

**TOPLAM BEKLEME SÜRESİNİ ENKÜÇÜKLEME AMAÇLI
BİR ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ**

*Ömer Nuri ÇAM**, *H. Kemal SEZEN***

Makale Geliş Tarihi-Received: 15.12.2017
Makale Kabul Tarihi-Accepted: 21.06.2018

47

IJSI 11/2
Aralık
December
2018

ÖZ

Bu çalışmada yeni bir araç rotalama problemi (ARP) tanıtılmaktadır. Problem Türkiye’de şehirlerarası yolcu taşıyan bir firmanın işlerinin daha iyi yönetilmesi amacıyla yapılan araştırmada ortaya çıkmıştır. Diğer ARP’lerden farkı amaç fonksiyonundan kaynaklanmaktadır. Problemde; çalıştıkça para kazanabilen araçların, bekleme sürelerinin (aylak zaman) en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Önceki problemlerle karşılaştırıldığında, araçların az çalışması değil çok çalışması- bazen en kısa yol yerine daha uzun yolu tercih etmeleri önerilebilir. Diğer iki farkı da kısıtlarla ilgilidir; Bazı coğrafi noktalar birden fazla ziyaret edilmelidir ve alt tur oluşturulmasına izin verilebilir.

Problem; birçok gemi, uçak, karayolu taşımacılık şirketi için geçerlidir. Bazı imalat firmalarında otomatik kontrollü araçların fabrika içinde yaptıkları turlar, iş sırlama problemleri de bu çerçevede ele alınıp iyileştirilebilir. Gelecekte sürücüler için yasal kısıtlamaların olmadığı otomatik kontrollü insansız araçların daha iyi işletilmesine de uygulanabilir. Aylak sürenin düşürülmesi neticesinde beklentilerden biri işlemlerin daha az sayıda araçla

* Doktora Öğrencisi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Anabilim Dalı, Bursa/Türkiye. omernuricam@gmail.com

** Prof. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yöneyim Bilim Dalı, Bursa/Türkiye. kemal@uludag.edu.tr

gerçekleştirilir olmasıdır. Problem için geliştirilecek çözümler; araç sayısı, filo yönetimi, servis-bakım maliyetleri, bilet fiyatları, karbon salınımı, israfın azalması, refahın artması gibi doğrudan, dolaylı etkilere yol açabilecektir.

Anahtar Kelimeler; Araç Rotalama Problemi, Aylak Sürenin En Küçüklenmesi, Zaman Boyutlu Coğrafi Nokta, Sefer, Tur Oluşturma.

VEHICLE ROUTING PROBLEM WHICH IS MINIMIZED TOTAL IDLE TIME

ABSTRACT

In this study, a new VRP problem is to be introduced. This problem was realized according to manage the route operations of a company carrying long-distance passengers by bus in Turkey. The differences of the problem from the other VRP firstly comes from its objective function. It suggests that vehicles should work more because they could make profit during they work. So the objective function of the problem should be defined as to minimize the sum of idle time of those vehicles. To the contrary of VRP problems which are examined for now, vehicles should work more and sometimes they should prefer long distance route also. Other two differences are related with constraints: Some locations should be visited more than once for different time points and sub-tours could be allowed to occur in some situations.

This problem can be observed in many transport companies, Autonomous unmanned vehicles for future drives and to route automatic controlled vehicles. The solutions developed for the problem may lead directly or indirectly to reduce the number of vehicles, carbon emissions, ticket prices, wastes, the cost of fleet management, service-maintenance, and to increase prosperity for the world.

Keywords: Vehicle Routing Problem, Idle Time Minimization, Location-Time Point, Trip, Forming Tour.

GİRİŞ

Ürün- hizmet maliyetlerinin yaklaşık %20'sini oluşturan lojistik yönetiminde sık karşılaşılan araç rotalama problemi (ARP - Vehicle Routing Problem; VRP) NP-Zor, Kombinasyonel tür, büyük yapıli problemlerden biridir (Laporte, 2009). ARP konusuna ait çalışmalar her yıl ortalama %6 büyümektedir (Kramer, Maculan, Subramanian, Vidal, 2015).

ARP'nin temel bileşenleri coğrafi yol ağı, müşteri, depo, araçlar ve sürücülerdir. Farklı ARP'ler bu temel bileşenler üzerinde farklı kısıtlar veya rotaların tiplerine göre ayrılmaktadır. Buna göre temel ARP problemleri;

- Kapasite kısıtlı (KARP): Her araç belli miktarda taşıma yapabilir.
- Mesafe ve Kapasite kısıtlı (MKARP); Öncekine ek olarak, belli mesafe yol alabilir.
- Zaman kısıtlı (ZKARP): Her aracın bir varış, kalkış süresi vardır.
- Taşıyıcı (TARP): Ulaştırma noktalarına yakın servislere iletme problemleridir.
- Alınan ve Verilen ARP (AVARP): Bir kısım araç müşteriden ürün alıp depoya ulaştırırken, diğeri depodan müşteriye ulaştıran türlü problemler olarak genellenebilir. Bu problem daha gerçekçi olduğu için TARP artık tercih edilmez ("Vehicle Routing Problem | NEO Research Group," 2013).

Bu temel ARP'lerden başka,

- Açık ARP (AARP): Aracın depoya bir daha dönmediği,
- Karışık Araçlı (KARARP): Farklı kapasite ve özelliklerde araçların olduğu,
- Bölmeli Taşımali (BTARP): Taşınacak malların bölünebildiği,
- Periyodik (PARP): Belli dönemlerde rotalamanın yapıldığı,
- Stokastik (SARP): Olasılıklı olarak genel çözümlerin üretildiği,
- Bulanık (ARPB): Ulaşma vb sürelerin belli olmadığı türde problemler vardır.

*Toplam Bekleme Süresini Enküçükletme Amaçlı Bir
Araç Rotalama Problemi*

Literatüre bakıldığında genelde tüm problemlerin amaç fonksiyonlarında, coğrafi kaynak-hedef noktaların bağlantılanmasına ilişkin maliyetlerin enküçüklenmesinin hedeflendiği görülmektedir (Daneshzand, 2011), (Braekers, Ramaekers, Van Nieuwenhuysse, 2015). ARP problemleri en genel anlamda bu şekilde gruplandırılmakla birlikte, melez veya bu temel kategorilere ait alt problem tanımları da vardır (Kramer vd., 2015).

Bu çalışmada yukarıda değinilen problemlere de uygulanabilecek yeni bir amaç ve buna bağlı iki farklı fonksiyon sunulmuştur. Ele alınan problem, zaman boyutlu coğrafi noktalar için aylak zaman en küçüklemeyi hedeflerken araçların daha fazla kullanılmasını teşviki yönüyle diğer problemlerden farklıdır. Bu nedenle problemin adı Aylak Zamanı Enküçükleyen Araç Rotalama Problemi (AZEKARP) (in English; Vehicle Routing Problem Which Is Minimized Total Idle Time, **VRPMIT**) olarak teklif edilmiştir.

Sunulan amaç fonksiyonu zamanla ilgilidir. Araç, cihaz veya donanımların en az aylak zamana sahip olmasını hedeflemektedir. Literatürde ARP için zaman hedefli veya kısıtlı problemler incelendiğinde en kısa süre, en az sürücü maaşı, en az CO₂ salınımı gibi hedefler bulunmaktadır (Braekers, Ramaekers, Van Nieuwenhuysse, 2015). Bu hedeflerin çıktıları benzer sonuçlar verebilse de bu çalışmada işlemlere farklı bir açıdan bakılmaktadır. Bu bakış açısına göre, araçlar daha fazla süre çalışmalıdırlar. Sonuç olarak çalıştırılan araç sayısı düşeceği için işletme verimliliği artacaktır. Ek olarak zamana bağlı çalışmalar, trafik durumu, araç bakımı gibi konuları değerlendirerek, varış süresi belli veya belirsiz alt problemler tanımlanabilir.

Araç rotalama problemlerinin bir üst kümesinde araç çizelgeleme problemleri (AÇP) bulunmaktadır. AÇP'de temelde ARP problemlerine benzerlikleri olmasına rağmen gerçek hayatın getirdiği diğer kısıtlar nedeniyle bu tür problemler ayrı bir problem kümesi olarak değerlendirilmektedir. Ek olarak AÇP; filo yönetimi, ekip atama gibi alt problem kümelerini de içerir. AÇP problemleri incelendiğinde ARP problemlerindeki gibi maliyet öncelikli olarak ele alındıkları görülebilir (Bunte, Kliewer, 2009), (Huisman, Freling, Wagelmans, 2004), (Caceres-Cruz, Arias, Guimarans, Riera, Juan, 2014). Bununla birlikte özellikle toplu taşımanın dikkate alındığı AÇP problemleri; yolcunun bakış açısına göre de değerlendirildiği duraklar

arası az bekleme, memnuniyet gibi hedefler veya kısıtları içlerinde barındırmaktadırlar (Ceder, 2011), (Schmid, Ehmke, 2015).

1. PROBLEMİN TANIMI

Problem temelde bir ARP problemidir. Araçların ilk kalkış noktasına dönüşü esastır. Tüm turu tek bir aracın yapması planlanırsa, tek depolu ARP problemlerine benzemektedir. Aracın her noktada dolun ve boşaltım yapması çoklu depolu ARP problemlerini de kapsamına almaktadır. Kalkış ve varış saatleri yönüyle zaman pencere problem (ZKARP) kümesi içindedir. Talep ve taşıma durumuna karşın da belli bir kapasiteye (KARP) sahiptir. Daha geniş kapsamda araç çizelgeleme (sıralama) problemlerinde (AÇP) yer almaktadır. AÇP için süreç sadece araç ile sınırlı kalmayıp, yolcu ve ekip atama şeklinde geniş bir kapsama ulaşmaktadır.

Karayolunda otobüsle yolcu taşımacılığı hizmeti veren bir firmanın farklı yerleşim birimlerinde operasyon merkezleri vardır. Şekil 1; araştırma döneminde firmanın operasyon merkezlerinden birisinin kullandığı sefer rotalarını harita üzerinde göstermektedir. Bu merkezler kendi operasyonlarıyla bağlantılı sefer kararlarını bağımsız olarak vermekte, yeni sefer koyup mevcut bir seferi kaldırabilmektedir. *Sefer* bir yerleşim noktasından (biz bunu kaynak olarak adlandıralım) belli bir saatte hareket edip (hareket saati) bir diğer yerleşim noktasına (hedef olarak adlandıralım) belli bir zamanda ulaşacağı varsayılan otobüs yolcu taşıma işleminin adıdır. Otobüs bir işlemi tamamlayınca bulunduğu kaynak yerleşim noktasından hedef yerleşim noktasına hareket için en uygun sefer saatine kadar bekler. Bu bekleme süresi *aylak* zaman olarak adlandırılır. Bir günde otuz dört seferin yapıldığı otobüs işletmesine dair hesaplanan seferler arası aylak zamanlar Tablo 1’de verilmiştir. Bu değerlerin nasıl hesaplandığı konusunda Tablo 3’e bakılabilir.

*Toplam Bekleme Süresini Enküçükleme Amaçlı Bir
Araç Rotalama Problemi*

Şekil 1: Operasyon merkezi



53

IJSI 11/2
Aralık
December
2018

Bu problemdeki zaman çizelgesinde esneklik olmamaktadır. Zaman penceresi problemlerinde gösterilen gecikme zamanı gibi cezalar da yoktur. Araç kalkış ve varış süreleri deterministik kabul edilmiştir.

Tablo 1: Seferler arası aylak süreyi gösteren tablonun bir kısmı (dakika)

Sefer No	sp1-9	sp10	sp11	sp12	sp13	sp14	sp15	sp16	sp17	sp18-34
sp1-9	...									
sp10		X	-	-	-	-	-	-	-	
sp11		-	X	-	-	-	-	-	-	
sp12		-	-	X	-	-	-	-	-	
sp13		-	-	-	X	-	-	-	-	
sp14		-	-	-	-	X	-	-	-	
sp15		-	-	-	-	-	X	-	-	
sp16		1090	760	100	1300	1420	280	X	-	
sp17		-	-	-	-	-	-	-	X	
sp18-34	...									

Problemde araç veya araçların başladıkları noktaya dönememeleri uygun olmayan bir çözümdür. Her sefer yalnız bir kez olmak üzere tüm seferler gerçekleştirilmelidir.

Ele alınan problemin veri yapısı Tablo 2'deki gibidir. Seferlerden kolayca bir tam tur oluşturabilmek için, her seferin bir karşılığı (her gidiş için bir dönüş) tanımlanmıştır.

Tablo 2: Seferlere ilişkin veri yapısı (Alanlar; ilk beş sütun)

Sefer No:	Kalkış Noktası	Varış Noktası	Kalkış Saati	Yolculuk Süresi	Varış Saati
sp9	Balıkesir	Alanya	8:00	14:00	22:00
sp23	Balıkesir	Alanya	19:00	14:00	9:00
sp15	Alanya	Balıkesir	17:00	14:00	7:00
sp11	Alanya	Balıkesir	23:00	14:00	13:00
Toplam Süre (T)				56:00	

Anlaşılabilirlik açısından en küçüklenmek istenen aylak sürenin hesaplanması Tablo 3'de örneklenmiştir. Bu amaçla Tablo 2'deki seferlerden hızlıca bir sıralama; sp23 - sp11 - sp9 - sp15 - sp23 şeklinde Tablo 3'de oluşturulmuştur.

Tablo 3: Seferlerin sıralanmasına bağlı aylak zaman

Sıra	Sefer No:	Varış Saati(A)	Sıradaki Kalkış Saati (D)	Aylak Süre (D-A)
1	sp23	9:00	23:00	14:00
2	sp11	13:00	8:00	19:00
3	sp9	22:00	17:00	19:00
4	sp15	7:00	19:00	12:00
Boş Süre Toplam (B)				64:00
Verimlilik Oranı: T / (T+B)				56/120=0.47

Tablo 3'de ikinci sıradaki sefer için varış zamanı 13:00 olduğu için araç ertesi gün saat 8'e kadar beklemek zorundadır. Tüm tur için çıkan verimlilik oranı yaklaşık %47'dir. Sıralama sp23 - sp15 - sp9 - sp11 - sp23 şeklinde yapılırsa Tablo 4'deki değerlere ulaşılır.

**Toplam Bekleme Süresini Enküçükleme Amaçlı Bir
Araç Rotalama Problemi**

Tablo 4: Seferlerin sıralanmasına bağlı aylak zaman

Sıra	Sefer No:	Varış Saati (A)	Sıradaki Kalkış Saati (D)	Aylak Süre (D-A)
1	sp23	9:00	17:00	8:00
2	sp15	7:00	8:00	1:00
3	sp9	22:00	23:00	1:00
4	sp11	13:00	19:00	6:00
Boş Süre Toplam (B)				16:00
Verimlilik Oranı: T / (T+B)				56/72=0.78

Tablo 4’de yapılan sıralama sonucunda verimlilik %78’e çıkmıştır. Birinci sıralamada tur için toplam süre 120 saat olup, ikinci sıralamada 72 saattir. Toplam tur tamamlama zamanında 48 saat kazanılmıştır. Her gün için yeni bir araç ataması yapmak gerektiğinden, bu 48 saatlik iyileştirme 2 araç tasarrufu yapılacak anlamına da gelmektedir. Burada sefer sayısı az olduğundan problem gayet küçüktür. Ancak daha fazla sefer sayısı ve varış noktaları ile problem çok karmaşık hale gelmektedir.

2. MATEMATİKSEL MODEL

Problem için iki farklı amaç fonksiyonu tanımlanmıştır: Enküçük aylak süre ve enbüyük araç verimliliği. Araç verimliliği (V), toplam gezi süresinin (G) aylak süre (I) ile toplamına oranıdır

$$V = G / (G+I)$$

Amaç Fonksiyonu 1:

x_{ij} , i’den j’ye gidileceğini gösteren 0-1 tamsayı (ikil -binary) değişkendir.

t_{ij} , i’den j’ye varış zamanı ile kalkış zamanı arasındaki farkı gösteren bekleme zamanı (aylak zaman) olmak üzere;

$$\text{Enküçük } \sum_{i=0}^n \sum_{j \neq i, j=0}^n t_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

enküçük toplam aylak süreyi bulmayı hedeflemektedir.

Amaç Fonksiyonu 2:

m, i'den j'ye gidiş süresi olmak üzere;

$$\text{Enbüyük } \sum_{i=0}^n \sum_{j \neq i, j=0}^n \left(\frac{m_{ij}}{m_{ij} + t_{ij}} \right) * x_{ij} \quad (2)$$

Kısıtlayıcılar¹:

- Her bir seferin (x_{ij}) yalnız bir kez yapılmasını garanti edecek şekilde tur oluşturma kısıtları
- Alt tur oluşmasını engelleyen kısıtlar (seçimlik): Gezgin satıcı probleminde olduğu gibi, başlanılan noktaya geri gelecek şekilde bir tam tur oluşturmak, alt tur oluşmasına izin vermemektir².
- Değişkenin (x_{ij}) yalnız 0 veya 1 değeri alabilmesine ilişkin kısıt.

3. ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Toplam bekleme süresini en küçükleme amaçlı araç rotalama problemlerinin çözümleri iki grupta ele alınabilir: Daha iyi bir çözüm, en iyi (optimal) çözüm. Tablo 3 ve 4'de oluşturulan turlar arasındaki etkinlik farkı ARP problemlerinin çözümünde kullanılacak yöntemlerin bir en iyi çözüm sağlamanın önemini ortaya koymaktadır. Çözüm için kullanılacak bazı yöntemlere ilişkin bir şema Ek 1'de sunulmuştur.

NP-Zor, Kombinasyonel, hesaplama ve bilgi teknolojisi bağlamında görece büyük problemlerin optimal garanti eden (exact) bir yöntemle en iyi çözümlerini elde etmek olanaksız olabilmektedir. En iyi çözümü garanti eden yöntemlere örnek olarak Matematik Programlama (Doğrusal, Dinamik, Stokastik ...), Dal ve Sınır (Geri izleme, Atlama...) verilebilir.

¹ Kısıtlayıcıların matematiksel modeli konusunda bakınız (Sezen, 2017).

² Daha düşük maliyetlerle çalışmak için alt turlar oluşmasına izin verilebilir. Bu durumda bu tür kısıtlar modelde yer almaz.

*Toplam Bekleme Süresini Enküçükleme Amaçlı Bir
Araç Rotalama Problemi*

Daha iyi bir çözüm bulunmasını sağlayan yöntemler (Meta) Sezgisel yöntemler olarak adlandırılmaktadır. Bu grupta En Kısa Yol, Karınca Koloni, Genetik Algoritma gibi yöntemler sıralanabilir. Ancak bu yöntemlerle bulunan çözümlerin kuşkusuz en iyi olup olmadığı garanti değildir.

Farklı turlar oluşturup bunlar arasından en iyisinin seçimi için Benzetim kullanılabilir. Yöntem kullanıcıya farklı politikaların model üzerinde denenmesi ve sonuçlarının analizi olanağını verir.

SONUÇ

Çalışmada yeni bir ARP tanımlanmış ve problem için ilki doğrusal, ikincisi doğrusal olmayan iki amaç fonksiyonu önerilmiştir. Modelde alt tur oluşturulmasına izin vermek istenilmesine bağlı olarak eklenecek kısıtlar farklı olacaktır.

Aylak Zamanı En Küçükleyen Araç Rotalama Problemlerinin (AZEKARP) çözümleri için sezgisel, matematik programlama, dal ve sınır, benzetim yöntemleri kullanılabilir. Araştırmacılar yukarıda sıralanan yöntemlerle problemin çözümü üzerinde çalışmalarını sürdürmektedirler.

KAYNAKLAR

Braekers, K.; Ramaekers, K.; Van Nieuwenhuyse, I. (2015). "The Vehicle Routing Problem: State of the Art Classification and Review". *Computers and Industrial Engineering*, 99, 300-313. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.12.007>

Bunte, S.; Kliewer, N. (2009). "An Overview on Vehicle Scheduling Models". *Public Transport*, 1(4), 299-317. <https://doi.org/10.1007/s12469-010-0018-5>

Caceres-Cruz, J.; Arias, P.; Guimaranas, D.; Riera, D.; Juan, A. A. (2014). "Rich Vehicle Routing Problem". *ACM Computing Surveys*, 47(2), 1-28. <https://doi.org/10.1145/2666003>

58 Ceder, A. (Avi). (2011). "Public-Transport Vehicle Scheduling with Multi Vehicle Type". *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(3), 485-497. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2010.07.007>

IJSI 11/2
Aralık
December
2018

Huisman, D.; Freling, R.; Wagelmans, A. P. M. (2004). "A Robust Solution Approach to the Dynamic Vehicle Scheduling Problem". *Transportation Science*, 38(4), 447-458. <https://doi.org/10.1287/trsc.1030.0069>

Kramer, R.; Maculan, N.; Subramanian, A.; Vidal, T. (2015). "A Speed and Departure Time Optimization Algorithm for the Pollution-Routing Problem". *European Journal of Operational Research*, 247(3), 782-787. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.06.037>

Laporte, G. (2009). "Fifty Years of Vehicle Routing". *Transportation Science*, 43(4), 408-416. <https://doi.org/10.1287/trsc.1090.0301>

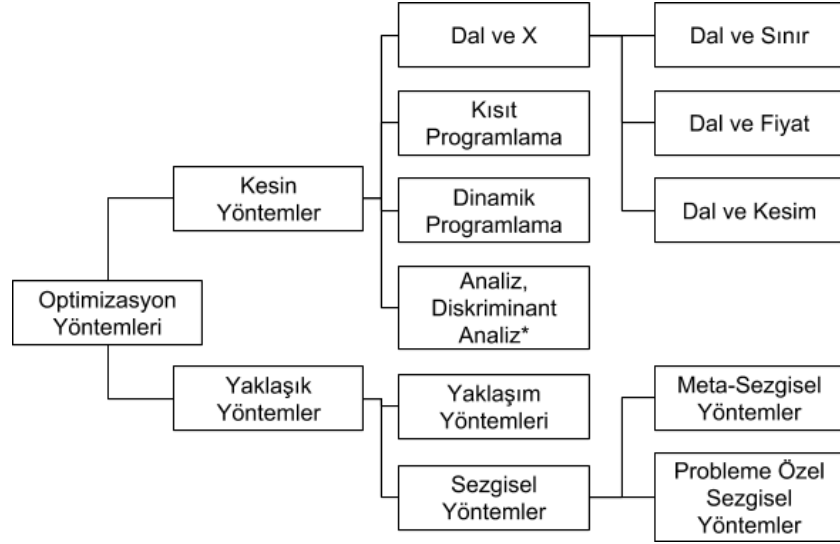
Schmid, V.; Ehmke, J. F. (2015). "Integrated Timetabling and Vehicle Scheduling with Balanced Departure Times". *OR Spectrum*, 37(4), 903-928. <https://doi.org/10.1007/s00291-015-0398-7>

Sezen, H. K. (2017). *Yöneylem Araştırması*. Bursa: Dora Yayınevi.

Vehicle Routing Problem | NEO Research Group. (2013). Retrieved October 27, 2017, from <http://neo.lcc.uma.es/vrp/>

*Toplam Bekleme Süresini Enküçükleme Amaçlı Bir
Araç Rotalama Problemi*

Ek 1: Klasik optimizasyon yöntemlerinin sınıflandırması. (Caceres-Cruz vd., 2014)



SUMMARY

In this study, a new VRP problem is to be introduced. This problem has been realized according to manage the route operations of a company carrying long-distance passengers by bus in Turkey. The differences of this problem from the other VRP firstly comes from its objective function. It suggests vehicles should work more because they make profit if they work. So its objective function should be defined as to minimize the sum of idle time of those vehicles. To the contrary of VRP problems which are examined so far, vehicles should work more and sometimes they should prefer long distance route also. Other two differences are related with constraints: Some locations should be visited more than once for different time points and sub-tours could be allowed to occur in some situations.

60

IJSI 11/2
Aralık
December
2018

The problem is a basic VRP problem. The return of the vehicles to the first departure point is essential. If the whole tour is planned to be done by a single vehicle, it looks like a single depot VRP problems. The filling and discharging of the vehicle at every point also includes multi-depot problems. The problem has departure and arrival times so it fits the time window problems. It has a certain capacity in spite of the demand and carrying situation. It is involved in vehicle scheduling problems (VSP) in broad scope. The process for VSP is not only limited to vehicles, but also covers passenger and crew assignments.