

KESİN ZAMAN PENCERELİ - EŞ ZAMANLI DAĞITIM TOPLAMALI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ: Matematiksel Model

Suna ÇETİN^a, Cevriye GENCER^b

^a Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, 71415, Kampüs, Kırıkkale

^b Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Gazi Üniversitesi, 06570, Maltepe, Ankara

sunaozel@gazi.edu.tr, ctemel@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 06.10.2009 ; Kabul/Accepted: 13.11.2009)

ÖZET

Bu çalışmada, kesin zaman pencereli-eşzamanlı dağıtım toplamalı araç rotalama problemi tanımlanmış ve matematiksel modeli geliştirilmiştir. Genellikle araç rotalama problemlerinde amaç, katedilen mesafenin veya taşıma maliyetinin enazlanmasıdır. Literatür incelendiğinde zaman pencereli araç rotalama problemlerinde de aynı amaç fonksiyonlarının tanımlandığı görülmektedir. Oysa zaman pencereli araç rotalama problemlerinde zaman penceresinden kaynaklanan beklemlerin dikkate alınması gerekmektedir. Çalışmada, tanımlanan yeni problemin matematiksel modelinde, amaç fonksiyonu beklemlerin en küçüklenmesi olarak alınmış; Solomon'un test verileri eşzamanlı dağıtım toplama problemlerine uygun hale getirmek için düzenlenmiş ve GAMS paket programı ile sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Araç rotalama problemleri, Eşzamanlı dağıtım toplama, Zaman penceresi, Kesin zaman penceresi, Matematiksel model,

VEHICLE ROUTING PROBLEMS WITH HARD TIME WINDOWS AND SIMULTANEOUS PICK UP AND DELIVERY: A Mathematical Model

ABSTRACT

In this study, vehicle routing problems with hard time windows and simultaneous pick up and delivery are determined and mathematical model is developed. Generally the goal of vehicle routing problems is minimization of travelling distance or travelling cost. In the literature it is observed that vehicle routing problems with time windows have also the same goals with vehicle routing problems. However, waiting time resulted from time windows must be considered for vehicle routing problems with time windows. In this study, objective function of the mathematical model of the determined problem is chosen as waiting time minimization. Solomon Benchmark Problems are revised to adapt for the problem structure and results are obtained by using GAMS.

Keywords: Vehicle routing problem, simultaneous pick up and delivery, time windows, hard time windows, mathematical model.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Araç rotalama problemi, bir merkezi depoda yerleşmiş bulunan ve her biri aynı veya farklı kapasitelere sahip olan araçlar filosunun, her biri farklı bir yerleşime ve bilinen talebe sahip olan bir müşteriler kümesine toplam seyahat mesafesini veya süresini en küçükleyecek şekilde hizmet sunarak depoya geri dönmesi için gerekli rotaların belirlenmesi problemidir. Araç rotalama problemleri

ilk defa Dantzig ve Ramser tarafından 1959 yılında tanımlanmıştır [1].

Araç rotalama problemleri sahip olduğu kısıtlara göre, geri toplamalı araç rotalama problemleri, dağıtım toplamalı araç rotalama problemleri, zaman pencereli araç rotalama problemleri gibi farklı türlere sahiptir [2].

Zaman pencereli araç rotalama problemleri (ZPARP) kapasite kısıtlı araç rotalama problemlerinin her bir düğüme zaman penceresi olarak tanımlanan $[a, b]$ zaman aralığı kısıtının eklenmesi ile geliştirilmiş halidir. Zaman penceresinde (a_i) servise en erken başlama zamanını, (b_i) servise en geç başlama zamanını ifade etmektedir. ZPARP nin amacı; araç kapasiteleri, servis zamanları, zaman pencereleri dikkate alınarak optimal rota kümesinin bulunması ve her araç için ziyaret edilecek müşteri sırasının belirlenmesidir. ZPARP NP-zor problemlerdir [3]. ZPARP için banka taşımaları, posta taşımaları, endüstriyel atık taşımaları, okul servis problemleri örnek olarak verilebilir [4,5].

ZPARP ile ilgili yapılan ilk çalışmalar vaka analizlerine dayanmaktadır [6, 7, 8]. Ancak gerçek hayat problemlerinin çözümüne odaklanıldığında çalışmalar sezgisel yöntemlere yönelmiştir. Araç rotalama problemleri ve ZPARP ile ilgili yapılan detaylı çalışmalar Tott ve Vigo [2], Solomon [4], Solomon ve Desrosier [5], Bouthillier ve Crainic [9], Dondo ve Cerda [10] yer almaktadır.

ZPARP, zaman pencerelerine göre kesin ve esnek olmak üzere 2 ye ayrılmaktadır. Kesin zaman pencereli (with hard time windows) araç rotalama problemlerinde, servise en erken başlama zamanından önce gelen araç en erken servis zamanına kadar bekler. En geç başlama zamanından sonra gelen araç ise servise başlayamaz [11].

Esnek zaman pencereli (with soft windows) araç rotalama problemlerinde, servise en erken başlama zamanından önce gelen araç en erken servis zamanına kadar bekler, en geç başlama zamanından sonra gelen araç ise bir ceza maliyeti karşılığında servise başlayabilir [11].

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 [12]. 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 uğranabilir.

Karışık dağıtım toplamalı araç rotalama problemlerinde; dağıtım ve toplama işlemi karışık

olarak yapılmaktadır. Müşterilere birden fazla 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 işlemi yaparak müşteriden ayrılır. EZDTARP' leri NP-zor problemlerdir [13]. Eş zamanlı dağıtım toplamalı araç rotalama problemlerine; 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 olarak 1989 yılında Min [14] tarafından tanımlanmıştır. Min çalışmasında, 1 depo, 2 araç ve 22 müşteriden oluşan kütüphane sisteminde, kütüphaneler arasında kitap taşınmasına ilişkin bir algoritma geliştirmiştir. Min'in algoritması önce kümeleme sonra rotalama yöntemini temel almaktadır. Dethloff 2001 yılında EZDTARP için matematiksel modeli geliştirmiş ve ekleme temelli bir sezgisel algoritma önermiştir [15]. Tang Montane ve Galvao tabu arama algoritması geliştirmiştir [16]. Nagy ve Salhi hem EZDTARP hem de karışık dağıtım toplamalı araç rotalama problemlerini çözüm için bir sezgisel algoritma önermiştir [17]. Bianchessi ve Righini EZDTARP için sezgisel algoritmalar geliştirmiş ve bu algoritmaları karşılaştırmışlardır [18]. 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 [19]. 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 [20]. Zachariadis ve arkadaşları, EZDTARP için tabu arama ve bölgesel arama yöntemlerini birleştiren bir hibrit yaklaşım önermiştir [13]. Gencer ve Yaşa [21], eş zamanlı dağıtım toplama problemlerinin karar destek sistemini oluşturmuş; Özkütük [22], heterojen araç filolu eş zamanlı dağıtım toplama problemleri üzerine tez çalışması yapmıştır.

2. KESİN ZAMAN PENCERELİ - EŞ ZAMANLI DAĞITIM TOPLAMALI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ (VEHICLE ROUTING PROBLEMS WITH HARD TIME WINDOWS AND SIMULTANEOUS PICK UP AND DELIVERY)

Bu çalışmada, eş zamanlı dağıtım toplamalı araç rotalama problemlerine kesin zaman pencere kısıtı ilave edilerek, kesin zaman pencerele- eş zamanlı dağıtım toplamalı araç rotalama problemi (KZP-EZDTARP) tanımlanmış ve matematiksel modeli kurulmuştur. Hem ZPARP hem de EZDTARP NP-zor problemler olması nedeniyle; ikisinin birleştirilmesiyle elde edilen KZP-EZDTARP'de NP-zor problemdir.

Genelde araç rotalama problemlerinde amaç, araçların kat ettiği toplam mesafeyi en küçükmektir. Zaman pencerele araç rotalama problemlerinde ise, taşıma maliyetlerinin en küçükleme, kat edilen toplam mesafenin en küçükleme ya da araç sayısının en küçükleme amaçlanmaktadır. Oysa zaman pencerele araç rotalama problemlerinde belirlenmiş bir servis zamanı ve servise en erken ve en geç başlama için izin verilen zaman aralığı mevcuttur. Problemin yapısı itibariyle araçların bekleme zamanı dikkate alınması gerektiği halde göz ardı edilmektedir. Bu çalışmada, Dethloff'un [15] matematiksel modeli temel alınarak zaman penceresi kısıtları eklenmiş ve amaç fonksiyonu bekleme zamanlarının en küçükleme alınarak matematiksel model oluşturulmuştur.

2.1. Problemin Varsayımları (Problem Assumptions)

- Bir depo mevcuttur.
- Depoda homojen araç filosu bulunmaktadır. Araçlar depoda park halindedir.
- Dağıtım ve toplama işlemi, eş zamanlı olarak yapılmaktadır.
- Araç rotalarının başlangıç ve bitiş düğümü depodur.
- Her müşteriye sadece tek bir araç tarafından hizmet verilmektedir.
- Mesafe matrisi simetrik veya asimetrik olabilir.
- Müşterilere belirlenen zaman aralığında hizmet verilmektedir.

2.2. Matematiksel Model (Mathematical Model)

Modelde kullanılan notasyon ve parametreler aşağıdadır:

- J : müşteri noktaları kümesi,
 J_0 : depo dâhil müşteri noktalar kümesi,
 V : araç kümesi,
 C_v : v aracının kapasitesi,
 t_{ij} : i ve j düğümleri arasındaki yolculuk süresi,
 s_i : i düğümündeki servis süresi,
 Z_{ij} : i ve j düğümleri arasındaki yolculuk süresi ile servis süresinin toplamı ($Z_{ij} = s_i + t_{ij}$),

- W_{iv} : i düğümünde v aracı ile servise başlama zamanı,
 V_{iv} : i düğümüne v aracı ile varış zamanı,
 T_i : i düğümünde bekleme zamanı,
 D_j : j müşterisinin depodan talep ettiği miktar,
 n : düğüm sayısı,
 P_j : j müşterisinin depoya göndereceği miktar,
 M : büyük bir sayı,
 a_i : i düğümünde servise en erken başlama zamanı,
 b_i : i düğümünde servise en geç başlama zamanı.

Karar Değişkenleri:

- l_v' : depodan ayrılan v aracının yükü,
 l_j : aracın j müşterisinden ayrıldıktan sonraki yükü,
 π_j : alt tur oluşturulmasını engelleyen değişken,
 $X_{ijv} = \begin{cases} 1, & v \text{ aracı } i \text{ ve } j \text{ arasında taşıma yapıyorsa,} \\ 0, & \text{diğer durumlarda.} \end{cases}$

Amaç fonksiyonu,

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

Kısıtlar

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

$$\sum_{i \in J_0} x_{isv} = \sum_{j \in J_0} x_{sjv} \quad v = 1, 2, \dots, V \quad (3)$$

$$l_v' = \sum_{i \in J_0} \sum_{j \in J} D_j x_{ijv} \quad v = 1, 2, \dots, V \quad (4)$$

$$l_j \geq l_v' - D_j + P_j - M(1 - x_{0jv}) \quad v = 1, 2, \dots, V; \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (5)$$

$$l_j \geq l_i - D_j + P_j - M(1 - \sum_{v \in V} x_{ijv}) \quad i, j = 0, 1, 2, \dots, J \quad (6)$$

$$l_v' \leq C_v \quad v = 1, 2, \dots, V \quad (7)$$

$$l_j \leq C_v \quad v = 1, 2, \dots, V; j = 1, 2, \dots, J \quad (8)$$

$$\pi_j \geq \pi_i + 1 - n \left(1 - \sum_{v \in V} x_{ijv} \right) \quad j = 1, 2, \dots, J; \quad i = 1, 2, \dots, J \quad (9)$$

$$W_{iv} - W_{jv} + Mx_{ijv} \leq M - Z_{ij} \quad i, j = 0, 1, 2, \dots, J; v = 1, 2, \dots, V \quad (10)$$

$$a_j \sum_i x_{ijv} \leq W_{jv} \leq b_j \sum_i x_{ijv} \quad i, j = 0, 1, 2, \dots, J; v = 1, 2, \dots, V \quad (11)$$

$$V_{jv} \leq W_{iv} + Z_{ij}x_{ijv} + M(1 - x_{ijv})$$

$$i, j = 0, 1, 2, \dots, J; v = 1, 2, \dots, V \quad (12)$$

$$V_{iv} \leq M - (M - Z_{oi})x_{0iv}$$

$$j = 0, 1, 2, \dots, J; v = 1, 2, \dots, V \quad (13)$$

$$W_{iv} \geq Z_{oi} - (1 - x_{0iv})M$$

$$j = 0, 1, 2, \dots, J; v = 1, 2, \dots, V \quad (14)$$

$$V_{iv} \leq W_{iv}$$

$$i = 0, 1, 2, \dots, J; v = 1, 2, \dots, V \quad (15)$$

$$T_j = \sum_v (W_{jv} - V_{jv})$$

$$j = 0, 1, 2, \dots, J; v = 1, 2, \dots, V \quad (16)$$

$$\pi_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (17)$$

$$x_{ijv} \in \{0,1\}$$

$$j = 1, 2, \dots, J; i = 1, 2, \dots, J; v = 1, 2, \dots, V \quad (18)$$

Modelde (1) nolu eşitlik; toplam bekleme en küçükleyen amaç fonksiyonudur. (2) nolu kısıt; bütün düğümlere bir defa gidilmesini sağlar. Varılan düğümü aynı araçla terk etmeyi sağlayan (3) nolu kısıttır. Araçların başlangıçtaki yükleri (4), ilk noktadan sonra araç yükleri (5), rota boyunca düğümlerden sonraki araç yükleri (6) nolu kısıtlarla sınırlandırılmıştır. İlk düğümden sonraki ve rota boyunca araç kapasitesi (7,8) nolu kısıtlarla kontrol edilmektedir. (9) nolu kısıt alt tur oluşmasını engeller. (10) nolu kısıt rota üzerindeki tüm düğümlerde servise başlama zamanını belirler, (11) nolu kısıt servise başlama zamanının istenilen zaman penceresi arasında olmasını sağlar, (12,13) nolu kısıtlar sırasıyla rota üzerindeki herhangi bir düğüme ve rota üzerindeki ilk düğüme varış zamanını belirler. (14) nolu kısıt rota üzerindeki ilk düğümden servise başlama zamanını belirler, (15) nolu kısıt her düğümden servisin düğüme vardiktan sonra başlamasını garanti eder, (16) nolu kısıt bekleme hesaplar. (17,18) nolu kısıtlar ise işaret kısıtlarıdır.

2.3. Sayısal Örnek (Numerical Example)

ZPARP literatüründe Solomon verileri kullanılmaktadır. Veriler Tip 1 ve Tip 2 olmak üzere iki sınıfa; her sınıf da R, C, RC olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır. Tip 1 verilerinde, zaman pencereleri dar ve araç kapasitesi küçük iken; Tip 2 verilerinde, zaman pencereleri daha geniş ve araç kapasitesi daha büyüktür. Her grupta 8-12 örnek yer almakta; her örnek 100 müşteri ve depodan oluşmakta ve toplamda 56 problem bulunmaktadır. Verilerde müşteri numarası, müşterinin konumuna ait X,Y koordinatları, talep, servise en erken ve en geç başlama zamanı, servis zamanı bilgileri yer almaktadır.

Dağıtım toplamalı araç rotalama problemlerinde dağıtım ve toplama olmak üzere iki adet talep yer almaktadır. Solomon verilerindeki tek talep değerini, dağıtım toplamalı araç rotalama problemlerindeki

dağıtım ve toplama talep değerlerine dönüştürmek için Salhi ve Nagy'nin ayrıştırma yöntemi kullanılmıştır [23].

$$D_i = \text{Min} \left\{ \frac{x \text{ kordinat}}{y \text{ kordinat}}, \frac{y \text{ kordinat}}{x \text{ kordinat}} \right\} Q_i$$

$$P_i = \left[1 - \text{Min} \left\{ \frac{x \text{ kordinat}}{y \text{ kordinat}}, \frac{y \text{ kordinat}}{x \text{ kordinat}} \right\} \right] Q_i$$

Burada

Q_i : ZPARP de depodan i nci müşteriye gönderilecek malzeme miktarı,

D_i : DTARP de depodan i nci müşteriye gönderilecek malzeme miktarı,

P_i : DTARP de i nci müşteriden depoya gönderilecek malzeme miktarı

olarak tanımlanmıştır.

Solomon'un verilerinde araç kapasiteleri 100 müşterilik örnekler için verilmiştir. Çalışmada, önerilen matematiksel modelin etkinliğini test etmek için 5, 10, 15, 20 müşteriden oluşan küçük örnekler kullanılmıştır. Bu nedenle hesaplamalarda araç kapasitesinin yarısı alınmıştır. Model, 7200 sn kısıdı altında, GAMS paket programı kullanılarak; Pentium4, 2.6 GHz, 1Gb Ram, Windows XP SP3 işletim sistem özellikli bilgisayarların kullanımıyla çözülmüştür. 5, 10, 15, 20 müşterilik gruplar için önerilen matematiksel modelin sonuçları, Tip 1 verileri için Tablo 1'de; Tip 2 verileri için Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1 incelediğinde 5 müşteri için, R,C, RC problem türlerinin hepsinde optimum sonuç elde edildiği; 10 müşteri için, 17 problemde optimum sonuç, 12 problemde yaklaşık sonuç elde edildiği; 15 müşteri için, 5 problemde optimum sonuç, 20 problemde yaklaşık sonuç ve 4 problemde çözüm elde edilemediği ve 20 müşteri için 17 problemde yaklaşık çözüm elde edilirken 12 problemde çözüm elde edilemediği görülmektedir.

Tablo 2 incelediğinde 5 müşteri için, R,C, RC problem türlerinin hepsinde optimum sonuç elde edildiği; 10 müşteri ve 15 müşteri için ise tüm problemlerde yaklaşık sonuç; 20 müşteri için 25 problemde yaklaşık çözüm elde edildiği ve 2 problemde çözüm elde edilemediği görülmektedir.

Tablo1: Tip1 Verileri için matematiksel modelin çözümü(Solution of mathematical model for data at type1)

| Problem | 5 | | | 10 | | | 15 | | | 20 | | |
|--------------|------------|-------------|-------|------------|-------------|---------|------------|-------------|---------|------------|-------------|---------|
| | Amaç Fonk. | İter. Sayı. | CPU | Amaç Fonk. | İter. Sayı. | CPU | Amaç Fonk. | İter. Sayı. | CPU | Amaç Fonk. | İter. Sayı. | CPU |
| c101 | 533.3* | 14,894 | 0.98 | 67.5* | 4,557,771 | 1146.8 | 722 | 12,507,509 | 7200.09 | 559.1 | 4,488,317 | 7200.14 |
| c102 | 330.6* | 101,095 | 7.63 | 0* | 3,194,530 | 725.75 | 517.3 | 13,618,719 | 7200.09 | 236.5 | 7,497,167 | 7200.19 |
| c103 | 330.6* | 101,095 | 8.13 | 0* | 3,194,530 | 723.86 | 228,30 | 14,282,449 | 7200.09 | 385.2 | 9,704,868 | 7200.2 |
| c104 | 330.6* | 101,095 | 7.59 | 0* | 2,911,899 | 602.59 | 37.3 | 17,582,736 | 7200.11 | 424.2 | 10,792,419 | 7200.19 |
| c105 | 508.3* | 6,185 | 0.64 | 43* | 16,640,491 | 4556.83 | 559 | 11,466,823 | 7200.08 | 990.5 | 3,697,671 | 7200.28 |
| c106 | 524.3* | 1,552 | 0.22 | 58.5* | 6,820,538 | 1823.84 | 495,30 | 12,153,806 | 7200.05 | 1061.9 | 5,485,187 | 7200.22 |
| c107 | 464.9* | 2,604 | 0.33 | 0* | 1,540,368 | 361.69 | 281.6 | 12,353,196 | 7200.13 | 417.7 | 3,681,002 | 7200.27 |
| c108 | 462.3* | 13,734 | 1.27 | 0* | 112,143 | 32.64 | 246,10 | 12,723,114 | 7200.08 | 713.9 | 3,750,211 | 7200.25 |
| c109 | 374.9* | 26,042 | 1.92 | 0* | 616,904 | 147.5 | 266.6 | 12,360,718 | 7200.09 | 1042.7 | 4,178,641 | 7200.2 |
| r101 | 143.1* | 68,024 | 3.33 | 199.1 | 21,844,587 | 7200.03 | 299.9 | 13377883 | 7200.06 | INF | | 7200.19 |
| r102 | 0* | 100 | 0.05 | 37.7 | 23,821,339 | 7200 | 155.4 | 12,015,554 | 7200.09 | INF | | 7200.13 |
| r103 | 0* | 100 | 0.03 | 37.7 | 25,223,394 | 7200.03 | 39,70 | 11,220,984 | 7200.06 | 305.3 | 8,319,902 | 7200.17 |
| r104 | 0* | 100 | 0.03 | 0* | 3,242,384 | 751.72 | INF | | 7200.13 | 12.7 | 9,453,961 | 7200.17 |
| r105 | 123.1* | 33,820 | 2.39 | 78.2 | 24,076,536 | 7200.05 | 114.8 | 10,808,479 | 7200.06 | INF | | 7200.2 |
| r106 | 0* | 99 | 0.05 | 0* | 850,228 | 188.78 | 0* | 10,244,425 | 6785.88 | 172.2 | 4,929,682 | 7200.41 |
| r107 | 0* | 99 | 0.05 | 0* | 850,228 | 188.77 | 0* | 5,409,569 | 2885.06 | 14.4 | 9,098,012 | 7200.28 |
| r108 | 0* | 99 | 0.05 | 0* | 50,161 | 13.98 | INF | | 7200.08 | INF | | 7200.13 |
| r109 | 0* | 2,854 | 0.2 | 4 | 26,006,143 | 7200.05 | 12.5 | 10,913,400 | 7200.11 | 156.4 | 3,638,668 | 7200.22 |
| r110 | 0* | 673 | 0.09 | 2 | 25,551,610 | 7200.06 | 23 | 11,382,733 | 7200.09 | INF | | 7200.2 |
| r111 | 0* | 979 | 0.22 | 0* | 455,816 | 104.81 | 18.2 | 11,872,284 | 7200.09 | 33.9 | 3,756,870 | 7200.17 |
| r112 | 0* | 427 | 0.09 | 0* | 2,562,911 | 573.28 | 0* | 140,906 | 102,38 | INF | | 7200.14 |
| rc101 | 45.1* | 19,108 | 1.48 | 35.3 | 20,467,085 | 7200.02 | 72.2 | 8,872,705 | 7200.09 | INF | | 7200.25 |
| rc102 | 29.3* | 285,142 | 17.88 | 2.7 | 21,850,040 | 7200.05 | INF | | 7200.03 | INF | | 7200.22 |
| rc103 | 29.3* | 285,142 | 17.89 | 2.7 | 21,850,092 | 7200.03 | 34.4 | 10,006,414 | 7200.14 | INF | | 7200.19 |
| rc104 | 29.3* | 285,142 | 17.86 | 4.7 | 23,605,764 | 7200.02 | INF | | 7200.06 | INF | | 7200.19 |
| rc105 | 39.3* | 104,608 | 6.66 | 27 | 20,395,945 | 7200.03 | 101.9 | 9,904,944 | 7200.06 | 175.7 | 3,830,442 | 7200.23 |
| rc106 | 30.1* | 39,664 | 2.64 | 6.7 | 18,524,809 | 7200.05 | 12.2 | 9,221,824 | 7200.13 | 157 | 3,553,441 | 7200.3 |
| rc107 | 20.5* | 69,193 | 5.7 | 1.2* | 16,835,282 | 5594.3 | 0* | 4,799,344 | 3175.47 | INF | | 7200.16 |
| rc108 | 0* | 22,531 | 1.81 | 0* | 21,860,175 | 6454.86 | 0* | 5,316,920 | 4018.94 | INF | | 7200.09 |

Tablo2 : Tip2 Verileri için matematiksel modelin çözümü(Solution of mathematical model for data at type2)

| Problem | 5 | | | 10 | | | 15 | | | 20 | | |
|--------------|------------|-------------|-------|------------|-------------|---------|------------|-------------|---------|------------|-------------|---------|
| | Amaç Fonk. | İter. Sayı. | CPU | Amaç Fonk. | İter. Sayı. | CPU | Amaç Fonk. | İter. Sayı. | CPU | Amaç Fonk. | İter. Sayı. | CPU |
| c201 | 856.2* | 12,887 | 0.97 | 1894.2 | 21,059,235 | 7200.05 | 5234.5 | 11,524,106 | 7200.08 | INF | | 7200.11 |
| c202 | 806.3* | 77,225 | 4.58 | 1854.8 | 25,411,663 | 7200.05 | 4155.4 | 13,202,228 | 7200.08 | 5360.5 | 6,825,106 | 7200.22 |
| c203 | 806.3* | 77,225 | 4.56 | 1857 | 24,925,069 | 7200.05 | 5043.2 | 14,852,834 | 7200.09 | 6224.8 | 9,067,704 | 7200.16 |
| c204 | 806.3* | 77,225 | 4.58 | 1833.9 | 24,557,994 | 7200.02 | 3677.2 | 14,590,026 | 7200.09 | 4183.5 | 10,781,440 | 7200.16 |
| c205 | 762.6* | 23,178 | 2.02 | 1810.5 | 20,627,620 | 7200.06 | 2960.8 | 10,250,352 | 7200.08 | 5976 | 3,981,046 | 7200.11 |
| c206 | 725.8* | 48,338 | 3.14 | 1720.6 | 22,110,337 | 7200.02 | 2661.4 | 10,446,580 | 7200.23 | 5269 | 4,382,066 | 7200.14 |
| c207 | 828.6* | 27,937 | 1.98 | 1311 | 21,433,846 | 7200.05 | 3355.1 | 14,793,006 | 7200.11 | 5485.1 | 7,224,544 | 7200.22 |
| c208 | 592.8* | 98,572 | 6.11 | 1639.1 | 20,220,066 | 7200.03 | 2333.7 | 14,577,933 | 7200.11 | 6755.1 | 6,331,009 | 7200.25 |
| r201 | 538.4* | 26,727 | 1.89 | 303.1 | 26,584,206 | 7200.05 | 550.2 | 12,155,233 | 7200.08 | 2382.8 | 3,380,214 | 7200.33 |
| r202 | 471.9* | 140,585 | 7.52 | 243.8 | 30,483,989 | 7200.02 | 681.5 | 15,967,949 | 7200.06 | 1432.4 | 9,743,807 | 7200.17 |
| r203 | 471.9* | 140,585 | 7.52 | 243.8 | 30,320,497 | 7200.06 | 468.2 | 18,639,918 | 7200.08 | 1535.6 | 10,063,489 | 7200.23 |
| r204 | 471.9* | 140,585 | 7.52 | 235.3 | 27,816,836 | 7200.03 | 260.6 | 20,137,631 | 7200.08 | 507.4 | 9,880,441 | 7200.16 |
| r205 | 480.4* | 71,330 | 4.28 | 211 | 25,605,227 | 7200.05 | 367 | 13,203,917 | 7200.09 | 1740.8 | 4,613,581 | 7200.13 |
| r206 | 413.9* | 78,008 | 4.33 | 173.5 | 27,767,019 | 7200.03 | 530.6 | 14,461,454 | 7200.14 | 727 | 11,675,736 | 7200.22 |
| r207 | 413.9* | 78,008 | 4.31 | 173.5 | 27,796,211 | 7200.03 | 763 | 24,267,353 | 7200.11 | 1118 | 8,773,741 | 7200.19 |
| r208 | 413.9* | 78,008 | 4.33 | 198.5 | 31,326,929 | 7200.03 | 148.2 | 17,348,744 | 7200.08 | 663 | 11,119,554 | 7200.23 |
| r209 | 454.2* | 59,888 | 4.84 | 190.2 | 27,233,909 | 7200.03 | 742.4 | 13,198,962 | 7200.06 | 1248.1 | 4,913,124 | 7200.19 |
| r210 | 472.9* | 124,190 | 9.03 | 215.3 | 23,432,450 | 7200.05 | 426.8 | 13,934,616 | 7200.09 | 1280.2 | 7,034,752 | 7200.25 |
| r211 | 304.7* | 53,747 | 3.78 | 127.3 | 26,637,262 | 7200.03 | 693.4 | 13,983,685 | 7200.06 | 1497.4 | 5,776,929 | 7200.17 |
| rc201 | 560* | 42,709 | 3.05 | 325.1 | 24,554,507 | 7200.03 | 341.1 | 11,112,533 | 7200.11 | 1026 | 3,583,176 | 7200.3 |
| rc202 | 532.3* | 125,696 | 9.09 | 278.2 | 26,346,280 | 7200.05 | 880.1 | 15,774,215 | 7200.09 | 1419.2 | 6,686,385 | 7200.16 |
| rc203 | 532.3* | 125,696 | 9.09 | 278.2 | 26,346,807 | 7200.05 | 492.5 | 14,411,316 | 7200.09 | INF | | 7200.16 |
| rc204 | 532.3* | 125,696 | 9.09 | 293.4 | 25,709,013 | 7200.03 | 964.9 | 13,757,111 | 7200.11 | 382.2 | 10,494,735 | 7200.17 |
| rc205 | 562.3* | 224,374 | 14.27 | 316.1 | 24,252,623 | 7200.03 | 807 | 12,532,976 | 7200.11 | 1711.7 | 4,046,826 | 7200.3 |
| rc206 | 500* | 78,931 | 5.98 | 263 | 24,067,989 | 7200.03 | 272.4 | 11,457,908 | 7200.08 | 708.9 | 4,103,148 | 7200.25 |
| rc207 | 478* | 172,321 | 10.83 | 231.7 | 23,613,290 | 7200.05 | 416.1 | 13,313,549 | 7200.13 | 924.5 | 4,092,062 | 7200.22 |
| rc208 | 313.6* | 46,226 | 2.77 | 143.5 | 23,310,071 | 7200 | 909.8 | 13,315,106 | 7200.16 | 1241.7 | 4,923,379 | 7200.19 |

Tablolarda, * lı sonuçlar optimal çözümler; INF, çözümün elde edilemediğini ve diğer değerler yaklaşık çözümün bulunduğunu ifade etmektedir.

3. SONUÇ (CONCLUSION)

Çalışmada eşzamanlı dağıtım toplama araç rotalama problemlerine kesin zaman penceresi kısıtı ilave edilerek KZP-EZDTARP tanımlanmış ve matematiksel modeli kurulmuştur. Kurulan matematiksel modelde, zaman penceresi kavramının doğası gereği beklemlerin en küçüklenmesi amaçlanmıştır. Önerilen model Solomon'un verilerinden derlenen 5, 10, 15, 20 müşteri problemlerin çözümü için denenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, müşteri sayısı arttıkça problemin zorlaştığı ve optimum çözüm sayısının azaldığı hatta çözümsüz sonuçların elde edildiği görülmektedir. Müşteri sayısı arttıkça problem karmaşıklığı artacağından

KZP-EZDTARP için sezgisel yöntemlere ihtiyaç olacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Dantzig G.B., Ramser J.H., "The Truck Dispatching Problem", **Management Science**, 6, 80-91, 1959.
2. Toth P., Vigo D., **The Vehicle Routing Problem**, Siam, 2002.
3. Savelsbergh M.W.P., "Local Search In Routing Problems With Time Windows", **Annals of Operations Research**, 4, 285-305, 1985.
4. Solomon M.M., "Algorithms For The Vehicle Routing And Scheduling Problems With Time Window Constrains", **Operations Research**, 35, 2, 254-265, 1987.
5. Solomon M.M., Desrosier J., "Survey Paper: The Time Constrained Routing and Scheduling Problems", **Transportation Science**, 22, 1, 1988.
6. Pullen H., Webb M., "A Computer Application To A Transport Scheduling Problem", **Computer Journal**, 10:10-13, 1967.
7. Knight K., Hofer J., "Vehicle Scheduling With Timed and Connected Calls: A Case Study", **Operational Research Quarterly**, 19: 299-310, 1968.
8. Madsen O.B.G., Optimal Scheduling of Trucks- A routing Problem With Tight Due Times For Delivery. In H. Strobil, R. Genser, M. Etschmaier, editors, Optimization Applied to Transportation Systems, IIASA, **International Institute for Applied System Analysis**, Luxemburg, Austria, 126-136, 1976.
9. Bouthillier A., Crainic T.G., "A Cooperative Parallel Meta Heuristic For The Vehicle Routing Problem With Time Windows", **Computers & Operations Research**, 32, 1685-1708, 2005.
10. Dondo R., Cerda J., "A Cluster -Based Optimization Approach For The Multi-Depot Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem With Time Windows", **European Journal of Operation Research**, 176, 1478-1507, 2007.
11. Calvete H.I., Gale C., Oliveros M., Sanchez-Valverde B., "A Goal Programming Approach To Vehicle Routing Problems With Soft Time Windows", **European Journal of Operation Research**, 177, 1720-1733, 2007.
12. Savelsbergh M., Sol M., "The General Pick Up And Delivery Problem", **Transportation Science**, 29, 1, 107-121, 1995.
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. Min, H., "The Multiple Vehicle Routing Problem With Simultaneous Delivery and Pick-up Points", **Transportation Research**, 23A, 377-386, 1989.
15. Dethloff, J., "Vehicle Routing And Reverse Logistics: The Vehicle Routing Problem With Simultaneous Delivery and Pick-Up", **OR Spectrum**, 23, 79-96, 2001.
16. 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.
17. 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.
18. Bianchessi, N., Righini, G., "Heuristic Algorithms For The Vehicle Routing Problem With Simultaneous Pick-Up And Delivery", **Computers & Operations Research**, 34, 578-594, 2009
19. 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.
20. 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.
21. YAŞA Ö, **Ulaştırma Komutanlığı Ring Seferlerinin Eş Zamanlı Dağıtım Toplama Karar Destek Sistemi**, Yüksek Lisans Tezi, KHO Savunma Bilimleri Enstitüsü, 2006.
22. ÖZKÜTÜK E., **Heterojen Araç Filolu Eş Zamanlı Dağıtım-Toplamalı Rotalama Probleminin Çözümü İçin Sezgisel Bir Algoritma ve Uygulamalı Bir Karar Destek Sistem**, Yüksek Lisans Tezi, KHO Savunma Bilimleri Enstitüsü, 2008
23. Salhi S., Nagy G., "A Cluster Insertion Heuristic For Single And Multi Depot Vehicle Routing Problems With Backhauling", **Journal of the Operation Research Society**, 50, 1034-1042, 1999.

