

BİR KARGO ŞİRKETİNDE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ VE UYGULAMASI

Ediz Atmaca *

Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06570 Maltepe Ankara,

Özet

Günümüzde rekabetin artması ve teknolojinin hızla ilerlemesi ile işletmelerin kendilerini sürekli yenilemeleri gerekmektedir. Bu durumda müşteri taleplerinin zamanında ve eksiksiz olarak minimum maliyetle karşılanması büyük önem taşımaktadır. Müşteri taleplerinin zamanında ve en az maliyetle karşılanmasının planlanması için karmaşık bir optimizasyon problemi olan araç rotalama problemi (ARP) kullanılmaktadır. Ürünler birden fazla araç ile bir veya birden fazla üretim merkezinden ilgili talep yerlerine taşınabilir. Yapılan çalışmada, bir kargo şirketi için, eş zamanlı dağıtım toplamalı araç rotalama problemi üzerinde durulmuştur. Problem için literatürde mevcut olan eş zamanlı toplamalı ARP modeli GAMS programı kullanılarak çözülmüştür. Mevcut ve önerilen durum; araç sayısı, araç doluluk oranları, gidilen rota uzunlukları açısından karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Araç rotalama problemi, Eş zamanlı dağıtım toplama, Lojistik

VEHICLE ROUTING PROBLEM IN A CARGO COMPANY AND AN APPLICATION

Abstract

Today, firms should renew themselves continuously due to increasing competition and rapid advancement of technology. In this case, it is very important to satisfy customer demands on time and with the minimum cost. The vehicle routing problem, which is a complex optimization problem to plan the satisfaction of customer demands on time and with the minimum cost, is used. Products can be shipped from multiple sources to related demand locations by using few vehicles. In this study, a VRP with simultaneous pick up and delivery is considered for a cargo company. For the problem, a VRP model with simultaneous pick up and delivery given in the literature is solved by using GAMS. Current and proposed situations are compared in terms of the number of vehicles, vehicle occupancy rate route length.

Keywords: Vehicle routing problem, Simultaneous pick up and delivery, Logistics

1. Giriş

Araç Rotalama Problemi (ARP), ilk olarak Dantzig ve Ramser tarafından tanımlanmıştır [1]. Dantzig ve Ramser çalışmalarında, bir gerçek hayat uygulaması olan servis istasyonlarına benzin dağıtım problemini ele almışlar ve çözüm için bir matematiksel programlama modeli ve algoritmik yaklaşım ortaya koymuşlardır. İlk ortaya çıktığı yıllarda küçük bir grup matematikçinin ilgisini çeken ARP, giderek bir çok disiplindeki araştırmacının üzerinde çalıştığı alan haline gelmiştir.

ARP'de birden fazla ve genelde birbiriyle çelişen amaçlar dikkate alınabilmektedir. En bilinen amaçlar şunlardır:

- Araçların toplam katettiği mesafeye (ya da toplam seyahat süresine) ve kullanılan araçların sabit maliyetlerine (ve ilgili sürücüye) bağlı olan toplam taşıma maliyetlerini en küçüklemek
- Tüm müşterilere hizmet etmek için gerekli olan toplam araç sayısını (ya da sürücü sayısını) en küçüklemek
- Rotaları seyahat süresi ve araç yükü açısından dengelemek
- Müşterilere parçalı dağıtım yapılmasından kaynaklanan cezaları en küçüklemek

Yukarıda sayılan amaçların çeşitli kombinasyonları da problemin amaç fonksiyonunu oluşturabilmektedir. ARP sahip olduğu kısıtlara göre, geri toplamalı araç rotalama problemleri, dağıtım toplamalı araç rotalama problemleri, zaman pencereci araç rotalama problemleri gibi farklı türlere sahiptir [2]. Kombinatoriyel en iyilemenin en önemli ve çok çalışılan problemlerinden biri olan ARP'de, belirli bir müşteri kümesine hizmet edecek olan bir araç filosunun izleyeceği rotaların en iyisinin belirlenmesine çalışılır. Klasik ARP problemlerinin çözümü, her rotanın depodan başlayıp depo ile bittiği ve her bir müşteriye bir kez uğranması kısıtının sağlandığı rotalar kümesidir. Bunun yanı sıra problemin türüne göre bazı yan kısıtların da sağlanması gerekebilmektedir. En yaygın olan yan kısıtlar; kapasite kısıtı, bir rotada olabilecek en fazla talep noktası kısıtı, bir rotada aracın toplam süre kısıtı, talep noktalarına hizmetin başlanabileceği zaman penceresi kısıtı, bir talep noktasının başka bir talep noktasından önce ziyaret edilmesinin gerektiği öncelik kısıtıdır [3].

Dağıtım toplamalı araç rotalama problemleri; her rotanın depoda başlayıp depoda bittiği, her müşteriye bir aracın gittiği; rotanın toplam talebinin araç kapasitesini aşmadığı; her müşterinin arz ve talebinin karşılandığı problemlerdir [4]. Dağıtım ve toplama işleminin gerçekleştirilmesine göre:

- Önce dağıtım sonra toplama,
- Karışık dağıtım toplama,
- Eş zamanlı dağıtım ve toplama

problemleri olmak üzere üçe ayrılır. *Önce dağıtım sonra toplama araç rotalama problemlerinde*; depodan müşterilere dağıtılacak malzemelerin tamamı dağıtıldıktan sonra müşterilerden depoya gönderilecek malzemelerin toplama işlemi yapılır. Müşterilere birden fazla kez uğranabilir.

Karışık dağıtım toplamalı araç rotalama problemlerinde; dağıtım ve toplama işlemi karışık olarak yapılmaktadır. Müşterilere birden fazla kez uğranabilir.

Eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemleri (EZDTARP); dağıtım ve toplama işlemlerinin eş zamanlı gerçekleştirildiği problemlerdir. Eş zamanlı ifadesinden anlatılmak istenen müşteriye uğrandığında, dağıtılacağı bırakılması ve toplanacağı alınmasıdır. Dolayısıyla müşteriler herhangi bir ayrıma tabi tutulmazlar. Araçlar her müşteriye bir defa gider ve dağıtım ve toplama işlemini yaparak müşteriden ayrılır. EZDTARP'leri NP-zor problemlerdir. EZDTARP'ne; içeceklerin marketlere dağıtılırken boş şişelerin veya günü geçen ürünlerin fabrikaya taşınması, kanların merkezlerden hastanelere dağıtılırken yeni kanların da merkeze taşınması, kargo firmalarında ana depodan kolilerin bayilere dağıtılması ve bayilerden gönderilecek kolilerin ana depoya taşınması örnek olarak verilebilir.

EZDTARP ilk defa Min [5] tarafından ortaya atılmıştır. Min'in algoritması önce kümeleme sonra rotalama yöntemini temel almıştır. Dethloff [6] eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemleri için ekleme temelli yeni bir sezgisel algoritma geliştirmiştir. Geliştirilen algoritma ile Min tarafından sunulan algoritmanın bulunduğu rotalardan daha iyi bir sonuca ulaşılmıştır. Nagy ve Salhi [7] dağıtım-toplamalı araç rotalama problemleri için genel bir algoritma geliştirmiş ve bu algoritmayı hem karışık dağıtım-toplamalı araç rotalama problemlerinde hem de eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemlerine uygulamışlardır. Geliştirdikleri algoritmayı Min'in algoritması ile kıyaslamışlar ve daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Montane ve Galvao tabu arama algoritması geliştirmiştir [8]. Gencer ve Yaşa, Ulaştırma Komutanlığına gelen yurtiçi taşıma isteklerinin en düşük maliyetle karşılanabilmesi için, eş zamanlı dağıtım toplamalı araç rotalama

modeli oluşturmuşlardır [9]. Taleplerin değişken olmasından dolayı rotaların dinamik olarak belirlenmesini kolaylaştırmak için karar destek yazılımı (VRP 2.0) hazırlamışlardır. Bianchess ve Righini EZDTARP için sezgisel algoritmalar geliştirmiş ve bu algoritmaları karşılaştırmışlardır [10]. Gajpal ve Abad EZDTARP için karınca koloni algoritması geliştirmiş ve mevcut yöntemlerden hem bilgisayar zamanı hem de çözüm kalitesi açısından daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir [11]. Ai ve Kachitvchyanukul EZDTARP için yeni bir matematiksel model geliştirmiş ve problemin çözümü için kuş sürüsü algoritması önermiştir. Geliştirilen matematiksel model literatürdeki 3 matematiksel modelin genişletilmiş halidir [12]. Zachariadis vd., EZDTARP için tabu arama ve bölgesel arama yöntemlerini birleştiren bir hibrit yaklaşım önermiştir [13]. Çetin vd., heterojen araç filolu eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemlerinin çözümü için yeni bir sezgisel algoritma önermişler ve önerilen algoritmaya dayalı bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir [14].

2. Problemin tanımı

Yapılan çalışmada, seçilen bir kargo şirketinin Ankara transfer Merkezindeki deposundan Ankara içi ve çevresine yapılan ring seferleri için kullanılan araçların toplam seyahat mesafesi ve dolayısıyla taşıma maliyetleri minimize edilmeye çalışılmıştır. Problemden bir transfer merkezi ve 71 şube bulunmaktadır.

2.1. Problemin Verileri

Problemin amacı, Kargo şirketinin Ankara Transfer Merkezi'nden Ankara içindeki şubelere kargo taşımalarını her bir aracın kapasitesi aşılmadan, katedilen seyahat mesafesini minimize edecek şekilde ring araçlarının rotasının planlanmasıdır. Problem eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemi tipine girmektedir. Buna göre,

- Araçlar depolardan çıkıp tekrar depolara dönerler.
- Her müşteriye bir araç gider.
- Rotadaki dağıtılacak ve toplanacak yük miktarı araç kapasitesini geçemez. Her müşteriden dağıtım ve toplama yapılır.
- Kat edilen yol minimize edilmeye çalışılır.

Ankara Transfer Merkezinden ring servisi yapan araçlar ve kapasiteleri Tablo 1'de verilmiştir.

No	Kapasite (Desi)	No	Kapasite (Desi)
1	3500	20	5000
2	3500	21	5000
3	3500	22	5000
4	3500	23	5000
5	3500	24	5000
6	3500	25	7600
7	3500	26	7600
8	3500	27	7600
9	3500	28	7600
10	3500	29	7600
11	3500	30	7600
12	3500	31	7600
13	5000	32	7600
14	5000	33	7600
15	5000	34	7600
16	5000	35	7600
17	5000		
18	5000		
19	5000		

Tablo 1. Ring Servisi yapan araçlar ve kapasiteleri

Tablo1' den görüldüğü gibi, kapasitesi 3500 desi olan 12 adet, 5000 desi olan 12 adet ve 7600 desi olan 11 adet araç bulunmaktadır. Tablo 2'de şubeler gösterilmiştir.

No	Kargo	No	Kargo	No	Kargo
1	Ankara Transfer Merkezi	25	Fevziçakmak	49	Sincan
2	Ağaç işleri	26	Gersan	50	Siteler
3	Akyurt	27	Gimat	51	Söğütözü
4	Atısan	28	Hasköy	52	Şaşmaz
5	Ayrancı	29	Hoşdere	53	Şehitlik
6	Balgat	30	İvedik	54	Tandoğan
7	Batıkent	31	İvoksan	55	Tunalı
8	Bayındır	32	Kardelen	56	Tunus
9	Beşevler	33	Kavaklıdere	57	Yeniyol
10	Bilkent	34	Keçiören	58	Ulus
11	Cebeci	35	Kumrular	59	Gimat
12	Cevizlidere	36	Meşrutiyet	60	Ostim
13	Cinnah	37	Mobilyacı	61	Esat
14	Çayyolu	38	Mogan	62	Kazım Karabekir
15	Çıkrıkçılar	39	Necatibey	63	Hoşdere
16	Çukurambar	40	Opera	64	Kolej
17	Çukurbirlik	41	Oran	65	Balgat
18	Demetevler	42	Orsan	66	Dikmen
19	Dışkapı	43	Ostim	67	Necatibey
20	Dikmen	44	Öveçler	68	Siteler
21	Emek	45	Pursaklar	69	Söğütözü
22	Eryaman	46	Rabat	70	Şaşmaz
23	Etimesgut	47	Rüzgarlı	71	Keçiören
24	Etlik	48	Sağlık	72	Kumrular

Tablo 2. Şubeler

Şubelerdeki haftalık ortalama kargo sayıları Tablo 3’de verilmiştir.

BİRİM ADI	RİNG (KARGO) haftalık ortalama	ŞUBE (KARGO) haftalık ortalama	TOPLAM (KARGO) haftalık ortalama
AĞAÇIŞLERİ	18	196	214
AKYURT	275	203	478
ATISAN	87	168	254
AYRANCI	1	94	95
BALGAT	40	120	161
BATIKENT	1	15	16
BAYINDIR	49	228	277
BEŞEVLER	9	70	79
BEYPAZARI	0	26	26
BİLKENT	0	94	94
CEBECİ	7	98	105
CEVİZLİDERE	34	236	270
CİNNAH	0	41	41
ÇANKIRI	1	35	35
ÇAYYOLU	16	79	95
ÇIKRIKÇILAR	4	95	99
ÇUKURAMBAR	0	76	76
ÇUKURCABİRLİK	12	94	106
DEMETEVLER	563	875	1.438
DİKMEN	93	90	184
DIŞKAPI	104	163	267
ELMADAĞ	163	225	388
EMEK	1	90	91
ERYAMAN	11	14	26
ETİMESGUT	15	16	32
ETLİK	11	94	105
FEVZİÇAKMAK	51	132	183
GERSAN	66	259	324
GİMAT	258	315	573
HASKÖY	28	15	43
HOŞDERE	2	76	78

Tablo 3.Şubelerdeki kargo sayıları

ANKARA BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜNE BAĞLI BİRİMLER			
BİRİM ADI	RİNG (KARGO) haftalık ortalama	ŞUBE (KARGO) haftalık ortalama	TOPLAM (KARGO) haftalık ortalama
İVEDİK	157	563	720
KARDELEN	90	402	492
KAVAKLIDERE	0	89	89
KEÇİÖREN	11	48	59
KIRIKKALE	1	142	143
KUMRULAR	23	112	135
MEŞRUTİYET	16	470	485
MOBİLYACI	48	224	272
MOGAN	87	77	164
NECATİBEY	4	106	110
OPERA	86	248	334
ORAN	14	71	85
ORSAN	133	262	395
OSTİM	82	542	624
ÖVEÇLER	19	152	172
POLATLI	197	209	406
PURSAKLAR	101	254	355
RÜZGARLI	203	300	503
SİNCAN	0	41	41
SİTELER	17	214	231
SÖĞÜTÖZÜ	27	125	152
SUNGURLU	0	35	35
ŞAŞMAZ	55	215	270
TANDOĞAN	37	161	198
TEMELLİ	24	184	208
TUNALI	0	72	73
TUNUS	0	91	91
TÜRK KONUT	1	12	14
YENİYOL	197	343	539
TOPLAM	3.807	11.121	14.927

Tablo 3. Devamı

2.2. Problemin Varsayımları

- Talepler önceden (araçlar rotalarına başlamadan önce) bilinmektedir.
- Talepler tek depodan karşılanmaktadır.
- Rota üzerindeki noktalar arasında yük taşıması yapılmamaktadır.
- Taşıma işlemini yapacak yeterli sayıda araç bulunmaktadır.
- Yük şekilleri istifleme sırasında araç kapasitesini tümüyle kullanmaya engel teşkil etmemektedir (istiflendiğinde şekli yüzünden araç içinde boş alan yaratmamaktadır).

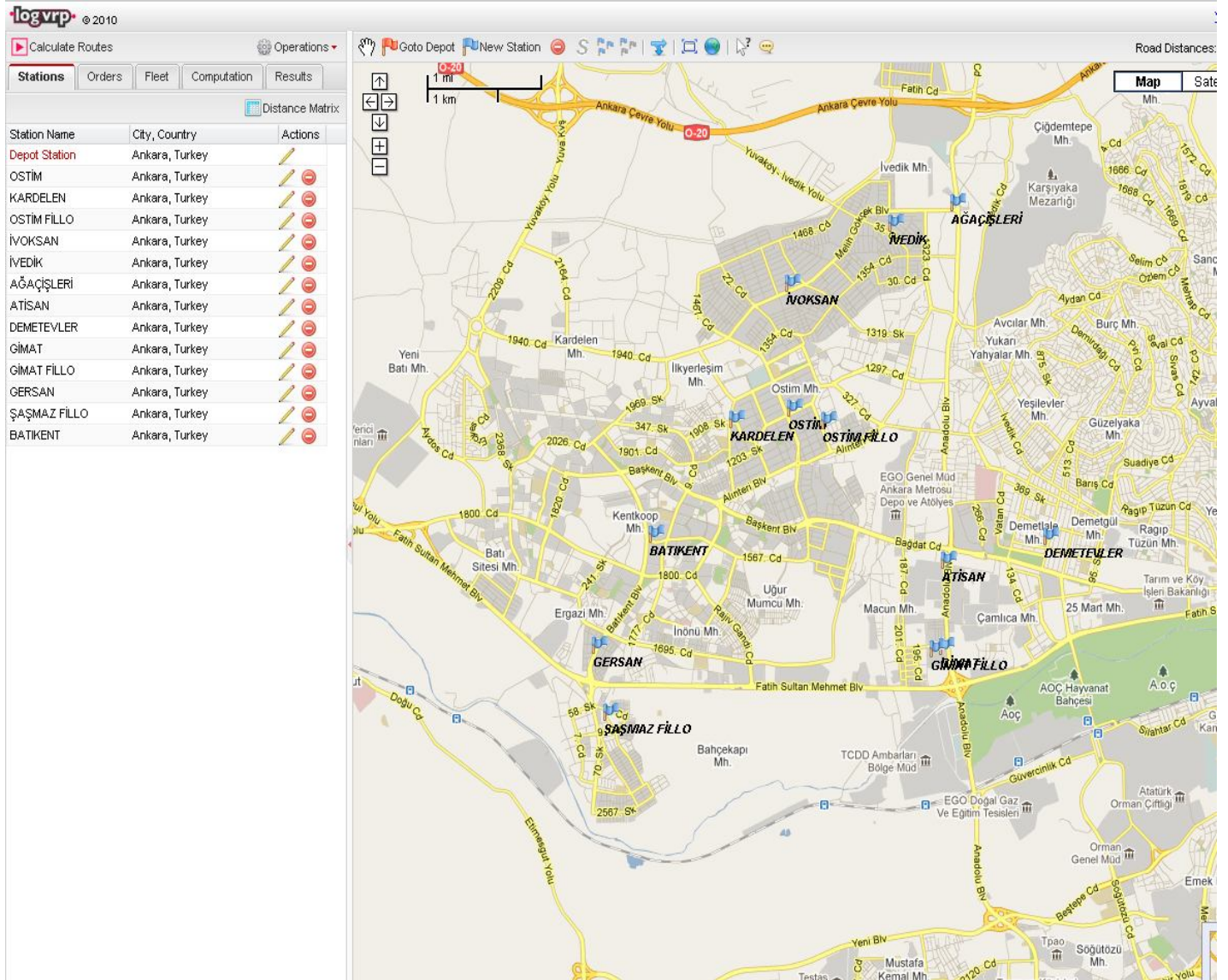
2.3. Problemin Mevcut Durumu

Mevcut durumda firma, şubelere dağıtımda herhangi bir analitik metot kullanmamaktadır. Şubelere dağıtım belirlenirken temel amaç, şubelerin birbirine yakınlığıdır. Birbirine yakın birkaç şubenin kargosunu aynı araca vererek, optimali garanti etmeyen, sezgisel bir yaklaşımla dağıtım yapılmaktadır. Bu ise araçlarda aşırı boşluklara ya da aracın kapasitesinin yetersiz kalıp bazı kargoların depoda kalmasına neden olmaktadır.

Mevcut durumla ilgili araç kullanım bilgisi Tablo 4’de verilmiştir. Şubeler arası uzaklıklar GoogleMap kullanılarak hesaplanmıştır. Örnek hesaplama Şekil 1 ve 2’de gösterilmiştir. Kat edilen uzaklıklar hesaplanırken, aracın Ankara Transfer Merkezinden çıkıp bütün şubeleri dolaşp depoya tekrar geri dönmesi dikkate alınmıştır.

Araç No	Şubeler	Araç Kapasitesi	Dağıtılan yük	Kullan. Yüzdesi	Toplanan Yük	Kulla. Yüzdesi	Rota Uzunluğu
1	Ayrancı, Cinnah, Hoşdere	3500	2541	0,73	42	0,01	70,5
2	Tunus, Tunalı, K.dere, Rabat, Ç.birlik	3500	1011	0,29	166	0,05	84,5
3	Yıldız, Mogan	3500	956	0,27	159	0,05	109,2
4	Kumrular, N.bey, F.Çakmak	3500	1038	0,3	108	0,03	66,6
5	Bayındır, Meşrutiyet, Sağlık	3500	1120	0,32	152	0,04	66,2
6	Söğütözü, Emek	3500	1093	0,31	49	0,01	65,2
7	Hasköy, Etlik, Keçiören	5000	1940	0,39	91	0,02	72,7
8	Yeniyol, Dışkapı, Rüzgarlı	5000	2162	0,43	744	0,15	67
9	Opera, Çıkrıkçılar, Cebeci, Şehitlik	5000	1475	0,3	157	0,03	70,5
10	Gimat, Demet	5000	2377	0,48	819	0,16	52,1
11	Gersan, Şaşmaz	3500	1421	0,41	227	0,06	37,9
12	Orsan, Sincan, Eryaman	5000	1995	0,4	451	0,09	47,7
13	Çayyolu, Bilkent, Etimesgut	5000	1148	0,23	400	0,08	63,4
14	Öveçler, Dikmen, Oran	3500	3087	0,88	154	0,04	79,9
15	Balgat, Cevizlidere, Çukurambar	5000	1667	0,33	141	0,03	66,4
16	Tandoğan, Beşevler	3500	1257	0,36	67	0,02	62,5
17	Ostim, Atisan, Kardelen, Batıkent	7600	4918	0,65	542	0,07	54,8
18	İvedik, İvoksan, Ağaçişleri	7600	2986	0,39	555	0,07	45
19	Siteler, Mobilyacı	7600	1011	0,13	115	0,02	78,2
20	Pursaklar, Akyurt	5000	1475	0,3	821	0,16	94,1
21	Şaşmaz, Gimat, Ostim,	5000	3067	0,61	1120	0,22	52,7
22	Dikmen, Esat, Hoşdere, Kolej, Kumrular,	7600	4962	0,65	424	0,06	86,3
23	Keçiören, Siteler, Ulus, Kazımkarabekir	7600	4564	0,6	1270	0,17	77,7
24	Balgat, Söğütözü	3500	2411	0,69	45	0,01	65,4
			Oran	0,44	Oran	0,07	Top=1636,5

Tablo 4. Araç kullanım bilgisi



Şekil 1. Matris Hesabı

Distance Matrix, Turkey

Road Distances Crow Fly Distances

Map Data Copyright © Notice

Unit: Km	Depot Station	OSTİM	KARDELEN	OSTİM FİLLO	İVOKSAN	İVEDİK	AĞAÇISLARI	ATISAN	DEMETEVLER	GİMAT	GİMAT FİLLO	GERSAN	ŞAŞMAZ	BATIKENT
Depot Station	0.0	18.3	17.4	21.3	17.1	18.4	17.5	21.3	23.1	20.6	20.9	14.7	15.1	16.5
OSTİM	18.3	0.0	1.4	1.4	3.7	4.8	5.5	4.6	5.3	5.8	4.8	5.1	6.3	4.2
KARDELEN	17.4	1.4	0.0	3.0	3.9	5.0	6.8	4.9	6.3	5.9	5.8	5.2	6.4	4.4
OSTİM FİLLO	21.3	1.4	3.0	0.0	3.5	4.2	4.7	4.4	5.2	5.5	5.5	5.9	7.2	5.1
İVOKSAN	17.1	3.7	3.9	3.5	0.0	2.2	3.3	6.1	6.9	7.3	7.5	7.9	9.1	7.0
İVEDİK	18.4	4.8	5.0	4.2	2.2	0.0	1.8	5.2	6.0	6.4	6.6	12.1	12.8	8.1
AĞAÇISLARI	17.5	5.5	0.0	4.7	3.3	1.0	0.0	4.7	5.0	5.9	0.1	11.0	12.3	13.4
ATISAN	21.3	4.6	4.9	4.4	6.1	5.2	4.7	0.0	3.1	1.2	1.4	6.9	7.6	5.1
DEMETEVLER	23.1	5.3	6.3	5.2	6.9	6.0	5.6	3.1	0.0	4.2	4.2	8.8	9.5	6.5
GİMAT	20.6	5.8	5.9	5.5	7.3	6.4	5.9	1.2	4.2	0.0	0.6	6.7	6.7	7.0
GİMAT FİLLO	20.9	4.8	5.8	5.5	7.5	6.6	6.1	1.4	4.2	0.6	0.0	6.7	6.2	7.3
GERSAN	14.7	5.1	5.2	5.9	7.9	12.1	11.6	6.9	8.8	6.7	6.7	0.0	1.2	2.3
ŞAŞMAZ FİLLO	15.1	6.3	6.4	7.2	9.1	12.8	12.3	7.6	9.5	6.7	6.2	1.2	0.0	3.6
BATIKENT	16.5	4.2	4.4	5.1	7.0	8.1	13.4	5.1	6.5	7.0	7.3	2.3	3.6	0.0

Blue values (4): Road distance not found, approximate value of 1.4 x 'crow fly distance' is used. (1.4 is statistical value)
Grey background: Depot station.

Şekil 2. Uzaklık Hesabı

2.4. Problemin Matematiksel Modeli

Problemin çözümü için literatürde adı geçen eş zamanlı dağıtım toplamalı araç rotalama probleminin matematiksel modeli esas alınmıştır. Eş zamanlı dağıtım toplama problemlerinin matematiksel modeli aşağıdadır [6].

Modelde kullanılan notasyon ve parametreler şunlardır:

J: Malzeme taşınacak yerler (birlik, fabrika, yük aktarma noktası vs.),

V: Araçlar,

C: Araç kapasitesi,

C_{ij} : i ve j noktaları arasındaki mesafe,

D_j : J noktasına dağıtım yapılacak malzeme miktarı,

n: Dağıtım yapılacak nokta sayısı,

P_j : J noktasından toplama yapılacak malzeme miktarı,

M: Büyük bir sayı.

Modelin karar değişkenleri aşağıdadır;

l_v : Aracın depodan çıkarırkenki yükü,

l_j : Aracın J noktasından sonraki yükü,

π_j : Alt tur oluşmasını engelleyen değişken,

x_{jv} : V aracının i noktasından j noktasına gidip gitmeyeceğini belirten değişken.

Amaç fonksiyonu,

$$\text{Min } z = \sum_{i \in J_0} \sum_{j \in J_0} \sum_{v \in V} C_{ij} x_{ijv} \quad (1)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{i \in J_0} \sum_{v \in V} x_{ijv} = 1 \quad (j \in J) \quad (2)$$

$$\sum_{i \in J_0} x_{isv} = \sum_{j \in J_0} x_{sjv} \quad (s \in J, v \in V) \quad (3)$$

$$l'_v = \sum_{i \in J_0} \sum_{j \in J_0} D_j x_{ijv} \quad (v \in V) \quad (4)$$

$$l_j \geq l'_v - D_j + P_j - M(1 - x_{0jv}) \quad (j \in J, v \in V) \quad (5)$$

$$l_j \geq l_i - D_j + P_j - M(1 - \sum_{v \in V} x_{ijv}) \quad (i \in J, j \in J, j \neq i) \quad (6)$$

$$l'_v \leq C \quad (v \in V) \quad (7)$$

$$l_j \leq C \quad (j \in J) \quad (8)$$

$$\pi_j \geq \pi_i + 1 - n \left(1 - \sum_{v \in V} x_{ijv} \right) \quad (i \in J, j \in J, j \neq i) \quad (9)$$

$$\pi_j \geq 0 \quad (j \in J) \quad (10)$$

$$x_{ijv} \in \{0,1\} \quad (i \in J_0, j \in J_0, v \in V) \quad (11)$$

Modelde (1); toplam mesafeyi minimize eden amaç fonksiyonudur. (2) nolu kısıt; bütün noktalara bir defa gidilmesini sağlar. Varılan noktayı aynı araçla terk etmeyi sağlayan (3) nolu kısıttır. Araçların başlangıçtaki yükleri (4), ilk noktadan sonra araç yükleri (5), rota boyunca noktalardan sonraki araç yükleri (6) nolu kısıtlarla sınırlandırılmıştır. İlk noktadan sonraki ve rota boyunca araç kapasitesi (7,8) nolu kısıtlarla kontrol edilmektedir. (9,10) nolu kısıtlar alt tur oluşmasını engelleyen kısıtlardır. (11) Karar değişkenlerini ifade eder.

3. Problemin çözümü ve çözüm sonuçlarının değerlendirilmesi

Yapılan çalışmada, seçilen bir kargo şirketinin özelliklerine bağlı oluşan sistem kısıtları da dikkate alınarak hazırlanan matematiksel model GAMS (The General Algebraic Modeling System) paket programı kullanılarak 21.2 versiyonunda çözülmüştür, çözüm süresi 1.187 sn. olarak bulunmuştur. GAMS model çıktısı örnek sayfası Tablo 5'de verilmiştir.

```

sets
i cikilan sube /s1*s68/
v arac /a1*a35/;
Alias (i, j);
Alias (i, w);

parameters
m büyük sayı /100000/
c arac kapasitesi
d(j) subeye gidecek miktar
p(j) subeden gelecek miktar

table k(i,j) subeler arasi uzaklık

variables
x(i,j,v)      v araci i noktasinden j noktasina gitti mi
z             toplam mesafe
h(v)         arac depo çıkış yuku
l            aractaki yuk miktarı
binary variable x;

```

Tablo 5. Gams Programı

Çözüm sonuçları değerlendirildiğinde, önerilen durum için araç rotaları, araç kapasiteleri, kullanım oranları ve rota uzunlukları Tablo 6'da özet şeklinde sunulmuştur.

Araç	Şubeler	Araç kapasitesi	Toplama miktarı	Kullanım oranı	Dağıtım miktarı	Kullanım oranı	Rota uzunluğu
1	Batıkent	3500	2598	0,74	266	0,08	42,3
	Gersan						
	Şaşmaz F.						
2	Bayındır	3500	1544	0,44	59	0,02	66,6
	Meşrutiyet						
	Kumrular						
	Kumrular F.						
3	Eryaman	3500	2592	0,74	111	0,03	55,3
	Etimesgut						
	Sincan						
	Orsan						
4	Cebeci	3500	1169	0,33	526	0,15	81
	Şehitlik						
	Mobilyacı						
	Siteler F.						
5	Cevizlidere	5000	3323	0,66	388	0,08	73,5
	Dikmen						
	Dikmen F.						
	Çukurambar						
	Öveçler						
6	Balgat	5000	3299	0,66	137	0,03	70,6
	Balgat F.						
	Beşevler						
	Emek						
	Tandoğan						
7	Ayrançı	3500	2697	0,77	93	0,03	71,1
	Hoşdere						
	Cinnah						
	Hoşdere F.						
8	Akyurt	3500	1264	0,36	54	0,02	94,1
	Pursaklar						
9	Ağaçşileri	5000	4260	0,85	182	0,04	55,1
	Atisan						
	İvedik						
	İvoksan						
10	Bilkent	3500	2317	0,66	45	0,01	75,5
	Çayyolu						
	Söğütözü						
	Söğütözü F.						

Tablo 6. Çözüm Sonuçları

11	Fevziçakmak	5000	4050	0,81	185	0,04	65,8
	Necatibey						
	Sağlık						
	Kolej F.						
12	Demetevler	7600	6157	0,81	2102	0,28	55,9
	Gimat						
	Gimat F.						
	Ostim F.						
	Ostim						
	Ostim F.						
13	Çıkrıkçılar	3500	2649	0,76	147	0,04	65,5
	Opera						
	Rüzgarlı						
	Ulus F.						
14	Dışkapı	3500	2551	0,73	258	0,07	70,9
	Etlük						
	Yeniyol						
	Kazımkarabekir F.						
15	Çukurcabirlik	3500	1591	0,45	68	0,02	122,3
	Rabat						
	Mogan						
	Oran						
16	Kavaklıdere	3500	1029	0,29	26	0,01	70
	Esat F.						
	Tunalı						
	Tunus						
17	Hasköy	5000	3862	0,77	580	0,12	75,5
	Siteler						
	Keçiören						
	Keçiören F.						
			ort	0,64	ort	0,07	Top =1211

Tablo 6. Çözüm sonuçları devamı

Tablo 6'ya göre, önerilen durumdaki toplam araç sayısı 17 dir. Bunlar sırasıyla 11 araç 3500 m³, 5 araç 5000 m³ ve 1 araçta 7600 m³ lük araçlardır. Mevcut durumdaki araç sayısı ise 24'dür. Görüldüğü üzere mevcut durum ile önerilen durumdaki araç sayıları birbirinden çok farklıdır. Aynı şekilde gidilen toplam rota uzaklıkları cinsinden karşılaştırma yapılırsa, mevcut durumda toplam rota uzunluğu 1636,5 km iken, önerilen durumda 1211 km'dir. Araç doluluk oranlarına baktığımızda da, mevcut durumda bu oran %44 iken önerilen durumda %64 tür. Mevcut durum ve önerilen durumun karşılaştırıldığı özet tablo, Tablo 7'de verilmiştir.

Parametreler	Mevcut Durum	Önerilen Durum
3500 m ³ lük araç sayısı	10	11
5000 m ³ lük araç sayısı	9	5
7600 m ³ lük araç sayısı	5	1
Gidilen Rota Uzunluğu	1636,5 km	1211 km
Araç Doluluk Oranları	%44	%64

Tablo 7.Mevcut ve önerilen durumun karşılaştırılması

Tablo 7'ye göre, mevcut ve önerilen durum incelendiğinde, araç sayılarında(rota sayıları) büyük bir azalma ve araç kapasite kullanım oranlarında da artışlar görülmektedir.

Çözüm sonuçları değerlendirildiğinde, araçların şubeler arasındaki rota uzunluklarının birbirinden farklı oldukları veya dengeli olmadıkları gözlenmektedir. Ancak modelde ulaşılması istenen durum bu dengeden ziyade, toplamda katettikleri mesafenin en azlanmasıdır. Modelde toplam rota uzunlukları dikkate alınarak, katedilen toplam mesafe en azlanmaya çalışılmıştır. Mevcut durumla karşılaştırıldığında, önerilen durumda, gidilen rota uzunluğu 1636,5 km'den 1211 km'ye düşerek, yaklaşık %26 oranında bir iyileşme sağlanmıştır. Rota uzunlukları, araçların günlük olarak kargo şirketinin Ankara transfer Merkezindeki ana deposundan hareket ederek, müşteri taleplerini karşılayacak şekilde tekrar ana depoya döneceği kabul edilerek hesaplanmıştır. Modelde katedilen mesafenin en azlanmasıyla birlikte, araç sayılarında da ciddi azalmalar gözlenmiştir. Önerilen durumda üç araç tipi için toplam sayı değerlendirildiğinde, araç sayısı 24'den 17'ye düşerek, 7 araçlık bir tasarruf sağlanmıştır. Modelde araç tiplerinin sayısında da bir dengeleme yapılmamıştır, ancak toplamdaki araç sayısı en azlanmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak, araçlar günlük olarak kargo şirketinin Ankara transfer Merkezindeki deposundan hareket ederek, Tablo 3'de gösterilen belirli rotalara giderek araç kapasiteleri aşılmayacak şekilde, Ankara içi ve çevresine en az mesafe katederek kargo taşınması yapmışlardır.

4. Sonuç

Son yıllarda dağıtım sistemleri giderek daha karmaşık bir hale gelmiştir. Araç Rotalama Problemi (ARP) dağıtım sistemleri içerisindeki en önemli problemlerden birisidir. ARP, merkezi bir depodan coğrafi olarak dağılmış çeşitli talep noktalarına, dağıtım veya toplama rotalarının, araç filosunun katettiği toplam mesafeyi en azlayacak şekilde bulunmasıdır.

Yapılan çalışmada, bir kargo şirketinin Ankara transfer Merkezindeki deposundan Ankara içi ve çevresine yapılan ring seferleri için eş zamanlı dağıtım toplamalı araç rotalama problemi üzerinde durulmuştur. Problem için bir matematiksel model hazırlanarak çözüm yapılmıştır. Mevcut ve önerilen durum; araç sayısı, araç doluluk oranları ve gidilen rota uzunlukları açısından karşılaştırılmıştır. Önerilen durumda, mevcut duruma göre, araç sayılarında (rota sayıları) azalma, araç kapasite kullanım oranlarında artışlar ve toplam rota uzunluklarında azalmalar görülmektedir. Sonuç olarak, mevcut sistemde önemli ölçüde bir iyileştirme gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Dantzig, G.B., Ramser, J.H., “The Truck Dispatching Problem”, *Management Science*, 6, 80-91 (1959).
- [2] Toth P., and Vigo D., “Models, Relaxations and Exact Approaches for The Capacitated Vehicle Routing Problem”, *Discrete Applied Mathematics*, 123, 1-3, 487-512 (2002).
- [3] Laporte G., “The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms”, *European Journal of Operational Research*, 59, 345-358 (1992).
- [4] Çetin, S., and Gencer, C., “Kesin Zaman Pencereli Eş Zamanlı Dağıtım Toplamalı Araç Rotalama Problemi: Matematiksel Model”, *Gazi Ü.Müh.Fak. Dergisi*, Cilt.25, No:3, 575-585 (2010).
- [5] Min, H., “ The Multiple Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pickup Points”, *Transportation Research*, 23A, 377-386 (1989).
- [6] Dethloff, J., “Vehicle Routing And Reverse Logistics: The Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-Up”, *OR Spektrum*, 23, 79-96 (2001).
- [7] Nagy, G. & Salhi, S. “Heuristic Algorithms For Single And Multiple Depot Vehicle Routing Problems With Pickups And Deliveries”, *European Journal Of Operational Research*, 162, 1, 126-141 (2005).
- [8] Montane F.A.T, Galvao RD., “A Tabu Search Algorithm For the Vehicle Routing Problem With Simultaneous Pick Up And Delivery Service”, *Computers & Operations Research*, 33, 595-619, 2006.
- [9] Gencer, C., Yaşa, Ö., “Ulaştırma Komutanlığı Ring Seferlerinin Eş Zamanlı Dağıtım Toplama Karar Destek Sistemi”, *Gazi Ü.Müh.Fak. Dergisi*, Cilt.22, No:3, 437- 449 (2007).
- [10] Bianchessi, N., Righini, G., “Heuristic Algorithms For The Vehicle Routing Problem With Simultaneous Pick-Up And Delivery”, *Computers & Operations Research*, 34, 578- 594 (2009).
- [11] Gajpal, Y., Abad, P., “An Ant Colony System (ACS) For Vehicle Routing Problem With Simultaneous Delivery And Pick Up”, *Computers & Operations Research*, 36, 3215- 223(2009).
- [12] Ai, T. & Kachitvichyanukul, V., “A Particle Swarm Optimization For The Vehicle Routing Problem With Simultaneous Pickup And Delivery”, *Computers & Operations Research*, 36, 1693-1702 (2009).
- [13] Zachariadis, E.E., Tarantilis, C.D., Kiranoudis, C. T. “Hybrid Metaheuristic Algorithm For The Vehicle Routing Problem With Simultaneous Delivery And Pick-Up Service”, *Expert System with Applications*, 36, 1070-1081(2009).
- [14] Çetin, S., Özkütük, E., and Gencer, C., “Heterojen Araç Filolu Eş Zamanlı Dağıtım Toplamalı Araç Rotalama Problemi İçin Bir Karar Destek Sistemi”, *Int.J.of.Research and Development*, Vol.3, No.1 (2011).