

Zaman Pencerele Araç Rotalama Problemine Tasarruf Yöntemi ile Bir Uygulama

Saving Method Application for Vehicle Routing Problem with Time Windows

Mert DEMİRCİOĞLU¹

ÖZET

Son yıllarda dağıtım sistemleri giderek daha karmaşık hale gelmiş ve dağıtım planlamada çalışanlar daha büyük ve karmaşık dağıtım problemleri ile karşı karşıya kalmıştır. Bu gelişmenin sebeplerinden biri çok sayıdaki şirket birleşmeleridir. Dağıtım sisteminin karmaşık hale gelmesinin diğer bir sebebi de dağıtım ağı içerisinde zamanın öneminin ve son yıllardaki firmalar arası artan rekabetçi ortam dolayısı ile maliyetlerin rekabet üzerindeki öneminin hızla artmasıdır.

Araç Rotalama Problemi dağıtım sistemleri içerisindeki en önemli problemdir. Bu çalışmada ürün dağıtımı, okul servis aracı, posta ve gazete dağıtımı, çöp toplama, yakıt dağıtımı gibi gerçek hayatta pek çok uygulama alanı bulunan Zaman Pencerele Araç Rotalama Problemi (ZPARP) ile ilgilenilmektedir. Bu problem araç kapasite kısıtlarına ve müşterilerde ortaya çıkan servis süresi kısıtlarına sahip olan ve maliyeti minimize ederek belirli bir müşteriye servis vermek için belirli bir sayıda durmak zorunda olan belirli bir kapasiteye sahip olan araç filosunun etkin bir şekilde kullanılması ile ilgilidir. Problemin karmaşıklığı nedeniyle günlük hayatta karşılaşılan problemleri çözmede genellikle sezgisel yöntemler kullanılır.

Bu çalışmada, sezgisel yöntemlerden biri olan Tasarruf Yöntemi ile Mersin'deki bir dağıtım firmasında uygulama yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Zaman Pencerele Araç Rotalama Problemi, Sezgisel Yöntemler, Tasarruf Yöntemi

ABSTRACT

In recent years, the distribution system has become increasingly more complex and distribution planning workers has been faced with more big and complex distribution problems. One of the reasons of this development is company mergers. Another reason for complicating distribution system is the increasing importance of time in the distribution chains and costs on competition because of the increasing competition between firms during recent years.

Vehicle Routing Problem is the most important problem in distribution systems. In this study, it is dealt with the Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW) which has lots of applications in real life such retail distribution, school bus routing, mail and newspaper delivery, waste collection, fuel delivery. This problem is related with the efficient use of a fleet of capacitated vehicles which have vehicle capacity constraint and service time restrictions imposed at the customer locations and should make a number of stops to serve a set of customers so as to minimize cost. Due to the complexity of the problem, heuristics are often used for solving problems in real life.

In this study, with one of the heuristics approach named Saving Method has been applied in a distribution firm in Mersin.

Keywords: Vehicle Routing Problem with Time Windows, Heuristic Methods, Saving Method

¹ Yar.Doç.Dr., Çukurova Üniversitesi, İİBF, İşletme Bölümü, mdemircioglu@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Günümüz küresel piyasasında yoğun rekabet, kısa yaşam eğrisine sahip ürünler ve müşterilerin artan beklentileri, üreticileri dağıtım sistemlerine yatırım yapmalarına ve gereken önemi vermelerine zorlamıştır. Bu durum, iletişim ve ulaşım teknolojilerindeki değişimle birlikte, örneğin mobil iletişim ve gıda dağıtım gibi, lojistik yönetiminin sürekli gelişimine neden olmuştur. Lojistik sisteminin en önemli parçası ve problemi ise Araç Rotalama Problemidir (Simchi-Levi ve Bramel, 1997).

Dağıtım yapan bütün firmalar araç rotalama problemi ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu problem firmalara bir dağıtım maliyeti yaratmaktadır. Bu dağıtım maliyetleri, ürün maliyetlerinin yaklaşık %15-20'sini oluşturmaktadır. (Rushton ve diğerleri, 2006). Genellikle firmalar bu probleme herhangi bir matematiksel model kullanmadan, geçmiş tecrübelerinden veya kendi geliştirdikleri algoritmaları kullanarak çözüm aramaktadırlar. Firmaların bir matematiksel model kullanmadan yaptıkları bu etkin olmayan dağıtım rotaları, yüksek dağıtım maliyetlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır ve firmalara ekstra bir maliyet yaratmaktadır. Sonuç olarak etkin bir dağıtım rotası oluşturmak firmaya büyük bir maliyet tasarrufu oluşturmakta ve günümüzdeki rekabetçi ortamda önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Dağıtım sistemlerine finansal olarak ciddi bir harcama yapılmaktadır. Amerika Birleşik Devletlerinde yıllık dağıtım maliyeti 400 milyar dolar ve İngiltere'nin yıllık dağıtım harcaması 15 milyar sterlin olarak tahmin edilmektedir. Ayrıca araştırmalara göre dağıtım maliyetinin, ürünün toplam maliyetinin yaklaşık %16'sı olduğu tahmin edilmektedir. Böylece herhangi bir dağıtım maliyet azalması firmalara büyük fayda sağlayabilmektedir. Bir İsviçre firması sezgisel bir ARP modeli kullanarak dağıtım maliyetlerini %10-15 arası azaltmıştır. Bu durumda anlaşılmaktadır ki etkin bir dağıtım modeli kullanılarak dağıtım maliyetinden ciddi bir şekilde tasarruf sağlanması mümkün olabilmektedir (Bodin ve diğerleri, 1983).

Bu çalışmada Zaman Pencerele Araç Rotalama Problemi (ZPARP) incelenmiştir. Zaman pencerele araç rotalama probleminin amacı, müşteri tarafından belirlenen belirli bir zaman aralığında, dağıtım rotalarının optimal bir şekilde oluşmasını sağlamaktır. Araç rotalama probleminin sağladığı bu faydalar doğrultusunda bu çalışmada, zaman pencerele araç rotalama probleminde geliştirilmiş tasarruf algoritması kullanılarak, optimal dağıtım rotaları belirlenmiş ve bu dağıtım rotasının, dağıtım süreleri ve maliyetler üzerindeki etkisi saptanmıştır.

2. YÖNTEM

Bir dağıtım firmasında uygulama yapılmış mevcut dağıtım sistemi ile ilgili gerekli veriler toplandıktan sonra, zaman pencerele araç rotalama problemi için seçilen sezgisel yaklaşım, mevcut sisteme uygulanarak yeni bir dağıtım rotasının belirlenmesine çalışılmıştır. En uygun dağıtım rotası bulunurken, dağıtım sistemini oluşturan maliyetlerin azaltılması gerekmektedir.

Uygun dağıtım rotası bulunabilmesi için araç rotalama problemlerinde kullanılan bir sezgisel yöntem olan, geliştirilmiş tasarruf yöntemi kullanılmıştır. Modellenen zaman pencerele araç rotalama problemi, geliştirilmiş tasarruf yöntemi kullanılarak çözülmüş ve uygulamadaki problem için uygun dağıtım rotaları bulunmuştur.

Uygun bir dağıtım rotasının bulunması ile dağıtım sistemini oluşturan maliyetlerin azaltılması mümkün olabilir. Dağıtım sisteminde, kısa dönemde ve uzun dönemde değişen çeşitli maliyetler vardır. Çalışmadaki amaç, kısa vadede değişen maliyetleri azaltacak dağıtım rotaları çıkarılmasıdır.

Dağıtım firmasının dağıtım işi için olan kısa dönemde değişen maliyeti, dağıtım aracının katettiği yol ile orantılı olarak artan yakıt maliyetidir. Dağıtım işi için olan uzun dönemdeki maliyetler aşağıdaki gibidir:

- Araç satın alma maliyeti
- Araçları kullananların ücretleri
- Bakım-onarım maliyeti
- Kasko ve Sigorta maliyeti
- Otopark ve diğer maliyetler

Çalışmada uygun bir dağıtım rotası bulunmaya çalışılmış ve bu yüzden mevcut dağıtım sistemi ile ilgili verilere ihtiyaç duyulmuştur. Uygulamanın yapılabilmesi için gerekli olan veriler aşağıda listelenmiştir:

- Dağıtım yapılan ürün ve nerelere dağıtım yapılacağı
- Araç sayıları
- Araç kapasiteleri
- Müşteri yerleri ve depo yeri
- Müşterilerin kendi aralarındaki ve müşterilerin depoya olan uzaklıkları
- Müşterilerin eğer varsa, teslimat istediği zamanlar
- Müşteride geçen servis süreleri
- Müşteri türleri
- Uygulanan dağıtım rotaları

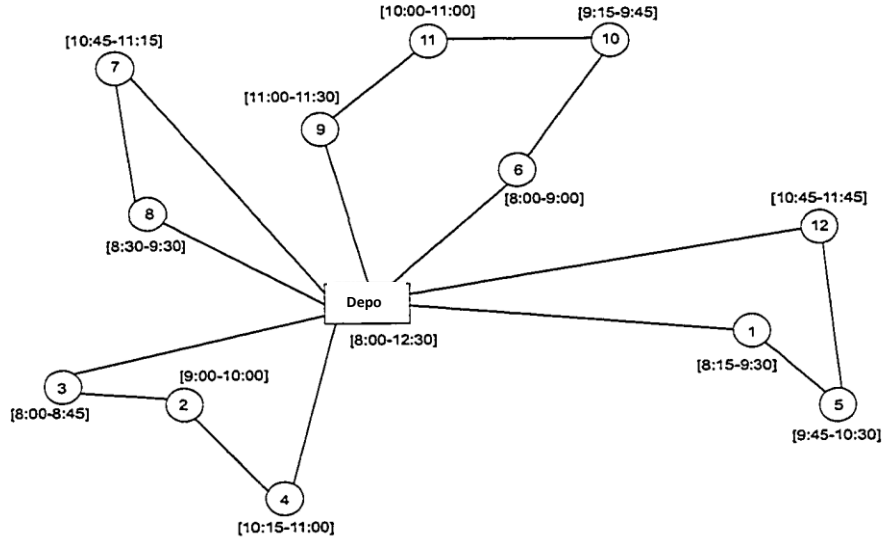
Uygulamanın gerçeği yansıtabilmesi için, müşteriler arasındaki mesafeler olarak dik uzaklık değil, gerçek mesafeler kullanılmıştır. Bunun için Mersin Büyükşehir Belediyesi'nden Mersin Şehri'ne ait 1/10.000 ölçekli harita temin edilmiştir. Mersin Şehri haritası üzerinde 110 müşteri ve deponun yeri işaretlenip, müşteriler arasındaki ve müşterilerin depoya olan, toplam 6.105 gerçek mesafeler hesaplanmıştır.

Problemin karmaşıklığı dolayısı ile el ile çözülmesi mümkün değildir. Uygulamanın bilgisayar ile modellenmesi işlemi için MATLAB programı kullanılmıştır. Uygulanan MATLAB kodları ise Pentium Dual Core 2,66 Ghz işlemciye ve 3 Gb hafızaya sahip olan bir bilgisayarda çözülmüştür.

2.1. Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi

Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi (ZPARP), belirli bir kapasiteye sahip olan araç filosunun, maliyetleri minimize ederek, müşterilere hizmet vermek için çeşitli yerlerde durarak, etkin olarak kullanılmasını amaçlamaktadır. Problemin amacı kullanılacak araç sayısını ve toplam seyahat mesafesini minimize etmektir. Her bir aracın kapasitesi ve her bir müşterinin belirli bir zaman diliminde karşılanması gereken bir talebi vardır. Zaman penceresi, müşterilerin daha önceden ziyaret edilmek istendiği zaman dilimidir. Her bir araç belirli bir zaman penceresinde müşterilere servis yapmak mecburiyetindedir. Bazı yaklaşımlarda zaman penceresi mutlaka uyulması gereken bir kısıt iken, bazı yaklaşımlarda ise zaman penceresine uyulmamasına izin verilir ancak buna karşılık bir maliyet söz konusudur (Cordeu ve diğerleri, 2002).

Zaman Pencereli Araç Rotalama Probleminin bir örneği Şekil-1’de gösterilmiştir. Problem dağıtım ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde tur setinin oluşturulması şeklinde tanımlanır. Her bir müşterinin talebi, dağıtılacak ürün boyutunu belirler, dağıtım yerleri ve müşteri yerleri ürünlerin nereden alınacağını ve nereye dağıtılacağını belirler, tanımlanan zaman penceresi doğrultusunda toplama ve dağıtım zamanları için zaman aralıkları belirlenir. Zaman pencereli araç rotalama probleminde yolculuk için mesafe yerine yolculuk zamanı da kullanılır ve araç müşteriye erken vardığı zaman, eklenmesi gereken bir bekleme zamanı da olacaktır.



Şekil-1 Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi Örneği: Müşteriler belirli bir zaman aralığı içerisinde 4 araç tarafından hizmet almaktadır

ZPARP'nin bir özel durumu olan araç kapasitelerinin olmadığı duruma, çoklu Zaman Pencereli Gezgin Satıcı Problemi (m-ZPGSP) denir. Çoklu Gezgin Satıcı Problemi (m-

GSP), GSP probleminin genelleşmesi ile birden çok satışıya sahip olunan problemdir. m -ZPGSP'de, m adet satışı belirli bir zaman aralığında, bütün şehirleri en az bir satıcının uğrayacağı şekilde ziyaret etmelidir. Bütün satış elemanları depo adı verilen bir şehirden başlar ve seyahatlerinin sonunda aynı depoya geri dönerler. Bu durum ZPARP'deki araç kapasitelerinin çok büyük olduğu durumdur (Desrochers ve diğerleri, 1988). Bu problemde tur, depodan başlar ve kapasite kısıtı olmadan diğer noktaları belirli bir zaman aralığında ziyaret eder. Amaç ise toplam tur uzunluğunu minimize etmektir. Bu durumun banka ve posta dağıtımları, okul servisi gibi endüstri ve servis sektöründe pek çok uygulama alanı vardır.

Zaman pencerele araç rotalama problemi şu şekilde tanımlanabilmektedir: N müşteri seti ve A ise iki müşteri arasındaki bağlantılar olacak şekilde (N,A) grafiği tanımlansın. c_{ij} maliyeti ve t_{ij} seyahat süresi $(i,j) \in A$ kenarı ile ilişkilidir. K sayıda araca sahip olan firma müşterilere hizmet vermektedir. Araç kapasiteleri q_k ve müşterilerin talepleri ise $d_i, i \in C$ dir. Her bir müşterinin kendine ait bir servis süresi vardır. Her bir müşteri zaman penceresi adı verilen belirli bir zaman aralığında hizmet almak zorundadır. Araçlar depodan 0 zamanında çıkarlar, müşterilere hizmet verirler ve zaman penceresi içerisinde geri dönmek zorundadırlar. Her bir müşteriye bir tek kez servis edilmeli ve bütün müşteriler kendi zaman pencerelerinde hizmet almalıdırlar (Braysy, 2002).

Genel araç rotalama problemlerinde kısıtlar servis, araç ve maliyet kısıtlarıdır. Zaman pencerele araç rotalama problemlerinde ise bunlara zaman penceresi kısıtları da eklenir. Zaman penceresi kısıtları müşterilerin belirli bir zaman dilimi içerisinde servis aldığı durumda ortaya çıkar. Zaman penceresi müşterinin servis almak istediği en erken ve en geç zaman aralığıdır.

Zaman penceresi kısıtları ile, günlük problemlerde sıkça karşılaşılır. Müşteriler, teslimatların genellikle iş saatlerinde veya işçilerin yükleme yapabilmek için müsait olduğu, daha önce belirlenen bir zaman aralığında yapılmasını isterler. (Taillard ve Badeau, 1997). Bu kısıtlar temel problemin yapısını önemli bir şekilde değiştirir. Örneğin, gezgin satıcı problemine olurlu bir çözüm bulmak sıradan bir problemdir. Olurlu bir çözüm sadece müşterilerin bir tekrar yapmadan herhangi bir sıralamasıdır. Fakat Zaman Pencerele Gezgin Satıcı Probleminde (ZPGSP) olurlu bir çözüm bulmak bile bazı durumlarda çok zor olabilir.

Zaman penceresi kısıtları esnek olmayan veya esnek olan kısıtlar şeklinde olabilir. Esnek olmayan zaman penceresi kısıtları hiçbir şekilde ihlal edilemez ve en erken ve en geç servis zamanına uyulması gerekmektedir. Esnek zaman penceresi kısıtlarında ise en erken ve en geç servis zamanına uyulmayabilir. İhlal sadece belirli bir ceza maliyeti ile mümkün olmaktadır. Bu çalışmada esnek olmayan zaman penceresi kısıtlarına sahip araç rotalama problemi ele alınmıştır. Zaman penceresi genellikle belirli bir sabit zaman aralığında çalışan işletmeler tarafından karşılaşılan problemlerde ortaya çıkmaktadır. Esnek olmayan zaman pencerele problemlerin örnekleri arasında para transferi, posta dağıtımı, okul servisleri verilebilir (Taillard ve Badeau, 1997).

ZPARP için olurlu bir çözüm bulmak bir hayli zordur ve NP-zor problem sınıfına girmektedir (Savelsbergh, 1985). Problemi çözmek için bilgisayar yardımı gerekir. Bu tür problemler için yaklaşık sonuç bulunması çoğunlukla tercih edilir. Böylece genel amaç için tatminkâr sonuçlar çabuk bir şekilde bulunur. Yaklaşık sonuçlar genellikle sezgisel yöntemlerin yardımı ile bulunmaktadır.

ZPARP için pek çok araştırmacı tarafından dal-sınır, dinamik programlama gibi kesin çözüm yöntemleri veya tasarruf algoritması, süpürme algoritması, tabu arama, genetik algoritma gibi sezgisel çözüm yöntemleri gibi çok sayıda metod uygulanmıştır. ZPARP'nin çok karmaşık olması ve gerçek hayatta geniş kullanım alanı bulunması, kısa sürede yüksek kalitede çözüme ulaşacak çözüm tekniklerini çok önemli hale getirmektedir.

Zaman pencereli araç rotalama probleminin formülasyonunda kullanılan parametreler ve karar değişkenleri aşağıda verilmiştir (Braysy, 2002).

Parametreler

N : Müşteri Seti
 A : Müşteriler arasındaki mümkün bağlantıları içeren kenar seti
 K : Toplam araç sayısı
 V : Araç Seti
 n : Servis görmeyi bekleyen müşteri sayısı
 c_{ij} : i . müşteri ile j . müşteri arasındaki seyahat maliyeti $(i, j) \in A$
 t_{ij} : i . müşteri ile j . müşteri arasındaki seyahat süresi $(i, j) \in A$
 Q_k : k . aracın kapasitesi
 d_i : i . müşterinin talebi
 $[a_i, b_i]$: i . müşteri için zaman penceresi
 a_i : i . müşteri için en erken servis zamanı
 b_i : i . müşteri için en geç servis zamanı
 f_i : i . müşteri için servis zamanı

Karar Değişkenleri

ZPARP x_{ijk} ($\forall (i, j) \in A, \forall k \in V$) ve s_{ik} ($\forall i \in N, \forall k \in V$) adında iki karar değişkenine sahiptir.

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } k \text{ aracı } i. \text{ müşteri } j. \text{ müşteriye gider ise} \\ 0 & \text{Aksi halde} \end{cases}$$

$$s_{ik} = k \text{ aracının } i. \text{ müşteriye servis verdiği zaman}$$

Eğer k aracı i . müşteriye hizmet vermiyor ise s_{ik} değişkeninin bir anlamı yoktur. $i = 0$ depo olduğu için bütün araçlarda ($s_{0k} = 0, \forall k$) depodaki servis zamanı sıfırdır.

Bu matematiksel modelin iki varsayımı vardır:

- 1) Aracın seyahat süresi, seyahat mesafesi ile doğru orantılıdır.
- 2) Eğer araç müşteriye en erken servis zamanından (a_i) önce gelmiş ise en erken servis zamanına kadar müşteride beklemek zorundadır.

Amaç fonksiyonu her bir müşterinin sadece bir kez ziyaret edilmesini sağlayarak bütün turlardaki maliyetlerin minimize edilmesini amaçlamaktadır. Böylece bölünmüş dağıtımlara izin verilmemektedir. Bütün turların araç kapasitelerini aşmayacak şekilde olması ve müşterilere ait zaman pencerelerine uyması gerekmektedir. ZPARP'nin matematiksel modeli aşağıdaki gibidir (Braysy, 2002):

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } Z = \sum_{k \in V} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ijk}$$

Kısıtlar

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=0}^N x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N \quad (2.1)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^N x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in N \quad (2.2)$$

(2.1) ve (2.2) nolu kısıt her bir müşterinin sadece bir araç tarafından ziyaret edilmesini sağlar.

$$\sum_{i=0}^N d_i \sum_{j=0}^N x_{ijk} \leq Q_k \quad k \in V \quad (2.3)$$

(2.3) nolu kısıt araç kapasitesi kısıtıdır. Hiçbir araç, kapasitesinin izin verdiği kadar fazla bir şekilde müşterilere hizmet veremez.

$$\sum_{j=1}^N x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in V \quad (2.4)$$

(2.4) nolu kısıt her bir aracın depodan (0) bir kere çıkmasını sağlar.

$$\sum_{i=0}^N x_{ihk} - \sum_{j=0}^N x_{hjk} = 0 \quad \forall k \in V \quad (2.5)$$

(2.5) nolu kısıt h müşterisinden ayrılan aracın sadece o müşteriye gidilmiş ise gerçekleşmesini sağlar.

$$\sum_{i=1}^N x_{i0k} = 1 \quad \forall k \in V \quad (2.6)$$

(2.6) nolu kısıt her aracın depoya dönmesini sağlamaktadır.

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^N x_{0jk} \leq K \quad (2.7)$$

(2.7) nolu kısıt maksimum K tane tur olmasını sağlar.

$$x_{ijk}(s_{ik} + f_i + t_{ij} - s_{jk}) \leq 0 \quad \forall (i, j) \in A, \forall k \in V \quad (2.8)$$

(2.8) nolu kısıt k aracı eğer i. müşteriden j. müşteriye seyahat ediyor ise, j. müşteriye $s_{ik} + f_i + t_{ij}$ 'den önce ulaşamamasını sağlar.

$$a_i \leq s_{ik} + f_i \leq b_i \quad (2.9)$$

(2.9) nolu kısıt her bir müşterinin belirli bir zaman penceresinde servis görmesini sağlar.

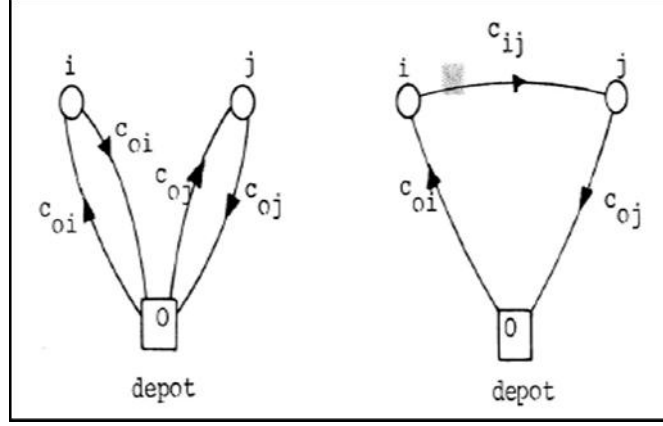
$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall (i, j) \in A, \forall k \in V \quad (2.10)$$

(2.10) nolu kısıt x_{ijk} karar değişkeninin ikili değişken olma kısıtıdır.

2.2. Tasarruf Yöntemi

Kapasiteli araç rotalama problemlerinin (KARP) çözülmesi çok zordur ve KARP NP-zor olarak adlandırılır. Kesin çözüm yöntemlerinin yetersizliğinden dolayı pratikte sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. KARP sezgiselleri, klasik sezgisel yöntemler ve meta sezgisel yöntemler olarak ikiye ayrılabilir. Klasik sezgisel yöntemler karışık olmayan ve meta sezgisellere oranla daha limitli bir arama alanı araştırmasına sahiptir. Fakat basit olduklarından dolayı anlaşılması ve uygulanması çok kolaydır ve oldukça iyi sonuçlara hızlı bir şekilde ulaşabilmektedirler. Bazıları çok esnek olup araç rotalama problemlerinin farklı türlerine kolayca uygulanabilir.

KARP problemlerini çözmek için geliştirilen yöntemlerden birisi, Clarke ve Wright tarafından 1964 yılında geliştirilen ve belki de bilinen en iyi tur oluşturma sezgiseli olan Tasarruf yöntemidir. Bu yöntem, her bir müşteri ikilisi arasındaki maliyet tasarrufunu hesaplayarak başlar. Maliyet tasarrufları hesaplanarak iki müşteri arasına bir müşteri eklenir. Şekil -2'de görüldüğü gibi i ve j. müşteri ayrı turlardadır, i. müşteriden sonra j. müşteri eklenerek turlar birleştirilir (Clarke ve Wright, 1964).



Şekil-2 Tasarruf Yöntemindeki Müşteri Birleştirilmesi

$$s_{ij} = (c_{oi} + c_{io} + c_{oj} + c_{jo}) - (c_{oi} + c_{ij} + c_{jo}) \quad (2.11)$$

$$s_{ij} = c_{io} + c_{oj} - c_{ij} \quad (2.12)$$

Denklem (2.12)'deki tasarruf miktarı (s_{ij}), i. müşteri ve j. müşterinin ayrı turlarda değil aynı turda hizmet almasından kaynaklanan bir maliyet tasarrufudur. Bu maliyet tasarrufu iki bağımsız turun birleştirilmesi ile ortaya çıkmaktadır. Her zaman tasarruf yönteminde, en büyük tasarrufu sağlayan (i,j) ikilisi, müşteri talebi ve araç kapasitesi kısıtları dikkate alınarak seçilir. Bütün müşterilerin araçlara atanmasına kadar bu işlem tekrarlanır.

2.3. Geliştirilmiş Tasarruf Yöntemi

Clarke ve Wright tarafından geliştirilen tasarruf yöntemi kapasiteli araç rotalama problemlerinin çözümünü sağlayan ilk yöntemlerden biri olmakla beraber, ticari rotalama programlarında geniş kapsamda kullanılmaktadır.

Klasik tasarruf yöntemi denklemindeki (2.12) tasarruf miktarı, i. ve j. müşteriler arasındaki mesafenin, i. ve j. müşterilerin depoya olan uzaklıklarından daha az ise büyük olur. Bunun sonucu olarak tasarruf yöntemi başlangıçta iyi turlar oluşturur. Gaskell (1967) ve Yellow (1970) tasarruf yöntemindeki bu zayıflığı çalışmalarında belirtmişler ve aşağıdaki parametrelili tasarruf denklemini önermişlerdir (Gaskell, 1967, Yellow, 1970):

$$s_{ij} = c_{io} + c_{oj} - \lambda c_{ij} \quad (2.13)$$

Burada λ sadece pozitif değer alabilen tur biçimlendirici parametresi olarak adlandırılır. Bu parametre orijinal tasarruf algoritmasında meydana gelen daire şeklinde turların oluşmasını engeller. λ parametresi büyür ise müşterilerin depoya olan uzaklıklarından

çok i . ve j . müşteri arasındaki mesafe daha fazla önem kazanır. Tasarruf yöntemini geliştirecek bir başka yol ise 2.14 denklemindeki müşterilerin dağılımını da göz önüne alan tasarruf denklemdir. Paessen müşteri mesafelerini ile depo arasındaki mesafenin asimetric olabileceğini dikkate alarak yeni bir tasarruf denklemi önermiştir (Paessen, 1988):

$$s_{ij} = c_{i0} + c_{0j} - \lambda c_{ij} + \mu |c_{0i} - c_{j0}| \quad (2.14)$$

Tasarruf yöntemine Paessen'in yaptığı bu eklenti sayesinde λ ve μ parametrelerinin değişmesi ile farklı çözümler elde etmek mümkün olmuştur. Bunun sonucunda ise çözüm kalitesinde bir artış meydana gelmiştir fakat çözüm biraz zorlaşmıştır.

Son olarak Altinel ve Öncan 2005 yılında tasarruf yöntemini, talebi de dikkate alarak geliştirmişlerdir. Orijinal tasarruf yönteminde ve geliştirilmiş tasarruf yöntemlerinde yapılan tasarruf miktarları sonlara doğru azalmaktadır. Bu yüzden tasarruflar hesaplanırken talebin de hesaba katılması önem kazanmaktadır. Altinel ve Öncan büyük malları önce yerleştir mantığını dikkate alarak yeni bir tasarruf denklemi önermişlerdir (Altinel ve Öncan, 2005):

$$s_{ij} = c_{i0} + c_{0j} - \lambda c_{ij} + \mu |c_{0i} - c_{j0}| + v \frac{d_i + d_j}{\bar{d}} \quad (2.15)$$

Bu denklemde, d_i i . müşterinin talebi, d_j j . müşterinin talebi ve \bar{d} ortalama taleptir. Bu denklem daha önce Gaskell, Yellow ve Paessens tarafından yapılmış olan geliştirmeleri de içermektedir.

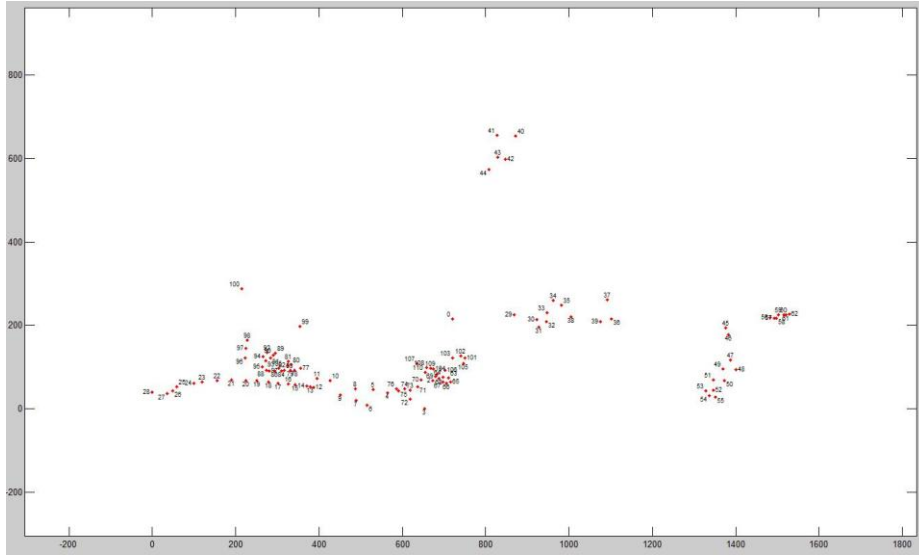
Altinel ve Öncan geliştirdikleri tasarruf yöntemini Christofides ve arkadaşları (1979) tarafından ortaya konan bazı test problemleri başta olmak üzere literatürdeki farklı test problemlerinde denemişlerdir. Talep değerlerini dikkate alan Altinel ve Öncan tarafından geliştirilen tasarruf yönteminin, daha önceki yöntemlerden daha iyi sonuç verdiği saptanmıştır.

3. UYGULAMA VE SONUÇLARI

Uygulama yapılan firma Mersin'de faaliyet gösteren ve içecek dağıtımını yapan bir firmadır. Firmanın çeşitli boyutlarda dağıtım yaptığı toplam 1.100 müşterisi bulunmaktadır. Firmada ön sipariş yöntemi kullanılmaktadır. Mersin şehri altı bölgeye ayrılmakta ve her bir bölgeden sorumlu bir satış elemanı çalışmaktadır. Bu satış elemanları bu bölgelerden bir sonraki günün müşteri taleplerini toplamakta ve tahsilat işlemini gerçekleştirmektedir. Bu çalışmada da satış elemanlarının topladığı müşteri talepleri kullanılarak en uygun dağıtım rotası çıkarılmaya çalışılacaktır. Satış elemanları haftanın her günü farklı müşterilere gitmekte ve bir gün sonrasında da ziyaret ettiği müşterilerin talepleri dağıtılmaktadır.

3.1. Dağıtım Rotası Verilerinin Analizi

Uygulama için belirlenen tarihte toplam 110 müşteri talebi olmuştur. Bu talep rakamlarından en büyüğü 1.349 litre ve en küçüğü ise 4 litredir. Bu tarihindeki ortalama talep ise 166,79 litredir. Dağıtım yapılacak müşteriler Mersin şehrine dağılmış durumdadırlar. Uygulama için 110 müşterinin ve deponun yeri 1/10.000 ölçekli Mersin Büyükşehir haritasında işaretlenmiş ve xy koordinat sistemine göre her müşteriye ait olan koordinatlar saptanmıştır. Dağıtım yapılacak depo, “0” olarak tanımlanmıştır. Müşterilerin ve deponun konumu Şekil –3’de gösterilmiştir.



Şekil –3 Deponun ve Müşterilerin Konumu

Müşterilerin depoya olan ve kendi aralarındaki uzaklıkları için dik uzaklıklar değil, sokak ve caddeler dikkate alınarak gerçek uzunluklar hesaplanmıştır. Bunun için 111 noktanın birbirine ait olan uzaklıkları için 6.105 adet gerçek mesafe ölçülmüştür.

Dağıtım yapılan iki türde müşteri bulunmaktadır. Bunlardan birincisi 09:00–18:00 arasında hizmet verilebilen bakkal, market gibi müşteriler, ikincisi ise saat 13:00–18:00 arasında hizmet verilebilen lokanta, bar gibi müşterilerdir. İkinci tür müşterilere saat 09:00–13:00 arasında hizmet verilememektedir.

Müşterilerdeki bekleme süreleri ürün adetleriyle orantılı olarak artmaktadır. Firmadan alınan geçmiş verilere göre müşteri talepleri için yaklaşık olarak bekleme süreleri hesaplanmıştır. Hesaplama işlemi denklem (3.1) ile yapılmıştır. Bir müşterideki ortalama bekleme süresi 18 dakikadır. Müşterideki en düşük bekleme süresi 15 dakika ve en yüksek bekleme süresi ise 38 dakikadır.

Müşterideki Bekleme süresinin hesaplanması f_i : i. müşterideki bekleme zamanı d_i : i. müşterinin talebi

$$f_i = 0,017d_i + 15 \quad (3.1)$$

Firmanın dağıtım yapabilecek toplam 13 adet kamyonu bulunmaktadır. Birbirleriyle aynı taşıma kapasitesine sahip olan bu kamyonlar, 2.160 litre taşıma kapasitesine sahiptirler.

Uygulamada firma için günlük olarak en uygun dağıtım rotası bulunacağı için, dağıtım firmasının karşılaştacağı günlük maliyet, o günde oluşacak yakıt maliyetidir. Ürün dağıtımını yapan kamyonlar Aralık ayında toplam 7.865 km yol yapmışlardır. Aralık ayında toplam yakıt maliyeti 4.017 TL'dir. Buna göre kilometre başına maliyet yaklaşık olarak 51 kuruştur.

3.2. Mevcut Durumdaki Dağıtım Rotaları

Firmanın mevcut durumunda Mersin şehri altı bölgeye bölünmüş olarak dağıtım yapılmaktadır. Her bir bölgeye ayrı araç atanmakta ve bir bölgeye aracın yetmemesi durumunda o bölgeye tekrar araç atanarak dağıtım işlemi yapılmaktadır. Altı bölgeye ayrılan Mersin şehrinde bir gün öncesinde satış elemanları tarafından toplanan müşteri talepleri depo sorumlusu tarafından toplanır. Depo sorumlusu bu talep verileri doğrultusunda bir gün sonranın dağıtım rotasını çıkarmaktadır. Depo sorumlusu daha önceden belirlenen her bir bölge için ayrı olan rotalara sırasıyla talepleri yerleştirmektedir. Eğer herhangi bir bölgede talep değeri araç kapasitesini aşar ise, o müşteriden itibaren yeni bir araca atama yapılarak bütün müşteri taleplerini karşılayacak şekilde dağıtım rotası çıkartılmaktadır.

Zaman penceresi kısıtlarını dikkate alarak dağıtım yapıldığı durumlarda, depo sorumlusu öğleden sonra dağıtım yapılacak yerleri de göz önünde bulundurarak dağıtım rotasını planlamaktadır. Buna göre hazırlanan dağıtım rotası Tablo-1'de verilmiştir. Bu dağıtıma göre bir aracın kat ettiği en uzun mesafe 22.190 m.'dir, en kısa mesafe ise 5.730 m.'dir. Araçların kat ettiği ortalama mesafe 12.946 m., toplam mesafe ise 181.240 m.'dir.

Tablo –1 ZPARP İçin Mevcut Durumdaki Dağıtım Rotası

Araç No (i)	i. Aracın Dağıtım Rotası	i. Araç Tarafından Kat Edilen Mesafe (m)
1	0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-0	12.120
2	0-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-0	15.020
3	0-24-25-26-27-28-0	17.520
4	0-29-30-31-32-33-34-35-36-37-38-39-0	13.440
5	0-40-41-42-0	10.420
6	0-43-44-0	7.980
7	0-45-46-47-48-49-50-51-52-0	9.450
8	0-53-54-55-56-57-58-59-60-61-0	22.120
9	0-62-0	17.420
10	0-63-64-65-66-67-68-69-70-0	5.730
11	0-71-72-73-74-75-76-0	6.340
12	0-77-78-79-80-81-82-83-84-85-86-87-88-89-0	14.850
13	0-90-91-92-93-94-95-96-97-98-99-100-0	22.190
14	0-101-102-103-104-105-106-107-108-109-110-0	6.640

3.3. ZPARP Geliştirilmiş Tasarruf Yönteminin Uygulanması

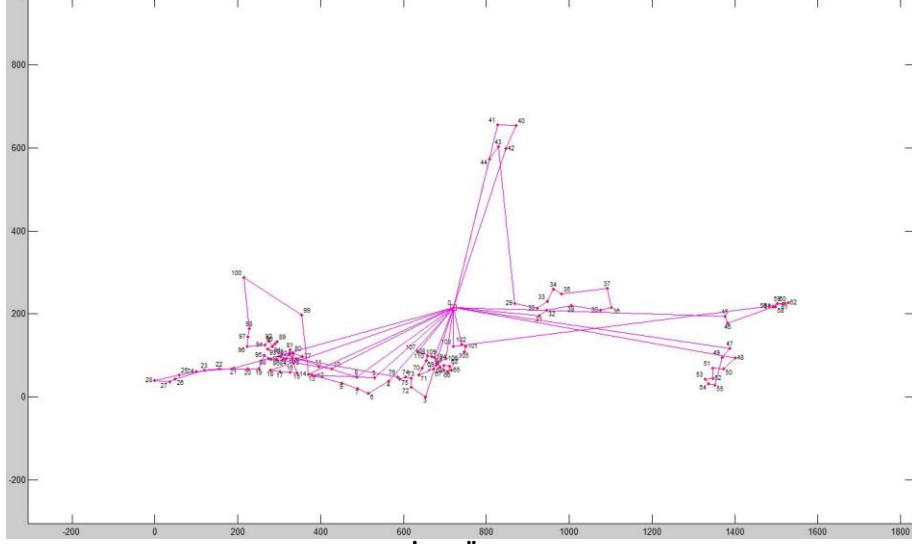
Firmadaki dağıtım problemi, müşterilerin taleplerini belirli bir saat diliminde istemesi ve araçların belirli bir kapasitesi olması nedeniyle zaman pencerele araç rotalama problemi olarak adlandırılmaktadır. Çalışmada bu problemi çözmek için Altinel ve Öncan tarafından en son geliştirilmiş olan tasarruf yöntemi seçilmiştir. Geliştirilmiş tasarruf yönteminin seçilme sebebi ise çok kısa sürede çok iyi sonuçlar vermesi ve aynı zamanda kolayca uygulanabilir olmasıdır.

Geliştirilmiş tasarruf yönteminin uygulanması için gerekli olan veriler; talep verileri, müşterilerin depoya olan uzaklıkları ve kendi aralarındaki uzaklıklar, müşterilerdeki bekleme süresi, araç kapasiteleri ve müşterilerin taleplerini almak istediği zaman aralığıdır. Bir önceki bölümde verilen bu verilere göre bu çalışmada Altinel ve Öncan tarafından 2005 yılında ortaya atılmış olan geliştirilmiş tasarruf yöntemi denklemi (3.2) kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada ele alınan problemde müşterilerin ürünleri belirli bir zaman aralığında talep etmesi dolayısıyla, zaman penceresi kısıtları eklenmiş ve MATLAB ile modellenen geliştirilmiş tasarruf yöntemi yardımı ile en uygun dağıtım rotası bulunmaya çalışılmıştır.

$$s_{ij} = c_{i0} + c_{0j} - \lambda c_{ij} + \mu |c_{0i} - c_{j0}| + v \frac{d_i + d_j}{\bar{d}} \quad (3.2)$$

Zaman penceresi kısıtları eklenerek modellenen problem için çözüm ise Şekil –4’te ve Tablo–2’de gösterilmektedir. Uygulamada toplam 10 araç kullanılmıştır. Bir aracın kat

ettiği en uzun mesafe 19.340 m., en kısa mesafe ise 4.470 m.'dir. Araçların kat ettiği ortalama mesafe 13.817 m., toplam mesafe ise 138.170 m.'dir.



Şekil-4 ZPARP İçin Önerilen Dağıtım Rotası

Tablo-2 ZPARP İçin Önerilen Dağıtım Rotası

Araç No (i)	i. Aracın Dağıtım Rotası	i. Araç Tarafından Katedilen Mesafe (m)
1	0, 48, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 49, 47, 0	19.340
2	0, 45, 46, 57, 58, 59, 61, 62, 60, 58, 103, 0	18.540
3	0, 8, 93, 89, 90, 91, 92, 94, 96, 97, 98, 100, 99, 14, 0	18.800
4	0, 10, 11, 86, 87, 88, 95, 19, 20, 22, 23, 26, 27, 28, 25, 24, 21, 0	18.720
5	0, 3, 72, 73, 74, 75, 76, 78, 77, 80, 81, 82, 83, 85, 84, 79, 15, 16, 17, 18, 0	15.650
6	0, 4, 6, 7, 9, 12, 13, 5, 0	9.850
7	0, 31, 32, 38, 39, 36, 37, 35, 34, 33, 30, 29, 43, 44, 0	17.450
8	0, 42, 40, 41, 0	10.070
9	0, 107, 109, 108, 110, 70, 71, 2, 69, 104, 0	4.980
10	0, 102, 101, 105, 66, 65, 63, 64, 67, 68, 1, 106, 0	4.770

4. SONUÇ

Araç Rotalama Problemi ve Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi gerçek hayatta her alanda karşılaşılan bir problemdir. Ticaretin başlamasından beri ürünlerin belirli bir yerden başka bir yere taşınması, dünya ekonomisi açısından çok önemli bir yere sahiptir. Ekonomi alanında önemli bir yere sahip olan bu problem için, araştırmacılar yıllardır çalışmalarını sürdürmektedirler. Dağıtım maliyetleri yapılan çalışmaya göre, ürün maliyetlerinin yaklaşık %20'si kadardır. Buna göre dağıtım sisteminde yapılan ufak bir geliştirme, tatmin edici bir maliyet tasarrufu sağlamaktadır.

Günümüzde ise teknolojinin hızla gelişmesi, firmalardaki rekabetin artması ve Dünya'nın bir pazar haline gelmesinden dolayı dağıtım sistemleri çok daha etkin ve karmaşık hale gelmiştir. Gerçek hayat uygulamalarının çoğunda olurlu çözümlere ulaşılabilmesine rağmen, çözüm yöntemleri oldukça karmaşıktır. Çözüm zamanı müşteri sayısı arttıkça, buna bağlı olarak üstel olarak artmaktadır.

Zaman pencereli araç rotalama problemi dağıtım sisteminin en önemli problemlerinden biridir. Bu problem kompleks olmasından ve gerçek Dünya'da 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. Zaman Pencereli Araç Rotalama Probleminin çözülmesi çok zor olan bir problem olmasından dolayı, makul boyutlardaki problemleri çözmek için sezgisel çözüm yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Çalışmanın uygulama kısmında zaman pencereli araç rotalama problemine sahip bir dağıtım firmasında uygulama yapılarak en uygun dağıtım rotası bulunmaya çalışılmıştır. Zaman pencereli araç rotalama problemi tanımlanması kolay fakat çözümü matematiksel olarak çok zor olan bir problemdir. Hatta olurlu bir çözüm bulmak da belirli durumlarda zordur. Son 50 yıldır araç rotalama problemini çözmek için çeşitli kesin ve sezgisel çözüm yöntemleri ortaya konmuştur. Bilgisayar teknolojisinin son yıllarda hızla gelişmesine ve iyi çözüm yöntemleri ortaya çıkmasına karşın, pek çok büyük boyuttaki probleme çözüm bulunamamıştır. Bu çalışmada zaman pencereli araç rotalama problemine sezgisel bir yaklaşım olan geliştirilmiş tasarruf yöntemi ile çözüm aranmıştır.

Mevcut uygulamadaki çözümde 14 araç kullanılmış ve toplam kat edilen mesafe 181.240 m. olmuştur. Önerilen yöntem ile aynı problem çözüldüğünde ise 9 araç kullanılmış ve toplam kat edilen mesafe 138.170 m. olmuştur. Önerilen yöntem bu durumda da mevcut yöntemle göre %24 daha iyi sonuç vermiştir. Firmanın çalışmada kullanılan ürününün dağıtım için maliyet 4.017 TL olarak gerçekleşmiştir. Önerilen geliştirilmiş tasarruf yöntemi kullanıldığında bu maliyet yaklaşık olarak %24 oranında azalarak, 3.053 TL tutarında gerçekleşmektedir. Özetle önerilen geliştirilmiş tasarruf yöntemi, firmaya aylık yaklaşık 1.000 TL'ye yakın bir maliyet tasarrufu sağlayabilecektir.

Son yıllarda, Araç Rotalama Problemleri üzerine uluslararası literatürde çok sayıda çalışma yapılmış, bilimsel yöntemin oldukça başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Ancak buna rağmen özellikle ülkemizde bilimsel metotlar göz ardı edilmekte ve çoğunlukla dağıtım rotalaması bilimsel olmayan yollarla yapılmaktadır. Bu da firmalar için ciddi bir fırsat maliyeti kaybı olmaktadır. Bu araştırmanın hem firmalara daha uygun dağıtım rotası belirleyerek maliyet tasarrufu sağlamaları açısından hem de bundan sonra yapılacak diğer çalışmalara ışık tutması, referans ve öncü olması açısından, literatüre önemli katkı sağlayacağı umulmaktadır.

Bu çalışmanın uygulamasında bir dağıtım firmasının karşılaştığı zaman pencerele araç rotalama problemine çözüm aranmıştır. Ancak önerilen model küçük değişiklikler ile başka problemlerin çözümünde de kullanılabilir. Örneğin çalışmada kullanılan yöntem, karma kapasiteye sahip araç rotalama problemi, çoklu depoya sahip olan bir araç rotalama problemi veya asimetrik araç rotalama problemi gibi problemlere kolayca uygulanabilir. Sonraki çalışmalarda bu tür problemler için de test edilebilir.

Ayrıca genellikle son yıllarda araştırmacılar ARP için birden fazla sezgisel birlikte kullanarak çözüm aramışlardır. Geliştirilmiş tasarruf yöntemi başka sezgisel yöntemler ile birlikte kullanılarak araç rotalama problemi için daha iyi sonuç elde edilmeye çalışılabilir.

KAYNAKÇA

- Altinel İ. K., Öncan T. (2005), "A New Enhancement of the Clarke and Wright Savings Heuristic for the Capacitated Vehicle Routing Problem", *Operational Research Society*, c. 56, sf. 954-961
- Bodin L., Golden B., Assad A. (1983), "Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of art", *Computers and Operations Research*, c. 10(1), sf. 63-212
- Braysy O. (2002), "Fast Local Searches for The Vehicle Routing Problem with Time Windows", *Infor*, c. 40, sf. 319-330
- Clarke G., Wright J. W. (1964), "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points", *Operations Research*, c. 12, sf. 568-581
- Cordeu J., Desrosiers G., Solomon M., ve Sourmis F. (2002), *The VRP with Time Windows*, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia
- Desrochers M., Lenstra J., Savelsbergh J., ve Sourmis F. (1988), *Vehicle routing with time Windows: Optimization and approximation*. In Golden B.L. ve Assad A.A., *Vehicle Routing: Methods and Studies*, volume 16, sf. 85-105, Elsevier
- Gaskell T. J. (1967), "Bases for Vehicle Fleet Scheduling", *Operational Research Society*, c. 18, sf. 281-295

- Paessens H. (1988), "The Savings Algorithm for the Vehicle Routing Problem", European Journal of Operational Research, c. 34, sf. 336-344
- Rushton A., Croucher P., Baker P. (2006), Handbook of Logistics and Distribution Management 3rd Edition, Kogan Page, Limited
- Savelsbergh M. (1985), "Local Search in Routing Problems with Time Windows", Annals of Operations Research, c. 4, sf. 285-305
- Simchi-Levi D., Bramel J. (1997), Logic of Logistics: Theory, Algorithms & Applications for Logistics Management, Springer-Verlag, New York
- Taillard E., Badeau P., Gendreau M., Guertin F., Potvin J. (1997), "A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows", Transportation Science, c. 31, sf. 170-186
- Yellow P. (1970), "A Computational Modification to the Savings Method of Vehicle Scheduling", Operational Research Quarterly, c.21, 281-283