

**TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ZAMAN KISITI ALTINDA İKİ AŞAMALI  
GÜMRÜK TERCİHLİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ: BİR VAKA  
ÇALIŞMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Ece İrem ÇORA**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Salih TEKİN**

**NİSAN 2023**

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.



Ece İrem ÇORA  
İmza



## ÖZET

Yüksek Lisans

### ZAMAN KISITI ALTINDA İKİ AŞAMALI GÜMRÜK TERCİHLİ ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ: BİR VAKA ÇALIŞMASI

Ece İrem ÇORA

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Salih TEKİN  
Tarih: Nisan 2023

Rotalama kararları, taşıma süreleri ve maliyetler işletmeler ve tedarik zincirleri için önemli kararlardır. Her firma için satış, firma güvenilirliği ve verilen teslim sürelerinin karşılanması açısından kritiktir. Taşıma maliyetleri ürünlerin satışı üzerinde büyük bir etkiye sahipken ürünlerin zamanında teslim alınması da alıcı için önemlidir. Bu şartlar altında, firmaların taahhüt ettikleri şartları gerçekleştirmeleri firma güvenilirliğini arttırırken tercih edilebilirliği yükseltecektir. Özellikle uluslararası taşımacılık söz konusu olduğunda, talep edilen ve gerçekleştirilen uzun süreli gümrük işlemlerini kapsamaktadır. Türkiye'den Avrupa'ya gerçekleştirilen taşımalarda, gümrük prosedürleri esnek hale getirilmiş olsa da gümrüklü ürünlerin yalnızca belirli noktalardan kabul edilerek taşınması ve gümrük noktalarında çeşitli dönemlerde meydana gelen yığılmalar bekleme sürelerinde değişkenliğe sebep olmaktadır. Taşıma süresi, maliyet ve rota bilgileri öngörülerek, araçların buna göre organize edilmesi hem maliyet hem de zaman açısından gönderici ve alıcının faydasına olacaktır. Özellikle ağırlığı yüksek hammadde ve yarı hammadde olarak gönderimi sağlanan ürünler alıcı fabrikada işleme sokulacağı için üretim bandına vaktinde ulaşması sağlanmalıdır. Bu çalışmada, tek depodan çıkarak homojen araçlarla taşınan yüklerin iki farklı gümrük noktasından biri üzerinden geçiş yaparak müşterilere tesliminin komple ya da parsiyel araçla sağlandığı zaman ve kapasite kısıtlı bir Araç Rotalama Modelini ele alınmıştır.

Oluşturulan model taşımacılık firmasından alınan gerçek verilerle özömlenmiş ve gerçekleşen durumlar üzerinden bir karşılaştırma yapılmıştır. Geliştirilen karma tam sayılı modelde araç sayısı ve teslim süreleri değiştirilerek farklı müşteri grupları ile senaryolar üzerinden test edilmiştir. Alınan sonuçlara göre model çalıştırıldığında kullanılan veri seti üzerinde maliyette % 70 iyileştirme sağlanmıştır. Modelin büyük veri setlerinde uygulanabilirliğini kontrol etmek amacıyla ayrıca R.Studio üzerinde simetrik (serinin belli bir değere göre eşit olması durumu) veri setleri oluşturularak model CPLEX ile tekrar çözölmüş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Araç rotalama problemleri, Kara yolu taşımacılığı, Deniz yolu taşımacılığı, Gümrük noktaları, Karma tam sayılı problem



## **ABSTRACT**

Master of Science

### **TWO-ECHOLON VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH CUSTOMS DECISION AND TIME WINDOW: A CASE STUDY**

Ece İrem ÇORA

TOBB University of Economics and Technology  
Institute of Natural and Applied Sciences  
Industrial Engineering Science Programme

Supervisor: Asst. Prof. Salih TEKİN  
Date: April 2023

Businesses and supply chains depend heavily on routing decisions, transit times, and costs. Sales, trustworthiness, and fulfilling deadlines are essential to the success of any business. Sales might be affected by transportation expenses, but customers also value timely shipment. Companies gain trust and favor in this setting when they demonstrate that they can be counted on to deliver as promised. It includes the requested and carried out customs procedures that take place over an extended period of time, especially in the context of international shipping. Although customs procedures have been made more flexible for movement from Turkey to Europe, waiting times still vary due to the fact that customs-cleared products can only be transported from certain points and because of congestion at customs stations during different times. Both the sender and the recipient can save money and time by organizing cars according to the estimated transportation time, cost, and route information. On time delivery is especially important for bulky raw materials and semi-finished commodities that must be processed at the receiving factory. This research presents a Vehicle Routing Model subject to time and capacity limitations, where cargoes are moved using homogeneous vehicles leaving a single depot, and then travel to one of two customs points before being delivered to clients at full or partial vehicle capacity. We evaluate the generated model to real-world events and evaluate real data collected from a transportation firm.

The mixed integer programming model was used to simulate a wide variety of delivery schedules and consumer populations. When evaluating the model with the input data, the results show a 70% reduction in expenses. Furthermore, in order to assess the suitability of the model for extensive datasets, symmetric datasets were generated in R Studio, wherein the elements corresponded to estimates of pairwise distances between sequences within a given set. The model was subsequently re-solved using CPLEX, and the outcomes were assessed.

**Keywords:** Vehicle routing problems, Road transport, Sea transport, Customs points, Mixed integer programming.



## TEŞEKKÜR

Tez çalışması boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren büyük saygıdeğer danışmanım Dr. Salih Tekin'e, Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine teşekkürlerimi sunarım.

Kıymetli zamanlarını ayırarak tezimi okuyan ve geri bildirimde bulunan tez jürimin üyeleri Doç. Dr. Göknur Arzu AKYÜZ'e ve Dr. Öğr. Üyesi Halenur ŞAHİN MAHMUTOĞULLARI'na teşekkürlerimi sunarım.

Çalışan olduğum Türk Hava Kurumu Üniversitesi Lojistik Yönetimi Bölümü'ndeki değerli hocalarıma ve değerli katkıları için Endüstri Mühendisliği Bölüm Başkanı Dr. Öğr. Üyesi Durdu Hakan UTKU'ya Türk Hava Kurumu Üniversitesi İşletme Fakültesi'ndeki araştırma görevlisi arkadaşlarıma desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Bitmek bilmeyen sabırları ve arkadaşlıkları için Cemre Erdoğan ve Merve Kadan' a, bana öğrettikleri için Şener Köksal, Soner Demir, Nilüfer Selvitop, Bahar Kaya ve tüm Hitit Trans Lojistik firması çalışanlarına teşekkür ederim.

Her zaman elimden tutup yol gösteren ve koşulsuz destekleyen ailem, annem Müjgan Çora, babam Nejdet Çora, teyzem Şükran Akbulut, Turhan Koryak'a ve ailemizin değerli parçası Salvador'a teşekkür ederim.





## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>ix</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>xi</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>xv</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xix</b>
<b>SEMBO LİSTESİ</b> .....	<b>xxi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Motivasyon.....	1
1.2 Amaç .....	1
1.3 Kapsam.....	2
1.4 Metodoloji .....	2
<b>2. LİTERATÜR TARAMASI</b> .....	<b>5</b>
2.1 Lojistik ve Uluslararası Taşımacılık.....	5
2.2 Araç Rotalama Problemleri .....	10
2.2.1 Kısıtlarına göre VRP'ler.....	12
2.2.2 Rota durumuna göre VRP'ler.....	12
2.2.3 Araç filosuna göre VRP'ler.....	12
2.2.4 Çevre durumuna göre VRP'ler.....	13
2.2.5 Yol durumuna göre VRP'ler .....	13
2.3 Araç Rotalama Modelleri için Çözüm Yöntemleri .....	13
2.3.1 Kesin çözüm yöntemi.....	13
2.3.2 Sezgisel yöntemler .....	14
2.4 Literatürdeki Araç Rotalama Problemleri .....	14
<b>3. PROBLEM TANIMI VE MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİSİ</b> .....	<b>21</b>
<b>4. VAKA SETİ VE FİRMANIN TANITILMASI</b> .....	<b>27</b>
<b>5. SAYISAL ANALİZLER</b> .....	<b>31</b>
5.1 On Müşteri K Araçlı Senaryo.....	32
5.1.1 Ortalama gümrük sürelerine göre modelin çözümü.....	33
5.1.2 Taşıyıcı tarafından bildirilen gümrük sürelerine göre modelin çözümlemesi .....	36
5.2 On Dört Müşteri K Araçlı Senaryo .....	40
5.2.1 Ortalama bildirilen gümrük sürelerine göre modelin çözümü .....	41
5.2.2 Taşıyıcı tarafından bildirilen gümrük sürelerine göre modelin çözümü.....	44
5.3 Örnek Büyük Veri Seti Üzerinde Modelin Uygulanması .....	47
5.4 Örnek Veri Seti Üzerinde Gümrük Sürelerinin Değiştirilerek Modelin Uygulanması .....	50
<b>6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ</b> .....	<b>53</b>
<b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	<b>61</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>63</b>

<b>EKLER.....</b>	<b>67</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>89</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: 2021 yılı taşıma türlerine göre ağırlık bazlı ihracat yüzdeleri .....	9
Şekil 2.2: Değer bazında dış ticaretin taşıma türlerine göre dağılımı - 2021 yıl sonu .....	9
Şekil 2.3: Ülke gruplarına göre 2021 yıl sonu ihracatı.....	10
Şekil 2.4: Ro-Ro ile giden araç sayısı .....	10
Şekil 2.5: Literatürdeki araç rotalama problemleri.....	11
Şekil 2.6: Literatür çalışmalarının yıllara göre dağılımı .....	15
Şekil 3.1: Modelin gösterimi .....	22
Şekil 5.1: Senaryo tablosu .....	31
Şekil 5.2: 10 araçlı durumda gerçekleşen rota.....	33
Şekil 5.3: 14 araçlı durumda gerçekleşen rota.....	41
Şekil 6.1: 10 müşteri senaryosu için araç sayılarına göre T süredeki maliyetlerin grafiği. ....	54
Şekil 6.2: 10 müşteri senaryosu için taşıyıcının ilettiği süre ile araç sayılarına göre T süredeki maliyetlerin grafiği. ....	54
Şekil 6.3: 14 müşteri senaryosu için ortalama süre ile araç sayılarına göre T süredeki maliyetlerin grafiği.....	56
Şekil 6.4: 14 müşteri senaryosu için taşıyıcının ilettiği süre ile araç sayılarına göre T süredeki maliyetlerin grafiği. ....	56
ŞekilEk.2.1: $M= 10$ $K=2$ $T \leq 286$ rota gösterimi .....	69
ŞekilEk.2.2: $M= 10$ $K=2$ $T \leq 360$ rota gösterimi .....	70
ŞekilEk.2.3: $M= 10$ $K=2$ $T \leq 408$ rota gösterimi .....	71
ŞekilEk.2.4: $M= 10$ $K=3$ $T \leq 286$ rota gösterimi .....	72
ŞekilEk.2.5: $M= 10$ $K=3$ $T \leq 360$ rota gösterimi .....	73
ŞekilEk.2.6: $M= 10$ $K=3$ $T \leq 408$ rota gösterimi .....	74
ŞekilEk.2.7: $M= 10$ $K=4$ $T \leq 286$ rota gösterimi .....	75
ŞekilEk.2.8: $M= 10$ $K=4$ $T \leq 360$ rota gösterimi .....	76
ŞekilEk.2.9: $M= 10$ $K=4$ $T \leq 408$ rota gösterimi .....	77
ŞekilEk.2.10: $M= 14$ $K=2$ $T \leq 286$ rota gösterimi .....	78
ŞekilEk.2.11: $M= 14$ $K=2$ $T \leq 360$ rota gösterimi.....	79

ŞekilEk.2.12: M= 14 K=2 T ≤360 rota gösterimi .....	80
ŞekilEk.2.13: M= 14 K=2 T ≤408 rota gösterimi .....	81
ŞekilEk.2.14: M= 14 K=3 T ≤360 rota gösterimi .....	82
ŞekilEk.2.15: M= 14 K=3 T 408 rota gösterimi .....	83
ŞekilEk.2.16: M= 14 K=4 T ≤286 rota gösterimi .....	84
ŞekilEk.2.17: M= 14 K=4 T ≤360 rota gösterimi .....	85
ŞekilEk.2.18: M= 14 K=4 T ≤408 rota gösterimi .....	86



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 2.1: Ulaştırma modlarının değerlendirilmesi. ....	7
Çizelge 2.2: Türkiye'nin Avrupa çıkış kapıları .....	8
Çizelge 2.3: Literatür çalışmaları karşılaştırma çizelgesi. ....	16
Çizelge 3.1: Notasyon tablosu. ....	23
Çizelge 5.1: 10 müşterili durumda gerçek vaka sonuçları. ....	32
Çizelge 5.2: 10 müşterili durumda araç maliyetleri ve talep miktarları. ....	32
Çizelge 5.3: 10 müşterili durumda ortalama gümrük süreleri ile her araç için toplam bekleme ve seyahat süreleri matrisi (saat). ....	34
Çizelge 5.4: 10 müşterili durumda ortalama süre ile 2 araç ve $T \in \{ 286,360, 408 \}$ için rotalar ve toplam maliyetleri. ....	34
Çizelge 5.5: 10 müşterili durumda ortalama süre ile 2 araç ile taşınan yük miktarı (kg). ....	34
Çizelge 5.6: 10 müşterili durumda ortalama süre ile 2 araç ile toplam süre (saat)..	35
Çizelge 5.7: 10 müşterili durumda ortalama süre ile 3 araç ve $T \in \{ 286,360, 408 \}$ için rotalar ve toplam maliyetleri. ....	35
Çizelge 5.8: 10 müşterili durumda ortalama süre ile 3 araç ile taşınan yük miktarı (kg). ....	35
Çizelge 5.9: 10 müşterili durumda ortalama süre ile 3 araç ile toplam süre (saat)..	35
Çizelge 5.10: 10 müşterili durumda ortalama süre ile 4 araç ve $T \in \{ 286,360, 408 \}$ için rotalar ve toplam maliyetleri. ....	36
Çizelge 5.11: 10 müşterili durumda ortalama süre ile 4 araç ile taşınan yük miktarı (kg). ....	36
Çizelge 5.12: 10 müşterili durumda ortalama süre ile 4 araç ile toplam süre (saat)..	36
Çizelge 5.13: 10 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için seyahat ve bekleme süreleri matrisi. ....	37
Çizelge 5.14: 10 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 2 araç ve $T \in \{ 286,360, 408 \}$ için rotalar ve toplam maliyetleri. ....	37
Çizelge 5.15: 10 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 2 araç ve $T \in \{ 286,360, 408 \}$ için taşınan yük miktarı(kg). ....	38
Çizelge 5.16: 10 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 2 araç ve $T \in \{ 286,360, 408 \}$ için teslim süresi(saat). ....	38

## Sayfa

Çizelge 5.17: 10 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 3 araç ve $T \in \{ 286,360, 408 \}$ rotalar için toplam maliyetleri. ....	38
Çizelge 5.18: 10 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 3 araç ve $T \in \{ 286,360, 408 \}$ için taşınan yük miktarı(kg).....	39
Çizelge 5.19: 10 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 3 araç ve $T \in \{ 286,360, 408 \}$ için teslim süresi(saat). ....	39
Çizelge 5.20: 10 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 4 araç ve $T \in \{ 286,360, 408 \}$ için rotalar ve maliyetler.....	39
Çizelge 5.21: 10 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 4 araç ve $T \in \{ 286,360, 408 \}$ için taşınan yük miktarı(kg).....	40
Çizelge 5.22: 10 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 4 araç ve $T \in \{ 286,360, 408 \}$ için teslim süresi(saat). ....	40
Çizelge 5.23: 14 müşterili durumda gerçek vaka sonuçları. ....	40
Çizelge 5.24: 14 müşterili durumda araç maliyetleri ve talep miktarları. ....	41
Çizelge 5.25: 14 müşterili durumda ortalama gümrük süreleri ile her araç için toplam bekleme ve seyahat süreleri matrisi (saat). ....	42
Çizelge 5.26: 14 müşterili durumda ortalama süre ile 2 araç ve $T \in \{ 286,360, 408 \}$ için rotalar ve toplam maliyetleri.....	42
Çizelge 5.27: 14 müşterili durumda ortalama süre ile 2 araç ile taşınan yük miktarı (kg).....	42
Çizelge 5.28: 14 müşterili durumda ortalama süre 2 araç ile toplam süre (saat). ....	42
Çizelge 5.29: 14 müşterili durumda ortalama süre ile 3 araç ve $T \in \{ 286,360, 408 \}$ için rotalar ve toplam maliyetleri.....	43
Çizelge 5.30: 14 müşterili durumda ortalama süre ile 3 araç ile taşınan yük miktarı (kg).....	43
Çizelge 5.31: 14 müşterili durumda ortalama süre ile 3 araç ile toplam süre (saat). ..	43
Çizelge 5.32: 14 müşterili durumda ortalama süre ile 4 araç ve $T \in \{ 286,360, 408 \}$ için rotalar ve toplam maliyetleri.....	44
Çizelge 5.33: 14 müşterili durumda ortalama süre ile 4 araç ile taşınan yük miktarı (kg).....	44
Çizelge 5.34: 14 müşterili durumda ortalama süre ile 4 araç ile toplam süre (saat). ..	44
Çizelge 5.35: 14 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için seyahat ve bekleme süreleri matrisi. ....	45
Çizelge 5.36: 14 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 2 araç ve $T \in \{ 286,360, 408 \}$ rotalar ve toplam maliyetleri. ....	45
Çizelge 5.37: 14 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 2 araç ve $T \in \{ 286,360, 408 \}$ için taşınan yük miktarı(kg).....	45

## Sayfa

Çizelge 5.38: 14 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 2 araç ve $T \in \{ 286,360, 408 \}$ için teslim süresi(saat). .....	45
Çizelge 5.39: 14 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 3 araç ve $T \in \{ 286,360, 408 \}$ için rotalar ve toplam maliyetleri. ....	46
Çizelge 5.40: 14 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 3 araç ve $T \in \{ 286,360, 408 \}$ için taşınan yük miktarı(kg). ....	46
Çizelge 5.41: 14 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 3 araç ve $T \in \{ 286,360, 408 \}$ için teslim süresi(saat). .....	46
Çizelge 5.42: 14 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 4 araç ve $T \in \{ 286,360, 408 \}$ için rotalar ve toplam maliyetleri. ....	47
Çizelge 5.43: 14 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 4 araç ve $T \in \{ 286,360, 408 \}$ için taşınan yük miktarı(kg). ....	47
Çizelge 5.44: 14 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 4 araç ve $T \in \{ 286,360, 408 \}$ için teslim süresi(saat). .....	47
Çizelge 5.45: 30x30 matrisi için talep miktarı, komple ve parsiyel araç ile taşıma maliyeti. ....	48
Çizelge 5.46: 30x30 matris için 10 araçlı durumda rota, süre ve teslim edilen yük miktarı bilgisi. ....	49
Çizelge 5.47: 30x30 matris için 15 araçlı durumda rota, süre ve teslim edilen yük miktarı bilgisi. ....	49
Çizelge 5.48: 30x30 matris için 15 araçlı durumda $T \leq 100$ süre ve teslim edilen yük miktarı bilgisi .....	50
Çizelge 5.49: 15 müşterili örnek veri seti için maliyetler ve talepler. ....	51
Çizelge 5.50: 15 müşteri için 1. durumdaki seyahat ve bekleme süreleri(saat). .....	51
Çizelge 5.51: 15 müşteri örnek veri seti 1. durumda için rota, taşınan yük, taşıma süresi ve maliyetler. ....	52
Çizelge 5.52: 15 müşteri için 2. durumda seyahat ve bekleme süreleri(saat). .....	52
Çizelge 5.53: 15 müşteri için 2. durumda rota, taşınan yük, taşıma süresi ve maliyetler. ....	52
Çizelge 6.1: Senaryo 1 için ortalama süre ile tüm senaryo maliyetleri. ....	53
Çizelge 6.2: Senaryo 1 için taşıyıcının ilettiği süre ile tüm senaryo maliyetleri. ....	54
Çizelge 6.3: Senaryo 2 için ortalama süre tüm senaryo maliyetleri. ....	55
Çizelge 6.4: Senaryo 2 için taşıyıcının ilettiği süre ile tüm senaryo maliyetleri. ....	56
Çizelge 6.5: Tüm senaryolar için karşılaştırmalı maliyet tablosu. ....	58
Çizelge 6.6: Senaryo 1 ve 2 için karşılaştırmalı süre tablosu. ....	59
ÇizelgeEk.1.1: 30x30 Süre Matrisi. ....	68





## KISALTMALAR

<b>2E- CVRP</b>	: 2 Aşamalı Kapasiteli Araç Rotalama Problemi
<b>2E-CLRP</b>	: 2 Aşamalı Lokasyon ve Rotalama Problemi
<b>2E-MTVRP-CSRF</b>	: 2 Aşamalı Kapasiteli Uydu ve Ters Akış ile Çoklu Seyahat Araç Rotalama Problemleri
<b>3E-LRPTWTBC</b>	: Zaman Pencereleri ve Zaman Bütçesi Kısıtlamaları ile Üç Aşamalı Lokasyon ve Rotalama Problemi
<b>ACS</b>	: Karınca Kolonisi Sistemi
<b>ALNS</b>	: Adaptif Büyük Komşuluk Arama Algoritması
<b>BDMSFTLTP-OD-ST</b>	: Operasyona Bağlı Servis Süreleriyle Çift Yönlü Çok Vardiyalı Tam Kamyon Yükü Taşıma Problemi
<b>CSAHLRP</b>	: Kapasiteli tek dağıtımlı Hub Lokasyon Rotalama Problemi
<b>DSS</b>	: Karar Destek Sistemi
<b>F-O</b>	: Düzelt-ve-Optimize et
<b>FTPDP-RS</b>	: Kaynak Senkronizasyonu ile Komple Araç Toplama ve Dağıtma Problemi
<b>FT-PDPTW</b>	: Zaman Penceresi Altında Komple Araç ile Toplama ve Teslim Problemleri
<b>FT-SMDVRPTW</b>	: Zaman Penceresi İçinde Çoklu Depo Ortamında Seçici Komple Araç Rotalama Problemi
<b>FTVRP</b>	: Komple Araç Rotalama Problemi
<b>FTVRP</b>	: Komple Araç Rotalama Problemi
<b>FUZZY</b>	: Bulanık Optimizasyon
<b>GA</b>	: Genetik Algoritma
<b>GAP</b>	: Genel Mutlak Yüzde
<b>GISND-TTU</b>	: Zaman Belirsizliği altında İntermodel Ağ Dizayn Problemi
<b>HCEA</b>	: Hibrit Çapraz Entropi Algoritması
<b>IP</b>	: Tam Sayılı Programlama
<b>MA</b>	: Memetik Algoritma
<b>MDCARPFL</b>	: Çok depolu ve Kapasite Kısıtlı Yaylırsa Komple Araç Rotalama Problemi
<b>MILP</b>	: Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama
<b>MIP</b>	: Karma Tam Sayılı model
<b>MPC</b>	: Model Öngörülü Kontrol
<b>m-VRPTWAR</b>	: Zaman Pencereleri ve Atama Kısıtlamaları ile Çok Depolu Heterojen Filo Araç Rotalama Problemi
<b>NDP</b>	: Ağ Dizayn Problemleri
<b>Ro-Ro</b>	: Roll-on / Roll-off
<b>RRVRP</b>	: Roll-on/Roll-off Araç Rotalama Problemi
<b>SND</b>	: Servis Ağı Dizaynı
<b>TR</b>	: Çekici Rotalama
<b>TTRP</b>	: Çekici ve Treyler Rotalama Problemi

<b>TTRPTW</b>	: Zaman Kısıtlı Çekici ve Treyler Rotalama Problemi
<b>VRPB</b>	: Geri Dönüş ile Araç Rotalama Modelleri
<b>VRPPC</b>	: Özel ve Ortak Taşıyıcılar ile Araç Rotalama Problemleri
<b>VRPTW</b>	: Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi



## SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile aşağıda sunulmuştur.

### Sembol Açıklama

$i$	Müşteri / gümrük noktası
$j$	Müşteri noktası
$k$	Araç $K = \{1,2,\dots, K \}$
$C$	Gümrük kümesi $C = \{1,2,\dots, C \}$
$M$	Müşteri kümesi $M = \{1,2,\dots, M \}$
$K$	Araç kümesi $K = \{1,2,\dots, K \}$
$V$	Tüm düğümler kümesi $V = \{0\} \cup C \cup M$
$A^1$	Birinci aşamada yer alan düğümlerin kümesi $A^1 = \{(0,i) : \{0\}, i \in V \setminus C\}$
$A^2$	İkinci aşamada yer alan düğümlerin kümesi $A^2 = \{(i,j) : i \in V \setminus C \cup M, j \in V \setminus M, j \neq i\}$
$Q_k$	$k \in K$ araç için kapasite miktarı
$D_j$	$j \in M$ müşterinin talep miktarı
$f_j$	$j \in M$ müşterisinin komple araç maliyeti
$a_j$	$j \in M$ müşterisinin parsiyel araç maliyeti
$T_k$	$k \in K$ aracının son teslim süresi
$t_{0i}^k$	$k \in K$ aracının depodan çıkıp $i \in C$ gümrüğe gidiş süresi
$s_{ij}^k$	$k \in K$ aracı $i \in C \cup M$ gümrüğünden/müşterisinden $j$ $\in M$ müşteriye parsiyel araç ile gidiş süresi
$x_{0i}^k$	$\begin{cases} 1, & k \in K \text{ aracı depodan çıkıp } i \in C \text{ gümrüğe gidiyor ise} \\ 0, & \text{değilse} \end{cases}$
$g_{ij}^k$	$\begin{cases} 1, & k \in K \text{ aracı } i \in C \cup M \text{ gümrüğünden/müşterisinden } j \in M \text{ mü:} \\ 0, & \text{değilse} \end{cases}$
$y_j^k$	$\begin{cases} 1, & j \in M \text{ müşterisi parsiyel araç ile servis sağlanıyorsa,} \\ 0, & \text{değilse} \end{cases}$
$l_j$	$\begin{cases} 1, & j \in M \text{ müşterisine komple araç ile servis sağlanıyorsa} \\ 0, & \text{değilse} \end{cases}$
$e_i^k$	$k \in K$ aracının $i \in C$ gümrüğünde geçirdiği süre
$b_j^k$	$k \in K$ aracının $j \in M$ müşterisine gümrükten gelen yük miktarı
$z_{ij}^k$	$k \in K$ aracının $(i,j)$ yayından gelen yük miktarı
$q_{ij}^k$	$k \in K$ aracının $(i,j)$ yayındaki seyahat süresi



## **1. GİRİŞ**

Günümüz şartları altında uluslararası pazar hızlı şekilde gelişmektedir. Türkiye konumu itibariyle pek çok ülke ile uluslararası bağ kurarak ithalat ve ihracat gerçekleştirmektedir. Bu şartlar altında firmaların yurtdışındaki müşterileri için iyi bir fiyat vermeleri ve verdikleri taahhütleri yerine getirmeleri pazar şartlarını değerlendirmeleri için büyük önem taşımaktadır (İlter-Tabak, 2003). Avrupa Türkiye'nin en büyük pazarlarından biri olmakla birlikte aradaki kara yolu ve deniz yolu bağlantıları sayesinde gerçekleştirilen taşımaların büyük bir çoğunluğu bu yollardan taşınmaktadır (UTIKAD, 2021). Bu sebeple özellikle tam zamanında üretim felsefesini benimseyen şirketler yakın konumu ve farklı taşıma alternatifleri nedeniyle Türkiye'yi tercih etmektedir (İlter-Tabak, 2003). Farklı tatil sezonları ve yoğunluk dönemleri olması sebebiyle bu taşıma ve bekleme noktalarında meydana gelen yoğunluklar iki taraf için de şartların yerine getirilmesi noktasında zorluk yaratmaktadır. Türkiye'den ana iki çıkış noktası olan deniz ve karayolu taşımacılığı bu nedenle bazı dönemlerde uzun süreli beklemelere neden olmaktadır.

### **1.1 Motivasyon**

Uluslararası taşımacılık sektörü incelendiğinde, göndericilerin taşıyıcılardan gelen taşıma süreleri ve maliyet bilgilerini rasyonel şekilde elde edememesi ve değerlendirememesi sebebiyle zaman kaybına ve fazladan maliyete neden olduğu görülmüştür. Göndericilerin bu girdileri daha iyi denetleyerek hem maliyet hem de teslim süreleri üzerinde bir öngörüye sahip olması ihtiyacı bu modelin oluşturulmasında ana motivasyon kaynağı olmuştur.

### **1.2 Amaç**

Bu çalışma kapsamında, talepleri bilinen ürünlerin karar verilmiş teslim süresi içinde haftalık olarak rotalarının minimum maliyetle oluşturulması amaçlanmıştır. Böylelikle gönderici firmaların alıcılara teklif verirken ya da sözleşme yaparken öngörüye sahip

ve analiz temelli kararlar alabilmeleri sağlanacaktır. Problem kapsamında model, teslim süreleri ve talep miktarlarına göre ürünlerin geç kalmaması için müşterilere parsiyel ya da komple araç atanması kararını vererek, parsiyel araçlar için zaman kısıtı altında kapasiteli araçlar ile rota oluşturmuştur.

### **1.3 Kapsam**

Üretim yapan ve ürünlerini homojen araçlara sahip taşıyıcılar ile gümrük işlemlerini yaparak ihraç eden bir firmanın gönderimleri, teslim süresi ve araç kapasitesi kısıtları altında, gerçek vakalardan alınan talepler çerçevesinde ve simetrik seyahat süreleri ile incelenmiştir.

Taşıyıcı deposundan çıkan ürünlerin, gümrük noktalarından bir tanesini tercih ettikten sonra müşterilere teslimatının sağlandığı kabul edilmiştir. Zaman kısıtı altında, modele atanan homojen kapasiteli araç sayısının, tüm müşterilere teslimat sağlayamadığı durumda yüklerin parsiyel araçlarla değil, yüklerin teslimini tam zamanında gerçekleştirdiği kabul edilen komple araçlarla gerçekleştirdiği varsayılmıştır.

Alınan verilerdeki taşıma süreleri, depo-gümrük süreleri farklı varsayımlar altında incelenerek değişen teslim süreleri dahil edilmiştir.

### **1.4 Metodoloji**

Tanımlanan problemin çözümü için karma tam sayılı bir matematiksel model geliştirilmiş ve farklı senaryolar üzerinden çıktılar gözlemlenmiştir. Modelde kullanılan veriler düzenli olarak yurtdışına gönderim yapan bir firmanın gerçek taşıma bilgileriyle çözümlenmiştir. Alınan veriler, müşteri talepleri ve teslim noktaları; depo, gümrük ve müşteriler arasındaki seyahat süreleri; araçların çıkış ve adreslere varış sürelerini içermektedir. Büyük veri setleri için ise R.Studio ile üretilen simetrik matris verileri kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında literatür araştırması bölümünde Uluslararası Lojistik ve Taşımacılık, araç rotalama problemleri ve çözüm yöntemleri hakkında bilgi verilerek literatürde konu ile ilgili çalışmalar tablo halinde gösterilmiştir. Üçüncü bölümde modelin işleyişi ve özellikleri tanıtılmıştır. Dördüncü bölüme geçildiğinde vaka çalışması yapılan firma ve veri setinden bahsedilmiştir. Beşinci bölümde ise model örnek vaka üzerinde uygulanarak sonuçlar alınmıştır. Aynı bölümde örnek vakadan

daha büyük ölçekli bir veri seti üzerinde model uygulanmış ve duyarlılık analizi yapılmıştır. Gümrük sürelerindeki değişkenliğin rotalar üzerindeki etkisini göstermek için dördüncü bölümde aynı zamanda daha küçük bir örnek üzerinde de duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçların yorumlandığı beşinci bölümde örnek vaka çıktıları üzerinde yorumlar yapılmış ve yönetsel olarak modelin etkileri vurgulanmıştır. Son bölümde önerilen ve mevcut durum yorumlanmış ve sonraki çalışmalar için öneriler sunulmuştur.







## 2. LİTERATÜR TARAMASI

### 2.1 Lojistik ve Uluslararası Taşımacılık

Seneler içinde lojistik pek çok farklı işlev ile tanımlanmıştır. Güncel çalışmalarda lojistik, müşterilerin ihtiyaçlarını karşılamak adına her türlü ürün, servis hizmeti ve bilgi akışının çıkış noktasından, son müşteriye kadar hareketinin etkili ve verimli bir biçimde planlanması, uygulanması, taşınması, depolanması ve kontrol altında tutulması işlemidir (Takım ve Ersungur, 2015; Keskin, 2011).

Lojistik pek çok temel fonksiyondan oluşmaktadır. Bu fonksiyonlar aşağıda listelenmiştir.

- Sipariş işleme,
- Talep planlaması ve takibi,
- Taşıma / Nakliye,
- Dağıtım Merkezi Yönetimi (depolama ve antrepo işlemleri),
- Elleçleme,
- Ambalajlama,
- Paketleme,
- Sigortalama,
- Gümrükleme,
- Müşteri Hizmetleri,
- Envanter Yönetimi,
- Malzeme Taşıma (Koban ve Yıldırım-Keser, 2015)

Lojistiğin temel fonksiyonlarından olan taşıma faaliyetleri, hammaddenin üretim noktasına, son ürünlerin ise tüketim noktasına gönderiminin gerçekleştirilmesidir. (Koban ve Yıldırım-Keser, 2015). Taşınmak istenen malın fiziki özellikleri, ölçüleri, ağırlığı ve değerine göre farklı ulaştırma seçenekleri kullanılmaktadır (Takım ve Ersungur, 2015). Taşıma türü seçiminde esas alınan durumlar; hizmetin talep edilme sıklığı, güvenlik, hız, maliyet, müşteri hizmeti, taşıma süresindeki değişkenlik, erişilebilirlik, güvenilirlik faktörleri önemli rol oynamaktadır (Dursun, 2017).

Uluslararası taşımacılık, üretim ve teslim yeri iki farklı ülke olan yüklerin, belirli bir miktar karşılığında ve taraflarca kabul edilen şartlara uygun olarak taşınmasını zorunlu kılacak şekilde taşımanın gerçekleştirilmesidir (Koban ve Yıldırım-Keser, 2015). Ulusal ya da uluslararası seviyede taşımacılık ekonomik sebeplerle başlar (Jong ve diğerleri, 2013). Uluslararası taşımacılığın gerçekleştirilebilmesi için gümrükleme işlemlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Gümrükleme işlemleri ulusal sınırların dışına çıkarılması ya da sınırların içine alınması planlanan yüklerin yasal düzenlemelere göre kontrol edilip kayıt altına alınmasını sağlar ve dış ticaretin ilk aşamalarından biridir. Gümrükleme işlemleri geçen zaman içinde kolaylaşarak hızlansa da hala önemli bir yapıya sahiptir. Taşımalar yapılırken işlemlerin gümrük mevzuatlarına uygun olarak sürdürülmemesi önemli yasal sorunlar yaratabilmektedir (Koban ve Yıldırım-Keser, 2015).

Ürünlerin bir yerden bir yere taşınabilmesi karayolu, denizyolu, havayolu, demiryolu ya da bunların kombinasyonları intermodel taşımacılık ile gerçekleştirilir. Karayolu taşımacılığı en çok kullanılan taşımacılık şeklidir ve kapıdan kapıya teslimatın yapılmasını sağlayan tek taşımacılık türüdür (Ağgön, 2019; Bektaş, 2017). Havayolu genellikle değeri yüksek ya da zaman hassasiyeti olan acil ürünlerin gönderiminde tercih edilmektedir. Denizyolu, uluslararası taşımacılıkta büyük rol oynamaktadır. Denizyolu taşımacılığında dökme yükler, sıvı ürünler taşınabileceği gibi içlerinde aynı ya da farklı müşterilere ait olan ürünlerin yüklü olduğu konteynerlerin tek başına Roll-on / Roll-off (Ro-Ro) gemileriyle denizyolu ve iç denizlerde kullanımı mümkündür (Bektaş, 2017). Demiryolu, uzun mesafeli ve yüksek hacme ya da ağırlığa sahip yüklerin taşınmasında tercih edilen bir taşıma şeklidir. İlk kurulum maliyeti yüksek olsa da karayolundan çok daha fazla yükü tek seferde taşıyabilir (Ağgön, 2019).

Intermodel taşımacılık birçok taşımacılık modunun birleştirilmesiyle müşteriye kapıdan kapıya teslimatını sağlayacak şekilde planlanmasıdır (Bektaş, 2017). Örneğin, İstanbul'dan göndericiden alınması ve Avrupa'da alıcıya teslim edilmesi gereken bir yük göndericiden alınırken karayolu ile alınacaktır. Bu yükün teslimi için direkt olarak karayolu seçilebileceği gibi ürünlerin Ro-Ro gemileriyle denizyolu olarak limandan limana taşıyıp sonra karayolu ile alıcıya teslim edilmesi intermodel taşımacılık olarak adlandırılır.

Bu yükler ihtiyaç durumuna göre komple ya da parsiyel araçlar ile taşınabilir. Komple araç taşımaları bir yükleme için özel olarak atanmış bir yükleme şeklini temsil ederken

parsiyel araçlar iki ya da daha fazla müşterinin ürünlerinin taşınması anlamını içerir. Komple ve parsiyel araçlar tercih edilirken müşterilerin ihtiyaçları, kar ve maliyet yapısı ve hız göz önüne alınır. Komple araç taşımaları özel olarak organize edilebileceği gibi direkt olarak bir noktadan diğerine herhangi bir ara nokta olmadan gönderim sağlayabilir. Tek müşteri için organize edilmesinden kaynaklı olarak değişimlere daha hızlı uyum sağlama yeteneği taşır. Parsiyel araçlar ise müşterilerin ürünlerinin tek noktada toplanıp daha sonra birleştirilerek taşınmasını sağlar. Birden fazla müşteriye hizmet edileceği için birden fazla teslim noktası bulunmaktadır. Parsiyel araçlarda her müşterinin talebine göre değişiklik yapmak mümkün değildir ve teslim süreleri komple araç ile teslimden daha uzun sürebilmektedir (Bektaş, 2017; Keskin, 2011).

Çizelge 2.1’de taşıma modlarının seçiminde göz önüne alınan kriterler numerik olarak sıralanmıştır. Çizelge 2.1’e göre havayolu en hızlı taşıma modudur ve aynı zamanda birim maliyeti olarak diğer modlara göre pahalıdır. Karayolu taşımaları ise her noktaya teslimat sağlayabildiği için en esnek taşıma modudur ve birim taşıma maliyeti de havayoluna göre düşüktür. Denizyolu ise hız olarak yavaş olsa da birim taşıma maliyeti ve taşıma kapasitesi olarak büyük avantaja sahiptir. Demiryolu taşımacılığı tüm değerlendirmelerde ortalama bir puana sahip olsa da denizyolu ile gidilemeyen noktalara daha yüksek kapasiteli bir taşıma sağlamaktadır.

Çizelge 2.1: Ulaştırma modlarının değerlendirilmesi (Keskin, 2011).

	Havayolu	Karayolu	Denizyolu	Demiryolu	Boru hattı
Sürat	1	2	4	3	5
Esneklik	3	1	4	2	5
Kapasite	5	4	1	2	3
Birim Taşıma Maliyeti	1	2	4	3	5
Enerji Etkinliği	5	3	2	3	1

1: En yüksek 5: En düşük

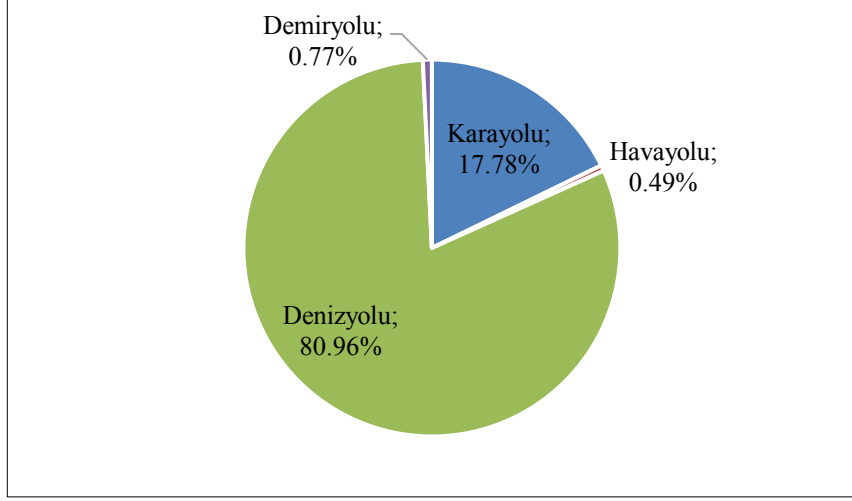
Türkiye’den gerçekleştirilen ihracat işlemlerinin büyük bir çoğunluğu Çizelge 2.2’de gösterilen çıkış kapıları üzerinden gerçekleşmektedir. Son dönemde gerçekleştirilen Avrupa ihracatları için İpsala, Kapıkule çıkış kapılarından direkt karayolu ile ya da Ambarlı limanlarından Trieste limanına Ro-Ro gemileri aktarımıyla sağlanmaktadır.

Çizelge 2.2: Türkiye'nin Avrupa çıkış kapıları (Keskin, 2011).

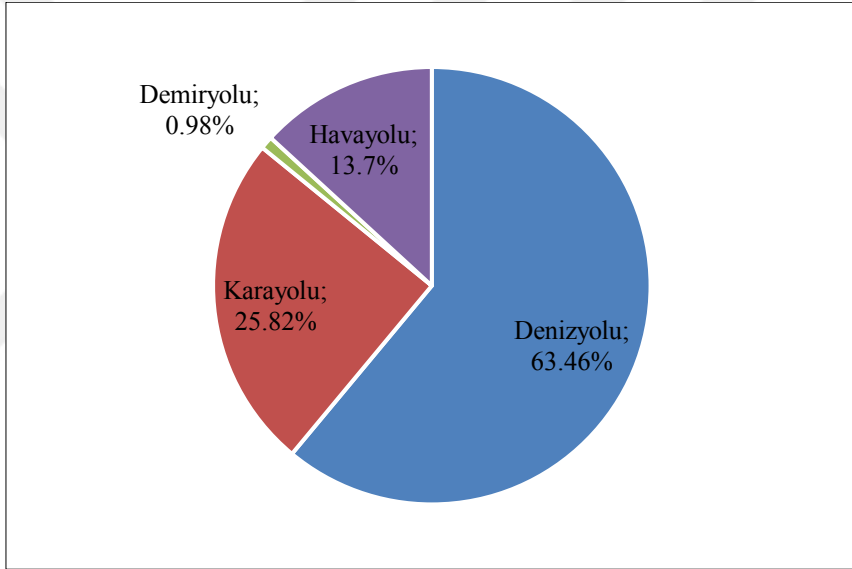
Çıkış Kapıları	Yönler
Avrupa ve Kuzey'e yönelik güzergâhlar- Batı kapıları	- Kapıkule- Bulgaristan- Sırbistan- Karadağ-Hırvatistan- Avusturya
	- Kapıkule- Bulgaristan- Romanya- Macaristan-Hırvatistan- Avusturya
	- Kapıkule- Bulgaristan- Romanya- Ukrayna- Rusya
	- İstanbul ve Tekirdağ limanları- İtalya Trieste limanı (Ro-ro gemileri)- Avrupa
	- Tekirdağ Ambarlı limanı- Fransa Toulon limanı (Ro-ro gemileri)- Avrupa
	- İpsala- Yunanistan- İtalya (Brindizi/Trieste limanları) (Ro-Ro gemileri)- Avrupa
	- Çeşme limanı- İtalya Trieste limanı (Ro-Ro gemileri)- Avrupa

Türkiye'nin ihracatının büyük bir kısmı denizyolu ve karayolu ile yapılmaktadır. 2021 verilerine göre ağırlık bazlı olarak en büyük pay yaklaşık %81 ile denizyoluna ait iken denizyolunu yaklaşık %18 ile karayolu takip etmektedir (UTİKAD, 2021).

Şekil 2.1'de de gösterildiği gibi her ne kadar ağırlık bazındaki verilerle paralellik gösterse de Şekil 2.2 göz önüne alındığında taşınan ürünlerin değer bazındaki yüzdeleri farklılık göstermektedir. Bunun en büyük sebeplerinden bir tanesi pahada değerli ve daha az ağırlığa sahip malzemelerin taşınması için havayolunun tercih edilmesidir. Yükte ağır ve pahada hafif olan hammadde, yarı hammadde, yedek parça gibi ürünler için ise deniz bağlantısı olan ülkeler için denizyolu; kara bağlantısı olan ülkeler için ise karayolu ya da intermodel taşımacılar tercih edilmektedir.

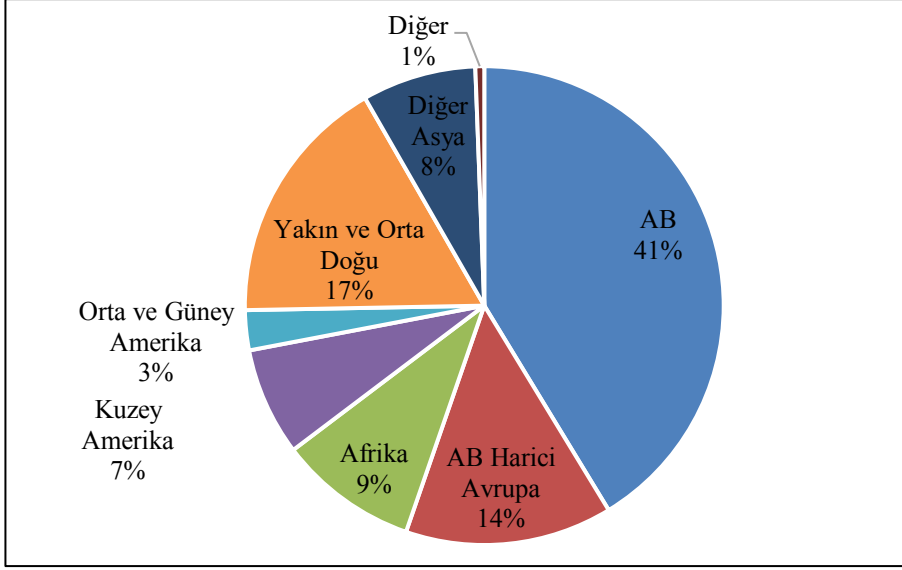


Şekil 2.1: 2021 yılı taşıma türlerine göre ağırlık bazlı ihracat yüzdeleri (UTİKAD, 2021)

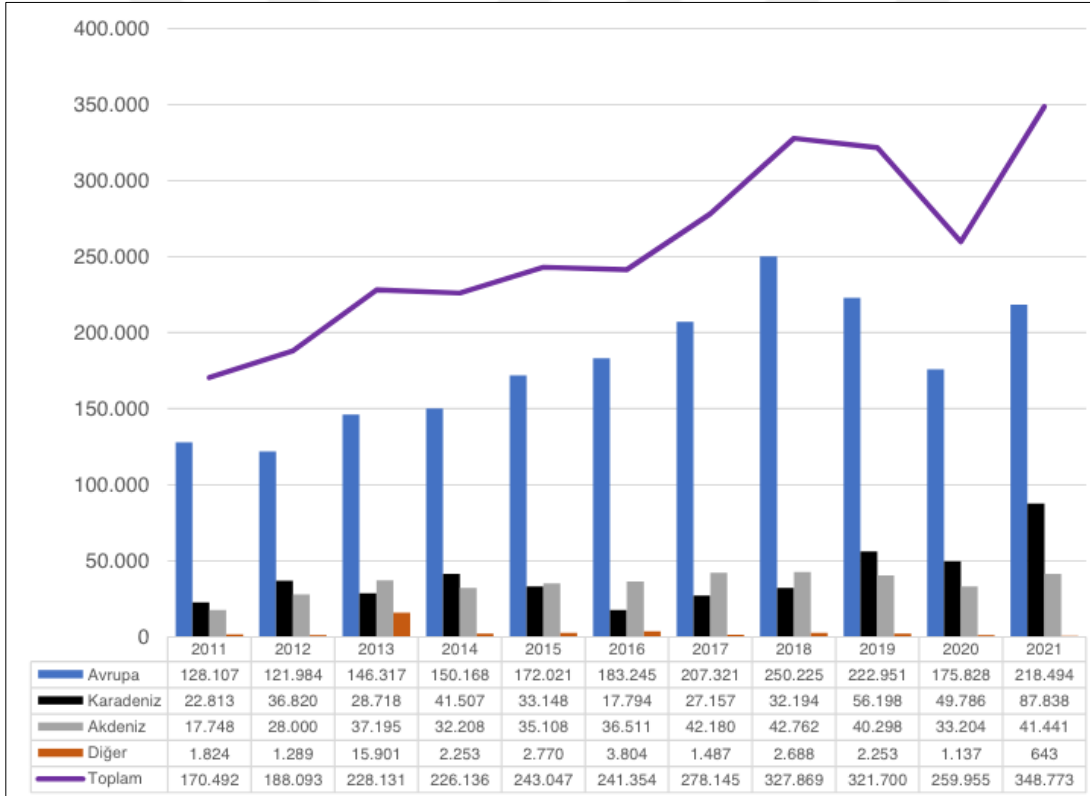


Şekil 2.2: Değer bazında dış ticaretin taşıma türlerine göre dağılımı - 2021 yılı sonu (UTİKAD, 2021)

Şekil 2.3'te görülebileceği gibi Türkiye'nin gerçekleştirdiği ihracatın %41'i Avrupa Birliği ülkelerine, %14'ü Avrupa Birliği dışındaki Avrupa ülkelerine yapılmaktadır (UTİKAD, 2021). Bu noktada Türkiye'den Avrupa kıtasına yapılan taşımalarda konumlarına istinaden denizyolu, karayolu ve demiryolu ile gümrük geçişleri sağlanabilmektedir. Bu ihracat gönderimlerinde Ro-Ro gemileri ile yükler denizyolu ile limanlara gönderilerek buradan çekiciler ile gönderimi sağlanmaktadır. Diğer bir seçenek ise sınır kapıları kullanılarak ürünlerin müşteriye karayolu ile ulaştırılmasıdır. Şekil 2.4'te 2011-2021 arasındaki Ro-Ro gemileri ile geçişi sağlanan araç miktarları görülmektedir. Tüm senelerde en yüksek araç miktarına sahip nokta Avrupa ülkelerini göstermektedir.



Şekil 2.3: Ülke gruplarına göre 2021 yıl sonu ihracatı (UTİKAD, 2021)



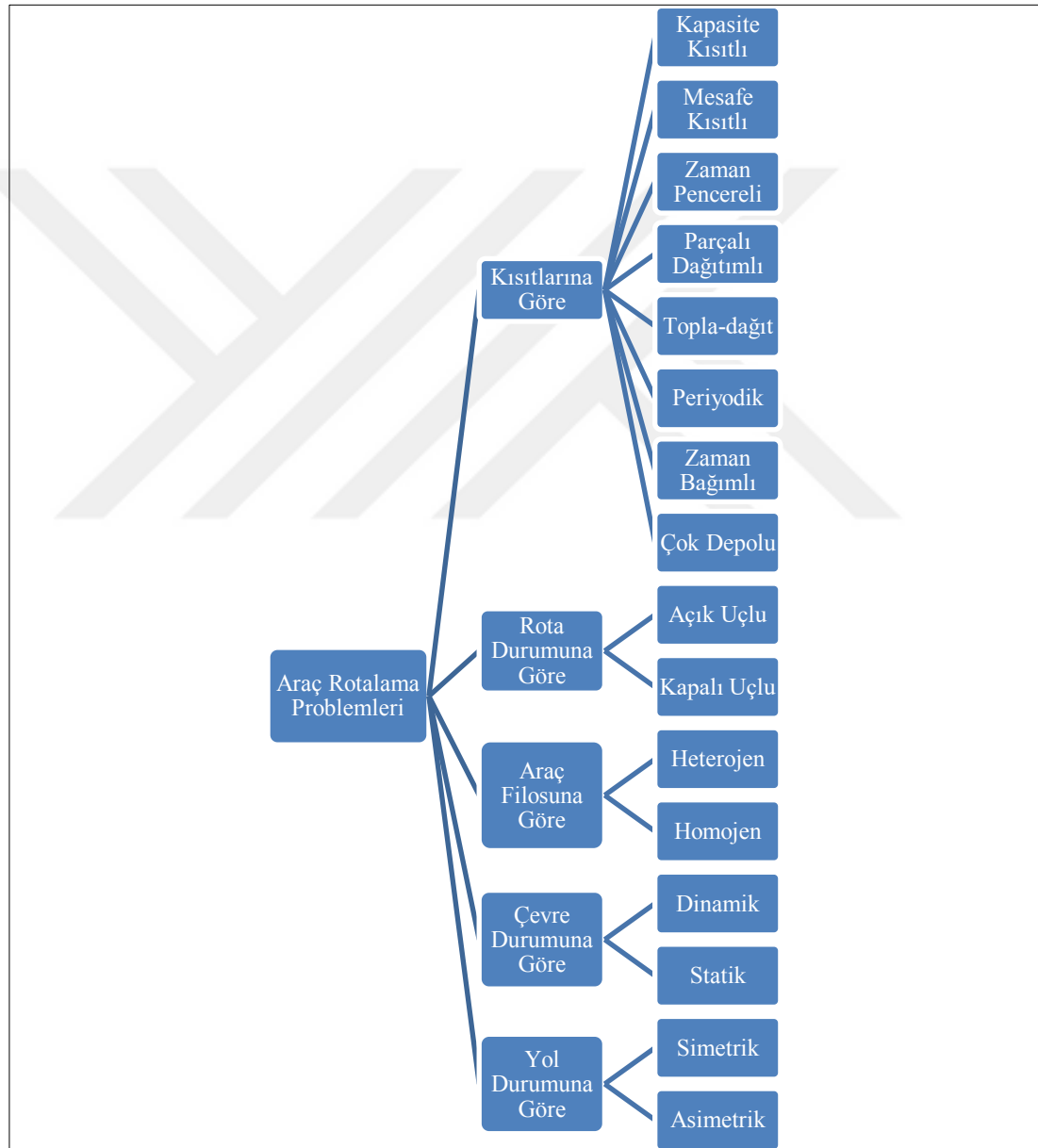
Şekil 2.4: Ro-Ro ile giden araç sayısı (UTİKAD, 2021)

## 2.2 Araç Rotalama Problemleri

Araç Rotalama Problemleri (VRP) ilk olarak 1959 yılında Dantzig ve Ramser tarafından benzin istasyonlarına benzin dağıtımında kullanılacak araç sayısını minimize edecek bir model geliştirerek kazandırmıştır (Dantzig ve Ramser,1959). Clarke ve Wright (1964) ise rota optimizasyonunu sağlayacak bir sezgisel

geliştirmiştir. Araç Rotalama Problemleri uzun yıllar boyunca üzerinde durulmuş ve literatür içinde büyük yere sahip en çok çalışılan konulardan biridir (Kosif ve Ekmekçi, 2012).

Araç Rotalama Problemleri birçok alt kategoriye sahiptir. Ürün çeşitleri, depo sayıları, teslim süresi, talep, araç türü gibi unsurların birleştirilmesiyle farklı modeller ve çözüm yöntemleri kullanılmaktadır. Şekil 2.5 farklı problem varsayımlarını göstermektedir ve bu varsayımlar bölümde alt başlıklar altında incelenmiştir.



Şekil 2.5: Literatürdeki araç rotalama problemleri (Uslu, 2016)



### 2.2.1 Kısıtlarına göre VRP'ler

*Kapasite Kısıtlı VRP'ler* modellemedeki en temel yapıdır. Müşteri taleplerinin sağlanması için depoların ve araçların kısıtlı bir kapasiteye sahip olması durumudur (Aksakal, 2014). *Mesafe Kısıtlı VRP'ler* aracın gideceği rota mesafesini kısıtlayarak bir tur için aracın gidiş mesafesini geçmemesini sağlar (Uslu, 2016). *Zaman Pencereci VRP'ler* en erken ya da en geç teslim süreleri altında ürünlerin teslimini belli bir zaman aralığında gerçekleştirme amacı güder. Bu şekilde bir müşteri için en erken geliş zamanından önce gelen araçlar bekletilir, en geç zamandan sonra gelen araçlar ise kabul edilmez (Dursun, 2017). *Parçalı Dağıtım VRP* ise müşteri talebinin araç kapasitesinden büyük olduğu durumlarda talebin bölünerek müşterilere teslim edildiği modellerdir (Yaktubay, 2018). *Topla-Dağıt VRP'ler*, müşterilere ürün dağıtılırken aynı zamanda müşterilerden de depoya bir taşıma faaliyetinin gerçekleştiği durumlardır (Uslu, 2016). *Periyodik VRP'ler* araçların belli periyotlar için planlanmasını içermektedir (Şeker, 2007). *Zaman Bağımlı VRP'ler* gün içerisinde taşıma yapan araçların hızına ve ulaştırma sürelerine göre kullanılan rotaların zamana bağlı değişiklik göstermesidir (Uslu, 2016). *Müşteri Öncelikli VRP'ler* müşterilerin bir öncelik sırasına göre ziyaret edilmesi sağlar (Uslu, 2016). *Çok depolu VRP'ler* araçların müşteriye gidişleri için birden fazla deponun bulunduğu durumlardır (Koç, 2012).

### 2.2.2 Rota durumuna göre VRP'ler

*Açık Uçlu VRP'ler*, araçların bir depodan çıkıp geriye dönmedikleri durumlardır. Araçlar gittikleri son müşteride rotalarını sonlandırırlar. Bu tür problemler genelde dışarıdan taşıma hizmeti alan firmaların problemlerinde görülür (Braekers ve diğerleri, 2015). *Kapalı Uçlu VRP'ler* de ise araçların rotalarını aynı depoda başlayıp bitirmeleri gerekir (Koç, 2012).

### 2.2.3 Araç filosuna göre VRP'ler

*Homojen VRP'ler* problemde kullanılan her bir aracın aynı özelliklere sahip olduğu filoları tanımlarken, *Heterojen VRP'ler* farklı kapasite limitlerine sahip olan filoları kapsamaktadır (Bektaş, 2017).

## 2.2.4 Çevre durumuna göre VRP'ler

*Dinamik VRP'ler* bilgilerin sürekli güncellendiği problemlerdir. Problemin sürekliliği yeni bilgilerle güncellenir (Braekers ve diğerleri, 2015). *Statik VRP'ler* ise önceden verilen bilgilerle çalışan modellerdir (Koç, 2012).

## 2.2.5 Yol durumuna göre VRP'ler

Gidiş ve dönüş mesafesinin aynı olduğu problemler literatürde *Simetrik VRP'ler* olarak adlandırılır (Aksakal, 2014). *Asimetrik VRP'ler* ise iki nokta arasındaki gidiş ve dönüş mesafelerinin farklı olduğu durumdur (Koç, 2012).

## 2.3 Araç Rotalama Modelleri için Çözüm Yöntemleri

VRP'ler birçok iterasyon içermesi sebebiyle hesaplama boyutunun eksponansiyel olarak artması sebebiyle NP-Zor problemlerdir ve kesin çözüm veren uygulamalar dışında çözüm süresini kısaltmak için pek çok sezgisel yöntem denenmiştir (El-Bouyahyious ve Bellabdaoui, 2017; Erdoğan, 2019).

### 2.3.1 Kesin çözüm yöntemi

Kesin çözüm yöntemleri problem için optimal sonucu vermektedir. NP-Zor problemlerinin çözüm süresi uzun olduğundan çözüme ulaşmak için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibidir.

*Dinamik programlama*, problemin alt birbirinden bağımsız alt problemlere indirgenerek çözüldüğü bir yöntemdir. Bu alt problemlerden alınan sonuçlar en sonunda birbirine bağlanır (Kızıloğlu, 2017).

*Dal ve Sınır algoritmaları* ise tamsayıya sahip düğümlerin kontrol edilerek alt ve üst sınırlar oluşturulmasıyla ve her aşamada bu sınırların kontrol edilerek hangi düğüm üzerinden ilerletileceğine karar verilen yöntemdir (Aksakal, 2014).

*Kesme Düzlemi*, tam sayılı çözüm bulunması için kesme adı verilen kısıtların eklendiği bir çözüm yöntemidir. Bu yöntemde doğrusal programlama ile çözülen modelin tam sayılı sonuçlar verene kadar kesilmesi söz konusudur (Kızıloğlu, 2017).

*Dal ve Kesme algoritmaları*, dal ve sınır algoritmasından farklı olarak modeli kesmek için özel kısıtlar kullanır. Sonrasında çözüm alanı küçültülerek sonuca gidilir (Şeker,

2007). Bu yöntem dal-sınır ve kesme düzlemi yöntemlerinin beraber kullanılmasını sağlar. Alt turlar sıfıra eşitlenir (Kızıloğlu, 2017).

### **2.3.2 Sezgisel yöntemler**

Sezgisel Yöntemlerin kullanım amacı, çözümü uzun süren problemler için optimale yakın iyi bir soncun daha hızlı elde edilmesidir (Wolsey, 1998).

Sezgisel yöntemler kurulan bir düzen üzerinden belli bir başlama noktasından çıkarak tekrarlı işlemlerle sonuca yaklaşılmaya çalışır. Araç rotalama problemleri için kullanılan pek çok sezgisel yöntem mevcuttur.

*Tur Kurucu Sezgiseller*; iki düğüm arasına bağlantı eklenerek uygun çözüme ulaşmaya çalışan ve bunun için rastgele atamalarla çözüme başlayan yöntemdir. En yakın komşu sezgiseli ve en kısa yol sezgiseli bu çözüm yöntemi için örnek verilebilir (Kızıloğlu, 2017).

*Tur Geliştirici Sezgiseller*; mümkün çözümlerden birini başlangıç noktası olarak kabul edip ilerleyerek dal kombinasyonlarının kontrol edilerek ilerlendiği çözüm yöntemidir. Seyyar Satıcı Yöntemi buna örnektir (Şeker, 2007).

*İki Aşamalı Sezgiseller*; ilk aşamada müşteri gruplaması yapıldıktan sonra ikinci aşamada bu müşteriler arasındaki rotalar oluşturulur. Süpürme algoritması iki aşamalı sezgisel yöntemine bir örnektir (Kızıloğlu, 2017).

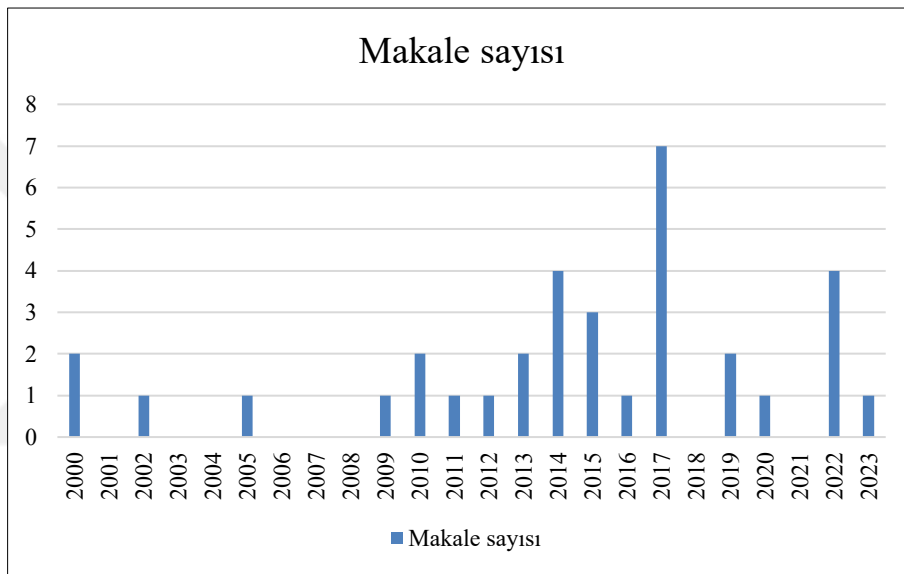
*Meta Sezgisel Yöntemler* kesin çözüm yöntemleri ile kısa sürede çözümü gerçekleştiremeyecek büyüklükteki problemlerin daha hızlı çözülmesini sağlar. Bu yöntemle çözülen problemlerin en iyi çözümü vermesi beklenmez ama global optimuma yakın sonuçların üretilmesine yardımcı olur. Genetik Algoritma, tabu arama, tavlama benzetimi, karınca kolonisi algoritması ve yapay sinir ağları, yerel arama algoritması çok kullanılan örnekleridir (Büyükyılmaz, 2017).

### **2.4 Literatürdeki Araç Rotalama Problemleri**

Çizelge 2.3'te "Scopus" ve "Web of Science" veri tabanları taranarak, 2000-2023 yılları arasındaki Araç Rotalama Modelleri "Vehicle routing problems", "Vehicle routing problems with time window", "Full-Truck", "Less-Than-Truck", "Two-echelon vehicle routing problems", "Multi-echelon vehicle routing problem", "Service network design", "Truck and trailer" ve "Customs" anahtar sözcükleri ile aratılmıştır.

Yapılan taramalar sonucunda veri tabanlarında toplam 595 makale olduğu gözlemlenmiştir. Ortak makaleler, farklı uygulama kapsamları olan ve farklı sektörlere ait çalışmalar çıkarıldığında bu çalışmalardan 35 tanesinin iki aşamalı araç rotalama problemleri, parsiyel araç, komple araç ya da birlikte kullanımı ile ilgili olduğu gözlemlenmiş ve bu makaleler Çizelge 2.3'te incelenmiştir. “Customs” ve “Less-Than-Truck” anahtar sözcükleri birlikte aratıldığında ise hiçbir çalışma olmadığı görülmüştür.

Literatürde incelenen makalelerin yıllara göre dağılımı Şekil 2.6'da verilmiştir. Yıllara göre bu başlık altında çalışmaya yakın makaleler en çok 2017 yılında yayınlanmıştır.



Şekil 2.6: Literatür çalışmalarının yıllara göre dağılımı

Çizelge 2.3 çizelge altında problem tipi, çözüm metodu, zaman kısıtı, depo sayısı, ara merkez durumu ve komple-parsiyel araç kararı verip vermemesi üzerine durulmuş ve kısaca amacından bahsedilmiştir. Makaleler yıllara göre sıralanmıştır.

Çizelge 2.3: Literatür çalışmaları karşılaştırma çizelgesi.

#	Çalışmalar	Problem Tipi	Çözüm Metodu	Zaman Kısıtı	Depo Sayısı	Ara merkez	Amaç fonksiyonu	Komple – Parsiyel	Amaç
1	Ozçetin ve diğerleri, 2023	DSS	Matematiksel - GA	X	2	X	Tekli	Komple	Meta-sezgisel kullanarak araçların ağırlık ve hacim kapasitesini en iyi şekilde kullanmak.
2	Dumez ve diğerleri, 2022	2E-MTVRP-CSRF	Meta sezgisel	✓	1	✓	Tekli	X	Birden fazla seyahatin olduğu durumda zaman penceresi içinde maliyeti minimize etmek.
3	Hassan ve diğerleri, 2022	SND	MIP	✓	1	X	Çoklu	Parsiyel	Otonom araçlar kararları ile günlük planlama maliyetini minimize etmek.
4	Ning ve diğerleri, 2022	VRP	Meta sezgisel	✓	1	✓	Tekli	Parsiyel	3 aşamalı ürün- araç eşleşmesini en iyi sağlayacak şekilde maliyeti minimize etmek.
5	El-Bouyahyious ve Bellabdaoui, 2022	SFTMDVRPTW	MILP- GA	✓	X	X	Tekli	Komple	Komple araç bulunan modelde kar maksimize edecek ve boş araç dönüşlerini göz önüne alacak bir model çözümü oluşturmak ve karı maksimize etmek.
6	Larsen ve diğerleri, 2020	TR	MPC	✓	X	✓	Tekli	Komple	Intermodel taşımada konteynerlerin boş ve dolu gönderimlerinin maliyetini minimize etmek.
7	Yang ve diğerleri, 2019	CSAHLRP	MA	X	2	✓	Tekli	Parsiyel	Araç rotalama ve lokasyon seçimi modellerini 2 aşamalı olarak çözmek.
8	Marques ve diğerleri, 2019	VRPB	F-O	X	1	X	Tekli	Komple	Komple araçlar için günlük rota maliyetini minimize etmek.
9	Wu ve diğerleri, 2017	VRPTW	Sezgisel	✓	1	X	Tekli	Komple-parsiyel	Sabit sayılı komple veya parsiyel araç sayısı ile ana depodan çıkan yükün bilinen talep ve zaman kısıtıyla çözülmesi
10	Grimault ve diğerleri, 2017	FTPDP-RS	ALNS	✓	1	X	Tekli	Komple	Komple araç için araç rotalama ve planlaması ile kaynak senkronizasyonu sağlayarak çalışma alanlarında malzeme akışını sağlamak.
11	El-Bouyahyious ve Bellabdaoui, 2017	FT-SMDVRPTW	ACS	✓	Çoklu	X	Tekli	Komple	Zaman pencereli ve çoklu depolu bir problem ACS ile karı maksimize edecek bir sezgisel yöntem oluşturmak.
12	Sawadsitang ve diğerleri, 2017	VRPPC	IP	✓	1	X	Çoklu	Komple-parsiyel	Komple ve parsiyel araçlarda toplam maliyeti minimize edecek optimal sonuca ulaşmak.
13	Parragh ve Cordeau, 2017	TTRPTW	B&C - ALNS	✓	1	✓	Tekli	Komple	B&C yöntemiyle alternatif bir alt sınır yöntemi geliştirmek ve ALNS ile soruna özgü bir sezgisel geliştirilmesi.
14	Zhao ve diğerleri, 2017	2E-CLRP	Sezgisel	X	1	✓	Tekli	Parsiyel	Şehir içi ağ dağıtımında iş birliği içinde filo dağılımını optimal maliyet ile gerçekleştirmek.
15	Wu ve diğerleri, 2017	3E-LRPTWTBC	HCEA	✓	2	✓	Çoklu	Parsiyel	Kapasiteli dağıtım merkezleri için çok aşamalı şekilde yemeklerin dağıtılmasının optimize edilmesi.
16	Li ve diğerleri, 2016	2E-LRP	Sezgisel	✓	1	✓	Tekli	Komple	Şehir dağıtım ağlarını kullanarak maliyeti minimize etmek

Çizelge 2.3: (devam) Literatür çalışmaları karşılaştırma çizelgesi.

#	Çalışmalar	Problem Tipi	Çözüm Metodu	Zaman Kısıtı	Depo Sayısı	Ara merkez	Amaç fonksiyonu	Komple – Parsiyel	Amaç
17	Janssens ve Braekers, 2015	FT-PDPTW	Optimal	✓	1	X	Tekli	Komple	Komple konteyner için maliyeti minimize edecek bir kesin çözüm algoritması oluşturmak.
18	Torres ve diğerleri, 2015	TTRP	Fuzzy	X	1	✓	Çoklu	X	Tüm kısıtları olabildiğince iyi şekilde çözmek.
19	Bai ve diğerleri, 2015	BDMSFTLTP-OD-ST	Sezgisel	✓	1	✓	Tekli	Komple	Zaman kısıtı altında ürünleri ve şoförlerin dikkate alınacak şekilde toplam araç seyahat mesafesini minimize etmek.
20	Demir ve diğerleri, 2015	GISND-TTU	Sezgisel	✓	1	✓	Tekli	Komple	Amaç emisyon ve diğer maliyetleri minimize etmek.
21	Resat ve Turkey, 2014	NDP	MIP	✓	1	X	Çoklu	X	Maliyeti ve süreyi minimize etmek.
22	Ng ve diğerleri, 2014	VRP	IP	✓	1	X	Çoklu	Komple	Araçların boş dolaşım maliyetini minimize etmek.
23	Bodin ve diğerleri, 2014	RRVRP	Sezgisel	✓	1	✓	Tekli	Komple	Traktörlerin istenen tüm seyahatleri yaparken seyahat zamanını minimize etmek.
24	Li ve Lu, 2014	FTVRP	GA	✓	1	X	Tekli	Komple	Karar maksimize etmek için iç ya da dış kaynaklı komple araçların müşterileri ziyaret ettiği bir model oluşturmak.
25	Tummel ve diğerleri, 2013	m-VRPTWAR	GA	✓	X	X	Çoklu	Parsiyel	Maliyeti ve kullanılan araç sayısını minimize etmek.
26	Villegas ve diğerleri, 2013	TTRP	Meta sezgisel	✓	1	X	Tekli	Komple	Toplam mesafeyi minimize edecek ve hızlı çalışacak bir meta sezgisel bir yaklaşımın kontrolünü sağlamak.
27	Lee ve diğerleri, 2012	VRP	Robust	✓	1	X	Çoklu	X	Belirsiz seyahat zamanı ve talep altında minimum seyahat mesafesini sağlayacak bir dinamik model oluşturmak.
28	Perboli ve diğerleri, 2011	2E-CVRP	Meta sezgisel	X	Çoklu	✓	Tekli	X	Maliyeti minimize ederken meta sezgisel yöntemlerle rotalama ve konsolidasyonu sağlamak.
29	Caramia ve Guerriero, 2010	TTRP	CAP – Sezgisel	✓	1	✓	Çoklu	X	Araç sayısını ve toplam tur sayısını minimize etmeye çalışıyor.
30	Liu ve diğerleri, 2010	MDCARPFL	Sezgisel	✓	Çoklu	✓	Çoklu	Komple	Taşıyıcı iş birliği altında boş araç hareketliliğini minimize etmek
31	Lin ve diğerleri, 2009	TTRP	SA	✓	1	✓	Tekli	Komple	Talepleri , her bir müşteriye tam olarak bir araç tarafından yalnızca bir kez hizmet verilecek şekilde düşük maliyetli araç rotalamasını oluşturmak.
32	Chu, 2005	VRM	Matematiksel	X	1	X	Tekli	Komple-Parsiyel	Komple ya da parsiyel araç kararını vererek minimum maliyetli parsiyel araç rotalamasını yapmak.
33	Chao, 2002	TTRP	TS	X	1	✓	Tekli	Komple	Toplam mesafeyi minimize etmek.
34	Cheung ve Muralidharan, 2000	SND	Sezgisel	✓	1	X	Tekli	Parsiyel	Stokastik ve dinamik gerçek zamanlı verilere göre beklenen seyahat süresine göre rota oluşturmak.
35	Bu Çalışma	VRP	Optimal	✓	1	✓	Tekli	Komple-Parsiyel	Komple ve parsiyel araç taşımalarına karar verirken zaman penceresi içinde maliyetin minimize edilmesidir.

Çizelge 2.3'te yer alan çalışmalardan benzer kısıt, modelleme ve aşama açısından yakın olan çalışmalar detaylandırılarak incelenmiştir. İki aşamalı olup sezgisel çözüm ve matematiksel modelin yer aldığı, iki aşamalı olarak geliştirilen çekici ve treyler problemlerinde Karma Tam Sayılı modellemeleri dahil edenler, zaman pencereleri ve yalnızca komple araç içeren modelleri içerecek şekilde planlanmıştır. Son olarak intermodel modlar arasında tek aşamalı karar veren bir çalışma ve komple-parsiyel araç kararını kullanan makaleler ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Perboli ve diğerleri (2011), kullanılan araçların kapasiteyle kısıtlı olduğu iki aşamalı bir problem üzerinden meta-sezgisel bir çözüm yöntemi çalışmıştır. Bu modelde *iki aşamalı kapasite kısıtlı araç rotalama problemi* modellenerek, depo, dağıtım noktaları ve müşteriler arasında en küçük maliyeti çıkaracak bir rotalama oluşturulmuştur.

*Çekici ve Treyler Problemleri*, müşterilerin bir kısmının çekici ve treyler ile bir kısmının ise yalnızca çekici ile dağıtıldığı özel bir VRP türüdür. Villegas ve diğerleri (2013), bu modeli çözebilmek için Adaptif Arama Prosedürü ve İterasyolu Lokal Arama meta-sezgiselleri ile iki aşamalı bir model geliştirmiştir. Meta-sezgiselleri başlangıç noktası saptamak için kullanmış, çıkan sonucu bir Karma Tam Sayılı Model kullanarak çözmüşlerdir. Bu problemler aynı zamanda şehir içi araç atamalarında da uygun rotanın oluşturulmasında kullanılmıştır (Parragh ve Cordeau, 2017). Başka bir problemde ise benzetimli tavlama yöntemi kullanılarak, zaman pencereli bir toplama ve dağıtım ağı oluşturulmuş, farklı bir çalışmada ise kukla depolar yerleştirilerek en iyi sonuca ulaşmaya çalışılmıştır (Lin ve diğerleri, 2009). Chao (2002), Tabu arama yöntemini kullanarak toplam seyahat mesafesini minimize edecek bir yaklaşım ile döngüleri ve kötü lokal optimum noktaları elemine etmiştir. Meta-sezgisel bir yöntemle çalışan Caramia ve Guerriero (2010) ise matematiksel modeli çözdürdükten sonra Lokal Arama Yöntemi ile en iyi sonuca ulaşmaya çalışmışlardır. Diğer modellerden farklı olarak iki ürünlü akış bir Çekici ve Treyler problemi üzerinden maliyeti minimize etmeye çalışmışlardır.

El-Bouyahyious ve Bellabdaoui (2022) modellerinde komple araç için çoklu depo içeren zaman pencereli bir tam sayılı model ve Genetik algoritma çözümünü karşılaştırmıştır. Bu problemde boş araçların depoya dönüş maliyetinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. El-Bouyahyious ve Bellabdaoui (2017) de ise çoklu depo içeren bir problem için meta sezgisel olan Karınca Kolonisi Optimizasyon

Algoritmasını kullanarak toplam karı maksimize edecek bir model oluşturmuşlardır. Bu modelde araçların boş dönüşü kabul edilmemiş ve tüm siparişlerin karşılanması zorunlu tutulmamıştır. Liu ve diğerleri (2010) ise yine çoklu depo ve yalnızca komple araç içeren problemini iki aşamalı bir sezgisel ile çözümlenmişlerdir. Bu makalede, aynı zamanda taşıyıcı iş birliği kullanarak boş araç hareketini ve maliyeti minimize etmeye çalışılmıştır.

Janssens ve Braekers (2015), komple araç ile zaman pencereli olarak toplama ve dağıtım yapılacak bir problemde kesin çözüm için bir model oluşturmuşlardır. Grimault ve diğerleri (2017) ise adaptif büyük komşuluk arama sezgiselini kullanarak komple araçlar ile inşaat alanlarındaki harfiyat malzemelerinin alınması için kaynak senkronizasyonu kullanarak heterojen filolu toplama ve dağıtım ağı modeli kullanmıştır. Bai ve diğerleri (2015), komple araçlarda kullanılan konteynerlerin uluslararası terminallerdeki akışının çoklu kullanımı üzerine toplam gidilen yolu minimize edecek bir küme örtüleme modeli geliştirmiştir.

Sawadsitang ve diğerleri (2017), komple araç ve parsiyel araçlar ile belli olmayan müşteri talebini karşılarken maliyeti minimize edecek zaman pencereli bir model üzerinde stokastik tam sayılı programlama ile çözümlenmişlerdir. Li ve Lu (2014) ise taşıma firmalarının araç filolarındaki iç kaynak ya da dış kaynak kullanımı kararını vererek karı maksimize edecek sezgiseller kullanmıştır. Chu (2005), komple ve parsiyel araçların maliyeti minimize edecek şekilde bilenen talep ile sezgisel ve matematiksel çözümün karşılaştırmıştır.

Resat ve Turkyay (2015) incelendiğinde Türkiye Marmara bölgesinde intermodel bir vakanın çoklu amaç fonksiyonu ile çözümlendiği görülmektedir ancak bu çalışma sadece modlar arası bir karar sistemini desteklemesiyle beraber tek aşamalı olarak çalışılmıştır. Model hem maliyeti hem de seyahat süresinin minimize etmek üzerine kurulmuştur.

Wu ve diğerleri (2017), tek depodan çıkış yapan tek aşamalı modellerinde, yakıt maliyeti değişken olan ve müşterilerin taahhüt edilen zamanda ürünleri teslim almasını sağlayacak kendi araçlarını ya da başka kaynak araçların kullanımına karar verecek bir model için sezgisel yöntemle çözüm aramıştır.

Literatürdeki ilgili çalışmalar incelendiğinde, modellerin ağırlıklı olarak parsiyel ve komple araç rotalama problemlerini ayrı olarak ele aldığı gözlemlenmiştir. Bu



modellemelerde ise farklı pek çok kesin, meta sezgisel ve sezgisel çözüm yöntemleri kullanılmıştır. Benzerlikleri bulanması nedeniyle Çizelge 2.3'e dahil edilen çekici ve treyler problemleri ve servis ağı tasarımı makaleleri ise parsiyel ya da komple araç olmak üzere tek bir araç çeşidi üzerinden heterojen araç filosu kabulü ile çözümlenmiştir. Bu problemler için tek, iki ve çok aşamalı modellemelerin olduğu literatürde kabul edilmiştir. Parsiyel ve komple araç kararının olduğu problem modellemeleri ise tek aşamalı olarak çalışılmıştır.

Wu ve diğerleri (2017) göz önüne alındığında ise çalışmada kullanılan öz kaynak ve dış kaynak araç kullanımını ayıran kısıtın, parsiyel ve komple araç kararının verilmesi noktasında modele dahil edilebileceği anlaşılmıştır. Dolayısıyla bu çalışmada, Wu ve diğerleri (2017) makalesinde yer alan komple ve parsiyel araç kısıtı göz önüne alınarak, farklı kapasite ve zaman kısıtları altında iki aşamalı olarak, depo-gümrük noktası ve gümrük- müşteri-müşteri noktaları için parsiyel araç rotalama modeli geliştirilmiştir. Model, uluslararası bir taşıma firmasına ait gerçek veriler kullanılarak taşıyıcının deposunda olan ürünlerin müşterilerine zamanında teslimi için yaratılacak modelleme için kullanılmıştır.

Literatür taraması sonucunda çalışmamızın;

- gümrük tercihi olarak ve parsiyel taşıma ile beraber yapılan bir çalışma olmaması,
- komple ve parsiyel araç kararını veren çalışmaların tek aşamalı olarak çalışılması
- çalışmamızda oluşturulan modelin gerçek verilere dayalı bir vakayı çözmesi sebebiyle,

literatürdeki diğer çalışmalardan ayrıldığı görülmüştür. Oluşturulan karma tam sayılı model, zaman ve kapasite kısıtı altında homojen araç filosuna sahip simetrik bir araç rotalama problemi olmuştur.

### 3. PROBLEM TANIMI VE MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİSİ

Bu bölümde çalışma kapsamında ele alınacak problem detaylı olarak açıklanarak problemin çözümü için uygulanacak matematiksel model önerisi sunulacaktır.

Problemde düzenli olarak ihracat yapan bir firmanın müşteriden gelen talep üzerine taşıyıcının deposundan yüklerin çıkışı sağlanarak bir gümrük noktasına uğradıktan sonra işlemlerinin tamamlanıp taahhüt edilen zaman içinde minimum maliyetle ulaşmasını sağlayan bir karma tam sayılı matematiksel model önerilmiştir. Bu doğrultuda ürünlerin teslimi için birçok müşteriye ziyaret eden parsiyel araçlar ile bir müşteriye hizmet veren komple araçlar arasında karar vererek rota oluşturulmaktadır. Müşterilere taahhüt edilen teslim süresini geçen yükler komple araçlarla taşınabilir ya da parsiyel araçlarda dağıtım sırasında öne alınarak taşıma gerçekleştirilebilir.

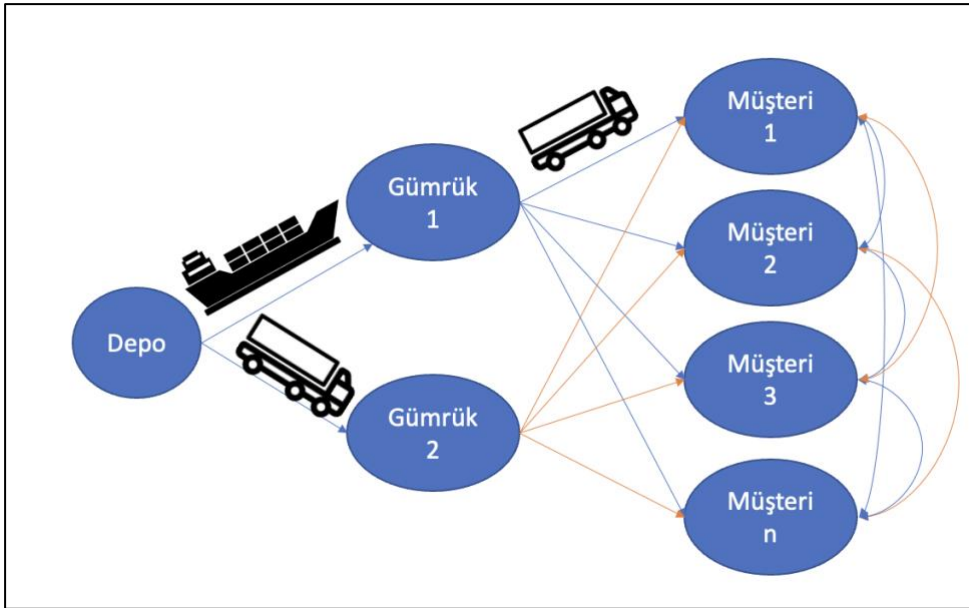
Ele alınan problem için varsayımlar aşağıdaki gibidir:

- Taşıma maliyetleri yüklemenin ağırlığından bağımsız olarak taşıma başına ödenecektir.
- Her müşteriye ait talepler bölünmeden tek bir araca atanmalıdır.
- Taşıma için talep edilen miktar depo noktasında hazır olacaktır.
- Araç kapasiteleri özdeştir.
- Her bir müşteri için sipariş miktarı araç kapasitesini geçmeyecektir.
- Gönderimler taşıyıcı firma aracılığıyla gönderileceği için depoya dönüş süresi sıfır olarak kabul edilmiştir ve araçların depoya dönüşleri göz ardı edilmiştir.
- Depodan gümrük noktasına gelen araçlar diğer gümrüğe geçiş yapamaz ve müşteriye giden herhangi bir araç gümrük noktalarına geri dönemez.
- Atanan araçlar yalnızca parsiyel yükleme hizmeti için kullanılacak olup bu araçlara tek bir yük atanması halinde taşıyıcının kendi bünyesindeki farklı göndericilere ait ürünleri araca yükleyebileceği kabul edilmiştir.
- Tüm araçlar model içinde müşterilere atanmalıdır.
- Komple araçlar ile çıkan yükler tam zamanında teslim edilecektir ve gecikme meydana gelmeyecektir.

- Yükle istiflenebilir kabul edilmiştir.

Çalışmada kullanılan matematiksel modelde,  $C = \{1,2,\dots,|C|\}$  kümesi araçların uğraması gereken gümrük noktalarını,  $M = \{1,2,\dots,|M|\}$  kümesi ziyaret edilecek müşterilerin kümesini tanımlamaktadır.  $V = \{0\} \cup C \cup M$  kümesi taşıyıcının deposu (0 noktası) dahil tüm kümeleri içermektedir. Araçlar kümesi  $K = \{1,2,\dots,|K|\}$  ile gösterilmektedir. Problem depodan çıkan araçların gümrüğe uğradığı bir aşamadan sonra araçların ikinci aşama olan gümrükten müşteriye ve müşteriden müşteriye geçişinin sağlandığı aşamadan oluşmaktadır. Döğümler arası yollar depo noktasından gümrüğe gidiş için  $A^1 = \{(0,i) : \{0\}, i \in V \setminus C\}$  kümesi, gümrükten müşteriye ve müşteriden müşteriye giden yollar için ikinci aşama kümesi ise  $A^2 = \{(i,j) : i \in V \setminus C \cup M, j \in V \setminus M, j \neq i\}$  olarak tanımlanmaktadır.

Şekil 3.1’de gösterildiği gibi müşterilerin talep ettikleri ürün miktarı ve araçlar,  $k \in K$ , depo noktasında  $\{0\} \in V$  hazır olarak beklemektedir. Taşıyıcı, homojen yapıllı  $Q_k$  kapasiteli araçların müşterilerin yüklerini bölmeden en kısa sürede ve en az maliyetle gidebilecekleri şekilde rotayı oluşturmakla yükümlüdür. Taşıyıcının sahip olduğu araçlar kapasiteyi ya da teslim süresini aştığı takdirde başka bir komple araç ile müşteriye gönderimini de planlamalıdır. Komple ya da parsiyel araçlar için rotalar her müşteriye en fazla bir kere uğrayacak şekilde ve depoya dönme zorunluluğu olmadan oluşturulabilecektir.



Şekil 3.1: Modelin gösterimi

Problemdede müşterilerin teslim sırası ve parsiyel ve komple araç atamaları araç kapasitesi ve teslim süresi gözetilerek belirlenecektir. Bu çerçevede müşterilerin taleplerini zamanında gerçekleştirmek adına; talepleri, araçların seyahat sürelerini dikkate alan bir araç atama ve rotalama yapılması planlanmaktadır.

Her araç,  $k \in K$ , depo noktasından  $\{0\}$  çıkarak mutlaka iki gümrük noktasından  $A^1 = \{(0,i) : \{0\}, i \in V \setminus C\}$  birine uğramalıdır. Araçlar, depo ve gümrük noktaları arasındaki  $(0,i) \in A^1$  düğümler arasında  $t_{0i}^k$  kadar sürede seyahat eder. Gümrük noktalarından birine uğrayan araç sonrasında  $(i,j) \in A^2$  kümesindeki düğümler arasında  $s_{ij}^k$  kadar sürede seyahat eder.

Problemdede karar değişkenlerinden  $x_{0i}^k$  araçların  $(0,i) \in A^1$  yayında seyahat etme kararını ifade eden 0-1 ikili değişkenini temsil eder.  $g_{ij}^k$  karar değişkeni ise  $(i,j) \in A^2$  yayında seyahat etme kararını veren 0-1 ikili değişkenlerindedir. Teslim süresi ve/veya araç kapasitesini geçen taleplerin komple araçlar ile taşınmasını sağlayan karar değişkeni ise her müşteri için  $l_j$  değişkenidir.

Yüklerin müşterilere teslim maliyeti taşıma başına olacak şekilde hesaplanmaktadır. Komple araçların taşınmasının hesaplanmasında  $f_j$  ( $j \in C$ ) kullanılmaktadır. Parsiyel araçlarda ise  $a_j$  ( $j \in C$ ) maliyeti  $(i,j) \in A^2$  yayındaki seyahatlerin maliyet hesaplarında kullanılmaktadır. Model notasyonları Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1: Notasyon tablosu.

Sembol	Açıklama
$i$	Müşteri / gümrük noktası
$j$	Müşteri noktası
$k$	Araç $K = \{1,2,\dots, K \}$
$C$	Gümrük kümesi $C = \{1,2,\dots, C \}$
$M$	Müşteri kümesi $M = \{1,2,\dots, M \}$
$K$	Araç kümesi $K = \{1,2,\dots, K \}$
$V$	Tüm düğümler kümesi $V = \{0\} \cup C \cup M$
<b>Kümeler</b>	
$A^1$	Birinci aşamada yer alan düğümlerin kümesi $A^1 = \{(0,i) : \{0\}, i \in V \setminus C\}$
$A^2$	İkinci aşamada yer alan düğümlerin kümesi $A^2 = \{(i,j) : i \in V \setminus C \cup M, j \in V \setminus M, j \neq i\}$
<b>Parametreler</b>	
$Q_k$	$k \in K$ araç için kapasite miktarı
$D_j$	$j \in M$ müşterinin talep miktarı
$f_j$	$j \in M$ müşterisinin komple araç maliyeti
$a_j$	$j \in M$ müşterisinin parsiyel araç maliyeti
$T_k$	$k \in K$ aracının son teslim süresi
$t_{0i}^k$	$k \in K$ aracının depodan çıkıp $i \in C$ gümrüğe gidiş süresi
$s_{ij}^k$	$k \in K$ aracı $i \in C \cup M$ gümrüğünden/müşterisinden $j \in M$ müşteriye parsiyel araç ile gidiş süresi

Çizelge 3.1: (devam) Notasyon tablosu.

Karar Değişkenleri	
$x_{0i}^k$	$\begin{cases} 1, & k \in K \text{ aracı depodan çıkıp } i \in C \text{ gümrüğe gidiyor ise} \\ 0, & \text{değilse} \end{cases}$
$g_{ij}^k$	$\begin{cases} 1, & k \in K \text{ aracı } i \in C \cup M \text{ gümrüğünden/müşterisinden } j \in M \text{ müşteriye gidiyor ise} \\ 0, & \text{değilse} \end{cases}$
$y_j^k$	$\begin{cases} 1, & j \in M \text{ müşterisi parsiyel araç ile servis sağlanıyorsa,} \\ 0, & \text{değilse} \end{cases}$
$l_j$	$\begin{cases} 1, & j \in M \text{ müşterisine komple araç ile servis sağlanıyorsa} \\ 0, & \text{değilse} \end{cases}$
$e_i^k$	$k \in K$ aracının $i \in C$ gümrüğünde geçirdiği süre
$b_j^k$	$k \in K$ aracının $j \in M$ müşterisine gümrükten gelen yük miktarı
$z_{ij}^k$	$k \in K$ aracının $(i, j)$ yayından gelen yük miktarı
$q_{ij}^k$	$k \in K$ aracının $(i, j)$ yayındaki seyahat süresi

$$\text{Min } Z = \sum_{j \in M} l_j f_j + \sum_{k \in K} \sum_{j \in M} \sum_{i \in MUC, j \neq i} g_{ij}^k a_j \quad (3.1)$$

(3.1) numaralı amaç fonksiyonu sırasıyla komple araç ile müşteriye taşınma maliyeti ve parsiyel araç ile gümrükten müşteriye ve müşteriden müşteriye kullanım maliyetinin en aza indirilmesini kapsamaktadır.

$$\sum_{i \in C} t_{0i}^k x_{0i}^k + \sum_{i \in C \cup M} \sum_{j \in M} s_{ij}^k g_{ij}^k \leq T_k \quad \forall k \in K, i \neq j \quad (3.2)$$

(3.2) numaralı kısıt her aracın seyahat süresini müşterinin talep ettiği süre ile kısıtlamaktadır.

$$\sum_{j \in M} \sum_{i \in C \cup M} g_{ij}^k D_j \leq Q_k \quad \forall k \in K \quad (3.3)$$

(3.3) numaralı kısıt her araç için kapasitenin aşılmaması için eklenmiştir.

$$\sum_{i \in C} x_{0i}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (3.4)$$

$$\sum_{i \in C} x_{0i}^k + \sum_{j \in M} \sum_{i \in C} g_{ij}^k = 2 \quad \forall k \in V \quad (3.5)$$

(3.4) numaralı kısıt her aracın mutlaka depodan çıkıp gümrük noktalarına gitmesini sağlar.

(3.5) numaralı kısıt depo noktasından gümrük noktasına gelen aracın müşteri noktasına geçişini sağlar.

$$\sum_{k \in K} y_j^k + l_j = 1 \quad \forall j \in M \quad (3.6)$$

$$\sum_{i \in C \cup M} g_{ij}^k = y_j^k \quad \forall j \in M, \forall k \in K \quad (3.7)$$

(3.6) numaralı kısıt araçların mutlaka her müşteriye bir kere hizmet vermesini sağlarken aynı zamanda yüklerin parsiyel ya da komple araç ile çıkışını garanti altına alan kısıttır.

(3.7) numaralı kısıt parsiyel araçlarını kontrol için değişkene bağlar ve müşteri noktalarının araç atamalarını yapar.  $g_{ij}^k$  değişkeni parsiyel araç kullanım kararını (3.2) ve (3.3) kısıtı üzerinden alarak (3.7) kısıtı üzerinde birleştirmektedir ve (3.6)'daki  $y_j^k$  kısıtı üzerinde toplamaktadır.

$$x_{0i}^k - \sum_{j \in M} \sum_{i \in C} g_{ij}^k = 0 \quad \forall k \in K, i \in C \quad (3.8)$$

$$\sum_{i \in C} g_{ij}^k - \sum_{i \in M, j \neq i} g_{ji}^k \leq 1 \quad \forall k \in K, \forall j \in M \quad (3.9)$$

$$\sum_{j \in M} g_{ji}^k - \sum_{j \in M} g_{ij}^k \leq 1 \quad \forall k \in K, \forall i \in M, j \neq i \quad (3.10)$$

$$\sum_{k \in V} \sum_{i \in C} g_{ij}^k \leq 1 \quad \forall j \in M \quad (3.11)$$

$$\sum_{k \in V} \sum_{j \in M} g_{ij}^k \leq 1 \quad \forall i \in M \quad (3.12)$$

$$\sum_{i \in M} \sum_{j \in M} g_{ij}^k = \sum_{i \in M} \sum_{j \in M} g_{ji}^k \quad \forall k \in V \quad (3.13)$$

(3.8) - (3.12) numaralı kısıtlar alt tur ve akış kısıtlarını oluşturmaktadır. (3.8) numaralı kısıt gümrükten gelen araçların müşteriye gidişini sağlar. (3.9) - (3.10) numaralı kısıtlar alt turları eler. (3.11) - (3.13) kısıtları ise her (i,j) yayından en fazla bir kere çıkış olacağından emin olur.

$$e_i^k = t_{0i}^k x_{0i}^k \quad \forall k \in K, i \in C \quad (3.14)$$

$$\sum_{i \in C \cup M} q_{ij}^k = \sum_{i \in C} e_i^k + \sum_{i \in C \cup M} s_{ij}^k g_{ij}^k \quad \forall k \in K, \quad \forall j \in M \quad (3.15)$$

(3.14) ve (3.15) numaralı kısıtlar her araç için rotada geçen sürenin akışını sağlar ve kontrol eder.

$$b_j^k = \sum_{i \in C} g_{ij}^k D_j \quad \forall k \in K \quad (3.16)$$

$$\sum_{i \in M} z_{ij}^k = (\sum_{i \in M} g_{ij}^k D_i) - D_j \quad \forall k \in K, \quad \forall j \in M \quad (3.17)$$

$$z_{ij}^k + b_j^k \leq Q_k \quad \forall k \in K \quad \forall i, j \in M : j \neq i \quad (3.18)$$

(3.16) - (3.18) numaralı kısıtlar müşteri noktasına gelen ürün miktarı ile noktadan çıkan ürün miktarının akış dengesini sağlayarak rotayı düzenler.

$$x_{0i}^k \in \{0,1\} \quad g_{ij}^k \in \{0,1\} \quad l_j \in \{0,1\} \quad y_j^k \in \{0,1\} \quad (3.19)$$

$$0 \leq Q_k, D_j, f_j, a_j, T_k, t_{0i}^k, s_{ij}^k, q_{jw}^k, e_i^k, b_j^k, z_{ij}^k, q_{ij}^k \quad (3.20)$$

(3.19) - (3.20) numaralı kısıtlar işaret kısıtlarını oluşturmaktadır.

Sonuç olarak bu karma tam sayılı model kullanıldığında  $g_{ij}^k$  ve  $l_j$  karar değişkenleri ile parsiyel ve komple araç kararı vererek rota oluştururken aynı zamanda maliyet minimize edilmiştir.

#### 4. VAKA SETİ VE FİRMANIN TANITILMASI

Tez kapsamında kullanılacak olan veriler yurtdışında düzenli olarak deniz ve kara yolu aracılığıyla gümrüklü olarak ürünlerini gönderen üretici bir firmadan alınmıştır. Firma 50 yıldan uzun süredir hizmet vermekte olup çimento, makine imalat ve madencilik gibi sektörlerde kullanılan farklı ağırlık ve biçimlerde döküm malzemeler üretmektedir. Üretilen ürünlerinin %50'sinden fazlasını Almanya başta olmak üzere pek çok ülkeye ihraç etmektedir. Firmanın yönetim kararları sebebiyle yurtdışı taşımalarında kullanılmak üzere bir araç filosu bulunmamaktadır. Bu nedenle taşımalarını taşıyıcı bir firma üzerinden gerçekleştirmektedir.

Taşıyıcının gümrük çıkış noktaları olan Ambarlı-Trieste hattı ve Sarp çıkışı kapısını kullanması sebebiyle gümrük noktası sayısı iki kabul edilmiş ve bu şekilde çözümlenmiştir. Gönderici firma yurtdışı müşterilerine teslim süresi için taahhüt verirken gecikmeleri de göz önüne alarak parsiyel araç gönderimi ile 15 günlük bir süre vermektedir ancak yoğun dönemlerde ya da yanlış planlamalar ile bu sürenin dışına çıkma riski gördükleri durumlarda daha maliyetli olan komple araç gönderimini tercih etmektedirler.

Modelin geliştirilmesinde de önem taşıyan seyahat sürelerinin en büyük farkının depo ve gümrük noktaları arasındaki yol boyunca olduğu veriler ile gözlemlenmiştir. Bunun en büyük sebebi ise gümrük noktalarındaki uzun beklemeledir. Aynı şekilde gümrük noktası ve müşteri noktaları arasındaki seyahat süresi gözlemlendiğinde ise küçük farklar olmasına karşın yaklaşık olarak aynı seyahat sürelerinin gerçekleştiği görülmüştür. Bu nedenle vakalar üzerinde depo-gümrük seyahat süreleri üzerindeki değişikliğin etkileri öncelikli olarak gözlenmek istenmiş ve senaryolarda sadece bu noktalara ait süreler değiştirilmiştir.

Depo ve gümrük noktaları arasındaki sürenin belirlenmesi için;

- Vakalar üzerinde gerçekleşen ortalama seyahat süresi ile taşıma başlamadan önce göndericiye taşıyıcı tarafından bildirilen sürelerin kullanılmasıyla hesaplanan ortalama taşıma süresi,



- Taşıyıcıdan taşıma öncesinde gelen ve örnek vaka setlerinde karar verilmesi için kullanılan süreler ile daha adaletli bir sonuç ve karar mekanizması kurmak adına yalnızca taşıyıcıdan gelen süreler kullanılmıştır.

Örnek veriler, 2021-2022 tarihleri arasında yapılan gönderimleri kapsamakta olup modelde kullanılmak üzere taşıyıcıdan;

- Müşterilerin listesi ve talepleri,
- İlgili haftalar için araçların izlediği rotalar,
- Araçların hangi gümrük noktalarında çıkış yaptığı,
- Araçların depo-gümrük arasındaki seyahat süreleri,
- Araçların depodan çıkış ve müşteri noktalarına varış tarihleri,
- Geçmiş yıllara ait taşıma ücretleri,

bilgileri alınmıştır.

Örnek vaka verileri incelendiğinde aynı hafta içindeki taşımalarda 10 müşteriye sahip durumların fazla olduğu gözlemlenmiş ve veri grubu seçimi yapılırken örneklemin en çok hizmet verilen müşterileri kapsamasına göre seçilmiştir. Diğer yandan en büyük müşteri grubunun 14 olduğu ve bu müşteri grubunda gecikmeler yaşandığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle senaryoda kullanılacak ikinci veri seti olarak seçilmiştir.

Dolayısıyla;

- Uygulamada kullanılan talepler müşterilerin ilgili haftadaki talepleri alınarak oluşturulmuştur.
- Yüklemelere ait komple ve parsiyel maliyetleri, müşterilerin uzaklıklarına ve şirketin baremli olarak belirlediği önceki seneye ait listelerden alınmıştır.
- Kullanılan araçlar standart olarak maksimum 30-ton yük taşıyabilen homojen tırlardır.
- Depodan gümrüğe kadar geçen süre taşıyıcı firmanın beyanı ve gerçek veri üzerinde gerçekleşen gönderim süreleri dikkate alınmıştır.
- Gümrük noktaları ve müşteriler arasındaki süre ise noktalar arasındaki mesafe ve araç hızlarının bölünmesiyle hesaplanmıştır. Seyahat süresine aynı zamanda bekleme süreleri de eklenmiştir.
- Bekleme süresi tır şoförlerinin günlük saat sürüş limitlerine ve yüklerin boşaltılma sürelerine uygun olacak şekilde 12 saat olarak belirlenmiştir.

- Süreler üzerinde daha iyi kontrol sağlayabilmek için süreler saat bazında ele alınmıştır.
- Araçlar taşıyıcıya ait olduğu için geri dönüş süreleri dahil edilmemiştir.

Maliyet ve teslimat sürelerinin etkilerini incelemek ve göndericiye farklı bakış açıları sağlanması adına veriler;

- Örnek veride kullanılan araç sayılarından farklı araç sayılarıyla
- Ceza katsayısı bulunmaması sebebiyle ise talep edilen teslim süresine daha erken ve daha geç sürelerin atanmasıyla parametreler değiştirilerek kullanılmıştır.



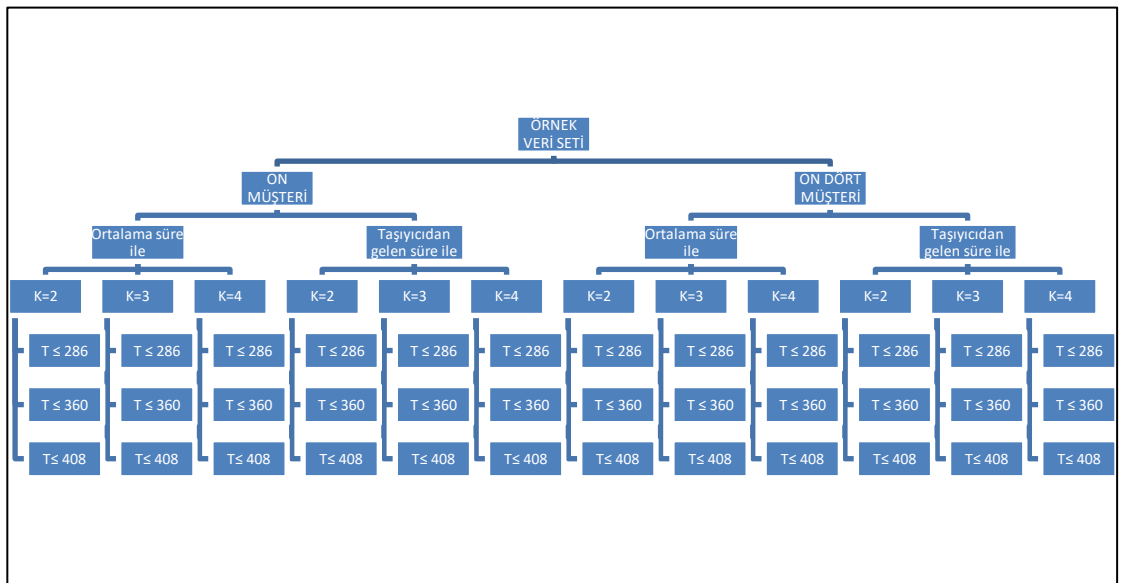


## 5. SAYISAL ANALİZLER

Çalışmanın bu bölümünde gerçek veriler üzerinde sayısal model uygulanacak ve sonuçlar analiz edilecektir.

Problem IBM OPL ILOG CPLEX 12.10 kullanılarak Intel® Core™ i7-4700HQ, 64 bit işlemcili, 12 GB RAM takılı bilgisayar ile çözümlenmiştir. Vaka setinden alınan iki ana veri seti 10 ve 14 müşteri üzerinden farklı parametreler ile çözümlenmiştir.

Şekil 5.1’de gösterildiği gibi müşterilerin talepleri ve maliyetler sabit kalacak şekilde depo-gümrük noktaları arasındaki seyahat sürelerinin değiştirildiği iki durum için araç ve teslim süresi parametreleri değiştirilerek çözümler yapılmıştır. Örnek veri setlerindeki talep miktarları incelendiğinde yüklemelerin toplam ağırlığının en fazla 4 araç gerektirmesi ve gerçekleşen durumlarda da araç sayısının aynı sayıya sahip olması sebebiyle araç sayısı en fazla 4 olarak belirlenmiştir. Modelin daha az araç ile oluşturduğu rotaları bulabilmek için araç sayıları 2,3 ve 4 olarak belirlenmiştir. Teslim süresi olarak belirlenen ve değiştirilen teslim süreleri ise 12 gün (286 saat), 15 gün(360 saat) ve 17 gün (408 saat) olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.1: Senaryo tablosu

Vaka çalışmasının küçük bir veri seti olması nedeniyle modelin sınırlarının görülebilmesi için daha büyük bir veri seti üzerinden de performansı kontrol edilmiştir.

### 5.1 On Müşteri K Araçlı Senaryo

İlk veri seti grubunda vakada, komple araç olarak 2, parsiyel araç olarak 2 adet olmak üzere toplam 4 araç ile 10 müşteriye hizmet verilmiştir. Araçların izlediği rotalar Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Bu süreçte Çizelge 5. 1’ de gösterildiği gibi hiçbir araç için teslim süre taahhüt edilen 15(360 saat) günü geçmemektedir. Çizelge 5.2’de gösterilen maliyetlere göre hesaplandığında yüklemenin maliyeti 5150 € olarak hesaplanmıştır.

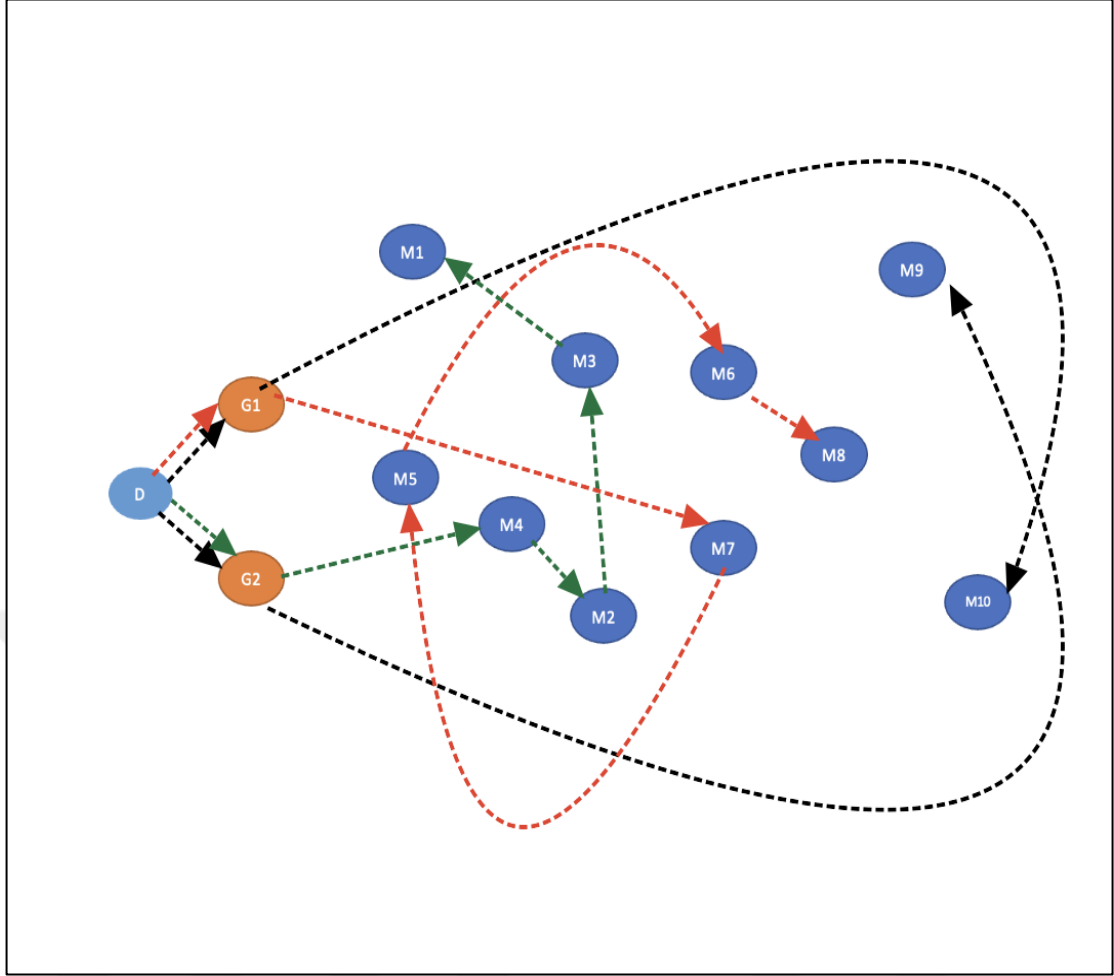
Çizelge 5.1: 10 müşterili durumda gerçek vaka sonuçları.

Rota	Seyahat Süresi (saat)	Taşıma şekli
Depo-G2-M4-M2-M3-M1	258	Parsiyel araç
Depo-G1-M7-M5-M6-M8	324	Parsiyel araç
Depo-G2-M9	218	Komple araç
Depo-G1-M10	278	Komple araç

Çizelge 5.2’de gösterilen taleplerin tümü Şekil 5.2’de gösterilen taşımalar ile tek bir araç ile müşterilere ulaştırılmıştır.

Çizelge 5.2: 10 müşterili durumda araç maliyetleri ve talep miktarları.

Müşteri	Komple Araç Maliyeti (€)	Parsiyel Araç Maliyeti (€)	Talep(kg)
M1	1000	350	3320
M2	1000	350	1111
M3	1100	400	3987
M4	900	300	10050
M5	850	250	8539
M6	1000	350	6479
M7	1000	350	3698
M8	1100	400	1357
M9	1200	450	22774
M10	1200	450	19553



Şekil 5.2: 10 araçlı durumda gerçekleşen rota

### 5.1.1 Ortalama gümrük sürelerine göre modelin çözümü

Çizelge 5.3 Seyahat ve bekleme süreleri matrisinde depo noktası ile gümrük noktaları arasındaki süreler Çizelge 5.1 'de yer alan rota sürelerinin gümrük ve müşteri seyahatleri arasındaki sabit kabul edilen sürenin çıkarıldığında kalan depo ve ilgili gümrük noktası arasındaki seyahat sürelerinin ve taşıyıcıdan göndericiye bildirilen sürelerin ortalamaları alınarak bulunmuştur.

Senaryo 1 altında yer alan durumların her biri IBM OPL ILOG CPLEX 12.10 ile 1 dakika ile 2 dakika arasında çözülmüştür. Çizelge 5.3'te yer alan süre matrisi, gümrük ve müşteri noktaları arasındaki uzaklığın sabit hızlı giden araçların hızlarına bölünmesiyle hesaplanmıştır. Depo ve gümrük noktaları arasındaki süre ise Senaryo 1 altında gerçekleşen rotalardaki depo ve gümrük seyahat sürelerinin ve taşıyıcıdan gelen seyahat sürelerinin ortalamasının alınmasıyla hesaplanmıştır.

Çizelge 5.3: 10 müşterili durumda ortalama gümrük süreleri ile her araç için toplam bekleme ve seyahat süreleri matrisi (saat).

Saat	D	G1	G2	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
D		192	240										
G1				24	24	25	23	22	24	24	25	26	26
G2				38	36	37	34	33	36	35	37	36	38
M1		24	38	0	14	14	16	17	15	13	13	16	15
M2		24	36	14	0	14	15	17	13	14	13	16	15
M3		25	37	14	14	0	15	16	14	14	14	15	15
M4		23	34	16	15	15	0	15	14	14	14	15	15
M5		22	33	17	17	16	15	0	18	18	17	17	19
M6		24	36	15	13	14	14	18	0	13	13	15	15
M7		24	35	13	14	14	14	18	13	0	13	16	16
M8		25	37	13	13	14	14	17	13	13	0	16	15
M9		26	36	16	16	15	15	17	15	16	16	0	15
M10		26	38	15	15	15	15	19	15	16	15	15	0

Vakadan elde edilen bilgiler modele yerleştirilerek  $K= 2,3,4$  ve  $T= 286(12 \text{ gün}), 360(15 \text{ gün}), 408(17 \text{ gün})$  için çözümlenmiştir.

$K=2$  durumu için sonuçlar Çizelge 5.4, Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.4: 10 müşterili durumda ortalama süre ile 2 araç ve  $T \in \{ 286,360, 408 \}$  için rotalar ve toplam maliyetleri.

M=10, K=2	Komple Araç	1.Araç	2.Araç	Maliyet
$T \leq 286$	M9	D- G1-M8-M6-M5-M4-M1	D-G1-M7-M2-M3-M10	4400€
$T \leq 360$	M9	D-G2-M7-M5-M4-M3-M1	D-G1-M8-M10-M6-M2	4400€
$T \leq 408$	M9	D- G1- M8-M6-M5-M4-M1	D- G1-M7- M10-M2-M3	4400€

Çizelge 5.5: 10 müşterili durumda ortalama süre ile 2 araç ile taşınan yük miktarı (kg).

M=10 K =2	Komple Araç	1.Araç	2.Araç
$T \leq 286$	22774	29745	28349
$T \leq 360$	22774	29594	28500
$T \leq 408$	22774	29745	28349

Çizelge 5.6: 10 müşterili durumda ortalama süre ile 2 araç ile toplam süre (saat).

M = 10 K=2	1.Araç	2.Araç
T ≤ 286	279	259
T ≤ 360	337	260
T ≤ 408	279	261

2 araç ile çıkış durumunda araçların kapasitesinin aşılması sebebiyle araçların en son T teslim süreleri dolmadan 1 araç komple yükü çıkış yaparken 2 araç ise kalan 9 müşteriye T'ye atanan süreler içinde teslimatı gerçekleştirmiştir. Bu araçların maliyeti her üç T durumu için de 4400€ olmuştur.

K = 3 için sonuçlar Çizelge 5.7, Çizelge 5.8 ve Çizelge 5.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.7: 10 müşterili durumda ortalama süre ile 3 araç ve  $T \in \{286, 360, 408\}$  için rotalar ve toplam maliyetleri.

M=10 K=3	Komple Araç	1.Araç	2.Araç	3.Araç	Maliyet
T ≤ 286	-	D-G1-M8-M3-M5-M6-M7	D-G1-M4-M10	D-G1-M2-M9-M1	3650€
T ≤ 360	-	D-G1-M8-M9-M7	D-G1-M4-M10	D-G2-M2-M1-M3-M5-M6	3650€
T ≤ 408	-	D-G1-M8-M9-M7	D-G1-M4-M10	D-G2-M2-M3-M5-M6-M1	3650€

Çizelge 5.8: 10 müşterili durumda ortalama süre ile 3 araç ile taşınan yük miktarı (kg).

M=10 K=3	Komple Araç	1.Araç	2.Araç	3.Araç
T ≤ 286	-	24060	29603	27205
T ≤ 360	-	27829	29603	23436
T ≤ 408	-	27829	29603	23436

Çizelge 5.9: 10 müşterili durumda ortalama süre ile 3 araç ile toplam süre (saat).

M = 10 K=3	1.Araç	2.Araç	3.Araç
T ≤ 286	278	230	248
T ≤ 360	249	230	338
T ≤ 408	249	230	339

3 araç ve T teslim sürelerini kapsayan durumda araçların kapasiteleri yeterli gelmiştir ve bu çözümde herhangi bir noktada komple araç kullanılmadan yükler gerekli teslim süreleri içinde müşterilere 3650€ maliyet ile ulaştırılmıştır. Bu maliyet tüm



müşterilerin hizmet gördüğü ve yüklerin parsiyel araç ile taşındığı ve maliyetin daha fazla düşemeyeceği noktadır.

K = 4 için sonuçlar Çizelge 5.10, Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.10: 10 müşterili durumda ortalama süre ile 4 araç ve  $T \in \{ 286,360, 408 \}$  için rotalar ve toplam maliyetleri.

M =10 K=4	Komple Araç	1.Araç	2.Araç	3.Araç	4.Araç	Maliyet
$T \leq 286$	-	D-G1-M1-M7	D-G1-M8-M10	D-G1-M2-M4-M5-M6	D-G1-M3-M9	3650€
$T \leq 360$	-	D-G2-M1-M5-M6	D-G1-M8-M9	D-G2-M2-M7-M10	D-G1-M3-M4	3650€
$T \leq 408$	-	D-G1-M8	D-G1-M2-M6-M10	D-G1-M7-M9	D-G2-M1-M3-M4-M5	3650€

Çizelge 5.11: 10 müşterili durumda ortalama süre ile 4 araç ile taşınan yük miktarı (kg).

M =10 K=4	Komple Araç	1.Araç	2.Araç	3.Araç	4.Araç
$T \leq 286$	-	7018	20910	26179	26761
$T \leq 360$	-	18338	24131	24362	14037
$T \leq 408$	-	1357	27143	26472	25896

Çizelge 5.12: 10 müşterili durumda ortalama süre ile 4 araç ile toplam süre (saat).

M =10 K=4	Komple Araç	1.Araç	2.Araç	3.Araç	4.Araç
$T \leq 286$	-	229	232	264	232
$T \leq 360$	-	313	233	294	232
$T \leq 408$	-	217	244	232	308

Örnek vakada firmanın kullandığı 4 araçlı durumda araçların üç araçlı durumda olduğu gibi tüm T süreli senaryolarda yüklerini teslim etmişlerdir. Dört araçlı durumda yüklemelerin gönderim maliyeti her durumda 3650€ olmuştur.

### 5.1.2 Taşıyıcı tarafından bildirilen gümrük sürelerine göre modelin çözümlenmesi

Taşıyıcıların yük planlamasında kullandığı tek bilgi gümrüklerden gelen bekleme süreleridir. Bu süreler taşıyıcılar tarafından planlama esnasında kullanılan ve ihracatçılara iletilen sürelerden oluşmaktadır. Bu veriler yükleme zamanında direkt

olarak gümrük noktalarından taşıyıcılara verilen tahmini süreleri yansıtmaktadır. Sadece taşıyıcı ve göndericilerin başlangıç bilgisine sahip olduğunda modelin nasıl bir sonuç vereceği bu bölümde incelenecektir.

Çizelge 5.13'te yer alan süre matrisi, taşıyıcıdan ilgili taşıma dönemi için verilen bekleme sürelerine aittir. Bu durumda depo noktasından birinci gümrük noktasına için seyahat ve bekleme süresi taşıyıcı tarafından 214, ikinci gümrük noktası için ise 199 saat olarak verilmiştir. Verilen bu bilgilere göre  $K=2,3,4$  ve  $T \in \{ 286,360, 408 \}$  için çözümler gerçekleştirilmiştir ve optimal senaryo 3 araç ve  $T \leq 286$  durumunda gözlemlenmektedir.

Çizelge 5.13: 10 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için seyahat ve bekleme süreleri matrisi.

	D	G1	G2	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
D		214	199										
G1				24	24	25	23	22	24	24	25	26	26
G2				38	36	37	34	33	36	35	37	36	38
M1		24	38	0	14	14	16	17	15	13	13	16	15
M2		24	36	14	0	14	15	17	13	14	13	16	15
M3		25	37	14	14	0	15	16	14	14	14	15	15
M4		23	34	16	15	15	0	15	14	14	14	15	15
M5		22	33	17	17	16	15	0	18	18	17	17	19
M6		24	36	15	13	14	14	18	0	13	13	15	15
M7		24	35	13	14	14	14	18	13	0	13	16	16
M8		25	37	13	13	14	14	17	13	13	0	16	15
M9		26	36	16	16	15	15	17	15	16	16	0	15
M10		26	38	15	15	15	15	19	15	16	15	15	0

$K = 2$  için sonuçlar Çizelge 5.14, Çizelge 5.15 ve Çizelge 5.16'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.14: 10 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 2 araç ve  $T \in \{ 286,360, 408 \}$  için rotalar ve toplam maliyetleri.

M=10, K=2	Komple Araç	1.Araç	2.Araç	Maliyet (€)
$T \leq 286$	M9-M5	D-G2-M2-M3-M7-M10	D-G2-M4-M6-M8-M1	5.000
$T \leq 360$	M9	D-G2-M8-M10-M2-M1-M7	D-G2-M3-M4-M5-M6	4.400
$T \leq 408$	M9	D-G2-M5-M2-M10	D-G2-M3-M1-M4-M6-M7-M8	4.400

Çizelge 5.15: 10 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 2 araç ve  $T \in \{ 286,360, 408 \}$  için taşınan yük miktarı(kg).

M=10 K=2	Komple Araç	1.Araç	2.Araç
$T \leq 286$	31313	28349	21206
$T \leq 360$	22774	29039	29055
$T \leq 408$	22774	29203	28891

Çizelge 5.16: 10 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 2 araç ve  $T \in \{ 286,360, 408 \}$  için teslim süresi(saat).

M = 10 K=2	1.Araç	2.Araç
$T \leq 286$	279	262
$T \leq 360$	293	284
$T \leq 408$	264	311

Yüklemelerin iki araçlı çıktığı durumda en uygun maliyet yüklerin 360 saat içinde teslim edildiği durumda ortaya çıkmaktadır. Araç arzının az olduğu dönemde yüklerin teslim süresini uzatarak teslim edilmesi uygun bir çözüm olacaktır.

K = 3 için sonuçlar Çizelge 5.17, Çizelge 5.18 ve Çizelge 5.19’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.17: 10 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 3 araç ve  $T \in \{ 286,360, 408 \}$  rotalar için toplam maliyetleri.

M=10, K=3	Komple Araç	1.Araç	2.Araç	3.Araç	Maliyet
$T \leq 286$	-	D-G2-M10-M2-M6	D-G2-M7-M1-M9	D-G2-M5-M3-M4-M8	3.650 €
$T \leq 360$	-	D-G2-M6-M10-M8	D-G2-M5-M1-M2-M4-M7	D-G2-M9-M3	3.650 €
$T \leq 408$	-	D-G2-M4-M10	D-G2-M5-M6-M8-M2-M3	D-G2-M7-M1-M9	3.650 €

Çizelge 5.18: 10 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 3 araç ve  $T \in \{ 286, 360, 408 \}$  için taşınan yük miktarı(kg).

M=10 K =3	Komple Araç	1.Araç	2.Araç	3.Araç
$T \leq 286$	-	27143	29792	23933
$T \leq 360$	-	27389	26718	26761
$T \leq 408$	-	29603	21473	29792

Çizelge 5.19: 10 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 3 araç ve  $T \in \{ 286, 360, 408 \}$  için teslim süresi(saat).

M = 10 K=3	1.Araç	2.Araç	3.Araç
$T \leq 286$	265	263	277
$T \leq 360$	265	292	250
$T \leq 408$	248	290	263

Yüklemelerin 3 araç ile teslim edilmesi durumunda veri setindeki talep miktarı araç kapasitesini geçmediği için komple araca ihtiyaç duyulmadan  $T \leq 286$  durumunda dahi minimum maliyet ile yüklemelerin teslimi sağlanacaktır.

K = 4 için sonuçlar Çizelge 5.20, Çizelge 5.21 ve Çizelge 5.22’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.20: 10 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 4 araç ve  $T \in \{ 286, 360, 408 \}$  için rotalar ve maliyetler.

M=10, K=4	Komple Araç	1.Araç	2.Araç	3.Araç	4.Araç	Maliyet (€)
$T \leq 286$	-	D-G2-M3-M1-M2-M7	D-G2-M4-M8	D-G2-M5-M10	D-G2-M6-M9	3.650
$T \leq 360$	-	D-G2-M3-M1-M2-M7-M8	D-G2-M4-M10	D-G2-M5	D-G2-M6-M9	3.650
$T \leq 408$	-	D-G2-M1-M9	D-G2-M10-M3	D-G2-M7-M5-M6-M8-M2	D-G2-M4	3.650

Çizelge 5.21: 10 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 4 araç ve  $T \in \{ 286,360, 408 \}$  için taşınan yük miktarı(kg).

M=10 K=4	Komple Araç	1.Araç	2.Araç	3.Araç	4.Araç
$T \leq 286$	-	12116	11407	28092	29253
$T \leq 360$	-	13473	29603	8539	29253
$T \leq 408$	-	26094	23540	21184	10050

Çizelge 5.22: 10 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 4 araç ve  $T \in \{ 286,360, 408 \}$  için teslim süresi(saat).

M = 10 K=4	1.Araç	2.Araç	3.Araç	4.Araç
$T \leq 286$	278	247	251	250
$T \leq 360$	291	248	232	250
$T \leq 408$	253	252	296	233

Gerçekleşen verilerdeki araç sayısı uygun şekilde rotalandığı takdirde komple araçlar için üstlenilen maliyet sıfıra inmektedir. Bu şartlar altında en kısa teslim süresi olan 286 saat içinde de optimal maliyeti vermektedir.

## 5.2 On Dört Müşteri K Araçlı Senaryo

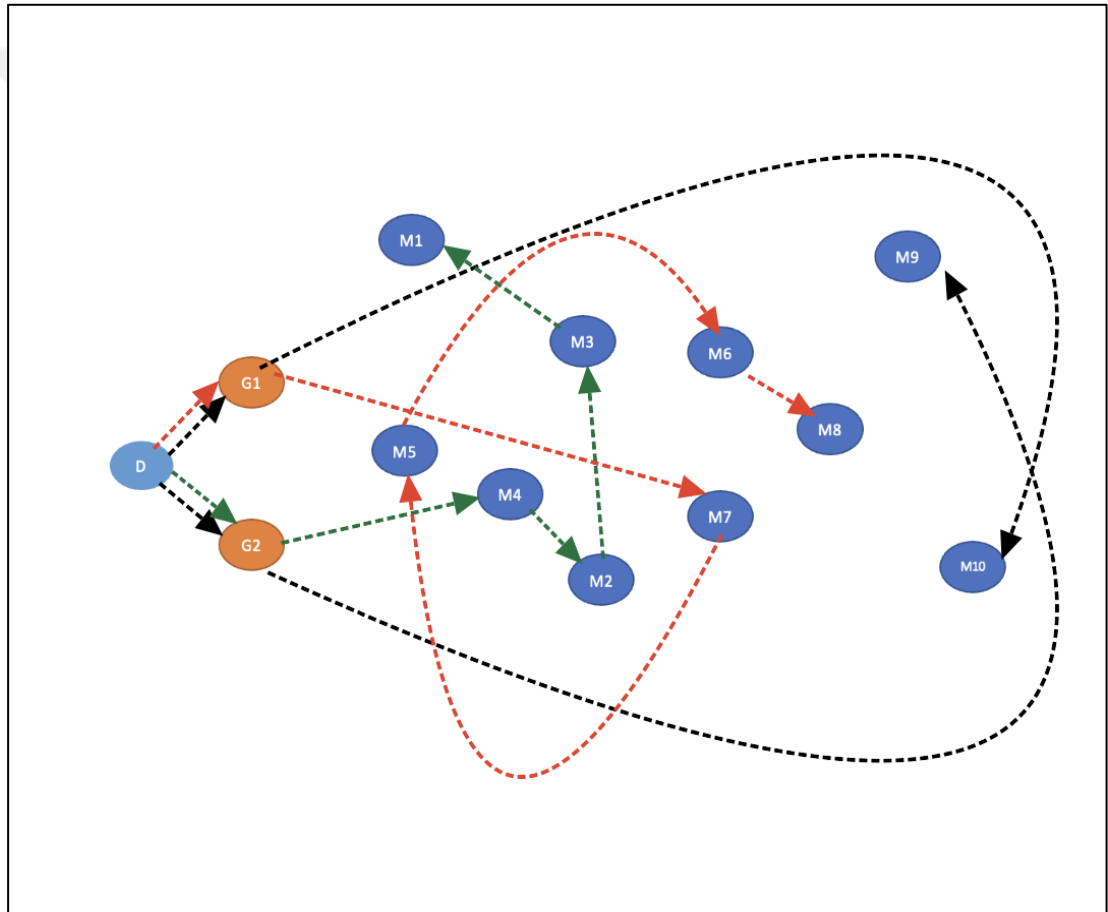
İkinci senaryoda depodan çıkan araçların toplam 14 müşteriye Çizelge 5.24'te belirtilen yüklerini teslim etmesi beklenmektedir. Vakada yapılan atamalara göre göndericiye tahsis edilen araçların rotaları Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Ürünlerin teslimi için firmanın müşterilerine teslim taahhüdü verdiği süre 360 saattir ancak Çizelge 5.23'e bakıldığında birinci rotada ürünlerin tesliminin toplam 504 saatte gerçekleştiği görülmüştür. Bu örnekte yükler için gecikme mevcut olup firmanın taşıyıcıya ödediği ücret 5550€'dur.

Çizelge 5.23: 14 müşterili durumda gerçek vaka sonuçları.

Gerçekleşen Rota	Gerçekleşen Süre (saat)	Taşıma şekli
Depo-G1-M4-M1-M3-M2-M6-M7-M8-M10-M11-M13	504	Parsiyel araç
Depo-G2-M12-M14	264	Parsiyel araç
Depo-G2-M5	192	Komple araç
Depo-G1-M9	264	Komple araç

Çizelge 5.24: 14 müşterili durumda araç maliyetleri ve talep miktarları.

Müşteri	Komple Araç Maliyeti (€)	Parsiyel Araç Maliyeti (€)	Talep(kg)
M1	900	300	1357
M2	1000	350	7193
M3	900	300	6300
M4	850	275	8799
M5	850	275	21568
M6	900	300	200
M7	850	275	105
M8	850	275	105
M9	900	300	9368
M10	1000	350	940
M11	1200	450	700
M12	900	300	3698
M13	1000	350	7426
M14	850	275	1335



Şekil 5.3: 14 araçlı durumda gerçekleşen rota

### 5.2.1 Ortalama bildirilen gümrük sürelerine göre modelin çözümü

Senaryo 2 altında yer alan yan senaryoların her biri Model IBM OPL ILOG CPLEX 12.10 ile 1 ile 2 dakika arasında çözülmüştür. Bu senaryoda Çizelge 5.25'te gösterilen depo ve gümrükler arasındaki seyahat süreleri, taşıyıcıdan gelen süreler ve gerçekleşen taşıma sürelerinin ortalaması alınarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.25: 14 müşterili durumda ortalama gümrük süreleri ile her araç için toplam bekleme ve seyahat süreleri matrisi (saat).

	D	G1	G2	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14
D		254	228														
G1				36	36	36	34	34	33	34	34	32	31	38	35	32	34
G2				23	24	23	21	21	23	18	18	23	24	26	23	24	21
M1		36	23	0	13	13	16	16	17	27	27	22	19	15	14	16	15
M2		36	24	13	0	14	16	16	17	27	27	22	18	16	14	16	15
M3		36	23	13	14	0	16	16	17	26	25	21	18	15	13	16	14
M4		34	21	16	16	16	0	13	16	27	27	18	15	19	17	13	16
M5		34	21	16	16	16	13	0	16	27	27	18	15	19	17	13	16
M6		33	23	17	17	17	16	16	0	25	22	18	14	20	17	13	16
M7		34	18	27	27	26	27	27	25	0	13	30	29	29	27	23	25
M8		34	18	27	27	25	27	27	22	13	0	30	29	29	27	23	25
M9		32	23	22	22	21	18	18	18	30	30	0	17	13	25	18	21
M10		31	24	19	18	18	15	15	14	29	29	17	0	21	19	15	18
M11		38	26	15	16	15	19	19	20	29	29	13	21	0	16	19	17
M12		35	23	14	14	13	17	17	17	27	27	25	19	16	0	17	14
M13		32	24	16	16	16	13	13	13	23	23	18	15	19	17	0	16
M14		34	21	15	15	14	16	16	16	25	25	21	18	17	14	16	0

K = 2 için sonuçlar Çizelge 5.26, Çizelge 5.27 ve Çizelge 5.28’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.26: 14 müşterili durumda ortalama süre ile 2 araç ve  $T \in \{ 286, 360, 408 \}$  için rotalar ve toplam maliyetleri.

M =14 K=2	Komple Araç	1.Araç	2.Araç	Maliyet(€)
$T \leq 286$	M1-M3-M4-M5-M7-M8-M12-M14	D-G2-M10-M6-M2	D-G2-M9-M11 -M13	9050
$T \leq 360$	M5	D-G2-M6-M2-M4-M8-M10-M12	D-G2- M7-M1-M3-M9-M11-M14- M13	4950
$T \leq 408$	M5	D-G2-M8-M2-M4-M9-M10	D-G2-M6-M1-M3-M7-M11-M12-M13-M14	4950

Çizelge 5.27: 14 müşterili durumda ortalama süre ile 2 araç ile taşınan yük miktarı (kg).

M =14 K=2	Komple Araç	1.Araç	2.Araç
$T \leq 286$	43267	8333	17494
$T \leq 360$	21568	20935	26591
$T \leq 408$	21568	26405	21121

Çizelge 5.28: 14 müşterili durumda ortalama süre 2 araç ile toplam süre (saat).

M =14 K=2	1.Araç	2.Araç
$T \leq 286$	284	283
$T \leq 360$	359	359
$T \leq 408$	336	336

2 araçlı senaryoda  $T = 286$  iken 8 müşteri komple araç ile hizmet almaktadır. Bu senaryo altında kapasite ve zaman yeterliliği sağlanamadığı için yükler bu senaryonun en yüksek maliyeti olan 9050€ ile taşınabilmektedir.  $T$  süre 360 saat ve 408 saat olarak belirlendiğinde komple araç ile hizmet alan müşteri sadece M5 olmaktadır. Ve bu senaryoların maliyeti 4950€'dur.

$K = 3$  için sonuçlar Çizelge 5.29, Çizelge 5.30 ve Çizelge 5.31'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.29: 14 müşterili durumda ortalama süre ile 3 araç ve  $T \in \{286, 360, 408\}$  için rotalar ve toplam maliyetleri.

M=14 K=3	Komple Araç	1.Araç	2.Araç	3.Araç	Maliyet(€)
$T \leq 286$	M4-M5-M7-M8-M14	D-G2-M9-M6-M3	D-G2-M10-M1-M2	D-G2-M13-M12-M11	7250
$T \leq 360$	-	D-G2-M7-M4-M9	D-G2-M3-M2-M6-M10-M12-M13-M14	D-G1-M8-M1-M5-M11	4375
$T \leq 408$	-	D-G2-M8-M2-M9-M10-M14	D-G1-M4-M7-M11-M12-M13	D-G2-M6-M1-M3-M5	4375

Çizelge 5.30: 14 müşterili durumda ortalama süre ile 3 araç ile taşınan yük miktarı (kg).

M=14 K=3	Komple Araç	1.Araç	2.Araç	3.Araç
$T \leq 286$	31912	15868	9490	11824
$T \leq 360$	-	18272	27092	23730
$T \leq 408$	-	18941	20728	29425

Çizelge 5.31: 14 müşterili durumda ortalama süre ile 3 araç ile toplam süre (saat).

M=14 K=3	1.Araç	2.Araç	3.Araç
$T \leq 286$	286	283	285
$T \leq 360$	291	351	350
$T \leq 408$	330	343	297

İkinci senaryoda araç sayısı üçe çıkarıldığında parsiyel olarak hizmet veren araçların kapasiteleri arttığı için  $T$  sürenin 286'ya indirilmesi durumunda komple araç ile yükleri teslim edilen müşteriler M4-M5-M7-M8 ve M14 olurken maliyet 7250€ olmaktadır.



K = 4 için sonuçlar Çizelge 5.32, Çizelge 5.33 ve Çizelge 5.34'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.32: 14 müşterili durumda ortalama süre ile 4 araç ve  $T \in \{286, 360, 408\}$  için rotalar ve toplam maliyetleri.

M=14 K=4	Komple Araç	1.Araç	2.Araç	3.Araç	4.Araç	Maliyet(€)
$T \leq 286$	M7-M8	D-G2-M1-M2-M12	D-G2-M3-M6-M9	D-G2-M10-M5-M11	D-G2-M14-M4-M13	5525
$T \leq 360$	-	D-G1-M10-M1-M2-M3-M4	D-G1-M6-M5-M7-M12	D-G1-M9-M11-M14	D-G1-M13-M8	4375
$T \leq 408$	-	D-G2-M10-M11-M12-M8-M7-M4-M3-M2-M1	D-G2-M9-M14	D-G2-M13-M5	D-G2-M6	4375

Çizelge 5.33: 14 müşterili durumda ortalama süre ile 4 araç ile taşınan yük miktarı (kg).

M=14 K=4	Komple Araç	1.Araç	2.Araç	3.Araç	4.Araç
$T \leq 286$	210	12248	15868	23208	17560
$T \leq 360$	-	24589	25571	11403	7531
$T \leq 408$	-	29197	10703	28994	200

Çizelge 5.34: 14 müşterili durumda ortalama süre ile 4 araç ile toplam süre (saat).

M=14 K=4	1.Araç	2.Araç	3.Araç	4.Araç
$T \leq 286$	278	286	286	278
$T \leq 360$	347	357	316	309
$T \leq 408$	399	272	265	251

Yükler 4 araç ile taşındığı durumda zaman kısıtı nedeniyle  $T = 286$  durumunda M7 ve M8 müşteri teslim noktaları için komple araç ile teslimat sağlamaktadır. Bu noktada maliyet 6075€ olurken  $T = 360$  ve  $T = 408$  durumlarında maliyet 4375€ olarak çözümlenmiştir.

### 5.2.2 Taşıyıcı tarafından bildirilen gümrük sürelerine göre modelin çözümü

Bu bölümde 14 müşterili durumda taşıyıcının verdiği depo noktasından gümrük noktalarına seyahat ve bekleme sürelerine göre model çözümlenmiştir. İletilen sürede Çizelge 5.35'te gösterildiği gibi birinci gümrük noktası için süre 214 saat olurken ikinci gümrük noktası için 287 saat olarak hesaplanmıştır. Bu durumda maliyet olarak optimal sonuç 3 araç  $T \leq 360$  noktasından itibaren 4375€ ile gözlemlenmektedir.

Çizelge 5.35: 14 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için seyahat ve bekleme süreleri matrisi.

	D	G1	G2	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14
D		214	287														
G1				36	36	36	34	34	33	34	34	32	31	38	35	32	34
G2				23	24	23	21	21	23	18	18	23	24	26	23	24	21
M1		36	23	0	13	13	16	16	17	27	27	22	19	15	14	16	15
M2		36	24	13	0	14	16	16	17	27	27	22	18	16	14	16	15
M3		36	23	13	14	0	16	16	17	26	25	21	18	15	13	16	14
M4		34	21	16	16	16	0	13	16	27	27	18	15	19	17	13	16
M5		34	21	16	16	16	13	0	16	27	27	18	15	19	17	13	16
M6		33	23	17	17	17	16	16	0	25	22	18	14	20	17	13	16
M7		34	18	27	27	26	27	27	25	0	13	30	29	29	27	23	25
M8		34	18	27	27	25	27	27	22	13	0	30	29	29	27	23	25
M9		32	23	22	22	21	18	18	18	30	30	0	17	13	25	18	21
M10		31	24	19	18	18	15	15	14	29	29	17	0	21	19	15	18
M11		38	26	15	16	15	19	19	20	29	29	13	21	0	16	19	17
M12		35	23	14	14	13	17	17	17	27	27	25	19	16	0	17	14
M13		32	24	16	16	16	13	13	13	23	23	18	15	19	17	0	16
M14		34	21	15	15	14	16	16	16	25	25	21	18	17	14	16	0

K = 2 için sonuçlar Çizelge 5.36, Çizelge 5.37 ve Çizelge 5.38’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.36: 14 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 2 araç ve  $T \in \{286, 360, 408\}$  rotalar ve toplam maliyetleri.

M=10, K=2	Komple Araç	1.Araç	2.Araç	Maliyet (€)
$T \leq 286$	M4-M5-M7-M8-M12-M14-M9-M3	D-G1-M13-M6-M11	D-G1-M10-M1-M2	9.050
$T \leq 360$	M5	D-G1-M7-M4-M6-M9-M13-M14	D-G1-M8-M1-M2-M3-M10-M11-M12	4.950
$T \leq 408$	M5	D-G1-M8-M1-M2-M9-M11-M12	D-G2-M7-M3-M4-M6-M10-M13-M14	4.950

Çizelge 5.37: 14 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 2 araç ve  $T \in \{286, 360, 408\}$  için taşınan yük miktarı(kg).

M=10 K =2	Komple Araç	1.Araç	2.Araç
$T \leq 286$	51278	8326	9490
$T \leq 360$	21568	27233	20293
$T \leq 408$	21568	22421	25105

Çizelge 5.38: 14 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 2 araç ve  $T \in \{286, 360, 408\}$  için teslim süresi(saat).

M = 10 K=2	1.Araç	2.Araç
$T \leq 286$	279	277
$T \leq 360$	343	357
$T \leq 408$	339	408

On dört müşteriye sahip durumda taşıyıcıdan alınan süre bilgisiyle yüklemelerin teslimi için en yüksek maliyet 2 araçlı durumda ve  $T \leq 286$  iken oluşmaktadır. Bu durum gerçekleşen durumdaki maliyetten yüksektir ancak diğer iki araçlı durumlarda teslim süresi genişletildiği için yüklemelerin teslim maliyeti gerçekleşen yüklemelerin maliyetinden düşüktür.

K = 3 için sonuçlar Çizelge 5.39, Çizelge 5.40 ve Çizelge 5.41’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.39: 14 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 3 araç ve  $T \in \{ 286,360, 408 \}$  için rotalar ve toplam maliyetleri.

M=10, K=3	Komple Araç	1.Araç	2.Araç	3.Araç	Maliyet (€)
$T \leq 286$	M4-M5-M7-M8-M14	D-G1-M9-M6-M3	D-G1-M10-M1-M2	D-G1-M13-M12-M11	7.250
$T \leq 360$	-	D-G1-M11-M2-M4-M8-M10-M13	D-G1-M7-M1-M5-M12	D-G1-M6-M3-M9-M14	4.375
$T \leq 408$		D-G2-M8-M2-M9-M10-M14	D-G1-M4-M7-M11-M12-M13	D-G2-M6-M1-M3-M5	4.375

Çizelge 5.40: 14 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 3 araç ve  $T \in \{ 286,360, 408 \}$  için taşınan yük miktarı(kg).

M=10 K=3	Komple Araç	1.Araç	2.Araç	3.Araç
$T \leq 286$	31912	15868	9490	11824
$T \leq 360$	-	25163	26728	17203
$T \leq 408$	-	18941	20728	29425

Çizelge 5.41: 14 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 3 araç ve  $T \in \{ 286,360, 408 \}$  için teslim süresi(saat).

M = 10 K=3	1.Araç	2.Araç	3.Araç
$T \leq 286$	281	277	279
$T \leq 360$	340	308	306
$T \leq 408$	389	337	356

Yüklemeler için tayin edilen araç sayısı üçe çıkarıldığı takdirde araçların teslim sürelerinin kısalığı nedeniyle  $T \leq 286$  durumunda yüklemelerin teslim maliyeti yüksekken teslim süresinin uzaması ile yüklemelerin maliyeti minimum olarak belirlenmiştir.

K = 4 için sonuçlar Çizelge 5.42, Çizelge 5.43 ve Çizelge 5.44'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.42: 14 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 4 araç ve  $T \in \{286, 360, 408\}$  için rotalar ve toplam maliyetleri.

M=10, K=4	Komple Araç	1.Araç	2.Araç	3.Araç	4.Araç	Maliyet (€)
$T \leq 286$	M7 -M8	D-G1-M2-M11-M14	D-G1-M9-M1-M4	D-G1-M6-M5-M10	D-G1-M3-M12-M13	5.550
$T \leq 360$	-	D-G1-M13	D-G1-M9	D-G1-M6-M5-M12-M14	D-G1-M10-M4-M1-M2-M3-M11-M7-M8	4.375
$T \leq 408$	-	D-G1-M10-M11-M12-M1-M2-M3-M4-M7-M8	D-G1-M6-M5-M14	D-G1-M9	D-G1-M13	4.375

Çizelge 5.43: 14 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 4 araç ve  $T \in \{286, 360, 408\}$  için taşınan yük miktarı(kg).

M=10 K=4	Komple Araç	1.Araç	2.Araç	3.Araç	4.Araç
$T \leq 286$	210	9228	19524	22708	17424
$T \leq 360$	-	7426	9368	26801	25499
$T \leq 408$	-	29197	23103	9368	7426

Çizelge 5.44: 14 müşterili durumda taşıyıcıdan iletilen gümrük süreleri için 4 araç ve  $T \in \{286, 360, 408\}$  için teslim süresi(saat).

M = 10 K=4	1.Araç	2.Araç	3.Araç	4.Araç
$T \leq 286$	283	284	278	280
$T \leq 360$	246	246	294	360
$T \leq 408$	379	279	246	246

4 araçlık durumda ise teslim sürelerinin yeterli olmaması nedeniyle  $T \leq 286$  kısıtı altında yüklemeler için maliyet 4 araçla taşınan vaka örneği ile aynı maliyet noktasındadır. Yüklemeler için müşteriye taahhüt edilen süre 360 saat olduğu için bu süre içindeki  $T \leq 360$  rotası yüklemelerin teslimi için kullanılarak minimum maliyet ile yüklerin teslimi gerçekleştirilebilir.

### 5.3 Örnek Büyük Veri Seti Üzerinde Modelin Uygulanması

Vaka çalışmasına ait veri setleri küçük bir örneklem oluşturmaktadır. Modelin büyük veri setlerine uygulanabilirliğini kontrol etmek adına RStudio 4.0.2 versiyonunda

model için veri üretilmiştir. Süre matrisi problemin doğasına uygun olarak simetrik olarak 30X30 olarak oluşturulmuştur. Bu veri seti için 1 depo noktası, 2 gümrük noktası ve 27 müşteri noktası bulunmaktadır. Çizelge 5.45'te gösterilen talep, parsiyel ve komple araç maliyetleri için ise yine 1X30'luk bir matris üretilerek dahil edilmiştir. Bu problem T süresi 360 olarak sabit kalacak şekilde 10 ve 15 araç için IBM OPL ILOG CPLEX 12.10 ile çözülmüştür. 10 araç ile model çalıştırıldığında iterasyonu arttırarak çözüm süresini büyüttüğü için çözüm süresi iki saat ile kısıtlanmış ve %0,71'lik GAP ile sonuca ulaşılmıştır. Çizelge 5.46'da bulunan çözümler incelendiğinde 10 araç ile çıkan sonuçta yüklerin toplam ağırlığı mevcut araçların kapasitesini aştığı için talep edilen süre içerisinde komple araçlar ile taşıma maliyeti en az olan müşterilerin komple araçlara atandığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.47'de yer alan sonuçları yer alan 15 araçlık çözüm müşterilerin talep ettiği ürün ağırlıkları araçların toplam kapasitesinin altında kalmıştır ve bu sayede tüm müşteri noktaları için parsiyel araçla teslimat gerçekleştirilmiştir ve en iyi sonuç alınmıştır. 15 araç ile gerçekleşen çözüm 14 dakikada çözüme ulaşmıştır.

Çizelge 5.45: 30x30 matrisi için talep miktarı, komple ve parsiyel araç ile taşıma maliyeti.

Müşteri	Parsiyel Araç Taşıma Maliyeti (€)	Komple Araç Taşıma Maliyeti (€)	Talep (KG)
M1	614	1414	18946
M2	662	1462	18994
M3	378	1178	26902
M4	725	1013	25201
M5	394	1194	28966
M6	317	1425	3085
M7	498	1305	1941
M8	428	1117	25817
M9	443	1298	3470
M10	213	1228	29809
M11	573	1243	11737
M12	290	1013	4860
M13	547	1373	6845
M14	554	1152	26302
M15	225	1089	16227
M16	718	1090	2856
M17	625	1255	21590
M18	410	1196	29886
M19	789	1498	25628
M20	792	1090	12735
M21	754	1440	9308
M22	572	1347	10304
M23	342	1136	13766
M24	743	1476	2987
M25	689	1354	6269
M26	222	1327	19050
M27	508	1025	9741

Çizelge 5.46: 30x30 matris için 10 araçlı durumda rota, süre ve teslim edilen yük miktarı bilgisi.

Araç sayısı	Rota	Teslim süresi (saat)	Taşınan yük miktarı (kg)	Maliyet (€)
1	D-G1-M16-M13-M26	130	28751	16.684
2	D-G1-M21-M2	83	28302	
3	D-G1-M10	79	29809	
4	D-G1-M5	66	28966	
5	D-G1-M6-M11-M12-M27	199	29423	
6	D-G2-M24-M3	94	29889	
7	D-G1-M22-M1	107	29250	
8	D-G2-M23-M15	77	29993	
9	D-G1-M19-M9	118	29098	
10	D-G1-M7-M25-M17	128	29800	
Komple Araç	M4-M8-M14-M18-M20	-	119941	

Çizelge 5.47: 30x30 matris için 15 araçlı durumda rota, süre ve teslim edilen yük miktarı bilgisi.

Araç sayısı	Rota	Teslim süresi(saat)	Taşınan yük miktarı (kg)	Maliyet (€)
1	D-G1-M13-M17	116	28435	14.025
2	D-G2-M2-M21	79	28302	
3	D-G2-M5	62	28966	
4	D-G1-M10	79	29809	
5	D-G2-M26	68	19050	
6	D-G2-M7	52	1941	
7	D-G1-M23-M11	113	25503	
8	D-G1-M4	80	25201	
9	D-G2-M18	70	29886	
10	D-G1-M25-M20-M12	131	23864	
11	D-G2-M3-M6	99	29987	
12	D-G2-M9-M8	80	29287	
13	D-G1-M22-M1	112	29250	
14	D-G1-M16-M17-M27	143	34187	
15	D-G2-M24-M19	93	28615	
Komple Araç	-	-	-	

15 araç ve  $T \leq 360$  durumunda yüklerin hepsi parsiyel olarak teslim edildiği için model büyük veri setinde ve 15 araç durumundaki çözüm performansının kontrol edilmesi için T süresi 100 iken denenmiştir. Bu kısıtlar altında model tek bir müşteriyi komple araca atayarak çözümü gerçekleştirmiştir. 15 araç durumunda  $T \leq 360$  kısıtları altında 100 saat üzerine çıkan rotalar mevcutken süre kısıtı  $T \leq 100$  olduğunda Çizelge 5.48'de gözlemlendiği gibi tüm teslim süreleri bu noktanın altına indirilerek en iyi çözüm sağlanmıştır.

Çizelge 5.48: 30x30 matris için 15 araçlı durumda  $T \leq 100$  süre ve teslim edilen yük miktarı bilgisi

Araç Sayısı	Rota	Teslim süresi(saat)	Taşınan yük miktarı kg	Maliyet (€)
1	D-G1-M21	64	9308	14313
2	D-G2-M24-M14	94	29289	
3	D-G2-M10	56	29809	
4	D-G2-M27-M22	82	20045	
5	D-G2-M1-M12	99	23806	
6	D-G1-M16-M19	99	28484	
7	D-G1-M15-M20	91	28962	
8	D-G1-M5	66	28966	
9	D-G2-M3-M7	94	28843	
10	D-G2-M17-M6	74	24675	
11	D-G2-M9-M8	80	29287	
12	D-G1-M18	81	29886	
13	D-G1-M26-M25	94	25319	
14	D-G2-M23-M11	78	25503	
15	D-G2-M13-M2	86	25839	
Komple Araç	M4	-	25201	

#### 5.4 Örnek Veri Seti Üzerinde Gümrük Sürelerinin Değiştirilerek Modelin Uygulanması

Gümrük noktalarındaki bekleme sürelerinin rota ve taşıma süresine etkilerini görebilmek için araç sayısı, maliyet ve gümrük ve müşteri noktaları arası taşıma süresi sabit kalacak şekilde incelenmiştir. Bu noktada araç miktarı tüm yüklemelerin kapasitesinden büyük olacak şekilde tercih edilerek tüm parametreler aynı iken depo ve gümrük noktaları arasındaki değişikliğin rotalar üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Bu veri setinde hızlı bir çözüm sağlamak için 1 depo, 2 gümrük noktası ve 15 müşteri noktası oluşturacak şekilde RStudio 4.0.2 'de oluşturulan 18x18'lik simetrik matris ile çözümlenmiştir. Her iki modelin çözümü de IBM OPL ILOG CPLEX 12.10 ile gerçekleştirilmiş ve 1,17 dakikada çözülmüştür. T teslim süresi 160 saat ile ve araç sayısı 5 ile sabit kalacak şekilde gümrük bekleme ve seyahat süreleri değiştirilerek model tekrar çözümlenmiştir.

Bu veri setinde ilk durum için Çizelge 5.50'da belirtildiği gibi 1. Gümrükte bekleme ve seyahat süresi 34 saat iken 2. Gümrükteki süre 30 saat olarak alınmıştır. Bu durumda depo noktasından çıkış yapan araçlardan 3 tanesi 2. gümrük noktası üzerinden çıkışını gerçekleştirirken geriye kalan 2 araç 1. gümrük üzerinden seyahatine başlamıştır. İkinci durumda Çizelge 5.52'de gösterildiği gibi 1. gümrük noktasındaki bekleme ve seyahat süresi 30 iken 2.gümrük noktasına atanan süre 34

olmuştur. Bu durum için tüm araçlar 1.gümrük noktası üzerinden ziyaret ederek rotalarını oluşturmuştur.

Sonuç olarak, yükleme maliyetleri, araç sayısı, depo-gümrük taşıma süreleri hariç tüm süreler sabit iken aynı minimum maliyet ile seyahat eden araçların model çerçevesinde en uygun ve kısa rotaları seçtiği görülmektedir. Bu noktada Çizelge 5.49’da gösterilen maliyetler ve taleplerde değişiklik olmadan yalnızca gümrük süreleri değiştirilerek modelin aynı şartlar altında seyahat sürelerini göz önüne aldığı gösterilmiştir. Her iki durumda da seyahat süresi ve araç sayısı yüklemelerin komple araç ile çıkmasına gerek kalmayacağı bir sınırdaki olduğu için Çizelge 5.51 ve Çizelge 5.53’ de gösterildiği gibi maliyet en iyi sonuç olan 6861€ ile alınmıştır. Ancak her iki çözümde de her araç için teslim süreleri farklılık göstermiştir.

Çizelge 5.49: 15 müşterili örnek veri seti için maliyetler ve talepler.

	Parsiyel Araç Maliyeti (€)	Komple Araç Maliyeti (€)	Talep (kg)
M1	614	1414	18946
M2	662	1462	18994
M3	378	1178	3085
M4	725	1013	1941
M5	394	1194	3470
M6	317	1425	11737
M7	498	1305	4860
M8	428	1117	6845
M9	443	1298	16227
M10	213	1228	2856
M11	573	1243	12735
M12	290	1013	9308
M13	547	1373	10304
M14	554	1152	13766
M15	225	1089	2987

Çizelge 5.50: 15 müşteri için 1. durumdaki seyahat ve bekleme süreleri(saat).

	D	G1	G2	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
D		34	30															
G1				44	34	27	37	34	38	40	36	34	26	42	32	33	38	28
G2				34	46	33	42	34	29	40	28	40	33	43	33	24	32	26
M1		44	34	0	28	31	35	29	31	47	38	32	28	35	36	35	31	28
M2		34	46	28	0	35	44	28	38	29	34	28	26	26	30	36	41	29
M3		27	33	31	35	0	36	25	45	30	31	29	33	38	39	36	30	28
M4		37	42	35	44	36	0	40	33	42	29	46	38	45	33	32	30	32
M5		34	34	29	28	25	40	0	40	33	27	34	29	45	41	31	44	26
M6		38	29	31	38	45	33	40	0	30	24	29	35	28	41	42	37	30
M7		40	40	47	29	30	42	33	30	0	26	43	35	39	37	29	34	36
M8		36	28	38	34	31	29	27	24	26	0	45	24	31	28	35	34	22
M9		34	40	32	28	29	46	34	29	43	45	0	37	32	44	30	21	42
M10		26	33	28	26	33	38	29	35	35	24	37	0	28	35	37	32	40
M11		42	43	35	26	38	45	45	28	39	31	32	28	0	31	35	35	37
M12		32	33	36	30	39	33	41	41	37	28	44	35	31	0	34	18	26
M13		33	24	35	36	36	32	31	42	29	35	30	37	35	34	0	42	36
M14		38	32	31	41	30	30	44	37	34	34	21	32	35	18	42	0	34
M15		28	26	28	29	28	32	26	30	36	22	42	40	37	26	36	34	0



Çizelge 5.51: 15 müşteri örnek veri seti 1. durumda için rota, taşınan yük, taşıma süresi ve maliyetler.

Araç Numarası	Rota	Taşınan yük(kg)	Taşıma süresi(saat)	Maliyet (€)
1	D-G2-M13-M10-M15-M11	28882	131	6861
2	D-G2-M5-M6-M14	28973	141	
3	D-G1-M9-M3-M12	28620	142	
4	D-G1-M2-M7	23854	97	
5	D-G2-M8-M4-M1	27732	130	
Komple Araç	-	-	-	

Çizelge 5.52: 15 müşteri için 2. durumda seyahat ve bekleme süreleri(saat).

	D	G1	G2	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
D		30	34															
G1				44	34	27	37	34	38	40	36	34	26	42	32	33	38	28
G2				34	46	33	42	34	29	40	28	40	33	43	33	24	32	26
M1		44	34	0	28	31	35	29	31	47	38	32	28	35	36	35	31	28
M2		34	46	28	0	35	44	28	38	29	34	28	26	26	30	36	41	29
M3		27	33	31	35	0	36	25	45	30	31	29	33	38	39	36	30	28
M4		37	42	35	44	36	0	40	33	42	29	46	38	45	33	32	30	32
M5		34	34	29	28	25	40	0	40	33	27	34	29	45	41	31	44	26
M6		38	29	31	38	45	33	40	0	30	24	29	35	28	41	42	37	30
M7		40	40	47	29	30	42	33	30	0	26	43	35	39	37	29	34	36
M8		36	28	38	34	31	29	27	24	26	0	45	24	31	28	35	34	22
M9		34	40	32	28	29	46	34	29	43	45	0	37	32	44	30	21	42
M10		26	33	28	26	33	38	29	35	35	24	37	0	28	35	37	32	40
M11		42	43	35	26	38	45	45	28	39	31	32	28	0	31	35	35	37
M12		32	33	36	30	39	33	41	41	37	28	44	35	31	0	34	18	26
M13		33	24	35	36	36	32	31	42	29	35	30	37	35	34	0	42	36
M14		38	32	31	41	30	30	44	37	34	34	21	32	35	18	42	0	34
M15		28	26	28	29	28	32	26	30	36	22	42	40	37	26	36	34	0

Çizelge 5.53: 15 müşteri için 2. durumda rota, taşınan yük, taşıma süresi ve maliyetler.

Araç Numarası	Rota	Taşınan yük(kg)	Taşıma süresi(saat)	Maliyet (€)
1	D-G1-M2-M13	29298	100	6861
2	D-G1-M9-M4-M12	27476	143	
3	D-G1-M5-M6-M14	28973	141	
4	D-G1-M3-M7-M10-M11	23536	150	
5	D-G1-M15-M8-M1	28778	118	
Komple Araç	-	-	-	

## 6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada kullanılan veri setleri ihracatçı bir firmanın geçmiş senelerde gerçekleştirdiği Avrupa gönderilerinin müşteri talepleri, teslim süreleri, maliyetleri ve rotalarını içeren gerçek bir vakadan alınmıştır. Geliştirilen model farklı durum ve müşteri sayıları üzerinde uygulanmıştır.

Geliştirilen model 2,3 ve 4 araç üzerinden ve firmanın müşterilere sunduğu 15 gün (360 saat) ile bir ceza maliyeti olmadığı için 17 günlük (408 saat) süre ve erken teslim durumundaki senaryoyu öngörmek adına 12 gün (286 saat) olmak üzere test edilmiştir.

İlk senaryoda gerçekleşen vaka durumunda 10 müşteri üzerinde 2 araç komple araç ile direkt müşteriye yönlendirilmiş, 2 araç ise farklı müşterileri dolaşarak parsiyel araç ile ürünleri teslim etmiştir. Çizelge 6.1’de ortalama depo-gümrük seyahat süreleri baz alındığında, vakanın gerçekleşen sonucu 5150€ iken üçüncü araç itibariyle maliyet 3650€ maliyeti ile %71 oranında iyileştirme sağladığı görülmüştür. Yüklemelerin taşıyıcıdan gelen bilgiler ışığında organize edilmesi durumunda birinci senaryoda 2 araç ve  $T \leq 286$  durumunda maliyetin arttığı Çizelge 6.2’de gözlemlense de  $K=2$  ve  $T \leq 360$   $K=3,4$  durumlarında  $T \leq 286,360,408$  durumlarındaki maliyetler ortalama süre ile oluşturulan rotaların maliyetleri ile aynıdır. (Şekil 6.1 ve Şekil 6.2)

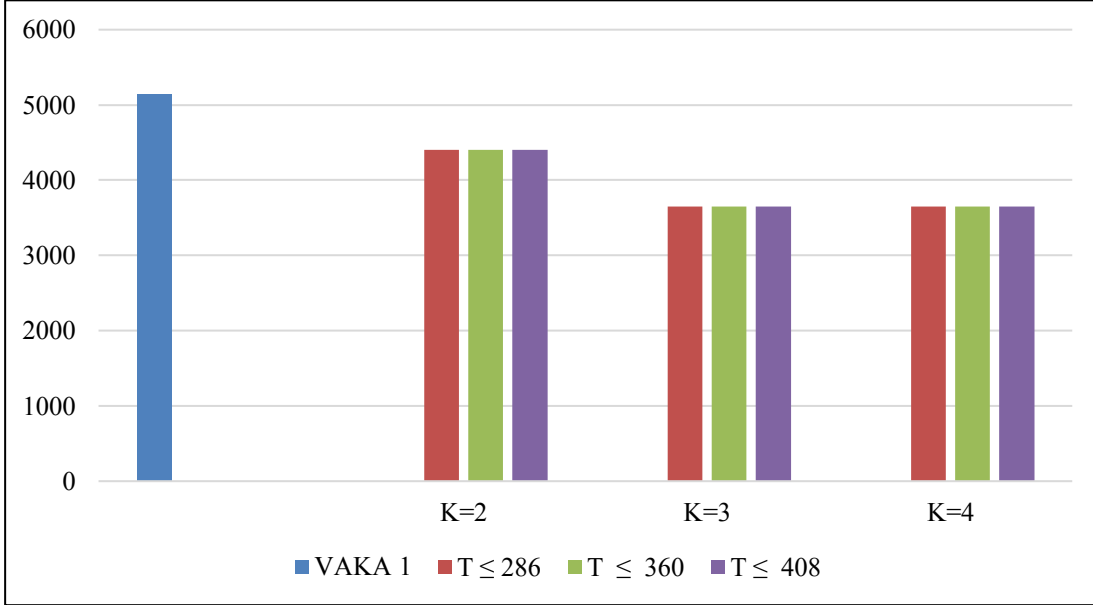
Bu model vaka üzerinde uygulandığı takdirde ihracatçı firma maliyetini yüksek oranda düşürürken taşıyıcı ise başka bir yüklemde kullanabileceği bir araç dahil etmiş olacaktır.

Çizelge 6.1: Senaryo 1 için ortalama süre ile tüm senaryo maliyetleri.

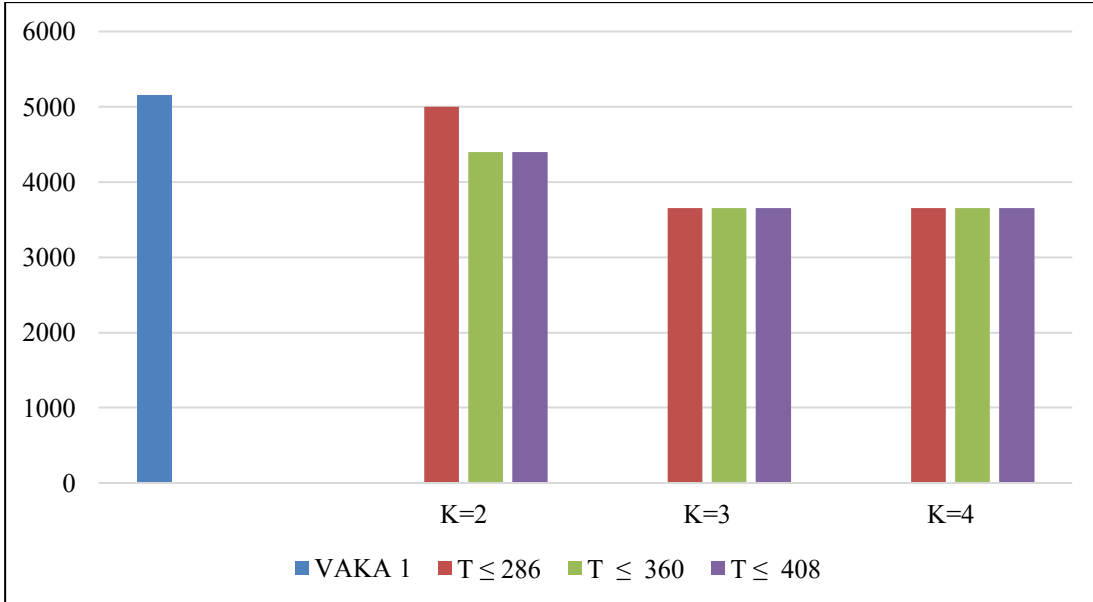
Araç Sayısı	K = 4	K = 2			K = 3			K = 4		
Teslim süresi	Senaryo 1 vaka	$T \leq 286$	$T \leq 360$	$T \leq 408$	$T \leq 286$	$T \leq 360$	$T \leq 408$	$T \leq 286$	$T \leq 360$	$T \leq 408$
Maliyet	5150€	4400€	4400€	4400€	3650€	3650€	3650€	3650€	3650€	3650€

Çizelge 6.2: Senaryo 1 için taşıyıcının ilettiği süre ile tüm senaryo maliyetleri.

Araç Sayısı	K =4	K = 2			K= 3			K=4		
Teslim süresi	Senaryo 1 vaka	$T \leq 286$	$T \leq 360$	$T \leq 408$	$T \leq 286$	$T \leq 360$	$T \leq 408$	$T \leq 286$	$T \leq 360$	$T \leq 408$
Maliyet	5150€	5000€	4400€	4400€	3650€	3650€	3650€	3650€	3650€	3650€



Şekil 6.1: 10 müşteri senaryosu için araç sayılarına göre T süredeki maliyetlerin grafiği.



Şekil 6.2: 10 müşteri senaryosu için taşıyıcının ilettiği süre ile araç sayılarına göre T süredeki maliyetlerin grafiği.

Vakada yer alan ikinci senaryoda taşıyıcı firma ihracatçıya 4 adet araç ile hizmet sağlamaktadır. Araçlardan iki tanesi müşterilere direkt komple araçla hizmet verirken, kalan iki araç parsiyel teslim şekli ile müşterilere teslimat sağlamaktadır.

İkinci veri setinde gerçekleşen durum için maliyet 5550€ iken yükleme için planlanan araçlardan biri yüklerini 504 saatte teslim ederek ihracatçı firmanın taahhüt ettiği 15 günü (360 saat) geçmiştir. Müşterilerin bu gecikmelere karşı bir ceza uygulamamasına karşı yüklemelerin geç teslimi özellikle müşterilerin tekrar sipariş vermesi üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olacaktır.

Model gerçek veri seti 14 müşteri için uygulandığında yüklemeler için Çizelge 6.3'te görülebileceği gibi ortalama süre ile bulunan durumda 3 araç ve  $T=360$  saat noktasından itibaren maliyet en iyi sonuca ulaşırken yaklaşık %78 maliyette iyileşme sağlamıştır. Gerçek vakada bir araçta gözlemlenen gecikme seçilen çözüm ile ortadan kaldırılmış ve 3 parsiyel araçla  $T \leq 360$  süresi içinde teslim edilen yüklemelerin ortalama teslim süresi olan 331 saat ile geciken yüke göre yaklaşık %65 iyileştirme sağlanmıştır.

Çizelge 6.4'te bakıldığında ise taşıyıcı tarafından bildirilen süreler ile çözüldüğünde  $K=3$  ve  $T \leq 360$  durumundan itibaren maliyet minimuma ulaşmıştır. Ancak 4 araçlı yüklemelerin  $T \leq 286$  olduğu durumda toplam seyahat süresinin 286 saati aşması nedeniyle maliyet vaka ile aynı değere sahiptir ancak bu seçenek tercih edildiği takdirde vakada yaşanan gecikme modelin çözümünde yaşanmamıştır. Zaman aralığının 360 saate çıkmasıyla 3 araç ile yüklemelerin teslim edilebildiği görülmektedir. (Şekil 6.4 ve Şekil 6.5)

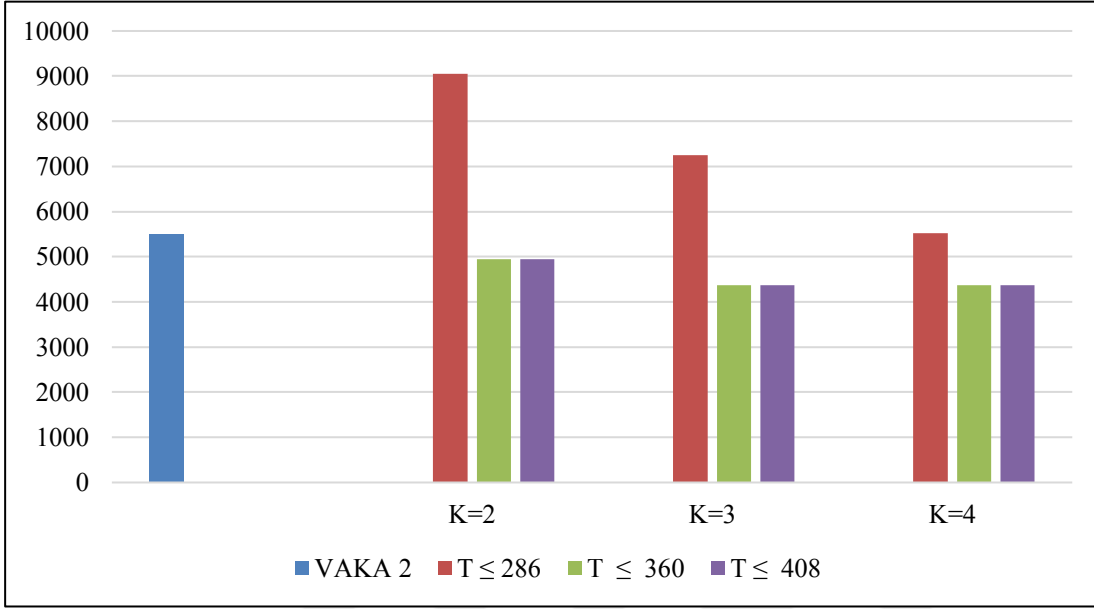
Bu noktada tüm müşterilere parsiyel araç ile teslimat sağlanırken senaryo 1'deki gibi 1 araç taşıyıcının başka bir yükleme için kiralayabileceği şekilde kullanımdan çıkarılabilecektir.

Çizelge 6.3: Senaryo 2 için ortalama süre tüm senaryo maliyetleri.

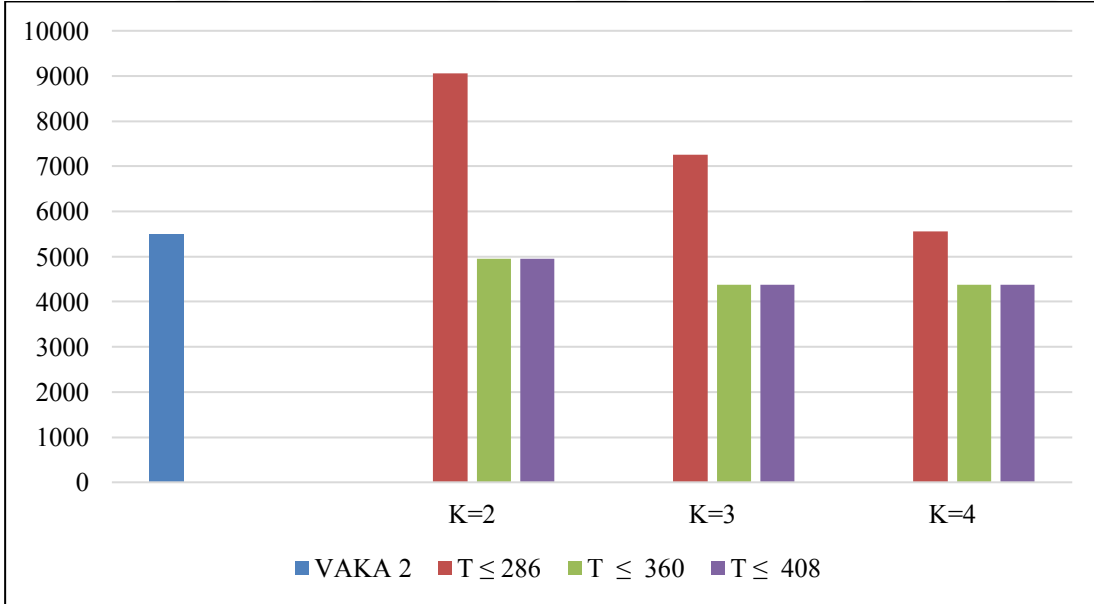
Araç Sayısı	K = 4	K = 2			K = 3			K = 4		
Teslim süresi	Senaryo 2 vaka	$T \leq 286$	$T \leq 360$	$T \leq 408$	$T \leq 286$	$T \leq 360$	$T \leq 408$	$T \leq 286$	$T \leq 360$	$T \leq 408$
Maliyet	5550€	9050€	4950€	4950€	7250€	4375€	4375€	5525€	4375€	4375€

Çizelge 6.4: Senaryo 2 için taşıyıcının iletlediği süre ile tüm senaryo maliyetleri.

Araç Sayısı	K =4	K = 2			K= 3			K=4		
Teslim süresi	Senaryo 2 vaka	T≤286	T≤360	T≤408	T≤286	T≤360	T≤408	T≤286	T≤360	T≤408
Maliyet	5550€	9050€	4950€	4950€	7250€	4375€	4375€	5550€	4375€	4375€



Şekil 6.3: 14 müşteri senaryosu için ortalama süre ile araç sayılarına göre T süredeki maliyetlerin grafiği.



Şekil 6.4: 14 müşteri senaryosu için taşıyıcının iletlediği süre ile araç sayılarına göre T süredeki maliyetlerin grafiği.

Senaryo 1 ve senaryo 2 için tüm maliyetler farklı k değerleri için karşılaştırmalı olarak Çizelge 6.5'te gösterilmiştir. Bu maliyetler incelendiğinde 10 müşterili durumda maliyetlerin genellikle paralel olarak ilerlediği gözlemlenmiştir. Oluşan tek farklı maliyet ise  $K = 2$  ve  $T \leq 286$  durumunda oluşmuştur. Burada oluşan farklılığın en önemli sebebi ise taşıyıcıdan gelen gümrük sürelerinin ortalama süre ile bulunan seyahat sürelerinden daha uzun sürmesidir. Bu nedenle araçlar teslim süresini geçmemek adına fazladan bir yüklemeyi komple araca atamak durumunda kalmıştır. Ancak bu durumdaki hesaplamada dahi maliyetin gerçekleşenden daha az olduğu görülmüştür. Senaryo 1 incelendiğinde, model kullanıldığı takdirde yönetime iletilen tüm sonuçlar gerçekleşen vakadan daha düşük maliyetle sunulmuştur.

Senaryo 2 için çıktılar kontrol edildiğinde ise müşteri sayısının aynı kalması ve süre ve araç sayılarının aynı aralıkta tutulması sebebiyle parametrelerin minimumda tutulduğu durumlarda yüksek maliyetlerle rotaların oluşturulduğu görülmüştür. Yüklemelerin ortalama süre ve araçla taşındığı durumların maliyet açısından her iki senaryo için de minimum maliyet sonuçları verdiği görülmüştür. Firmaların bu bilgileri öncelikli olarak görebilmeleri taşıyıcıda oluşabilecek bir araç tedarik sorununda ya da müşterilerin daha kısa ya da daha uzun teslim sürelerini onayladığı durumda maliyetlerin yansıtılmasının görülmesi açısından yardımcı olacaktır.

Çizelge 6.5: Tüm senaryolar için karşılaştırmalı maliyet tablosu.

Araç Sayısı	K =4	K = 2			K= 3			K=4		
	Teslim süresi	Senaryo 1 vaka	T≤ 286	T≤ 360	T≤ 408	T≤ 286	T≤ 360	T≤ 408	T≤ 286	T≤ 360
Ortalama süre ile maliyet	5150€	4400€	4400€	4400€	3650€	3650€	3650€	3650€	3650€	3650€
Taşıyıcıdan gelen süre ile maliyet		5000€	4400€	4400€	3650€	3650€	3650€	3650€	3650€	3650€

Araç Sayısı	K =4	K = 2			K= 3			K=4		
	Teslim süresi	Senaryo 2 vaka	T≤ 286	T≤ 360	T≤ 408	T≤ 286	T≤ 360	T≤ 408	T≤ 286	T≤ 360
Ortalama süre ile maliyet	5550€	9050€	4950€	4950€	7250€	4375€	4375€	5525€	4375€	4375€
Taşıyıcıdan gelen süre ile maliyet		9050€	4950€	4950€	7250€	4375€	4375€	5550€	4375€	4375€

Çizelge 6.6’da çözümlere ait rotalarda araçların teslim süreleri karşılaştırılmalı olarak gösterilmektedir. Model, yüklerin teslim süresi içinde ulaştırılması üzerine kurulduğu için tüm rotaların verilen T süresinden kısa sürede teslim edildiği tabloda görülmektedir. Modele dahil edilen tüm araçların kullanılması istendiği için bazı rotalar için araçlara tek bir yükleme atanmış ve teslim süresi daha kısa hesaplanmıştır. Bu süreler, gerçek hayatta oluşacak değişimler için de bir tampon süre görevi görebilecektir.

Çizelge 6.6: Senaryo 1 ve 2 için karşılaştırmalı süre tablosu.

Senaryo 1	Vaka 1	Ortalama Gümrük Süresi ile			Taşıyıcıdan Gelen Gümrük Süresi ile			Vaka 1
	Teslim Süresi	T ≤ 286	T ≤ 360	T ≤ 408	T ≤ 286	T ≤ 360	T ≤ 408	
	Araç Sayısı							
	K = 2	279	337	279	279	293	264	
		259	260	261	262	284	311	
	K = 3	278	249	249	265	265	248	
		230	230	230	263	292	290	
		248	338	339	277	250	263	
	K = 4	229	313	217	278	291	253	258
		232	233	244	247	248	252	324
		264	294	232	251	232	296	218
		232	232	308	250	250	233	278
Senaryo 2	Vaka 2	Ortalama Gümrük Süresi ile			Taşıyıcıdan Gelen Gümrük Süresi ile			Vaka 2
	Teslim Süresi	T ≤ 286	T ≤ 360	T ≤ 408	T ≤ 286	T ≤ 360	T ≤ 408	
	Araç Sayısı							
	K = 2	284	359	336	279	343	339	
		283	359	336	277	357	408	
	K = 3	286	291	330	281	340	389	
		283	351	343	277	308	337	
		285	350	297	279	306	356	
	K = 4	278	347	399	283	246	379	504
		286	357	272	284	246	279	264
		286	316	265	278	294	246	192
		278	309	251	280	360	246	264

Bir ürünün satış fiyatını belirlemedeki en önemli kalemlerden biri taşıma maliyetleridir. Özellikle yükte ağır ancak pahalı bir ürünün satışını gerçekleştirmek için müşterilere verilen satış fiyatlarının daha rekabetçi bir yapıya sahip olan uluslararası pazarda büyük bir dikkat ile tayin edilmesi gerekmektedir. Bu



durumda bir firmanın yapması gereken en önemli şey planlama noktasında teslim süresi ve maliyete dikkat ederek müşterilerine en iyi seçenekleri sunmasıdır.

Model çıktıları incelendiğinde, örnek vakada gerçekleşen maliyet ve teslim sürelerinden daha az maliyet ile ve istenen zaman içinde gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu model kullanıldığında göndericinin rekabet edebilirliği maliyet açısından yüksek ölçüde artacaktır. Aynı zamanda kontratta verilen teslim sürelerine sadık kalınarak yapılan teslimatlar potansiyel müşteriler üzerinde olumlu etki yaratacaktır. Müşteri açısından ise kontrata bağlılık ile gerçekleştirilen teslim süreleri ile özellikle tam zamanında üretimle az stok altında çalışan firmaların üretimlerinin devamlılığını sürdürmelerini sağlayarak fabrikalarındaki makinelerin çalışmadan bekleme ihtimallerini en aza indirecek çözümü bulmalarını sağlayacaktır.

Son olarak taşıyıcı açısından ise doğru planlama ile daha yüksek bir kar elde etme durumu söz konusu olacaktır. Özellikle her iki vakada da görüldüğü gibi 3 araç üzerinden yüklemelerin teslim edildiği durumda yine tüm yüklemeler için ödemelerini alırken aynı zamanda boşa çıkarılan araç ile farklı müşterilere hizmet vererek daha yüksek karlar elde etmeleri mümkün olacaktır. Aynı zamanda ikinci senaryoda karşılaşılan durumda geciken araç ile müşterilerin ürünlerini geç teslim alması riskini en aza indirecek rotanın oluşturularak göndericinin ve kendilerinin güvenilirliğini zedelemekten ürün teslimlerine devam edebileceklerdir. Tüm bu çıktılar ışığında verilecek karar ihracatçı firmanın yönetim kademesi tarafından verilmelidir.

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, bir ihracat firmasının taşıyıcı aracılığıyla gönderdiği ürünlerin müşteriye ulaşması sürecindeki rotalama problemi ele alınmıştır. Problem göz önünde bulundurularak ihracatçı açısından maliyet ön planda tutulurken müşterinin zamanında teslimini beklediği ürünlerin araç kapasite kısıtı ve zaman çerçevesi içinde çözülmesi gereken bir optimizasyon modeli sunulmasına sebep olmuştur. Veri setinin de boyutu göz önüne alınarak en iyi sonuca ulaşma çabasıyla matematiksel bir model kullanılması önerilmiştir.

Modelin amacı, firmaların modeli kullandığı takdirde yüklerin tesliminde oluşacak toplam maliyet ve rotalar hakkında bir öngörüğe sahip olarak hem müşteri tekliflerinde hem de sözleşme şartlarını oluşturmada analitik bilgileri kullanabilmesidir. Model dahilinde pek çok farklı senaryo üzerinde durularak yüklerin teslim süresi ve maliyet açısından en uygun karar seçilebilecektir. Böylece ihracatçı firmalar kendilerine düşen sorumlulukları yerine getirirken alıcı firmalar ise üretim planlamalarını bu bilgiler ışığında düzenleyerek kendi üretim hatlarındaki gecikmeleri de azaltabileceklerdir.

Aynı zamanda, maliyetlerin düşmesi gönderici için kâr marjının artması anlamına gelirken, alıcı için de maliyetlerin düşmesine yardımcı olacaktır. Bu sayede hem alıcı hem de gönderici için yeni Ar-ge çalışmalarına ya da yeni yatırımların yapılabilmesi için gerekli finansmanın oluşmasına yardımcı olacaktır. Taşıyıcı açısından ise iyi düzenlenmiş güzergaha ve verimli kapasite kullanımına sahip bir araç; yakıt, bakım, şoför ikamesi gibi pek çok yan maliyetin azalmasına yardımcı olurken çevresel etkileri azaltmada rol oynayacaktır. İhracatçı, ithalatçı ve taşıyıcı açısından bakıldığında ise, bu modelin kullanılması, şirketlerin operasyonel ve taktiksel seviyelerdeki kararları üzerinde fayda sağlayacağı gibi yönetimlerin stratejik seviyede de daha rahat karar vermesinde önemli rol oynayacaktır.

Modelin çözülmesinden sonra modelin kullanımının maliyet açısından fayda sağladığı ve firmalar için bir kontrol mekanizması olarak işlev görebileceği anlaşılmıştır. Model gerçek vakaya uyarlandığında maliyet açısından %70 ile %80 arasında fayda

sağlamıştır. Taşıma sürelerinde ise geciken bir aracın teslim süresinin %65 iyileştiği gözlemlenmiştir.

Modelin uygulandığı veri setleri üzerinden modelin verilen kısıtlar içinde çalıştığı görülmüş ve bu veri seti için modelin uygun olduğu görülmüştür. Modelin çözüm sağlayabilmesi için tüm araçların en az bir müşteriye atanabileceği durumda olması ve seyahat sürelerinin de bu şartları sağlaması gerektiği görülmüştür. Modelin uygulanabilirliği için oluşturulan veri setleri ile çözüm hala bulunabiliyor olsa da 30x30'luk veri setinde gözlemlendiği gibi 27 müşteri ve 10 araçtan itibaren fazla büyüdüğü takdirde sezgisel çözüm yöntemlerinin geliştirilmesi gerekecektir.

Wu ve diğerleri (2017)'nde yüklerin öz kaynak ya da dış kaynak kullanımı ile teslimine karar veren kısıtı, yüklerin komple ya da parsiyel araç ile taşınması kararı için kullanılacak şekilde geliştirilmiştir. Modelin oluşturulmasıyla daha önce çalışılmamış bir birleşim noktası olan gümrük noktaları tercihi ve parsiyel-komple araç ataması noktasında iki aşamalı bir model ile literatüre katkı sağlanmıştır.

Modelin büyük ölçekli veri setinde denenmesinde de sonuçlar alınmış olsa da bu tür problemlerin NP- Zor olması nedeniyle büyük veri setlerinde daha hızlı sonuçlar elde edebilmek için sezgisel yöntem geliştirilmesi daha iyi olacaktır.

Modelde iki aşamalı bir rotalama problemi izlenirken gümrük noktalarında değişen bekleme sürelerinin en uygun durumda ve maliyeti minimize edecek şekilde sunulması firmalara karar önceliği sağlayarak gönderici ve alıcı arasındaki anlaşma şartlarına en yakın teslim süresi içerisinde gerçekleştirerek karşılıklı fayda ortamı yaratacaktır.

Bu problemin motivasyon kaynağını oluşturan ihracat firmaları dışında modelin, üçüncü parti lojistik hizmet sağlayıcıları, taşıyıcılar ve alıcıların kullanımı için uyarlanabileceği görülmüştür.

İlerideki çalışmalarda, problem literatürde bulunan farklı varsayımlar ile incelenerek geliştirilebilir. Modele gecikmeler için ceza maliyeti eklenmesinin ya da seyahat sürelerinin stokastik hale getirilerek çözümlere etkisinin gözlenmesi üzerinde durulması önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

- Ağgön, E. (2019).** Türkiye’de Uluslararası Ticaret ile Uluslararası Taşımacılık Arasındaki İlişkinin İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan.
- Aksakal, B. (2014).** Bir Firmanın Zaman Pencereli Belirli Talepli Araç Rotalama Probleminin Genetik Algoritma Kullanılarak Çözülmesi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Hassan, L. A. H., Hewitt, M., & Mahmassani, H., S. (2022).** Daily Load Planning under Different Autonomous Truck Deployment Scenarios. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 166: 102885.
- Bai, R., Ning X., Jianjun C., & Roberts, G.W. (2015).** A Set-Covering Model for a Bidirectional Multi-Shift Full Truckload Vehicle Routing Problem. *Transportation Research Part B: Methodological* 79:134-48.
- Bard, J. F., Kontoravdis, G., & Yu, G. (2002).** A Branch-and-Cut Procedure for the Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Transportation Science* 36(2):250-69.
- Bektaş, T.,** *Freight transport and distribution: concepts and optimisation models.* Edition 1. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group(2017).
- Bodin, L., Mingozi, A., Baldacci, R., & Ball, M. (2000).** The Rollon–Rolloff Vehicle Routing Problem. *Transportation Science* 34(3): 271-88.
- Braekers, K., Ramaekers, K., & Van- Nieuwenhuysse, I. (2015)** The Vehicle Routing Problem: State of the Art Classification and Review. *Computers & Industrial Engineering* 99:300-313
- Büyükyılmaz, R. G. (2017).** Eş Zamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi İçin Yeni Bir Çözüm Önerisi. Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Caramia, M., & Guerriero, F. (2010).** A Heuristic Approach for the Truck and Trailer Routing Problem. *Journal of the Operational Research Society* 61(7):1168-80.
- Chao, I.M. (2002).** A Tabu Search Method for the Truck and Trailer Routing Problem. *Computers & Operations Research* 29(1):33-51.
- Cheung, R. K., & Muralidharan, B. (2000).** Dynamic Routing for Priority Shipments in LTL Service Networks. *Transportation Science* 34(1): 86-98.
- Chu, C.W. (2005).** A Heuristic Algorithm for the Truckload and Less-than-Truckload Problem. *European Journal of Operational Research* 165(3):657-67.
- Clarke, G., & J. W. Wright. (1964).** Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research* 12(4):568-81.

- Crainic, T. G. (2000).** Service Network Design in Freight Transportation. *European Journal of Operational Research* 122(2):272-88.
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959).** The Truck Dispatching Problem. *Management Science* 6(1): s80-91.
- de Jong, G., Vierth, I., Tavasszy, L., & Ben-Akiva, M. (2013).** Recent Developments in National and International Freight Transport Models within Europe. *Transportation* 40(2):347-71.
- Demir, E., Burgholzer, W., Hrušovský, M., Arıkan, E., Jammerneegg, E., & Van Woensel, T. (2016).** A Green Intermodal Service Network Design Problem with Travel Time Uncertainty. *Transportation Research Part B: Methodological* 93:789-807.
- Dumez, D., Tilk, C., Irnich, S., Lehuédé, F., Olkis, K., & Péton, O. (2023).** A Matheuristic for a 2-Echelon Vehicle Routing Problem with Capacitated Satellites and Reverse Flows. *European Journal of Operational Research* 305(1): 64-84.
- Dursun, Ö. O. (2017).** Havayolu ve Karayolu Araç Filosu ile Bir Araç Rotalama Problemi İçin Matematiksel Model Önerisi (Doktora Tezi). Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- El-Bouyahyiouy, E.K. (2022).** The Selective Full Truckload Multi-Depot Vehicle Routing Problem with Time Windows: Formulation and a Genetic Algorithm. *International Journal of Supply and Operations Management* 9(3).
- El-Bouyahyiouy, K. E., & Bellabdaoui, A. (2017).** An Ant Colony Optimization Algorithm for Solving the Full Truckload Vehicle Routing Problem with Profit. Ss. 142-47 içinde *2017 International Colloquium on Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA)*. Rabat, Morocco: IEEE.
- Erdoğan, S. (2019).** “Tam Sayılı Doğrusal Programlama ile Araç Rotalama Problemi Çözümü ve Bir Servis Ağında Uygulaması” (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Grimault, A., Bostel, N., & Lehuédé, F. (2017).** An Adaptive Large Neighborhood Search for the Full Truckload Pickup and Delivery Problem with Resource Synchronization. *Computers & Operations Research* 88:1-14.
- İlter Tabak, B. (2003).** Türkiye'nin Uluslararası Pazar Fırsatlarının Belirlenmesinde SWOT Analizi Uygulaması. *Süleyman Demirel Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Bölümü C. 8, (S.1): s221-234.*
- Janssens, G. K., & Braekers, K. (2015).** An Exact Algorithm for the Full Truckload Pick-up and Delivery Problem with Time Windows: Concept and Implementation Details. *International Journal of Computer Aided Engineering and Technology* 7(2):260.
- Keskin, M. H.,** Lojistik El Kitabı ve Küresel Tedarik Zinciri Pratikleri: Kavramlar, Prensipler, Uygulamalar, Ankara, Gazi Kitabevi (2011).
- Kızıloğlu, K. (2017).** Stokastik Talepli Çok Depolu Araç Rotalama Problemi İçin Sezgisel Bir Çözüm Yaklaşımı (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Koban, E., Yıldırım Keser, H.,** Dış Ticarete Lojistik. Bursa, Ekin (2015).

- Koç, Ç. (2012).** Zaman Bağımlı Araç Rotalama Problemi (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Kosif, B., & Ekmekçi, İ. (2012).** Araç Rotalama Sistemleri ve Tasarruf Algoritması Uygulaması. *Istanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 11(21): S31-51.
- Larsen, R. B., Atasoy, B., & Negenborn, R. R. (2021).** Model Predictive Control for Simultaneous Planning of Container and Vehicle Routes. *European Journal of Control* 57: 273-83.
- Lee, C., Lee, K., & Park, S. (2012).** Robust Vehicle Routing Problem with Deadlines and Travel Time/Demand Uncertainty. *Journal of the Operational Research Society* 63(9):1294-1306.
- Li, H., Zhang, L., Lv, T., & Chang, X. (2016).** The Two-Echelon Time-Constrained Vehicle Routing Problem in Linehaul-Delivery Systems. *Transportation Research Part B: Methodological* 94: 169-88.
- Li, J., & Lu, W. (2014).** Full Truckload Vehicle Routing Problem with Profits. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)* 1(2):146-52.
- Lin, S.W., Yu, V. F., & Chou, S.Y. (2009).** Solving the Truck and Trailer Routing Problem Based on a Simulated Annealing Heuristic. *Computers & Operations Research* 36(5):1683-92.
- Liu, R., Jiang, Z., Fung, R. Y. K., Chen, F., & Liu, X. (2010).** Two-Phase Heuristic Algorithms for Full Truckloads Multi-Depot Capacitated Vehicle Routing Problem in Carrier Collaboration. *Computers & Operations Research* 37(5):950-59.
- Marques, A., Soares, R., Santos, M. J., & Amorim, P. (2020).** Integrated Planning of Inbound and Outbound Logistics with a Rich Vehicle Routing Problem with Backhauls. *Omega* 92: 102172.
- Ng, A. S. F., Ong, M. K., Gunasekaran, A., & Cheng, C. H. (2014).** Heterogeneous Truck Routing Policies with Tour Routing Time Restriction: A Case Study of a Malaysian Trucking Company. *International Journal of Logistics Systems and Management* 17(4): 498.
- Ozcetin, E., Kamisli-Ozturk, Z., Kasimbeyli, R., & Kasimbeyli, N. (2023).** A Decision Support System for Consolidated Distribution of a Ceramic Sanitary Ware Company. *Expert Systems with Applications* 213: 118785.
- Parragh, S. N., & Cordeau, J.F. (2017).** Branch-and-Price and Adaptive Large Neighborhood Search for the Truck and Trailer Routing Problem with Time Windows. *Computers & Operations Research* 83:28-44.
- Perboli, G., Tadei, R., & Vigo, D. (2011).** The Two-Echelon Capacitated Vehicle Routing Problem: Models and Math-Based Heuristics. *Transportation Science* 45(3):364-80.
- Resat, H. G., & Turkay, M. (2015).** Design and Operation of Intermodal Transportation Network in the Marmara Region of Turkey. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 83: 16-33.

- Sawadsitang, S., Kaewpuang, R., Jiang, S., Niyato, D., & Wang, P. (2017).** Optimal Stochastic Delivery Planning in Full-Truckload and Less-Than-Truckload Delivery. Ss. 1-5 içinde *2017 IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*. Sydney, NSW: IEEE.
- Şeker, Ş. (2007).** Araç Rotalama Problemleri ve Zaman Pencere Stokastik Araç Rotalama Problemine Genetik Algoritma Yaklaşımı (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Takım, A., & Ersungur, Ş.M. (2015).** Taşıma Şekillerine Göre Türkiye’de Dış Ticaretin Analizi: Mevcut Durum, Sorunlar ve Beklentiler. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 19(3):357-76.
- Torres, I., Cruz, C., & Verdegay, J. L. (2015).** Solving the Truck and Trailer Routing Problem with Fuzzy Constraints: *International Journal of Computational Intelligence Systems* 8(4): 713.
- Tummel, C., Pyttel, T., Wolters, P., Hauck, E., & Jeschke, S., (2013).** Line-Based Optimization of LTL-Shipments Using a Multi-Step Genetic Algorithm. *IEEE*
- Uslu, A. (2016).** Afet Sonrası İnsani Yardım Lojistiğinde Stokastik Talepli Çok Depolu Araç Rotalama Problemi: Ankara İli Örneği (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Ankara.
- UTİKAD, Sektörel İlişkiler Departman. (2021).** UTİKAD Lojistik Sektörü Raporu 2021.
- Villegas, J.G., Prins, C., Prodhon, C., Medaglia, A. L., & Velasco, N. (2013).** A Heuristic for the Truck and Trailer Routing Problem. *European Journal of Operational Research* 230(2):231-44.
- Wolsey, L. A. (1998).** *Integer programming*. New York: Wiley (1998).
- Wu, C. S., Chu, C.W., & Hsu H.L. (2017).** A Heuristic Algorithm Of Vehicle Routing Problem With Time Windows And Less-Than-Truckload Carrier Selection. *Journal of Marine Science and Technology* 25(2).
- Wu, X., Nie, L., & Xu, M. (2017).** Designing an Integrated Distribution System for Catering Services for High-Speed Railways: A Three-Echelon Location Routing Model with Tight Time Windows and Time Deadlines. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 74: 212-44.
- Yaktubay, M. (2018).** “A Genetic Algorithm Based Solution Approach For Vehicle Routing Problem” (Yüksek Lisans Tezi). Adana Science And Technology University, Adana.
- Yang, X., Bostel, N., & Dejax, P. (2019).** A MILP Model and Memetic Algorithm for the Hub Location and Routing Problem with Distinct Collection and Delivery Tours. *Computers & Industrial Engineering* 135: 105-19.
- Zhao, Q., Wang, W., & De Souza, R. (2018).** A Heterogeneous Fleet Two-Echelon Capacitated Location-Routing Model for Joint Delivery Arising in City Logistics. *International Journal of Production Research* 56(15): 5062-80.

## **EKLER**

EK 1: 30x 30 süre matrisi

EK 2: Örnek vaka sonuçlarına ait rota gösterimleri

EK 3. R Kodları



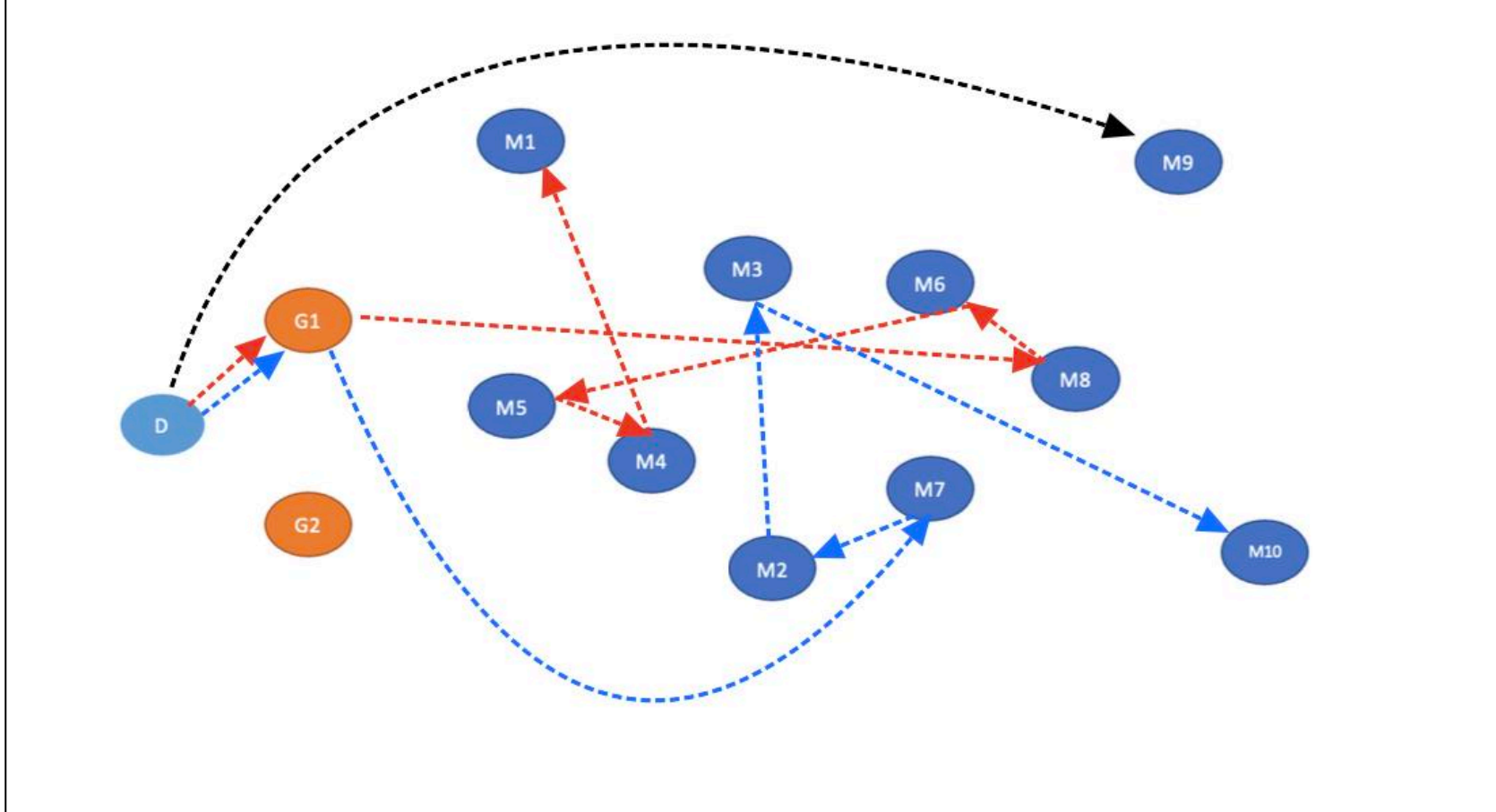


EK 1: 30x 30 süre matrisi

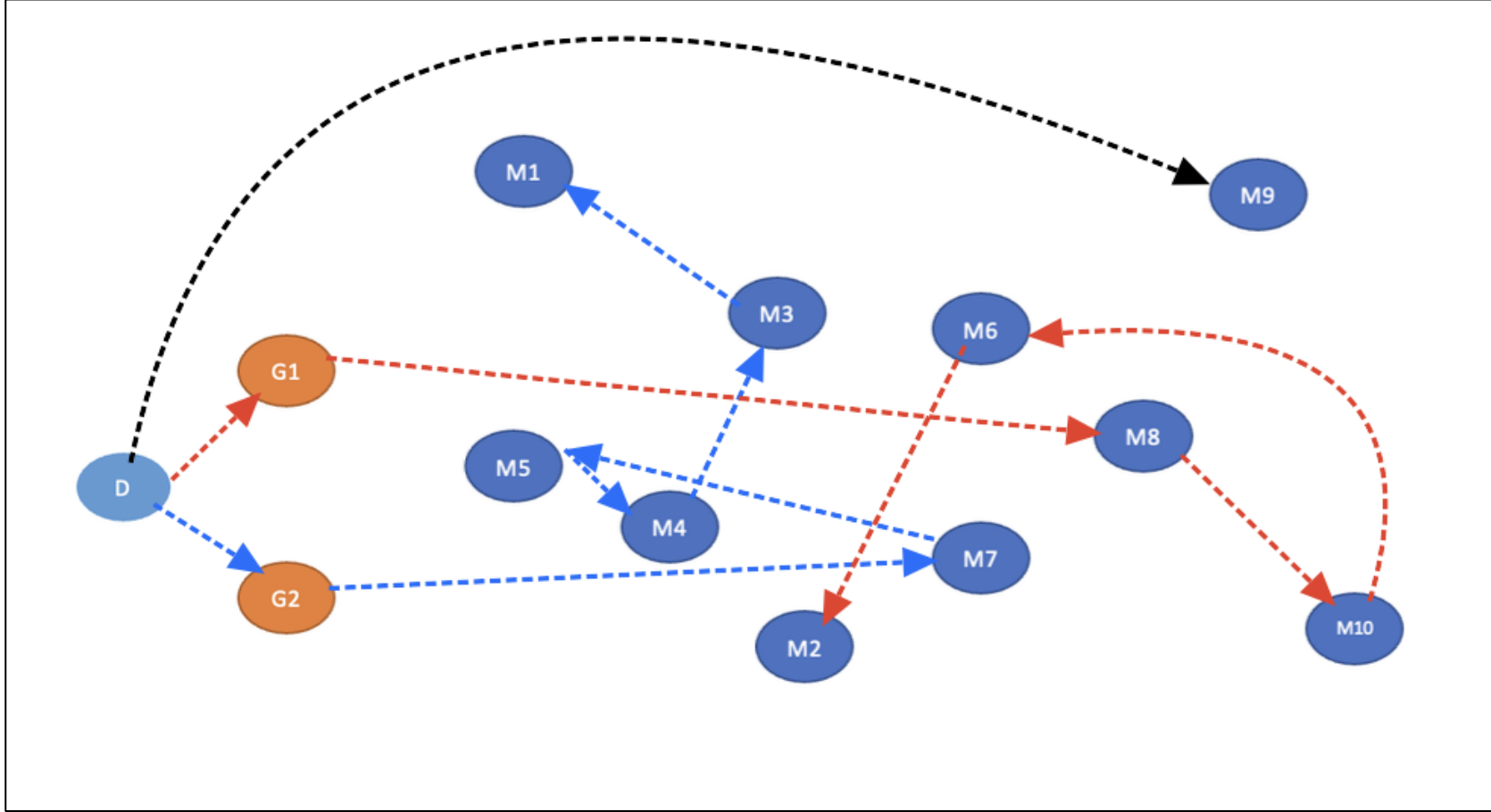
ÇizelgeEk.1.1: 30x30 süre matrisi

Depo	G1	G2	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23	M24	M25	M26	M27
Depo	40	24																											
G1			22	46	31	40	26	35	41	41	42	39	40	36	38	39	27	30	30	42	29	26	24	35	42	31	28	19	35
G2			32	36	33	20	38	32	28	23	22	32	36	36	30	38	47	38	24	46	33	37	25	30	23	30	46	44	19
M1	22	32	0	23	37	30	26	47	29	35	25	23	28	43	36	41	34	35	33	41	40	31	45	37	37	39	23	34	
M2	46	36	23	0	23	33	35	28	26	25	24	28	31	27	32	23	30	34	40	39	25	41	19	44	35	35	29	38	40
M3	31	33	37	23	0	33	35	42	37	36	35	23	37	34	45	27	35	29	25	33	33	25	34	28	29	40	23	32	45
M4	40	20	30	33	33	0	31	24	31	42	37	21	27	32	35	25	32	28	39	33	37	27	41	37	34	26	33	43	27
M5	26	38	26	35	35	31	0	34	38	31	34	38	38	26	44	22	42	26	31	43	36	35	33	40	41	46	33	30	35
M6	35	32	47	28	42	24	34	0	37	30	33	26	45	26	34	39	33	42	35	41	34	30	41	23	29	38	31	27	33
M7	41	28	29	26	37	31	38	37	0	27	31	24	27	24	42	44	30	40	29	35	29	37	25	33	39	46	32	38	18
M8	41	23	35	25	36	42	31	30	27	0	34	41	40	35	30	19	38	45	30	24	38	25	39	31	27	32	31	22	26
M9	42	22	25	24	35	37	34	33	31	34	0	29	38	34	30	41	37	39	25	34	45	33	40	30	25	25	47	29	31
M10	39	32	23	28	23	21	38	26	24	41	29	0	21	35	41	33	32	33	33	31	37	33	39	31	44	45	40	36	24
M11	40	36	28	31	37	27	38	45	27	40	38	21	0	32	24	42	33	38	40	29	30	25	33	39	31	40	34	32	38
M12	36	36	43	27	34	32	26	26	24	35	34	35	32	0	40	20	32	34	31	33	41	20	40	24	24	35	27	29	47
M13	38	30	36	32	45	35	44	34	42	30	30	41	24	40	0	26	23	29	38	33	18	36	31	29	37	40	43	31	34
M14	39	38	41	23	27	25	22	39	44	19	41	33	42	20	26	0	42	33	26	26	35	36	29	35	33	40	35	37	26
M15	27	47	34	30	35	32	42	33	30	38	37	32	33	32	23	42	0	29	41	43	36	24	36	42	30	26	31	31	33
M16	30	38	35	34	29	28	26	42	40	45	39	33	38	34	29	33	29	0	26	37	41	45	33	32	40	42	34	39	35
M17	30	24	33	40	25	39	31	35	29	30	25	33	40	31	38	26	41	26	0	45	36	29	40	46	34	35	28	27	47
M18	42	46	41	39	33	33	43	41	35	24	34	31	29	33	33	26	43	37	45	0	19	25	35	39	42	36	39	32	34
M19	29	33	40	25	33	37	36	34	29	38	45	37	30	41	18	35	36	41	36	19	0	38	37	31	27	39	44	40	34
M20	26	37	31	41	25	27	35	30	37	25	33	33	25	20	36	36	24	45	29	25	38	0	35	21	30	36	25	33	39
M21	24	25	45	19	34	41	33	41	25	39	40	39	33	40	31	29	36	33	40	35	37	35	0	30	37	40	27	29	40
M22	35	30	37	44	28	37	40	23	33	31	30	31	39	24	29	35	42	32	46	39	31	21	30	0	32	24	23	30	39
M23	42	23	37	35	29	34	41	29	39	27	25	44	31	24	37	33	30	40	34	42	27	30	37	32	0	26	23	29	27
M24	31	30	37	35	40	26	46	38	46	32	25	45	40	35	40	40	26	42	35	36	39	36	40	24	26	0	33	22	31
M25	28	46	39	29	23	33	33	31	32	31	47	40	34	27	43	35	31	34	28	39	44	25	27	23	23	33	0	35	24
M26	19	44	23	38	32	43	30	27	38	22	29	36	32	29	31	37	31	39	27	32	40	33	29	30	29	22	35	0	35
M27	35	19	34	40	45	27	35	33	18	26	31	24	38	47	34	26	33	35	47	34	34	39	40	39	27	31	24	35	0

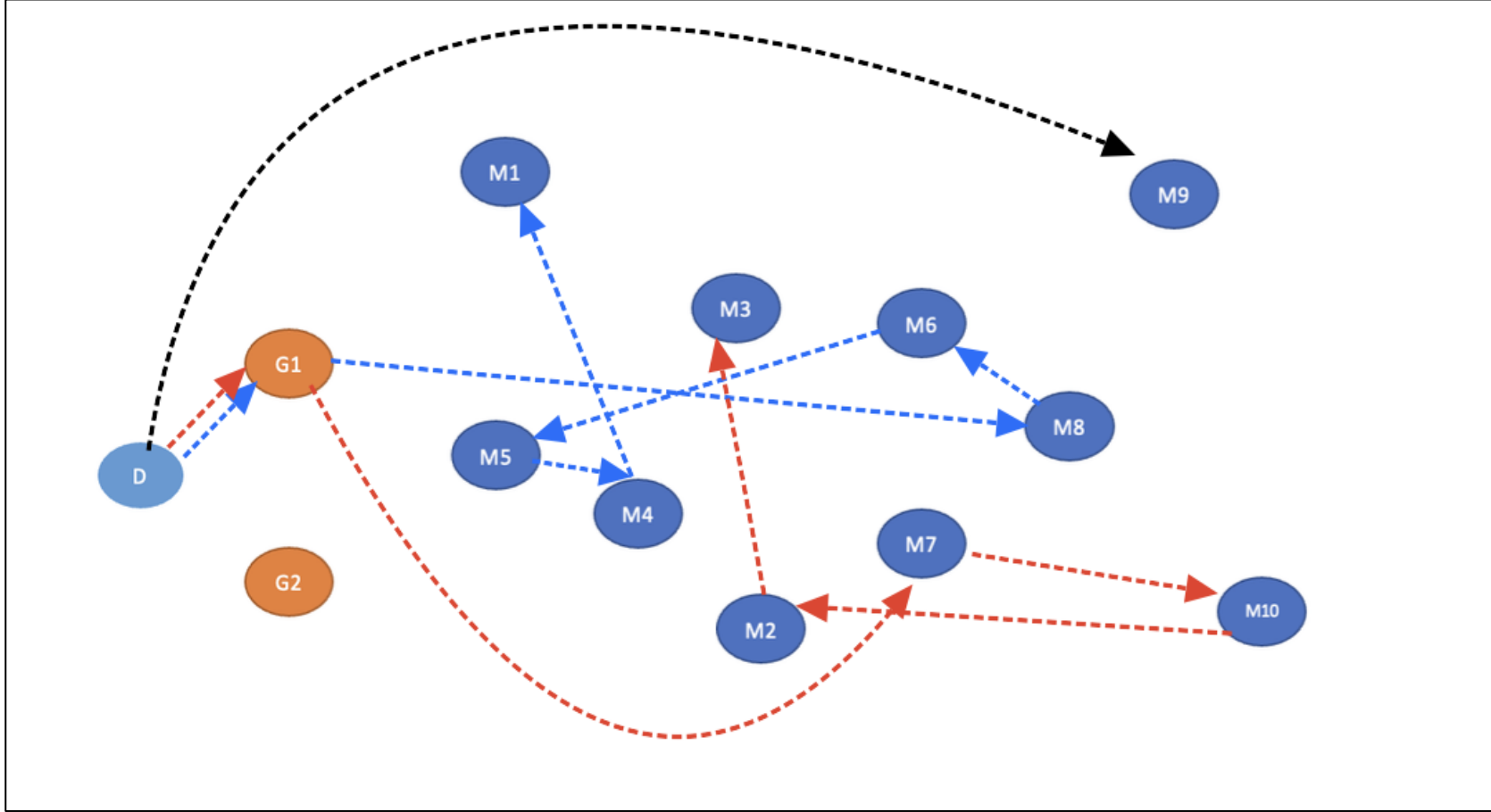
EK 2: Örnek vaka sonuçlarına ait rota gösterimleri



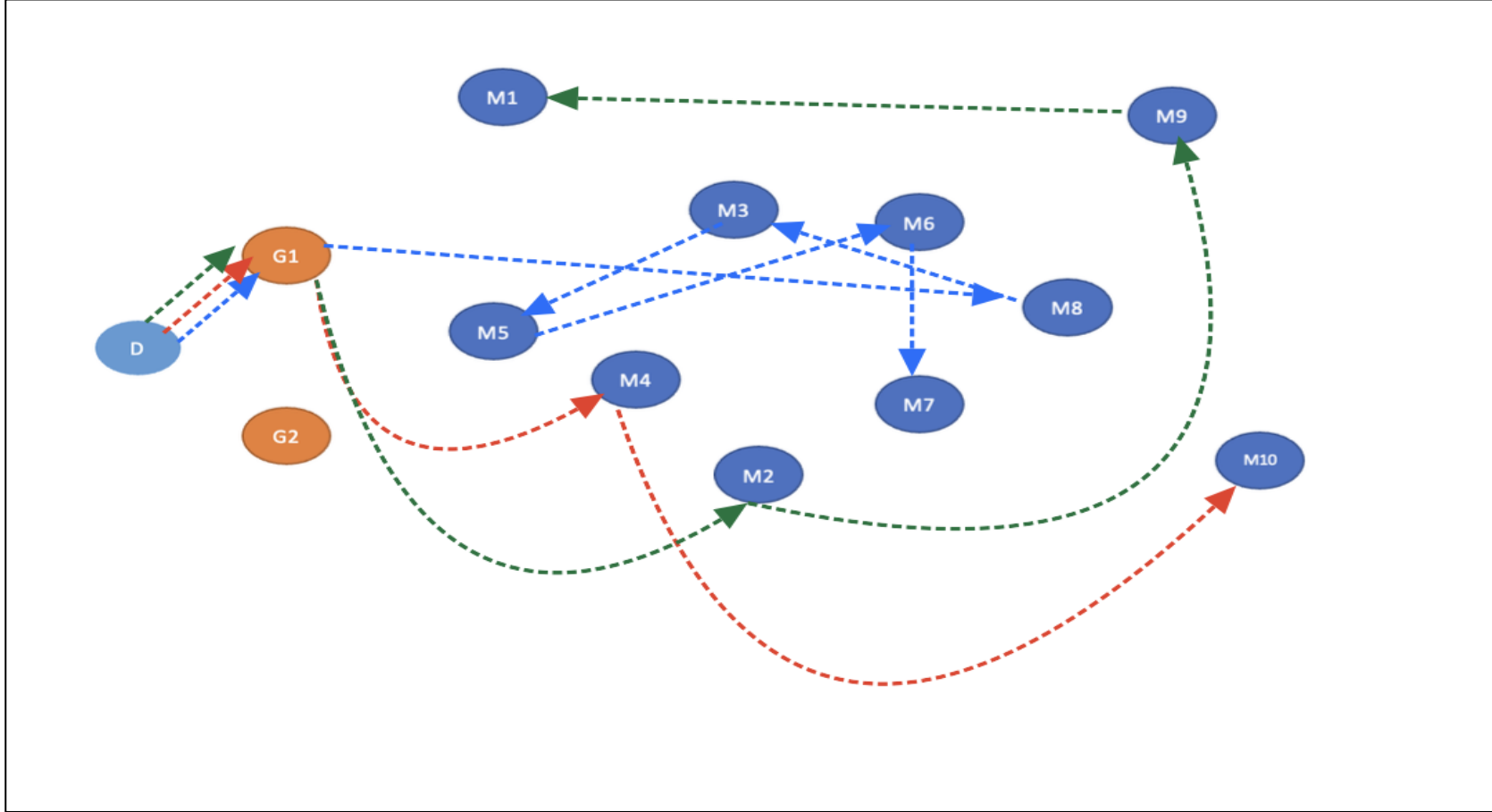
ŞekilEk.2.1:  $M= 10$   $K=2$   $T \leq 286$  rota gösterimi



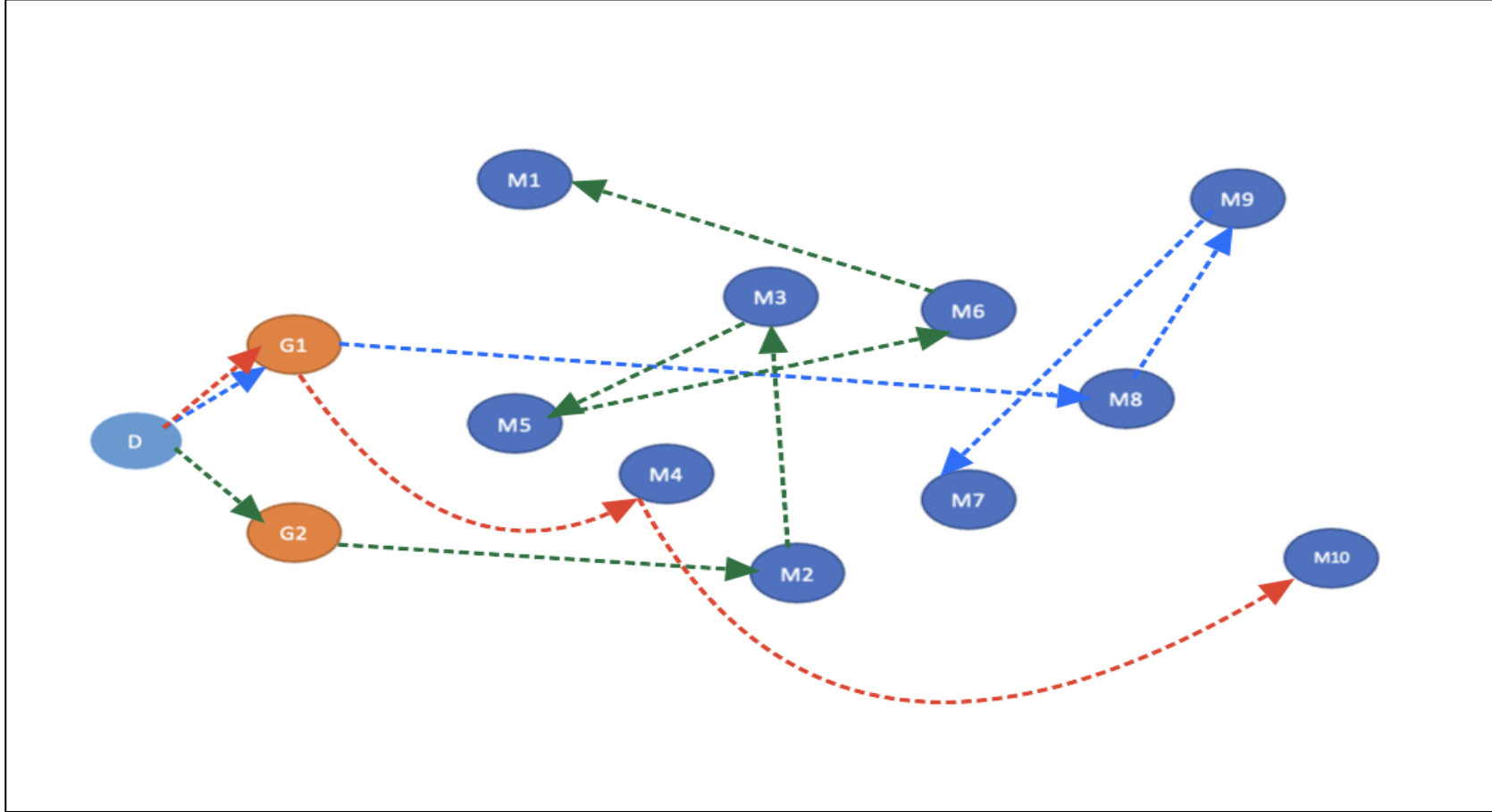
ŞekilEk.2.2:  $M= 10$   $K=2$   $T \leq 360$  rota gösterimi



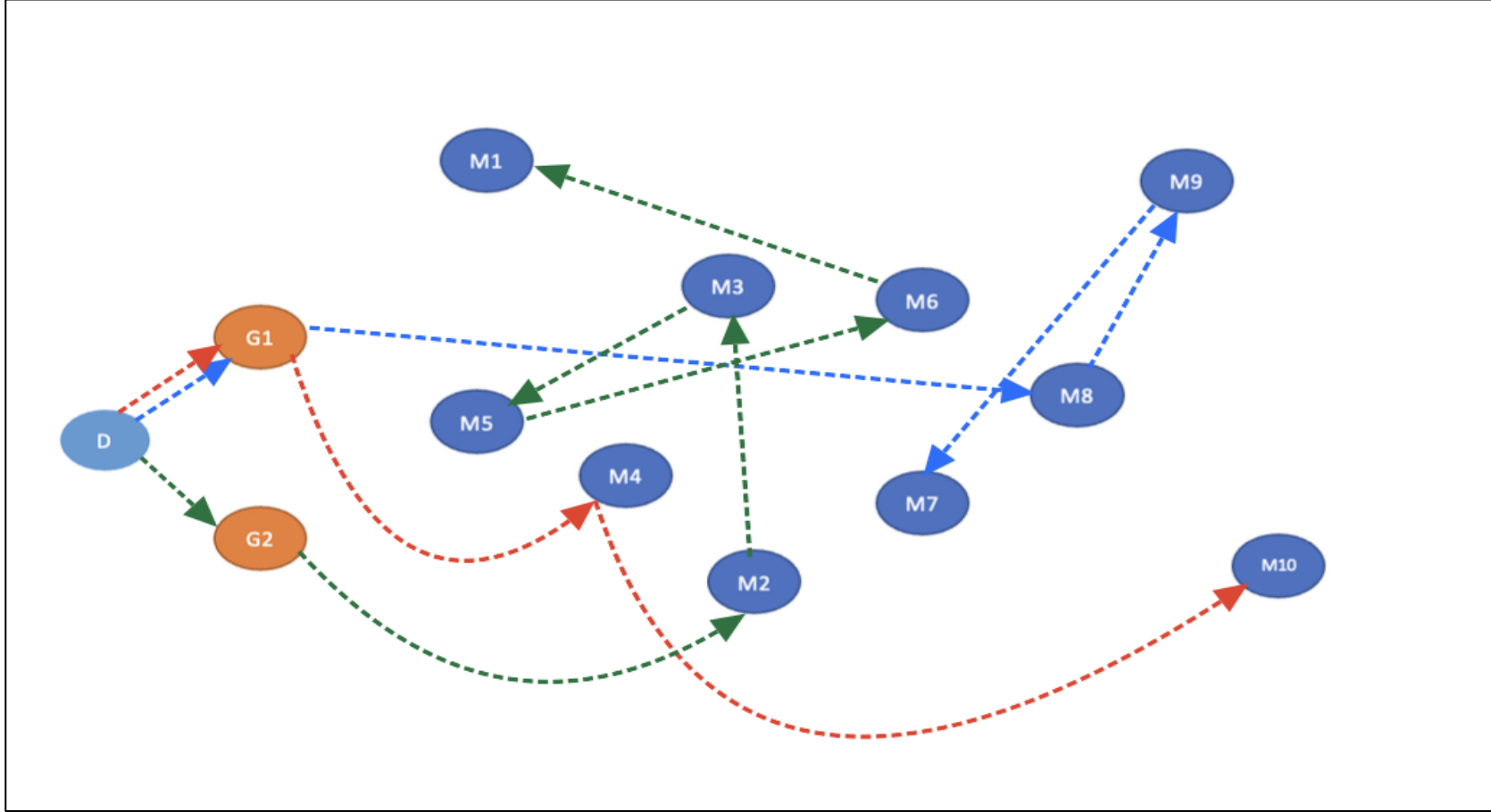
ŞekilEk.2.3:  $M= 10$   $K=2$   $T \leq 408$  rota gösterimi



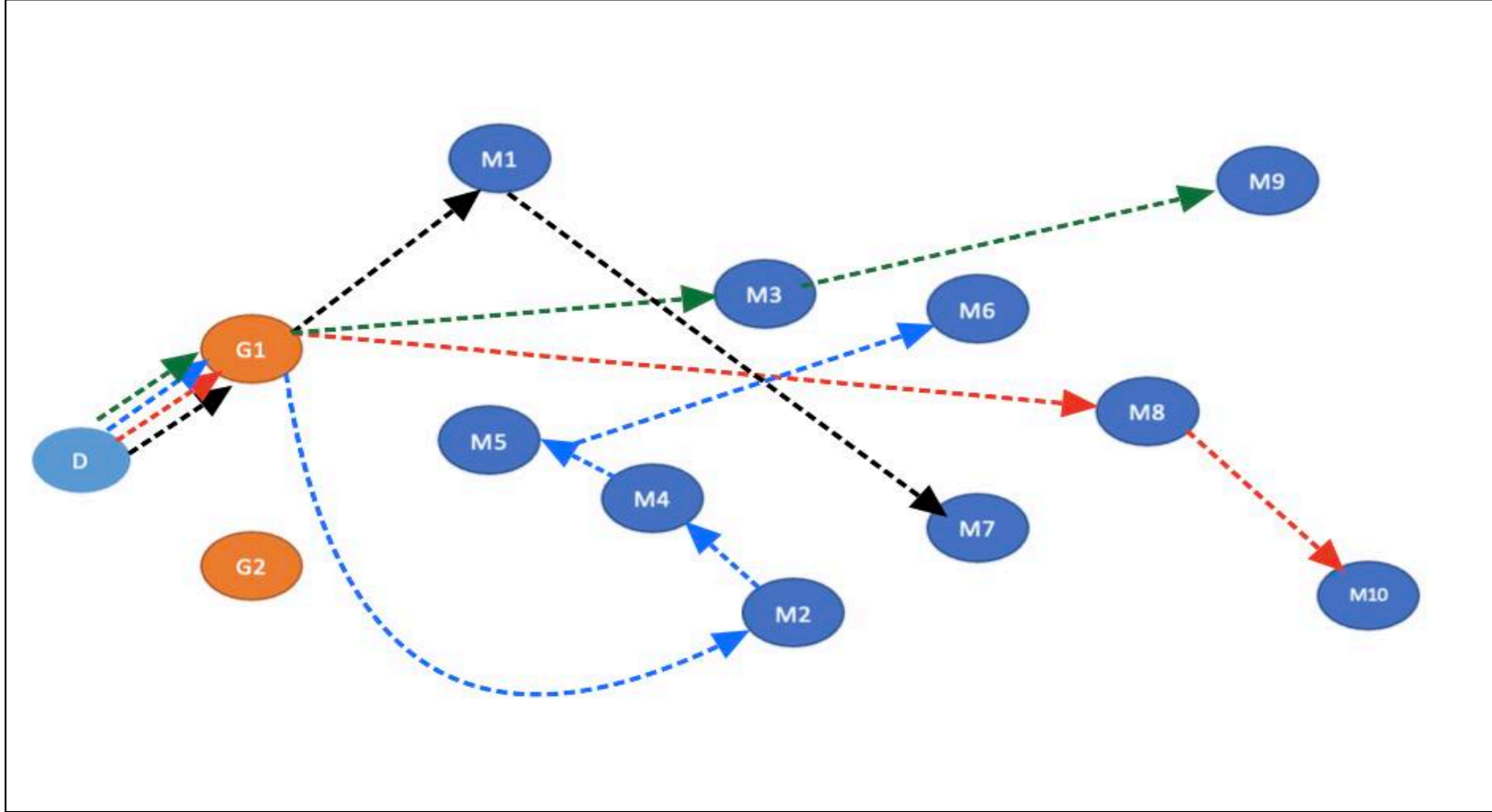
ŞekilEk.2.4:  $M= 10$   $K=3$   $T \leq 286$  rota gösterimi



ŞekilEk.2.5:  $M= 10$   $K=3$   $T \leq 360$  rota gösterimi

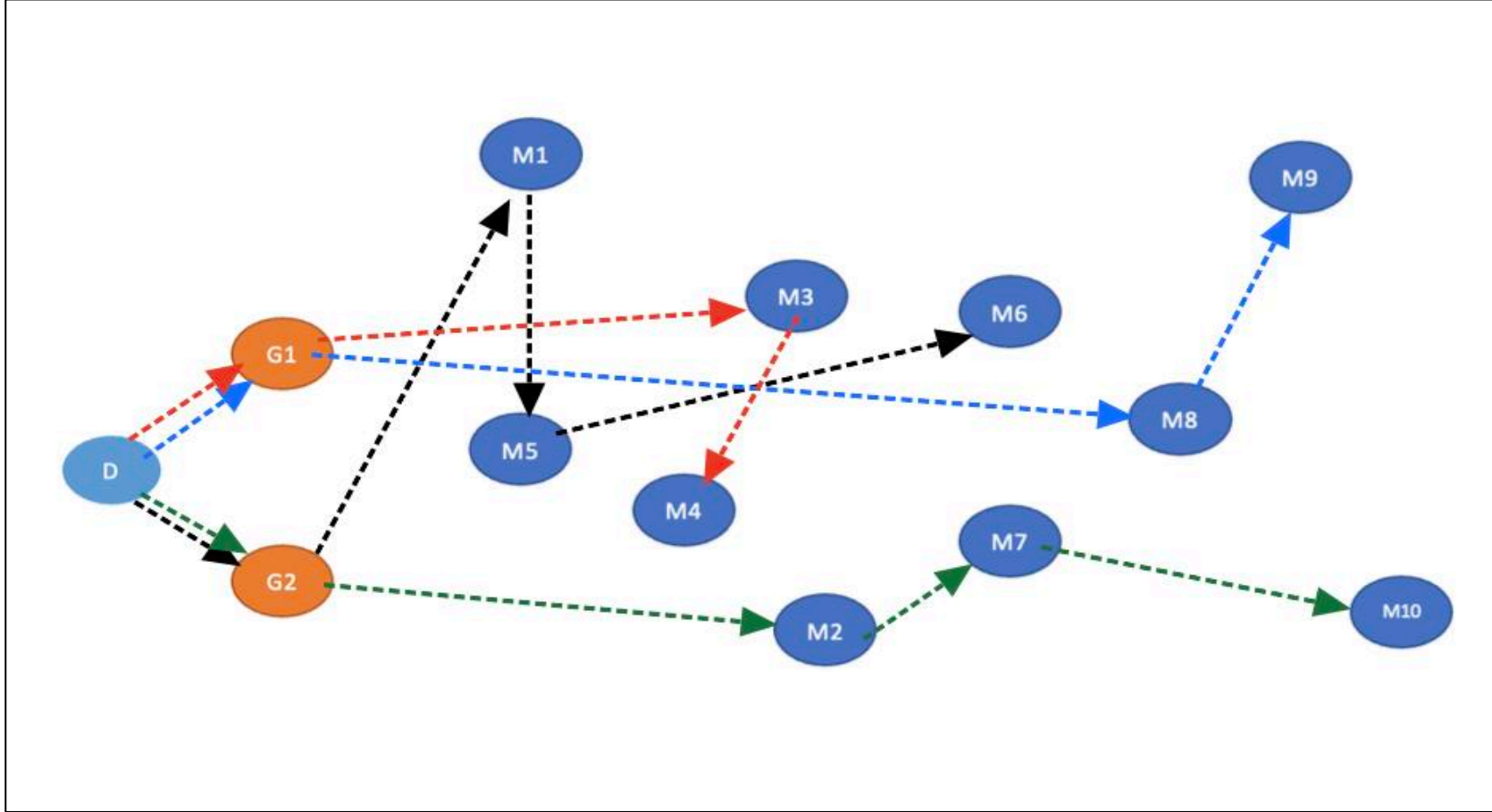


ŞekilEk.2.6:  $M= 10$   $K=3$   $T \leq 408$  rota gösterimi

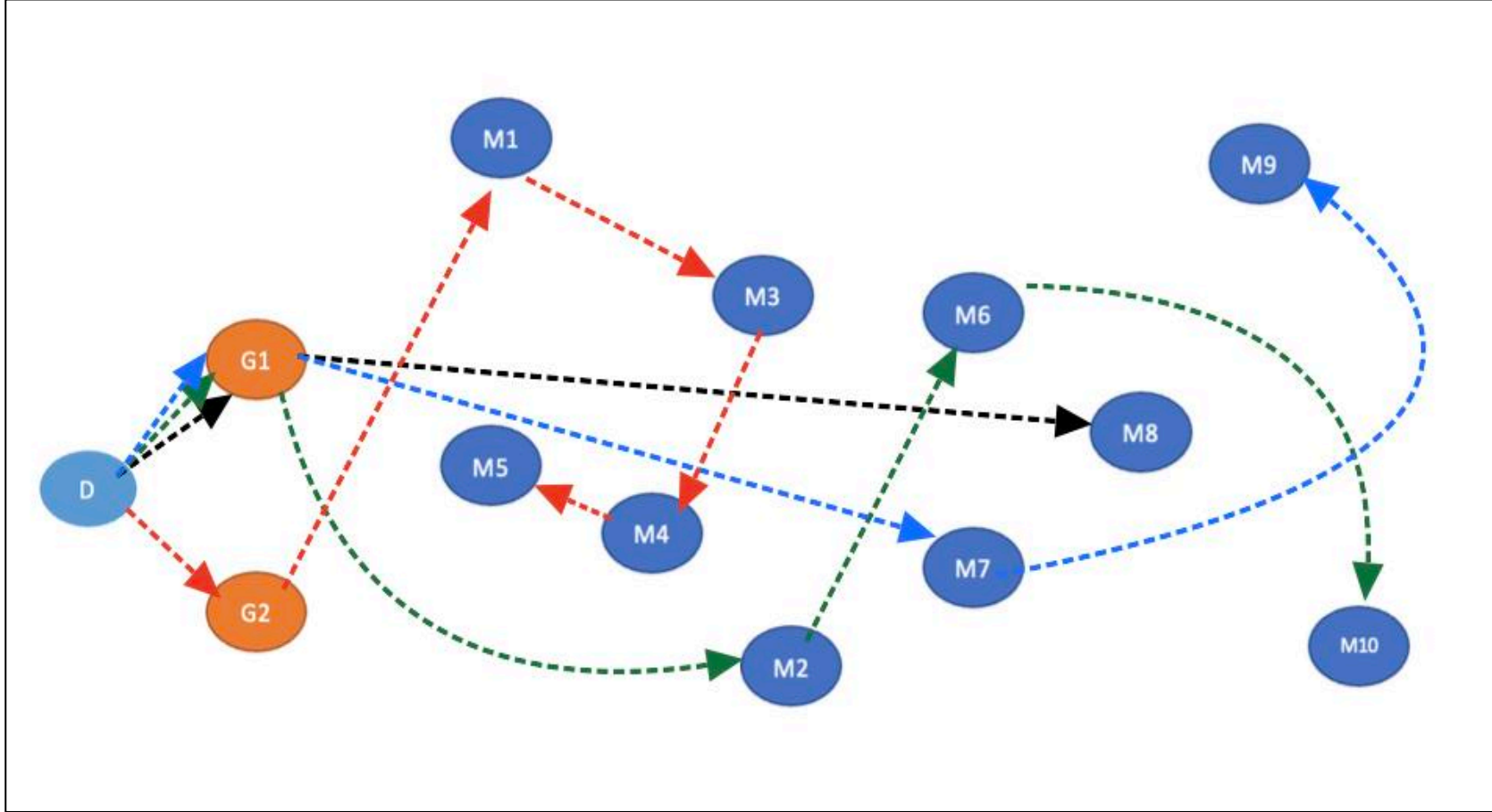


ŞekilEk.2.7:  $M= 10$   $K=4$   $T \leq 286$  rota gösterimi

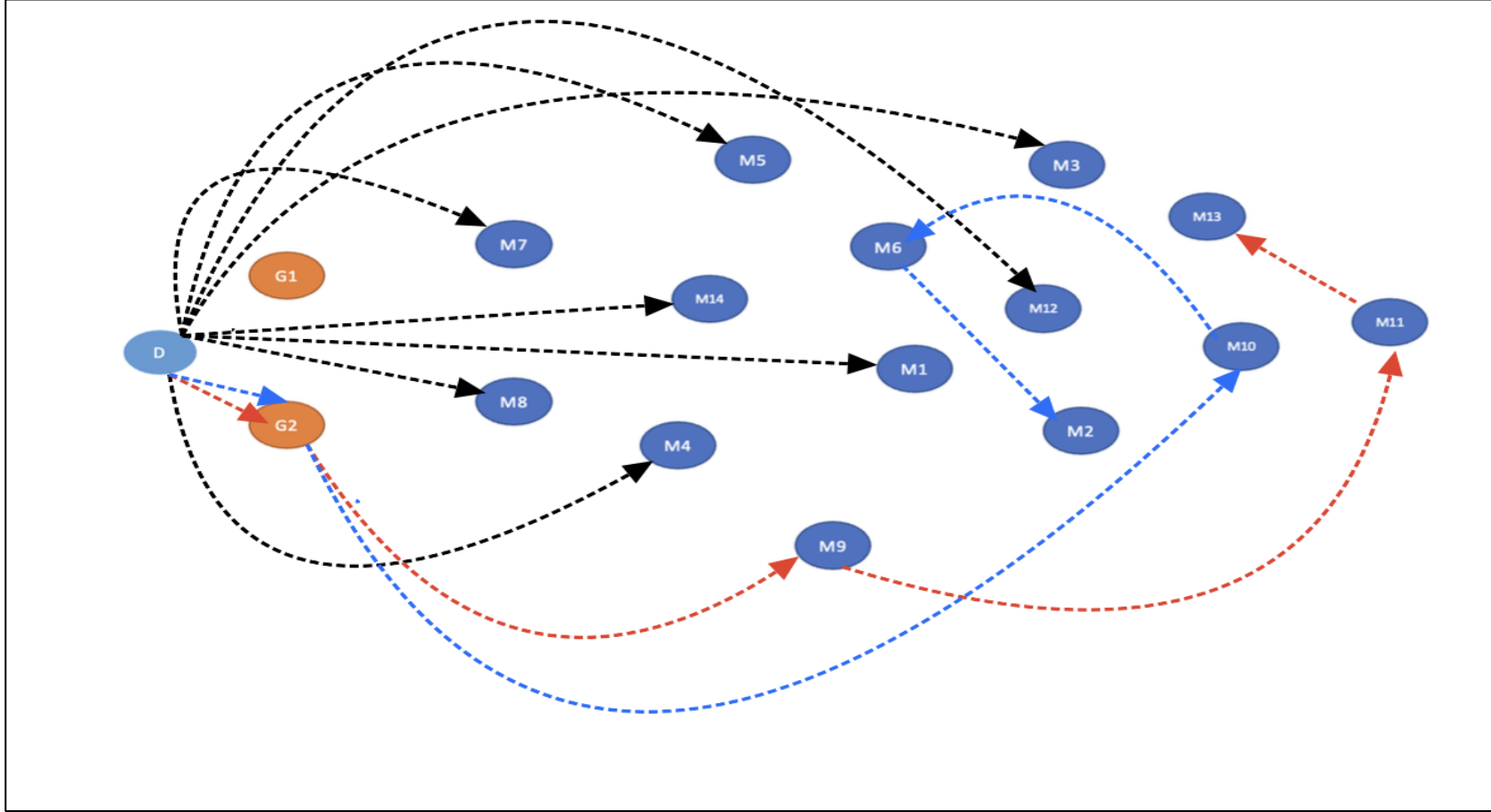




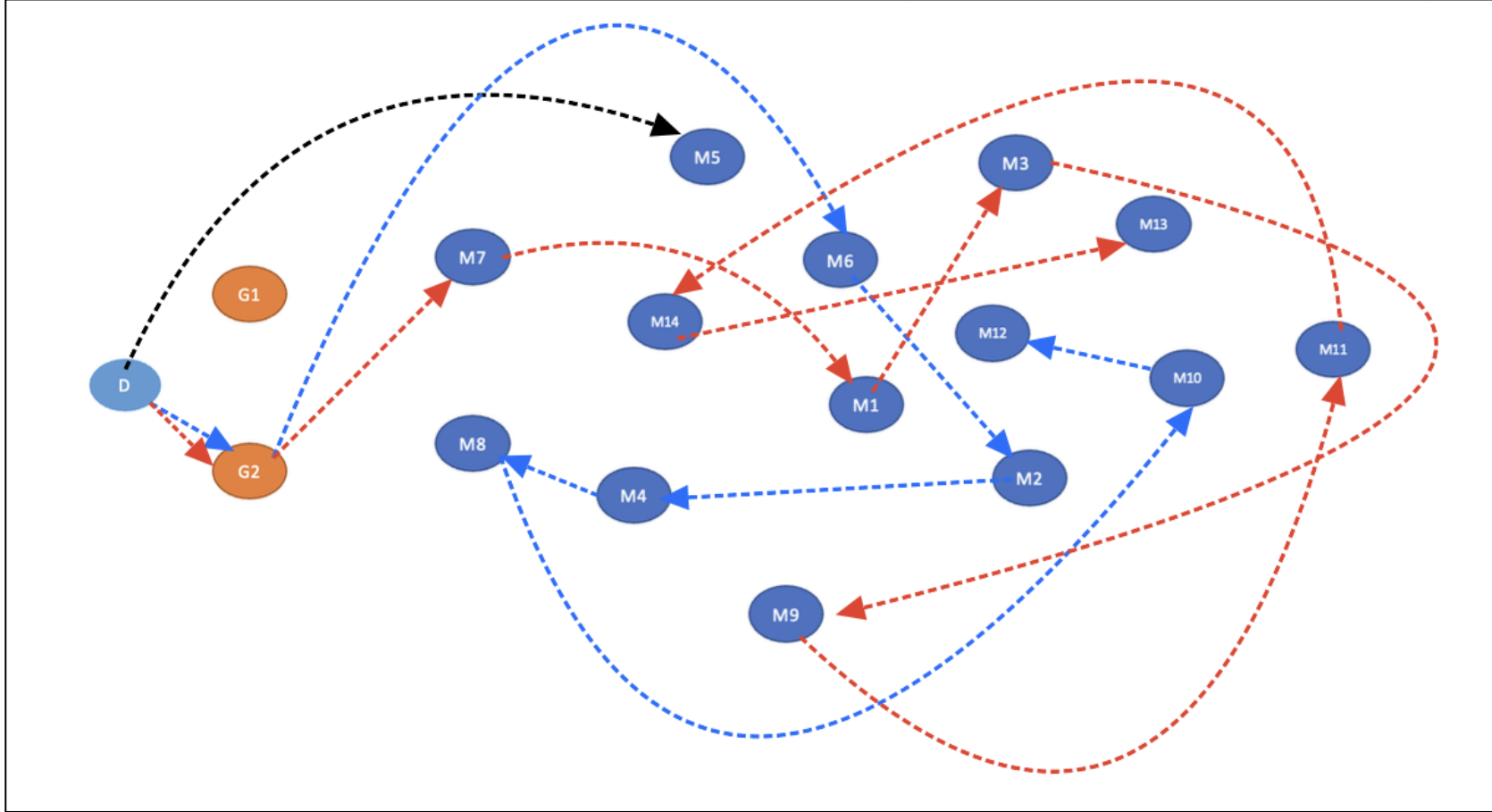
ŞekilEk.2.8:  $M= 10$   $K=4$   $T \leq 360$  rota gösterimi



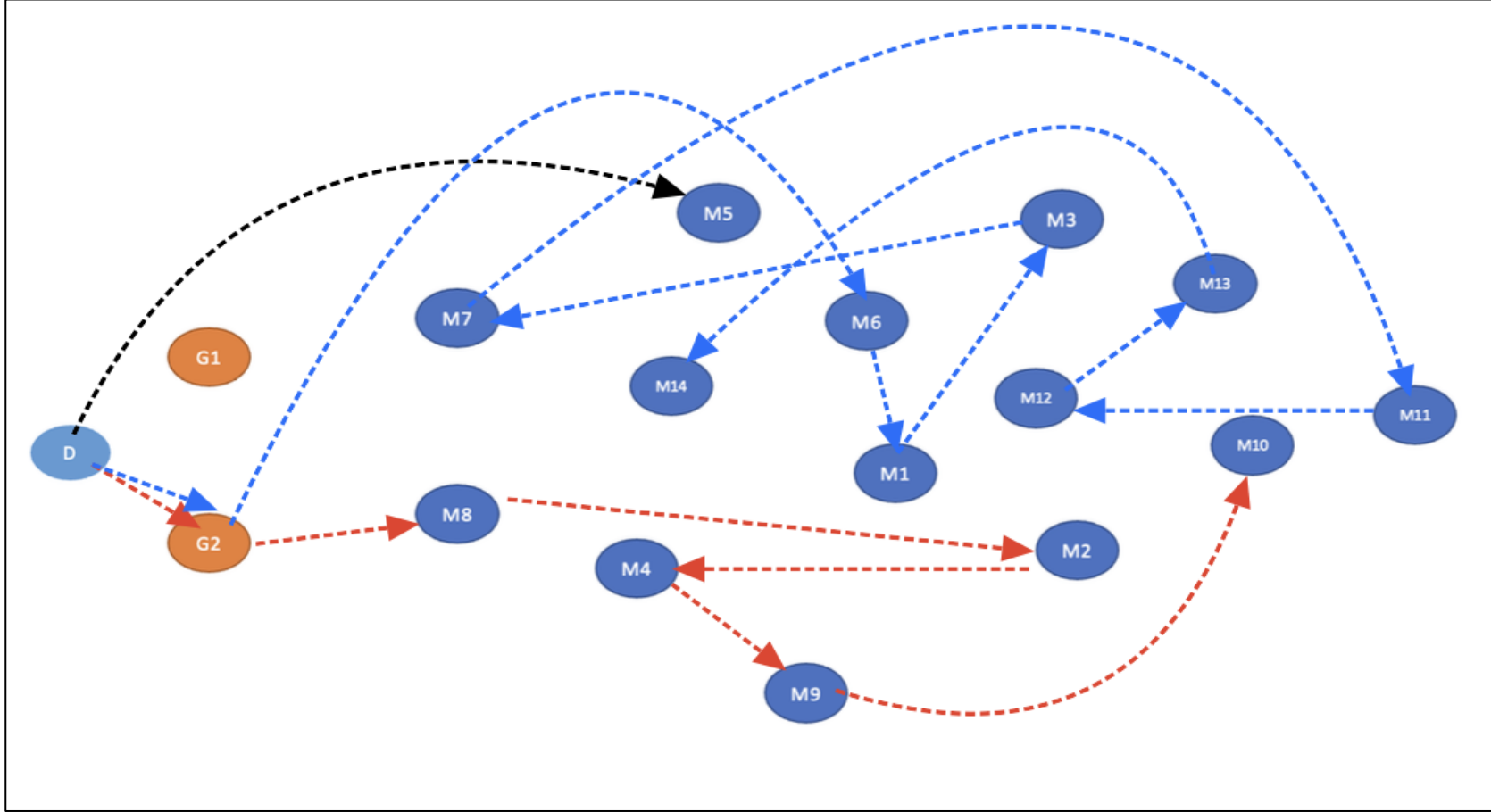
ŞekilEk.2.9:  $M= 10$   $K=4$   $T \leq 408$  rota gösterimi



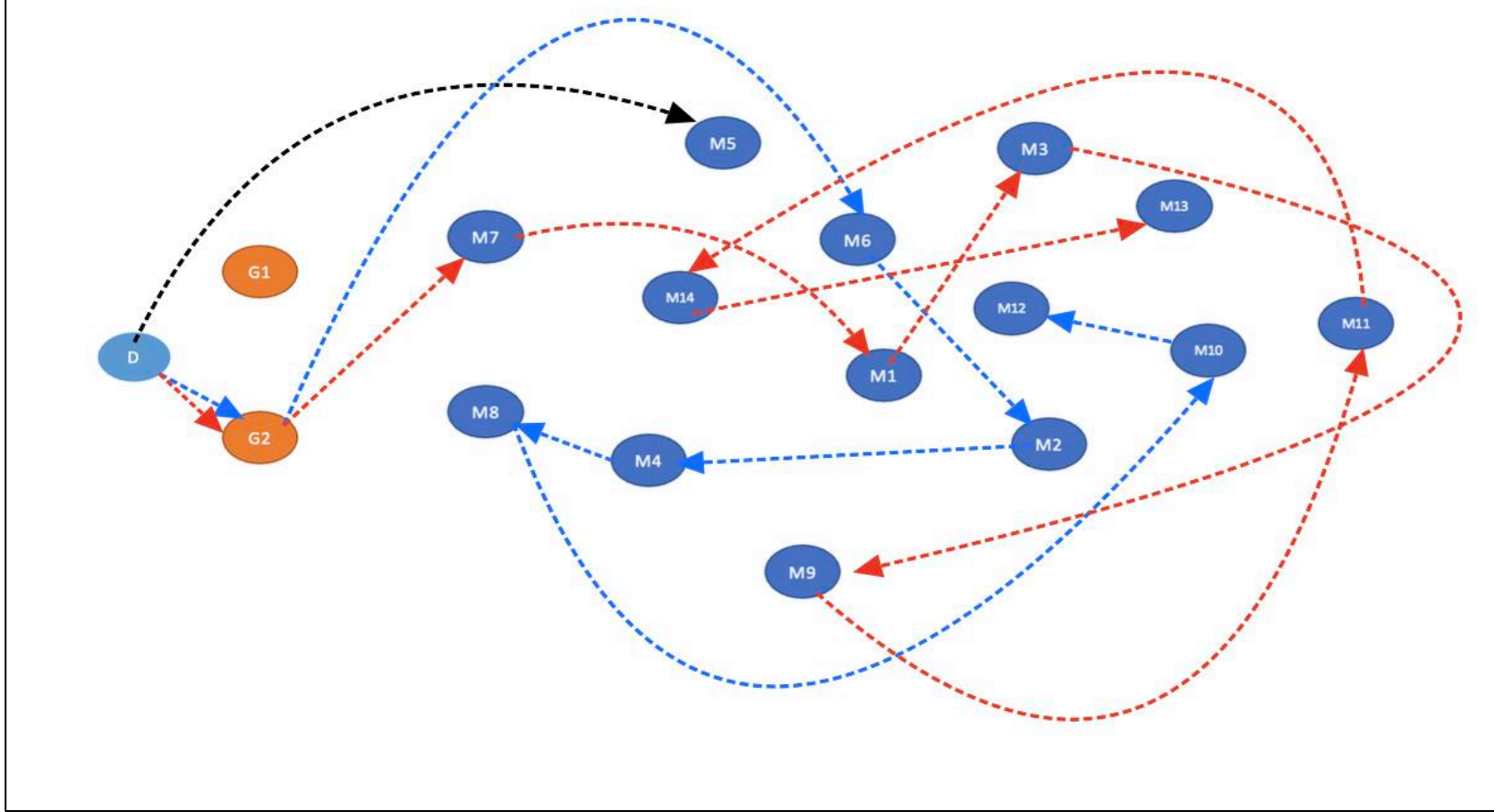
ŞekilEk.2.10:  $M= 14$   $K=2$   $T \leq 286$  rota gösterimi



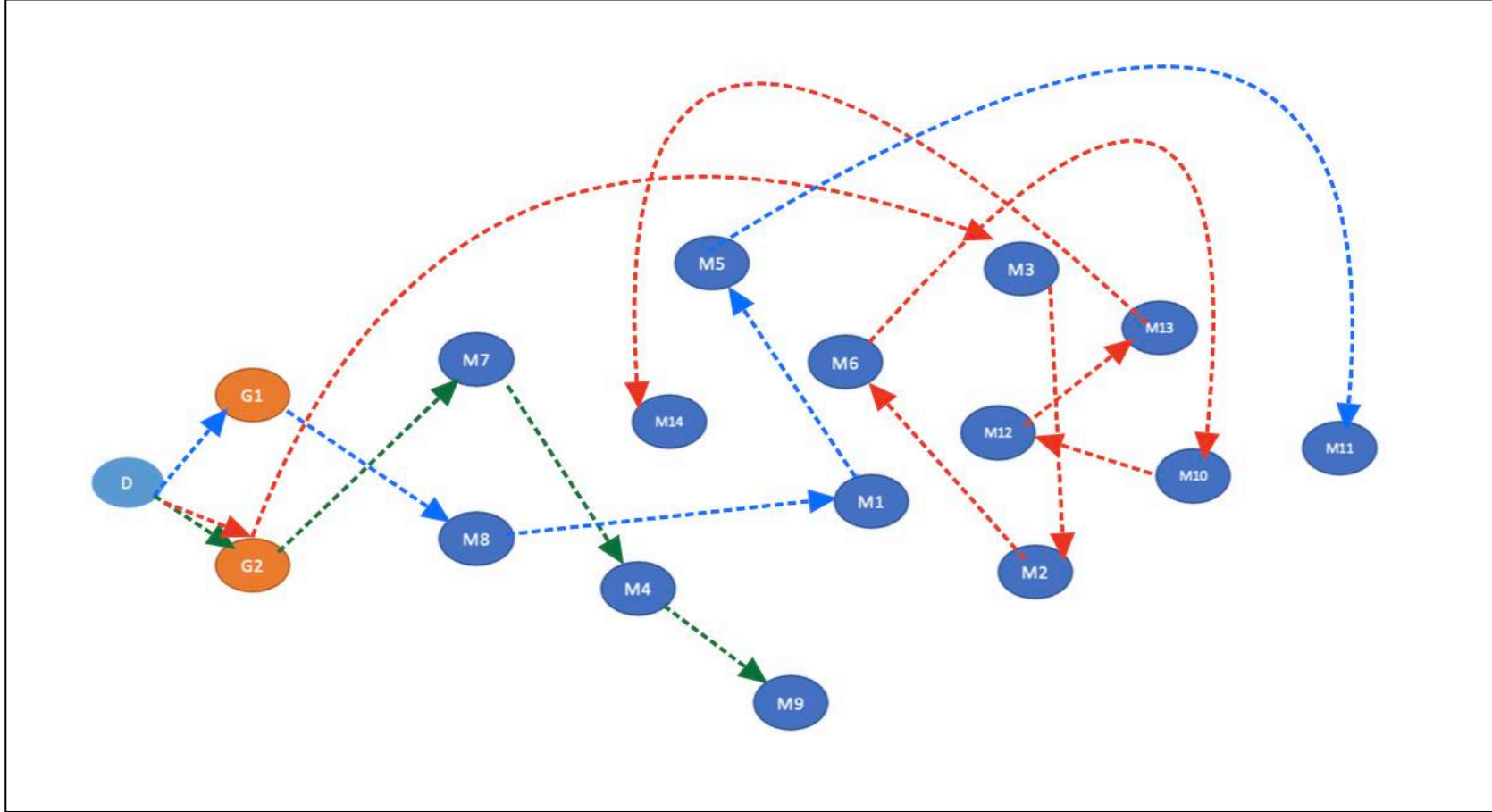
ŞekilEk.2.11:  $M= 14$   $K=2$   $T \leq 360$  rota gösterimi



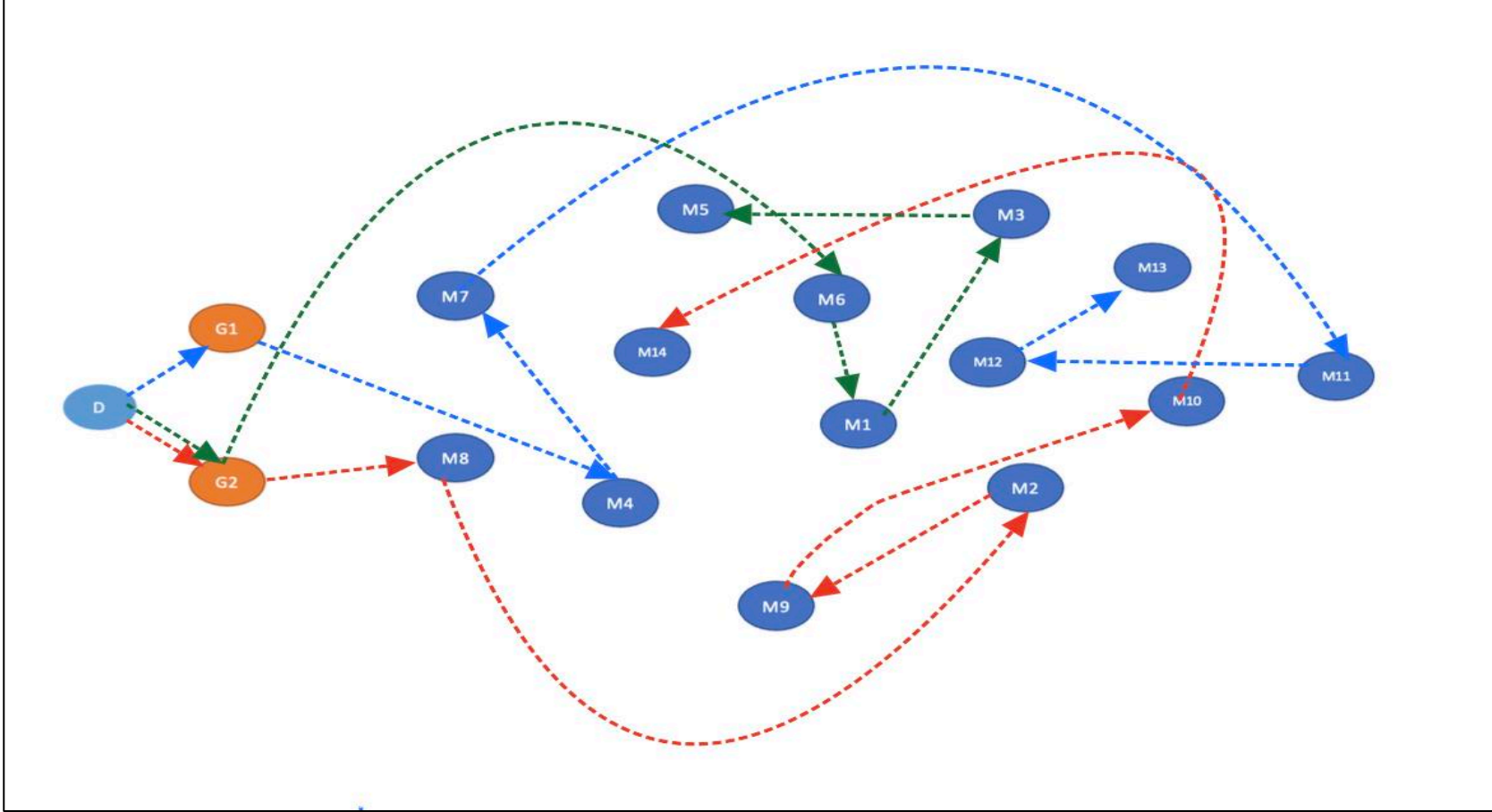
ŞekilEk.2.12:  $M= 14$   $K=2$   $T \leq 360$  rota gösterimi



ŞekilEk.2.13:  $M= 14$   $K=2$   $T \leq 408$  rota gösterimi

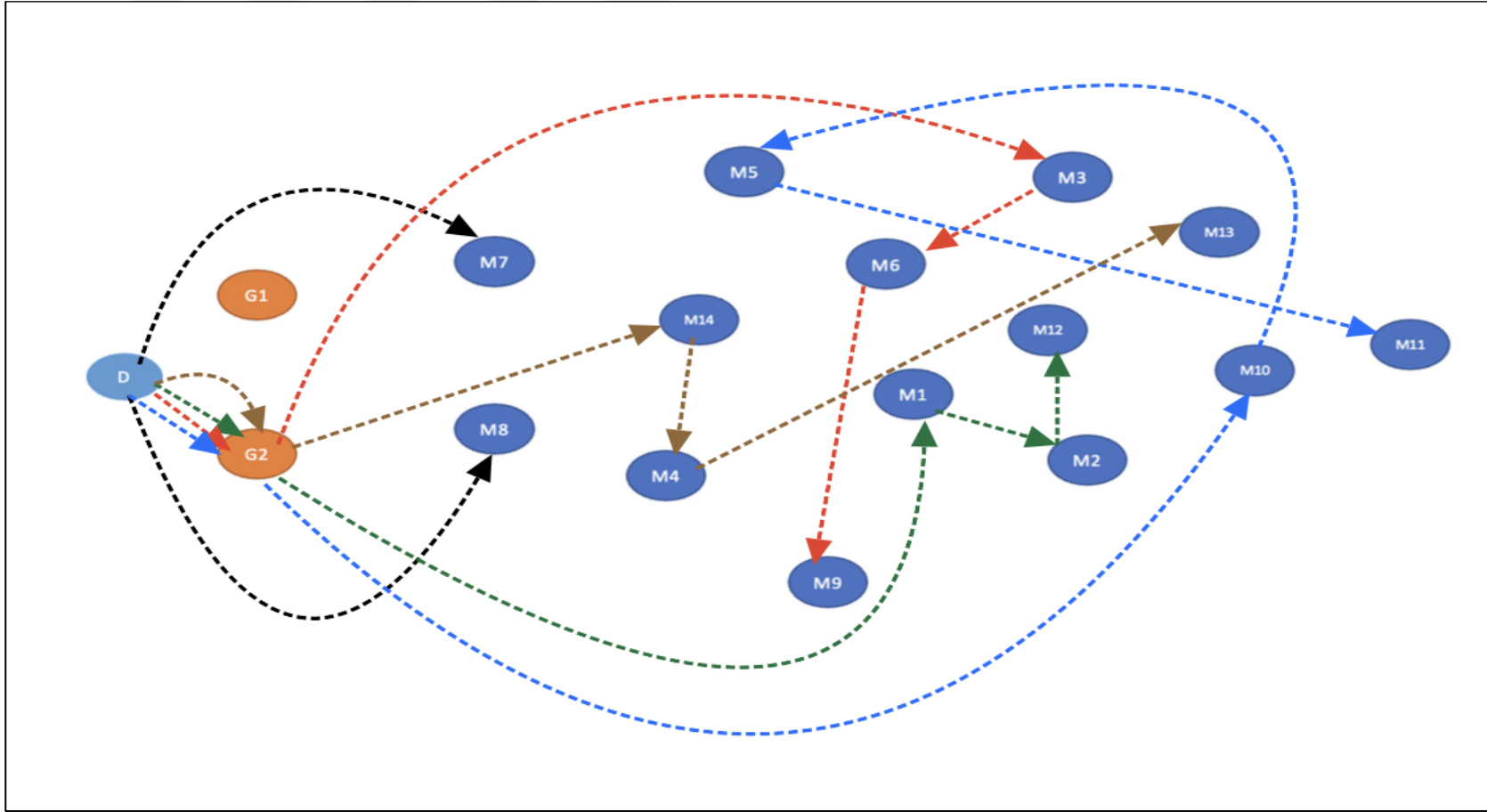


ŞekilEk.2.14:  $M= 14$   $K=3$   $T \leq 360$  rota gösterimi

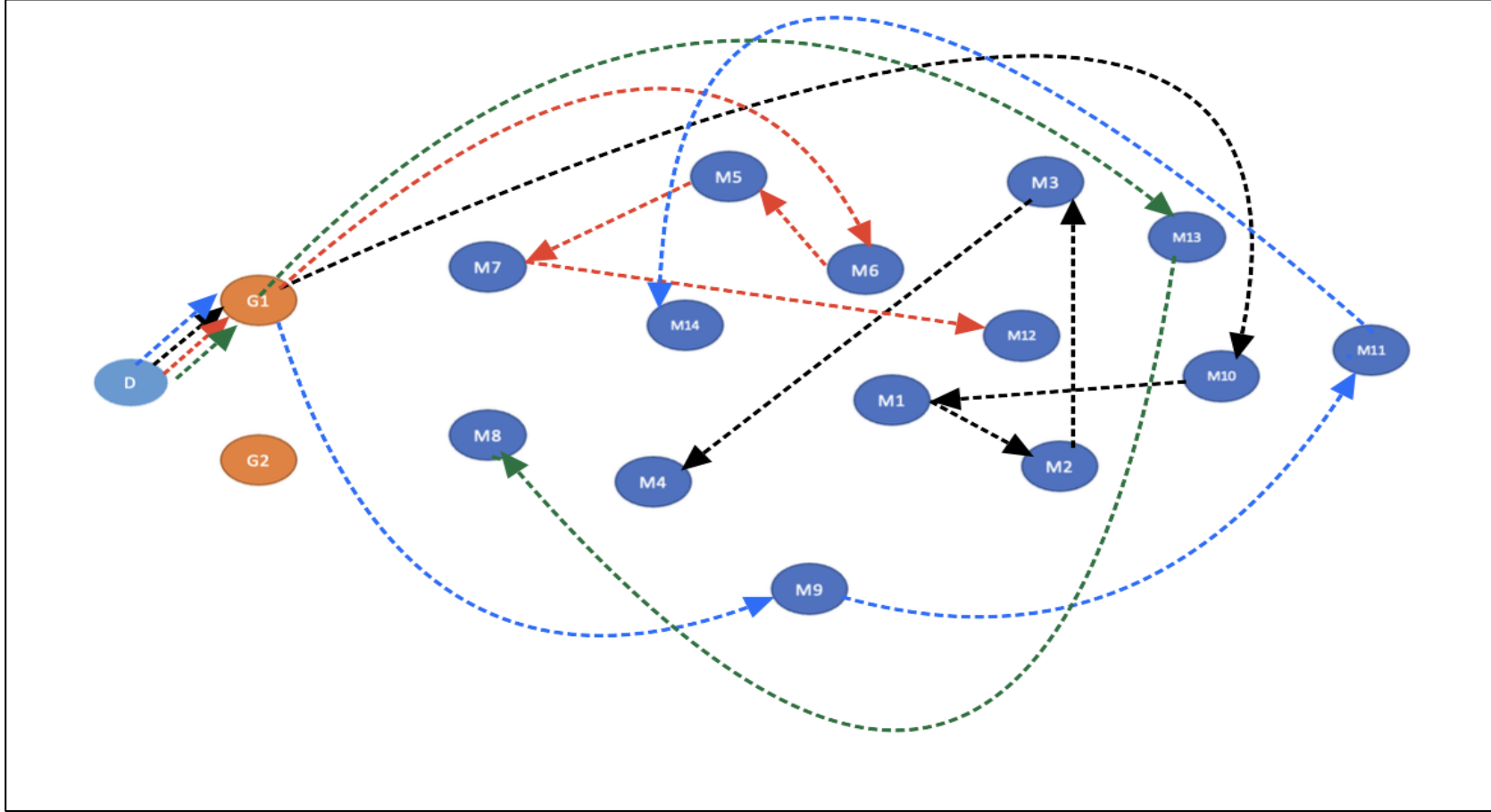


ŞekilEk.2.15: M= 14 K=3 T 408 rota gösterimi

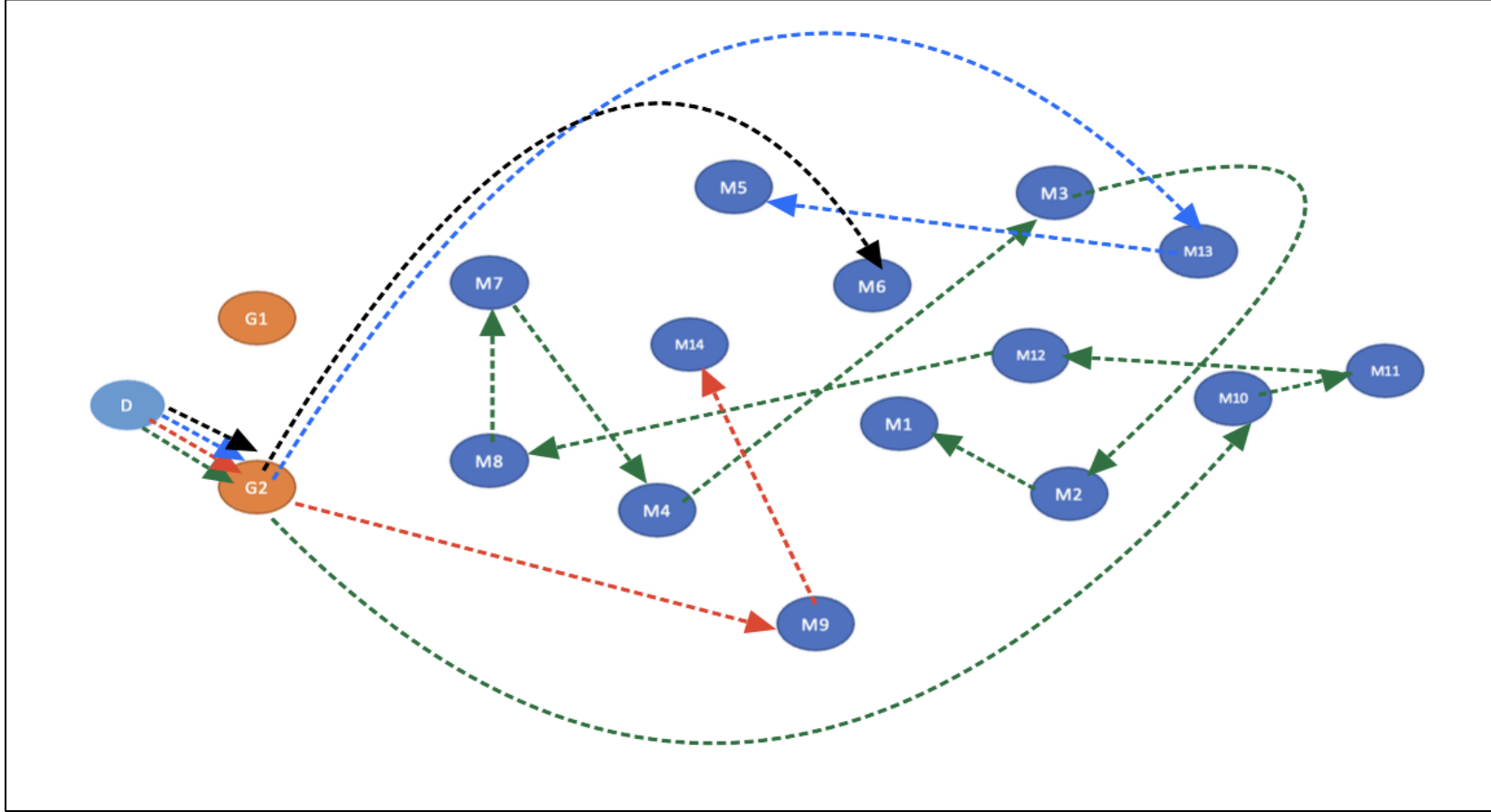




ŞekilEk.2.16:  $M=14$   $K=4$   $T \leq 286$  rota gösterimi



ŞekilEk.2.17:  $M= 14$   $K=4$   $T \leq 360$  rota gösterimi



ŞekilEk.2.18:  $M= 14$   $K=4$   $T \leq 408$  rota gösterimi

### EK 3. R Kodları

#9 ve 24 süre değerleri arasında oluşturulan 30x30 matris

```
set.seed(123)
mat <- matrix(sample(9:24, 30*30, replace = TRUE), nrow = 30, ncol = 30)
mat <- t(mat) + mat - diag(diag(mat))
mat
```

# 1x27 talep matrisi

```
set.seed(123)
mat <- matrix(sample(100:30000, 27, replace = TRUE), nrow = 1)
mat <- t(mat) + mat - diag(diag(mat))
mat
```

# Parsiyel araç maliyet matrisi

```
set.seed(123)
mat <- matrix(sample(200:800, 27, replace = TRUE), nrow = 1)
mat <- t(mat) + mat - diag(diag(mat))
mat
```

# Komple araç maliyet matrisi

```
set.seed(123)
mat <- matrix(sample(1000:1500, 27, replace = TRUE), nrow = 1)
mat <- t(mat) + mat - diag(diag(mat))
mat
```

```
#9 ve 24 süre değerleri arasında oluşturulan 18x18 matris
set.seed(123)
mat <- matrix(sample(9:24, 18^2, replace = TRUE), nrow = 18)
mat <- t(mat) + mat - diag(diag(mat))
mat
```

```
#Talep matrisi
set.seed(123)
mat <- matrix(sample(100:20000, 18, replace = TRUE), nrow = 1)
mat <- t(mat) + mat - diag(diag(mat))
mat
```

```
# Parsiyel araç maliyet matrisi
set.seed(123) # set seed for reproducibility
mat <- matrix(sample(200:800, 15, replace = TRUE), nrow = 1)
mat <- t(mat) + mat - diag(diag(mat))
mat
```

```
# Komple araç maliyet matrisi
set.seed(123)
mat <- matrix(sample(1000:1500, 18, replace = TRUE), nrow = 1)
mat <- t(mat) + mat - diag(diag(mat))
mat
```