kullanılmasının gerektirmekte ve maliyetler artmaktadır. Ayrıca çekici sayısındaki birim artışın treyler sayısındaki birim artışa göre toplam maliyette daha fazla artış yapmasına rağmen, iş bitiş zamanlarında da daha fazla azaltma yaptığı bulgusuna ulaşılmıştır.

Tavlama benzetimi temelli sezgisel yöntemi uygulayan programın çalışma süreleri üzerinde yapılan regresyon çalışması, sürelerin ikinci dereceden bir polinom ile istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde eşleştirilebildiği bulgusuna işaret etmektedir.

## **Yorumlar**

Zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama problemi bu tezde incelenmektedir. Lojistik firmasının çekici ve treyler sayısının, elindeki finansal kaynakların yeterli olup olmadığının belirlenmesinde bu problem ve çözüm yöntemleri önem arz etmektedirler. Tezde anlatıldığı gibi aslında bu problem daha büyük ve daha geniş uygulama alanına sahip olan bir firmanın kaynaklarının yeterliliğinin yöneylem araştırması yöntemleri ile değerlendirilmesinin bir parçası veya bir örneğidir.

Bu tezdeki önemli yorum, lojistik firması için treylerden daha değerli ve daha az sayıda bulunan bir kaynak olan çekicinin doğru bir şekilde rotalanması gerekliliğidir. Birçok durumda her treylere bir çekici dedike etmek mümkün değildir. Ayrıca treylerin yüklenmesi veya boşaltılması bir zaman almaktadır. Zaman kazanmak için bir çekici talep noktasına dolu treyleri bırakıp, fazla beklemeden boş treyleri alıp yoluna devam edebilmelidir. Arz veya talep noktalarının zaman aralıklarına uymak için kazanılan bu zaman önemlidir.

Tezde önerilen matematik model çok büyük olmayan zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama problemlerini optimum çözebilmektedir. Bu problem NP zor olduğu için çok büyük örneklerde optimum çözüm mümkün olmamaktadır. Ancak yine de orta ölçekli problemler için tezde önerilen matematik modeli “cplex” çözücüsü ile optimum çözmek yöntemi de kullanılmalıdır. Optimum çözümün elde edilemediği durumlarda sezgisel yöntemlere başvurulmalıdır.

Matematik model, tavlama benzetimi temelli sezgisel yöntem ve en yakın nokta veya araç sezgiseli ile ilgili bir diğer yorum “cplex” çözücüsünde veya bir derleyicide (compiler) bu yöntemleri yazmanın zor olmadığıdır. Temel bir programlama bilgisine sahip bir mühendis bu tezde anlatılan yöntemleri programlayabilir. Ancak bazı bilgisayar veri yapılarını kullanması önemlidir. Örneğin bu tezde anlatılan tavlama benzetimi veya en yakın araç sezgiseli programlanırken çözümü saklayan veri yapısı olarak bir bağlı liste (linked list) kullanılmıştır. Böylelikle çözüme çekiciler, treylerler ve varış noktaları eklenirken listenin boyutu kolaylıkla arttırılabilmektedir. Bağlı listenin bu özelliği sabit boyutlu bir diziye göre programcıya bir avantaj sağlamaktadır.

## BÖLÜM 4. SONUÇ

Bu bölümde, araştırmanın kimliği, süreci ve elde edilen sonuçların özetlendiği bir *özet*, elde edilen bulguların yorumlandıktan sonra araştırma ile varılan nokta anlamında bir *yargı* ile mevcut araştırmanın alandaki egemen kuram ve uygulamalara muhtemel katkısının neler olabileceğine ilişkin bir *öneriler* alt bölümleri yer almaktadır.

### Özet

Bu tezde bir firmanın kaynaklarının yeterliliğinin yöneylem araştırması yöntemleri ile değerlendirilmesi problemi üzerinde durulmaktadır. Bir firmanın verilen bir işi yapmadan, bir projeyi gerçekleştirmeden önce kaynaklarının yeterli olup olmadığını değerlendirmesi önemli bir konudur. Firmanın yanlış bir karar vererek yetersiz kaynaklarla bir işi gerçekleştirmeye kalkışması sonradan onarılması güç zararlara yol açabilmektedir. Söz konusu kaynaklar, firmanın finansal kaynakları, işgücü, ekipman ve firmanın faaliyetlerini gerçekleştirdiği tesisleridir.

Bu tezde kaynakların yeterliliğinin yöneylem araştırması yöntemleri ile değerlendirilmesi konusu bir lojistik firması örneği üzerinden anlatılmaktadır. Türkiye’de otomobil yedek parçası lojistiği yapan bir firmanın çekici ve treyler sayısının verilen işi zamanında yapmaya yeterli olup olmadığı, yine teslimatların zamanında yapılabilmesi için ortaya çıkan toplam maliyeti yöneylem araştırması yöntemleri ile belirleyerek firmanın bu maliyeti görmesi ve projeyi ona göre kabul edip etmemesi üzerinde çalışılmaktadır. Bilimsel literatürde bu probleme zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama problemi ismi verilmektedir.

NP zor olan zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama problemi için tavlama benzetimi temelli bir sezgisel yöntem literatürde bulunmaktadır. Bu tezde bilimsel literatüre bir katkı olarak bu problemin bir matematik modeli yapılmaktadır. Buna ek olarak en yakın noktaya gitmeyi temel alan etkin bir sezgisel yöntem önerilmektedir. Bu üç yöntemin performansları otomobil yedek parçası lojistiği firmasının karşılaştığı problem üzerinden üretilmiş 18 örnek üzerinden ölçülmekte ve raporlanmaktadır.

Tezde tarif edilen yöntemler Türkiye ve dünya genelinde birçok benzeri olan lojistik firmasında uygulanabilir. Bu anlamda asıl üzerinde durulması gereken nokta tezin ekinde, tezde önerilen matematik modelin diğer kuruluşlarda da uygulanabilmesi için “cplex” programlarının verilmekte olmasıdır. Benzer şekilde önerilen sezgisel yöntemlerin algoritmaları da başka kuruluşlar tarafından tekrar edilebilmeleri için tezde yer almaktadır.

Lojistik firmasının karşılaştığı problem üzerinde yapılan analiz, çekici sayısındaki artışın, treyler sayısındaki artışa göre toplam maliyeti daha fazla yükseltmesine rağmen talep noktalarındaki iş bitiş zamanlarını daha fazla azalttığını göstermiştir. Çekici daha etkin bir kaynaktır.

### **Yargı**

Bu tezdeki temel yargı, kaynakların yeterliliğinin değerlendirilmesinde yöneylem araştırması yöntemlerinin önemli olduğudur. Bu yargı, bu tezde, lojistik firmalarının, çekici ve treyler sayılarının yeterli olup olmadığını belirlemelerde kullanılan zaman aralıklı çekici ve treyler rotalama problemi modellenerek ve sezgisel yöntemlerle çözümlenerek gösterilmektedir. Örnek olarak, karar vericilere 10 çekici ve 30 treyler ile zaman aralıklarına uyarak teslimatları yapabilmek için ortaya çıkan maliyet miktarı söylenebilmektedir. Yetersiz çekici ve treyler sayısı durumunda zaten yöntemler bu yetersizliği çözümsüz durum olduğuna işaret ederek göstereceklerdir.

Diğer yargılar tavlama benzetimi metasezgiselinin ve en yakın nokta veya araç sezgiselinin lojistik problemlerinin çözümünde çok işe yarayabileceğidir. Tavlama benzetiminde çözümün bir kısmı korunmakta ve rassal bir şekilde yalnızca çözümün bir kısmını değiştirmek verimli ve etkin olmaktadır. En yakın araç veya en yakın nokta sezgiseli az işlem gerektirmesi nedeniyle saniye seviyesinde sürelerde epey iyi sonuç vermektedir. Bu noktada matematik modellemeye ve çözümler ile yapılan modellerin çözümü yönteminin de orta ölçekli problemlerde optimum çözümler vererek çok işe yarayabileceğine bu tezde bir yargı olarak dikkat çekilmektedir.

Son olarak lojistik firmasının karşılaştığı problem bu tezde önerilen yöntemler ile çözümlenirken görülmüştür ki çekici ve treyler sayısını arttırarak, daha fazla kaynak



kullanarak, müşterinin yapılmasını istediği iş daha erken bitirilmekte, ancak bu durum maliyetleri arttırmaktadır. Firmalar toplam maliyet ve kalite arasında, kaliteden ödün vermeden bir denge bulmaya özen göstermelidirler. Ayrıca, çekicinin, treylere göre, sayısının artırılmasının, maliyetleri yükseltmesine rağmen, iş bitiş zamanları daha fazla azaltan daha etkin bir kaynak olduğu yargısına varılmıştır.

### **Öneriler**

Kaynakların yeterliliği değerlendirilirken yöneylem araştırması yöntemlerine de başvurulması bu tezdeki temel öneridir. Bu tezde anlatılan lojistik ile ilgili yöneylem araştırması yöntemleri Türk veya Dünya sanayisinde çekici ve treylerlerle taşımacılık yapılan her kuruluştta kullanılabilir. Bir diğer öneri bu tezdeki bilgilerin okunması ve anlaşılmasıdır. Tezin ekinde verilen “cplex” programları ve tezin içinde verilen sezgisel yöntem algoritmaları lojistik üzerinde çalışan kuruluşların büyük bir bölümünde küçük değişikliklerle, bazılarında da doğrudan uygulanabilme potansiyeline sahiptir. Lojistik firmalarında çalışan veya başka firmaların lojistik departmanlarında çalışan genç endüstri mühendislerinin bu tezde anlatılan bilgi ve yöntemleri çalışmaları bir diğer öneridir. Bunun gerçekleştirilmesi için endüstri mühendislerinin “cplex” gibi çözücüleri etkin ve akıcı şekilde kullanabilecek şekilde yetiştirilmesi de bir öneridir. Yine endüstri mühendisleri tezin iç bölümlerinde verilen sezgisel yöntem algoritmalarını programlayabilmek için bir bilgisayar dilini iyi bilmelidirler. Bu da endüstri mühendisliği öğretim programlarında bilgisayar laboratuvarlarında yapılan çalışmalara da yer verilmesini gerektirmektedir.

## EK A. CPLEX ÇÖZÜCÜSÜNÜN GİRDİ VE MODEL DOSYALARI

```
/* *****  
 * OPL 12.8.0.0 Data  
 * Author: çağrı timurkaynak  
 * Creation Date: 20 Ağu 2018 at 13:29:02  
 * *****/  
  
cekicisayisi=6;  
arznoktasisayisi=4;  
talepnoktasisayisi=2;  
cekicisefersayisi=8;  
treylersayisi=15;  
treylersefersayisi=2;  
birtalnoktreylersayisi=9;  
arz=[210,21,7,7];  
talep=[12,8];  
c1at=[[63.2,66],[7.4,48.7],[2.7,52.9],[9.2,52]];  
c2ta=[[54.17,6.34,2.31,7.89],[56.57,41.74,45.34,44.57]];  
  
c2aa=[[800.0,59.14,55.89,61.71],[59.14,800.0,3.86,3.26],[55.89,3.86,800.0,6.43],[61.71,3.26,6.43,800.0]];  
c2tt=[[800.0,37.37],[37.37,800.0]];  
p1at=[[10.53,11.0],[1.23,8.12],[0.45,8.82],[1.53,8.67]];  
p2ta=[[9.03,1.06,0.39,1.31],[9.43,6.96,7.56,7.43]];  
  
p2aa=[[0.0,9.86,9.31,10.29],[9.86,0.0,0.64,0.54],[9.31,0.64,0.0,1.07],[10.29,0.54,1.07,0.0]];  
p2tt=[[0.0,6.23],[6.23,0.0]];  
dinlenoran=0.1;  
dys=1.0;  
dbs=1.0;  
Mzn=1000.0;  
e=[0.0,0.0];  
g=[168.0,168.0];
```

Şekil A.1. Cplex Çözücüsünün Girdi Dosyası

```

/*****
* OPL 12.8.0.0 Model
* Author: Çağrı Timurkaynak
* Creation Date: 20 Ağu 2018 at 13:29:02
*****/

int cekicisayisi=...;
int arznoktasisayisi=...;
int talepnoktasisayisi=...;
int cekicisefersayisi=...;
int treylersayisi=...;
int treylersefersayisi=...;
int birtalnoktreylersayisi=...;
int arz[1..arznoktasisayisi]=...;
int talep[1..talepnoktasisayisi]=...;

float c1at[1..arznoktasisayisi][1..talepnoktasisayisi]=...;
float c2ta[1..talepnoktasisayisi][1..arznoktasisayisi]=...;
float c2aa[1..arznoktasisayisi][1..arznoktasisayisi]=...;
float c2tt[1..talepnoktasisayisi][1..talepnoktasisayisi]=...;
float p1at[1..arznoktasisayisi][1..talepnoktasisayisi]=...;
float p2ta[1..talepnoktasisayisi][1..arznoktasisayisi]=...;
float p2aa[1..arznoktasisayisi][1..arznoktasisayisi]=...;
float p2tt[1..talepnoktasisayisi][1..talepnoktasisayisi]=...;
float dinlenoran=...;
float dys=...;
float dbs=...;
float Mzn=...;
float e[1..talepnoktasisayisi]=...;
float g[1..talepnoktasisayisi]=...;

dvar boolean
x[1..cekicisayisi][1..arznoktasisayisi][1..talepnoktasisayisi][1..ceki
cisefersayisi];
dvar boolean
y[1..cekicisayisi][1..talepnoktasisayisi][1..arznoktasisayisi][1..ceki
cisefersayisi];
dvar boolean
v[1..cekicisayisi][1..arznoktasisayisi][1..arznoktasisayisi][1..cekici
sefersayisi];
dvar boolean
u[1..cekicisayisi][1..talepnoktasisayisi][1..talepnoktasisayisi][1..ce
kicisefersayisi];
dvar boolean
f[1..cekicisayisi][1..cekicisefersayisi][1..treylersayisi][1..arznokta
si
sayisi][1..talepnoktasisayisi][1..treylersefersayisi];
dvar boolean
h[1..cekicisayisi][1..cekicisefersayisi][1..treylersayisi][1..talepnok
ta
sisayisi][1..arznoktasisayisi][1..treylersefersayisi];
dvar boolean
z[1..treylersayisi][1..arznoktasisayisi][1..cekicisayisi][1..cekicisef
er
sayisi];

dvar float+ bs[1..cekicisayisi][1..cekicisefersayisi];

```

```

dvar float+ csbha[1..cekicisayisi][1..cekicisefersayisi];
dvar float+ b[1..treylersayisi][1..treylersefersayisi];
dvar float+ dbsa[1..treylersayisi][1..treylersefersayisi];
dvar float+ dbst[1..treylersayisi][1..treylersefersayisi];
dvar float+ ibs[1..treylersayisi];
dvar float+ m[1..treylersayisi][1..treylersefersayisi];

minimize sum(i in 1..cekicisayisi)sum(j in 1..arznoktasisayisi)sum(k in
1..talepnoktasisayisi)sum(s in
1..cekicisefersayisi)c1at[j][k]*x[i][j][k][s]+sum(i in
1..cekicisayisi)sum(j in 1..arznoktasisayisi)sum(k in
1..talepnoktasisayisi)sum(s in
1..cekicisefersayisi)c2ta[k][j]*y[i][k][j][s]+sum(i in
1..cekicisayisi)sum(j1 in 1..arznoktasisayisi)sum(j2 in
1..arznoktasisayisi)sum(s in
1..cekicisefersayisi)c2aa[j1][j2]*v[i][j1][j2][s]+sum(i in
1..cekicisayisi)sum(k1 in 1..talepnoktasisayisi)sum(k2 in
1..talepnoktasisayisi)sum(s in
1..cekicisefersayisi)c2tt[k1][k2]*u[i][k1][k2][s];
subject to{
forall(i in 1..cekicisayisi)csbha[i][1]==bs[i][1];
forall(i in 1..cekicisayisi)forall(s in 1..cekicisefersayisi)forall(j in
2..cekicisefersayisi)csbha[i][s-1]+bs[i][s]+sum(j in
1..arznoktasisayisi)sum(k in
1..talepnoktasisayisi)(1+dinlenoran)*p1at[j][k]*x[i][j][k][s-1]+sum(j in
1..arznoktasisayisi)sum(k in
1..talepnoktasisayisi)(1+dinlenoran)*p2ta[k][j]*y[i][k][j][s-1]+sum(j1 in
1..arznoktasisayisi)sum(j2 in
1..arznoktasisayisi)(1+dinlenoran)*p2aa[j1][j2]*v[i][j1][j2][s-1]+sum(k1 in
1..talepnoktasisayisi)sum(k2 in
1..talepnoktasisayisi)(1+dinlenoran)*p2tt[k1][k2]*u[i][k1][k2][s-
1]==csbha[i][s];
forall(i in 1..cekicisayisi)forall(s in 1..cekicisefersayisi)forall(j in
1..arznoktasisayisi)forall(k in 1..talepnoktasisayisi)sum(d in
1..treylersayisi)sum(L in
1..treylersefersayisi)f[i][s][d][j][k][L]<=x[i][j][k][s];
forall(i in 1..cekicisayisi)forall(s in 1..cekicisefersayisi)forall(j in
1..arznoktasisayisi)forall(k in 1..talepnoktasisayisi)sum(d in
1..treylersayisi)sum(L in
1..treylersefersayisi)h[i][s][d][k][j][L]<=y[i][k][j][s];
forall(j in 1..arznoktasisayisi)forall(i in 1..cekicisayisi)forall(s in
1..cekicisefersayisi)sum(d in
1..birtalnoktreylersayisi)z[d][j][i][s]<=y[i][1][j][s];
forall(j in 1..arznoktasisayisi)forall(i in 1..cekicisayisi)forall(s in
1..cekicisefersayisi)sum(d in
1..birtalnoktreylersayisi+1)..treylersayisi)z[d][j][i][s]<=y[i][2][j][s];
forall(i in 1..cekicisayisi)forall(s in 1..cekicisefersayisi)sum(j in
1..arznoktasisayisi)sum(k in 1..talepnoktasisayisi)x[i][j][k][s]+sum(j in
1..arznoktasisayisi)sum(k in 1..talepnoktasisayisi)y[i][k][j][s]+sum(j1 in
1..arznoktasisayisi)sum(j2 in 1..arznoktasisayisi)v[i][j1][j2][s]+sum(k1 in
1..talepnoktasisayisi)sum(k2 in 1..talepnoktasisayisi)u[i][k1][k2][s]<=1;
forall(i in 1..cekicisayisi)forall(s in 1..cekicisefersayisi)forall(d in
1..treylersayisi)forall(L in 1..treylersefersayisi)b[d][L]+dbsa[d][L]-
csbha[i][s]+sum(j in 1..arznoktasisayisi)sum(k in
1..talepnoktasisayisi)Mzn*f[i][s][d][j][k][L]<=Mzn-dys;
forall(i in 1..cekicisayisi)forall(s in 1..cekicisefersayisi)forall(d in
1..treylersayisi)forall(L in 1..treylersefersayisi)b[d][L]+dbsa[d][L]-

```

```

csbha[i][s]-sum(j in 1..arznoktasisayisi)sum(k in
1..talepnoktasisayisi)Mzn*f[i][s][d][j][k][L]>=-1.0*Mzn-dys;
    forall(i in 1..cekicisayisi)forall(s in 1..cekicisefersayisi)forall(d
in 1..treylersayisi)ibs[d]-csbha[i][s]+sum(j in
1..arznoktasisayisi)Mzn*z[d][j][i][s]<=Mzn;
    forall(i in 1..cekicisayisi)forall(s in 1..cekicisefersayisi)forall(d
in 1..treylersayisi)ibs[d]-csbha[i][s]-sum(j in
1..arznoktasisayisi)Mzn*z[d][j][i][s]>=-1.0*Mzn;
    forall(i in 1..cekicisayisi)forall(s in 1..cekicisefersayisi)forall(d
in 1..treylersayisi)forall(L in 1..treylersefersayisi)m[d][L]+dbst[d][L]-
csbha[i][s]+sum(j in 1..arznoktasisayisi)sum(k in
1..talepnoktasisayisi)Mzn*h[i][s][d][k][j][L]<=Mzn-dbs;
    forall(i in 1..cekicisayisi)forall(s in 1..cekicisefersayisi)forall(d
in 1..treylersayisi)forall(L in 1..treylersefersayisi)m[d][L]+dbst[d][L]-
csbha[i][s]-sum(j in 1..arznoktasisayisi)sum(k in
1..talepnoktasisayisi)Mzn*h[i][s][d][k][j][L]>=-1.0*Mzn-dbs;
    forall(i in 1..cekicisayisi)forall(s in 2..cekicisefersayisi)forall(j
in 1..arznoktasisayisi)sum(k in 1..talepnoktasisayisi)x[i][j][k][s]<=sum(k in
1..talepnoktasisayisi)y[i][k][j][s-1]+sum(j1 in
1..arznoktasisayisi)v[i][j1][j][s-1];
    forall(i in 1..cekicisayisi)forall(s in 2..cekicisefersayisi)forall(k
in 1..talepnoktasisayisi)sum(j in 1..arznoktasisayisi)y[i][k][j][s]<=sum(j in
1..arznoktasisayisi)x[i][j][k][s-1]+sum(k1 in
1..talepnoktasisayisi)u[i][k1][k][s-1];
    forall(i in 1..cekicisayisi)forall(s in 2..cekicisefersayisi)forall(j1
in 1..arznoktasisayisi)sum(j2 in 1..arznoktasisayisi)v[i][j1][j2][s]<=sum(k in
1..talepnoktasisayisi)y[i][k][j1][s-1]+sum(j
in 1..arznoktasisayisi)v[i][j][j1][s-1];
    forall(i in 1..cekicisayisi)forall(s in 2..cekicisefersayisi)forall(k1
in 1..talepnoktasisayisi)sum(k2 in
1..talepnoktasisayisi)u[i][k1][k2][s]<=sum(j
in 1..arznoktasisayisi)x[i][j][k1][s-1]+sum(k
in 1..talepnoktasisayisi)u[i][k][k1][s-1];
    forall(d in 1..birtalnoktreylersayisi)ibs[d]+sum(i in
1..cekicisayisi)sum(s in 1..cekicisefersayisi)sum(j in
1..arznoktasisayisi)p2ta[1][j]*z[d][j][i][s]==b[d][1];
    forall(d in (birtalnoktreylersayisi+1)..treylersayisi)ibs[d]+sum(i in
1..cekicisayisi)sum(s in 1..cekicisefersayisi)sum(j in
1..arznoktasisayisi)p2ta[2][j]*z[d][j][i][s]==b[d][1];
    forall(d in 1..treylersayisi)forall(L in
1..treylersefersayisi)b[d][L]+dbsa[d][L]+sum(i in 1..cekicisayisi)sum(s in
1..cekicisefersayisi)sum(j in 1..arznoktasisayisi)sum(k in
1..talepnoktasisayisi)p1at[j][k]*f[i][s][d][j][k][L]==m[d][L]-dys;
    forall(d in 1..treylersayisi)forall(L in 1..(treylersefersayisi-
1))m[d][L]+dbst[d][L]+sum(i in 1..cekicisayisi)sum(s in
1..cekicisefersayisi)sum(j in 1..arznoktasisayisi)sum(k in
1..talepnoktasisayisi)p2ta[k][j]*h[i][s][d][k][j][L]==b[d][L+1]-dbs;
    forall(d in 1..treylersayisi)sum(i in 1..cekicisayisi)sum(s in
1..cekicisefersayisi)sum(j in 1..arznoktasisayisi)z[d][j][i][s]<=1;
    forall(i in 1..cekicisayisi)forall(s in 1..cekicisefersayisi)sum(d in
1..treylersayisi)sum(j in 1..arznoktasisayisi)z[d][j][i][s]+sum(d in
1..treylersayisi)sum(j in 1..arznoktasisayisi)sum(k in
1..talepnoktasisayisi)sum(L in
1..treylersefersayisi)(f[i][s][d][j][k][L]+h[i][s][d][k][j][L])<=1;
    forall(d in 1..treylersayisi)forall(L in 1..treylersefersayisi)sum(i in
1..cekicisayisi)sum(s in 1..cekicisefersayisi)sum(j in
1..arznoktasisayisi)sum(k in 1..talepnoktasisayisi)f[i][s][d][j][k][L]<=1;

```

```

        forall(d in 1..treylersayisi)forall(L in 1..treylesefersayisi)sum(i in
1..cekicisayisi)sum(s in 1..cekicisefersayisi)sum(j in
1..arznoktasisayisi)sum(k in 1..talepnoktasisayisi)h[i][s][d][k][j][L]<=1;
        forall(d in 1..treylersayisi)forall(L in 1..treylesefersayisi)sum(i in
1..cekicisayisi)sum(s in 1..cekicisefersayisi)sum(j in
1..arznoktasisayisi)sum(k
1..talepnoktasisayisi)e[k]*f[i][s][d][j][k][L]<=m[d][L];
        forall(d in 1..treylersayisi)forall(L in
1..treylesefersayisi)m[d][L]+sum(i in 1..cekicisayisi)sum(s in
1..cekicisefersayisi)sum(j in 1..arznoktasisayisi)sum(k in
1..talepnoktasisayisi)(Mzn-g[k])*f[i][s][d][j][k][L]<=Mzn-dbs;
        forall(k in 1..talepnoktasisayisi)sum(i in 1..cekicisayisi)sum(s in
1..cekicisefersayisi)sum(j in 1..arznoktasisayisi)sum(d in
1..treylersayisi)sum(L
1..treylesefersayisi)f[i][s][d][j][k][L]==talep[k];
        forall(j in 1..arznoktasisayisi)sum(i in 1..cekicisayisi)sum(s in
1..cekicisefersayisi)sum(k in 1..talepnoktasisayisi)sum(d in
1..treylersayisi)sum(L in 1..treylesefersayisi)f[i][s][d][j][k][L]<=arz[j];
        forall(j in 1..arznoktasisayisi)forall(d in 1..treylersayisi)sum(i in
1..cekicisayisi)sum(s in 1..cekicisefersayisi)sum(k in
1..talepnoktasisayisi)f[i][s][d][j][k][1]<=sum(i in 1..cekicisayisi)sum(s in
1..cekicisefersayisi)z[d][j][i][s];
        forall(j in 1..arznoktasisayisi)forall(d in 1..treylersayisi)forall(L
in 2..treylesefersayisi)sum(i in 1..cekicisayisi)sum(s in
1..cekicisefersayisi)sum(k
1..talepnoktasisayisi)f[i][s][d][j][k][L]<=sum(i in 1..cekicisayisi)sum(s in
1..cekicisefersayisi)sum(k in 1..talepnoktasisayisi)h[i][s][d][k][j][L-1];
        forall(k in 1..talepnoktasisayisi)forall(d in
1..treylersayisi)forall(L in 1..treylesefersayisi)sum(i in
1..cekicisayisi)sum(s in 1..cekicisefersayisi)sum(j in
1..arznoktasisayisi)h[i][s][d][k][j][L]<=sum(i in 1..cekicisayisi)sum(s in
1..cekicisefersayisi)sum(j in 1..arznoktasisayisi)f[i][s][d][j][k][L];
    }

```

Şekil A.2. Cplex Çözücüsünün Model Dosyası

## EK B. FİRMANIN KARŞILAŞTIĞI PROBLEMİN 20 ÇEKİCİ VE 60 TREYLER İÇİN ÇÖZÜMÜ

Tablo B.1. Treylerlerin Varış Noktaları ve Treylerlere Atanan Çekiciler

Treyler numarası	Varış noktası yer tipi	Varış noktası	Atanan çekici
39	arz noktası	yeşilyurt	5
39	talep noktası	kemalpaşa	18
49	arz noktası	sultanbeyli	2
49	talep noktası	çayırova	14
50	arz noktası	aksaray	16
50	talep noktası	çayırova	12
11	arz noktası	yeşilyurt	8
11	talep noktası	çayırova	10
20	arz noktası	yeşilyurt	2
20	talep noktası	kemalpaşa	20
36	arz noktası	sultanbeyli	15
36	talep noktası	çayırova	9
9	arz noktası	yeşilyurt	8
9	talep noktası	çayırova	14
8	arz noktası	sultanbeyli	18
8	talep noktası	çayırova	16
60	arz noktası	aksaray	1
60	talep noktası	çayırova	2
4	arz noktası	hadımköy	20
4	talep noktası	çayırova	8
16	arz noktası	aksaray	13
16	talep noktası	çayırova	17
48	arz noktası	hadımköy	5
48	talep noktası	çayırova	10
48	arz noktası	yeşilyurt	13
48	talep noktası	kemalpaşa	17
8	arz noktası	hadımköy	12
8	talep noktası	çayırova	3
50	arz noktası	aksaray	17

50	talep noktası	çayırova	2
18	arz noktası	yeşilyurt	6
18	talep noktası	çayırova	17
12	arz noktası	yeşilyurt	6
12	talep noktası	çayırova	19
57	arz noktası	yeşilyurt	17
57	talep noktası	çayırova	16
28	arz noktası	aksaray	5
28	talep noktası	kemalpaşa	15
51	arz noktası	yeşilyurt	19
51	talep noktası	kemalpaşa	14
42	arz noktası	aksaray	7
42	talep noktası	çayırova	17
8	arz noktası	aksaray	7
8	talep noktası	kemalpaşa	8
31	arz noktası	aksaray	6
31	talep noktası	çayırova	2
37	arz noktası	aksaray	20
37	talep noktası	çayırova	3
13	arz noktası	aksaray	11
13	talep noktası	çayırova	17
51	arz noktası	aksaray	1
51	talep noktası	çayırova	16
20	arz noktası	aksaray	6
20	talep noktası	çayırova	17
30	arz noktası	aksaray	8
30	talep noktası	çayırova	2
55	arz noktası	aksaray	20
55	talep noktası	çayırova	1
23	arz noktası	aksaray	15
23	talep noktası	çayırova	14
54	arz noktası	aksaray	5
54	talep noktası	çayırova	12
40	arz noktası	aksaray	18
40	talep noktası	çayırova	8
34	arz noktası	aksaray	6



34	talep noktası	kemalpaşa	13
43	arz noktası	aksaray	15
43	talep noktası	çayırova	2
17	arz noktası	aksaray	7
17	talep noktası	çayırova	15
1	arz noktası	aksaray	6
1	talep noktası	çayırova	17
22	arz noktası	aksaray	20
22	talep noktası	kemalpaşa	15
9	arz noktası	aksaray	13
9	talep noktası	kemalpaşa	10
44	arz noktası	aksaray	7
44	talep noktası	çayırova	17
2	arz noktası	aksaray	5
2	talep noktası	çayırova	19
38	arz noktası	aksaray	11
38	talep noktası	kemalpaşa	8
49	arz noktası	aksaray	7
49	talep noktası	çayırova	15
47	arz noktası	aksaray	16
47	talep noktası	çayırova	6
35	arz noktası	aksaray	11
35	talep noktası	kemalpaşa	6
43	arz noktası	aksaray	11
43	talep noktası	kemalpaşa	9
9	arz noktası	aksaray	15
9	talep noktası	kemalpaşa	3
39	arz noktası	aksaray	20
39	talep noktası	çayırova	8
52	arz noktası	aksaray	11
52	talep noktası	kemalpaşa	9
1	arz noktası	aksaray	6
1	talep noktası	kemalpaşa	14
39	arz noktası	aksaray	14
39	talep noktası	çayırova	2
40	arz noktası	aksaray	6
40	talep noktası	çayırova	11

30	arz noktası	aksaray	4
30	talep noktası	çayırova	2
22	arz noktası	aksaray	7
22	talep noktası	çayırova	10
25	arz noktası	aksaray	18
25	talep noktası	çayırova	19
52	arz noktası	aksaray	13
52	talep noktası	çayırova	1
17	arz noktası	aksaray	7
17	talep noktası	çayırova	19
57	arz noktası	aksaray	5
57	talep noktası	çayırova	1
28	arz noktası	aksaray	4
28	talep noktası	çayırova	11
28	arz noktası	aksaray	13
28	talep noktası	çayırova	19
44	arz noktası	aksaray	9
44	talep noktası	çayırova	19

## KAYNAKÇA

- Abramson, D. "Constructing School Time Tables Using Simulated Annealing: Sequential and Parallel Algorithms," **Management Science**. 37: 98-113, 1991.
- Bazaraa, M. S., C. C. Jarvis & H. D. Sherali. **Linear Programming and Network Flows**. 4. baskı. Wiley, 2010
- Bazaraa, M. S., H. D. Sherali & C. M. Shetty. **Nonlinear Programming Theory and Algorithms**. 3. baskı. Wiley, 2006
- Belenguer, J. M., E. Benavent, A. Martinez & C. Prins. "A Branch and Cut Algorithm for the Single Truck and Trailer Routing Problem with Satellite Depots," **Transportation Science**. 50, 2: 735-749, 2015.
- Bent, R. & P. VanHentenryck. "A Two Stage Hybrid Local Search for the Vehicle Routing Problem with Time Windows," **Transportation Science**. 38, 4: 515-530, 2004.
- Bertsekas, D. P. **Nonlinear Programming**. 2. baskı. Athena Scientific, 1999
- Bodin, L. & L. Levy. "Scheduling of Local Delivery Carrier Routes for the United States Postal Service," **Arc Routing: Theory, Solutions, and Applications**: 419-442. Boston: Kluwer, 2000.
- Caramia, M. & F. Guerriero. "A Heuristic Approach for the Truck and Trailer Routing Problem," **Journal of the Operational Research Society**. 61, 7: 1168-1180, 2010.
- Chao, I. M. "A Tabu Search Method for the Truck and Trailer Routing Problem," **Computers and Operations Research**. 29, 1: 33-51, 2002.
- Chao, I. M., B. L. Golden & E. A. Wasil. "A New Algorithm for the Site Dependent Vehicle Routing Problem," **Advances in Computational and Stochastic Optimization, Logic Programming and Heuristic Search: Interfaces in Computer Science and Operations Research**: 301-312. Springer US, 1998.
- Chao, I. M., B. Golden & E. Wasil. "A Computational Study of a New Heuristic for the Site Dependent Vehicle Routing Problem," **INFOR: Information Systems and Operations Research**. 37, 3: 319-336, 1999.
- Chopra, S. & P. Meindl. **Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation**. New Jersey: Prentice Hall, 2004
- Çalikçapa, F. O. **Üretim Yönetimi ve Teknikleri**. 3. Baskı. İstanbul: Alfa Basım Yayım Dağıtım, 2000
- Dantzig, G. B. & J. H. Ramser. "The Truck Dispatching Problem," **Management Science**. 6: 80-91, 1959.
- Drexl, M. "Branch and Price and Heuristic Column Generation for the Generalized Truck and Trailer Routing Problem," **Journal of Quantitative Methods for Economics and Business Administration**. 12: 5-38, 2011.

- Drexyl, M. *A Branch and Price Algorithm for the Truck and Trailer Routing Problem*. Aachen: Aachen Üniversitesi, 2007.
- Gen, M. & R. Cheng. **Genetic Algorithms and Engineering Optimization**. Wiley, 1999
- Gerdessen, J. C. "Vehicle Routing Problem with Trailers," **European Journal of Operational Research**. 93, 1: 135-147, 1996.
- Hax, A. C. & D. Candea. **Production and Inventory Management**. New Jersey: Prentice Hall, 1984
- Hillier, F. S. & G. J. Lieberman. **Introduction to Operations Research**. 9. baskı. New York: Mc Graw Hill, 2010
- Hoff, A. *Heuristics for Rich Vehicle Routing Problems*. Doktora Tezi. Molde Üniversitesi, 2006.
- Homberger, J. & H. Gehring. "A Two-Phase Hybrid Metaheuristic for the Vehicle Routing Problem with Time Windows," **European Journal of Operational Research**. 162, 1: 220-238, 2005.
- Kobu, B. **Üretim Yönetimi**. 18. Baskı. İstanbul: Beta Basım Yayım, 2017
- Laporte, G., M. Gendreau, J. Potvin & F. Semet. "Classical and Modern Heuristics for the Vehicle Routing Problem," **International Transactions in Operational Research**. 7, 4-5: 285-300, 2000.
- Laporte, G. & Y. Nobert. "Exact Algorithms for the Vehicle Routing Problem," **Surveys in Combinatorial Optimization**. 31: 147-184, 1987.
- Lawler, E. L., J. K. Lenstra, A. H. RinnoyKan & D. B. Shmoys. **The Travelling Salesman Problem: A Guided Tour of Combinatorial Optimization**. New York: John Wiley & Sons, 1985
- Le Bouthillier, A. & T. G. Crainic. "A Cooperative Parallel Metaheuristic for the Vehicle Routing Problem with Time Windows," **Computers and Operations Research**. 32, 7: 1685-1708, 2005.
- Lin, S. W., V. F. Yu & C. C. Lu. "A Simulated Annealing Heuristic for the Truck and Trailer Routing Problem with Time Windows," **Expert Systems with Applications**. 38: 15244-15252, 2011.
- Nag, B., B. L. Golden & A. Assad. "Vehicle Routing with Site Dependencies," **Vehicle Routing: Methods and Studies**: 149-159. 1988.
- Parragh, S. N. & J. F. Cordeau. *Branch and Price for the Truck and Trailer Routing Problem with Time Windows*. Montreal: Montreal Üniversitesi, 2015.
- Pinedo, M. L. **Scheduling Theory, Algorithms, and Systems**. Springer, 2008
- Semet, F. & E. Taillard. "Solving Real Life Vehicle Routing Problems Efficiently Using Tabu Search," **Annals of Operations Research**. 41: 469-488, 1993.
- Silver, E. A. & R. Peterson. **Decision Systems for Inventory Management and Production Planning**. ikinci baskı. John Wiley & Sons, 1985

- Sliva, F. & D. Serra. "A Capacitated Facility Location Problem with Constrained Backlogging Probabilities," **International Journal of Production Research**. 45, 21: 5117-5134, 2007.
- Taha, H. A. **Yöneylem Araştırması. 6. basımdan çeviri. Çeviren ve uyarlayanlar Ş. Alp Baray, Şakir Esnaf.** İstanbul: Literatür Yayıncılık, 2007
- Taha, H. A. **Operations Research an Introduction.** 10. baskı. New Jersey: Pearson, 2016
- Tersine, R. J. **Principles of Inventory and Materials Management.** New Jersey: Prentice Hall, 1994
- Ting, C. J. & C. H. Huang. "An Improved Genetic Algorithm for Vehicle Routing Problem with Time Windows," **International Journal of Industrial Engineering Theory Applications and Practise**. 12, 3: 218-228, 2005.
- Toth, P. & D. Vigo. "Vehicle Routing with Backhauls," **The Vehicle Routing Problem. SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications:** 195-221. Philedelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2002.
- Williams, H. P. **Model Building in Mathematical Programming.** 3. baskı. John Wiley & Sons, 1993
- Wolsey, L. A. & G. L. Nemhauser. **Integer and Combinatorial Optimization.** Wiley, 1999
- Yamak, O. **Üretim Yönetimi.** 5. Baskı. İstanbul: Türkmen Kitabevi, 2007