

Ankara İlinde Ürün Dağıtımını Yapan Bir Beyaz Eşya Yetkili Servisinin Araç Rotalama Problemine Çözüm Yaklaşımı

H. Ediz ATMACA, Simge VARDAR, Sergen AKBABAÖZ, Ayşenur VURAL, Gözde URUŞ

Gazi Üniversitesi, Müh. Fakültesi, End.. Müh. Böl. ANKARA
(Geliş / Received : 09.07.2014 ; Kabul / Accepted : 02.12.2014)

ÖZ

Araç rotalama maliyetleri, lojistik sistem içindeki taşıma ve dağıtım maliyetlerinin önemli bir parçasıdır. Araç rotalama probleminin amacı, bir araç filosu için en küçük maliyetli rota kümesini tasarlamaktır. Zaman pencereci araç rotalama problemi, her bir müşteriye ait bir zaman aralığı kısıtı olan araç rotalama problemidir. Bu problemde dağıtım aracı, her bir müşteriye belirli bir zaman aralığında hizmet vermek zorundadır.

Yapılan çalışmada, Ankara'nın Sincan ve Etimesgut bölgelerine satışı yapılan ürünlerin dağıtımını yapan bir beyaz eşya yetkili servisi araçlarının kullanılacağı rotaların belirlenmesi için Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi ele alınmış ve önerilen model gerçek verilerle Karışık Tamsayı Programlama kullanılarak çözülmüştür. Çözüm sonuçlarına göre farklı rotalar bulunmuş ve mevcut duruma göre elde edilen iyileştirmeler karşılaştırılmıştır. Yetkili servis tarafından 761,399 km mesafe kat edilerek karşılanan müşteri taleplerinin, kurulan matematiksel model ile %67,90 oranında iyileştirme yapılarak, 244,400 km mesafe kat edilerek karşılanabileceği gösterilmiştir. Taleplerin, zamanında ve minimum taşıma maliyeti elde edilecek şekilde karşılanabileceği en iyi rotalar bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Lojistik Sistemi, Araç Rotalama Problemi, Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi

Solution Approach to Vehicle Routing Problem for White Ware Authorized Service At Ankara

ABSTRACT

The cost of routing vehicles represents an important component of many transportation and distribution costs in a logistics system. The typical vehicle routing problem involves in designing a set of minimum cost routes for a fleet of vehicle. The vehicle routing problem with time windows is a generalization of the vehicle routing problem where the service of a customer can begin within the time window defined by the earliest and the latest times when the customer will permit the start of service.

In this study, The Vehicle Routing problem that root of the logistic systems is handled as Time Window Vehicle Routing Problem to obtain the routes of the vehicles that are used by the Arçelik Authorized Service. These vehicles distribute the products which were sold to Sincan and Etimesgut Regions in Ankara. Recommended model was structured and solved with real data using Mix Integer Programming. With respect to the results the improvements are shown and the optimal routes are obtained. By the mathematical model, the customers' demands, that authorized service provided with 761.399 km, could be also provided. The situation which the total distance could be reduced as 67.90% was demonstrated. The routes which could be provided on time and costed minimum was revealed.

Keywords: Logistic Systems, Vehicle Routing Problem, Vehicle Routing Problem with Time Windows

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Lojistik sisteminin en önemli parçası Araç Rotalama Problemi(ARP)'dir [1]. Tipik araç rotalama probleminin amacı bir araç filosu için minimum maliyetli rota kümesini tasarlamaktır. Her rota bir depodan üretilir ve talepleri bilinen bir müşteri kümesine hizmet sağladıktan sonra yine aynı depoda sonlanır. Her müşteri bir araca atanmalı ve toplam talep o aracın kapasitesini aşmamalıdır [2]. ARP'nin genel matematiksel modeli aşağıdaki gibidir.

Notasyonlar

K = araç sayısı

N = düğüm sayısı

S = düğümler setinin alt seti

$|S|$ = S alt setindeki düğüm sayısı

Karar Değişkenleri

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & k \text{ aracı } i \text{ düğümünden hemen sonra } j \text{ düğümüne giderse} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1, & k \text{ aracı } i \text{ düğümünü ziyaret ederse} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

Amaç Fonksiyonu

$$\min Z = \sum_k \sum_{i,j} c_{ij} x_{ijk} \quad (1.1)$$

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta:hediz@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2015.18.2, 99-105

Kısıtlar

$$\sum_k y_{ik} = \begin{cases} 1, & i = 2, \dots, N \\ K, & i = 1 \end{cases} \quad (1.2)$$

$$\sum_j x_{ijk} = y_{ik} \quad i = 1, \dots, N \quad k = 1, \dots, K \quad (1.3)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subseteq \{2, \dots, N\} \quad k = 1, \dots, K \quad (1.4)$$

$$y_{ik} \in \{0,1\} \quad i = 1, \dots, N \quad k = 1, \dots, K \quad (1.5a)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad i, j = 1, \dots, N \quad k = 1, \dots, K \quad (1.5b)$$

Modelde amaç fonksiyonu (1.1 numaralı kısıt) ile taşıma maliyetleri minimize edilmek istenmektedir. 1.2 numaralı kısıt her bir müşterinin (depo haricinde) bir araca atanmasını, 1.3 numaralı kısıt müşteriye hizmet için gelen aracın tekrar gitmesini sağlayan ve 1.4 kısıt ise Gezgin Satıcı Problemi alt tur eleme kısıtıdır. 1.5a ve 1.5b numaralı kısıtlarda x ve y değişkenlerinin 0-1 değişken olmasını sağlayan kısıtlardır.

Tipik ARP'ye her bir müşterinin servisinin başlayacağı en erken ve en geç zaman kısıtlarının eklenmesiyle

Literatürde ARP ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Gezgin Satıcı Problemi, ZPARP, Zaman Pencereli ve Çok Depolu Araç Programlama Problemi, Kapasitelendirilmiş Ok Rotalama Problemini, Esnek Zaman Pencereli ARP, Çoklu Dağıtım Toplamalı Zaman Pencereli ARP gibi farklı konularda çalışmalar yapılmıştır. Problemlere çözüm getirmek adına En Kısa Yol Algoritması, Dinamik Programlama, Tamsayı Doğrusal Olmayan Çok-Mal Ağ Akış Modeli, Yerel Arama Algoritmaları, Tabu Arama Algoritması, Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması ve benzeri yöntemler kullanılmıştır. Uygulama çalışması sürecinde literatürde incelenen çalışmalar Tablo1'de yer almaktadır.

2. UYGULAMA ÇALIŞMASI (IMPLEMENTATION STUDY)

2.1. Çalışmanın Amacı (Purpose of the Study)

Bu çalışmada ürün dağıtımını yapan bir beyaz eşya yetkili servisinin araç rotalama problemine çözüm yaklaşımı olarak Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi (ZPARP) incelenecektir. Zaman Pencereli Araç

Tablo1- Literatür Çalışması (Literature Research)

Çalışmanın Yılı	Çalışmacı	Yapılan Çalışma	Çözümde Kullanılan Yöntem
1984	Desrosiers v.d.[3]	M-Gezgin Satıcı Problemi	En Kısa Yol Algoritması İle Kolon Üretimini
1987	Solomon [4]	ZPARP	Tasarruf, Zaman Yönelimli En Yakın Komşu, Ekleme Ve Zaman Yönelimli Tarama Sezgisellerini İçeren Bir Dizi Sezgisel
1998	Soumis v.d. [5]	Zaman Pencereli Ve Çok Depolu Araç Programlama Problemini	Tamsayı Doğrusal Olmayan Çok-Mal Ağ Akış Modeli
2001	Kallehauge v.d. [6]	ZPARP İle Bağlantılı Diferansiyellenemeyen Optimizasyon Yönteminin Uygulama Sonuçları	Kesme-Düzlemleri Algoritmasının, Dantzig-Wolfe Algoritması
2002	Bard v.d. [7]	Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi	Dal-Ve-Sınır Metoduna dayanan kesin çözüm yaklaşımı
2002	Bard v.d. [7]	Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi	Dal-Ve-Sınır Metoduna dayanan kesin çözüm yaklaşımı
2003	Özaydın [8]	Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi	Hibrid Sezgisel Yaklaşımlar
2008	Oukil ve Letchford [9]	Kapasitelendirilmiş Ok Rotalama Problemi	Küme Kaplama Yöntemini
2009	Azi v.d. [10]	Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi	Dal-Ve-Değer Yaklaşımı
2011	Çetin ve Gencer [11]	Heterojen Araç Filolu Kesin Zaman Pencereli Eş Zamanlı Dağıtım-Toplamalı Araç Rotalama Problemleri	Solomon Testleri Kullanılarak Oluşturulan Matematiksel Model
2013	Chiang ve Hsu [12]	Çok Amaçlı Kesin Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemini	Yenilikçi Algoritma
2013	Yu ve Qi [13]	Çoklu Dağıtım Toplamalı Zaman Pencereli ARP	Tabu Arama Algoritması
2014	Afshar-Nadjafi [14]	Zaman Pencereli Çok Depolu Araç Rotalama Problemi	Karışık Tamsayı Programlama Modeli
2014	Fernandez v.d. [15]	Dinamik Çoklu Periyotlu Araç Rotalama Problemi	Olasılık Dağılımı

problem Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi'ne (ZPARP) dönüşür.

Rotalama Problemi'nin amacı, müşteri tarafından belirlenen belirli bir zaman aralığında, dağıtım rotalarının optimal bir şekilde oluşturulmasını

sağlamaktır. Müşteriye en erken başlama zamanından önce gelen araçlar en erken başlama zamanına kadar beklemekte, en geç başlama zamanından sonra gelen araçlar ise hizmet verememektedir.

Kullanılacak olan matematiksel model ile optimal rotalar ve filo büyüklüğü belirlenerek araçların toplam kat ettiği mesafelerin azaltılması, yakıt masraflarının düşürülmesi ve zaman penceresi kısıtlarına uyularak müşteri memnuniyetinin artırılması amaçlanmaktadır.

2.2.Problemin Tanımı (Definition of the Problem)

Dağıtım işlemi yapan firmalar araç rotalama problemi ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu durumda dağıtım maliyetleri, ürün maliyetlerinin yaklaşık %15-20'sini oluşturmaktadır. Genellikle firmalar bu probleme herhangi bir kantitatif yöntem kullanmadan, geçmiş tecrübelerine dayanarak çözüm aramaktadırlar. Firmaların analitik bir yöntem kullanmadan yaptıkları bu araç rotaları, yüksek dağıtım maliyetlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak etkin bir dağıtım rotası oluşturmak firmaya büyük bir maliyet tasarrufu oluşturmakta ve günümüzdeki rekabetçi ortamda önemli bir avantaj sağlamaktadır [1].

Çalışmanın yapılacağı işletmede rotalama işlemlerinin tamamı, geçmiş tecrübeler kullanılarak yapılmaktadır. Servisteki dağıtım araçları için yapılacak olan rotalama çalışması ile işletmeye optimal rotalar ve uygun bir filo kompozisyonu oluşturulacaktır. Böylece kısa dönemde değişken olan araçların kat ettikleri mesafeler ile yakıt maliyetleri azaltılmaya çalışılacaktır.

2.3.Model Kurulumu (Model Development)

İşletmenin kaynakları (araç sayısı, araç kapasitesi, çalışan sayısı vb.) sınırlıdır. Dolayısıyla işletme, müşteri isteklerine anında cevap verememektedir. Müşteri talepleri toplanmakta ve randevu zamanları yarım gün ötelenerek verilmektedir. Öğleden önce gelen talepler öğleden sonra, öğleden sonra gelen talepler ise bir sonraki gün öğleden önce karşılanmaktadır. Model kurulurken 14 Mart 2014 Cuma günü öğleden önce gelen yeni ürün montaj talepleri değerlendirilmiş ve öğleden sonrası için rotalama çalışması yapılmıştır. Haftanın son günü olması dolayısıyla cuma gününün talepleri hafta başındaki taleplere göre bir miktar az olmaktadır. İşletmeden verilerin alındığı bu tarih için servise 25 müşteri yeni ürün montaj talebinde bulunmuştur.

2.4.Verilerin Toplanması (Data Collection)

Çalışmada uygun bir dağıtım rotası bulunmaya çalışılırken mevcut dağıtım sistemi ile ilgili verilerle ihtiyaç duyulmuştur. İhtiyaç duyulan bu veriler aşağıda listelenmiştir:

- Müşteriler ve talep ettikleri ürünler
- Araç sayısı ve kapasitesi
- Her tip ürün için ortalama montaj süreleri
- Yetkili servisin dağıtımını yapacağı ürünleri aldığı ortak deponun adresi
- Müşterilerin birbirleriyle ve depoyla olan uzaklıkları

- Müşterilerin birbirleriyle ve depoyla olan ulaşım süreleri
- Müşterilere verilen randevular için zaman aralıkları (pencereleri)

Modelin kurulduğu zaman dilimi içerisinde servisin hizmet vereceği müşteriler ve adres bilgileri Tablo2'de verilmiştir.

İşletmede dağıtım işlemi için 8 araç mevcuttur. Modellemenin yapıldığı 14 Mart 2014 Cuma günü öğleden önce alınan müşteri taleplerini işletme, öğleden sonra 7 araç kullanarak karşılamıştır. İşletmenin sahip olduğu tüm araçlar aynı marka ve model olup homojendir ve araç kapasiteleri eşittir. Ancak ürünlerin büyüklükleri farklıdır ve ürün tipine göre araçlarda taşınan ürün sayısı değişmektedir. Montajı yapılan ürünler içerisinde en büyük hacimli ürün buzdolabıdır. Her bir araca en fazla 8 adet buzdolabı yüklenebilirken, diğer ürünler daha küçük hacimli olduğundan araçlara daha fazla sayıda ürün yüklenebilmektedir.

Müşterilerin birbirleriyle ve depoyla olan uzaklıkları Google Earth programı yardımı ile hesaplanmıştır. Ulaşım süreleri ise yine Google Earth programının vermiş olduğu ortalama değerlerdir. Müşteriler ile irtibata geçilerek belirlenen (müşterilerin istekleri doğrultusunda) randevu zamanları işletmenin bilgi sisteminden temin edilmiştir.

Çalışmada zaman kısıtları, işletmeden alınan bilgiler doğrultusunda, müşterilere verilen randevu zamanına 1 saat eklenerek ve çıkarılarak elde edilmiştir.

Müşterilere verilen randevu zaman aralıkları Tablo3'te verilmiştir.

Tablo2-Servisin Hizmet Vereceği Müşteriler ve Adres Bilgileri (Customers That Must be Served and Their Addresses)

MüşteriNo	Müşteri Adresi	MüşteriNo	Müşteri Adresi
1	Gökçek Mahallesi	15	Malazgirt Mahallesi
2	Sarayköy Mahallesi	16	Fatih Mahallesi
3	Selçuklu Mahallesi	17	Mevlana Mahallesi
4	Aziz Sokak	18	Yenikent Atatürk
5	Törekent	19	Tandoğan Mahallesi
6	Yenikent	20	Pınarbaşı Mahallesi
7	Tandoğan Mahallesi	21	Eryaman
8	Pınarbaşı Mahallesi	22	Eryaman
9	Osmanlı Mahallesi	23	Yavuz Selim Mahallesi
10	Ulubatlı Hasan Mahallesi	24	Mareşal Çakmak Mahallesi
11	Malazgirt Mahallesi	25	Alsancak Mahallesi
12	Alsancak Mahallesi		
13	Altay Mahallesi		
14	Eryaman		

Müşterileri talepleri işletmenin bilgi sisteminden doğrudan alınmıştır. Ürünlere dair montaj sürelerini (s_i) ise işletme her bir ürün için belirlemiştir. Bu süreler işletme yetkililerinden temin edilmiştir. Örneğin; birer adet televizyon (25 dk) ve çamaşır makinesi (30 dk) talep eden bir müşteri için montaj süresi, bu iki ürünün montaj süreleri toplanarak ($25+30=55$ dk) elde edilmiştir. Her bir müşterinin talep ettiği ürünler ve bu

Ürünler için ortalama montaj süreleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo3- Müşterilere Verilen Randevu Zaman Aralıkları (Time Windows)

Müşteri	En Erken		En Geç	
	Başlama Zamanı	Başlama Zamanı	Başlama Zamanı	Başlama Zamanı
1	14:30		16:30	
2	14:52		16:52	
3	14:02		16:02	
4	15:39		17:39	
5	15:22		17:22	
6	14:50		16:50	
7	14:49		16:49	
8	17:54		19:54	
9	15:51		17:51	
10	17:32		19:32	
11	14:00		16:00	
12	17:30		19:30	
13	17:57		19:57	
14	17:49		19:49	
15	14:22		16:22	
16	17:59		19:59	
17	14:53		16:53	
18	15:00		17:00	
19	17:51		19:51	
20	15:30		17:30	
21	14:00		16:00	
22	15:48		17:48	
23	17:11		19:11	
24	17:15		19:15	
25	17:28		19:28	

Tablo4- Her Bir Müşterinin Talep Ettiği Ürünler ve Ortalama Montaj Süreleri (Products That Each Customer Demanded and Average Setup Time for Products)

Müşteri	Satın Alınan Ürünler	Montaj Süreleri (dk)
1	Çamaşır Makinesi	30
2	Aspiratör	30
3	Çamaşır Makinesi	30
4	Televizyon	25
5	Çamaşır Makinesi, Buzdolabı, Bulaşık Makinesi, Ocak, Genel Nakliye, Televizyon	135
6	Bulaşık Makinesi	25
7	Çamaşır Makinesi, Buzdolabı, Bulaşık Makinesi, Ocak	95
8	Çamaşır Makinesi	30
9	Ocak, Aspiratör	50
10	Çamaşır Makinesi	30
11	Fırın	20
12	Kurutma Makinesi	20
13	Kurutma Makinesi	20
14	Çamaşır Makinesi, Buzdolabı	50
15	Ocak	20
16	Genel Nakliye	15
17	Çamaşır Makinesi	30
18	Televizyon	25
19	Çamaşır Makinesi	30
20	Bulaşık Makinesi	25
21	Televizyon	25
22	Çamaşır Makinesi	30
23	Bulaşık Makinesi	25
24	Buzdolabı	20
25	Aspiratör	30

2.5.Varsayımlar (Assumptions)

- Hizmet vereceği müşteriye giden servis elemanlarının herhangi bir sorunla karşılaşmadan hizmetlerini kesinlikle yerine getirebildiği,
- Tüm servis çalışanlarının her türlü ürünün montajını yapabildiği,
- Tüm servis araçlarının montajı yapılacak ürünleri ortak depodan aldığı,
- Her ürün için araç kapasitelerinin eşit ve araçların en fazla 8 ürün kapasiteli olduğu,
- Araç müşteriye ulaştığı anda servis hizmetine başlandığı varsayılmıştır.

2.6.Matematiksel Model (Mathematical Model)

N müşteri seti ve A ise iki müşteri arasındaki bağlantılar olacak şekilde (N,A) grafiği tanımlansın. c_{ij} uzaklık ve t_{ij} seyahat süresi $(i, j) \in A$ kenarı ile ilişkilidir. K sayıda araca sahip olan firma müşterilere hizmet vermektedir. Araç kapasiteleri C_k ve müşterilerin talepleri ise $d_i, i \in N$ 'dir. Her bir müşterinin kendine ait bir servis süresi (s_i) vardır. Zaman kısıtları $[a_i, b_i]$ 'dir. Burada a_i servise en erken başlama zamanı, b_i servise en geç başlama zamanını göstermektedir.

Notasyonlar

k = Araç

K = Araçlar kümesi

$(i, j) = i, j$ oku

A = Oklar kümesi

N = Hizmet verilen müşteri

kümesi (depo hariç)

0 veya $(n + 1) =$ Depo

$c_{ij} = i$ müşterisinden j müşterisine olan uzaklık

s_i = i müşterisinin servis süresi
 t_{ij} = i müşterisinden j müşterisine seyahat süresi

E = Depodan servise en erken başlama zamanı

L = Servisten depoya en geç dönüş zamanı

$[a_0, b_0] = [a_{n+1}, b_{n+1}] = [E, L]$

d_i = i müşterisinin talebi

C_k = k aracının kapasitesi

a_i = i müşterisinde en erken servise başlama zamanı

b_i = i müşterisinde en geç servise başlama zamanı

$\Delta_{(i)}^+$ = i müşterisinden sonra uğranabilecek olan müşteriler kümesi

$\Delta_{(j)}^-$ = j müşterisinden önce uğranabilecek olan müşteriler kümesi

Karar Değişkenleri

x_{ijk}
 $= \begin{cases} 1, k \text{ aracı } i \text{ müşterisinden } j \text{ müşterisine gidiyorsa} \\ 0, \text{ aksi halde} \end{cases}$

$x_{i(n+1)k}$
 $= \begin{cases} 1, k \text{ aracı } i \text{ müşterisinden depoya dönüyorsa} \\ 0, \text{ aksi halde} \end{cases}$

x_{0jk}
 $= \begin{cases} 1, k \text{ aracı depodan } j \text{ müşterisine gidiyorsa} \\ 0, \text{ aksi halde} \end{cases}$

w_{ik} = i müşterisine gelen k aracının servise başlama zamanı

Amaç Fonksiyonu

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in \Delta_i^+} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N, \quad (2)$$

$$\sum_{j \in \Delta_0^+} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in K, \quad (3)$$

$$\sum_{i \in \Delta_j^-} x_{ijk} - \sum_{i \in \Delta_j^+} x_{jik} = 0 \quad \forall k \in K, j \in N \quad (4)$$

$$\sum_{i \in \Delta_{n+1}^-} x_{i,n+1,k} = 1 \quad \forall k \in K, \quad (5)$$

$$x_{ijk}(w_{ik} + s_i + t_{ij} - w_{jk}) \leq 0 \quad \forall k \in K, (i,j) \in A, \quad (6)$$

$$a_i \sum_{j \in \Delta_i^+} x_{ijk} \leq w_{ik} \leq b_i \sum_{j \in \Delta_i^+} x_{ijk} \quad \forall k \in K, i \in N, \quad (7)$$

$$E \leq w_{ik} \leq L \quad \forall k \in K, i \in \{0, n+1\}, \quad (8)$$

$$\sum_{i \in N} d_i \sum_{j \in \Delta_i^+} x_{ijk} \leq C_k \quad \forall k \in K, \quad (9)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall k \in K, (i,j) \in A \quad (10)$$

Modelde:

(1) ile numaralandırılmış amaç fonksiyonunda düğümler arasındaki taşıma mesafelerinin minimize edilmesi hedeflenmektedir.

(2) kısıtı her bir müşterinin sadece bir araç tarafından ziyaret edilmesini sağlamaktadır.

(3) kısıtı araçların depodan (0) bir kere çıkmasını sağlamaktadır.

(4) kısıtı müşterilere giren ve çıkan araç sayılarının eşit olmasını sağlamaktadır.

(5) kısıtı servise çıkan araçların depoya dönmesini sağlamaktadır.

(6) kısıtı k aracı eğer i. müşteriden j. müşteriye seyahat ediyor ise, j. müşteriye $w_{ik} + s_i + t_{ij}$ 'den önce ulaşamamasını sağlamaktadır.

Bu kısıt doğrusal değildir. Aşağıdaki kısıt ile değiştirilerek doğrusal olması sağlanmıştır.

$$w_{ik} + s_i + t_{ij} - w_{jk} \leq (1 - x_{ijk})M_{ij}$$

$$\forall k \in K, (i,j) \in A,$$

$$M_{ij} : \text{çok büyük bir sabit sayı}$$

(7) kısıtı servise başlama zamanının, servise en geç ve en erken başlama zaman kısıtları arasında olmasını sağlamaktadır.

(8) kısıtı müşteri taleplerinin mesai saatleri içerisinde karşılanmasını sağlamaktadır.

(9) kısıtı hiçbir aracın kapasitesinin aşılmamasını sağlamaktadır.

(10) kısıtı değişkenlerin 0, 1 tamsayılı olmasını sağlamaktadır.

2.7. Model Çözümü (Model Solution)

Kurulan ZPARP modeli GAMS 22.5 programının CPLEX çözücüsü ile çözülmüştür. Elde edilen optimal rotalar analiz edilmiştir.

Kurulan ZPARP modeli çalıştırılmış ve araçların toplam 244,4 km yol kat ettikleri görülmüştür.

Modelin çözümü sonucunda her bir aracın hizmet vereceği müşteriler için rotalar Tablo5'te, her bir müşteriye servise başlama zamanları ise Tablo6'da verilmiştir.

Rotaların harita üzerindeki gösterimi Şekil1'de verilmiştir.

Tablo5 - Her Bir Aracın Hizmet Vereceği Müşteriler İçin Rotalar (Routes for Customers That Each Vehicle Must Serve)

1.ARAÇ	Depo → 17 → 4 → 5 → Depo
2.ARAÇ	Depo → 3 → 9 → 20 → 8 → 19 → 24 → Depo
3.ARAÇ	Depo → 21 → 11 → 15 → 23 → 14 → 10 → 16 → Depo
4.ARAÇ	Depo → 1 → 18 → 6 → 7 → Depo
5.ARAÇ	Depo → 12 → Depo
6.ARAÇ	Depo → 2 → 22 → 13 → Depo
7.ARAÇ	Depo → 25 → Depo

Tablo6- Müşterilerdeki Servise Başlama Zamanları (Vehicles' Arrival and Start Times at Customers)

1.ARAÇ	2.ARAÇ	3.ARAÇ	4.ARAÇ	5.ARAÇ	6.ARAÇ	7.ARAÇ
17 → 14:53	3 → 14:15	21 → 14:17	1 → 14:30	12 → 17:30	2 → 14:52	25 → 17:28
4 → 16:50	9 → 15:51	11 → 15:59	18 → 15:11		22 → 15:48	
5 → 17:22	20 → 16:46	15 → 16:22	6 → 14:58		13 → 19:57	
	8 → 17:54	23 → 17:11	7 → 16:49			
	19 → 18:30	14 → 17:49				
	24 → 19:15	10 → 19:23				
		16 → 19:56				



Şekil1- Araçların İzlemeleri Gereken Rotalar (Routes That Vehicles Should Use)

3.SONUÇ (CONCLUSIONS)

Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi dağıtım sisteminin en önemli problemlerinden biridir. Bu problem karmaşık olmasından ve gerçek hayatta çok geniş uygulama alanı olmasından dolayı araştırmacıların ilgisini çeken bir konudur. Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi, belirli bir müşteri setine minimum maliyet ile hizmet vererek, araç kapasite ve servis zamanı kısıtlarına uyarak araçların etkin bir şekilde kullanılmasına odaklanmaktadır.

Çalışmada Ankara'nın Sincan ve Etimesgut bölgelerine satışı yapılan ürünlerin dağıtımını yapan beyaz eşya yetkili servis araçlarının kullanacağı rotaların belirlenmesi için Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi ele alınmış ve önerilen model gerçek verilerle çözülmüştür.

Yarım günlük bir zaman dilimi için zaman pencereleri içerisinde serviste kullanılan araçların toplam taşıma maliyetini minimize eden optimum rotalar elde edilmiştir. Oluşturulan doğrusal programlama modeli 25 müşteri için GAMS programında kapalı olarak kodlanıp

işletmeden alınan gerçek veriler kullanılarak çalıştırılmıştır.

Çalışma, ZPARP'nin beyaz eşya montajı alanında uygulanabilirliğini gösteren bir modelleme üzerinedir. Modelin GAMS 22.5 programı, CPLEX çözücüsü ile çözümü yapılmıştır.

Servis araçlarında bulunan takip sisteminden alınan verilere göre talepler 7 araç ile karşılanmış ve bu talepler karşılanırken toplam kat edilen mesafenin 761,399 km olduğu görülmüştür. Aynı araç sayısı ile bir rotalama çalışması yapıldığında bu mesafenin 516,999 km azaldığı tespit edilmiştir.

Rotalaması yapılan zaman dilimi içerisinde 1 aracın kilometre başına yakıt maliyeti, işletmeden alınan bilgi dâhilinde, o günkü fiyat endeksi ile 0,60 TL'dir.

Modellemenin yapıldığı zaman dilimi içerisinde, işletme araçlarının kat ettiği mesafeye göre toplam yakıt maliyeti: $761,399 \times 0,6 = 456,84$ TL'dir.

Matematiksel modelin çözümü sonucu elde edilen optimal mesafeye göre toplam yakıt maliyeti:

$$244,400 \times 0,6 = 146,64 \text{ TL.}$$

Matematiksel model kullanılarak yapılan yarım günlük rotalama çalışması sonucunda yakıt maliyetlerinde 310,200 TL'lik bir azalma sağlanmıştır.

Ele alınmış olan probleme sadece belirli bir zaman aralığı göze alınarak çözüm getirilmiştir. Ancak ileriki çalışmalarda, modelde zaman aralıklarına göre duyarlılık analizi yapılabilir. Kurulan modelden faydalanılarak, ileriki safhalarda işletmenin rotalama probleminde her zaman çözüm getirebilecek bir uzman sistem tasarlanabilir. Bu sistem, sadece müşterilerin konumları ve talepleri alınarak optimal rotayı kendisi oluşturabilir. Bu uzman sistem, birkaç programın entegre bir şekilde çalışması şeklinde ve uygun bir ara yüz oluşturularak tasarlanabilir.

4. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Demircioğlu, M., "Araç Rotalama Probleminin Sezgisel Bir Yaklaşım İle Çözümlemesi Üzerine Bir Uygulama", *Doktora Tezi*, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, Adana (2009).
- [2] Aydemir, E., "Esnek Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi ve Bir Uygulama", *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2006).
- [3] Desrosiers, J., Soumis, F., Desrochers, M. and Sauve, M., "Vehicle Routing And Scheduling With Time Windows", *Mathematical Programming Study* (1984).
- [4] Solomon, M., "Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints", *Operations Research*, (1987).
- [5] Soumis, F., Lavigne, J. and Desaulniers, G., "Multi-Depot Vehicle Scheduling Problems With Time Windows And Waiting Costs", *European Journal Of Operational Research* (1998).
- [6] Kallehauge, B., Larsen, J. And Madsen, O., "Lagrangean Duality Applied On Vehicle Routing With Time Windows", *Informatics And Mathematical Modelling* (2001).
- [7] Tezer, T., "Toplama ve Dağıtım Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi İçin Kesin Çözüm Yaklaşımı ve Örnek Uygulamalar", *Yüksek Lisans Tezi*, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir (2009).
- [8] Özyayın, E., "Capacitated Vehicle Routing Problem With Time Windows", *Submitted to the Graduate School of Engineering and Natural Sciences* (2003).
- [9] Oukil, A. and Letchford, A., "Exploiting Sparsity İn Pricing Routines For The Capacitated Arc Routing Problem", *Computers & Operations Research* (2008).
- [10] Azi, N., Gendreau, M., and Potvin, J., "An Exact Algorithm For A Vehicle Routing Problem With Time Windows And Multiple Use Of Vehicles", *European Journal of Operational Research* (2009).
- [11] Çetin, S. ve Gencer, C., "Heterojen Araç Filolu Zaman Pencere Araç Dağıtım-Toplamalı Araç Rotalama Problemleri: Matematiksel Model", *International Journal of Research and Development* (2011).
- [12] Chiang, T. and Hsu, W., "A Knowledge-Based Evolutionary Algorithm For The Multiobjective Vehicle Routing Problem With Time Windows", *Computers & Operations Research* (2013).
- [13] Yu, M., and Qi, X., "A Vehicle Routing Problem With Multiple Overlapped Batches", *Transportation Research Part E* (2013).
- [14] Afshar-Nadjafi, B., and Afshar-Nadjafi, A., "A Constructive Heuristic For Time-Dependent Multi-Depot Vehicle Routing Problem With Time-Windows And Heterogeneous Fleet", *Journal of King Saud University – Engineering Sciences* (2014).
- [15] Fernandez, E., Alberada-Sambola, M., and Laporte, G., "The Dynamic Multiperiod Vehicle Routing Problem With Probabilistic Information", *Computers & Operations Research* (2014).