

SERVİS ARAÇLARI ROTALAMA - ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ VE ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

Emin GÜNDOĞAR - Siber AKIL

*Endüstri Mühendisliği Bölümü,
Sakarya Üniversitesi, Esentepe- Sakarya*

Özet- Servis araçlarının etkili rotalama ve çizelgelemesi, servis yöneticileri için önemli ve çözülmesi zor olan iki problemdir. Müşteri ihtiyaçlarını karşılamayı temin edecek bir sistemin oluşturulması, genellikle, zaman ve maliyet kriterlerine bağlı olup, kötü yapılmış planlar pahalıya mal olabilmektedir. Servis dağıtımının etkinliğinin ölçümü, servis tipine bağlı olarak değişmektedir. Her ne kadar, toplam maliyetin minimize edilmesi önemli bir kriterse de, bazı servislerde müşteri şikayetlerini azaltına ve müşteri isteklerine cevap verme süresinin minimize edilmesi daha büyük önem taşımaktadır. Rotalama ve çizelgeleme problemlerinin amaç ve karakteristikleri, servis araçlarının rotalama ve çizelgelemesinin müzakere edildiği bu çalışmada, en sık kullanılan rotalama ve çizelgeleme problemlerinin çözüm yaklaşımlarına değinilmiş ve yolcu servis sistemlerinin simülasyonu özel olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler- Servis araçlarının rotalama ve çizelgelemesi, Servis dağıtım sistemleri, Simülasyon, Gezici Satıcı Problemleri

1. GİRİŞ

Müşteri servislerinin çizelgelemesi ve servis araçlarının rotalaması, çoğu servis organizasyonu için birincil önem taşımaktadır. Okul otobüsleri, kamu sağlık kuruluşları ve çoğu yerleştirme yada tamir işleriyle ilgilenen servisler için dağıtım, can alıcı özelliğe sahiptir. Taksi yada kamyonla taşımacılık yapan firmalar, posta dağıtımını yapan servisler için asıl önemli olan ise, servis hizmetlerinin zamanında ve yerinde gerçekleşmiş olmasıdır. Her iki durum için de servis kalitesini etkileyen asıl önemli faktör, servis araçlarının rotalama ve çizelgelemesidir. Rotalama ve çizelgeleme problemlerinin çözümüne başlarken, servis çalışmasının karakteristikleri (ok yada yay ile gösterilen talep, dağıtım zamanı kısıtları, servis

araçlarının kapasitesi gibi) ve problemi tipine bağlı olarak uygun çözüm tekniği belirlenir. Pratikte, sistemler için, optimal olmayan çözümlerle yetinilmesine rağmen iyi çözümler elde etmek için geliştirilmiş çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır

2. ROTALAMA VE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN AMAÇLARI

Çoğu rotalama ve çizelgeleme probleminin amacı, servis oluşumunun toplam maliyetini minimize etmek olup bu maliyet, araç yatırım maliyeti, uzaklık ve personel maliyetlerini içerir.[7] Özellikle kamu sektörleri için amaç ise, hizmetin gerçekleşmiş olmasıdır. Örneğin, okul otobüslerinin rotalama ve çizelgelemesinin tipik amacı, öğrencilerin otobüste geçireceği süreyi minimize etmektir. Bazı servislerin amacı ise, müşteri şikayetlerini minimize etmek olabilir. Ambulans, polis, itfaiye gibi servislerde amaç, müşteri isteklerine cevap verme zamanını minimize etmektir. Kamu ve özel kuruluşlarda sık rastlanan bir amaç ise, toplam maliyetten çok, dağıtımın belirli saatler arasında yapılmasıdır. Müşteriye verilen hizmetteki başarısızlık faktörü ile ilgili olan subjektif amaçlar da düşünülmektedir.

3. ROTALAMA VE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN TERMİNOLOJİSİ :

Rotalama ve çizelgeleme problemleri, grafik ağlarla (network) hazırlanır. Bu ağlar, karar vericiye problemi görme avantajı sağlar. Bu ağlarda problem için depo noktası ve toplanma/dağıtım noktaları gösterilmektedir. Depo noktası, araç/üretici için "home base" niteliğindedir. Rotaların birleştirilmesi ile bir yay şeklinde olan hat parçaları elde edilir. Yaylar, zaman, maliyet ya da bir noktadan diğer bir noktaya taşıma için gerekli olan mesafe değerleri ile tanımlanır. Rotalama ve çizelgeleme problemlerinde ilk amaç, gerekli

dağıtım zamanını minimize etmekse, taşıma zamanları ile ilgili geçmiş veriler, mesafelere dayalı hesaplamalara tercih edilir.

Yaylar, direkt ya da indirekt olabilir. İndirekt yaylar hat parçaları ile gösterilirken, direkt yaylar oklarla gösterilir. Bu oklar, rotalama problemlerinin taşıma yönünü ya da çizelgeleme problemlerinin öncelik ilişkilerini ifade eder. Araçların rotası "Tur" ile isimlendirilir ve "A-B-C-D-A" şeklinde olan bir rota, "A-D-C-B-A" olarak da alınabilir ve her iki rotanın uzunluğu da aynı olmaktadır.

Rotalama problemlerinde temel olarak maliyet, uzaklık, taşıma süresi gibi değerlerin minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Bu tip problemlerde minimum maliyeti veren optimum çözüm, genellikle, şu üç faktöre bağlıdır:

- Bir tur tüm noktaları kapsamalı,
- Bir rotada yalnızca bir noktaya gidilmeli,
- Her tur depoda başlamalı ve depoda bitmeli.

Rotalama ve çizelgeleme problemlerinin çıktısı, temelde aynıdır. Bunlarda, her bir araç/üretici için rota ve/veya çizelge üretilir.

Problem Tipi	Talep	Yaylar	Depo Sayısı	Araç Sayısı	Araç Kapasitesi
TSP	Oklar	Direkt / indirekt	1	=1	Sınırsız
MTSP	Oklar	Direkt / indirekt	1	>1	Sınırsız
VRP	Oklar	Direkt / indirekt	1	>1	Sınırlı
CPP	Oklar	Direkt / indirekt	1	≥1	Sınırlı / Sınırsız

Tablo-1. Rotalama Problemlerinin Temel Karakteristikleri

Tek araç probleminin amacı, sermaye miktarı, mesafe ya da taşıma zamanına bağlı olarak minimum maliyetli rotaları geliştirmektedir. Araç kapasitelerinin sınırlı ve her rotadaki talebin değişiklik gösterdiği problemlere "Araç Rotalama Problemi" denilmektedir. Dağıtım merkezleri, oklardan çok yaylarla gösterilebiliyorsa ya da çok sayıda talep noktası mevcutsa "Çinli Postacı Problemi" nin varlığından söz edilebilir. Bu problem tipine, cadde süpürme, posta/kağıt dağıtım sistemleri örnek olarak gösterilebilir. Belirtilen dört rotalama probleminin temel karakteristikleri, Tablo-1 ile belirtilmiştir.

Netice olarak, rotalama ve çizelgeleme problemleri arasındaki farkın ayırılması gerekir. Eğer zaman sınırlaması ya da öncelik ilişkileri mevcut değilse, problem sadece rotalama problemidir. Eğer servisin verileceği yer için, zaman kesin olarak belirtilmişse, çizelgeleme probleminin varlığından söz edilir. Aksi durumda rotalama ve çizelgeleme probleminin birleşimiyle karşı karşıya kalınır.

4. ROTALAMA VE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Rotalama ve çizelgeleme problemlerinin sınıflandırılmasında, servis dağıtım sistemlerinin belli karakteristikleri dikkate alınmıştır. Servis dağıtım sistemlerinin temel karakteristikleri, filo büyüklüğü (tek ya da çok), filonun yerleşimi (tek depolu ya da çok depolu), talep tipi (oklar, yaylar, ok ve yaylar), ağ tipi (indirekt, direkt, karışık), maksimum rota zamanı (tüm araçlarda aynı, tüm araçlarda farklı, belirsiz), operasyon tipi (yalnızca toplama, yalnızca dağıtım, karışık), amaç (toplam rotalama maliyetini minimize etme, sabit ve değişken maliyetleri minimize etme, araç sayısını minimize etme, talebe cevap verme zamanını minimize etme, müşteri kararsızlık ve şikayetlerini minimize etme) olarak belirtilebilir.

Toplam tur maliyetini minimize etmek amacıyla yönelik en basit örnek "Gezici Satıcı Problemi" dir. Birden fazla aracın rotalaması gerektiğinde ise "Gezici Satıcılar Problemi" ortaya çıkmaktadır.

5. SERVİS ARAÇLARININ ROTALANMASI

5.1. Gezici Satıcı Problemi (Travelling Salesman Problem- TSP) : TSP, yönetim biriminin üzerinde çok durduğu, çözümünü için optimal yaklaşımların matematiksel programlama temelli olan problemlerden biridir. Gerçekte TSP için optimal çözüm, genelde, bulunamaz; o zaman yaklaşık çözümlerle yetinilebilir. TSP'nin çözümde genellikle şu iki yaklaşım kullanılmaktadır: "En Yakın Yer Prosedürü" ve "Clark ve Wright Tasarruflar Algoritması" [1]

5.1.1. En Yakın Yer Prosedürü (The Nearest Neighbour Procedure -NNP):

Ağ üzerinde kapatılan bir noktadan, sonraki noktaya taşınmanın maliyet ve mesafesine dayanan yöntem için optimal çözüm, mesafe matrisinden yararlanılarak, yaklaşık olarak bulunur.

NNP'nin akışı kabaca şöyledir[2] :

Adım-1:Tura, başlangıç noktasından (depo noktası) başla.

Adım-2:Tura, sonraki noktayı ilave ederek kapatılacak noktayı bul,

Adım-3:Tüm noktalara atama yapılıncaya kadar, Adım-2'yi tekrarla

Adım-4:Tamamlanan turu ilk ve son noktalarla birleştir.

NNP, ağ üzerindeki her noktadan diğer noktalara yapabilecek olan taşımanın mesafe ve maliyeti ile ilgili verilerin toplanması ile başlar. Yayların indirekt olduğu durumlarda, i noktasından, j noktasına olan mesafe ile j noktasından, i noktasına olan mesafe aynı, yani mesafe matrisi simetrik olabilir. Depo noktası ile, her bir talep noktasının arasındaki mesafe hesaplanır. Bu mesafelerin içinden, en düşük olanı seçilir. Daha sonra bu noktanın bulunduğu satır ve sütun matristen çıkarılarak, yeniden en yakın noktanın seçimi ile, prosedür, tüm noktalara atama yapılıncaya kadar sürer.

NNP yöntemi ile bulunacak çözüme alternatif olarak, deneme-yanılma yöntemi ile daha iyi sonuçlar bulunabilmekte olup, yöntem tüm anlamıyla güvenilir değildir. Küçük bir ağ mevcut olduğunda her bir alternatif denenerek optimal çözüm bulunabilir. Ancak problem daha büyük ise, mesela 100-200 nokta varsa, her bir kombinasyonun değerlendirilmesi adeta imkansızdır. NNP yönteminin pratikte kullanımında, her bir nokta ayrı ayrı başlangıç noktası olarak alınarak en düşük maliyeti veren rota tercih edilir.

5.1.2. Clark ve Wright Tasarruflar Algoritması (C&W):

Bu algoritma, TSP problemlerinin çözümde en çok kullanılan tekniktir. Yöntem, depo noktasının seçimiyle başlar. Eğer n sayıda nokta varsa, $n-1$ aracın mevcut olduğu varsayılır. Her araç, depodan hedef noktaya gider ve depoya geri döner. Ancak bu çözüm, TSP'nin bütün noktalara tek bir araçla ulaşma hedefine ters düştüğü için optimal değildir. C&W yönetiminin temeli, iki talep noktasının aynı rota üzerinde birleştirilmesinde doğan tasarrufları hesaplanmasına bağlıdır. Ağ üzerindeki mevcut n adet nokta için tasarrufların hesaplanır. Bu tasarruflar azalarak sınırlanır rota tamamlana kadar nokta çiftleri birbirine bağlanır.

C&W yöntemi ile çözüme giderken şu algoritma izlenir [2]:

- Başlangıç noktasını seç (nokta 1)
- Her i ve j noktası için tasarrufları, S_{ij} , hesapla

$$S_{ij} = C_{1j} + C_{1i} - C_{ij} \quad i, j = 2, 3, \dots, n$$

C_{ij} = i noktasından j noktasına taşımanın maliyeti

- Tasarrufları büyükten küçüğe doğru sırala,
- Listenin üstündeki noktadan başlayarak, zaman ve kapasite kısıtlarının da dikkate alınması ile, birleştirilmesinin uygun olduğuna karar verilen noktalar aynı rota ile bağlanır. Tur tamamlanana kadar, bu işlemler sürdürülür.

C&W yönetimi ile tur oluşturulurken maliyetler dikkate alındığı için NNP'den daha iyi kalitede bir çözüme ulaşılır. Her iki yöntem de direkt yaylarla, problemin düzeltilmesi kolaylıkla yapılabilmektedir.

5.2. Gezici Satıcılar Problemi (Multiple Travel Salesman Problem -MTSP):

MTSP, TSP'nin çok araç ve tek depo için genelleştirilmiş halidir. Bu problemde tek araç rotalamasının yerine, M araç için rotalama yapılır, tüm turlar depo noktasından başlar ve depo noktasında biter. Problem, kolaylıkla M araç için TSP'ye indirilerek, NNP yada C&W algoritması kullanılarak çözülebilir.

5.3. Araç Rotalama Problemi (Vehicle Routing Problem -VRP):

Klasik anlamda VRP, filodaki araçların rota ve kapasitelerinin farklılık gösterdiği servis ihtiyaçlarını karşılayan MTSP'ye benzer. Bu problemlerin amacı toplam maliyet ya da rotalarda alınan yolu minimize etmektedir. VRP, MTSP tamamen aynı prosedürün kullanımıyla çözülemez. VRP'nin çözümü için geliştirilmiş olan en iyi yaklaşım olarak "Cluster-First, Route Second" yöntemi gösterilebilir.

5.3.1. Cluster-First,Route Second:

Talep noktalarının gruplandırılarak birbirinden ayrıldığı sistemler için en uygun yaklaşımdır. "Route-First.Cluster -Second" diye adlandırılan diğer bir yaklaşım ise, çapraz dağıtımın yapıldığı sistemler daha uygundur. Prosedür, uzun tek bir turun kullanılması ile başlar, ama bu tur tüm araçlar kullanılmadığından optimal değildir. Sonraki adımda mümkünse, tüm araçlar kullanılarak bölgelere mümkün olan daha küçük turların düzenlenmesi ile talep noktasına ulaşılır.

Yöntemin kullanılmasında şu prosedür izlenir [1]:

- Başlangıç noktasını tespit et,
- Talep noktaları, araçlar arasında kapasite kısıtları dikkate alınarak dağıtılır. Pratikte bu gruplandırma yapılırken, nehirler, dağlar yada

karayolları gibi fiziksel engeller, şhirler, kasabalar gibi coğrafik alanlar dikkate alınır.

- Her bir aracın turunun uzunluğunu belirle,
- En uzun turdan, araç kapasitesini aşmayacak, turların toplam uzunluğunu azaltacak şekilde diğer tur/turlara kaydırma yaparak turu geliştir. Bu çalışmanın amacı, maliyetin minimize edilmesidir. Eğer mesafeler simetrikse, eklemenin maliyeti, I_{ij} şu bulunacaktır:

$$I_{ij} = C_{ik} + C_{jk} - C_{ij} \quad (i \neq j)$$

C_{ij} = i noktasından j noktasına taşımanın maliyeti

En düşük ekleme maliyetini veren "K" noktasının yeri değiştirilir. Ekleme maliyetinin hesaplanmasında, mesafeler dikkate alınır. Yapılacak değişikle, toplam tur uzunluğu da azaltılmış olacaktır.

6. SERVİS ARAÇLARININ ÇİZELGELEN MESİ:

Çizelgeleme problemleri, dağıtım zamanı kısıtlar ile karakterize edilir. Çizelgeleme problemlerinin genel girdisi, işlerin düzeni, işlerin ve dağıtımın başlangıç ve bitiş zamanlı direkt yayların yerleşiminden ibarettir. Her araç bir yada daha fazla depoya bakabilmektedir. Eğer j işinin başlangıç zamanı, i işinin bitiş zamanından büyükse i ve j noktaları bir yayla birleştirilebilir. j işinin başlangıç zamanıyla ilgili diğer bir sınırlama ise, kullanıcının belirlediği zaman periyodunun i işinin bitiş zamanından büyük olması gerektiğidir.

Her araç başlangıç ve bitişini depo noktasında yapmalıdır. Problemin çözümü için ağdaki noktalar, yollara ayrılmalı ve her aracın bakacağı yollar belirlenmelidir. Minimum yol sayısı belirlendiğinde gerekli olan araç sayısı ve böylelikle araç yatırım maliyetini de minimize etmiş oluruz. Her aracın taşıma zamanını eşit olarak ayarlayabilirsek, personel ve araç operasyon maliyet ve zamanı da minimize edilmiş olacaktır. Çizelgeleme problemlerin çözümünde, "Minimum-Maliyet -Akış Problemi" ve "Eş Zamanlı Çizelge Yaklaşımı" en sık kullanılan iki yaklaşımdır.

6.1. Minimum-Maliyet -Akış Problemi (Minimum-Cost-Flow-Problem-MCFP):

Ağ problemlerinin özel bir tipi olan MCFP, depo noktası, aradaki noktaların yerleşimi ve talep noktalarının yerleşiminden ibarettir. Depo noktası, talep noktalarına dağıtılacak malzemelerin tenin edildiği yerdir. Aradaki noktalarda talep olmadığı var sayılır.[3] Aradaki noktalar, malzemelerin arabadan çıkarılınadan bekleyebileceği yerlerdir.

Yayların yerleşiminden ibaret olan ağın kapasitesi sınırlı yada sınırsız olabilir. Birim başına malzeme taşıma maliyetlerinin bilinmesi, bazı durumlarda avantaj olarak kabul edilebilir. MCFP'nin amacı, malzemelerin, depo noktasından talep noktalarına taşınmasını asgari maliyetini bulmaktır.

6.2. Eş Zamanlı Çizelge Yaklaşımı (The Concurrent Scheduler Approach-CSA):

CSA, ağ problemlerinin çözümünde kullanılan temel yaklaşımlardan biri olup, şu prosedürü kullanmaktadır [2] :

- Tüm işlerin başlangıç ve bitiş zamanlarının bilindiği kabul edilerek, ilk işi birinci araca ata,
- Atanacak iş kalmayınca kadar, mevcut araca sonraki işin atanması olurlu ise, gerekli zamanı minimum yapacak şekilde araca işleri ata. Gerekiyorsa yeni bir araç ayarlanarak, bu araca da atama yapılır. CSA'nın kullanılabilmesi için, her bir işin başlangıç ve bitiş zamanları bilinmelidir. İlk iş birinci araca verilir ve sırası ile sonraki işlerin yapılması gerektiğinde, araç olup olmadığına bakılır. Hiç sefere çıkmamış yada dönmüş araç varsa, bu araca yeniden atama yapılır. Eğer mevcut arac yoksa, yeni bir araç tahsis edilmelidir.

7. ÇOK DEPOLU ARAÇ ÇİZELGELEME PROBLEM. (THE MULTIPLE DEPOT VEHICLE SCHEDULING PROBLEM: MD-USP):

Servis dağıtımının yapıldığı sistemlerde birden fazla depo noktasının bulunması durumunda MD-USP ortaya çıkar. MD-VSP'nin amacı, servis dağıtımının gerçekleşmesi için kullanılacak araçların toplam sayısını minimize etmek kadar toplam operasyon maliyetini de minimize edecek şekilde, farklı depolardan hareket edecek araçları belirlemektir. MD-VSP'nin çözümü için, en kısa yol yaklaşımına dayalı yeni bir algoritma Carparate tarafından önerilerek geliştirilmiştir. Bu algoritma ile servis dağıtımın gerçekleştirilmesi için kullanılacak minimum araç sayısı bulunabilmektedir. Birden fazla deponun olduğu sistemlerde, araçların turlarının belirlenmesinde dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır. [4]

- Her turda sadece bir araç kullanılır.
- Depolara yerleştirilecek araçların sayısı, başlangıçta belirlenen değeri aşamaz,
- Toplam operasyon maliyetini minimize edecek sayıda araç kullanılmalıdır. En kısa yol yaklaşımının geliştirilerek MD-VSP'nin çözümünde izlenen prosedür şu şekildedir:

Adım1:

- MD-VSP.araçların birden fazla depoya bakmasına imkan tanır. Bu taşıma probleminin tanımlanmasıyla çözülebilir,
- Mevcut uygun çözümü güncelleştir,
- Her aracın görevi belirlenir .Bütün turlar tanımlanmışsa.işlemler sona erer.

Adım2: Tanımlanmış bazı kısıtlara uygun yayların belirlenmesiyle optimal çözüme gidilir.

Adım3: Her depo için,mevcut araçların alacağı en kısa yolu hesapla. Araca,sorumluluklarını yerine getireceği minimum akışı başka bir atama yap. MD - VSP' nin gerektirdiği şekilde mevcudu güncelleştir ve yeniden belirlenmesi gereken turlar varsa Adım 1'in birinci kısmını tekrarlar.

MD - VSP'ni çözüm için geliştirilmiş bazı prosedürler mevcuttur .Bunları kısaca tanımlayalım[9]:

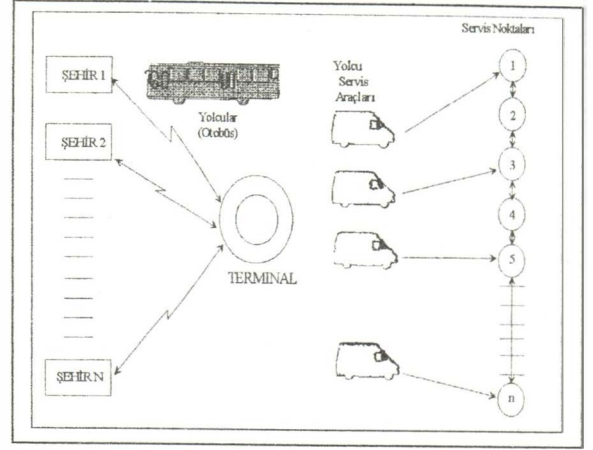
- Her depoya ilişkin turların yeniden belirlenmesi. Olup her yeniden atama için taşıma algoritması kullanılır.
- İki aşama metodunun,ikinci aşamasının kullanılması.
- Araç sorumluluklarının parçalanarak değiştirilmesi.
- Dinamik programlarının kullanılması.
- Araç çiftlerinin bütün sorumlulukları,farklı depoların birleştirilmesi ve turların yeniden düzenlenmesinin yapılacağı bir algoritmayla bulunur.

MD - VSP için geliştirilebilen bu prosedürlerin hepsinin ortak amacı toplam maliyetin azaltılmasına yöneliktir.

8. SİMÜLASYON YAKLAŞIMI

Servis araçlarının rotalama ve çizelgelemesine simülasyon yaklaşımı ile de çözüm getirilebildiği için çalışmanın bu bölümünde, genel temsili Şekil-1 ile gösterilen yolcu taşıma sistemlerinin simülasyon ile modellenmesine değinilmiştir.[5]

Günümüzde seyahat firmaları, sadece şehirlerarası yolcu taşımacılığı yapmakla kalmıyor, aynı zamanda, yolcuların şehir içinde de gitmek istedikleri yere ulaştırılmasını (terminalden-servis noktalarına, servis noktalarından-terminal) sağlıyor. Bu durumda, servis sisteminde yolcuların şehir içi seyahatlerinin kolaylıkla gerçekleşmesini sağlayacak sayıda servis noktasının bulunması gerekecektir.



Şekil-1: Yolcu Servis Sistemlerinin Genel Gösterimi

Servis sisteminin terminale gelen yolculara yönelik amaçları şunlardır:

- Terminale gelen yolcuların taşınması,
- Servis araçlarının belirlenmesi,
- Servis rotalarındaki yolcu sayılarının belirlenmesi.

Servis sisteminin terminalden ayrılacak olan yolculara yönelik amaçları ise şunlardır:

- Yolcuların, belirlenmiş otobüs kalkış zamanından önce terminale ulaştırılmasını sağlamak,
- Servis kaynaklarından yararlanmayı düşünen tüm müşterileri tatmin etmek.

Belirtilen amaçlara ulaşılmanın düşünüldüğü servis sistemlerinde karşılaşılan sorunlar ise şunlardır:

- Servis araçlarının yolcu taşıma kapasiteleri sınırlıdır. Bazı zamanlarda, yolcu sayısı, servis araç kapasitesinden fazla olabilmektedir. Bu durumda, yolcuların bir kısmı, servis kaynağından yararlanamayabilecektir,
- Servis araçları terminale planlanan saatte ulaşamayabilir. Bu durumda, servis araçlarıyla terminale gelecek olan yolcular, diğer şehre gidecek olan otobüse, otobüsün planlanan hareket saatinden önce yetişemeyebilir.
- Otobüsler, trafik sıkışıklığı, yolcuların ağır hareket etmeleri ve beklenmedik diğer olaylar yüzünden terminale beklenen saatten geç gelebilirler. Bu durumda da, planlanan servis zamanında aksamalar olacaktır.

Servis araçları yolcuları, terminalden servis noktalarına, servis noktalarından da terminale taşırlar. Her noktaya yalnızca bir araç tahsis edilerek, yolculara en iyi servis hizmetinin sunulması amacıyla kurulacak simülasyon modeli,

en iyi servis rotaları ve servis araç kapasitelerinin belirlenmesine yardımcı olur.

Yolcu servis sisteminin simülasyon modelinin kurulabilmesi için otobüs kalkış saati, yolcu kapasitesi, seyahat süresi dağılımı, yolcu sayısı dağılımı, otobüs tipi, servis noktaları sayısı, servis araçları sayısı, servis araçları kapasitesi, her servis rotasındaki yolcu dağılımı, servis süresi dağılımı ve servis araçlarının rotası dotalarının bilinmesi gerekmektedir. Sistemin simülasyon prosesi sonucunda gözlenebilecek performans kriterleri ise şunlardır :

- Her servisteki yolcu bekleme süresi,
- Servis verilemeyen yolcu sayısı,
- Servis kapasitesinden yararlanma hızı,
- Servis bekleme zamanı,
- Her rotadaki servis süresi,
- Servis verilen yolcu sayısı

REFERANSLAR:

- [1] Service Opeations Management, Robert G. Murdick-Barry Render- Roberta S. Russell,, 1990
- [2] Lawrance Bodin,Bruce Golden,Arjang Assed, and Michael Ball,"Routing and Scheduling Of Vehides and Crews: The State Of the Art," Computers and Operations Research,Vol.10,No.2 (1983)
- [3] S.P.Bradley, A.C.Hax, and T.L.Magnanti, Applied Mathematical Programming (Reading,Mass.: Addison - Wesley,1977)
- [4] Mauro Dell, Amico,Matteo Fischetti and Paola Toth, "Heuristic algorithms for the multiple depot vehicle Scheduling Problem", Operations Research / Management Science,Volume 34, Number 2, March - April 1994
- [5] E. Gundogar and H.R.Yazgan, "A Simulation Model For Transportation Of Passenger Among Cities In Turkey", 11.European Simulation Multiconference, Bogazici University, June 1-4, 1997, p 620-624
- [6] Luisa Equi- Giorgio Gallo- Silvia Marziale- Andres Weintraub, "Combined Transportation And A Scheduling Problem", European Journal Of Operational Research, volume 97, number 1, February 1997
- [7] Johanna J. Gerdessen, "Vehicle Routing Problem With Trailers", European Journal Of Operational Research, volume 93, number 1, August 1996
- [8] Averill M. Law-W.David Kelton, Simulation Modeling&Analysis, cGraw-Hill International Editions,1991

[9] L. Bianco-A. Mingozi-S. Ricciardelli, "Set Partitioning Approach To The Multiple Depot Vehicle Scheduling Problem", Optimization Methods And Software, Volume 93, Number 1-3, 1994

[10] M.A. Fawzan-K.S. Sultan, "Vehicle Routing Problem: A Survey", Industrial Engineering Research-Conference Proceedings 1996. IIE, Norcross, GA, USA, p 269-274