

TAŞIT ROTALAMASI VE ÇİZELGELEMESİ PROBLEMLERİNİN YAPISAL ÖZELLİKLERİ

Rezzan EREL
İnş. Y.Müh.
Yıldız Teknik Üniversitesi
İstanbul, Türkiye

ÖZET

Bu bildiride, kentiçi ve kentlerarası ulaşırmada, taşıt rotalaması ve çizelgelemesi problemlerinin yapısal özelliklerini talep ve sunu açısından ele alan yeni bir kavramsal çerçeve sunulmaktadır. Ardından kentlerarası otobüs ile yolcu taşımacılığı, bu kavramsal çerçeve esas alınarak incelenmektedir.

1. AMAÇ

Yapılan literatür taramasının kapsamına göre, taşıt rotalaması ve çizelgelemesi konusunun, 1950'li yıllarda bilim adamlarının ilgi alanına girmeye başladığı gözlemlenmiştir. G. Dantzig ve D. Fulkerson tarafından 1954 yılında yayınlanan tanker sayısının minimize edilmesi ile ilgili çalışma/1/, ilk çalışmalara örnek olarak verilebilir. 1970'li yılların başında ortaya çıkan petrol krizine karşın taşımacılıkta hızlı gelişmeler kaydedilmesi, bu konuda yapılan çalışmalara yoğunluk kazandırmıştır. 1980'li yıllarda, ekonomik sorunların yanısıra, ulaştırma türleri ve şirketleri arasında giderek artan ve kırııcı bir rekabet ortaya çıkmıştır. Günümüzde, düşük maliyetlerle daha çok ve daha iyi ulaştırma hizmetlerinin sağlanabilmesi, hem işletmecileri ve hem de bilim adamlarını yakından ilgilendirmektedir. Bu nedenle, taşıt rotalaması ve çizelgelemesi konusunun önemi artmaya devam edecek, şu ana kadar yapılan pekçok sayıda ve ayrı karakterde rotalama ve çizelgeleme problemlerine yenileri eklenecektir.

Herbir rotalama ya da çizelgeleme problemi, talebin yapısı, işletmenin sahip olduğu filo boyutu ve işletmenin amaçları gibi birçok faktörlere bağlı olarak özgün bir yapı kazanmaktadır. Bu

Herbir rotalama ya da çizelgeleme problemi, talebin yapısı, işletmenin sahip olduğu filo boyutu ve işletmenin amaçları gibi birçok faktörlere bağlı olarak özgün bir yapı kazanmaktadır. Bu bildirinin amacı, ağ tarzında ele alınan rotalama ve çizelgeleme problemlerinde karşılaşılabilecek olası yapısal özellikleri sunan kavramsal bir çerçeve oluşturmak ve kentlerarası otobüs ile yolcu taşımacılığını bu çerçeveyi esas alarak irdelemektir.

2. TAŞIT ROTALAMA VE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ

Taşıt rotalama ve çizelgeleme problemleri, bir ya da birkaç depoda bulunan taşıtlar ile bir adresler kümesine, belirli stratejiler ve kısıtlar altında, önceden saptanmış amaç/amaçları gerçekleştiren taşımacılık hizmetinin verilmesiyle ilgili problemlerdir. *Adresler*, bir taşıt ya da taşıt kümesinin uğrayacağı kentler, duraklar ve evler gibi yerleri simgelerler. *Depolar*, taşıtların ilk hareketlerini yaptıkları ve belirli adreslere uğradıktan sonra geri döndükleri yer olarak tanımlanabilirler.

Bu problemler, standart rotalama problemleri, zaman pencereli rotalama problemleri ve standart çizelgeleme problemleri olarak sınıflandırılabilirler. *Standart rotalama problemlerinde*, taşıtların hangi zamanlarda adreslere uğrayacakları önemli değildir (adres-zaman ilişkisi yoktur). *Standart çizelgeleme problemlerinde*, adreslere belirli (kesin) zamanlarda uğranılması gereklidir (adres-zaman ilişkisi vardır). İlki, bir turistin bir kentteki tarihi yerlere istediği sırayla gidebilmesine; ikincisi, önceden biletlerini almış olan bir kişinin, değişik yerlerdeki tiyatro oyunlarının başlangıç zamanlarına yetişmesine benzetilmektedir. *Zaman pencereli rotalama problemlerinde* ise, bir adrese, bir zaman aralığının herhangi bir anında uğranılabilir. Bu, bir kişinin, (13:00-17:00) gibi belirli zaman aralıklarında açık olan çeşitli yerlerdeki danışma merkezlerine gitmesine benzetilmektedir.

Yukarıda verilen sınıflandırma, taşıt rotalaması ve çizelgelemesi problemlerine açıklık kazandırmak amacıyla yapılmıştır. Bu konuda karşılaşılabilecek bir problem, verilen sınıflardan herhangi birisine ait olabileceği gibi, her üçünün yapısal özelliklerini de taşıyabilir. İzleyen bölümde, bu özelliklerin neler olabileceği tartışılacaktır.

3. ROTALAMA VE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN YAPISI

Bilindiği gibi yöneylem araştırması problemleri, problemin yapısının belirlenmesi, ilgili modelin kurulması, çözüm elde edilmesi, çözümün denenmesi ve çözümün uygulanması aşamalarından oluşmaktadır/2/. Bu bölümün ilgi alanı olan “bir rotalama ya da çizelgeleme probleminin yapısının belirlenmesi”, iyi bir modelin kurulmasının ön koşulu olup, “Kaç depo vardır?”, “Kaç taşıt kullanılacaktır?” ve “Hangi adreslere hizmet verilecektir?” gibi soruların yanıtlanması ile başlanır.

Assad/3/, Bodin ve Golden/4/, Bodin/5/ ve M. Desrochers, J.K. Lenstra ile M.W. Savelsberg/6/, rotalama ve çizelgeleme problemlerinde karşılaşılabilecek olası yapısal özellikleri vermeye çalışmışlardır. Son kaynak, bu konuda yapılan belki de en yeni çalışmadır. Bu çalışmada problemler, adresler, taşıtlar, problem karakteristikleri ve amaçlar olmak üzere dört alanda incelenmiştir.

Rotalama ve çizelgeleme problemlerinin yapılarının ortaya konulmasıyla ilgili yapılan çalışmalar taranırken, yöneylem araştırması ile ilgili düşünce tarzının ağırlıklı olduğu kanısına varılmıştır. Bu bildiride rotalama ve çizelgeleme problemlerinin yapısal özellikleri için sunulan kavramsal çerçeve, halen sürdürülmekte olan ve kentlerarası otobüs ile yolcu taşımacılığı ile ilgili olan doktora çalışması için geliştirilmiştir. Bu çerçeve oluşturulurken, ulaştırma planlamasının başlıca uğraş alanları olan talep ve sunuya göre gruplandırma yapılmıştır. Ayrıca, kentlerarası ve kentiçi yolcu ve yük taşımacılığının karakteristikleri de gözönünde bulundurulmuştur. Herbir alan, önce alt alanlara, sonra gerekirse bileşenlere ayrılmakta ve herbir bileşen için Tablo 1’de görüldüğü gibi seçenekler verilmektedir. Herbir seçenek, bu problemlerdeki bir yapısal özelliği simgelemektedir. Aşağıda, Tablo 1 ile ilgili açıklamalar yapılacaktır.

A. TALEP

Ulaştırmada *talap*, ne kadar yolcunun ya da yükün, nereden nereye, hangi zamanlarda ve hangi koşullarda taşınacağıdır. Bu kavramdaki “nereden nereye” sorusu, rotalama ve çizelgeleme problemlerindeki “hangi toplama adresinden, hangi dağıtım adresine” sorusu ile özdeştir. Dolayısıyla, yolcu ya da yükün alındığı yer “toplama adresi”, bırakıldığı yer ise “dağıtım adresi” olarak ifade edilebilir ve genellikle bu terimler kullanılacaktır.

“Talep” alanı sırasıyla, “talebin yeri”, “adres-zaman ilişkisi”, talebin yapısı” ve “talebin karşılama tarzı” olmak üzere dört alt alanda incelenmiştir.

A.1. Talebin Yeri

“Talebin yeri” alt alanında, yük ya da yolcuların, hangi adreslerden alınarak hangi adreslere bırakılacağı belirlenmektedir.

İlk seçenek, birkaç ya da çok sayıdaki toplama adreslerinden alınan yük ya da yolcuların, tek bir dağıtım adresine bırakılmasıdır. İkinci seçenekte, çok sayıda toplama adresi ve birkaç dağıtım adresi sözkonusudur. Öğrencilerin sabah saatlerinde evlerinden alınarak bir ya da birkaç okula bırakılması probleminde, evler toplama adreslerine, okullar ise dağıtım adreslerine karşılık gelmektedir. Bu tarzdaki problemler “toplama problemleri” olarak tanımlanabilirler.

Üçüncü seçenek, yük ya da yolcuların bir toplama adresinden alınarak, birkaç ya da çok sayıdaki dağıtım adreslerine bırakılmasıdır. Dördüncü seçenekte ise, birkaç toplama adresi ile çok sayıda dağıtım adresi sözkonusudur. Öğrencilerin akşam saatlerinde bir ya da birkaç okuldan alınarak evlerine bırakılması probleminde, okullar toplama adreslerine, evler ise dağıtım adreslerine karşılık gelmektedir. Bu tarzdaki problemler “dağıtım problemleri” olarak tanımlanabilirler.

Beşinci seçenek, birkaç toplama adresinden alınan yük ya da yolcuların, birkaç dağıtım adresine bırakılmasıdır. Son seçenekte ise, çok sayıda toplama adresi ile çok sayıda dağıtım adresi sözkonusudur. Bu tarzdaki problemler “toplama-dağıtım” problemleri olarak tanımlanabilirler. Örneğin, kentiçi otobüs taşımacılığında, duraklar yolcuların alındığı ve bırakıldığı yerlerdir ve çok sayıda toplama ile çok sayıda dağıtım sözkonusudur.

A.2. Adres-Zaman İlişkisi

“Adres-zaman ilişkisi” alt alanında, adreslere hangi zamanlarda uğranılacağı belirlenmektedir. İlk seçenek, adreslere uğrama zamanlarının önemli olmadığını göstermektedir. Bu seçeneğe yük taşımacılığında rastlanabilir.

İkinci seçeneğe göre, her bir adrese tek bir zaman penceresinde uğranılması gerekir. Üçüncü seçenek, ikinci seçeneğin çok zaman pencereli durumudur. Yük taşımacılığı ile ilgili problemlerin

zaman pencereli olarak ele alınması, bir hayli yaygındır. Yolcu taşımacılığında zaman pencereli problemlere çoğunlukla, çağrılı taşımacılıkta (dial-a-ride) rastlanılmaktadır. Müşterilerin bulundukları ve gidecekleri yerleri telefonla bildirdikleri bu taşımacılıkta genellikle, müşterilerin alınma ve bırakılma zamanları arasındaki süre için, bir zaman penceresi verilmektedir. Zaman penceresinin ilk sınırı müşterinin en erken alınma zamanını, ikinci sınırı müşteriye en geç bırakma zamanını göstermektedir. Desrochers, Lenstra, Savelsberg ve Soumis'in taşıt rotalama problemi/7/, zaman pencereli problemlere örnek olarak verilebilir.

Son seçenek, adreslere belirli(kesin) zamanlarda uğranılmasıdır. Genellikle kentlerarası yolcu taşımacılığı, taşıtların nereden ve ne zaman kalkış yapacakları ile, nereye ve ne zaman varacaklarını gösteren zaman çizelgelerine(tarifelerine) bağımlı olarak yapılmaktadır.

A.3. Talebin Yapısı

“Talebin yapısı” alt alanı, “miktersal yapı”, “mekansal yapı” ve “zamansal yapı” olarak üç bileşende ele alınmıştır ve herbir bileşen için deterministik ve stokastik seçenekleri verilmiştir.

“Talebin miktersal yapısı”, ne kadar yük ya da yolcu taşınacağı belirli ise deterministik, aksi halde stokastiktir. “Talebin mekansal yapısı”, nereden nereye taşımacılık yapılacağı belirli ise deterministik, aksi halde stokastiktir. Benzer şekilde “talebin zamansal yapısı”, adreslere uğranılacak zamanlar belirli ise deterministik, aksi halde stokastiktir. Çağrılı taşıma sistemlerinde, bir günün başlangıcında, nereden nereye, hangi zamanlarda, ne kadar yolcu taşınacağı belirli değildir. Bu yüzden bu sistemlerin stokastik yapıda oldukları söylenebilir. Kentlerarası yolcu taşımacılığı genellikle, zamansal açıdan deterministiktir. Bir servis taşımacılığında, nerelerden ne kadar yolcu alınacağı önceden bilinmektedir. Dolayısıyla bu taşımacılığın, mekansal ve miktersal açılardan deterministik olduğu söylenebilir.

A.4. Müşterilerin Tercihleri

“Müşterilerin tercihleri” alt alanında, müşterilerin talep ettikleri hizmet düzeyleri belirlenmektedir. Bu alt alan, “miktersal tercihler”, “mekansal tercihler”, “zamansal tercihler” ve “özel tercihler” olmak üzere dört bileşende incelenmiştir.

“Miktarsal tercihler” bileşeninde iki seçenek verilmiştir. İlk seçenek, talep edilen miktarın yalnızca bir kerede karşılanma zorunluluğudur. Bu seçeneğin var olabilmesi için, talebin miktarsal yapısı deterministik olmalıdır. Örneğin, bir dağıtım probleminde, adreslerine bir kere uğranılmasını isteyen müşterilerin, bu adreslere ne kadar yük bırakılacağını da belirtmeleri gerekir. İkinci seçenek, talebin bölünerek karşılanabilmesidir. Talebin miktarsal yapısı stokastik olan bir yük dağıtım probleminde, adreslere yalnızca bir kere uğranılması zorunluluğundan sözedilemez. Bu problemde, talebin miktarsal yapısı deterministik ise, müşterilerin izin vermesi durumunda miktarsal talepleri bölünerek karşılanabilir.

“Mekansal tercihler” bileşeninde, “direkt yolcu”, “ara durak yolcusu”, “direkt yük” ve “parçalı yük” seçenekleri verilmiştir. Bir hat üzerinde yapılan taşımacılıkta, hat boyunca seyahat etmek isteyenler, “direkt yolcular” ve hattın belirli kesimlerinde seyahat etmek isteyenler “ara durak yolcuları” olarak tanımlanabilirler. “Direkt yük”, bir adresten alınarak tek bir adrese bırakılması istenen yüküdür. Bu tanıma uygun olmayan yükler (bir adresten alınarak çeşitli adreslere bırakılması gereken yükler), “parçalı yük” olarak tanımlanabilirler.

“Zamansal tercihler” bileşeninin ilk seçeneği, “müşterilerin zamansal tercihlerinin olmadığı” göstermektedir. Müşteriler, dikkate alınan zaman periyodunda adreslerine hangi zamanlarda uğranılması gerektiğini belirtmiyorsa, bu seçenek geçerlidir. İkinci ve üçüncü seçenekler, “esnek tercihler” ve “değişmez tercihler”dir. İlki, müşterilere, talep ettikleri zamanlar dışında hizmet verilmesinin sözkonusu olabileceğini; ikincisi ise müşterilerin, talep ettikleri zaman dışındaki bir hizmeti kesinlikle kabul etmediklerini göstermektedir.

Son bileşen “özel tercihler”dir. Seçenekler özel durumlara göre değişir. Örneğin bir müşteri, malının bozulabilir ya da kınlanabilir olduğunu belirterek, bu durumu dikkate alan bir taşımacılık isteyebilir.

B. SUNU

Ulaştırma *sunu*, bir işletmenin, amaçlarına, bulunduğu çalışma ortamına ve işletmesel stratejileri ile düzenlemelerine bağlı olarak taşımacılık hizmetini vermesi olarak tanımlanabilir. “Faaliyet ortamı” kavramı, geniş kapsamlı olup, taşıtlar ve taşıtlar ile ilgili tesisleri, hizmet verilecek müşterilerin taleplerini, taşıtların hareket ettiği ortamı v.b. özellikleri ifade etmektedir. “İşletmesel stratejiler ve düzenlemeler”, işletmenin, faaliyet ortamını dikkate alarak, taşımacılık hizmetinin verilmesinde izlediği yöntemler ve yaptığı düzenlemelerdir. Genel olarak bir işletmenin

amacı, verilen hizmetin karşılığında yarar elde etmektir. Bu amacın gerçekleştirilmesi için, rotalama ve çizelgeleme problemlerinin üzerine düşen pay, işletmesel maliyetlerin minimize edilmesidir.

Sunu alanı, “depo ve taşıtlar”, “işletmesel stratejiler”, “işletmesel düzenlemeler”, “faaliyet ortamındaki ilişkiler” ve “işletmesel amaçlar” olmak üzere beş alt alana ayrılmıştır.

B.1. Depo ve Taşıtlar

“Depo ve taşıtlar” alt alanı, “depo sayısı”, “taşıt sayısı”, “taşıtların kapasite/hacim özellikleri” ve “taşıtların kompartımanları” olarak dört bileşende incelenmiştir.

“Depo sayısı” bileşeninin, “tek depo” ve “çok depo” seçenekleri sözkonusudur. Belediyelere ait otobüs ile yolcu taşımacılığı yapan işletmelerin genellikle, küçük kentlerde bir, büyük kentlerde ise birden fazla deposu vardır. Tek depolu bir problemde, depodan görevlerini yapmak üzere ayrılan taşıtlar, görevlerini tamamladıktan sonra aynı depoya dönerler. Çok depolu bir problem, hangi taşıtın hangi depoya ait olması gerektiğine karar verilmesi nedeniyle, karmaşık yapıdadır. Bu problemlerin aşamalı olarak ele alınmaları, daha kolay çözümlerini sağlayabilmektedir. Gavish, Schweitzer ve Shlifer’in/8/ ve Riberio ve Soumis’in/9/ çalışmaları, çok depolu problemlere örnek olarak verilebilir.

“Taşıt sayısı” bileşeninde, “taşıt sayısı belirli” ve “taşıt sayısı belirsiz” seçenekleri verilmektedir. Eğer bir problemde taşıt sayısı belirli ise, problemin bir kısıtıdır, belirli değil ise, problemin çözümünden elde edilen bir çıktıdır. Standart bir çizelgeleme probleminde, bir görevler kümesi için ne kadar taşıt gerektiği, problemin çözümü ile belirlenebilir. Böyle bir problemde taşıt sayısı kısıt olduğu takdirde, bazı görevlerin gerçekleştirilememesi durumu ile karşılaşılabılır. Buna karşın pekçok standart rotalama probleminde, taşıt sayısı, probleme bir kısıt olarak sokulmaktadır. Örneğin gezgin satıcı probleminde/10/, taşıt sayısı belirli olmak zorundadır.

“Taşıtların kapasite ya da hacim özellikleri” bileşeninde, “kapasite ya da hacim kısıtı yok”, “kapasite ya da hacim kısıtı var” seçenekleri verilmektedir. Bir taşıta alınabilecek yolcu sayısı ya da yük miktarı, taşıtın kapasitesi ya da hacmi ile sınırlıdır. Bu yüzden, bir taşıtın kapasitesi(hacmi), problemin bir kısıtı olabilmektedir. Golden’in dağıtım problemi/5/ gibi birçok standart rotalama probleminde, taşıt kapasitesi kısıt olarak ele alınmaktadır. Standart çizelgeleme problemlerinde, ne kadar yolcu ya da yük taşınacağı dikkate alınmadığından, böyle bir kısıt gerekmez.

“Taşıtların kompartımanları” bileşeninin seçenekleri, “kompartıman yok”, “değiştirilebilir kompartımanlar” ve “özelleştirilmiş kompartımanlar”dır. Örneğin, minibüs ile yolcu taşımacılığında, kompartıman yoktur. Bir taşıtın kendi içinde değiştirilebilir kompartımanlara sahip olması seçeneğine, genellikle yük taşımacılığında rastlanır. Sigara içen ve içmeyen yolculara ait kompartımanlar, özelleştirilmiş kompartımanlara örnek olarak verilebilir.

B.2. İşletmesel Stratejiler

“İşletmesel stratejiler” alt alanı, “hizmet türü stratejisi”, “rotasal strateji” ve “zamansal strateji” olmak üzere üç bileşene ayrılmıştır.

“Hizmet türü stratejisi” bileşeni için, “direkt yolcu taşımacılığı”, “ara duraklı yolcu taşımacılığı”, “direkt yük taşımacılığı” ve “parçalı yük taşımacılığı” seçenekleri verilmiştir. İlk iki seçeneğin yolcu taşımacılığına, son iki seçeneğin yük taşımacılığına ait oldukları açıktır.

Kentlerarasında direkt ya da ara duraklı yolcu taşımacılığı yapılmaktadır. Ara duraklı yolcu taşımacılığı seçeneği, “her durakta duruş”, “yolculu durakta duruş” ve “yolcu isteği ile duruş” olmak üzere üç alt seçeneğe ayrılmıştır/11/. İlkinde taşıtlar, duraklarda yolcu olup-olmaması dikkate alınmadan durmaktadırlar. Sürücü-yolcu iletişimin zor olduğu raylı taşımacılıkta, bu alt seçenek uygulanmaktadır. İkincisinde taşıtlar, duraktan alınacak ve/veya durağa bırakılacak yolcu olduğu taktirde durmaktadırlar. Bu seçeneğe otobüs işletmeciliğinde rastlanılmaktadır. Son seçenekte, yolcular güzergahın herhangi bir noktasında inme-binme yapabilmektedirler. Minibüs ile yolcu taşımacılığı, bu seçeneğe örnek olarak verilebilir.

Parçalı yük taşımacılığı seçeneği, “geri dönüşte yükleme var” ve “geri dönüşte yükleme yok” olmak üzere iki alt seçeneğe ayrılmıştır. “Geri dönüşte yükleme”, bir merkezden dolu olarak ayrılan bir taşıtın, bütün dağıtımlarını yaptıktan sonra, merkeze geri dönerken toplamaları yapmasıdır. Bu alt seçeneğe, bir fabrikadan ayrılan taşıtın, yükünü çeşitli adreslere bıraktıktan sonra, fabrikaya hammadde götürmek üzere toplama adreslerine uğraması örnek verilebilir. Yalnız dağıtım ya da yalnız toplama problemlerinde, geri dönüşte yükleme sözkonusu değildir.

“Rotasal strateji” alt alanı için, “sabit rotalı”, “esnek rotalı” ve “dinamik rotalı” taşımacılık seçenekleri verilmiştir. İlk seçeneğe örnek olarak, herbir taşıt belirli duraklara uğramak zorunda olduğu için, otobüs ile belirli yolcu taşımacılığı verilebilir. Esnek rotalı taşımacılıkta rota, belli-

başı durakların sabit kalması koşulu ile, kesim kesim değiştirilebilir. Dolmuş-minibüs taşımacılığında, bu tür uygulamalara rastlanılmaktadır. Dinamik rotalı taşımacılıkta ise rota, çağrılı taşıma sistemlerinde olduğu gibi, yolcuların isteklerine göre belirlenmektedir.

“Zamansal stratejiler” bileşeninde, “sabit zaman çizelgesi”, “esnek zaman çizelgesi” ve “zaman çizelgesiz” taşımacılıklar seçenekleri verilmiştir. “Zaman çizelgesi”, nereden nereye, ne zaman taşıt kaldırılacağını gösteren bir tarifiedir. İlk seçenek, demiryolu ve havayolu taşımacılığında uygulandığı gibi, önceden belirlenmiş ve duyurulmuş bir zaman çizelgesi olduğunu göstermektedir. İkinci seçenek, genellikle minibüs ile yolcu taşımacılığında olduğu gibi, duyurulmuş bir zaman çizelgesi olmamasına karşın, taşıtların, pik ve pik dışı saatlerde hangi sıklıkta kalktığının aşağı-yukarı belirli olduğunu göstermektedir. Son seçenek, çağrılı taşıma sistemlerinde olduğu gibi, bir zaman çizelgesi olmadığını göstermektedir.

B.3. İşletmesel Düzenlemeler

Bir işletmenin, bulunduğu ortama bağlı olarak, bir zaman periyodu boyunca, taşıtlar ve rotaları ile ilgili yaptığı düzenlemelere “işletmesel düzenlemeler” adı verilmiştir. İşletmesel düzenlemeler alt alanının bileşenleri, “taşıtların çalışma süresi”, “rota süresi”, “rota sayısı” ve “rotaların tipi” olarak sıralanmaktadır.

“Taşıtların çalışma süresi” için “sınırlı” ve “sınırsız” seçenekleri verilmiştir. Bir servis taşımacılığında, bir taşıtın öğleden öncesi için çalışma süresi, sabah öğrencilerin en erken alınabilme zamanı ve okulun başlangıç zamanı nedeniyle sınırlı olmak zorundadır. Kentlerarası yolcu taşımacılığında taşıtlar, günün her saatinde çalıştırılabilirler.

“Rota süresi” için de “sınırlı” ve “sınırsız” seçenekleri verilmiştir. Çağrılı taşımacılıkta, rota süresinin sınırlandırılması zordur. Kentlerarası yolcu taşımacılığında, bir periyotta gerçekleştirilen görevlerin ardışık periyotta tekrarlanabilmesi için, rota süresi sınırlıdır. Ceder ve Wilson’un otobüs ağı dizaynı için verdikleri problemde/12 / taşıtların rota süresi için alt ve üst sınırlar verilmiştir.

“Rota sayısı”, için “bir rota” ve “birden fazla rota” seçenekleri sözkonusudur. Kentlerarasındaki modeller genellikle bir periyotta bir rota yapılmasına dayanmaktadır. Çağrılı taşımacılıkta, bir periyotta birden fazla rota yapılabilir.

B.4. Faaliyet Ortamındaki İlişkiler

“Faaliyet ortamındaki ilişkiler” alt alanı, “adres-adres ilişkileri”, “depo-adres ilişkileri”, “taşıt-adres ilişkileri” ve “rota-adres ilişkileri” olarak dört bileşende incelenmiştir.

“Adres-adres ilişkileri” için, “öncelik kısıtı var” ve “öncelik kısıtı yok” seçenekleri verilmiştir. “Öncelik kısıtı”, bir adrese başka bir adresten/adreslerden önce uğranılması gerektiğini göstermektedir. “Geri dönüşte yükleme” stratejisine sahip bir dağıtım ve toplama probleminde, bütün dağıtım adresleri, toplama adreslerine göre önceliklidir. Standart çizelgeleme problemlerinde görevler, zamansal açıdan öncelik kısıtlarının kapalı bir tarzda ifadesidir. Bir rotalama probleminde, adreslere uğranılma sırası için yalnızca seyahat süreleri önem taşıyorsa, öncelik kısıtı yoktur.

“Depo-adres ilişkileri” için, “depo-adres kısıtı var” ve “depo-adres kısıtı yok” seçenekleri verilmiştir. “depo-adres kısıtı”, bir adrese belirli bir depodan hizmet verilmesi gerektiğini göstermektedir. Örneğin, çok depolu kentiçi yolcu taşımacılığında, her bir depodan hangi adreslere hizmet verileceği belirli ise, taşıtlar ait oldukları depoya bağımlı olan adreslere uğrayabilirler. Tek depolu bir problemde, bütün adreslere aynı depodan hizmet verileceği için, böyle bir kısıt yoktur.

“Taşıt-adres ilişkileri” için, “taşıt-adres kısıtı var” ve “taşıt-adres kısıtı yok” seçenekleri verilmiştir. “Taşıt-adres kısıtı”, bir adrese belirli bir taşıt tipiyle hizmet verilebileceğini göstermektedir. Örneğin bir adresten dondurulmuş mal alınacaksa, bu adrese soğutma sistemi olan bir taşıt gönderilmelidir.

“Rota-adres ilişkileri” için de, “rota-adres kısıtı var” ve “rota-adres kısıtı yok” seçenekleri verilmiştir. “Rota-adres” kısıtı, bir rotanın hangi seçenekleri kapsaması gerektiğini göstermektedir. Örneğin, biri ilkokul diğeri ortaokul olmak üzere, iki ayrı okula yapılan bir servis taşımacılığında, ortaokula gidecek taşıta, ilkokul öğrencisinin bindirilmesi olanaksızdır.

B.5. İşletmesel Amaçlar

“İşletmesel amaçlar” alanında, verilen seçeneklerden ilki, “taşıtların toplam rota süresinin minimize edilmesi”dir ve ulaşturmada özellikle rotalama problemleri için “olmazsa olmaz” olarak

Tablo 1. Taşıt Rotalama ve Çizelgeleme Problemlerinin Yapısal Özellikleri

ALANLAR	ALT ALANLAR	BİLEŞENLER	SEÇENEKLER
A. TALEP	A.1. Talebin Yeri		• Birkaç/çok sayıda toplama-Bir dağıtım • Çok sayıda toplama-Birkaç dağıtım • Bir toplama-Birkaç/çok sayıda dağıtım • Birkaç sayıda toplama-Çok sayıda dağıtım • Birkaç sayıda toplama-Birkaç sayıda dağıtım • Çok sayıda toplama-Çok sayıda dağıtım
	A.2. Adres-Zaman İlişkisi		• Adres-Zaman ilişkisi yok • Adres-Tek zaman penceresi • Adres-Çok zaman penceresi • Adres-Kesin(belirli) zaman
	A.3. Talebin Yapısı	A.3.1. Miktersal Yapı	• Deterministik • Stokastik
		A.3.2. Mekansal Yapı	• Deterministik • Stokastik
		A.3.3. Zamansal Yapı	• Deterministik • Stokastik
	A.4. Müşteri Tercihleri	A.4.1. Miktersal Tercihleri	• Talebin tümü bir kerede karşılanmalı • Talep bölünerek karşılanabilir
		A.4.2. Mekansal Tercihleri	• Direkt yolcu • Ara durak yolcusu • Direkt yük • Parçalı yük
		A.4.3. Zamansal Tercihler	• Müşterilerin zamansal tercihleri yok • Esnek tercihler • Değişmez tercihler
		A.4.4. Özel Tercihler	• Özel seçenekler
B. SUNU	B.1. Depo ve Taşıtlar	B.1.1. Depo Sayısı	• Tek depo • Çok depo
		B.1.2. Taşıt Sayısı	• Belirli • Belirsiz
		B.1.3. Taşıtların Kapasite/hacim özellikleri	• Kapasite/hacim kısıtı yok • Kapasite/hacim kısıtı var
		B.1.4. Taşıtların Kompartımanları	• Kompartıman yok • Değiştirilebilir kompartımanlar • Özelleştirilmiş kompartımanlar

ALANLAR	ALT ALANLAR	BİLEŞENLER	SEÇENEKLER
	B.2. İşletmesel Stratejiler	B.2.1. Hizmet Türü Stratejisi	• Direkt yolcu taşımacılığı • Ara duraklı yolcu taşımacılığı • Her durakta duruş • Yolculu durakta duruş • Yolcunun isteğiyle duruş • Direkt yük taşımacılığı • Parçalı yük taşımacılığı • Geri dönüşte yükleme yapılır • Geri dönüşte yükleme yapılmaz
		B.2.2. Rotasal Stratejiler	• Sabit rotalı taşımacılık • Esnek rotalı taşımacılık • Dinamik rotalı taşımacılık
		B.2.3. Zamansal Stratejiler	• Belirli zaman çizelgeli taşımacılık • Esnek zaman çizelgeli taşımacılık • Zaman çizelgesi yok
	B.3. İşletmesel Düzenleme- ler	B.3.1. Taşıtların Çalışma Süresi	• Sınırlı • Sınırsız
		B.3.2. Rota Süresi	• Sınırlı • Sınırsız
		B.3.3. Rota Sayısı	• Bir rota • Birden fazla rota
	B.4. Faaliyet Ortamında- ki İlişkiler	B.4.1. Adres- Adres İlişkileri	• Öncelik kısıtı var • Öncelik kısıtı yok
		B.4.2. Depo- Adres İlişkileri	• Depo-Adres kısıtı var • Depo -Adres kısıtı yok
		B.4.3. Taşıtların Adres İlişkileri	• Taşıtların-Adres kısıtı var • Taşıtların-Adres kısıtı yok
		B.4.4. Rota- Adres İlişkileri	• Rota-Adres kısıtı var • Rota-Adres kısıtı yok
	B.5. İşletmesel Amaçlar		• Taşıtların toplam rota süresinin minimize edilmesi • Toplam adres maliyetlerinin minimize edilmesi • Toplam adres ceza maliyetlerinin minimize edilmesi • Toplam taşıt sayısının minimize edilmesi • Taşıtların kullanılmayan zamanlarının minimize edilmesi • Toplam taşıt ceza maliyetlerinin minimize edilmesi

tanımlanabilecek bir amaçtır. Toplam rota süresinin minimize edilmesi, aynı zamanda taşıtların işletme maliyetlerini de minimize edilmesini sağlamaktadır.

İkincisi, “toplam adres maliyetlerinin minimize edilmesi”dir. “Adres maliyetleri”, adreslere birden fazla uğranılması nedeniyle verilen cezaların maliyetleridir. Bir adrese yeniden uğranılması, miktarsal açıdan talebin bir kerede karşılanamaması durumunda ortaya çıkar. Bu amaç yük taşımacılığında kullanılabilir. Üçüncüsü, “toplam adres ceza maliyetlerinin minimize edilmesi”dir. “Adres ceza maliyeti”, eğer bir adrese zaman penceresinde uğranılması, yumuşak bir kısıt ise, bu kısıtın yerine getirilmemesi durumunda verilen cezanın maliyetidir. Zaman pencereli yük ve yolcu taşımacılığı problemlerinde kullanılabilir. Dördüncüsü, “toplam taşıt sayısının minimize edilmesi”dir. Bu amacın gerçekleştirilmesi ile, taşıtların yatırım maliyetleri de minimize edilmektedir. Beşincisi, “taşıtların kullanılmayan zamanlarının minimize edilmesi”dir. Taşıt çizelgelemesi problemlerinin yapısına oldukça uygun bir amaçtır. Sonuncusu, “toplam taşıt ceza maliyetlerinin minimize edilmesi”dir. “Taşıt ceza maliyeti”, bir taşıtın kapasitesi, hacmi, çalışma zamanı ve rota süresi ile ilgili sınırlardan bir ya da birkaçının aşılması durumunda verilen cezanın maliyetidir. Brown ve Graves’in çalışmasında/6/, taşıtların çalışma zamanı sınırlarını aşması durumunda verilen cezanın maliyeti, personelin fazla mesai maliyetidir.

Yukarıda verilen amaçlar, en yaygın olarak kullanılanlardır. Aslında Tablo 1’de, işletmesel amaçlarla ilgili pek çok seçeneğe yer verilebilir. Richardson’ın, uluslararası, havayolu taşımacılığına yönelik ara duraklı rotalama probleminde/13/, yolcudan elde edilen gelir ile işletme maliyetlerinin farkının maksimize edilmesi esas alınmıştır. Bu amaç Tablo 1’de görülmemektedir.

4. KENTLERARASI OTOBÜS İLE YOLCU TAŞIMACILIĞI İÇİN BİR UYGULAMA

Türkiye’de kentlerarasında yolcu taşımacılığında karayolu taşıtlarının payı, 1950 yılında % 46 iken, son yıllarda yaklaşık olarak %94 olup, bunda özel otobüslere ait otobüslerin payı % 70-75 dolayındadır/14/. Bu işletmeler, düzenli ve düzensiz işletmeler olmak üzere iki gruba ayrılabilirler. Düzenli işletmeler, belirli bir zaman çizelgesine ve fiyat tarifesine bağımlı olarak hizmet sunarlar. “Zaman çizelgesi”, ulaştırma hizmetinin verileceği kentler kümesinde, taşıtların kalkış ve dolayısıyla varış zamanlarını gösteren tarifiedir. Düzensiz işletmeler, taşıtların kalkış zamanlarını, ara duraklarını ve fiyatlarını çekebildikleri yolcu sayısına göre ayarlamaktadırlar. Gün geçtikçe

insanların zamana daha duyarlı olması ve haksız rekabeti önleyen yasal düzenlemelerin getirilmesiyle, düzensiz hizmet veren işletmelerin sayısının azalacağı ortadadır. Düzenli bir taşımacılık, planlı bir yaklaşım gerektirir. Kentlerarasında otobüs ile yolcu taşımacılığı planlamasının aşamaları ise,

- Hangi kentler arasında taşımacılık yapılacağına karar verilmesi,
- Bu kentler arasında yapılacak olan seyahatlerin kalkış ve varış zamanlarının belirlenmesi,
- Seyahatlere taşıtların atanması(dolayısıyla filo boyutu) ve
- Seyahatlere personelin atanması(dolayısıyla personel boyutu)

olarak sıralanabilir. Ceder ve Gonen, benzeri bir sıralamayı, İsrail Ulusal Otobüs Taşımacılığı için yapmışlardır/15/. Birinci aşama, işletmeci açısından bir pazar arayışıdır. Pazarın seçimi, direkt işletmeci tarafından yapılabileceği gibi, bağımsız ya da diğer aşamalarla bağımlı bir problem olarak da ele alınabilir.

İkinci aşama, “kalkış-varış zaman çizelgesinin oluşturulması”dır, ve kısaca “zaman çizelgelemesi” olarak adlandırılabilir.Bu aşamada, iki merkez kent arasında yapılacak olan seyahatlerin ara duraklı olup-olmayacağına ve ara durak düşünülüyorsa nerelere uğranılacağına karar verilmektedir.

Üçüncü aşamanın girdisi, ikinci aşamanın çıktısı olan seyahatler kümesidir. Bu aşamada, hangi seyahatlerin hangi taşıtlar tarafından yapılacağı belirlenmektedir. Dolayısıyla kentlerarası otobüs ile yolcu taşımacılığının üçüncü aşaması, bir taşıt çizelgelemesi tarzında ele alınmalıdır. Aşağıda, Tablo 1 yardımıyla, böyle bir problemin nasıl bir yapıya sahip olabileceği tartışılacaktır.

4.1. Kentlerarası Otobüs İle Yolcu Taşımacılığında Taşıt Çizelgeleme Problemlerinin Yapısı

İki kent arasında direkt taşımacılık yapıldığı takdirde, bir kentten alınan yolcuların tümü başka bir kente bırakılacak demektir. Bu durumda, A.1. alt alanında, “bir toplama adresinden bir dağıtım adresine” seçeneği sözkonusudur. Ara duraklı bir taşımacılıkta, iki kent arasındaki durak sayısına ve durakların niteliğine bağlı olarak diğer seçenekler söz konusu olabilir.

Taşıtların ne zaman ve nereden kaldırılacakları, taşıt çizelgelemesi problemlerinin girdisi olduğu için, A.2. alt alanında “adres-kesin zaman” seçeneği geçerlidir. Aynı nedenle, A.3. alt alanında talebin miktarsal ve zamansal yapısı, deterministiktir. Kentlerarası yolcu taşımacılığında, talebin

miktarsal yapısı, zaman çizelgelemesi aşamasının ilgi alanına girmektedir. Taşıt çizelgelemesi problemlerinde, böyle bir girdi dikkate alınmadığı için, A.3. alt alanında talebin miktarsal yapısı ile ilgili bir seçenek yoktur.

Bir taşıt çizelgelemesi probleminde, seyahatlerin herbiri, yapılması zorunlu olan görevlerdir. Problemin yapısı gereği, müşterilerin zamansal tercihlerinin değiştirilemez olduğu kabul edilir. Eğer seyahatlerin kalkış ya da varış zamanlarında herhangi bir değişiklik yapılırsa, girdiler değişeceğinden başka bir problem elde edilir. Buna göre, A.4. alt alanında müşterilerin zamansal tercihlerinin değiştirilemez olduğu ortaya çıkmaktadır. Miktersal tercihler için, A.3. alt alanındaki miktarsal yapı ile ilgili açıklamalara dayanılarak, herhangi bir seçenek verilmemiştir. Meksansal istekler için, direkt yolculuk ve ara duraklı yolculuk seçeneklerinin her ikisi de geçerlidir. Ara duraklı taşımacılıktaki görevlerde seyahat süresi, direkt taşımacılıktakilere göre daha uzundur. Bir problemde, bazı görevler direkt taşımacılığa, bazıları da ara duraklı taşımacılığa yönelik olabilir. Hangilerinin hangi tarzda olduğuna ise, zaman çizelgelemesi aşamasında karar verilmelidir.

Kentlerarası otobüs ile yolcu taşımacılığı yapan işletmeler, çeşitli depolarda taşıt bulundurlar. Taşıtların depoları, kentin garajı olabileceği gibi, kent içinde herhangi bir yerde de olabilir. Kentlerarasında kilometrelerce mesafe katedildiği dikkate alınır, kent içinde depo yerinin garaj ya da özel işletmeye ait bir yer olması nedeniyle oluşabilecek mesafe farklılıkları ihmal edilir boyuttur. Bu nedenle her bir kentin, aynı zamanda depo olduğu varsayımı yapılacak olursa, B.1. alt alanında depo sayısı için “çok depo” seçeneği geçerli olur. Taşıt sayısı için “belirsiz”, taşıtların kapasite/hacim özellikleri için de “kapasite/hacim kısıtı yok” seçeneklerinin olabileceği, Tablo 1 ile ilgili açıklamalarda belirtilmiştir.

B.2. alanında, hizmet türü stratejisi için “direkt yolcu taşımacılığı” ve “ara duraklı yolcu taşımacılığı” seçenekleri geçerlidir. Yukarıda, bu seçeneklerden hangisinin seçileceğine, zaman çizelgelemesi aşamasında karar verildiği belirtilmiştir. Kentlerarası yolcu taşımacılığında, belirli bir zaman çizelgesine bağlı olunması nedeniyle, taşıtların rotaları belirlidir ve ancak zaman çizelgelemesi değiştirilmediği sürece sabit kalır. Dolayısıyla, rotasal stratejiler için “sabit rotalı taşımacılık” seçeneği sözkonusudur. Zamansal stratejiler için “belirli zaman çizelgeli taşımacılık” seçeneğinin dikkate alınması gerektiği açıktır.

Kentiçi otobüs ile yolcu taşımacılığında, taşıtlar (6:00-24:00) gibi bir zaman aralığında çalıştırılırlar. Kentlerarasında ise, gecenin geç saatlerinde taşıt kaldırılmasına pek rastlanılmamakta

birlikte, bu saatlerde seyahat halinde olan taşıtlar vardır. Genel olarak, taşıtların çalışma sürelerinin sınırlı olduğu söylenebilir. Bir taşıtın bir periyot boyunca gerçekleştirdiği görevleri, her periyotta tekrarlayabilmesi için, rota süresi sınırlı olmak zorundadır. Hatta rota süresi, problemin bir katı kısıtı olmalıdır. Çünkü, kentiğinde rota süresinin aşılması, sürücünün fazla çalışma yapmasına neden olurken, kentlerarasında rota süresinin aşılması, taşıtın görevini aksatmasına neden olmaktadır. Kentlerarasında, taşıtın bir periyot boyunca izlediği yol bir rota olarak tanımlanacak olursa, rota sayısı için “bir rota” seçeneği elde edilir.

Taşıt çizelgelemesi problemlerinde görevler, öncelik kısıtlarının örtülü bir tarzda ifadesidir ve hangi adreslere hangi adreslerden önce uğranılması gerektiği belirlidir. Bu nedenle, B.4. alt alanında, adres-adres ilişkileri için “öncelik kısıtı var” seçeneği verilebilir. Eğer, kentlerarası yolcu taşımacılığında depo yerleri daha önceden belirleniyor ve bu girdiye göre çizelgeleme yapılması isteniyorsa, depo-adres ilişkileri için “depo-adres kısıtı var” seçeneğinden söz edilebilir. Depo yerleri problemin çözümü ile belirleniyorsa, “depo-adres kısıtı yok” seçeneği verilebilir. Bütün çizelgeleme problemlerinde olduğu gibi, bir kentlerarası çizelgeleme probleminde de, taşıt-adres ve rota-adres kısıtları olabilir. Buna göre, taşıt-adres ve rota-adres ilişkileri için, tabloda verilen bütün seçenekler geçerlidir.

Son alt alan olan işletmesel amaçlar için verilen seçeneklerden ilk üçü, genellikle rotama problemlerinin yapısına uygundur, sonuncusu ise rotalama ve kentiçi çizelgeleme problemlerine uygulanabilir. Bu durumda, “toplam taşıt sayısının minimize edilmesi” ve “taşıtların kullanılmayan zamanlarının minimize edilmesi” seçenekleri, kentlerarası çizelgeleme problemlerinde kullanılabilir.

5. SONUÇ

Bu bildiride taşıt rotalaması ve çizelgelemesi problemlerinin tanıtılması ve ülkemizde bu alanda yapılacak olan çalışmalara bir altyapı oluşturulması amacıyla, tartışmaya açık bir kavramsal çerçeve sunulmuştur. Bu alanda yapılan çalışmalar ile, söz konusu çerçeve zenginleştirilebilir ya da daha edici bir çerçeve oluşturulabilir.

KAYNAKLAR

1. DANTZIG G, FULKERSON D, "Minimizing the Number of Tankers to Meet a Fixed Schedule", Naval Res. Logistics Quart. 1, 217-222, 1954.
2. SAATÇIOĞLU Ö, "Ulaşım Sistemlerinde Yöneyim Araştırması Uygulamaları", Doçentlik tezi, ODTÜ, 1976.
3. ASSAD A, "Modeling and Implementation Issues in Vehicle Routing", Elsevier Science Publisher, pp 7-47, 1988.
4. BODIN L, GOLDEN B, "Classification in Vehicle Routing and Scheduling", Networks 11(2), 97-108, 1981.
5. BODIN L, "Routing and Scheduling of Vehicles and Crews", Ops Res. Vol. 10, No. 2, pp. 63-211, 1983.
6. DESROCHERS M, LENSTRA J.K, SAVELSBERGH M.W, "A Classification Scheme for Vehicle Routing and Scheduling Problems", European Journal of Operational Research, 46, pp 322-332, 1990.
7. DESROCHERS M, LENSTRA J.K, SAVELSBERG M.W, SOUMIS F, "Vehicle Routing with Time Windows", Elsevier Science Publishers, Volume 16, pp. 65-85, 1988.
8. GAVISH B, SCHWEITZER P, SHLIFER E, "Assigning Buses to Schedules in a Metropolitan Area", Operation Research, Vol. 5, pp 129-138, 1978.
9. RIBERIO C.C, SOUMIS F, "A Column Generation Approach to the Multiple-Depot Vehicle Scheduling Problem", Operation Research, Vol. 42, No. 1, 1994.
10. TOYVA Y, "Four Heuristic Solution Procedures to the Travelling Salesman Problem and Application to the Multi-Depot Vehicle Routing Problem", Master tezi, Boğaziçi Üniversitesi, 1983.
11. KESKİN A, "Toplu Taşıma Sistemleri", İTÜ, 1992.
12. CEDER A, WILSON N.H.M, "Bus Network Design", Trans. Res. Vol. 20 B, No 4, pp. 331-334, 1986.
13. RICHARDSON R, "An Optimization Approach to Routing Aircraft", Transportation Sci. 10, 52-71, 1976.
14. ARTAR A, "Karayolu Yolcu Taşımacılığında Verimlilik ve Performans Ölçümü", Milli Produktivite Merkezi Yayınları:449, 1991.
15. CEDER A, GONEN D, "The Operational Planning Process of a Bus Company", UITP Revue, pp. 207-212, 3/1980.

