

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENİZYOLU TAŞIMACILIĞINDA YOLCU TALEBİNE
BAĞLI TAŞIT ROTALAMA VE ÇİZELGELEME

168358/8

Endüstri Müh. Tekiner KAYA

FBE Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Hayri BARAÇLI

Prof. Dr. Hüseyin Başuğul

Prof. Dr. Ahmet Dursun Alkan

İSTANBUL, 2005

Biliyorum sizi ifade etmekte
kelimelerin kifayetsiz olduğunu...
Sevgili Anne, Baba ve Ağabeyime...



İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	ii
SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTIMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam	2
2. ULAŞTIRMA SİSTEMLERİ.....	6
2.1 Ulaştırma Türleri.....	7
2.1.1 Demiryolu Taşımacılığı	8
2.1.2 Karayolu Taşımacılığı.....	9
2.1.3 Havayolu Taşımacılığı	11
2.1.4 Boruhattı Taşımacılığı.....	12
2.1.5 Denizyolu Taşımacılığı	12
2.1.6 Aktarmalı Taşımacılık.....	13
2.2 Ulaştırma Planlaması	14
2.2.1 Seferlerin Kalkış ve Varış Zaman Çizelgesi.....	17
2.2.2 Kentiçi Ulaşım Sistemi	19
2.2.3 Kentiçi Toplu Taşıma Sistemi	21
2.2.3.1 Sistem Girdileri.....	24
3. DENİZYOLU TAŞIMACILIĞI	25
3.1 Türkiye’de Deniz Taşımacılığı	26
3.2 İstanbul’da Deniz Taşımacılığı.....	27
4. TAŞIT ROTALAMA VE ÇİZELGELEME	33
4.1 Taşıt Rotalaması ve Çizelgesi Problemleri.....	37
4.1.1 Rotalama Problemleri	38
4.1.1.1 Tek Araçlı Rotalama	39
4.1.1.2 Tek Depodan Çok Araçlı Rotalama.....	39
4.1.1.3 Çok Depo / Çok Araçlı Rotalama.....	39

4.1.1.4	Gezgin Satıcı Problemleri	40
4.1.1.5	Süpürme (Sweep) Yöntemi	41
4.1.1.6	Clark-Wright Tasarruf Algoritması	42
4.1.1.7	Modern Sezgisel Algoritmalar.....	44
4.1.1.8	Rota Süresi Sınırsız Rotalama Problemleri.....	45
4.1.1.9	Rota Süresi Sınırlı Rotalama Problemleri.....	45
4.1.1.10	Zaman Pencere Rotalama Problemleri.....	46
4.1.1.11	Eşzamanlı Rotalama ve Çizelgeleme Problemleri.....	49
4.1.1.12	Taşıt Rotalamanın Prensipleri	51
4.1.1.13	Taşıt Rotalama Probleminin Temel Bileşenleri.....	51
4.2	Taşıt Rotalama ve Çizelgelemenin İstem ve Sunu Alanlarına Göre Analizi	52
4.2.1	İstem Alanı	53
4.2.2	Sunu Alanı	58
4.3	Taşıt Rotalama Probleminin Yan Kısıtları	62
4.3.1	Taşıt Rotalama Probleminin Çözümünü Zorlaştıran Özellikler	62
4.3.2	Taşıt Rotalama Problemi İçin Genel Çözüm Stratejileri	63
4.4	Kent içi Denizyolu Yolcu Taşımacılığında Taşıt Rotalama ve Çizelgeleme.....	65
4.4.1	Kent içi Denizyolu Taşımacılığında Zaman Çizelgesinin Önemi	70
4.4.2	Yolculuk (Sefer) Seçimi.....	71
4.4.2.1	Seyir Sıklıklarının Belirlenmesinin Önemi	71
4.4.2.2	Servis Sıklığı ve Rekabet	73
4.4.2.3	Karın En Büyükleyen Servis Sıklığının Belirlenmesi	76
4.5	Modeller	77
4.5.1	Taşıt Rotalama Problemi Genel Matematiksel Modeli.....	78
4.5.2	Model 1	79
4.5.3	Model 2	81
4.5.4	Model 3	83
4.5.5	Model 4.....	86
4.5.6	Model 5	87
4.5.7	Model 6	88
4.5.7.1	Modelleme Yaklaşımı	91
4.5.8	Model 7	99
4.5.9	Modellerin Değerlendirilmesi	100
5.	UYGULAMA.....	105
5.1	Firma Tanıtımı.....	105
5.2	Giriş.....	106
5.3	Mevcut Durum.....	107
5.4	Model	112
5.4.1	Modelin Yapısı	112
5.4.2	Modelin Çözümü	114
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	125
	KAYNAKLAR.....	128
	EKLER.....	130
	ÖZGEÇMİŞ.....	144

SİMGE LİSTESİ

$\lambda_{ij}(c,N)$	N uçuş sıklığında i şehirden j şehrine c ücreti ile uçan yolcu sayısı
τ_{max}	En büyük rotasyon süresi
A1	İleri kollar kümesi
A2	Geri kollar kümesi
A3	Düğüm kolları kümesi
A	Bir ağdaki kollar kümesi
Afm	m. filo ağındaki uygun uçak sayısı
Am	m. filo ağındaki tüm kolların seti
Bn	n. yolcu ağındaki tüm kolların seti
BYi	Bir i görevi başlangıç yeri
BZi	i görevi başlangıç zamanı
CFm	m. filo ağındaki tüm çevrim kollarının seti
Coj	Depodan j müşterisine bir yolculuk yapmanın maliyeti
Cij	i konumundaki müşteriden j müşterisine bir yolculuk yapmanın maliyeti
C_{ij}^m	m. filo ağındaki maliyet kolu(i,j)
DOC	Sefer başına doğrudan (direkt) operasyon maliyeti
ei	Yararlılığın rastlantısal ya da açıklanamayan kısmını oluşturan bir rastgele değişken
FF	Tüm uçuş kollarının seti
G(N,A)	(N) düğümler kümesinden ve (A) kollar kümesinden oluşan bir ağ
h	Hedef düğüm
IC	Dolaylı maliyet
IOC	Yolcu başı dolaylı (endirekt) operasyonel maliyet
k	Kaynak düğüm noktası
K	Toplam taşıt sayısı
Km	m. filo ağının uçak kapasitesi
L	Alan vergileri
m	Sefer sayısı
M	Tüm filoların seti
Mi	i müşteri noktasındaki talep
n	n. OD çifti
N	Tüm OD'lerin seti
NFm	m. filo ağındaki tüm düğümlerin seti
NPn	n.yolcu ağındaki tüm düğümlerin seti
qk:	k taşıtının kapasitesi
Qa	a. istasyondaki onaylı uçuş kotası
Sa	a. istasyondaki uçuş kollarının seti
SA	Tüm istasyonların seti
Sij	i'yi j'ye bağlama sonucu oluşan toplam tasarruf
T	Zaman aralığı
T_{ij}^n	n. yolcu ağındaki maliyet kolu (i,j)
U_{ij}^m	m. filo ağındaki kol (i,j) akışının üst sınırı
U_{ij}^n	n. yolcu ağındaki kol (i,j) akışının üst sınırı
Xij	(i) ve (j) düğümleri arasında bir ileri kol olup olmadığını gösteren (0-1) tamsayı değişkeni
X_{ij}^m	m. filo ağındaki kol(i,j) akışı

VYi i görevi varış yeri
VZi i görevi varış zamanı
 Y_{ij}'' n. yolcu ağındaki kol (i, j) akışı



KISALTMA LİSTESİ

AHS	Analitik hiyerarşi süreci
D	Yolculuk bitiş yeri (Destination)
DP	Doğrusal programlama
IP	Tamsayılı programlama
İDO	İstanbul Deniz Otobüsleri
MIP	Karmaşık tamsayılı programlama (Mixed Integer Programming)
NP	Polinomial olmayan (Non-Polynomial)
O	Yolculuk başlangıç yeri (Origin)
SP	Set perde (set partition)



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Seferlerin sürekliliğine göre taşımacılık türleri.....	17
Şekil 2.2 Seferlerin kalkış düzenlerine göre taşımacılık türleri.....	18
Şekil 2.3 Bir kentsel topluluşına işletmesi için işletme planı	20
Şekil 2.4 Karar vermenin içsel ve dışsal karmaşıklığı.....	22
Şekil 3.1 İstanbul'da kara, deniz ve demiryolu ulaşım ağırlıkları.....	29
Şekil 3.2 İstanbul deniz ulaşımı yolculuk payları.....	29
Şekil 3.3 İstanbul'daki özel ulaşım araçları	30
Şekil 4.1 Tek araçlı taşıt rotalama.....	39
Şekil 4.2 Tek depodan çok araçlı rotalama	40
Şekil 4.3 Sweep Örneği.....	42
Şekil 4.4 Depodan müşteriye seyahatte ilk durum.....	43
Şekil 4.5 Konumların birbirine bağlandığı ikinci durum	43
Şekil 4.6 Gezin satıcı için çözüm örneği	45
Şekil 4.7 Genel zaman pencerele taşıt rotaları	47
Şekil 4.8 Zaman pencerele bir rotalama problemi.....	48
Şekil 4.9 Bir yol ağında (A-B) ve (B-C) hatları üzerindeki seferler.....	50
Şekil 4.10 Zamana bağılı olarak yolcu talebinde meydana gelen değışim	73
Şekil 4.11 Yolcu akışı – zaman ilişkisi	73
Şekil 4.12 Yolcu isteminin zaman içerisindeki dağılımı.....	74
Şekil 4.13 Yolcu isteminin zaman içerisindeki dağılımı.....	75
Şekil 4.14 Yolcu isteminin zaman içerisindeki dağılımı.....	75
Şekil 4.15 Yığışımli istem eğrisi.....	76
Şekil 4.16 Problemin optimum çözümü	86
Şekil 4.17 Filo akış ağı.....	92
Şekil 4.18 Yolcu akış ağı.....	94
Şekil 4.19 Oluşturulan model ve etkileşimler	103
Şekil 5.1 Mevcut durum şebeke yapısı.....	111

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Kentiçi toplu taşıma sistemleri (işletme ve türlerine göre).....	24
Çizelge 4.1 Taşıt rotalama ve çizelgeleme problemleri için yapısal bir çerçeve.....	54
Çizelge 4.2 Stratejik Rotalama ve çizelgeleme ile ilgili literatür çalışmaları	67
Çizelge 4.3 Yolcu taşımacılığı alanında yapılmış literatür araştırmaları.....	68
Çizelge 4.4 Örnek için görevler	85
Çizelge 4.5 Örnek için (i,j) kol maliyetleri.....	85
Çizelge 5.1 İDO AŞ Boğaz hattında faaliyet gösteren deniz otobüsleri ve özellikleri.....	108
Çizelge 5.2 İskeleler arası zaman matrisi.....	109
Çizelge 5.3 İskeleler arası mesafe matrisi	110
Çizelge 5.4 Mevcut ve geliştirilen durum	115
m	115
Çizelge 5.5 Geliştirilen durum deniz otobüsü rotaları	116



ÖNSÖZ

Taşıt rotalama ve çizelgeleme, günümüzde taşıtlardan/araçlardan en etkin şekilde yararlanabilmesi ve pazarda rekabet avantajı kazanılmasında önemli bir değişkendir. Giderek büyük bir sorun haline gelen İstanbul trafiği ve yine giderek önem kazanan zaman yönetimi, taşımacılıkta bilimsel yöntemlerin kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Özellikle denizyolu taşımacılığının kent için ulaşımında yeteri kadar değerlendirilemediği İstanbul'da, pahalı bir yatırım aracı olan deniz otobüslerinin, daha gelişmiş ve bilimsel modeller ile kontrol edilmesi ve yönetilmesi gerekmektedir.

Çalışmanın amacı, İDO AŞ tarafından, mevcut ve yeni açılacak hatların ve bu hatlarda uygulanacak sefer ve ücret tarifelerinin bilimsel metotlar ışığında incelenerek, karar vericiler için sağlıklı bir platform oluşturulmasıdır şeklinde tanımlanmıştır. Bu bağlamda, denizyolu taşımacılığında faaliyet gösteren İDO AŞ'nin mevcut zaman çizelgeleri, taşıt rotaları ve deniz otobüsü filosu incelenmiş ve mevcut talebi karşılayabilecek yeni taşıt rotalarının ve zaman çizelgelerinin belirlenmesine yönelik matematiksel bir model geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, beni destekleyen Hocam Yrd. Doç Dr. Hayri BARAÇLI'ya, her çalışmamda her konuda ve her zaman fikirlerini ve yardımlarını esirgemeyen fedakâr Anne ve Babama; bilgi, kaynak ve deneyimlerinden yararlandığım çok kıymetli Hocam Sn. Prof. Dr. Aydın EREL Bey'e ve Eşi Sn. Dr. Rezzan EREL Hanım'a, çok değerli arkadaşım Endüstri Mühendisi Kıvanç AYDIN'a ve İDO AŞ. çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Endüstri Müh. Tekiner KAYA

ÖZET

İstanbul'un yoğun trafik yükünü azaltmak için kara ulaşım talebinin deniz ulaşım talebine çekilmesi alternatif çözümlerden birisi olarak görülmektedir. bu amaç için düşünülen denizden hızlı yolcu taşımacılığı çerçevesinde deniz otobüslerinin etkin, verimli ve rasyonel bir şekilde işletilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, önce taşımacılık sektörü ve denizyolu taşımacılığı ile ilgili bilgilerin verilmesi amacıyla denizyolu ve taşımacılık sektörü genel hatları ile analiz edilmiş, ardından İstanbul Kentiçi Boğaz Hattı taşımacılığında, taşıt rotalama ve çizelgeleme problemlerinin özellikleri belirlenmiş ve mevcut O-D çiftlerinin daha rasyonel bir şekilde karşılanması amacıyla geliştirilen matematiksel model sunulmuştur. Mevcut durumda, manuel bir şekilde tecrübelerle bağlı olarak belirlenmiş olan deniz otobüsleri rotaları ve çizelgelerinin etkin olmaması ve bilimsel bir metodun uygulanması gerekliliği, bu çalışmanın yapılmasındaki temel amacı tanımlamaktadır.

İlk bölümde, çalışmanın amaç ve kapsamı genel hatları ile belirtilmiş olup, tezin ilgili bölümleri hakkında bilgi verilmiştir. Taşıt rotalama ve çizelgeleme problemlerinin yapısı ve özellikleri ile ilgili bilgilerin verildiği ilk bölümün ardından, ulaştırma istemlerinin oluşumu ve özellikleri ikinci bölümde incelenmiştir. Ulaştırma türleri ve zaman çizelgelemesinin yer aldığı ikinci bölüm kentiçi ulaşım sistemleri ile son bulmaktadır.

Üçüncü bölümde, denizyolu ulaşımı genel hatları ile incelenmiştir. Denizyolu taşımacılığının bugünkü durumu, özellikleri, İstanbul boyutu ile birlikte ifade edilmiştir.

Dördüncü bölümde, taşıt rotalama ve çizelgeleme problemleri, taşımacılık türü göz önünde bulundurulmaksızın ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu problemlerin yapısal özellikleri, karakteristikleri verilmiş, ulaştırmanın talep ve sunu alanlarına göre analizi yapılmıştır. Durumsal yaklaşımının geçerli olduğu taşıt rotalama ve çizelgeleme problemleri için, zaman çizelgelerinin ve talep yapılarının önemi bu bölümde belirtilmiştir.

Beşinci bölümde, İstanbul boğaz hattında deniz otobüsleri ile yolcu taşımacılığı için, bu tez çalışması kapsamında geliştirilen matematiksel model tanıtılmakta ve problemin çözümü için geliştirilen algoritma sunulmaktadır.

Altıncı ve son bölümde ise, elde edilen sonuçlar ile birlikte çalışma sürecinde ortaya çıkan yeni araştırma alanları ve ilgili öneriler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Deniz taşımacılığı, rotalama, çizelgeleme, matematiksel model, yolcu taşımacılığı.

ABSTRACT

One of the solution alternatives for reducing heavy traffic in İstanbul is to move land transportation demand to sea. In order to achieve this, the sea buses should be used (managed) effectively, efficiently and rational on the fast sea transportation system perspective.

At this study, firstly, to give information regarding the sea transportation sector and seaway transportation, the seaway and the sea transportation sector are analyzed in general. After that, the characteristic of vehicle routing and scheduling problems are determined on İstanbul Bosphorus Urban Sea Transportation. Depending on this, in order to manage the current O-D pairs rational, the mathematical model is presented (developed). In current situation, the routes and schedules are developed through experiences. So, the main objective of this thesis is defined as to develop scientific methods because of the programming, planning and the scheduling activities are not efficient and the lack of using scientific methods.

The first chapter is devoted to summarize the goal and content of the study and it gives information about the other chapters. After the first part that includes the characteristics and structure of the vehicle routing and scheduling problems, the transportation system is analyzed in second part. This part that includes transportation types (modes) and time schedules ends with urban transportation systems.

In the third chapter, the sea transportation is analyzed in general. It is argued that the urban sea passenger transportation's today's and attributes related to İstanbul.

In the fourth part, the vehicle routing and scheduling problems is analyzed and detailed without taking into account the transportation modes. The characteristics and structural of the vehicle routing and scheduling problems are given and analyzed with respect to demand and supply. The importance of the demand structure and time schedules is mentioned at this part.

In the fifth part, the developed mathematical model is introduced and the solution algorithm is presented for İstanbul Bosphorus passenger transportation by sea buses.

The last chapter is dedicated to the conclusions and the future studies and related proposed suggested in this research area

Keywords: Sea transportation, routing and scheduling, mathematical modeling, passenger transportation

1. GİRİŞ

Kentlerimizdeki ulaşım problemleri günden güne artmakta ve kentiçi ulaştırma sistemlerinden yararlanan fertlerin seyahat koşulları ağırlaşmaktadır. Özel araç sahipliği artarken yetersiz altyapı ve yönetim faaliyetlerinden dolayı yollar özel araç trafiğini kaldırmaz hale gelmektedir. Özel araç sahipleri trafikte saatlerini harcayıp, gittikleri yerlerde park problemleri yaşarken, özel aracı bulunmayan yolcular ile araçlarını kullanmayanlar da aynı kaotik ortamda toplu taşıma sistemlerine yönelmektedirler. Özel araçların yarattığı bu olumsuzluklara beraberce maruz kalmaktadırlar. Bununla birlikte, ülke nüfusunun yaklaşık %20'sini barındıran ve yıllık nüfus artışının %5, kara ulaşım vasıtalarındaki artışın da yıllık %18 olduğu, her gün yaklaşık 500 yeni aracın trafiğe çıktığı İstanbul'da, bu artışları karşılayacak kara ulaşım planları ve alt yapı aynı hızda geliştirilememiştir. Diğer taraftan şehrin tarihi dokusunun ve imar yapısının kara ulaşımı için geliştirilen alt yapı projelerinin uygulanmasını büyük ölçüde kısıtlamakta olması, problemin çözümünü zorlaştırmaktadır. Hal böyle olunca, kentiçi toplu taşımacılığın gereken önem ve dikkatin verilmesi kaçınılmaz olmuştur. Bunun için toplu taşımacılığı çekici hale getirmek, problemlerin çözümü için bir kapı aralanmış olacaktır.

Ulaşım probleminin çözümünde en etkili alternatif olan toplu taşıma sistemleri konusundaki yanlış tercihler ile siyasi ve ekonomik nedenlerden dolayı, çağdaş toplu taşımacılık ağı yapılandırılmamıştır. Günümüze kadarki süreçte, alt yapı dikkate alınmadan, toplu taşımacılıkta öncelik, lastik tekerlekli araçlara verilmiştir. Toplam araç sayısının %75'ini özel otomobillerini oluşturduğu ve bu araçların hızlı bir şekilde arttığı İstanbul'da bu tür bir tercihle çağdaş ve hızlı bir toplu taşımacılık mümkün görülmemektedir. Bu nedenle ilk etapta ele alınabilecek diğer bir alternatif ise, toplu taşımacılık önceliğinin denizyolu ve raylı sisteme verilmesi gerekliliğidir.

Ulaştırma ile ilgili problemler yapıları gereği, bir sistem yaklaşımı içerisinde ele alınırlar (Yardım, 2002). Çünkü bu sistemler, çok-türlü (multi model), çok sektörlü (multi sectoral), çok sorunlu (multi-problem) ve disiplinlerarası bir yapı arz etmektedir. Bir sistemin hedef ve amaçlara uygun olarak kurulabilmesi, sistem içerisindeki problemlerin çözülebilmesi, değişik koşullarda sistemdeki muhtemel değişimlerin tahmin edilebilmesi ve sistemde değişiklikler yapılabilmesi için, o sistem ve çevresini oluşturan bileşenlerin (değişkenlerin) birbirleriyle olan ilişki ve etkileşimlerinin yanı sıra, sistem çıktılarına olan etkilerinin de araştırılması gerekmektedir.

Bu çerçevede, sadece toplulaşıma araç sayısını arttırmanın yeterli olmadığı, bunların sistematik bir şekilde yönetilmesi gereği de şarttır. Taşıtların güzergahları (rotasal stratejiler), zamansal stratejiler, işletmesel amaçlar, hizmet türü stratejisi ve müşteri tercihleri, toplu taşımacılıkta çok iyi analiz edilmesi ve yapılandırılması gereken bütünleşik bir durumdur. Etkin bir taşıma sisteminde ele alınması gereken rotasal stratejiler de, en az sayıda taşıt ile müşteri gereksinimlerini en hızlı şekilde karşılayabilecek, zamanında ve yerinde taşımacılık yapabilmeyi amaçlamaktadır.

Taşıt rotalama ve çizelgeleme taşımacılıkta iki kritik faaliyettir. Bu iki öge genellikle taşıtların etkin bir şekilde kullanılması, çizelgelerinin oluşturulması ve personelin etkin bir şekilde yönetilmesinde önemli rol oynamaktadır. Burada amaç, taşıtların karlılığının sağlanması, verilen hizmet düzeyi ve rekabet edilebilirliktir (Yan vd., 2001).

1.1 Amaç ve Kapsam

Ülkemizin üç tarafının denizle çevirili olmasına karşın, denizden pek çok alanda yararlanabileceğimiz halde çeşitli bazı nedenlerle yararlanamadığımız ve denizin önemini hala anlayamamış bir ülke olduğumuz gerçeği ülkemiz açısından gerçekten bir kayıptır.

İllerimizin yaklaşık %40'ının deniz kıyısında olması ve deniz taşımacılığının çok ucuz bir taşımacılık şekli olmasına karşın, ülkemizde denizcilik ve deniz ticareti yeterince gelişmemiştir. Türkiye dış ticaretinin %95'ini denizden yapmaktadır. Kalkınma planları dış ticaretimizin %50'sinin Türk bayraklı gemilerle yapılmasını öngörmekteydiler. Türk gemileri ile yapılan taşımacılık ancak %20 olarak gerçekleşmektedir. (Muş, 1992)

Diğer taraftan İstanbul'un coğrafi yapısı, toplu taşımacılıkta denizyolunun kullanılmasını son derece olanaklı kılmaktadır. Ancak, şehri 3 bölgeye ayıran 31,5 km.lik Boğaz, 7,3 km.lik Haliç ve 75 km.lik Marmara kıyı şeridi potansiyeli etkin bir şekilde toplu ulaşım hizmetine sokulmadığından, toplam taşımacılık içinde deniz ulaşımının payı giderek azalmış ve % 2,50 seviyesine gelmiştir. Bunun en önemli nedenlerinde birisi olarak, boğaz köprülerindeki bireysel taşımacılık artışı gösterilmektedir. .

Türkiye'de ulaştırma alanındaki bilimsel araştırmalar ile, uygulamaya yönelik olarak yapılan çalışmalar, genellikle ağ tasarımı, yol alt ve üstyapısı, depolama ve dağıtım merkezleri tasarımı ve trafiğin denetimi konuları üzerinde yoğunlaşmıştır ve yoğunlaşmaktadır.

Taşıt rotalaması ve çizelgelemesi, özellikle 1970'li yıllarda çıkan petrol krizi ile birlikte önem kazanmış ve günümüze kadar pek çok bilim adamının ilgi alanına girmiş bir konudur. Zira, taşımacılık yan işletmelerin, bir yandan varlıklarını sürdürebilmek ve kıyasıya bir rekabet ortamında Pazar paylarını yükseltebilmek için çaba gösterirlerken, diğer yandan var olan kaynaklarını en etkin düzeyde kullanarak, sürekli artan enerji, işçilik vb. maliyetleri de, en az düzeyde tutmaya çalışmaları gerekmektedir. Bu konu, sunulacak hizmetin daha ucuza mal edilmesi ve ülke kaynaklarının etkin kullanılarak ulusal ekonomiye katkıda bulunulması açılarından, hem yolcu ve yük sahiplerini, hem de ülkeyi yakından ilgilendirmektedir. (Erel, 1995)

Yolcu taşımacılığının halen büyük çoğunlukla karadan yapılması, özellikle İstanbul gibi deniz potansiyeli bir hayli yüksek olan bir şehir için oldukça şaşırtıcıdır ve bu şehirde denizyolu taşımacılığının geliştirilmesi gerekliliği, taşıt rotalama ve çizelgeleme konusunun yeterli düzeyde araştırılmamış olması, bu çalışmanın yönlendirilmesinde etkili olmuştur.

Literatür çalışmaları sırasında, bu konudaki bilimsel çalışmaların temelini 1980'li yıllara dayanmakta olduğu, ancak büyük boyutlu problemlerin çözüm yöntemlerinin, bilgisayar teknolojisi ile birlikte gelişme gösterdiği gözlenmiştir. Deniz taşımacılığında ise taşıt rotalama ve çizelgeleme ile ilgili ilk çalışma 1983 yılına dayanmaktadır. Ronen, D.'nin 1983 yılında yapmış olduğu "Cargo Ships Routing and Scheduling: Survey of Models and Problems" çalışması, günümüz rotalama ve çizelgeleme problemlerine ışık tutmuştur. Bundan 10 yıl sonra, Ronen (1993) taşıt rotalama ve çizelgeleme ile ilgili ikinci bir bölüm sunmuştur. Deniz taşımacılığına giderek artan ilgi sonucu pek çok yayın ortaya çıkmıştır. Transportation Science deniz taşımacılığına verdiği önemi arttırmış; son yıllarda bu alanda basılan kitap sayısı artmıştır. Özellikle havayolu firmaları ve denizyolu taşımacılığında meydana gelen hızlı gelişmeler, rotalama ve çizelgelemenin önemini arttırmış ve bu alanda Dusan Teodorovic (1988) tarafından yazılan "Havayolu Yöneylem Araştırması (Airline Operations Research) kitabı, yine Perakis tarafından (2002) ele alınan "Filo Optimizasyonu ve Filo Görevlendirme" (Fleet operations Optimization and fleet deployment"), İngiltere'de yayımlanan "Denizcilik Ekonomisi" ("The Handbook of Maritime Economics and Business") gibi pek çok önemli kitap literatüre kazandırılmıştır. Ayrıca, Jacques Desrosiers, Yvan Dumas, Marius M. Solomon ve François Soumis' in (1993) birlikte yayımlamış oldukları "Zaman Pencere Rotalama ve Çizelgeleme" kitabı da oldukça önemli çalışmaları içeren temel bir bilimsel kaynak niteliği taşımaktadır.

Bu tez çalışmasının iki temel amacı vardır. Bunlardan birincisi, taşıt rotalama ve çizelgeleme problemlerinin çözüm yöntemlerinin ve yaklaşımlarının incelenmesidir. Çalışmanın diğer amacı ise, İstanbul boğaz hattında (kentiçinde) faaliyet gösteren deniz otobüsü filosunun mevcut rotalarının ve çizelgelerinin incelenerek, sistemin daha rasyonel bir şekilde yönetilmesi için, bir taşıt rotalama ve çizelgeleme modelinin geliştirilmesidir. Bu amaçla, belirlenmiş olan kısıt ve gelişmeler ışığında, kentiçi denizyolu ulaşımında daha etkin, daha hızlı ve ucuz bir ulaşımın sağlanabilmesi amacı ile, İDO AŞ'ye bağlı olarak hizmet veren deniz otobüslerinin rota ve çizelge analizleri yapılmış ve optimum (en ucuz) çizelgenin oluşturulabilmesi için, matematiksel bir model ortaya konmuştur.

Taşıt rotalama ve çizelgeleme problemlerinin çevre ile etkileşimi yüksek problemler olması dolayısı ile tez çalışmasının 2. bölümünde, ulaştırma sistemleri ve taşıt rotalama ve çizelgeleme problemlerinin çevre ile olan etkileşimi incelenmiştir. Yolcu taşımacılığı planlamasında hizmet sunan bir işletmenin karar vermesi gereken konular üzerinde durulduktan sonra, ulaştırma sistemi içerisinde yer alan ulaştırma türleri ele alınmıştır.

Üçüncü bölümde, denizyolu ulaşımı genel hatları ile incelenmiştir. Denizyolu taşımacılığının bugünkü durumu, özellikleri, İstanbul boyutu ile birlikte ifade edilmiştir.

Dördüncü bölümde ilk olarak, taşıt rotalama ve çizelgeleme literatürüne genel bir bakış yapılmış, ardından denizyolu taşımacılığında taşıt rotalama ve çizelgelemeye değinilmiştir. Daha sonra, taşıt rotalama ve çizelgeleme problemleri yapısal olarak incelenmiş, ulaştırmanın talep ve sunu alanlarına göre taşıt rotalama ve çizelgeleme problemlerinin analiz edilmesini sağlayan bir yapısal çerçeve oluşturulmuştur. Burada amaç, taşıt rotalama ve çizelgeleme problemlerinin yapısal özelliklerini belirleyebilmektir. Daha sonra taşıt rotalama ve çizelgeleme problemleri analiz edilmiştir. Bu bölümün bir alt başlığı olarak ele alınan yolcu taşımacılığında taşıt rotalama ve çizelgeleme alt başlığında ise, yolcu taşımacılığında taşıt rotalama ve çizelgeleme problemlerinde zaman çizelgesinin öneminden bahsedilmiş, yolculuk sefer seçiminde etkili faktörler incelenmiştir. Ardından, yolcu isteklerinin (zaman boyutu içerisinde) yerine getirilebilmesi amacıyla, seyir sıklıklarının belirlenmesi ve hareket süreleri (frekansları) incelenmiştir. Son olarak, taşıt rotalama ve çizelgeleme için günümüze dek geliştirilmiş olan belli başlı model tipleri sunulmuş ve denizyolu işletmeciliğinde kullanılabilirlikleri değerlendirilmiştir.

Beşinci bölümde, İstanbul boğaz hattında deniz otobüsleri ile yolcu taşımacılığı için bu tez çalışması kapsamında geliştirilen model tanıtılmakta ve problemin çözümü için geliştirilen

algoritma sunulmaktadır. Oluşturulan RS-SERÇİM modeli, bir seferler kümesinin en küçük maliyetle gerçekleştirilmesini sağlayan, tümüyle normatif yapıdaki eşanlı bir taşıt rotalaması ve çizelgelemesi modelidir. Modelin çözümü LINGO programı ile gerçekleştirilmiştir.

Son bölümde ise, bu tez çalışması ile elde edilen sonuçlar ve deniz yolu taşımacılığında, rotalama ve çizelgelemenin yanı sıra denizyolu taşımacılığındaki çalışmaların sürdürülmesi amacıyla araştırmacılara bazı yol gösterici öneriler sunulmuştur.



2. ULAŖTIRMA SİSTEMLERİ

UlaŖtırma, yolcu veya yüklerin zaman ve mekân faydası kazandıracak Ŗekilde yer deęiŖtirmesini sağlayan bir hizmettir. Ve lojistik yönetiminin önemli bir fonksiyonudur. UlaŖtırma Ŗeklinin seçimi güzergâh seçimi, taşıyıcıların seçimi, taşıma sistemlerinin önceden belirlenmiş noktalarda kombinasyonu, dağıtım performansı, ürün/hizmetlerin yerlerine ne zaman ulaşacağı gibi ulaŖtırma sistem sorunları, ulaŖtırma yönetiminin işlevleri olup, müşteri tatmini ve ulaŖtırma maliyetleri üzerinde etkili olan unsurların tümünü etkilemektedir.

Menheim (1979) ulaŖtırma sistemini, “insan ve eşyaların belirli ve iyi tanımlanmış bir Ŗekilde ulaşım ile ilgili tüm fiziksel, sosyal, ekonomik ve kurumsal bileşenlerin bir araya getirilmesi ile oluşan küme” olarak tanımlamaktadır. Bu sistemin, yol ağı, taşıt filosu, işletme, terminaller gibi alt sistemleri vardır. UlaŖtırma sistemi ile en çok etkileşimi bulunan çevre bileşenleri: arazi kullanımı, nüfus yoğunluğu ve karakteri, sosyo-ekonomik yapı, topografik ve jeolojik yapı, iklim koşulları, ekolojik yapı, ülke ve bölgelerin idari yapıları vb.dir. ulaŖtırma sistemi, çevresini önemli ölçüde etkileyen ve denge sorunları yaratan sistemlerden birisidir.

UlaŖtırma sisteminin oluşumu, değişimi, gelişimi ve performansı, sistem girdilerine göre belirlenmektedir. Bu girdiler;

- Ulaşım sistemi,
- Yasa ve yönetmelikler,
- Yönetimsel kararlar ve
- Kaynaklar ve kısıtları

olmak üzere dört grupta incelenebilir (Erel, 1995).

UlaŖtırmanın temel amacı, ürünleri, başlangıç noktasından istenilen noktaya zaman finans ve çevresel kaynakları minimum düzeyde kullanarak ulaşmaktır. UlaŖtırma, üretim noktalarını işletmeleri ve pazarı bir arada tutar. Alıcıyla satıcıyı birbirine bağlar ve işletme birimleri arasında koordinasyonu sağlar. (Hilkın,2002)

UlaŖtırma sistemleri, bir lojistik tedarik zincirindeki, bir Ŗirketin müşterilerini, yarı mamul tedarikçilerini, tesisleri, depoları ve diğer belli noktalardaki üyeleri birbirine bağlayan fiziksel bir zincir halkasıdır. Lojistik sistemdeki belli yerleşmiş noktalar, lojistik hattındaki malzeme kısını durduran bazı aktivitelerin olduğu yerlerdir. UlaŖtırma Ŗirketleri sadece bu belli yerleşmiş noktalardaki tesisleri birbirlerine bağlayarak gelir elde etmezler aynı zamanda bu

tesislerdeki operasyon maliyetleri de onların gelirlerini oluşturur. (Coyle, Bardi, Langley, 1996)

Ulaştırma, tüketim, depolama ve üretim arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Aynı zamanda ürüne/hizmete bir katma değer sağlamaktadır. Etkin taşıma metotlarının varlığı, ticarete ve lojistikteki yükselen küreselleşmeden dolayı 20.yy lojistiğinin omurgasını oluşturmaktadır. Bu önümüzdeki birkaç yüzyıl daha devam edecektir. Küresel lojistik ağını desteklemek için gerekli taşıma endüstrisinin temel ihtiyaçları düşük maliyet, transit süresini azaltma, zamanında teslimat, transit süresinde az farklılıklar, düğümler arası taşımanın (kombine taşımacılık) sorunsuz sağlanması, minimum gecikme, hasar ve kayıp ve depolama, elleçleme ve teslimat gibi diğer opsiyonların sağlanmasıdır. (Kasilingam, 1998)

Ulaştırma sektörü ekonomik faaliyetler içinde yer almasına rağmen, aynı zamanda değer yaratan bir faaliyet olmasından dolayı ekonomiye dolayısıyla tasarrufa büyük önem verilmesini gerektirmektedir. Bir taraftan pahalı sistemler yerine daha ucuz sistemlere, aynı şekilde pahalı olan yakıtlar yerine ucuz yakıtlara doğru tercihler yaparken, öbür taraftan faaliyetlerde maliyetleri yükselten her türlü girdide de azami tasarrufa riayet etmek gerekmektedir.

Ulaştırma, firma birimleri arasındaki temel bağ olduğu için lojistiğin de temel konusudur. Zaman ve yer uygunluğu problemlerinin anahtarı taşımadır. Üretim ekonomilerinin ve günümüz rekabet şartlarının gereği olarak firmaların fonksiyonlarını taşıma olmadan sürdürmeleri mümkün değildir. (Bowersox vd.,1996)

2.1 Ulaştırma Türleri

Mal ve hizmetlerin bir yerden bir yere taşınmasında kullanılan taşıtların seçimi;

- Taşınacak malın türüne
- Hukuki kaidelerine
- Taşıma ücretlerine

bağlı olarak değişir. Ayrıca taşıma aracının seçimi; taşıma giderinin taşınan malın satış fiyatına olan etkisine, taşıma araçları arasındaki rekabetin derecesine, endüstrideki pazarlama ve üretim şekillerine ve taşınacak malın toplam tonajına bağlıdır.

Farklı bir sınıflandırmaya göre ise ulaştırma sistemleri üç kategoriye ayrılmaktadır:

1) Kara ulaştırması:

- Karayolu ulaştırması,
- Demiryolu ulaştırması
- Boru hatları ulaştırması

2) Deniz ulaştırması

3) :Hava ulaştırması

(Tunçbilek, 2005)

Tür seçim problemi, bir yükün/hizmetin taşınmasında tür kapasitesi, maliyetler, elleçleme ihtiyaçları ve uzaklıkların dikkate alınarak en iyi türün seçimine odaklanmaktadır. Ulaştırma türünün seçiminde birçok faktör etkili olmaktadır: hizmet sıklığı, hız, transit süresi, transit süresi değişkenliği, maliyet, ulaşılabilirlik, güvenlik ve müşteri hizmetleri bunlardan bazılarıdır. Faktör analizi, ağırlıklandırılmış faktör analizi ve analitik hiyerarşik süreci (AHS), tür seçiminde kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemler bir yükün başlangıç noktasından son noktasına kadar taşınmasında tek bir türün kullanıldığını kabul etmektedirler. Oysa problem birden fazla ulaştırma türünü gerektirdiğinde daha karmaşık bir yapıya dönüşmekte ve türler arası (intermodal) transfer maliyeti önem kazanmaktadır.(Kasilingam, 1998)

Belli başlı taşıma şekilleri; demiryolu, karayolu(motorlu araçlar), denizyolu, boru hatları (pipeline), havayolu, bağlantılı taşımacılık, endirekt taşımacılık ve bu sistemlerin entegre bir şekilde yürütüldüğü kombine taşımacılıktır.

2.1.1 Demiryolu Taşımacılığı

Şehirler ve ülkeler arası uzun yollarda çok miktarda kitlesel, ağır, yığma(döktüm), hacimli malların (kömür, kum, mineral, orman ürünleri vb.) taşınmasına olanak verir. Demiryolu ulaştırmasının fiziksel tesisleri hatlar, raylar, tüneller, köprüler, elektrik ve sinyalizasyon sistemleri, çeken ve çekilen araçlardan ibarettir. Sabit maliyetlerin toplam maliyetler içerisindeki payı yüksek olduğundan kitlesel taşımacılığa uygundur. Genellikle birim değeri az olan bu tür malların taşınmasında en ekonomik ve en etkin taşıma şeklidir. Yol ve zaman bakımından fazla dayanıklı olmayan mallar için uygun değildir. Birim başına enerji tüketimi düşüktür. Kötü hava şartlarından etkilenme olasılığı daha azdır. Bir vagonu dolduramayacak kadar az miktar yükler ve kısa mesafeler için ekonomik değildir. Katar kuracak kadar yük tamamlanmadan yükleme yapılmaz. Yükleme faaliyetleri kısıtlıdır.

Demiryolu ulaştırması, teknolojik gelişmeler paralel olarak hızını gittikçe arttıran ve toplu yük taşımaya elverişli bir ulaştırma tipidir. Büyük tonajlı taşımalarda demiryolu taşımacılığı uygun bir taşımacılık tipidir. Ancak altyapı maliyetlerinin fazla olmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle demiryolu taşımacılığından kara ve deniz yolu taşımacılığına doğru bir kayma olmaktadır. (Hılkın, 2002)

Ulaştırma sistemleri içerisinde demiryolları, güvenilirlik ve emniyet açısından diğer ulaştırma tiplerine göre daha üstündür. Aynı zamanda hava Şartlarından en az etkilenen ve en istikrarlı transit süresine sahip ulaştırma sistemidir. Ancak, elik tekerleklerin yaratacağı sarsıntı daha iyi ve bunun sonucu olarak daha pahalı ambalajı gerektirebilir. Bu husus ayrıca spesifik taşıyıcı seçiminde göz önüne alınması gereken bir husustur (Coyle vd.,1996).

Demiryolu taşımacılığı dünyada son dönemlerde köklü bir değişime uğramış olup ağırlıklı olarak diğer taşıma türleriyle entegrasyonunun sağlandığı bir sitem haline dönüştürülmüştür. Özellikle hızlı trenler yeni vagon tipleri ve entegre teknolojilerle birlikte diğer taşımacılık türlerine alternatif olarak sunulmaktadır.

2.1.2 Karayolu Taşımacılığı

Günümüzde karayolu taşımacılığı ağırlıklı olarak tırlar ve otobüsler aracılığı ile yapılmaktadır. Karayolu taşımacılığı iklim ve coğrafi etkenler yanında, sosyo-politik durumlardan da etkilenmektedir. Örneğin İsrail'den geçen bir tırım/otobüsün, Arap ülkelerinden geçiş izni alması imkansıza çok yakın bir durumdur. Savaş, anarşik olaylar, doğal afetler vb. yine kara taşımacılığını etkilemektedir. Ayrıca herhangi bir sınırdan geçiş için hazırlanacak dokümanlar, yaşanan gecikme ve maliyet artışını pekiştirici bir etki yapmaktadır. .

Karayolu eşya taşımacılığı, ücret karşılığında eşyanın bir yerden diğer bir yere taşınmasını karayolu ile sağlayan ve taşımacı ile gönderici arasında bir sözleşme yapılmasını gerektiren bir taşıma Şekli olarak tanımlanmaktadır. Buna göre karayolu taşımasının dört temel boyutu bulunmaktadır:

- Taşınacak eşyanın/yolcunun var olması
- Eşya/yolcu taşıma işinin üstlenilmesi
- cret karşılığı olması ve
- Taşıma türü olarak karayolunun belirlenmesidir

Karayolu ulaştırması, 2. Dünya Savaşının bitmesinden sonra hızla genişlemiştir. Motorlu

taşıyıcılar endüstrisinin önemli bir derecede hızla büyümesi kapıdan kapıya taşımacılık operasyonlarında hız ve yetenek sayesinde sonuçlanmıştır (Bowersox vd.,1996).

Mesafe başına taşınan yük kıyaslaması yapıldığında, karayolu taşımacılığının ortalama olarak demiryolundan 5, denizyolundan 25 kez pahalı olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak sistem yaklaşımı içinde alınacak bir lojistik karar olarak bu kıyaslamayı sadece bu boyutu ile yapmak hatalıdır. (Bowersox, Closs, 1996)

Karayolu taşımacılığının çeşitli avantajları olmasına karşın, aşağıda belirtilen bazı önemli nedenler dolayısı ile yarattığı sorunlar da vardır:

- **Çevre Kirliliği:** Büyük şehirlerde insanlara nefes aldirmayan ve içinde bir çok zehirli gaz bileşimi olan egzoz dumanı hava kirliliğinin en önemli nedenlerindendir.
- **Toprak Kaybı:** Otoban yapımında demiryoluna oranla iki kat daha fazla arazi kamulaştırılmaktadır. Bu, hem maliyeti yükseltmekte hem de verimli tarım arazilerinin kaybına yol açmaktadır. (Türk Trafik Vakfı)
- **Enerji Verimliliği:** (Karayolu taşıma maliyeti bazı mal gruplarında demiryollarına göre 3 kat fazladır) Otobanda tüketilen enerji demiryollarına oranla 2-5 misli fazladır. Karayollarında kullanılan araçların eski ve yeni model olmaları yakıt verimliliğini etkileyen diğer önemli bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır. 1 ton malı 1 km. götürebilmek için yeni kamyonlara nazaran eski modeller 1,5-2 .5 misli daha fazla enerji gerektirmektedir. Araçların daha bakımsız olmaları, kötü yol şartları ve trafik karmaşası verimliliği azaltan diğer faktörler arasında sayılabilir.
- **Zaman Kaybı:** Ülkemizde kent dışı ana yollarda ağır taşıt oranı %60, Avrupa'da ise bu oran %25'in altındadır. Trafiğin karayollarına yığılması trafik sıkışıklığına yol açmaktadır. Bu karmaşa insanların işlerine gecikmelerine ve işlerin aksamasına neden olmaktadır. Ayrıca, bu olay yüzünden işletmelerimiz mal ve hizmetlerin pazarlara ulaştırmada zorluk çekmekte, zamanında yapılmayan teslimatlardan dolayı sıkıntılar yaşanmaktadır. Trafik karmaşasının yarattığı psikolojik bozukluklar, çalışanların iş verimliliğini de olumsuz etkilemektedir. Oysaki denizyolları ile yapılacak taşımacılığı (özellikle İstanbul'da), karayollarında rastlanan trafik sıkışıklığını büyük oranda azaltacaktır. Sıkışıklığın azaltılması ile çalışanların verimliliğinin azalması ve ulaşım zamanları sonucu oluşan ekonomik, toplumsal ve psikolojik maliyetler düşecektir.
- **Trafik Kazaları:** 2004 yılında İstanbul'da meydana gelen trafik kazalarının toplam aylık maliyeti 13 milyon 775 YTL'dir. Bu kazalar göstermiştir ki, karayolu çok fazla ulaşım

güvenliğine sahip değildir. Zira DİE verilerine göre, trafikte seyir halinde kaza yapma olasılığı yaklaşık 1/400'dür. Bu hem karayollarında seyahat eden insanların hayatını sokmakta hem de taşımacılık sektöründe faaliyet gösteren işletmelerimize maddi zararlar vermektedir. Karayollarında meydana gelen kazalar sonucu çok sayıda insan ölmekte veya sakat kalmakta ve netice olarak da değerli beyinlerimiz yok olmakta ve manevi ülke kaynakları israf edilmektedir. (Tunçbilek, 2005). İngiliz Ulaştırma Bakanlığı yapmış olduğu bir araştırmada; "her sene bu ülkede meydana gelen 5000-6000 trafik kazasının yıllık bazda maliyetinin 1,3 milyar dolar olduğunu açıklamıştır. Motorlu taşıtların sebep olduğu kazaların maliyetinin GSMH'ya oranı Fransa'da %2,4; Almanya'da % 2,6; :Avustralya'da %3; ABD'de %8 olduğu hesaplanmıştır.

- **Dışa Bağımlılık Yaratın Pahalı Bir Sistemdir:** Her yıl petrol, otomobil, lastik ve yedek parça için milyonlarca dolar ödenmektedir. Mevcut karayolu ulaşım sistemi son derece pahalı ve dışa bağımlıdır. Bakım ve onarım giderleri yüksek, işletme maliyeti fazla, ekonomik ömrü kısadır (Türk Trafik Vakfı)

2.1.3 Havayolu Taşımacılığı

En yeni fakat en az kullanılan ulaşım türü havayolu taşımacılığıdır. Havayolu taşımacılığının en önemli avantajı ise hızıdır. Havayolu ile deniz aşırı kargo ve yolcu taşımacılığı diğer taşıma biçimleriyle karşılaştırıldığında günlerce yolculuk süresi sadece birkaç saate düşmektedir. Maliyetli olmasına karşın, havayolu taşımacılığının hızı, kimi durumlarda oldukça avantajlı olabilmektedir (Bowersox vd., 1996).

Havayolu taşımacılığının ana işlevi yolcu nakliyatıdır. Yük nakliyatı ise süratli bir gelişme gösterememektedir. Hava yolu taşıyıcılarının tamamına yakını genel taşıyıcılarıdır. İki nokta arasındaki mesafeyi en kısa yoldan ve en hızlı kat eden taşıyıcılar olmakla birlikte, erişebilirlikleri hava alanlarıyla sınırlıdır. Ayrıca taşıma ücretleri çok yüksektir. Havayolu taşıyıcılarının maliyet yapısını sabit maliyetlerle orantılı yüksek değişken maliyetler oluştururlar doğal ulaşım ortamının maliyeti yoktur.

Havayolu taşımacılığı sürat avantajı nedeniyle acil talepler için bir kurtarıcıdır. Ancak acil durumlarda bile seçim yapılmadan önce en büyük dezavantajı olan maliyeti göz önüne alınarak seçim karan verilmelidir. Ton-mil başına demir yolundan 20 kat karayolundan en az 3 kat daha pahalıdır. Hava koşullarından en çok etkilenen yol olması nedeniyle hava yolu taşımacılığının güvenilirliği yüksek değildir.

Havayolu şirketlerinin maliyet yapısı karayolu maliyet yapısı ile aksi yönde sabit maliyetlere

oranla yüksek değişken masraflardan oluşur. Karayolu ve denizyolu taşıyıcılarına benzer olarak havayolu şirketleri de sabit tesislerin yatırımını yapmazlar. Terminaller devlet tarafından yapılır ve kullanımı için sigorta ve havaalanı kiralari ödenir ve bu masraflar değişkendir. Ekipman giderleri oldukça yüklü olmalarına rağmen yine de toplam maliyetin küçük bir oranını oluşturur (Chopra vd.,2000).

2.1.4 Boruhattı Taşımacılığı

Boruhattı, özellikle ham petrol, benzin, fuel oil, gazyağı, doğal gaz gibi sıvı ve gaz maddelerin kaynaktan uzak mesafelere (pazara) kesintisiz taşınmasında önemli rol oynamaktadır. Son zamanlarda hacimli katı maddelerin (pnömomatik) taşınması konusunda uygulamalar gelişmeye başlamıştır. Boruyolundaki sabit tesisler, borular, pompalama istasyonları, depolama tankları ve arazilerdir. Boru hatlarıyla taşımacılık, ABD ile bazı gelişmiş ülkeler bazı sosyalist ülkeler dışında, yakın zamanlara kadar üzerinde yeterince durulmayan konulardan biridir. Bu taşımacılık türü makro lojistik ya da fiziksel dağıtım içinde önemli bir taşımacılık türü olarak yer alır. Dağıtım planlaması en iyi yapılabilecek, uzmanlık gerektiren bir taşıma yöntemi olan boru hattı taşımacılığının tek sakıncası, boru hattının hırsızlık ve sabotaja karşı korunmasındaki güçlüktür ki, bu da alınabilecek bazı önlemlerle çözülebilir.

Boru hattı maliyet yapısı tren yollarına benzer şekilde yüksek sabit maliyet ve düşük değişken maliyetten oluşur. Hatta terminal ve pompalama istasyonuna yapılan yatırımlar bu maliyet yapısının oluşmasına katkıda bulunur. Diğer taşıma türleri nispeten düşük fiyatı petrol boru hatlarını kullanmanın temel nedenidir. Bununla birlikte katı maddeleri taşımaktaki yetersizliği firmanın lojistik sistemindeki kullanılabilirliğim sınırlar (Ballou, 1998).

2.1.5 Denizyolu Taşımacılığı

Denizyolu ile nakliye nehirler, göller, okyanuslar ve denizler olarak çeşitlere ayrılabilir. Denizyolu taşımacılığı sahip olunan deniz, göl ve nehir olanaklarına bağlıdır. Denizyolu nakliyesine güven coğrafi konuma göre değişmektedir. Uluslar arası taşımacılıkta maliyet yaratan bir nakliye yolu olmadığından denizyolu en çok kullanılan nakliye yoludur.

Deniz taşımacılığı demiryolu taşımacılığı gibi yükte ağır pahada hafif eşyanın taşınmasında önemli bir yer tutar. Demiryolu ve karayolundan daha ucuzdur. Liman, antrepo vb. altyapı tesislerinin inşası ve işletilmesi çoğu kez devlete düşer. Son zamanlarda özel firmalar da özel yükleme rıhtım ve limanları yaptırmaya başlamışlardır.

Denizyolu taşımacılığı kıta veya ada ülkeler için çoğu zaman alternatifi olmayan bir ulaştırma tipidir. Bu tür ülkelerde endüstriyel faaliyetler doğal olarak kıyı bölgelerinde yoğunluk kazanmışlardır. Bir yarım ada olan ülkemizin de ticari bağlantılarının çok büyük bir kısmı deniz yolu ile sağlanmaktadır.

Denizyolu ulaştırması diğer taşıma sistemlerine göre çok daha büyük bir öneme sahiptir. Büyük miktarlardaki yükün diğer taşıma sistemlerine oranla çok daha düşük maliyetli bir şekilde ülkeler ve kıtalararası taşınması denizyolu taşımacılığı ile mümkün olabilmektedir.

Ancak denizyolu taşımacılığı mesafe başına taşınan yük/yolcu bakımından avantajlı olmakla birlikte oldukça yavaş bir taşımacılık tipidir. Ayrıca tabiat koşullarından en çok etkilenen ulaştırma sistemidir. Erişebilirlik açısından, kıyı bölgelerine uzak üretim birimleri için kombinasyon gerektirdiğinden genellikle tercih edilmeyebilir (Hilkın, 2002).

Deniz taşımacılığı günümüz ekonomilerinin temel taşıdır. Kıta veya ada ülkeler için çoğu zaman alternatifi olmayan bir ulaştırma tipidir. Bu tür ülkelerde endüstriyel faaliyetler doğal olarak kıyı bölgelerinde yoğunluk kazanmışlardır. Bir yarım ada olan ülkemizin de ticari bağlantılarının çok büyük bir kısmı denizyolu ile sağlanmaktadır.

Denizyolu taşımacılığında her dört tipte taşıyıcıya da rastlamak mümkündür. Özel taşımacılığı nispeten düşük maliyetli yatırım gerektirdi için oldukça yaygındır. Ayrıca günümüzde firmalar kendi içinde denizcilik şirketleri oluşturarak boş dönüşleri de değerlendirmektedir.

Denizyolu taşımacılığı mesafe başına taşınan yük bakımından avantajlı olmakla birlikte oldukça yavaş bir taşımacılık tipidir. Ayrıca tabiat koşullarında en çok etkilenen taşıyıcılar deniz taşıyıcılarıdır. Erişilebilirlik açısından, kıyı bölgelerine uzak üretim birimleri için kombinasyon gerektirdiğinden genellikle tercih edilmeyebilir (Bowersox vd.,1996).

Bir sonraki bölümde denizyolu taşımacılığının Türkiye ve İstanbul'daki durumu incelenecektir.

2.1.6 Aktarmalı Taşımacılık

Nakliyede beş ana mod bulunmaktadır. Bunlar kara, hava, ray, boru, sudur. Taşıma araçları ve taşınabilecek maddelerin özellikleri ve taşıma şekilleri her modda farklıdır. Her modun kendine göre avantajları ve dezavantajları bulunmakta ve bunlar nakliye için modun seçiminde kriterleri oluşturmaktadır. Genel olarak, farklı modların maliyet ve hizmet avantajlarından yararlanabilmek için iki yada daha fazla modun bir arada kullanılmasına

Kombine taşımacılık denilmektedir. Bu tanımın çoğunlukla kabul görmesine rağmen kombine taşımacılık ile ilgili Birleşmiş Milletler Anlaşması'na göre kombine taşımacılık: “ Bir ülkeden kombine taşımacılık operatörü ile alınan ve farklı bir ülkeye taşınması planlanan malların kombine taşıma kontratına göre en az iki farklı taşıma türünün kullanıldığı taşımadır. “ diye tanımlanmıştır. Avrupa Ulaştırma Bakanlarının 1994'te yaptığı konferansta ise kombine taşımacılık “ malların taşınmasında bir ve aynı ünitenin ya da aracın kullanılması ile başarılı bir şekilde farklı taşıma türlerini kullanabilen ve türler arası geçişlerde malların kendilerinin elleçlenmediği taşıma şeklidir “diye belirtilmiştir. Kombine taşıma türleri arasında değişimi sırasında operasyonları için hukuki bir çerçeve kurma çabaları 1911 yılına dayandığına göre hiçte yeni olmayan bu kavram için yukarıda da görüldüğü gibi farklı tanımlar ve açıklamak için farklı terimler kullanılmıştır (zincirleme taşımacılık, çoklu taşımacılık; multimodal transportation, intermodal transportation) ve günümüzde de kullanılmaya devam etmektedir.

Kombine taşıma çok yoğun sermaye gerektiren bir taşımacılık türüdür. Bu yüzden taşıma hizmetinde kullanılacak taşıtlar ve alt yapı pahalı yatırım gerektirmektedir. Kombine taşıma bir zincirdir. Bu zinciri oluşturan baktılardan birinin kopukluğu ya da zayıflığı zincir bütünü etkinliğini azaltmaktadır. Aynı şekilde, kombine taşıma zincirinde bütünleşen altyapı ve organizasyon sistemlerindeki aksama ya da yetersizlik, hizmette kopukluk doğurabileceğinden taşımada hız düşüklüğüne - dolayısıyla da maliyet artışına - neden olabilir. Bu da, hizmeti aksak işleyen ekonomiler için, ağırlığı yatırım büyüklüğüyle doğru orantılı olan ekonomik yük demektir. Başka bir deyişle, aynı yük için konvansiyonel bir taşımayla kombine yani modern taşımanın hizmetteki aksaklıktan ötürü ekonomiye yükleyecekleri külfet bir değildir. Yatırımdaki modern teknolojiye dayalı yoğunluk nedeniyle taşımanın ekonomik külfeti çokluk daha ağırdır.

İstanbul'da yolcu taşımacılığında da sık sık gündeme gelen aktarmalı taşımacılık halen çözülebilmemiş değildir. Karayolu, demiryolu, hafif metro, tramvay ve denizyolunun entegre bir şekilde rasyonel olarak birleştirilmesi ve buna bağlı olarak yapılacak etkin bir çizelgeleme ve planlama ulaşım İstanbul'daki ulaşım sorununu önemli ölçüde azaltacaktır.

2.2 Ulaştırma Planlaması

Ekonomik ve sosyal gelişmelere bağlı olarak, zaman değeri artmaya başlayan ülkemizde havayolu ulaşımını tercih eden müşteri portföyünde bir artış görülmektedir. İç hatlarda taşımacılık yapan ve bu pazarı paylaşmak isteyen yeni şirketler kurulmuştur. Diğer taraftan, ulaşım ağı, taşıt filosu, işletme koşullarında kayda değer bir gelişme göstermeyen demiryolu

alt sistemine olan yolcu istemi azalmakta, planlamadan yoksun bir hizmet sunulduğu için işletmenin zararı artmaktadır. Bu koşullar, taşıma planlamasının ülkemiz için önemini ve gerekliliğini ortaya koymaktadır (Erel, 1995).

Ulaştırma sisteminde birden fazla ve birbiriyle ilişkili problemler ile karşılaşılması, bu sistemin planlanmasını karmaşık bir yapıya büründürmektedir. Nitekim, Lardinois (1985), ulaştırma planlamasını,

- Karar vermede etkileyici ve etkilenen değişik faktörleri olan,
- Birbirinden farklı ve bazen birbirlerine ters düşen amaçları olabilen,
- Farklı düzeylerdeki kararların alınmasını gerektiren,
- Olası karar seçenekleri fazla sayıda olan,
- Karar vermede doğrudan ve dolaylı etkilere sahip, kısıtlayıcı, karmaşık bir çevre içinde başarılması gereken karmaşık bir karar verme süreci olarak tanımlamaktadır.

Ulaştırma planlamasını aşamaları, genel olarak kapsamlarına, ayrıntı düzeylerine, sabit ve gelişen faktörlerine, zaman boyutlarına, finansal maliyetlerine ve karar verme düzeylerine göre, aşağıdaki üç grup içerisinde ele alınmaktadır: (Erel, 1995).

- Stratejik düzey,
- Taktik düzey
- İşletme düzeyi

En uzun vadeli ve en bütünleşik olan stratejik düzeydeki planlamanın kapsamına, genellikle sistem boyutunda ve uzun süreli etkilere sahip olan, sunu politikası, kaynak temini ve büyük boyutlu, uzun süreli yatırım konuları girmektedir. Bu planlama düzeyinde göz önünde bulundurulması gereken konular, tüm ulaştırma sisteminin durumu, ulaşım isteminin nüfus, arazi kullanımı vb. değişkenlere bağlı olarak değişimi, genel ekonomik durumun (sermaye maliyeti, enflasyon oranı, enerji ve işçilik maliyetleri vb.) değişimi, merkezi ve yerel yöntemlerin politika ve stratejileridir. Bu düzeydeki problemler genellikle; (Erel, 1995).

- Ağ tasarımı ve gelişimi,
- Terminal kapasiteleri ve yerlerinin planlaması,
- Pazar seçimi,
- Taşıt filosu ve işgücü kaynağının planlanması

gibi konularla ilgilidir.

Taktik planlama, orta vadeli bir süreci kapsar ve bu düzeyde, kaynak temininden çok,

organizasyonun verimliliğini ve rekabet gücünü arttırmak için, var olan sabit tesis, taşıtlar ve personel gibi kaynakların optimum kullanımı ile ilgilidir. Taktik düzeydeki planlama sırasında, finansal olanakların, taşıt ve personel ile ilgili kısıtların, hizmet düzeyleri, ücretler vb. konulardaki kurumsal kısıtların dikkate alınması gerekmektedir. Bu düzeyde en çok ele alınması gereken problemler;

- Hizmet frekanslarının belirlenmesi,
 - Taşıt ve personel rota ve çizelgelerinin oluşturulması,
 - Hizmet düzeylerinin ve ücretlerinin belirlenmesi,
 - Yol ve taşıtlar ile ilgili bakım planlamalarının yapılması
- konularıyla ilgilidir.

İşletme düzeyi daha çok, önceden öngörülemeyen kaza, taşıt arızası gibi aksaklıklara karşı önlem alınması ve hizmetin sürdürülmesini sağlayacak yeni düzenlemeler getirilmesi ile ilgilidir. İşletmeci optimaliteden çok, hizmetin yerine getirilmesini dikkate almaktadır.

Bahsedilen bu düzeyler, ulaştırma planlaması ve problemlerini dar bir kalıba sokup, şekillendirmeye yönelik değildir. Bunların verilmesindeki amaç, ulaştırma planlamasının hiyerarşi bir karar verme süreci olduğunu ve hiyerarşinin en üst düzeyinde hemen hemen her şeyin değişken, en alt düzeyinde bir çok değişkenin belirlenmiş olduğunu vurgulamak içindir. Elbette, iki sınır düzey arasında yer alan problemlerde, hangi faktörlerin belirli, hangilerinin değişken olduğuna karar verilmesi gerekmektedir

Ulaştırma planlamacıları, daha düşük maliyetlerle daha çok ve daha iyi hizmetler sağlamaları konularında baskı altında tutulmalarının yanı sıra, karmaşık ve değişken bir çevre ile yüz yüze kalmaktadırlar. Ayrıca, uzun ve orta vadeli planlamalardan kısa süreli işletmesel eylemlere kadar, değişik düzeylerde kararlar almaları gerekmektedir. Tüm kararların, birbirinden etkilenen dolaysız ya da dolaylı bir çok etkileri söz konusu olduğundan, bunların belirlenmesi ve ekonomik açıdan değerlendirilmesi oldukça zor ve riskli bir uğraşa dönüşmektedir. Ayrıca, planlamacı ve yöneticilerin, diğerleri ile rekabet edebilir olmaları için, var olan hizmet ve tesisleri de çok ayrıntılı olarak inceleyip, kontrol etmeleri, yeni hizmet ve tesisleri çok dikkatli tasarımları gerekmektedir (Erel, 1995).

Yolcu taşımacılığı yapan bir işletmede, karar verilmesi gereken en önemli konular şunlardır: (Erel, 1995)

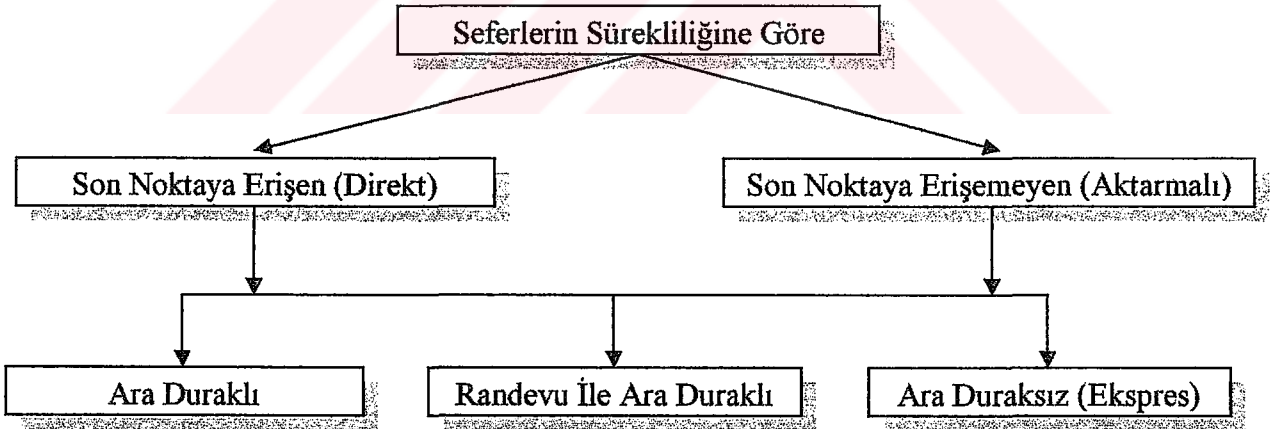
- Taşımacılık yapılacak ağın belirlenmesi (hangi kentler arasında taşımacılık yapılacağına

ve bu kentler arasında hangi geçkilerin izleneceğine karar verilmesi)

- Hizmet düzeyinin ve taşıma ücretlerinin belirlenmesi (seyahat süresi ile konfor gibi yolculuk özelliklerine ve yolculukların ücretlerine karar verilmesi)
- Zaman çizelgelemesi (ulaştırma hizmetinin verileceği kentler kümesinde taşıtların kalkış ve dolayısıyla varış zamanlarının belirlenmesi)
- Taşıt rotalaması ve çizelgelemesi (yolcuların hangi taşıtlar ile gerçekleştirileceğinin belirlenmesi)
- Taşıt personelinin rotalanması ve çizelgelemesi (hangi taşıtlara hangi personelin atanacağına belirlenmesi)

2.2.1 Seferlerin Kalkış ve Varış Zaman Çizelgelemesi

Belirli bir ağ kesimi içinde yapılacak yolcu taşımacılığında, ara durak yapılıp yapılmamasına, seferlerin sürekliliğine ve yapılış düzenlerine göre, farklı seçeneklerin değişik kombinasyonlarından oluşan, farklı işletme türleri uygulanabilir. İki nokta arasında sunulacak bir taşımacılık hizmetinde, direkt, aktarmalı, ara duraklı ya da duraksız seferler planlanabilir (Şekil 2.1). Bazı durumlarda yalnızca belirli sayıda talebin bulunduğu ara noktalarda, yolcu bırakma veya alma amaçları ile duruş yapılabilir (Erel, 1995)



Şekil 2.1. Seferlerin sürekliliğine göre taşımacılık türleri (Erel, 1995)

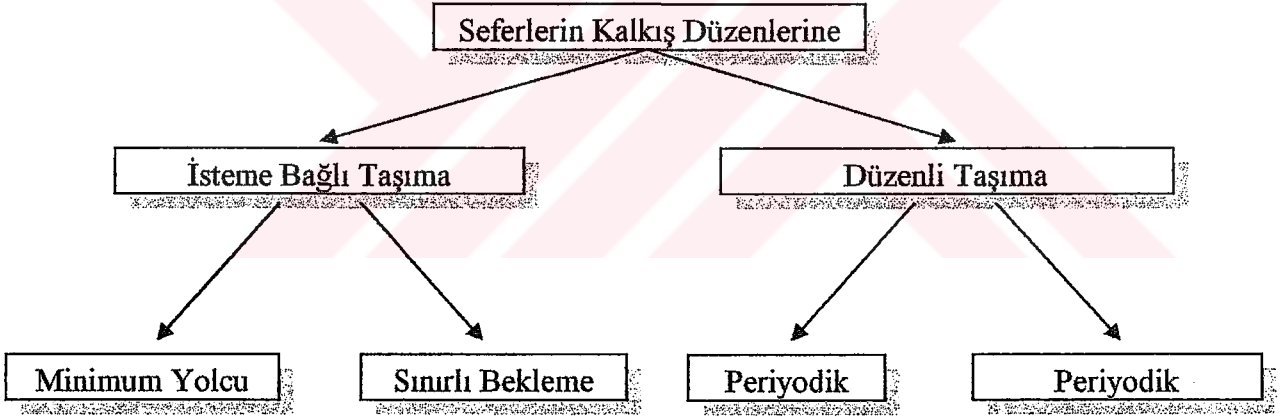
Bu seferlerin başlama ya da kalkışları ise, önceden belirli bir zaman süreci için hazırlanmış olan kalkış-varış zaman çizelgelemesi'ne uygun olarak ya da "minimum yolcu" ve "sınırlı bekleme" koşullarından birisine ya da her ikisine birden uyularak gerçekleştirilebilir (Şekil 2.2). Bu işletmecilik şekillerinden her ikisinde de isteme göre planlama yapılacağı kuşkusuzdur. Uluslar arası terminolojide "charter" adı verilen ve Türkçede "dolmuş" olarak

tanımlanan seferler, belirli sayıda yolcu toplanmadan yapılmaz. Ancak bunlarda uygulanan ücretler düşük olup, seferlerin kalkış zamanları, ilk yolcu talebine göre belirlenen maksimum bir bekleme süresi ile sınırlandırılır. Diğer yandan, önceden düzenlenen bir zaman çizelgesine uyularak yapılan düzenli işletmede çekicilik daha fazla, buna karşın çekilebilecek yolcu sayısı konusundaki risk daha yüksektir.

Zaman çizelgelemesi, taşımacılığın yapılacağı ağ boyunca gerçekleştirilebilecek her bir seferin,

- Kalkış yeri ile zamanının,
- Ara durak yerleri ile uğranılacak zamanların,
- Varış yeri ile zamanının,

belirlenmesi işlemidir. Bir zaman çizelgesi genel olarak, taşımacılığın düzenli olarak gerçekleştirilmesi, taşınacak yolcu sayısının veya elde edilecek gelirin en yükseklenmesi amaçlarına yönelik olarak hazırlanmaktadır.



Şekil 2,2 Seferlerin kalkış düzenlerine göre taşımacılık türleri (Erel, 1995)

Bir başlangıç-son çifti arasındaki zaman çizelgelemesinde etkili olan en önemli faktörler şunlardır:

- Ulaşım isteminin mekân ve zamana (gün, hafta, mevsim) göre dağılımı,
- Ulaşım isteminin niteliksel (süre, sıklık, konfor, vb.) özellikleri,
- O-D çiftleri arasındaki seyir süreleri,
- Sıklık konusundaki yönetimsel kısıtlar.

İki nokta arasında herhangi bir yolculuk isteminin bulunmadığı zamanlarda, bu iki nokta arasında sefer konulmasının, ne hizmet ne de parasal kazanç amaçlarını gerçekleştirebileceği açıktır. Sefer saatleri, “en azından maliyetini karşılansın” düşüncesine göre düzenlene bile, bunun için gerekli yolcu sayısının oluşabileceği zamanların araştırılması ve tahmin edilmesi gerekmektedir. Ulaşım isteminin çok sayıdaki faktörlere bağlı olan olasılıksal (stokastik) bir olgu olduğu ve gün, hafta ve mevsimlere göre değiştiği göz önünde tutulursa, bu işin hiç de kolay olmadığı ortaya çıkmaktadır. Bu konuda karar vermeye yardımcı olabilecek tek yöntem, yolculuk zaman tercihlerinin istatistiksel yollarla araştırılmasıdır.

Yolcuların belirli bir kısmı aynı zaman diliminde yolculuk yapmak isteyebilirler. Ancak bunların sunulan seferlerden birisini seçmelerinde, yolculuk amaçlarının ve sosyo-ekonomik duruma bağlı olarak arayacakları bazı niteliksel hizmet özellikleri de etkili olmaktadır. Örneğin, çok acelesi olan bir kişi, o zaman dilimindeki ilk ara duraksız seferi, sigaradan rahatsız olan bir yolcu da, sigara yasağı olan bir seferi tercih edecektir.

Yolcular tarafından tercih edilecek sefer saatleri, gitmek istedikleri yere ulaşabilecekleri zamanla çok yakından ilişkilidir. Örneğin, gitmek istediği son noktaya hava kararmadan varmak isteyen bir yolcunun kabul edeceği en geç kalkış zamanının, güneşin batış zamanından yolculuk süresi kadar erken bir saat olacağı açıktır (Erel, 1995).

İşletmecilik alanındaki problemler ise, kuruluş aşamasından sonra ortaya çıkmaktadır. Şekil 2.3’te görüldüğü gibi, bir kentiçi toplu taşıma sistemi için verilen işletme planında, sistemin işletilmesi bazı planlama aşamalarının ardından gelmektedir.

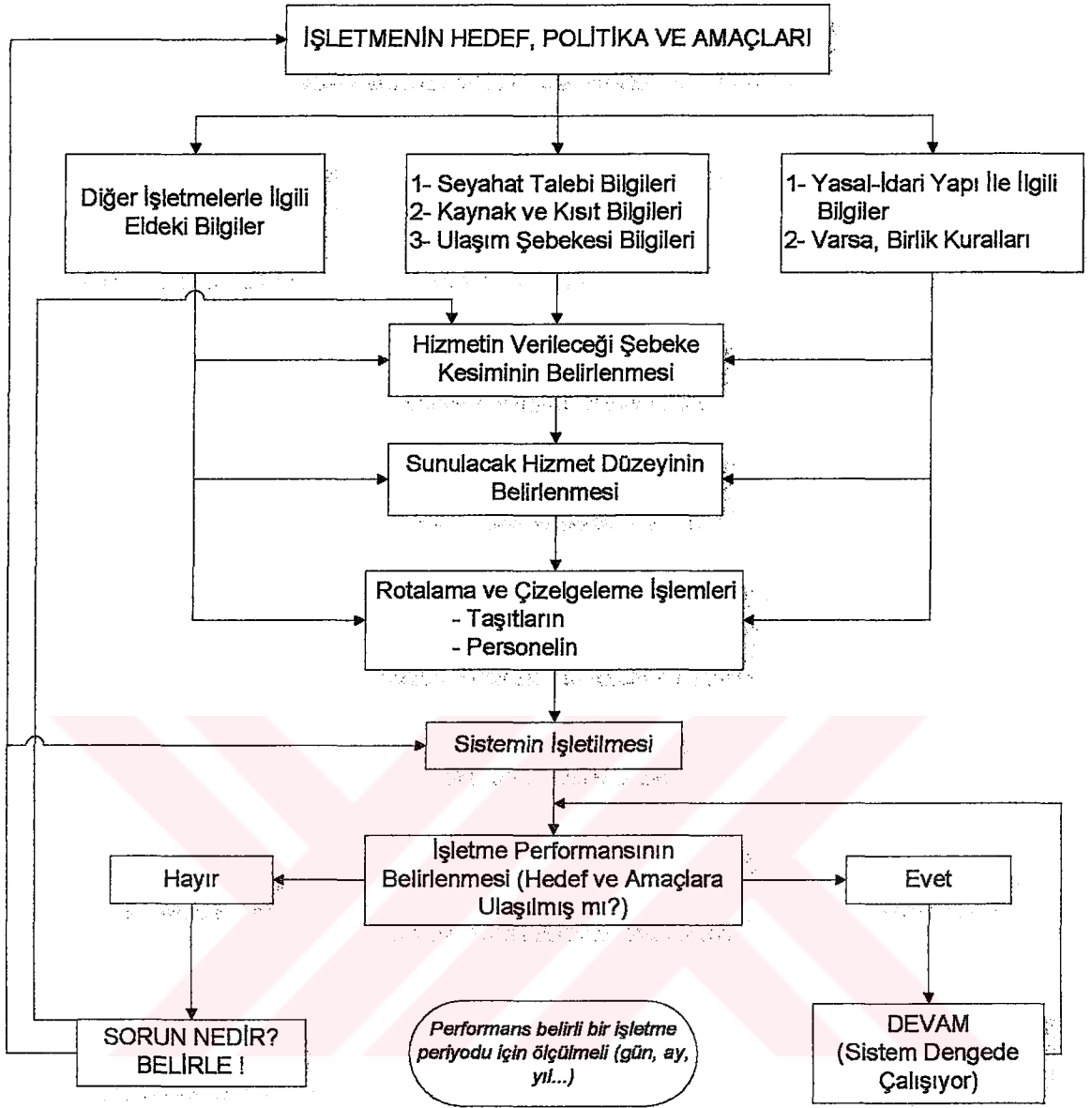
2.2.2 Kentiçi Ulaşım Sistemi

Kentiçi ulaşım sistemi, insanların kentiçinde sosyal ve ekonomik aktivite sistemleri arasında yer değiştirme gereksinimlerini karşılamak için kullandıkları bir hareket ortamıdır. Bu sistem en genel anlamda, ulaşım şebekesi, taşıtlar ve işletmeden oluşmaktadır (Yardım, 2002).

Kentiçi ulaşım sisteminde yük ve yolcu olarak iki tür taşımacılık yapılır. Bu çalışmada, yük taşımacılığı incelenmeyecek olup, yolcu taşımacılığı üzerinde durulacaktır.

Kentiçi ulaşımın üç temel fonksiyonu şunlardır:

- Hareketlilik fonksiyonu,
- Erişim fonksiyonu,
- Yaşam fonksiyonu



Şekil 2.3 Bir kentsel toplu taşıma işletmesi için işletme planı (Yardım, 2002)

Hareket fonksiyonu ile, faaliyet merkezleri arasında büyük yolcu kütlelerinin hızlı, güvenli ve ekonomik ulaşımının sağlanması amaçlanır. En önemli performans göstergesi seyahat hızıdır.

Erişim fonksiyonu, bir ulaşım sisteminin faaliyet merkezlerine erişebilirliği kolay kılmasıdır. Bir yolun çevresindeki yapılaşma ne kadar yoğun olursa, erişim fonksiyonunun göstergeleri de o ölçüde ön plana çıkmaktadır.

Yaşam fonksiyonu, sadece erişimi aşan aktivitelerden oluşmaktadır. Bu faaliyetler yol mekânlarının yanlarındaki kullanım alanları ve yapılaşma ile ilişkilidir.

Ulaşım sistemleri planlanırken, bu fonksiyonlardan birisi öne çıkmaktadır. Örneğin, normal zamanlarda araç trafiğine açık bir caddenin yayalaştırma çalışmalarında yaşam fonksiyonu bağlantı ve erişim fonksiyonunun önüne geçer. Yayalaştırılan alanın gece belli bir saatten sonra araç trafiğine açılması ise bu fonksiyonların birbiri ile çatışmasına yol açmaktadır (Yardım, 2002). Kentiçi deniz taşımacılığında örnek verilecek olursa, bu alanda önceliğin hareket fonksiyonunda olduğu görülebilmektedir.

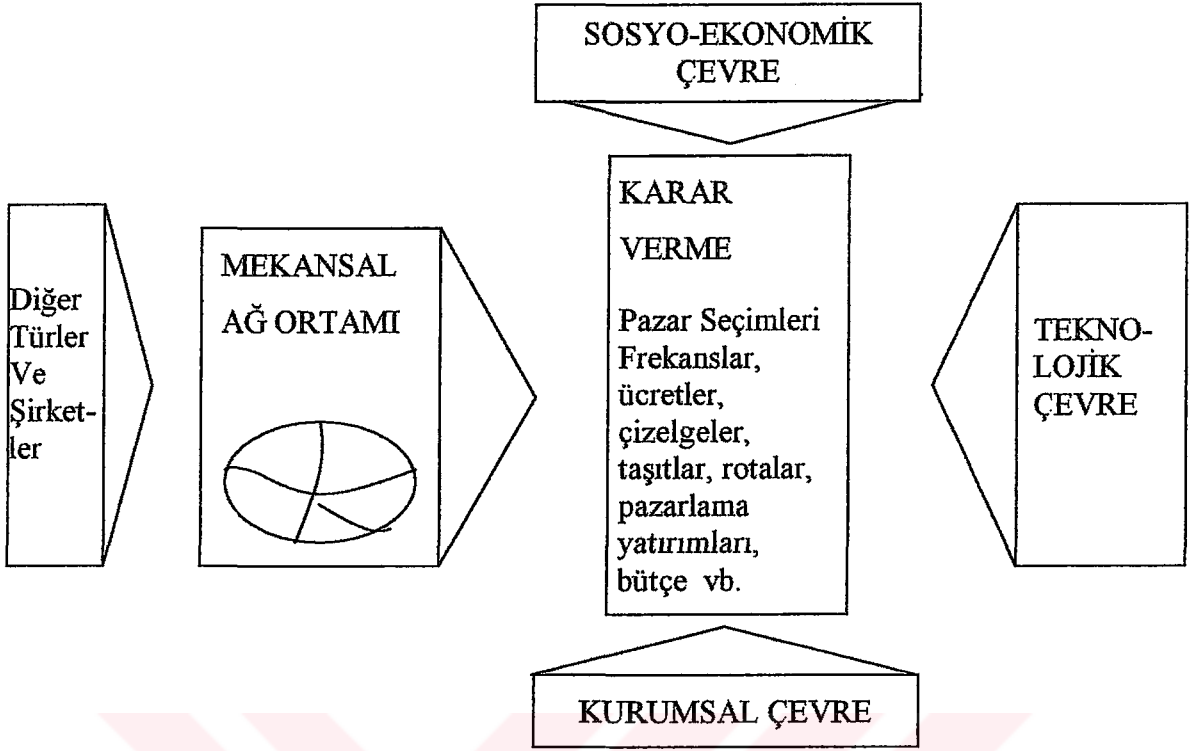
İnsanlar, kentiçi ulaşımda seyahat taleplerin karşılamak üzere, özel ulaşım ve toplu taşıma sistemlerin kullanmaktadırlar. Kentiçi ulaşım sistemlerinin parçaları olan bu alt sistemler, genellikle aynı fiziksel şebekeyi kullanmalarına rağmen, farklı amaçlara hizmet ettiklerinden planlamaları da farklıdır.

2.2.3 Kentiçi Toplutaşıma Sistemi

İnsanların bir yol ağı üzerindeki noktalar arasındaki ulaşımaları, ya kişilerin özel araçları ile, istedikleri noktalar arasında, istedikleri zaman dilimlerinde ve istedikleri yolu kullanarak seyirleri ile; ya da toplu taşımacılık yapan kurumların belirli noktalar arasında, belirli güzergahlar boyunca ve belirli zamanlarda sundukları taşımacılık hizmetinden yararlanmaları ile gerçekleşebilir. Toplu taşımacılık hizmeti ise, özel kurumlar ile kısmen ya da merkezi ve yerel yönetimlere bağlı olan kurumlar tarafından sunulmaktadır.

Yolcu taşımacılığı yapan kamu veya özel kurumunda, planlama ve yönetimin zorluğu, hem karar verme sürecinin, hem de içinde bulunulan çevrenin karmaşıklığından kaynaklanmaktadır. (Lardinois, 1989). Bu içsel ve dışsal karmaşıklıkları şekil 2.4'teki şema yardımıyla şu şekilde anlatmak mümkündür: (Erel, 1995)

Bir ulaştırma şirketi bir vakum içerisinde işletilemez. Diğer endüstri sektörlerindeki çoğu şirketin aksine, ulaştırma işletmesi mekansal bir ağ ile bağımlıdır. Bu ağ boyutu, diğer endüstrilerle karşılaştırmada büyük bir farklılık oluşturmaktadır. Çünkü neyin sunu, neyin istem olduğunun ve bunların ağ zerinde nasıl dengeleneceğinin anlaşılması açıklanması ve modellenmesi, kuramsal olarak zordur (Erel, 1995).



Şekil 2.4 Karar vermenin içsel ve dışsal karmaşıklığı (Yardım, 2002)

Ücretler ve, (frekanslar, seyahat süreleri, çizelgeleri taşıt konforu ile, yer bulamama ve bekleme gibi yığılma etkileri vb.) diğer ulaştırma servis nitelikleri, ağırlıklandırmaları veya birbirlerinden ayrı ele alınabilmeleri zor olan “sunu karakteristikleri”dir. Ayrıca, bu karakteristiklerin bazıları ölçülemezler. Örneğin yığılmanın derecesi, yığılmanın düzeyine bağlı olan ulaştırma istemine bağlıdır. Başka bir deyişle, sununun para ile ölçülemeyen özelliklerinin bazıları, hem sunucunun kararlarına hem de müşterinin tepkilerine bağlıdır. Zira (seyahat süresi, bekleme süresi, yer bulma olasılığı vs.) servis düzeyleri güncel istemin artışıyla kötüleşebilir. Üstelik aynı pazarda farklı şirketler rekabet ediyorsa, her şirketin servis düzeyi, diğer şirketlerin Pazar paylarından ve sundukları servis düzeylerinden etkilenebilir (Erel, 1995).

Ağlardaki değişimlerle birlikte, alternatif sunu ve işletme politikalarını değerlendirmek için, ulaştırma planlamacı ve yöneticilerinin çeşitli sosyo-ekonomik, teknolojik ve kurumsal faktörleri göz önünde bulundurması gerekir. Bunların en önemlileri, demografik yapı, enflasyon oranları işçilik maliyetleri, enerji fiyatları, faiz oranları taşıt ve altyapı eksikliği ve fiyatları, teknolojik yenilikler, birlik kuralları, düzenlemeleri ve sübvansiyon politikalarıdır. Diğer bir deyişle, bir ulaştırma sisteminin performansının,

- Servis düzeyleri,
- Servisi gerçekleştirmek için tüketilen kaynaklar,
- Ağ üzerinde hareket eden trafik hacimleri,

İle tanımlandığı düşünüldüğünde, bu üç sunu boyutunun, karmaşık ve değişim içindeki çevrenin kısıtlarından ve baskılarından bağımsız olmadığı da unutulmamalıdır. Bu ilişkilerin açıkça anlaşılması, kararların ve çevrenin birleşik etkilerinin, (Erel, 1995)

- Maliyet en küçükleme,
- Pazar payının en büyükleme,
- Karın en büyükleme.

gibi amaçların gerçekleştirilmesinde nasıl etki yapabileceklerinin tahmin edilmesi için bir ön gereksinimdir.

Günümüzde kentiçi ulaşımın önemli bir kısmı toplu taşımacılıkla yapılmaktadır. Çeşitli alt sistemleri ve öğeleri bünyesinde barındıran toplu taşıma sisteminin kullanılması bir çok yönden yarar sağlamaktadır. Bunlardan bazıları (Yardı, 2002);

- Kentiçinde ekonomik bir kullanım alanı yaratmaktadır,
- Yolların sadece otomobil, denizlerin sadece vapur taşımacılığı yapmasının önüne geçerek, esas olarak insanların taşınması amacına hizmet etmektedir.
- Yol ve şebeke açısından kapasite kullanımı özel araçlara göre düşüktür.
- Her kesimden insanlara hizmet vermektedir. Bu yönü ile bir kamu hizmet sunmaktadır.
- Enerji tasarrufu açısından çok etkili bir sistemdir.
- Çevreye olumsuz etkileri özel otolara göre bir hayli azdır. Sistemin ürettiği atıklar düşük düzeyde olduğu için dengeli bir çevre oluşumuna katkı sağlar.
- Toplu taşıma sisteminde kullanılan araç sayısı, özel araçlara göre az olduğu için yedek parça ve yan sanayi açısından ülke ekonomisine katkıları büyüktür.

Toplu taşıma sistemi çeşitli türleri içermektedir. Bunlar dört kategoride toplanabilir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 Kentiçi toplu taşıma sistemleri (işletme ve türlerine göre) (Yardım, 2002)

TAŞIMA TÜRÜ	ARAÇ TÜRÜ
KARAYOLU SİSTEMLERİ	<u>Otobüs:</u> Belediye otobüsü, Özelleştirilmiş Otobüs Servis Otobüsleri
	<u>Minibüs:</u> Hatlı Minibüsler Servis Minibüsleri
	Taksi
	Dolmuş Taksi
RAYLI SİSTEMLER	Demiryolu
	Metro
	LRT (Hafif Metro)
	Tramvay
DENİZYOLU SİSTEMLERİ	Vapur
	Deniz Otobüsü
	Dolmuş Motoru
ASKILI SİSTEMLER	Teleferik
	Diğer Kabinliler

2.2.3.1 Sistem Girdileri

Kentiçi toplu taşıma faaliyetlerinin etkin bir şekilde işleyebilmesi için pek çok girdiye ihtiyaç vardır. Temel girdiler;

- Toplu taşıma politika ve amaçları,
- Talep,
- Kentiçi ulaşım şebekesi bilgileri,
- Elde edilebilir kaynaklar ve kısıtlar,
- Diğer tür ve işletmelerle ilgili bilgiler,

3. DENİZYOLU TAŞIMACILIĞI

Denizyolu ile nakliye nehirler, göller, okyanuslar ve denizler olarak çeşitlere ayrılabilir. Denizyolu taşımacılığı sahip olunan deniz, göl ve nehir olanaklarına bağlıdır. Denizyolu nakliyesine güven coğrafi konuma göre değişmektedir. Uluslar arası taşımacılıkta maliyet yaratan bir nakliye yolu olmadığından denizyolu en çok kullanılan nakliye yoludur (Ballou, 1992).

Denizyolları özellikle çok büyük miktarda ve hacimde eşyanın uzun mesafelere en elverişli sistemdir. Buna karşılık yolcu taşımacılığında (şehir içi seferler ve turistik faaliyetler dışında) pek etkili değildir. Taşıma faaliyetlerini sularda sürdürdüğünden ulaşım ağı kurma kıyı ve limanlarla kısıtlıdır.

Bu taşıma sisteminde hız genellikle düşüktür (yük gemilerinin ortalama hızı saatte 10–20 mil arasında değişmektedir). Son yıllarda kıyıda alınan önlemlerle sistemin güvenliği önemli ölçüde artırılmıştır. Ancak fırtınalı havalarda, deniz patlaması vs. güvenliği azaltmaktadır. Enerji tüketimi düşük seviyededir. Ve bu nedenle denizyolu ucuz bir taşıma sistemidir (Muş, 1992).

Günümüzde dünya ticaretinin gelişme değişimine paralel olarak denizyolu yük taşımacılığı da gelişme seyretmektedir. Bu taşımacılığı diğer taşıma türlerine göre avantajlı kılan kitlesel taşımacılığa elvermesi ve buna paralel olarak da ucuz olmasıdır. Uluslar arası taşımacılıkta %90'lara varan bir paya sahip olması bunun en önemli göstergesidir (Bak, 1999).

İç su ulaşımı ise (nehirler, göller, kanallar) özellikle kitle nakliyatında son derece elverişli bir taşıma sistemidir. Personel sayısı az, enerji tüketimi az, güvenliği yüksek ve maliyeti düşük olması, sistemin diğer avantajlarını oluşturmaktadır. Doğal koşullara bağlı oluşu nedeni ile, ulaşım ağı kurma çok kısıtlı, hız çok düşüktür. Ayrıca, yükleme ve boşaltma işlemleri de önemli zaman kayıplarına neden olmaktadır (Muş, 1992).

Yük taşımacılığında yoğun bir şekilde kullanılan denizyolu, yolcu taşımacılığında bu kadar yoğun kullanılsa da, taşımacılıkta önemli pay sahibidir. Ancak ülkemizde denizyolu yolcu taşımacılığı çeşitli nedenlerle (bir önceki bölümde bu nedenlere değinilmiştir) oldukça düşük düzeydedir.

3.1 Türkiye’de Deniz Taşımacılığı

Ülkemizde taşımacılık faaliyetleri yoğun olarak karayollarında gerçekleştirilmektedir. (taşımacılığın %90’ı). Buna karşılık diğer ulaştırma sistemlerinin taşımacılıktaki paylarının nispetten düşük olduğu görülmektedir (Tunçbilek, 2005).

Üç tarafından sekiz bin kilometreden fazla bir kıyı şeridi ile çevrilmiş bulunan ülkemiz açısından deniz taşımacılığı yıllar yılı sadece bir ulaştırma faaliyeti olarak algılanmıştır. Böyle bir tanımlama kuşkusuz, bu sektörün gelişme çizgisinde istenilen ivmelenmenin ortaya çıkmamasında en büyük neden olmuştur. Bugün bu anlayışın tamamen terk edilmekte olduğunu görmekteyiz. Bu noktaya gelmesi elbette kolay olmamıştır. Ülkemizdeki tüm denizci meslek kuruluşları, sivil toplum örgütleri, eğitim kurumları, kamu ve özel sektör denizcilik şirketleri ve daha nicelerinin özellikle 1989 yılından sonra sürdürülmüş oldukları kamuoyu oluşturma çalışmalarının bugün ulus olarak sahip olduğumuz denizcilik bilincinin oluşmasında çok önemli katkıları olmuştur. O yıllarda denizciliği, denizciler dışında kimse tek başına bir siyasal ve idari örgütlenme içerisinde görmez ve dile getirmezken bugün, ilgili hemen herkes, denizcilik sektörünün desteklenmesini savunmakta ve bir “Denizcilik Bakanlığının” kurulmasını beklemektedir (Bak, 1999).

Türkiye 100 milyon ton civarında dış ticaretinin %85-90’ını deniz yoluyla gerçekleştirmektedir. Bu, ülke ekonomisi açısından, hiç de azımsanabilecek bir olay değil, aksine çok öncelikli bir konudur. Bir ara 4 milyon dwt civarına kadar gerileyen Ulusal Deniz Ticaret Filomuz, 21 Haziran 1989 tarihinde yayımlanan ve 2581 sayılı Denizciliği Teşvik Yasası’na işlerlik kazandıran yönetmelik ile bugünkü 11 milyon dwt’luk düzeyine ulaşmıştır. Filonun bu hale getirilmesinde gemi sahiplerinin kendi girişimleriyle ve tamamıyla kendi risklerinde olmak üzerine yurt dışından temin ettikleri yaklaşık 1 milyar dolarlık bir finans mevcuttur. Bu borçlar düzenli olarak geriye ödenmek zorundadır.

Deniz taşımacılığı gerek miktar, gerek uzaklıklar ve coğrafya bakımından ikamesi mümkün olmayan bir sektördür. dünya üzerinde bu sektörde de zaman zaman iniş ve çıkışlar olabilir ve olmaktadır. Aslında normal olanı da budur. Denizcilik hiçbir zaman belli bir alt limitin daha da altına düşemez. (Bak, 1999).

Uluslar arası taşımacılıkta oldukça yüksek bir orana sahip deniz taşımacılığının ulusal boyutu ne yazık ki oldukça hazindir. Hükümetlerimizce uygulanan yatırım politikaları taşımacılıktaki arz-talep dengesini karayolları lehine çevirirken, denizyolları ve demiryolları ihmal edilmiştir. Bunun sonucu olarak da demiryolları ve deniz yolları mevcut teçhizatlarını ve de personelini

çağın ihtiyaçları doğrultusunda modernize edememiş veya yenileyememiştir.

Bu arz talep dengesinin bozulması sonucunda ülkemizin karşılaştığı sorunlar şu şekilde sıralanabilir;

- Ulaşım sistemleri arasında kopukluklar meydana gelmektedir. (kombine taşımacılık gerekliliği)
- Trafik kazaları can ve mal kaybına neden olmuştur.
- Çevre bozulması ve çevre kirliliği yaratmış.
- Ulaşım maliyetlerini yükseltmiştir.
- Uluslar arası ulaşım sistemlerinden kopukluk dolayısı ile uluslar arası pazarlara girmede zorluk ve rekabette dezavantaj oluşturmuştur.
- Popüler siyasi kararların ön planda tutulması sonucu fizibilitesi olmayan öncelikli olmayan alanlara gereksiz yatırım yapılması ve kaynak israfı,
- Denizyolları ve demiryollarının sağlayacağı avantajların değerlendirilememesi, (Tunçbilek, 2005).

3.2 İstanbul'da Deniz Taşımacılığı

31,5 km uzunluğundaki Boğaz ve 7,3 km'lik Haliç ile üç bölgeye ayrılmış ve 75 km'lik Marmara kıyı şeridine yerleşmiş bulunan İstanbul'un bu muazzam kıyı potansiyeli göz önüne alındığında kentteki yoğun trafik yükünü azaltacak alternatif çözümlerden birinin denizyolu olduğu görülecektir (APK, 1996).

Dünyanın en eski ve en büyük anakentlerinden biri olan İstanbul'da trafik sıkışıklığı en önemli sorunlardan biridir. İstanbul Boğazı'nın iki yakasında 12 milyona yakın bir nüfusu barındıran İstanbul'da, ulaşımın yüzde 90'ından fazlası kara yoluyla yapılmaktadır. Boğaz, Anadolu ve Avrupa yakasındaki Marmara ve Karadeniz kıyıları ile Haliç gibi son derece müsait deniz yollarına sahip olan İstanbul'da, kara taşımacılığının daha da azaltılması imkan dahilindedir. Deniz yolunun gerektiği gibi değerlendirilemeyeşi, İstanbul'un kara trafiğindeki aşırı yoğunluğun nedenlerinden biridir. İstanbul'un trafik sorununun çözülmesine, sadece karada alınacak kavşak düzenlemeleri, yol genişletmeleri gibi tedbirler ve hafif raylı sistemlerle, yakın gelecekte tedricen faaliyete geçirilmesi beklenen metro gibi yatırımların yetmeyeceği tartışma götürmez bir gerçektir. Bu sorunların çözülmesi ve şehrin biraz nefes alabilmesi için, şehirleşme ile ilgili tedbirlerin yanında, deniz ulaşımına da ağırlık verilmesi gerekmektedir [2]

İstanbul'un iki yakası arasında ulaşım ilk zamanlardan beri denizyolu ile sağlanmıştır. Boğazda iki köprü'nün yapılmasından sonra denizyolu ulaşımından yararlanma azalmıştır. I. Boğaz köprüsünün açıldığı 1973 yılından itibaren bireysel taşımacılık artış göstermiştir. Nitekim 1972-1974 yılları arasında iki yaka arasında geçit yapan taşıt sayısı % 200 artarken yolcu sayısındaki artış sadece % 4 olmuştur. II. Boğaz köprüsünün açılmasıyla taşıttaki artış % 1180'e yükselirken, yolcu sayısındaki artış % 173 olmuştur. Bugün Boğaz köprülerinden geçen taşıtlar içinde özel otomobillerin payının % 85 gibi yüksek bir rakam olması bireysel taşımacılıktaki büyük oranı gözler önüne sermektedir (APK, 1996).

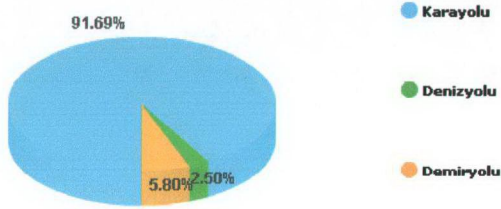
Oysa denizyolu ile yapılacak hızlı, konforlu ve ekonomik bir ulaşım karayoluna olan talebi azaltarak toplu taşımacılığı teşvik edecektir. Böylece Denizyolu ile yapılması mümkün olduğu halde, karayolu ile yapılan taşımacılığın sebep olduğu trafik sıkışıklığı, çevre kirliliği ve ekonomik kayıplar bir nebze olsun azalacaktır.

İstanbul'un deniz ulaşımı dört ana başlık altında toplanabilir.

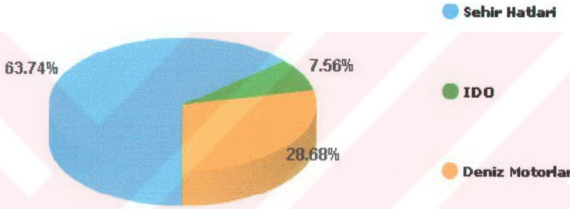
- 1) İki yaka arasında
- 2) Boğaz boyunca
- 3) Haliç içinde
- 4) Kıyıya paralel

Günümüzde ilk üç denizyolu ulaşımı kullanırken kıyıya paralel denizyolu ulaşımından yararlanılmamaktadır. İstanbul'da hizmet veren kuruluşlar ise; Şehir Hatları İşletmesi, İDO (İstanbul Deniz Otobüsleri AŞ), S.S Gezi ve Motorlu Taşıyıcılar Kooperatifidir. 2005 Mart ayı itibari ile Şehir Hatları İşletmelerinin İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne devredilmesi, denizyolu taşımacılığında yaşanan olumsuz havayı arttıracaktır.

1994 yılında İstanbul'da deniz taşımacılığının oranı % 4,24 iken bugün bu oran % 2,5'e gerilemiştir. Nüfusu sürekli artmasına rağmen 3 tarafı suyla kaplı olan İstanbul'da deniz ulaşımı payının azalması düşündürüktür. Denizyolu yolcu taşımacılığında yukarıda bahsedilen üç kurumun payları ise şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.1 İstanbul'da kara, deniz ve demiryolu ulaşım ağırlıkları [3]



Şekil 3.2 İstanbul deniz ulaşımı yolculuk payları [3]

Hızlı yolcu taşımacılığı amacıyla 1987 yılından beri İstanbul Deniz Otobüsleri Sanayi ve Ticaret A.Ş. (İDO) tarafından işletilmekte olan deniz otobüslerinin toplam deniz taşımacılığındaki payı % 7,56'dır (1996 yılında % 6). Şehir hatları işletmesi ve özel dolmuş motorlarının payları ise sırasıyla %63, ve %28 civarındadır. Hızlı taşımacılığın deniz ulaşımı içerisindeki payının düşük olmasının en önemli nedeni, gelir seviyesi yüksek olan özel oto sahiplerinin araştırılması gereken bazı nedenlerden dolayı boğaz köprüleri geçişini tercih etmesi ve diğer kişiler için ise ekonomik bulunmamasıdır. Bu çalışmada da, deniz otobüslerinin hizmet maliyetlerinin, taşıt rotalarının optimizasyonunun sağlanması suretiyle azaltılarak, daha az deniz otobüsü ile daha etkin bir taşımacılığın yapılabilirliği analiz edilmiştir. Bu suretle, birim taşıma maliyetinin düşürülmesi ve denizyolu taşımacılığına olan talebin artırılması, işletme karlılığının artırılması amaçlanmıştır.

İstanbul'un kentsel özellikleri incelendiğinde ise;

- Hızlı ve plansız kentsel gelişme
- Tarihi yerleşim dokusu
- Nüfus, araç ve yolculuk taleplerinin hızla büyümesi
- Coğrafik özellikler (Engbeli topografya, boğaz ve Haliç)
- İkili, çelişkili idari ve yasal çerçeve
- Ulaşım türlerinin çokluğu ve değişik tarife, bilet uygulamaları
- Plansızlık nedeniyle ulaşım türleri arasında haksız rekabet ve buna bağlı kaynak israfı
- Plansız işgücü istihdamı

olduğu görülmektedir.

Şekil 3.1'den de görüldüğü üzere, ulaşımın ağırlığını lastikli kara araçları taşımaktadır ve 1.509.719 adet özel otomobil toplam yolcunun %14,5'ini taşıırken, diğer 56.168 lastikli araç ise %75'ini taşımaktadır. Toplam lastikli kara araçları sayısının %3,2'sini oluşturan 37.024 adet İ.E.T.T., Ö.H.O ve servis araçları gibi toplu taşıma araçlarının yolcu taşıma payı %51 civarındadır (Şekil 3.3). Dolayısı ile hızlı toplu kara taşımacılığını engelleyen en önemli etkenin bireysel taşımacılık olduğu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3.3 İstanbul'daki özel ulaşım araçları [3]

İstanbul'da karayolu taşımacılığının bu denli yoğun kullanılması ve karayolu taşımacılığının payının giderek artması, bu soruna yeterince eğilmediğinin göstergesidir. Ülke ekonomisine de büyük zararlar veren mevcut yaklaşım ve politika izlendiği takdirde, GSMH içerisindeki payı yaklaşık yüzde 23 olan ve Türkiye'nin motorlu araç parkının ise yüzde 24'üne sahip İstanbul, gelecekte yaşanmaz bir kent haline gelecektir.

İstanbul'da günde ortalama 445 trafik kazası meydana geldiğini ifade edilmekte ve 2004 yılında toplam 162 bin 269 trafik kazası olduğu, bu kazalarda ayda ortalama 270 kişinin hayatını kaybettiği, 765 kişinin de yaralandığı bildirilmektedir. Bir yılda 9 bin 795 yaralamalı trafik kazası meydana geldiği, her ay ise 13 milyon 775 YTL değerinde maddi hasarlı trafik kazası olduğu ülkemizde, sadece İstanbul'da günde 512 adet araç trafiğe çıkmaktadır.

Bugün boğaz köprülerinden geçen taşıtların % 85'ini özel otomobiller oluşturmaktadır. Bu da karayolu ile yapılan taşımacılığı yavaşlatmakta (ortalama seyahat hızı 15km/sattir), çevre kirliliği, ekonomik ve sosyal kayıplara neden olmakta, ülke ekonomisine önemli miktarda yük getirmektedir. Bu kayıpları önleyebilmek için boğaz köprülerindeki bireysel taşımacılık ve kısmen toplu taşımacılık taleplerinin deniz ulaşımına çekilmesi gerekmektedir. Denizyolu ile yapılacak hızlı ve ekonomik bir ulaşımın alt yapısını hazırlamak ve uygulamaya koymak bu amaca hizmet edecektir (Alkan vd., 1996). Bu açıdan, taşıma araçları, taşınabilecek maddelerin ve yolcuların özellikleri ve taşıma şekilleri her modda farklıdır. Her modun kendine göre avantajları ve dezavantajları bulunmakta ve bunlar taşımacılık için mod seçimindeki kriterleri oluşturmaktadır. Genel olarak, farklı modların maliyet, hız ve hizmet avantajlarından yararlanabilmek için iki yada daha fazla modun bir arada kullanılmasına

Kombine taşımacılık denilmektedir. İstanbul'da da kombine taşımacılık acilen planlanmalı ve bir an önce bu yönde faaliyetlere başlanmalıdır. Uzmanların görüşleri alınmadan atılan her adım ülke ekonomisine, İstanbul halkına büyük zararlar verirken, trafikte harcanana her dakikanın insan hayatını da zedelediği düşünülmelidir. Zamanın son derece önemli olduğu çağımızda, özellikle İstanbul'da ortalama seyahat süresinin 60 dakikadan fazla olması ve insanların gününün yaklaşık % 20'sini yollarda geçirmeleri, çarpıcı bir noktadır.

İstanbul Kentiçi ulaşımında denizyolunun payının giderek düşmesi ise, şu nedenlere bağlanabilir.

- Denizyolu ulaşımı hız yönünden yeterli durumda değildir. Şirketi-Hayriye döneminden bu yana hız ortalaması sadece 1,8 mil / saat (3,3 km) artmıştır.
- Deniz ulaşımı dar bir bölgeye sıkışmışlıktan kurtulamamış şehrin büyümesiyle birlikte yeni merkezlere açılmamıştır.
- Deniz ulaşımındaki tekelleşme yeniliklere ve gelişmelere adaptasyonu önlemiştir.
- Yeni yerleşmelerin veya kentte yoğunluk kazanmış eski yerleşmelerin ihtiyacı olan yeni hatlar açılmamıştır.
-

İstanbul'un en önemli problemi olan ulaşımda kısa vadede rahatlatıcı tedbirler almak denizyolu taşımacılığına ağırlık vermekten geçmektedir.



4. TAŞIT ROTALAMA VE ÇİZELGELEME

Taşıt rotalama problemleri literatürde en çok araştırma yapılan konulardan birisidir. Özellikle 1970’li yıllardan sonra, dağıtım lojistiğinin öneminin artması ve yine 1980’li yıllarda inbound lojistiğe odaklanma ve taşımacılık maliyetlerinin toplam tedarik maliyetinin yaklaşık %60’ını oluşturması, rotalama ve çizelgeleme konularına olan ilgiyi önemli ölçüde arttırmıştır.

Taşıt rotalama ve çizelgeleme literatürüne bakıldığında, yukarıda da değinildiği gibi bu alana olan ilginin artması 1970’li yılları bulmuştur. Ancak, taşıt rotalaması ve çizelgeleme konusunun 1950’li yıllarda bilim adamlarının ilgi alanlarına girmeye başladığı gözlemlenmiştir. 1970’li yılların başında ortaya çıkan petrol krizine karşın, taşımacılıkta hızlı gelişmeler kaydedilmesi, bu konuda yapılan çalışmalara yoğunluk kazandırmıştır. 1980’li yıllarda, ekonomik sorunların yanı sıra, ulaştırma türleri ve şirketleri arasında giderek artan ve kırıncı bir rekabet ortaya çıkmıştır. Günümüzde, düşük maliyetlerle daha çok ve daha iyi ulaştırma hizmetlerinin sağlanabilmesi, hem işletmecileri hem de bilim adamlarını yakından ilgilendirmektedir. Bu nedenle, taşıt rotalaması ve çizelgelemesi konusunun önemi artmaya devam edecek, şu ana kadar yapılan pek çok sayıdaki rotalama çizelgeleme problemlerine yenileri eklenecektir.

Taşıt rotalama ve çizelgelemenin, lojistik alanda da sıkça dile getirilen bir konu olduğu bilinmektedir. Lojistik genel olarak ürünün ya da hizmetin bir tedarik noktasından çeşitli talep noktalarına taşınması olarak tanımlanmaktadır. Tam bir lojistik sistemi hammaddelerin satıcılardan yada tedarikçilerden alınarak taşınması, bu hammaddelerin üretim için imalat fabrikalarına dağıtılması, üretilen bu ürünlerin depolara yada dağıtım merkezlerine aktarılması ve son olarak müşterilere dağıtılmasını kapsamaktadır. Hem dağıtım hem de tedarik prosedürleri etkili bir taşıma yönetimine ihtiyaç duymaktadır. İyi bir dağıtım yönetimi işletmenin toplam dağıtım maliyetlerinde önemli ölçüde bir azalma sağlayabilmektedir. İşletmelerin toplam lojistik maliyetlerinin 1/3 - 2/3’ü dağıtım maliyetlerinden kaynaklandığından dağıtım ekipmanının ve personelinin etkili ve verimli bir şekilde kullanılması işletme yöneticileri açısından önemli bir ilişki alanı haline gelmiştir. Dağıtım maliyetlerini azaltmak ve müşterilere sunulan servisin kalitesini arttırmak için en kısa zamanı yada mesafeyi verecek olan, bir aracın şebeke içerisinde izleyeceği en uygun rotayı bulmak günümüzde en çok tartışılan bir konu haline gelmiştir (Karahan, 2001).

Taşıt rotalaması ve çizelgelemesi, taşıt hareketlerinin mekansal ve zamansal olarak düzenlenmesidir. Bir taşıtın belirli bir periyot içerisinde gideceği yerlerin belirlenmesi, “taşıt

rotalaması” olarak tanımlanmaktadır. Bir taşıtın hangi zamanlarda nerelerde bulunacağını planlanması ise, “taşıt çizelgelenmesi” olarak adlandırılmaktadır. Bir taşıtın izleyeceği rota ile, bu rota boyunca hangi zamanlarda nerelerde bulunacağı konuları, birbirleri ile çok yakından ilişkilidir. Doğal olarak bu konulardaki kararlar da, genellikle birlikte ya da bir diğerine bağlı olarak verilmektedir. Bu kararlarda çoğu durumda taşıt il ilgili işletme maliyetlerinin minimize edilmesi, taşınacak yolcunun ya da karın en yükseklenmesi gibi amaçlar söz konusu olduğundan, taşıt rotalaması ve çizelgelenmesinin, optimizasyon problemleri olarak ele alınması gerekmektedir (Erel, 1995).

Çizelgeleme ve filo rotalama, ulaştırma sistemlerinde, karlılığı belirleyen temel unsurlardan birisidir. Verilen hizmetlerin kalite düzeyi, günümüz rekabet ortamında firmanın geleceğini tayin etmektedir (Yan vd., 2001).

Taşıt rotalama ve çizelgeleme ile ilgili olarak yapılan çalışmalara bakıldığında, şehirlerarası ve şehir içi otobüs rotalarının belirlenmesi ve çizelgelenmesi süreci ile ilgili olarak yapılan çok sayıda çalışma göze çarpmaktadır. Ancak uygulama alanlarına bakıldığında, bilimsel tekniklere dayanmayan, deneme-yanılma yöntemleri veya tecrübeye bağlı yapılan rotalama ve oluşturulan çizelgelerin, halen yoğun bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Otobüs rotalama veya çizelgeleme alanında yapılan geçmiş araştırmalar, genelde belirli bir talep yapısında maliyet en küçükleme / kar en büyükleme üzerine veya değişen talep ortamında kar / yolcu en büyükleme üzerine yürütülmüştür. Kentlerarası yolcu taşımacılığı alanında yapılmış pek çok çalışma literatürde yer almaktadır. Bunlardan bazıları: Kocur ve Hendrickson (1982), Chua (1984), Ceder ve Wilson (1986), Chang ve Schonfold (1991), Pattnaik et al. (1998). Kentlerarası yolcu taşımacılığı ayrıntılı olarak ve daha geniş bir alanda ise şu yazarlar tarafından ele alınmıştır: Newell (1971), Mohring (1972), Salzborn (1972), Hurdle (1973), Vuchic (1976), Sinclair ve Van Oudheusden (1997). Bazı çalışmalar ise hem rotalama hem de çizelgeleme faaliyetlerini birleştirmiş ve incelemişlerdir. Bunlar ise; Holroyd (1967), Kuah and Peri (1988), Chang (1990) and Spasovic et al. (1994) ve Christiansen, Fagerholt, Ronen, D. (2004).

Şehirlerarası otobüs rotalama ve çizelgeleme konusunda yalpan bir diğer çalışma, Yan S. ve Chen H.L.’nin Tayvan’da yapmış oldukları çalışmadır. Zaman çizelgelerinin oluşturulması ve araç rotalama/çizelgeleme, otobüs taşımacılığının karlılığında, hizmet düzeyi ve pazarda rekabet edebilirlik düzeyinin belirlenmesinde önemli rol oynadığını belirten çalışma, geçmişte, Tayvan’daki işletmelerin araç rotalarını ve çizelgelerini manuel olarak oluşturmakta olduklarını ve bunun oldukça verimsiz bir yaklaşım olduğunu ileri sürmektedir. Bu

araştırmada, Tayvan otobüs işletmelerinin zaman çizelgelerinin ve araç rotaları/çizelgelerinin oluşturulması için bir model geliştirilmiştir. Model, otobüs hareketlerini ve yolcu akışını formüle edebilen ve en iyi otobüs rota/çizelgelerinin oluşturulması amacıyla yolcu talepleri ve otobüs arzları arasındaki ilişkiyi yönetebilen çoklu zaman-yer ağı (multiple time-space network) modelidir. Matematiksel olarak, model bir “ karmaşık tamsayılı çoklu araç şebekesi” (Mixed Integer Multiple Commodity Network) model olarak formüle edilmiştir. Algoritma, Lagrange çarpanı (Lagrange Relaxation), alt eğim (sub gradient) metot, şebeke simpleks metot, Lagrange sezgisel ve bir akış ayrışma algoritması temellidir ve bu yöntemler modeli etkin bir şekilde çözmek için geliştirilmiştir. Yine otobüs rotalama ve çizelgeleme ile ilgili yapılan diğer bir çalışma Zubieta (1998) tarafından rekabetin yoğun bir şekilde yaşandığı bir pazarda bir yandan maliyetleri en küçükleme isterken bir yandan da seyahat süresini en küçükleyen bir model oluşturulmasıdır.

Rotalama ve çizelgeleme ile ilgili olarak yapılan çalışmaların bir diğer alanını da demiryolu taşımacılığı oluşturmaktadır. Literatürde, bu alanda yapılan çeşitli çalışmaları olduğu görülmektedir. Kron, Romejin ve Zwaneveld’in 1997 yılında yapmış oldukları çalışmada, trenlerin istasyonlar bazında rotalanması konusu incelenmiştir. Dinamik programlama modellenen sistem ile sabit bir rota ve çizelge elde edilmiştir. yine Carey (1994) aynı alanda tren rotalarının ve hatlarının seçiminde bir model tasarlamış, kurmuş ve çizelgelerini oluşturmuştur.

Hava taşımacılığı ile ilgili olarak yapılan rotalama ve çizelgeleme literatürüne bakıldığında, genelde hava yolu firmalarının maliyetlerini en küçükleyecek, doluluk oranlarını en yüksekleyecek amaç fonksiyonlarından oluşan ve kapasite, zaman, filo büyüklüğü gibi kısıtları bünyesinde barındıran kısıtların olduğu modellerle karşılaşılmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalarda pek çok rotalama ve çizelgeleme tekniğinin kullanıldığı görülmektedir. Bunlardan bazıları, Tabu araştırması, karınca algoritması, genetik algoritmalar, bulanık mantık vb.dir Yan ve Young (2001), etkinliği arttırmak adına, çoklu filo rotalama ve çok duraklı çizelgeleme için bir karar destek yapısı geliştirdikleri görülmektedir.. Bu yapı, tasarlanan zaman çizelgesini, uygun taşıtları, kapasiteyi, taşıt kiralama bedellerini ve diğer maliyet verilerini, en yüksek kara ulaşmak için temel girdi olarak dikkate alan bir çok stratejik modelin birleşiminden oluşmaktadır. Konu ile ilgili model bölüm 4.5.7’de verilmiştir. Bu alanda yapılan çalışmalar, farklı alanlardaki (karayolu, denizyolu ve demiryolu) çalışmalara da ilham kaynağı olmuştur. Ancak, havayolu taşımacılığının kendine has özellikleri vardır. Örneğin, Avrupa Havayolu firmalarının kendi aralarında yapmış olduğu bir anlaşma

çerçevesinde her uçak kendi ülkesi ile diğer ülkeler arasında taşımacılık yapacaktır. Bu durumda, rotalama ve çizelgeleme nispeten daha kolay olmaktadır. THY'na ait bir uçağın Almanya'ya uçuşu durumunda, bu uçağın buradan tekrar Türkiye'ye gelmesi gerekmektedir. Bu nedenle, varyasyon sayısı daha kısıtlıdır. Ancak, şehirlerarası otobüs işletmelerinde ya da kent içi deniz taşımacılığında, herhangi bir şehre ya da iskeleye uğrayan taşıtın, bu noktadan gidebileceği pek çok sayıda istasyon vardır.

Denizyolu taşımacılığı alanında da yapılan pek çok çalışma vardır. Özellikle İskandinav ülkelerinde ve denizden taşımacılığın yoğun bir şekilde yapıldığı ülkelerde bu alanda yapılan pek çok çalışma olduğu görülmektedir. Bu konu, bölüm 4.5'de tekrar ele alınacaktır.

Çizelgeleme süreci ise tipik olarak iki aşamadan oluşur: a)_ çizelge oluşturma aşaması b)_ çizelge değerlendirme aşaması. Çizelge oluşturma aşaması, belirli verilere göre tahmin edilen talebe, pazar payına ve istasyon slotlarına göre bir zaman çizelgesi tasarlanmasıyla biter. Daha sonra tasarlanan çizelge, çizelge değerlendirme aşaması sırasında operasyon fizibilitesi, maliyet ve performans bakımından denenir. Fizibilite kontrolü, filo rotalarını, filo büyüklüklerini, iş gücü çizelgelemeyi ve bakım planlarını içermektedir. Bu aşamada tanımlanan her iyileştirme, tasarlanan zaman çizelgesinin revize edilebilmesi için çizelge oluşturma safhasına bir geri bildirim oluşturur. Çizelgeleme süreci, istenilen zaman çizelgesi elde edilinceye kadar bu iki aşama arasında tekrar edilir (Yan vd., 2001).

Taşıt rotalama ve çizelgeleme problemlerinde en küçüklenecek taşıt ile ilgili maliyetler, taşıtların elde edilme, boş bekletilme, görevleri dışında kullanılma maliyetleri vb. olarak sıralanabilir. Kısıtlar ise, belirli yolculukların belirli taşıt tipleriyle özelleştirilmesi, taşıtların belirli zaman aralıklarında bakımlarının yapılması vb. olabilmektedir. Bu problemlerin çıktısı "taşıtların hareketlerinin sıralaması" olup, aynı zamanda seyahat kümesini gerçekleştirecek taşıt sayısını da vermektedir. Eğer gerekli olan yedek taşıt sayısı tahmin edilirse, filo boyutu belirlenmiş olur.

Taşıt rotalama ve çizelgeleme problemlerinin ana girdisi, yukarıda verilen tanımlardan da anlaşılacağı gibi, seferler kümesidir. Bu seferler, mutlaka birer taşıt tarafından gerçekleştirilecekleri için, görevler olarak da tanımlanmaktadır. Taşıt rotalama ve çizelgeleme, zaman çizelgelemesini izleyen ardışık aşamadır. Ancak, bu hiyerarşi, zaman çizelgelemesinin taşıt rotalama ve çizelgelemeden etkilenmediği anlamına gelmez (Erel, 1995).

Bölüm 4,1'de, taşıt rotalaması ve çizelgelemesi problemleriyle ilgili temel kavramlara yer

verilmekte, problemlerin genel sınıflandırması yapılmakta ve konuya bakış açısı kazandıran bazı örnekler sunulmaktadır. Her bir rotalama veya çizelgeleme problemi, sistemin yapısı, işletmenin sahi olduğu filo boyutu ve işletmenin amaçları gibi pek çok faktöre bağlı olarak özgün bir yapı kazanmaktadır. Bu nedenle her biri ayrı karaktere sahip olan bu problemlere, dar bir bakış açısıyla yaklaşmanın yeterli olmayacağı kanısına varılarak, Bölüm 3.2’de, taşıt rotalaması ve çizelgelemesi problemlerinin analiz edilmesini sağlayan bir yapısal çerçeve oluşturulmuştur. Bu çerçeve esas alınarak kentlerarası yolcu taşımacılığı için taşıt rotalama ve çizelgeleme problemlerinin yapısı, Bölüm 4,3’de incelenecektir. Zira, doğru ve gerçekçi bir modelin temeli, problemin yapısının iyi bir şekilde ortaya konmasına bağlıdır. Kentlerarası yolcu taşımacılığı için rotalama ve çizelgeleme problemleri incelenirken, zaman çizelgelemesinin bu problemler için bir girdi olduğu ve bu girdiye bağlı olarak problemin şekillendiği görülmüştür. Böylesine önemli bir girdiyi dikkate almadan yapılacak olan rotalama ve çizelgelemenin gerçekçi olmayacağı gerekçesiyle, Bölüm 4.4.1’de zaman çizelgelemesi ve yolculuk (sefer) seçimi ile ilgili açıklamalar yapılmıştır. Bölüm 4.5’de ise, bu konuda ortaya konulan önemli ve aynı karakterlere sahip bazı modeller tanıtılmaya çalışılacak ve bunların deniz otobüsleri ile yolcu taşımacılığına uygulanabilirliği tartışılacaktır.

Ülkemize bakıldığında, bu alanda yapılan çalışmalar artmakla beraber hala yetersiz düzeydedir. Özellikle otobüs ile yapılan taşımacılıkta Halen bilimsel temellere oturmayan uygulamalar yer almaktadır. Bu alanda yapılan bilimsel çalışmalar olsa da rotalama ve çizelgelemenin önemi tama olarak anlaşılammıştır. Havayolu taşımacılığında ise, THY’de yapılan çeşitli çalışmalar vardır. Deniz yolunda ise hâlihazırda yapılan bir çalışma göze çarpmamaktadır. Bunda, deniz taşımacılığının tekel olması ve rekabetin olmamasının etkisi büyüktür.

4.1 Taşıt Rotalaması ve Çizelgelemesi Problemleri

Taşıt rotalama ve çizelgeleme problemleri, bir ya da bir kaç depoda bulunan taşıtlar tarafından, belirli stratejiler ve kısıtlar altında, önceden saptanmış amaç veya amaçları gerçekleştiren taşımacılık hizmetinin verilmesiyle ilgili problemlerdir. Adresler, bir taşıt ya da taşıt kümesinin uğrayacağı terminaller, limanlar, duraklar ve evler gibi trafik üreten ve çeken merkezleri simgelerler. Depolar, taşıtların ilk hareketlerine başladıkları ve belirli adreslere uğradıktan sonra geri döndükleri yerler olarak tanımlanabilirler. Bu problemler;

- Rotalama problemleri,
- Zaman pencereleli rotalama problemleri,
- Eşzamanlı rotalama ve çizelgeleme problemleri

olarak sınıflandırılabilirler. Rotalama problemlerinde, taşıtların hangi zamanlarda adreslere uğrayacakları önemli değildir (adres-zaman ilişkisi yoktur). Eşzamanlı rotalama ve çizelgeleme problemlerinde, adreslere belirli (kesin) zamanlarda uğranılması gereklidir (adres ve zaman ilişkisi vardır). İlki, bir turistin bir kentteki tarihi yerlere istediği sırayla gidebilmesine, ikincisi ise, önceden biletlerini almış olan bir kişinin, değişik yerlerdeki tiyatro oyunlarının başlangıç zamanlarına yetişebilmesine benzemektedir. Zaman pencereleli rotalama problemlerinde ise, bir adrese bir zaman aralığının herhangi bir anında uğranılabilir. Bu, bir kişinin, aynı günde, (10.00 – 15.00) arasında bir yere (14.00–18.00) arasında başka bir yere uğramak zorunda olmasına benzemektedir (Erel, 1995).

Taşıt rotalama ve çizelgelemenin doğasına bakıldığında, taşıt rotalama ve çizelgelemenin taşıtların belirlenen merkezlerden (depot) hareket ederek ilgili mal –hizmeti coğrafi olarak belirli bölgelerde yer alan müşterilere ulaştırması gerektiğini ifade etmektedir. Bu tür problemlere çözüm bulmak demek, sevkiyat maliyetini en küçükleyecek sevkiyat rotaları setinin oluşturulması demektir. Her bir müşterinin talebi, belirlenen bir plan ve program çerçevesinde standartlaştırıldığı an, optimum çözüme ulaşılmış demektir. Ancak, talepte herhangi bir belirsizlik var ise, bu durumda çözüm optimum çözüm olmayabilir (Haughton, 1998).

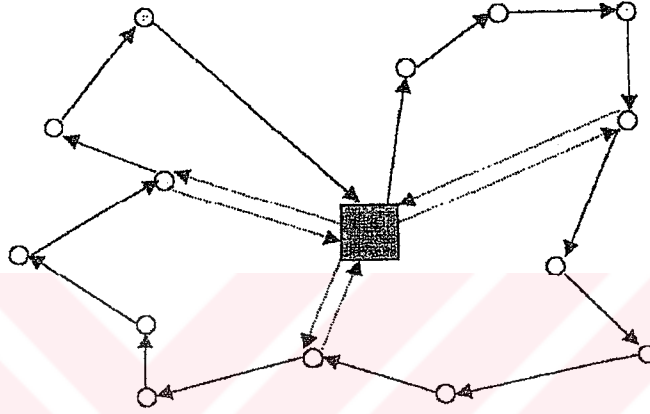
Mal sevkiyatında taşıt rotalama problemlerine bakıldığında ise, farklı noktalardaki müşteri taleplerini karşılamak üzere görevlendirilecek araç filosunun, minimum uzaklığı veren rotaların bulunması problemidir tanımıyla karşılaşılmaktadır. taşıt rotalama problemi aynı zamanda coğrafi olarak dağınık müşterilere bir veya birden fazla depodan hizmet vermek üzere görevlendirilen araçların, optimum dağıtım/toplama rotalarının tasarlanması problemidir.

4.1.1 Rotalama Problemleri

Rotalama problemleri için “tek ya da çok depolu”, “tek ya da çok taşıtlı” ya da “rota süresi sınırlı ve sınırsız” gibi çeşitli sınıflandırmalar yapılabilir. Rota süresinin sınırlı olması, bir depodan ayrılan taşıtın, belirli bir süre sonunda aynı depoya geri dönmesi gerektiğini göstermektedir.

4.1.1.1 Tek Araçlı Rotalama

Tek araçlı taşıt rotalama yönteminde şebekede bulunan tüm müşterilerin ihtiyaçları sadece bir taşıt kullanılarak karşılanmaya çalışılmaktadır. Araç kendi kapasitesini dolduracak kadar yüklendikten sonra birinci rota başlar ve belirlenen rota üzerindeki tüm müşterilere uğradıktan sonra tekrar depoya döner. Şebekede talebi karşılanmayan diğer müşterilerin talepleri aynı yöntemle aracın kapasitesine uygun bir şekilde tekrar araca yüklenir ve araç ikinci rotasına çıkar. Bu şekilde şebeke içerisindeki müşterilerin ihtiyaçları karşılanıncaya kadar araç rotalamaya devam edilir. Tek araçlı taşıt rotalama örneği Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



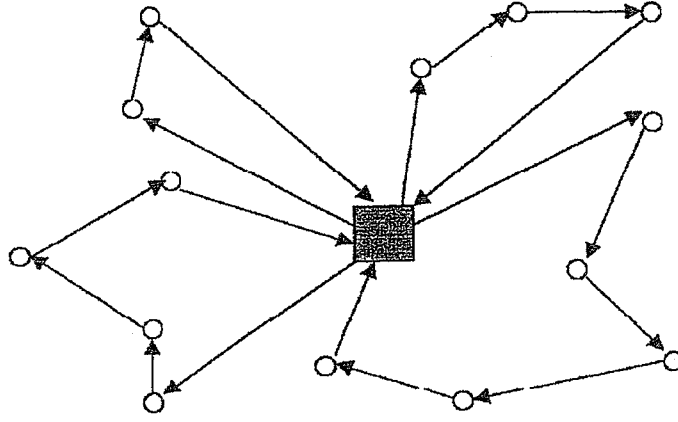
Şekil 4.1 Tek araçlı taşıt rotalama (Karahana, 2001)

4.1.1.2 Tek Depodan Çok Araçlı Rotalama

Bu yöntemde şebekede bulunan müşterilerin ihtiyaçları çok sayıda taşıt kullanılarak karşılanmaya çalışılır. Şebekede müşterilerin talepleri araç kapasitelerine uygun olarak yüklendikten sonra araçlar aynı anda belirlenen rota üzerindeki noktalara uğrayarak talepleri karşılarlar ve tekrar depoya geri dönerler. Araçlar ikinci bir rota için yüklenmezler. Çok araçlı taşıt rotalamanın tek araçlı taşıt rotalamadan farkı, şebeke içerisindeki rota sayısı kadar araca gereksinim duyulmasıdır. Bu yöntem diğer yöntemlere göre talepleri daha çabuk karşılamaktadır. Çok araçlı rotalama örneği şekil 4.2’de görülmektedir.

4.1.1.3 Çok Depo / Çok Araçlı Rotalama

Çok depo/ taşıt rotalama problemi belirli yerleşimlere sahip olan M adet depodan belirli talep ve yerleşimlere sahip olan N adet müşterinin ihtiyaçlarını karşılayabilmek için toplam rota uzunluğu minimum olacak tarzda müşterilerin depolara tahsis edilmeleri ve her bir depoya ilişkin rotaların belirlenmesi problemi olarak tanımlanabilir.



Şekil 4.2 Tek depodan çok araçlı rotalama (Karahana, 2001)

Bir şebeke içerisinde bir aracın rotalanması problemi kendisi için özel tasarlanmış bir metod ya da yöntem tarafından çözülebilir. Bu yöntemlerden en çok bilineni ve en basit olanı en kısa yol yöntemidir. Ayrıca literatürde bir çok farklı yöntemler olup en sık kullanılanlar arasında Sweep metodu, gezgin satıcı yöntemi, Çinli postacı yöntemi ve Clark- Wright metodlarını sayabiliriz.

4.1.1.4 Gezgin Satıcı Problemleri

Bir satıcının n sayıda şehrin tamamını en kısa zamanda dolaşmasını sağlayacak şekilde şehirleri (müşterileri) ziyaret etme sırasını bulma problemine gezgin satıcı problemi denir. Gezgin satıcı probleminde her bir şehir yalnız bir defa ziyaret edilip sonunda başlangıç noktasına dönlür ve ziyaret en kısa yoldan yapılır (Taha, 1998).

Gezgin satıcı bütünlük optimizasyonun klasik problemlerinden biridir. Problem ilk defa 1759 yılında Euler tarafından ortaya konmuştur. 1831 yılında Voight adında yaşlı bir gezgin satıcı tecrübelerini aktarıcı mahiyette bir kitap yazmıştır. Gezgin satıcı terimi ilk defa 1931-32 yıllarında kullanılmış ve 1948 yılında popüler olmuştur (Eryavuz, 2001).

Gezgin satıcı problemi için çok sayıda sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Taşıt rotalama ve çizelgeleme için geliştirilen sezgisellerin çoğu gezgin satıcı probleminin sezgisellerinin modifiye edilmiş halleridir. Seyyar satıcı sezgiselleri; tur kurucu algoritmalar, tur geliştirici algoritmalar ve karışık algoritmalar olmak üzere üç ana başlık altında incelenebilir. Tur kurucu algoritmalar, mesafe matrisinden optimale yakın turlar oluştururlar. Tur geliştirici algoritmalar mevcut bir mümkün çözümü geliştirirler. Karışık algoritmalar ise tur kurucu algoritmalarından birisi ile bir başlangıç çözümü bulup, tur geliştirici algoritmaların bir veya

birkaçı ile mevcut çözümlü geliştirirler.

4.1.1.5 Süpürme (Sweep) Yöntemi

Bu yöntemin özelliği kolay olmasıdır. Bu sayede büyük rotalama problemlerinde dahi, özel bir çaba gerektirmeden uygulanabilmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda, bu metodun hata oranının %10 civarında olduğu bulunmuştur (Ballou, 1998).

Sweep yöntemi ilk önce şebeke içerisindeki müşterileri araçlara atayan ve daha sonra gezgin satıcı yöntemiyle taşıtları rotalayan iki aşamalı bir metottur. Sweep yöntemi depoyu orijin noktası olarak kabul eder ve depodan başlayarak müşteri noktalarına rassal olarak ulaşmaya çalışır. Öncelikli olarak bir i noktasına yada müşterisine gidilir. Daha sonra aracın kapasitesi doluncaya kadar $i+1$, $i+2$,...noktalarına gidilir ve aracın kapasitesi dolduğunda tekrar depoya geri döndürülür. Bu işlem tüm müşteriler bir rotaya atanıncaya kadar yada tüm araçlar kullanılıncaya kadar devam eder. Son olarak gezgin satıcı yöntemiyle rotalar optimize edilir.

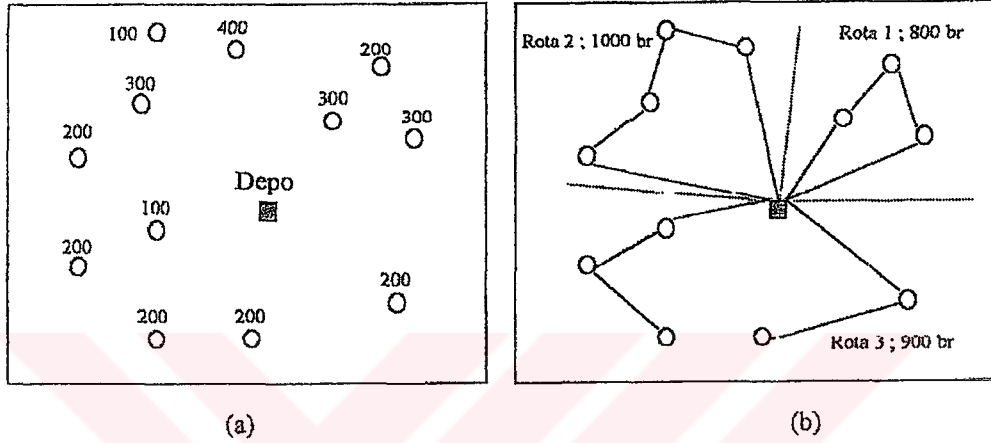
Taşıt rotalamada kullanılan Sweep yöntemi çok basit bir şekilde yapılabilmektedir. Sweep yöntemi bilgisayar yazılımı içerisinde programlandığı zaman çok fazla bilgisayar hafızasına gerek duymadan hızlı bir şekilde problemi çözebilmektedir. Yapılan araştırmalarda bu yöntemin ortalama %10'luk bir hata ile optimuma yakın sonuç verdiği gözlenmiştir. Bu hata düzeyi küçük miktarlarda siparişlerin olduğu durumlarda kabul edilebilir.

Sweep yöntemini çalışması şu şekilde yapılır (Karahana,2003):

- 1) Bir harita üzerinde depo (orijin noktası) ile müşteri noktalarının (varış noktaları) yeri doğru bir şekilde tespit edilir.
- 2) Herhangi bir taşıt belirlenir.
- 3) Bu araç göz önüne alınarak taşıt kapasitesine uygun yükleme yapılır. Öncelikle depodan herhangi bir noktaya gidilir. Eğer gidilen noktadaki talep miktarı aracın kapasitesini aşmıyorsa saat yönünde ya da ters yönde ikinci bir noktaya gidilir. Bu ikinci noktanın talep miktarı toplam miktara eklenir. Bu toplam miktar eğer aracın kapasitesini aşmıyorsa üçüncü bir noktaya gidilir, aksi halde araç depoya geri döndürülür.
- 4) Birinci araç depoya geri döndükten sonra ikinci araç için rota hazırlanır. İkinci aracın rotası birinci aracın en son uğradığı noktadan başlar. Ve 3. adımdaki gibi devam eder. Bu işlem şebeke içerisindeki tüm noktalar rotaya katılıncaya kadar sürer.

5) Tüm noktalar rotalandıktan sonra belirlenen rotalar uygun bir şekilde optimize edilir

Aşağıda Sweep yöntemi kullanılarak yapılmış bir taşıt rotalama örneği yer almaktadır. Şekil 4.3 (a)'da şebeke içerisinde yer alan deponun ve müşterilerin bir harita üzerindeki yerleşimi ve müşterilerin talepleri yer almaktadır. 1000 birimlik kapasiteye sahip araçlar kullanılarak bir rotalama yapılacaktır. Şekil 4.3 (b)'de Sweep yöntemi ile yapılmış rotalama yer almaktadır. Şekilden de anlaşılacağı gibi tüm noktaların taleplerinin karşılanması için üç adet rotaya yada üç adet araca gereksinim olduğu açıkça görülmektedir (Karahan,2003)



Şekil 4.3 Sweep Örneği (Karahan,2003)

4.1.1.6 Clark-Wright Tasarruf Algoritması

Clark ve Wright (1964) tarafından geliştirilmiş olan tasarruf algoritması her bir adımda turlar setinin daha iyi bir set elde etmek üzere değiştirilmesine dayanmaktadır. Bu nedenle Clark ve Wright algoritması bir değişim yöntemidir (Toth vd., 2002).

Yöntemde başlangıç olarak her bir araç için ayrı bir rota oluşturulmakta yani her bir talep noktasına ayrı bir araç ile hizmet verilmektedir. Sonra oluşabilecek en büyük tasarrufa ve uygunluk şartlarına göre iki rota birleştirilmektedir. Burada ifade edilen tasarruflar i ve j düğümlerine iki ayrı araç yerine bir tek araç ile hizmet verilmesi durumunda elde edilecek maliyet azalmasıdır.

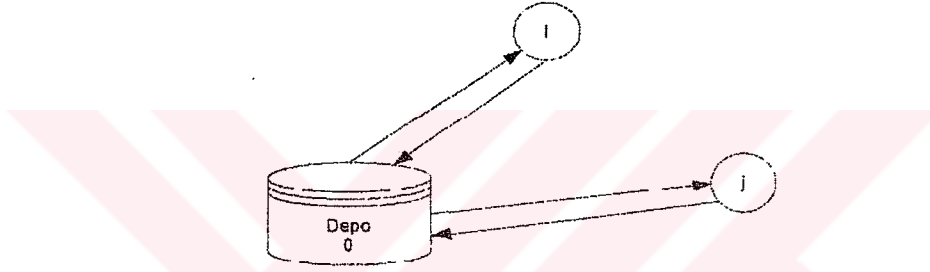
Bütün araçların yola çıkıp geri döneceği basit bir depo bulunmaktadır. Müşteri talepleri ve konumları bilinmektedir. Deponun konumu 0 ve müşteri konumları 1,2,3,..n olarak tanımlanmaktadır. Depodan, her müşteri konumuna gitmenin maliyetlerini şu şekilde kabul edilir.

C_{0j} = depodan j müşteriye bir yolculuk yapmanın maliyeti

Metodu tamamlamak için aynı zamanda müşteriler arası yolculuk masraflarının bilinmesi gerekmektedir. Bu durumda aşağıdaki bilinen sabitler kabul edilecektir.

C_{ij} = i konumundaki müşteriden j müşteriye bir yolculuk yapmanın maliyeti

Amaca ulaşmak için, her $1 \leq i, j \leq n$ için $c_{ij} = c_{ji}$ olduğu durum düşünülecektir. Bu durumun her koşulda geçerli olmadığı unutulmamalıdır, örneğin tek yönlü caddeler varsa, i'den j'ye olan mesafe, j'den i'olan mesafeden farklı olabilir. Metot şu şekilde devam etmektedir: başlangıçta her müşteri konumuna ayrı bir aracın atandığını farz edilir. Bu durumda başlangıç çözümü, depodan her müşteri konumuna ve geri dönüşe n ayrı rota içerecektir. Şekil 4.4'de durum gözükmektedir (Kocaoğlu, 2003).

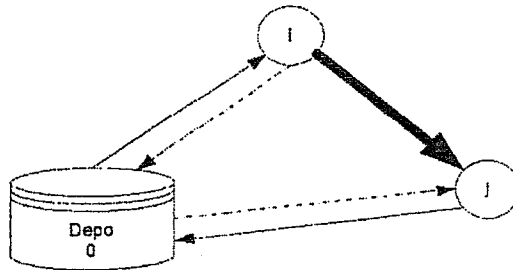


Şekil 4.4 Depodan müşteriye seyahatte ilk durum (Kocaoğlu,2003)

Başlangıç çözümü için, bütün başlangıç noktasına dönen yolculukların maliyeti aşağıdaki gibi olacaktır.

$$2 \sum_{j=1}^n C_{0j}$$

Müşteri i ile j'yi birbirine bağladığımızı düşünelim. Bu durum, depodan i'ye, i'den j'ye ve j'den depoya dönüş yapılacak demektir. Son durum şekil 4.5'te gözükmektedir.



Şekil 4.5 Konumların birbirine bağlandığı ikinci durum (Kocaoğlu, 2003)

Böyle yaparak, depo ile i konumu arasında bir yolculuk tasarruf ve depo ile j arasında da bir yolculuk tasarruf etmiş olunur. Tasarruflar, şekil 4.4'de kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Yine de, i'den j'ye(veya başka) seyahat için, C_{ij} ile ifade edilen ilave bir maliyet oluşacaktır. İlave maliyet, şekil 4.4'de koyu renkli çizgi ile gösterilmiştir Bundan dolayı, i'yi j'ye bağlamak sonucu oluşan toplam tasarruf şu şekilde ifade edilir.

$$S_{ij} = C_{0i} + C_{0j} - C_{ij}$$

Metot, bütün mümkün i ve j müşteri konum çiftleri için, S_{ij} değerlerini hesaplamak ve S_{ij} 'leri azalan şekilde sıraya koymaktır. Fizibil kısıtları bozmuyorsa, tasarrufların azalan sıralamasındaki, bir rotasında (ij) bağlantısını içeren her bağlantı(link) düşünülebilir. Eğer mevcut bağlantı fizibilliği bozuyorsa, liste üzerindeki diğer bağlantıya gidilir ve basit bir rota üzerinde olduğu düşünülür. Bu tarz, liste bitinceye kadar devam eder. (i,j) bağlantısı bir rotada yer aldığı anda, tasarrufların maliyeti S_{ij} 'dir (Kocaoğlu, 2003).

$$\text{Gerekli } S_{ij} \text{ lerin hesaplanacak toplam sayısı: } \binom{n}{2} = \frac{n!}{2!(n-2)!} = \frac{n(n-1)}{2}$$

(Eğer $C_{ij} \neq C_{ji}$ ise tasarruf koşullarının iki misli hesaplanmalıdır.)

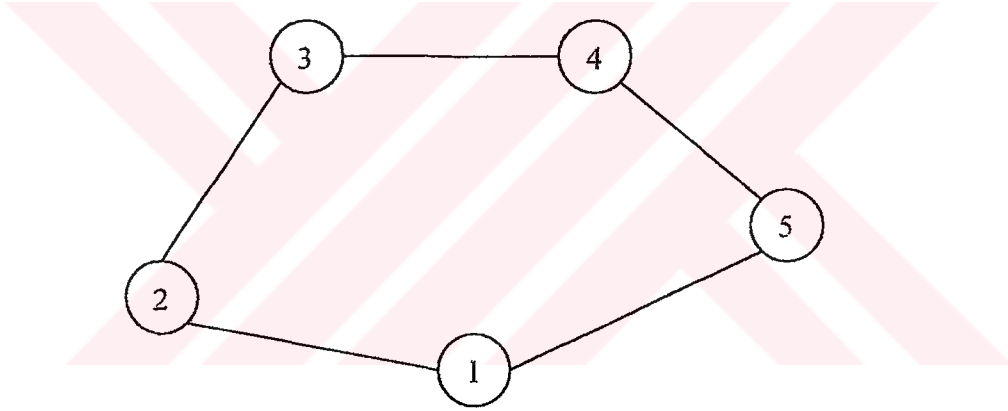
n'in küçük değerlerinde, tasarruf metodu manuel çözüm yapmak için fizibildir. Örneğin n=10 için 45 farklı durum vardır ve n=100 için yaklaşık 5000 farklı durum olacaktır. Kısıtlamalar çok karmaşık olmadıkça, bu metot bilgisayar üzerinde de kolaylıkla gerçekleştirilebilir.

4.1.1.7 Modern Sezgisel Algoritmalar

Yukarıda belirtilen algoritmalara ek olarak, gerçek hayatı daha iyi ortaya koyabilen ve daha bütünleşik bir yapı sunan sezgisel algoritmalar da modellerin çözümünde kullanılmaktadırlar. Bütünleşik (combinatorial) optimizasyon problemleri çözüm yaklaşımlarından birisi problemin bütün mümkün çözümlerinin sıralanması ve en iyi olanının çözüm olarak belirlenmesidir. Teorik olarak bir problemi bu şekilde tamamen sıralama (complete enumeration) yaklaşımıyla çözmek mümkündür. Ancak pratikte problemlerin büyük boyutlu olması bu çözüm yaklaşımını mümkün kılmamaktadır. Bu nedenle günümüzde yeni çözüm şekillerinin ortaya çıktığı görülmektedir. Bu tekniklere örnek olarak tabu arama (tabu search) genetik algoritma, karınca algoritması ve tavlama benzetim (simulated annealing) algoritmalarını gösterebiliriz.

4.1.1.8 Rota Süresi Sınırsız Rotalama Problemleri

Rota süresi, depodan ayrılan bir taşıtın depoya dönüşü için gereken süre olarak tanımlanabilir. Rota süresi sınırsız rotalama problemlerinin belki de en iyi örneği, tek taşıtlı gezgin satıcı problemleridir. Bu problem, tek bir taşıt ile bir “Hamiltonion tur” oluşturulması esnasına dayanmaktadır. Bir Hamiltonion tur, bir $G = [N, A]$ ağda, her bir düğümden kesinlikle bir kez geçen turu göstermektedir. Bu ağda, (N), düğümler kümesidir; (A) kollar (adresleri birbirine bağlayan yollar) kümesini göstermektedir. Problemin amacı, toplam tur uzunluğunu ya da maliyetini en küçüklemeektir. Bu problemde, adreslere uğranılacak zamanlar ve rota süresi ile ilgili girdiler ve kısıtlar yoktur. Bir gezgin satıcı probleminin optimum çözümü, şekil 4.6’da verilen (1-2-3-4-5-1) rotası olduğu kabul edilirse, eğer posta uzunluğu ya da maliyeti, seyahatin yönünden etkilenmiyorsa; gezgin satıcı probleminde adres-zaman ilişkisi olmadığı için taşıt (1-5-4-3-2-1) sıralamasını da izleyebilir.



Şekil 4.6 Gezgin satıcı için çözüm örneği (Erel, 1995)

Bu tür adresler düğümler ile karakterize edildiğinden, bu tür problemler “düğüm rotalaması problemleri” olarak da adlandırılmaktadır. Bunun yanı sıra Çinli Postacı Problemi’nde olduğu gibi, adreslerin kollar ile karakterize edildiği problemlerde de “kol rotalaması problemleri” adı verilmektedir (Erel, 1995).

4.1.1.9 Rota Süresi Sınırlı Rotalama Problemleri

Golden’in (1977) dağıtım problemi, rota süresi sınırlı rotalama problemlerine oldukça iyi bir örnektir. Bu problemde, taşıtların katettikleri toplam uzunluk en küçüklenmektedir. Depodan ayrılan taşıtlar, belirli adreslere (düğümlere) uğradıktan sonra, aynı depoya dönmek

zorundadırlar. Bir taşıtın depodan depoya olan rota süresi, en büyük rota süresini aşmamalıdır. Bu kısıt, adresler kümesine hizmet verecek olan taşıt sayısının belirlenmesinde önemli bir rol oynar.

Rota süresi ile birlikte taşıt sayısının da sınırlı olduğu bir problemin çözümünde, bazı adreslere uğranılamaması durumu ile karşılaşılabılır. Eğer bütün adreslere mutlaka uğranılması gerekiyorsa ve taşıt sayısını arttırmak olanaksızsa, en büyük rota süresi aşılma zorunda kalınabilir. Bu durumda aşılma her birim süre için bir ceza maliyeti verilerek, toplam ceza maliyeti en küçüklenebilir. Böyle bir yaklaşım taşıt sayısının sınırlı olmasını bir “katı kısıt”, rota süresinin sınırlı olmasını bir “gevşek kısıt” yapar. Bir “katı kısıt” kesinlikle uyulması gereken, bir “gevşek kısıt” ise uyulması istenilen kısıtlardır. Görüldüğü üzere problemin yapısı, rota süresinin sınırlandırılmasından önemli ölçüde etkilenmektedir (Erel, 1995).

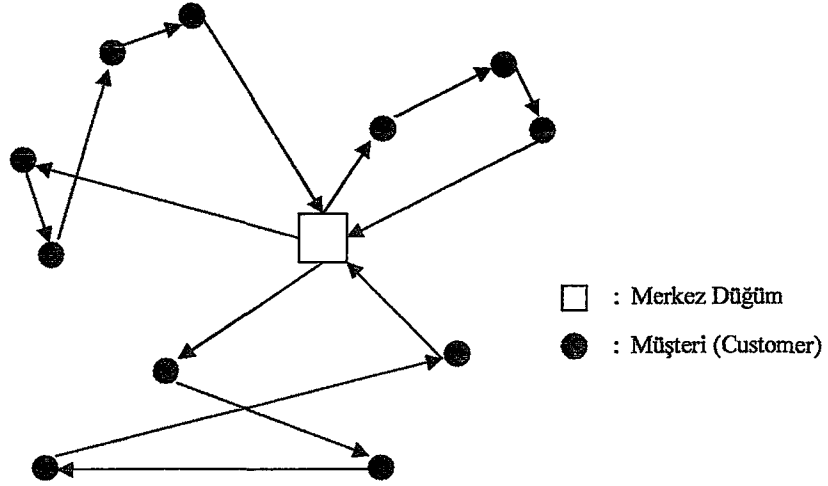
4.1.1.10 Zaman Pencereleli Rotalama Problemleri

Zaman pencereleli taşıt rotalama problemleri, en küçük maliyetli rota kümelerinin tasarımı, merkez bir depo yaratmayı ve bilinen belirli bir talebe bağlı filo rotalamayı kapsamaktadır. İlk etapta, yolcular, kapasiteler göz önünde bulundurulmadan araçlara görevlendirilmektedir.

Zaman penceresi, sert veya yumuşak olabilmektedir. Sert bazlı vakalarda, eğer bir taşıt müşteriye erken bir zamanda ulaşırsa, taşıt müşteri gelinceye kadar beklemelidir. Ancak, taşıtın bir düğüme, hizmete başlaması için gereken en geç zamandan (latest time) sonra varılmasına izin verilmez. Tersine, yumuşak vaka bazlı çalışmalarda, zaman bazları bir maliyetle bozulabilmektedir (Desrosiers vd., 1993)

Zaman pencereleli taşıt rotalama problemleri, taşıt rotalama problemlerini de içeren ve zaman kısıtının da göz önünde bulundurulduğu bir yapıdır. Taşıt rotalama problemleri konusunda literatürde pek çok deneysel çalışma mevcuttur. (Magnanti, 1981, Bodin vd., 1983, Laporte vd., Nobert 1987, Laporte 1992). Şekil 4.7 Zaman pencereleli taşıt rotalama problemlerini resimlemektedir.

Zaman bazı, genellikle doğal olarak esnek zaman çizelgeleriyle çalışan organizasyonlarda karşılaşılan bir durumdur. Sert zaman bazı spesifik örnekler; banka sevkiyatları, posta iletileri, okul servisleri rotalama ve çizelgeleme (Desrosiers vd., 1993).



Şekil 4.7 Genel zaman pencereli taşıt rotaları (Desrosiers, Dumas, Solomon, François, 1993)

Taşıt rotalama problemleri, NP-zor sınıfta yer almaktadır. Aynı şekilde zaman pencereli taşıt rotalama problemleri de NP-zor sınıfta yer almaktadır. Genellikle kullanılan çoğu metot merkezi bir düğüm ve türdeş filoların varlığını kabul ederken, bu metotlar, kolay büyümeleri kabul ederler. Filodaki her bir araç için spesifik öncelikler ve kısıtlar, bir sonraki bölümde verilen formülasyonlarda izah edilmiştir. Bu genellenmiş model ve çözüm yaklaşımı, bu nedenle planlanabilirlik açısından uygun bir yaklaşımdır.

Yük taşımacılığına baktığımızda bu problemlerin genellikle, malların dağıtılması veya toplatılması ile ilgili olduğu görülmektedir.. Bir mal grubu, bir adresten alınıp çeşitli adreslere ya da adreslerden alınıp tek bir adrese götürülebilir. İlki, “tek toplama adresinden çok dağıtım adresine”, ikincisi “çok toplama adresinden tek dağıtım adresine” tarzlarında olan problemleri ortaya koyar. “birkaç toplama adresinden çok dağıtım adresine”, “çok toplama adresinden birkaç dağıtım adresine” ve “çok toplama adresinden çok dağıtım adresine” tarzlarındaki problemler de olabilmektedir. Bu tür problemlerde genellikle, malların alınacağı ya da dağıtılacağı adreslere, belirli bir zaman aralığında hizmet verilmesi istenmektedir. Bu aralıklar, “zaman pencereleri” olarak adlandırılırlar. Zaman pencereleri iki sınıfta incelenebilir (Erel, 1995):

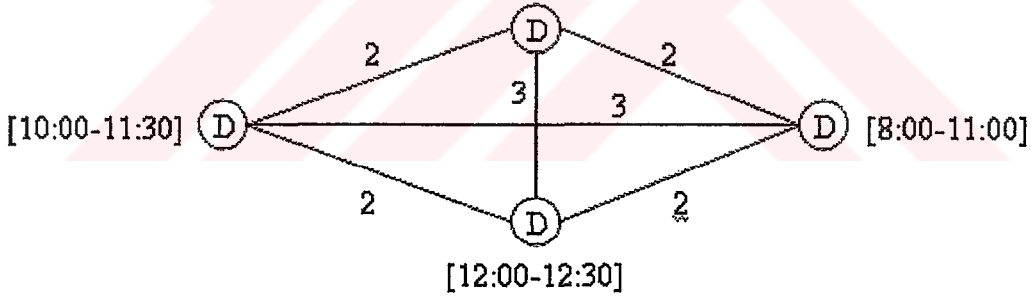
- Çift sınırlı zaman pencereleri,
- Tek sınırlı zaman pencereleri

Çift sınırlı bir zaman penceresinde, adrese uğranabilecek en erken zaman ve en geç zaman belirlidir. Dolayısı ile, bir taşıt bir adrese zaman sınırları içinde uğramalıdır. Zamanından önce

adrese erişen bir taşıtın, bu zamana kadar bekleyeceği kabul edilir. Taşıtın, sınırından sonra adrese uğramasına asla izin verilmez. Tek sınırlı zaman pencereleri, uğranılabilecek “ilk zamanı belirli olanlar” ve “son zamanı belirli olanlar” şeklinde ikiye ayrılabilirler.

Zaman pencereli rotalama problemleri genellikle, “önce müşteriye istediği zaman aralığında hizmet verilmesi ve sonra rotanın optimize edilmesi (önce müşteri, sonra rota), ise “yalnızca rotanın optimize edilmesi (yalnız rota)” stratejilerine dayanan problemlerdir.

Şekil 4.8’de verilen örnek, bir depodan, (1), (2), (3) nolu adreslere dağıtım yapılmasıyla ilgilidir. (1), (2) ve (3) nolu adreslere, verildikleri sıraya göre (8:00-11:00), (12:00-12:30) ve (10:00-11:30) zaman pencerelerinde hizmet verilmesi gerekmektedir. İki adres arasında seyir süresi, şekilde adresleri bağlayan kollar üzerinde verilmiştir. Bu problem bir gezgin satıcı problemi olsaydı, optimal tur (D-1-2-3-D) olurdu ve bir taşıt yeterliydi. Zaman pencereleri dikkate alındığında, depodan ayrılarak önce 8:00’da (1) nolu adrese ve sonra (1) nolu adreste hiç zaman kaybetmediği varsayımı ile 11:00’da (3) nolu adrese erişen bir taşıt, (2) nolu adrese belirlenen zaman penceresi içinde erişemeyeceği için, depoya dönmek zorundadır. (2) nolu adrese başka bir taşıt hizmet vereceğinden, problemin çözümünde toplam iki taşıt gerekecektir.



Şekil 4.8 Zaman pencereli bir rotalama problemi (Erel, 1995)

Yukarıda verilen örnekte, (3) nolu adrese, kesinlikle (2) nolu adresten önce hizmet verilmesi gerektiği açıkça görülmektedir. Hangi adreslere, hangi adreslerden daha önce uğranılması gerektiği, “görev önceliği kısıtı” olarak adlandırılmaktadır. Bu kısıt, zaman pencerelerinin ortaya koyduğu bir kısıt olabileceği gibi, bir işlemin başka bir işlemden önce yapılması gerektiğini gösteren bir kısıt da olabilmektedir. Örneğin, toplama işlemlerinin, dağıtım işlemlerinden önce yapılması gibi...

Zaman pencereli rotalama problemleriyle ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan Desrochers ve arkadaşlarının (1987) rotalama problemlerinde, bir taşıt deposu vardır, her bir

taşıtın kapasitesi sınırlıdır ve her bir müşteriye bir zaman penceresinde hizmet verilebilir. Solomon ve arkadaşları (1993) ise, rotalama problemleri için kullanılan ve kol değiştirme prosedürü olarak tanımlanan sezgisel yaklaşımı, zaman pencereli bir rotalama problemi çözümünde kullanmışlardır.

Bu alanda yapılan çalışmalardan birisi de, daha önce de bahsedilen Yan ve Tseng (2002) tarafından yapılan çalışmadır. Çalışmanın amacı, çözüm algoritması ile birlikte yolcu talebi ve arzı arasındaki ilişkiyi doğrudan yönetebilecek bir şebeke ağı geliştirmek ve bu suretle uçakların etkin bir şekilde rotalanması, çizelgelenmesi ve işletilmesini sağlamaktır. Bir başka ifade ile, matematiksel bir modelle birlikte çözüm algoritmasını geliştirerek kullanıcılara çoklu filo rotalama ve çizelgelemede yardım etmektir. Tayvan'da yapılan çalışmada, mevcut durumda Tayvan'daki birçok havayolu firmasının, filo rotalama ve uçuş çizelgeleme uygulamalarında deneme-yanıma metodunu kullanmakta olduğu belirtilmiştir. Bunlar, çizelge oluşturma ve değerlendirme aşamaları arasındaki iterasyonu manuel olarak yapmaktadırlar. Bu tür bir uygulamanın, uçuş ağı büyüdükçe daha az etkin olmakta olduğu ve yetersiz bir fizibil çözümle sonuçlanabileceği belirtilmiştir.

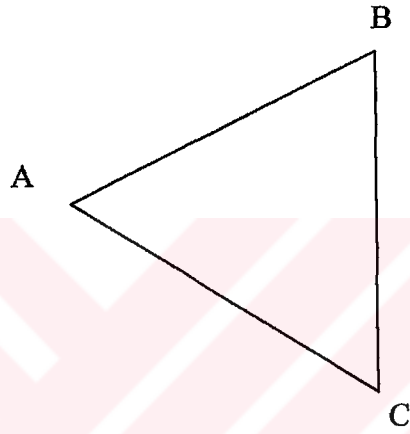
Filo rotalama ve çizelgeleme modeli, NP- Tam (Complete) problemi karakterize edilen taraf kısıtlarıyla bir tamsayı ağ akış problemi (NFPWS) gibi formüle edilmiştir (Garey ve Johnson, 1979). Fakat dal sınır metodu ve “kesme algoritması” (the cutting plane) metodu bu tür problemlerin çözümünde tipik olarak kullanılan iki çözüm tekniğidir (Levin, 1969; Levin, 1971; Teodorovic ve Gubernic, 1984; Lee, 1986; Teodorovic, 1988. Bu metotlar, normal boyutlardaki bir problem için oldukça uzun bir hesaplama zamanı gerektirir. Danzig-Wolfe ayrıştırması ve Lagrange çarpanı metotları gibi diğer teknikler bu yıllarda bu tip problemleri çözmekte yaygın bir şekilde kullanılmaktaydı (Ball, 1995). Örneğin, Lee (1986) Lagrange tekniğini tek filo rotalama problemini çözmek için denemiş; fakat bir noktaya yönelen sonuçlar Lee'nin yaklaşımındaki başarıyı yakalamaktan uzaklaşmıştır.

4.1.1.11 Eşzamanlı Rotalama ve Çizelgeleme Problemleri

Bir toplu taşıma sisteminde yolcu taşımacılığı, bir adreste başlayan ve başka bir adreste biten hatların üzerinde yapılmaktadır. Düzenli taşımacılık yapan işletmelerde, her bir seferin kalkış ve varış zamanları önceden belirlenmektedir. Böylece bir sefer başlangıç (kalkış) zamanı /yeri ve bitiş (varış) zamanı/yeri ile tanımlanabilir. Bu şekilde karakterize edilen her bir seferin, filodaki hangi taşıt ile yapılacağı belirlenmesi işlemine, “eşanlı rotalama ve çizelgeleme” adı verilmektedir. Bir sefer, o seferi gerçekleştirecek olan taşıt için bir görev olduğundan, bu

çalışmada “sefer” ve “görev” kavramları eşzamanlı olarak kullanılacaktır (Erel, 1995).

Eşzamanlı rotalama ve çizelgeleme, şekil 4.9 yardımı ile daha kolay açıklanmaktadır. Bu şekilde, (A), (B) ve (C) duraklarını birbirine bağlayan basit bir yol ağı gösterilmekte ve (A-B) ile (B-C) hatları üzerindeki görevler (seferler) kümesi verilmektedir. Eğer, taşıtlar ile ilgili maliyetler ihmal edilecek kadar küçük olsaydı, söz konusu görevlerin her birine başka bir taşıt atayarak, eşzamanlı rotalama ve çizelgeleme yapılabilirdi. Taşıtların yatırım ve işletme maliyetlerinin büyük olması nedeniyle, böyle bir uygulamanın yapılamayacağı açıktır. Bu nedenle, eşzamanlı taşıt rotalama ve çizelgeleme, “her bir taşıtın gerçekleştireceği görevlerin” sıralamasını” veren bir optimizasyon problemi olarak ele alınmaktadır (Erel, 1995).



((09:00, A), (10:30, B)),* ((09:30, A), (11:00, B)), ((10:00, A), (11:30, B)),
 ((10:30, A), (12:00, B)), ((09:00, B), (10:00, C)), ((10:00, B), (11:00, C)),
 ((11:00, B), (12:00, C))

Şekil 4.9 Bir yol ağında (A-B) ve (B-C) hatları üzerindeki seferler (Erel, 1995)

* Her bir sefer (görev), ((kalkış zamanı, kalkış yeri), (varış zamanı, varış yeri)) ile gösterilmektedir.

Bir eşzamanlı rotalama ve çizelgeleme probleminde, en yaygın olarak dikkate alınan kısıtlar şunlardır:

- Her bir görev, belirli bir zaman periyodunda, yalnız bir taşıt tarafından ve yalnız bir kez gerçekleştirilmelidir.
- Bir depodan ayrılan her bir taşıt, görevlerini gerçekleştirdikten sonra ait olduğu depoya geri dönmelidir.
- Depodaki veya depolardaki taşıtlar ile görevlerin tümü yerine getirilmelidir.

- Görevlere, kendileriyle özelleştirilen taşıt tipleri ile hizmet verilmelidir.
- Her bir taşıt, belirli bir süre sonunda depoya dönmelidir.

Problemler, burada verilen kısıtların tümünü ya da bazılarını içerebilir. Ayrıca, problemin yapısı değişik kısıtların dikkate alınmasını gerektirebilir. Bu kısıtların bazıları katı, bazıları ise gevşek kısıtlar olabilir (Erel, 1995).

4.1.1.12 Taşıt Rotalamanın Prensipleri

Araştırmacılar ve uygulayıcılar daha başarılı rotaların oluşturulması için, çalışmalarda aşağıdaki sekiz prensibin göz önünde bulundurulmasını önermişlerdir (Kocaoğlu, 2003).

- 1) Noktalar arasında en yakın olanlar seçilmelidir. Bu sayede toplam gidilen yolun kısalması sağlanır.
- 2) Farklı günlerdeki dağıtımlar birleştirilmelidir. Bu şekilde benzer noktalardaki dağıtımlar birleştirilerek, aynı rotaların yakın tarihlerde tekrar gidilmesi engellenir.
- 3) Rotalara, mümkün olan en uzak noktaya uğrayarak başlanmalıdır.
- 4) Yapılacak olan rotalamaların şekli, gözyaşı şeklinde olmalıdır. Bu sayede uzak noktalara ulaşımında kazanç elde edilebilecektir.
- 5) Mümkün olan en yüksek kapasiteli araçlar seçilmelidir. Bu sayede toplam maliyetler azalacak ve avantaj elde edilecektir.
- 6) Eğer yapılıyorsa dağıtım ve tedarik aynı araçlarla yapılmalıdır. Bu sayede toplam maliyet ve gereken zaman azalacaktır.
- 7) Rota dışındaki noktalara ulaşılmasında küçük araçlar kullanılmalıdır.
- 8) Gerekirse dağıtımların ve tedariklerin zamanları tekrar kararlaştırılarak zaman tasarrufu sağlanmalıdır.

4.1.1.13 Taşıt Rotalama Probleminin Temel Bileşenleri

Taşıt rotalama problemlerinin temel bileşenlerini; talep yapısı, taşınacak malzemenin tipi, dağıtım/ toplama noktaları ve araç filosu oluşturur.

Talep Yapısı: Taşıt rotalama problemlerinde talep statik veya dinamik olabilir. Statik talep durumunda talep önceden bilinir. Dinamik durumda ise bazı düğümlerdeki talep bilinmekte bazıları ise araç rotasında devam ederken belirli olmaktadır.

Malzeme Tipi: Taşıtlarla çok çeşitli malzemeler taşınır. Tehlikeli maddeler, gıda maddeleri, gazete dağıtımı, çöp toplama bütün bunlar basit paketler olarak adlandırılır ve probleme ilave bir karmaşıklık getirmezler. Diğer taraftan öğrenci servisleri; güvenlik, etkinlik, eşitlik gibi ilave bazı amaçlardan ötürü daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Tehlikeli maddeleri taşıyan taşıtların rotalarının belirlenmesinde ise coğrafi özellikler büyük önem kazanır (Eryavuz, 2001).

Dağıtım / Toplama noktaları: Birçok taşıt rotalama probleminde, dağıtım noktaları müşterilerin bulunduğu yer, toplama noktaları ise depodur. Tüketim mallarının fabrikalardan toptancılara dağıtımına buna iyi bir örnektir.

Depo genellikle aracın rotasına başladığı ve geri döndüğü noktadır. Depo sayısına göre problem, tek depolu ve çok depolu diye adlandırılabilir. Çok depolu problemlerde, depoların her biri kendi araçlarıyla işlerini yürütebilir, bu durumda problem birkaç bağımsız tek depolu taşıt rotalama problemine dönüşür. Taşıt bir depodan çıkıp, başka bir depoda yükleme/boşaltma yapabilir. Bu durumda problem bir bütün olarak ele alınmalıdır.

Dağıtım noktaları sabit ve önceden biliniyorsa hangi noktalara, hangi araçların hizmet vereceği belirlenmelidir. Diğer durumda dağıtım noktaları potansiyel yerler arasından seçileceği için ilave bir yerleştirme kararı gerekir.

Bazı taşıt rotalama problemlerinde dağıtım ve toplama noktaları aynıdır. Örneğin öğrenci servislerinde okul, gidişte dağıtım noktası, duraklar toplama noktası; öğrenciler evlerine dönerken ise okul depo, duraklar ise dağıtım noktalarıdır (Eryavuz, 2001).

Filo: Bütün taşıt rotalama problemlerinde araçların kapasitesinin bilindiği ve çoğunlukla araçların homojen (aynı kapasitede) olduğu varsayılır. Filo heterojen ise filodaki araçların taşıma kapasiteleri farklıdır. Bu durum hangi taşıt tipinin, hangi rotaya hizmet vereceğinin belirlenmesini, yani ilave bir kararı gerektirir. Araçların diğer özellikleri arasında hız, yakıt tüketimi, taşınacak malzemeye uygunluğu sayabiliriz. Bu özelliklerin rotalama kararlarına doğrudan etkisi yoktur.

4.2 Taşıt Rotalama ve Çizelgelemenin İstem ve Sunu Alanlarına Göre Analizi

Bu kısımda, Erel (1995) tarafından hazırlanan ve rotama ve çizelgeleme problemlerinin analizinde çok önemli bir basamak olan, ulaştırmanın istem ve sunu alanlarına göre oluşturulmuş yapısal bir çerçeveden bahsedilecektir. 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?” vb. soruların yanıtlanması ile başarılıdır. Bu yapısal çerçevede, istem ve sunu alanları, önce alt alanlara, sonra gerekirse bileşenlere ayrılmakta ve her bir bileşen için seçenekler verilmektedir (Bkz. Çizelge 4.1) Her bir seçenek, bu problemlerdeki bir yapısal özelliği simgelemektedir. Aşağıda, sunulan çizelge ile ilgili açıklamalar yapılacaktır (Erel, 1995).

4.2.1 İstem Alanı

Ulaştırımda istemin belirlenmesi, ne kadar yolcu ya da yükün, nereden nereye, hangi zamanlarda ve hangi koşullarda ulaşmak istediğinin ya da ulaştırılmak istendiğinin belirlenmesidir. “nereden nereye”, rotalama ve çizelgeleme problemlerindeki “hangi toplama adresinden, hangi dağıtım adresine” sorusu ile özdeştir. Dolayısı ile, yolcu ya da yükün alındığı yer “toplama adresi”, bırakıldığı yer ise “dağıtım adresi” olarak adlandırılabilir ve genellikle bu terimler kullanılacaktır (Erel, 1995).

“İstem” alanı sırasıyla, “istemin yeri”, “adres-zaman ilişkisi”, “istemin yapısı” ve “müşteri tercihleri” olmak üzere dört alt alanda incelenmiştir (Erel, 1995).

İstemin Yeri: “İstemin 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 söz konusudur. 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 tanımlanmaktadır.

Üçüncü seçenek, yük ya da yolcuların bir toplama adresinden alınarak, birkaç ya da çok sayıdaki dağıtım adreslerine bırakılmasıdır. Dördüncü seçenekte ise, bir toplama adresi ile çok sayıda dağıtım adresi söz konusudur. 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 tanımlanmaktadır.

Çizelge 4.1 Taşıt rotalama ve çizelgeleme problemleri için yapısal bir çerçeve (Erel, 1995)

ALANLAR	ALTALANLAR	BİLEŞENLER	SEÇENEKLER
A. İSTEM	A.1. İstem Yeri		<ul style="list-style-type: none"> • Birkaç/çok sayıda toplama- Bir dağıtım • Çok sayıda toplama-Birkaç dağıtım • Bir toplama-Birkaç/Çok sayıda dağıtım • Birkaç sayıda toplama-Çok sayıda dağıtım • Bir kaç sayıda toplama-Birkaç sayıda dağıtım • Çok sayıda toplama-Çok sayıda dağıtım
		A.2. Adres-Zaman İlişkisi	<ul style="list-style-type: none"> • Adres-Zaman ilişkisi yok • Adres-Tek zaman penceresi • Adres-Çok zaman penceresi • Adres-Kesin (belirli) zaman
	A.3. İstem Yapısı	A.3.1. Miktersal Yapı	<ul style="list-style-type: none"> • Deterministik • Stokastik
		A.3.2. Mekansal Yapı	<ul style="list-style-type: none"> • Deterministik • Stokastik
		A.3.3. Zamansal Yapı	<ul style="list-style-type: none"> • Deterministik • Stokastik
	A.4. Müşteri Tercihler	A.4.1. Miktersal Tercihler	<ul style="list-style-type: none"> • İstem tümü bir kerede karşılanmalı • İstem bölünerek karşılanabilir
		A.4.2. Mekansal Tercihler	<ul style="list-style-type: none"> • Direkt yolcu • Ara durak yolcusu • Direkt yük • Parçalı yük
		A.4.3. Zamansal Tercihler	<ul style="list-style-type: none"> • Müşterinin zaman tercihi yok • Esnek tercihler • Değişmez tercihler
		A.4.4. Özel Tercihler	<ul style="list-style-type: none"> • Özel seçenekler
	B. SUNU	B.1. Depo ve Taşıtlar	B.1.1. Depo Sayısı
B.1.2. Taşıtlar Sayısı			<ul style="list-style-type: none"> • Belirli • Belirsiz
B.1.3. Taşıtların Kapasite/Hacim Özellikleri			<ul style="list-style-type: none"> • Kapasite/Hacim kısıtı yok • Kapasite/Hacim kısıtı var
			<ul style="list-style-type: none"> • Kompartıman yok

	B.1.4. Taşıtların Kompartımanları	<ul style="list-style-type: none"> • Değiştirilebilir kompartımanlar • Özelleştirilmiş kompartımanlar
B.2. İşletmesel Stratejiler	B.2.1. Hizmet Türü Stratejisi	<ul style="list-style-type: none"> • Direkt yolcu taşımacılığı • Ara duraklı yolcu taşımacılığı Her durakta duruş Yolculu durakta duruş Yolcu isteği ile duruş • Direkt yük taşımacılığı • Parçalı yük taşımacılığı Geri dönüşte yükleme yapılır Geri dönüşte yükleme yapılmaz
	B.2.2. Rotasal Strateji	<ul style="list-style-type: none"> • Sabit rotalı taşımacılık • Esnek rotalı taşımacılık • Zaman çizelgesi yok
	B.2.3. Zamansal Strateji	<ul style="list-style-type: none"> • Belirli zaman çizelgeli taşımacılık • Esnek zaman çizelgeli taşımacılık • Zaman çizelgesi yok
B.3. İşletmesel Düzenlemeler	B.3.1. Taşıtların Çalışma Süresi	<ul style="list-style-type: none"> • Sınırlı • Sınırsız
	B.3.2. Rota Süresi	<ul style="list-style-type: none"> • Sınırlı • Sınırsız
	B.3.3. Rota Sayısı	<ul style="list-style-type: none"> • Bir rota • Birden fazla rota
B.4. Çalışma Ortamındaki İlişkiler	B.4.1. Adres-Adres İlişkileri	<ul style="list-style-type: none"> • Öncelik kısıtı var • Öncelik kısıtı yok
	B.4.2. Depo-Adres İlişkileri	<ul style="list-style-type: none"> • Depo-Adres kısıtı var • Depo-Adres kısıtı yok
	B.4.3. Taşıtların-Adres İlişkileri	<ul style="list-style-type: none"> • Taşıtların-Adres kısıtı var • Taşıtların-Adres kısıtı yok
	B.4.4. Rota-Adres İlişkileri	<ul style="list-style-type: none"> • Rota-Adres kısıtı var • Rota-Adres kısıtı yok
B.5. İşletmesel Amaçlar		<ul style="list-style-type: none"> • Taşıtların toplam rota süresinin en küçüklenmesi • Toplam adres maliyetlerinin en küçüklenmesi • Toplam adres ceza maliyetlerinin en küçüklenmesi • Toplam taşıtların sayısının en küçüklenmesi • Taşıtların kullanılmayan zamanlarının en küçüklenmesi • Toplam taşıtların ceza maliyetlerinin en küçüklenmesi

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 söz konusudur. Bu tarzdaki problemler “toplama-dağıtım” problemleri olarak tanımlanabilirler. Örneğin, kentçi yolcu taşımacılığında, duraklar yolcuların alındığı ve bırakıldığı yerlerdir ve çok sayıda toplama ile çok sayıda dağıtım söz konusudur.

Adres-Zaman İlişkisi

“Adres-Zaman ilişkisi” alt alanında, adreslere hangi zamanlarda uğranılacağı belirlenmektedir.

İlk seçenek, adreslere uğrama zamanlarının önemli olmadığını işaret etmektedir. Bu seçeneğe yük taşımacılığında rastlanılabılır.

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. Örneğin şekil 4.8’de verilen zaman pencereli rotalama problemi, bir fabrikadan ayrılan taşıtın dağıtım adreslerine mal götürmesi ve yeniden fabrikaya dönmesi olarak düşünülebilir. Yolcu taşımacılığında zaman pencereli problemlere çoğunlukla çağrılı taşımacılık (dial-a-ride) sistemlerinde rastlanılmaktadır. Müşterilerin buldukları ve gidecekleri yerleri telefonla bildirdikleri bu sistemlerde genellikle müşterilerin alınma ve bırakılma zamanları arasındaki süre için, bir zaman penceresi verilmektedir. Zaman penceresinin ilk sınırı müşterinin en erken alınma zamanı, ikinci sınırı müşteriyi en geç bırakma zamanını göstermektedir.

Son seçenek, adreslere belirli (kesin) zamanlarda uğranılmasıdır. Daha açık olarak ifade edilecek olursa, taşıtların hangi adreslere ne zaman uğrayacakları belirlidir.

İstemin Yapısı

“İstemin yapısı” alt alanı, “miktarısal yapı” ve mekânsal yapı ve “zamansal yapı” olarak üç bileşende ele alınmıştır. Ve her bir bileşen deterministik ve stokastik seçenekleri verilmiştir.

“İstemin miktarısal yapısı” ne kadar yük ya da yolcu taşınacağı belirli ise deterministik, aksi halde stokastiktir. “İstemin mekânsal yapısı” nereden nereye taşımacılık yapılacağı belirli ise, deterministik, aksi halde stokastiktir. Benzer şekilde, “İstemin zamansal yapısı” adreslere uğranılacak zamanlar belirli ise deterministik, aksi halde stokastiktir. Çağrılı taşımacılık sistemlerinde bir günün başlangıcında, nereden nereye, hangi zamanlarda, ne kadar yolcu

taşımacığı belirli değildir. Bu nedenle, bu sistemlerin stokastik yapıda oldukları söylenebilir. Bir servis taşımacılığında nerelerden, ne zaman ve ne kadar yolcu alınacağı önceden bilinmektedir. Dolayısı ile bu taşımacılığın zamansal, mekansal ve miktarsal açılardan deterministik olduğu söylenebilir.

Müşterilerin Tercihleri

“Müşterilerin tercihleri” alt alanında müşterilerin istedikleri hizmet düzeyleri belirlenmektedir. Bu alt alan “miktarsal tercihler”, “mekânsal tercihler”, “zamansal tercihler” ve “özel tercihler” olmak üzere 4 bileşende incelenmiştir.

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

“Mekânsal tercihler” bileşeninde, “direkt yolcu”, “ara durak yolcusu”, “direkt yük” ve “parçalı yük” seçenekleri verilmiştir. Bir hat üzerinde yapılan taşımacılıkta hat boyunca yolculuk etmek isteyenler, direkt yolcular ve hattın belirli kesimlerinde yolculuk 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 isteklerinin olmadığını göstermektedir. Müşteriler, adreslerine hangi zamanlarda uğranılması gerektiğini belirtmiyorsa, bu seçenek geçerlidir. İkinci ve üçüncü seçenekler “esnek tercihler” ve “değişmez tercihlerdir. İlki müşterilere talep ettikleri zamanlar dışında hizmet verilmesinin söz konusu olabileceğini; ikincisi ise, müşterilerin talep ettikleri zaman dışındaki bir hizmeti kesinlikle kabul etmediklerini göstermektedir.

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

4.2.2 Sunu Alanı

Taşımacılık yapacak olan bir işletme, elde etmeyi tasarladığı yararlar, sahip olduğu kaynaklar, içinde bulunduğu ortamın yapısı gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak, sunacağı hizmetin özelliklerini belirlemekte ve bir takım işletmesel düzenlemeler yapmaktadır. Doğal olarak taşıt rotalama ve çizelgeleme problemlerinin yapısı da, bu faktörlerden ve yapılan işletmesel düzenlemelerden büyük ölçüde etkilenecektir. Sunu alanı, “depo ve taşıtlar”, “işletmesel stratejiler”, işletmesel düzenlemeler”, “çalışma ortamındaki ilişkiler” ve “işletmesel amaçlar” olmak üzere beş alt alana ayrılmıştır (Erel, 1995).

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 söz konusudur. Belediyeye 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 depoya geri 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. Ribeiro ile Soumis’in (1994) çalışması, çok depolu problemlere örnek olarak verilebilir (Erel, 1995).

“Taşıt sayısı” bileşeninde, “taşıt sayısı belirli” ve “taşıt sayısı belirsiz” seçenekleri verilmektedir. Eğer bir problemde taşıt sayısı belirli ise, problemin bir kısıtıdır. Belirli değilse, problemin çözümünden elde edilen bir çıktıdır. Eş anlı bir rotalama ve çizelgeleme probleminde, bir görevler kümesi için ne kadar taşıt gerektiği, problemin çözümü ile belirlenebilir. Böyle bir problemde taşıt sayısı sınırlı olduğu takdirde, bazı görevlerin gerçekleştirilememesi durumu ile karşılaşılabilir. Buna karşın pek çok rotalama probleminde taşıt sayısı, probleme bir kısıt olarak sokulmaktadır.

Taşıtların kapasite veya hacim özellikleri bileşeninde “kapasite kısıtı yok”, “kapasite kısıtı var” seçenekleri verilmektedir. Bu taşıta alınabilecek yolcu sayısı ya da yük miktarı, taşıtın kapasitesi ile sınırlıdır. Bu nedenler bir taşıtın kapasitesi önemli bir kısıt olabilmektedir.

“Taşıtların kompartımanları” bileşeninin seçenekleri, “kompartıman yok”, “değiştirilebilir kompartımanlar” ve özelleştirilmiş kompartımanlardır. Örneğin, minibüs ile yolcu

taşımacılığında kompartıman yoktur. Bir taşıtın kendi içerisinde değiştirilebilir kompartımanlara sahip olması seçeneğine, genellikle yük taşımacılığında rastlanır. Özelleştirilmiş kompartımanlar için, değiştirilebilir kompartımanlarda olduğu gibi bazı mal gruplarına ayrılmış olan kompartımanların gerektiğinde başka mal grupları tarafından kullanılabilmesi söz konusu değildir. Sigara içen ve içmeyen yolculara ait kompartımanlar, özelleştirilmiş kompartımanlara örnek olarak verilebilir.

İşletmesel Stratejiler

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

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

Ara duraklı yolcu taşımacılığı seçeneği, “her durakta duruş”, yolculu durakta duruş” ve yolcunun isteği ile duruş” olmak üzere üç alt seçeneğe ayrılmıştır (Keskin, 1992). İlkinde taşıtlar, duraklarda yolcu olup olmaması dikkate alınmaksızın durmaktadırlar. Sürücü yolcu iletişiminin zor olduğu ve mutlak bir düzenliliğe gereksinim duyulan raylı taşımacılıkta, bu alt seçenek uygulanmaktadır. İkincisinde taşıtlar, duraktan alınacak ve/ya durağa bırakılacak yolcu olduğu takdirde durmaktadırlar. Bu seçeneğe otobüs işletmeciliğinde rastlanabilir. Son seçenekte, yolcular güzergâhın her hangi bir yerinde 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 toplama 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 söz konusu değildir.

“Rotasal strateji” bileşeni için, “sabit rotalı”, “esnek rotalı” ve “dinamik rotalı” taşımacılık seçenekleri verilmiştir. İlk seçeneğe örnek olarak, her bir taşıt belirli duraklara uğramak zorunda olduğu için, otobüs ile kent içi yolcu taşımacılığı verilebilir. esnek rotalı taşımacılıkta

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

“Zamansal strateji” bileşeninde, “belirli zaman çizelgeli”, “esnek zaman çizelgeli” ve “zaman çizelgesiz” taşımacılık seçenekleri bulunmaktadır. Bilindiği gibi, “zaman çizelgesi” nereden nereye, ne zaman taşıt kaldırılacağını gösteren bir tarifedir. 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 zirve ve zirve dışı saatlerde hangi sıklıkta kalktığının aşağı yukarı belirli olduğunu göstermektedir. Son seçenek, çağrılı taşımacılık sistemlerinde olduğu gibi bir zaman çizelgesi olmadığını göstermektedir.

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 süreleri”, “rota süresi” 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 mevcuttur. Çağrılı taşımacılık sistemlerinde, rota süresinin sınırlandırılması zordur. Kentlerarası yolcu taşımacılığında, bir periyotta gerçekleştirilen görevlerin ardışık periyotta tekrarlanabilmesi için, rota süresi sınırlıdır.

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

Çalışma Ortamındaki İlişkiler

“Çalışma ortamındaki ilişkiler” alt alanı, “adres-adres ilişkileri”, “depo- adres ilişkileri”, “taşıt-adres ilişkileri” ve “rota-adres ilişkileri” olarak 4 bileşende incelenmiştir.

Adres-adres ilişkileri için, “öncelikli kısıt var” ve öncelik kısıtı yok” seçenekleri verilmiştir. Öncelik kısıtı, bir adrese başka bir adresten önce uğranılması gerektiğini göstermektedir. “geri dönüşte yükleme” stratejisine sahip bir dağıtım ve toplama probleminde, bütün dağıtım adresleri, toplama adreslerine göre önceliklidir. Bir rotalama probleminde adreslere uğranılma sırası için yalnızca yolculuk süreleri dikkate alınıyorsa, öncelik kısıtı yoktur.

“Depo-adres ilişkileri” için, “depo-adres kısıtı var” ve yok seçenekleri verilmiştir. “depo-adres kısıtı”, bir adrese belirli bir depodan hizmet verilmesi gerektiğini göstermektedir. Örneğin çok depolu kent içi 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 verileceğini ifade etmektedir. 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 kapsamaması gerektiğini göstermektedir. Örneğin biri ilkokul diğeri ortaokul olmak üzere, iki ayrı okula yapılan bir servis taşımacılığında, ortaokula gidenler için oluşturulacak taşıt rotalarına, ilk okul öğrencilerinin adresleri dahil olmamalıdır.

İşletmesel Amaçlar

“İşletmesel amaçlar” alanında, en yaygın kullanılan altı amaç, seçenekler olarak verilmiştir.

Taşıtların toplam rota süresinin en küçüklenmesidir. Ulaştırımda özellikle rotalama problemleri için olmazsa olmaz şeklinde tanımlanabilecek bir amaçtır. Toplam rota süresinin en küçüklenmesi, aynı zamanda taşıtların işleme maliyetlerini de minimize edilmesini sağlamaktadır.

Toplam taşıt sayısının minimize edilmesi ile de taşıtların yatırım maliyetleri en küçüklenmiş olacaktır. Taşıtların kullanılmayan zamanlarının en küçüklenmesi ise, taşıt rotalaması ve çizelgelemesi problemlerinin yapısına oldukça uygun bir amaçtır.

Taşıt ceza maliyeti bir taşıtın kapasitesi, çalışma zamanı ve rota süresi ile ilgili sınırlardan bir ya da bir kaçının aşılması durumunda verilen cezanın maliyetidir. Brown ve Graves (1981)'in yapmış oldukları çalışma, taşıtların çalışma zamanını sınırlarını aşması durumunda verilen cezanın maliyeti, personelin fazla çalışma maliyetidir.

4.3 Taşıt Rotalama Probleminin Yan Kısıtları

Taşıt rotalama problemleri, çok sayıda yan kısıta sahip olabilirler. Burada bunlardan en önemli olan ve en fazla karşılaşılan beş yan kısıttan söz edilmektedir. Aşağıda özetlenen yan kısıtlardan bir veya bir kaçının varlığı problemin çözüm yöntemini etkilemekte, hatta bazen tamamen değiştirebilmektedir. Yan kısıtlar (Steenbrink, 1974);

- 1) Kapasite kısıtları: Her bir müşteriye dair bir pozitif ağırlık (veya talep) vardır. Herhangi bir aracın rotası üzerindeki ağırlıkların toplamı aracın kapasitesini aşamaz.
- 2) Herhangi bir rota üzerindeki müşteri sayısı bir q sayısını aşamaz. (Bunun özel bir durumu, $i > 1$ için i 'nin talebi $d_i = 1$ olmak üzere, araç kapasitesi $D = q$ olması halidir).
- 3) Toplam zaman kısıtı: Herhangi bir rotanın uzunluğu, belirli bir L sınırını aşamaz. Bir rotanın uzunluğu, rota üzerindeki müşteriler arasındaki seyahat süreleri (C_{ij}) ve her bir müşterideki duraklama süreleri (t_i) toplamından oluşmaktadır.
- 4) Zaman pencereleeri: Müşteri i , $[a_i, b_i]$ zaman aralığı içerisinde ziyaret edilmelidir
- 5) Şehirlerarasındaki öncelik ilişkileri: Müşteri i , müşteri j 'den önce ziyaret edilmelidir.

4.3.1 Taşıt Rotalama Probleminin Çözümünü Zorlaştıran Özellikler

Taşıt rotalama problemi basit bir problem gibi görünmesine karşın, gerçek yaşamda karşımıza çıkan pek çok rotalama problemi, sanıldığından çok daha karmaşıktır. Aşağıda taşıt rotalama problemlerinin çözümünü zorlaştıran etmenlerden bazıları verilmiştir.

- 1) İsteklerin frekansı: Müşterilerin hizmet talepleri belirli bir frekans ile ortaya çıkabileceği gibi, bu frekans müşteriden müşteriye değişebilir. Örneğin, ekmek sipariş eden müşterilere teslimatlar günlük olarak yapılmaktadır. Yani ekmek talebinin frekansı belirlidir ve 1 gündür. Bunun aksine evsel kullanım için yakıt veya tüp gaz teslimatında ise talep

frekansı kullanım oranına bağlıdır ve müşteriden müşteriye çok değişebilmektedir.

- 2) Zaman Pencereleri: Zaman pencerelerinin varlığı, müşteri yerleşimlerinin spesifik zamanlarda ziyaret edilmeleri zorunluluğunu ifade etmektedir. Öğrenciler için okul servis taşıtlarının rotalanması buna iyi bir örnektir.
- 3) Günün hangi zamanında bulunulduğuna bağlı olarak değişen seyahat süresi: Ziyaret edilecek müşterilerin şehir merkezlerinde bulunmaları durumunda trafik sıkışıklığı önemli bir faktör olabilmektedir. Ayrıca işe başlama ve işten çıkış saatlerinde seyahat süresi değişebilmektedir. Bu gibi durumlarda, seyahat süresi gün içindeki zamanlara göre değişmekte ve bunun sonucu olarak bir müşteriler şebekesindeki her bir hatta ait maliyet de gün içindeki zamana bağlı olmaktadır.
- 4) Çok boyutlu kapasite kısıtları: Aynı anda hem hacim hem de ağırlık üzerinde kısıtlar olabilmektedir. Bu durum, özellikle farklı ürünleri taşımak için aynı araçlar kullanıldığı zaman bir sıkıntı yaratabilmektedir.
- 5) Farklı tipte araçların varlığı: Büyük firmalar, pek çok alternatif tipte araçlara sahip olabilirler. Taşıt tipleri, kapasite, işletim maliyeti ve aracın kapalı turlarla kısıtlanmış (yani aracın işini bitirdikten sonra depoya geri dönmek zorunda) olup olmamasına göre farklılık gösterebilirler. Birçok farklı tipte aracın varlığı uygun seçeneklerin sayısını büyük ölçüde artırmaktadır.
- 6) Bölünebilir taleplerin varlığı: Eğer bir müşteri özel bir talebe sahip ise, bu müşteriye birden fazla aracın tahsis edilmesi akılcı olabilir.
- 7) Belirsizlik: Taşıt rotalama algoritmaları hemen hemen her zaman gerekli bilgilerin önceden bilindiğini varsaymaktadırlar. Aslında bir müşteriler şebekesinin belirli kısımlarını kat etmek için gerekli olan süre, trafik ve hava koşulları ve araç arızaları gibi faktörlere bağlı olarak büyük ölçüde değişebilmektedir.

4.3.2 Taşıt Rotalama Problemi İçin Genel Çözüm Stratejileri

Taşıt Rotalama Problemlerinin çözümünde büyük çoğunlukla sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır. Optimum çözüm metotları yalnızca çok iyi tanımlanmış bazı taşıt rotalama problemlerine uygulanmıştır. Bu nedenle taşıt rotalama problemleri için optimal çözüm arama yerine optimale yakın çözümler elde etmeye yarayan birçok farklı sezgisel prosedür geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam edilmektedir.

Birçok durumda amaç fonksiyonu doğrusal olmayan ve/veya çok aşamalı bir yapıya dönüşür. Bu durum problemin karmaşıklığını artırır. Gerçek hayat problemleri oldukça büyük ölçeklidir. Bu problemlerin optimum çözümleri zaman almakta mevcut yazılımlar bu problemleri çözmekte yetersiz kalmaktadır (Toth vd., 2002).

Taşıt rotalama problemlerinde kullanılan çözüm stratejileri aşağıda sunulmuştur.

- Önce gruplama - sonra rotalama,
- Önce rotalama - sonra gruplama,
- Tasarruf/ ekleme,
- Geliştirme / değiştirme,
- Matematiksel programlamaya dayalı modeller,
- Etkileşimli optimizasyon,
- Optimum çözüm metotları.

Önce gruplama - sonra rotalama işleminde, düğümler taşıt kapasitesini aşmayacak şekilde gruplandırılır. Oluşturulan gruplar içinde Seyyar Satıcı Problemi algoritmalarıyla çözüm bulunur.

Önce rotalama - sonra gruplama işleminde önce mümkün olmayan çözüm (infeasible) bile olsa bütün düğümleri kapsayan seyyar satıcı turu bulunur. Sonra bu büyük rota çözümü mümkün (feasible) küçük rotalara dönüştürülür.

Tasarruf/ekleme işleminde mevcut yapılandırma alternatif bir yapılandırma ile karşılaştırılır. Maliyet vb. bir ölçüte göre en büyük tasarrufu sağlayan dal veya dalların eklenip çıkarılmasıyla mümkün çözüme ulaşılır.

Geliştirme/değiştirme işleminde, her adımda bir mümkün çözüm toplam maliyeti minimize eden başka bir mümkün çözüme ulaşmak üzere değiştirilir. Bu işlem maliyeti azaltacak başka bir adım kalmayana kadar devam eder.

Matematiksel programlama yaklaşımları doğrudan, rotalama probleminin matematiksel program algoritmalarını içerir.

Etkileşimli optimizasyon, problem çözümünde önemli ölçüde insan etkileşimli bir yaklaşımdır. Parametrelerin tespitinde, değiştirilmesinde uzman kişiler bilgi ve tecrübeleriyle optimizasyon modellenmesine katkıda bulunurlar.

Optimum çözüm metotlarına örnek olarak ise özel olarak geliştirilmiş dal-sınır ve kesme düzlemi algoritmaları verilebilir (Eryavuz, 2001).

4.4 Kentiçi Denizyolu Yolcu Taşımacılığında Taşıt Rotalama ve Çizelgeleme

Uluslar arası taşımacılıkta en çok kullanılan araçlardan birisi de denizyolu taşımacılığıdır. Denizyolu taşımacılığı her geçen gün giderek büyümekte, toplam taşıma kapasitesi de taşımacılığın önem kazanması ve artması ile giderek artmaktadır. Halen bu sektörde faaliyet gösteren 300 groston üzerinde 39.000 deniz taşıtı görev yapmaktadır. Dünya üzerinde pek çok deniz taşıtı bulunmasına karşın, sektörde faaliyet gösteren taşıtların %73'ünü tanker ve kuru yük gemileri oluşturmaktadır. Genellikle deniz taşımacılığında üç ana bulunmaktadır: endüstriyel, tarifersiz yük gemileri (tramp), ve yolcu taşımacılığı (Lawrence, 1972). Endüstriyel taşımacılıkta, kargo sahibi veya taşıyıcısı gemileri kontrol ederken endüstriyel operatörler bütün kargoları minimum maliyetle taşımaya çalışmaktadırlar. Tramp taşımacılığı, bir taksi gibi işlemektedir. Karı en büyükmeye çalışır ve sipariş usulü (veya iş olduğu sürece) işlemlerini yürütür. Yolcu taşımacılığı ise bir otobüs hattına benzemektedir. Her üç tarz da kendine özgü karakteristiklere sahiptir. Firmalar, bu taşımacılık şekillerinden birisini tercih edebileceği gibi ikisi ya da üçünü karma bir şekilde de kullanabilmektedir (Christiansen vd., 2004).

Firmaların filo büyüklükleri zamanla değişim gösterebilmektedir. Ve filoda farklı taşıma araçları olabilir. Farklı boyut, farklı maliyet yapıları, farklı tip veya farklı spesifik özellikler... ancak, filo yapıları ne olursa olsun, firmalar, bu filoyu optimal şekilde kullanmalıdırlar (Christiansen vd., 2004).

Deniz yolu taşımacılığı diğer taşımacılık biçimlerinden taşımacılık yönetiminin farklı koşullar altında gerçekleştirilmesi nedeniyle farklıdır (Ronen, 1983,2002). Ronen bu çalışmalarında operasyonel açıdan karayolu ve denizyolu taşımacılığının farklılıklarına işaret etmektedir. Temel farklılıkları ise şu şekilde sıralamaktadır:

- Gemiler liman ücreti ödemektedirler,
- Geminin tasarımı ile fonksiyonelliği arasında sıkı bir ilişki olması (gemi tasarımı ile yük kapasitesi arasındaki ilişki)
- Gemiler genellikle uluslararası taşımacılıkta kullanılmaktadır,
- Gemiler sadece denizde hareket edebilmektedir,

Genel olarak değerlendirildiğinde deniz yolu taşımacılığının, havayolu taşımacılığına daha çok benzediği söylenebilir.

Deniz yolu taşımacılığı ile ilgili olarak yapılan rotalama ve çizelgeleme konulu çalışmalara bakacak olursak, bu alanda yapılan çalışmaların 1980’li yılların ortalarından itibaren başladığını söyleyebiliriz. Yakın geçmişte yapılan çalışmalarla da bu alandaki çalışmalar sürmektedir. Cho ve Perakis (1996), optimal filo büyüklüğü ve optimal yolcu rotaları tasarımı için konteynır nakliye firmasında bir çalışma ortaya koymuşlardır. Problem, farklı gemiler için oluşturulan aday rotaların oluşturulması ile çözülmüştür. Daha sonra, problem, bir lineer programlama problemi olarak çözülmüştür. Daha sonra oluşturulan bu model karmaşık tamsayılı programlama (MIP) modeli haline dönüştürülmüş ve bu suretle model filo kapasitesini genişletebilmek için yapılabilecek alternatif yatırımları da hesaba katmıştır (Christiansen vd., 2004).

Darzentas ve Spyrou (1996), Aegean adaları arasındaki feribot seferlerini ele alan bir benzetim modeli çalışması yapmıştır. Model, “eğer-ise” yaklaşımı benimseyen basit bir karar destek sistemini kullanmıştır. Simülasyon modeli kullanılarak, liman kapasitelerini, yeni teknoloji feribotların kullanımını da içerecek şekilde, feribot rotaları hazırlanmış ve uygunlukları senaryolar yardımıyla değerlendirilmiştir (Christiansen vd., 2004).

Ronen (1993)’e göre rotalama, araçlar (gemiler ya da deniz taşıtları) tarafından ziyaret edilen limanların sıralanması tayinidir. Çizelgeleme ise, rotalamanın bir zaman penceresine aktarılması, oturtulmasıdır. Bu nedenle, çizelgeleme, bir gemi rotasındaki çeşitli olayların zamanlarını içermektedir (Christiansen vd., 2004).

Deniz taşımacılığında taşıt rotalama ve çizelgeleme ile ilgili literatür araştırmasında, pek çok problemin SP (set partition) metodu ile çözüldüğünü görmekteyiz. İncelenen araştırmaların yaklaşık %40’ı SP modeli ve türevleri kullanılmıştır. SP modellerinin temel avantajları karmaşık, lineer olmayan kısıt ve maliyetleri etkin bir şekilde birleştirebilmesidir. SP modelleri sık sık bir standart optimizasyon programları kullanılarak çözülmektedir.

SP formülasyonunda, ziyaret sıklığı ve her bir düğüm için hizmete başlama zamanı toplam maliyeti en küçükleyecek biçimde belirlenmiştir. Buna ek olarak, çizelge aynı zamanda da fizibil olmalıdır.

Çizelge 4.2 Stratejik Rotalama ve çizelgeleme ile ilgili literatür çalışmaları

Çalışma	Hedef Karar	Amaç	Taşınan Varlık	Metot
Bendall ve Stent (2001)	Filo büyüklüğü ve ataması	En yüksek kar	Konteyner	MIP (Mixed Integer Programming)
Cho ve Perakis (1996)		En yüksek kar	Konteyner	SP (Set Partitioning)
Crary et. Al (2002)	Filo büyüklüğü	Pazar liderliğini ele geçirmek için en yüksek kar	-	MIP ve uzman görüşleri
Dantzig ve Fulkeron (1954)	Filo büyüklüğü	En az tanker sayısı	Ham petrol	DP
Darzenas ve Spyrou (1996)	Taşıma sistemi tasarımı	Çözümleri değerlendirme	Yolcu	Simülasyon
Fagerholt (1999)	Filo büyüklüğü ve karışımı	En küçük maliyet	Konteyner	IP ve DP
Fagerholt ve Lindstat (2000)	Filo büyüklüğü ve karışımı	En düşük maliyet	Genel	IP ve DP
Fagerholt ve Rygh (2002)	Taşıma sistemi tasarımı	Çözümleri değerlendirme	Su	Simülasyon
Imai ve Rivera (2001)	Konteyner filo büyüklüğü	En küçük maliyet	Konteyner	Simülasyon
Larson (1988)	Filo karışımı ve sistem tasarımı	En küçük maliyet	Yağ	Tanımlayıcı ve sezgisel
Mehrez vd. (1995)	Filo büyüklüğü ve lojistik sistem tasarımı	En küçük maliyet	Kuru yük	MIP
Pesenti (1995)	Kaynak Yönetimi	En yüksek kar	Konteyner	Sezgisel
Richetta ve Larson (1997)	Filo büyüklüğü	Çözümleri değerlendirme	Sıvı atık	Simülasyon ve sezgisel
Xinlian vd. (2000)	Filo büyüklüğü ve filo ataması	En küçük maliyet	Her türlü	DP

Yolcu taşımacılığı, daha önce bahsettiğimiz yük ve tarifeli taşımacılıktan biraz daha farklı bir yapıya sahiptir. Yolcu taşımacılığı, farklı planlamalar ve kararlar içermektedir: (Christiansen vd., 2004)

- Rota ve çizelge tasarımı; optimal bir şekilde yolcuların istekleri doğrultusunda hareket eden taşıtların tasarlanması sürecidir. Bu süreç havayolu endüstrisi ile benzerlikler içermektedir.
- Filo büyüklüğü ve karışımı; stratejik bir planlama ve karar sürecidir.
- Filo dağılımı; filoda yer alan taşıtların rotalara atanması sürecidir.
- Yük rezervasyonu; belirlenmiş bir sefer için hangi kargonun kabul edilip, hangisinin

reddedileceği karardır. Bu bir operasyonel planlama problemidir.

Bu alanda literatürde yapılan bazı çalışmalar şunlardır.

Çizelge 4.3 Yolcu taşımacılığı alanında yapılmış literatür araştırmaları

Yazar	Ana Karar	Hedef	Yük	Metot
Jaramillo ve Perakis (1991)	Plana göre yerleştirme	En küçük maliyet	Genel	DP ve sezgisel
Powell ve Perakis (1987)	Plana göre yerleştirme	En küçük maliyet	Genel	IP

Taşıt rotalama ve çizelgeleme konusu, filo verimliliğini arttırma adına gerçekten büyük gelişimler kaydedebilecek bir potansiyele sahiptir. Denizyolu taşımacılığında rotalama ve çizelgeleme faaliyetlerin sonuçları da hava ve kara yolunda ulaşılan sonuçlar kadar çarpıcıdır (Christiansen vd., 2004).

Bölüm 4.2’de verilen rotalama ve çizelgelemenin istem ve sunu alanlarına göre analizi, bu bölümde, yolcu taşımacılığının özellikleri belirleyebilmek amacıyla kullanılmıştır.

İstem yeri alt alanına bakıldığında, denizyolu ile yapılan taşımada, yolcuların belirli sayıda iskeleden alınarak, yine belirli sayıda iskeleye dağıtıldıkları görölmektedir. Bu durumda, “çok sayıda toplama-çok sayıda dağıtım seçeneği söz konusudur. Ancak, belirli iki iskele arasında faaliyet gösteren deniz otobüsleri için, “bir toplama-bir dağıtım” seçeneği geçerlidir.

Deniz otobüslerinin çizelgeleri sabit olduğundan, hangi deniz otobüsünün hangi zamanda ve nerede bulunması gerektiği bellidir. Bu nedenle, adres-zaman ilişkisi “adres-kesin belirli zaman” seçeneği söz konusudur. İstem yapısı incelendiğinde ise, miktarsal yapının stokastik (ne kadar yolcu taşınacağına deterministik olarak belirli olmaması ve günden güne farklılık göstermesi), mekânsal yapının stokastik (hangi iskelelerin var olduğu) ve zamansal yapının da stokastik olduğu görölmektedir. Burada, mevcut durum ile aynı zamansal, mekânsal ve miktarsal yapı incelendiği için, bu değişkenler deterministik olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle, bu alt alanlardan, İstanbul Kentiçi (Boğaz Hattı) deniz taşımacılığı probleminin genele olarak, eşzamanlı rotalama ve çizelgeleme problemleri sınıfına girdiği görölmektedir.

Bir eşzamanlı taşıt rotalaması ve çizelgelemesi probleminde, seferlerin her biri yapılmak zorunda olan görevlerdir. Problemin yapısı gereği, müşterilerin zamansal isteklerinin değiştirilemez olduğu kabul edilmelidir. Eğer seferlerin kalkış ya da varış zamanlarında, müşterilerin zamansal tercihlerindeki değişimler nedeniyle herhangi bir değişiklik yapılacak

olursa, bu yeni bir problemi tanımlamaktadır (Erel, 1995). Bu bağlamda, müşterilerin zamansal tercihleri alt alanına bakıldığında, “müşterilerin zamansal tercihlerinin değiştirilemez” olduğu, mekânsal tercihler için “ara durak yolcusu” veya direkt yolculuk” seçeneklerinin geçerli olduğu görülmektedir. Miktarsal tercihler ise, istemin belirlenen periyodun belirli saatlerinde “bölünerek karşılandığı” söylenebilir.

İstem alanında yer alan depo ve taşıtlar alt alanı, kent içinde deniz taşımacılığında depo yerinin, iskele kabul edildiği bileşendir. bu nedenle, her bir iskelenin aynı zamanda bir depo olduğu varsayılacak olursa, “depo sayısı” bileşeninde “çok depo” seçeneğinin, aynı şekilde taşıt sayısının “belirli” seçeneğinin, kapasite ve hacim özelliklerinde ise “kapasite ve hacim kısıtı var” seçeneğinin geçerli olduğu görülmektedir. Ancak, modelimizde, taşıt sayısının sınırsız olduğu varsayılmıştır. Aynı şekilde, taşıt kapasiteleri modele dahil edilmemiş olup, modelin optimum taşıt rotalarını bulmasının ardından, taşıt rotalarına ve bu güzergahtaki taleplere bakılmak sureti ile ilgili rotada çalışacak taşıtın kapasitesinin belirlenmesi yolu izlenecektir.

İşletmesel stratejilerde yer alan hizmet türü stratejisi bileşeninde, kentiçi deniz taşımacılığında hem “direkt yolcu taşımacılığı” seçeneğinin, hem de “ara duraklı yolcu taşımacılığı-her durakta duruş” seçeneğinin geçerli olduğu görülmektedir. kentiçi deniz taşımacılığında, belirli bir zaman çizelgesine bağlı olunması nedeniyle, taşıt rotaları belirlidir ve zaman çizelgesi değiştirilmediği sürece sabit kalır. Dolayısı ile, rotasal stratejiler için, “sabit rotalı taşımacılık” seçeneği söz konusudur. Zamansal stratejilerde ise, aynı şekilde, “belirli zaman çizelgeli taşımacılık” seçeneğinin dikkate alınması gerekmektedir. Ancak, deniz otobüslerinin rotaları, yaz ve kış tarifesi olarak ayarlandığından talebe bağlı olarak senede 2 kez değişiklik gösterebilmektedir.

Deniz otobüslerinin çalışma periyotlarına bakıldığında, taşıtların (06.30–22.00) zaman aralıklarında çalıştıkları görülmektedir. Bu saatlerin dışında, deniz otobüsleri hareket etmemektedir. Genel olarak, deniz otobüslerinin çalışma sürelerinin “sınırsız” oldukları söylenebilir. Ancak, bu uygulamada yukarıda belirtilen saatler ile sınırlandırılmıştır. Rota süreleri ise, mevcut durumda ve geliştirilen modelin çözümüyle elde edilen yeni rotalarda da sınırlıdır. Rota sayısı bileşenine bakıldığında ise, bir deniz otobüsü için “bir rota” seçeneğinin geçerli olduğu görülmektedir.

Eşzamanlı rotalama ve çizelgeleme problemlerinde görevler, öncelik kısıtlarının örtülü bir tarzda ifadesidir ve hangi adreslere hangi adreslerden önce uğranılması gerektiği belirlidir

(Erel, 1995). Bu nedenle, çalışma ortamındaki ilişkiler için, “öncelik kısıtı var” seçeneği geçerli olup, depo (iskele)-adres ilişkilerinde, depo yerlerinin daha önceden belirlenip bu girdiye göre çizelgeleme yapıldığı için, “depo-adres kısıtı var” seçeneğinin varlığı görülmektedir. Bazı tip deniz otobüslerin boğaz hattında faaliyet gösterememesi nedeniyle, “taşıt-adres kısıtı var” seçeneği geçerlidir. Aynı şekilde, belirli eşzamanlı rotalama ve çizelgeleme problemlerinin çoğunda olduğu gibi rota adres ilişkilerinde de “rota –adres kısıtı var” seçeneği geçerlidir.

İşletmesel amaçlar alt alanına bakıldığında ise, kentiçi deniz taşımacılığında amacın “toplam taşıt sayısının en küçüklenmesi” ve “taşıtların kullanılmayan zamanlarının en küçüklenmesi” olduğu ve bu bağlamda en düşük maliyetli taşımacılığın yakalanması olduğu söylenebilir.

Bahsedilen yapısal özelliklerin kent içi deniz taşımacılığında taşıt rotalama çizelgeleme çerçevesinde dikkate alınması gereken en önemli özellik, rotalama ve çizelgeleme problemlerinin eşzamanlı olmasıdır. Eşzamanlı taşıt rotalama ve çizelgeleme için en önemli girdi ise, seferler (görevler) kümesidir. Seferler kümesinin belirlenmesi son derece önemlidir.

4.4.1 Kentiçi Denizyolu Taşımacılığında Zaman Çizelgesinin Önemi

Bir önceki bölümde görüldüğü gibi, bir ağ içerisinde yapılacak seferlerin başlama yer ve zamanları ile varış yer ve zamanlarını tanımlayan zaman çizelgesi (ordino), taşıt rotalama ve çizelgeleme problemlerinin temel girdisidir. Genel olarak her farklı zaman çizelgesi için, farklı taşıt rotalarının ve çizelgelerinin elde edilmesi doğaldır. Taşıt rotalama ve çizelgelemesi problemi bir optimizasyon problemi olup, bu problemin taşıma maliyetlerini ya da kullanılacak taşıt sayısını en küçükleyen çözümleri araştırmaktır. Oysa, yolcu taşımacılığı yapan bir kurumun temel amacı, verdiği hizmet karşısında bir yarar sağlamaktır. Bu bir kamu yararı olacağı gibi, yolculardan elde edilen gelirin en büyüklenmesi de olabilir.

Zaman çizelgelemesi, amacı, çekilebilecek yolcu sayısının en büyüklenmesi olan bir optimizasyon problemidir. Ancak, normatif yapıdaki bu zaman çizelgeleme probleminin, yolculuk seçimini tanımlayan olasılıksal bir alt modeli de içermesi gerekmektedir. Zira yolcuların iki nokta arasında herhangi bir saatte konulacak seferi seçmelerinde, bu seferin kalkış zamanı, erişilebilirliği, ücreti, yolculuk süresi ve konforu gibi deterministik özelliklerin yanı sıra, onların olasılıksal yapıdaki davranışları da etkili olacaktır (Erel, 1995).

Bir sonraki bölümde, zaman çizelgelemesi için çok önemli olan yolculuk – sefer seçimi konusu incelenecektir.

4.4.2 Yolculuk (Sefer) Seçimi

Seçim, yolculuk yapmada karar verme eyleminin ana bileşenidir. Yolculuk yapacak olan yolcu, tür, rota, zaman gibi seçenek türlerinin bir kaçı ile karşı karşıyadır. Bu nedenle, yolculuk seçiminin modellenmesi, ulaştırma talep analizinde önemli bir aşamadır. Ve başarılı bir trafik tahmini için de bir ön gereksinimdir.

Seçim, hakkında çoğu şeyin bilinmediği karmaşık bir yapıdadır. Bu konuda deneyimlere dayalı veriler de kısıtlıdır. Kontrol edilebilen sayısal modeller kullanılarak, yolculuk seçimi analizinde basitleştirmeler yapılabilir. Çok sık yapılan varsayım ise, seçim işleminin deterministik ve tekrarlanabilir olduğudur. Diğer bir deyişle, eğer olası yolcular her zaman aynı seçenek kümeleri ile karşı karşıya kalıyorlarsa, seçimlerinin de her zaman aynı şekilde olacağı düşünülmektedir. Bu deterministik varsayım, birçok yolculuk istem modellerinin temelini oluşturmaktadır.

Diğer bir basitleştirici varsayım da, olası yolcu tarafından kullanılan, düzenli ve dengeli olan bir karar kuralının varlığının kabulüdür. Bu kural genelde, bireysel tercih davranışının mikro ekonomik istem teorisine uygun olduğu varsayımdır.

Bu varsayımların her ikisinin de uygulanabilirliği, olasılıksal seçim modellerine uyarlanmaları ile olanaklı hale gelir. Varsayımlara dayanılarak oluşturulabilen bu ,modelde, seçim sürecinin kendisi deterministik olmasına karşın, tamamıyla açıklanamayan rastlantısal etkiler altındadır. Bu etkiler, seçim yapacak kişilerin davranışlarının düzensizliğinden kaynaklanmaktadır. Bunun nedeni ise, var olan seçeneklerin özellikleri konusundaki bilgi yetersizliği, ya da bu özelliklerin anlaşılmasındaki düzensiz rastlantısal değişimlerdir. Rastlantısallığın kaynağının neler olduğunu ortaya çıkaracak bir yol yoktur. Stokastik modeller, yolculuk davranışının tahmininde deterministik modellerden daha iyidir.

Örnek: bu konuya basit bir rota seçimi örneği verelim. Eğer bir yolcu, yolculuğu için belirli sayıdaki rota seçenekleri ile karşılaşır ve bu rotalar yolculuk süresi dışındaki özellikleri bakımından benzer iseler, birey en kısa süreli olan rotayı seçecektir. Bu da deterministik seçim modeline oldukça uygundur.

4.4.2.1 Seyir Sıklıklarının Belirlenmesinin Önemi

Sefer sıklıkları ve sefer harekât zamanları, özellikle aynı rotada faaliyet gösteren farklı ulaşım alternatifleri olduğu durumlarda, yolcuların ulaşım aracını (türünü) belirlemesinde (ulaşım çeşidi kararını vermesindeki) en önemli faktördür. Örneğin Johnson vd.(1980) rekabetin var

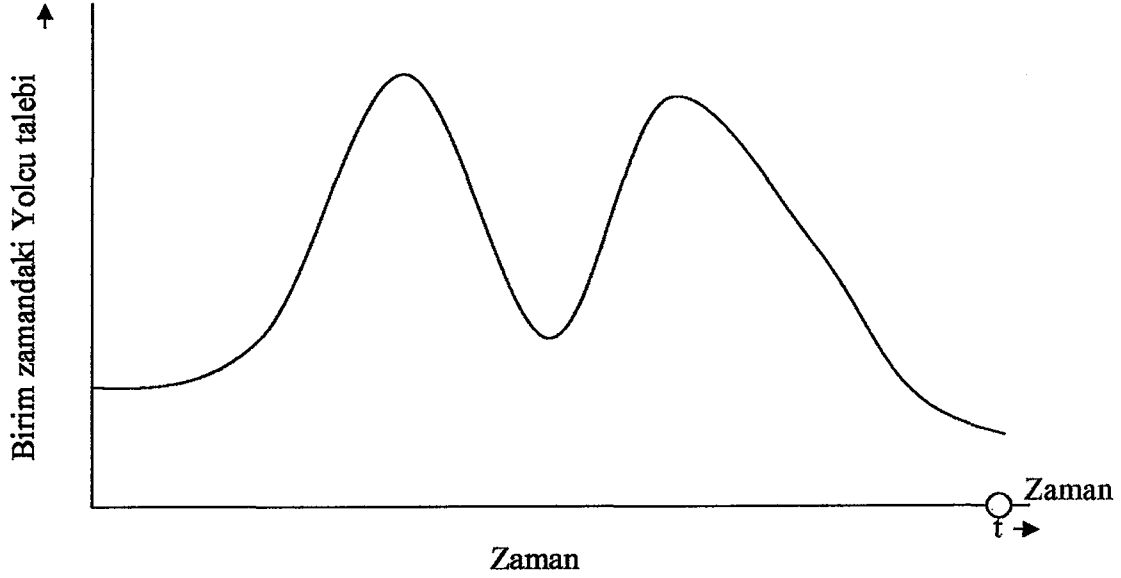
olduğu durumda hava taşımacılığında yolcuların hava taşımacılığını seçmelerinde göz önünde bulundurulan faktörler üzerinde çeşitli çalışmalar yürütmüştür. Bir hava aracını seşerken nelerin, hangi önemli kriterlerin göz önüne alınması gerektiğini belirlemek amacıyla, Kanada'da yapılan bir çalışmada, belirlenen 150 rota üzerinde gerçekleştirilen araştırmada, yolcuların değerlendirme kriterleri şu Şekilde ortaya çıkmıştır:

- Uçuş izelgesi,
- Güvenlik,
- cret,
- Uçak modeli, tipi,
- Rezervasyon sistemi ve hizmet kalitesi.

Servis sıklıkları ve hareket saatleri, potansiyel müşterileri kendinize ekebilmeniz açısından da son derece önemli faktörlerdir. Bu faktörler özellikle kısa ve orta mesafe seyahatlerde geçerli olup, hemen hemen bütün taşıma alternatiflerinin bulunduğu, rekabetin kızgın olduğu ortamlarda geçerlidir.

Bir yolcunun havayolunu seşmesindeki en önemli faktörler, diğer alternatif seyahatlerin seyahat creti ve seyahat zamanları, uçuş sıklığı, otobüs ve tren hareket saatleri vs.dir. Simpson (1969) seyahat taleplerinde servis sıklığı ve çizelgelerinin etkilerinin, çok nadiren incelendiğini ve göz önüne alındığını belirtmiştir.

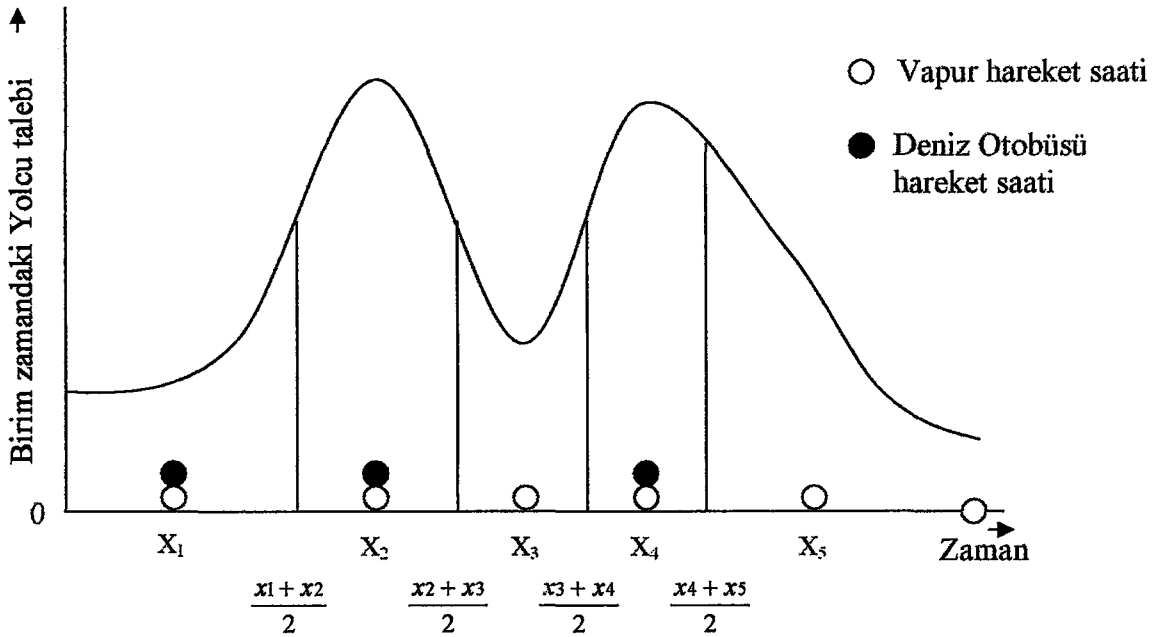
Gagnon (1967), Hyman ve Gordon (1973), Simpson (1969), Miller (1972) Soumis vd.(1993) ve Teodorovic (1988) bir yolcunun bir gün içerisindeki akış karakteriştiği üzerine çalışmalar yürütmüşlerdir. Şekil 4.10 yolcunun zamana bağlı akış fonksiyonu görülmektedir.



Şekil 4.10 Zamana bağlı olarak yolcu talebinde meydana gelen değişim (Teodorovic, 1988)

4.4.2.2 Servis Sıklığı ve Rekabet

Aynı rotada faaliyet gösteren çeşitli taşıma alternatiflerinin bulunduğu durumlarda, deniz taşımacılığının toplam yolcu taşımacılığı içerisindeki payının (Pazar payı) en büyüklenmesi adına, servis sıklıkları ve kesin servis zamanlarının belirlenmesi daha önce de belirtildiği üzere son derece önemlidir. Şekil 4.11'e bakılacak olursa, yolcu akışı ve zaman arasındaki fonksiyonel bağ görülebilmektedir.



Şekil 4.11 Yolcu akışı – zaman ilişkisi (Teodorovic, 1988)

Aynı rotada faaliyet gösteren iki taşıma şeklinin (Deniz otobüsü ve Türkiye Denizcilik İşletmeleri-Vapur) bulunduğu varsayalım. Vapur sefer saatleri, deniz otobüsü sefer saatlerinden daha sık olup x_1, x_2, x_3, x_4 ve x_5 saatlerinde sefer yapmaktadırlar. Deniz otobüsü ise x_1, x_2, x_4 zamanlarında seferler yapmaktadır. Kapasiteler ve tarifelerin aynı olduğu varsayılmaktadır. Bu durumda yolcu, kendisi için en uygun zamanda servise başlayan taşımacılık alternatifini seçecektir. Şekil 4.11'te eğri altında kalan 5 farklı alanın da eşit olduğu varsayılırsa, x_3 ve x_5 zamanlarında rekabetin olmadığı söylenebilir. Böylece;

$$\left(\frac{x_2+x_3}{2}, \frac{x_3+x_4}{2}\right) \text{ ve } \left(\frac{x_4+x_5}{2}, T\right) \quad (4.1)$$

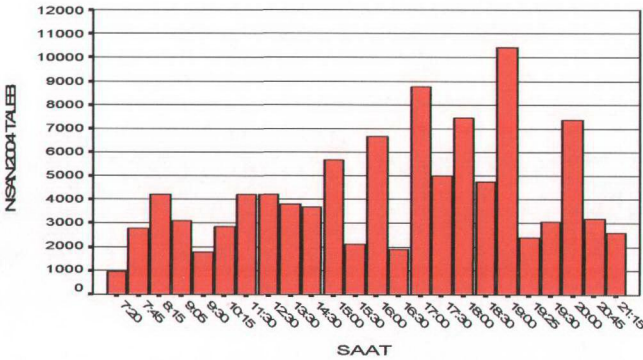
zaman dilimlerinde bütün yolcuların vapur ile seyahat edeceği söylenebilir. Bunun anlamı, sadece bu iki sefer ile vapur, 0-T zaman aralığında seyahat etmek isteyen yolcuların $\frac{2}{5}$ 'ini

taşımaktadır. x_1, x_2 ve x_4 zamanlarında ise vapur, yolcuların $\frac{1}{2} * \frac{3}{5}$ 'ini taşımaktadır. Bu

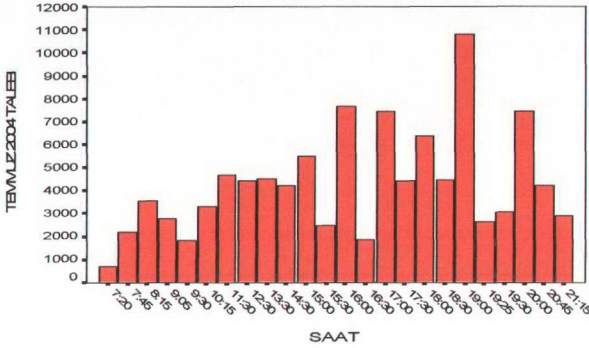
durumda toplamda, vapur yolcuların $\frac{2}{5} + \frac{1}{2} * \frac{3}{5} = \frac{7}{10}$, yani %70'ini taşımaktadır. Diğer taraftan

deniz otobüsü ise, bütün seferlerin $\frac{3}{8}$ 'ini gerçekleştirmekte ve yolcuların $\frac{1}{2} * \frac{3}{5} = \frac{3}{10}$ 'unu taşımaktadır.

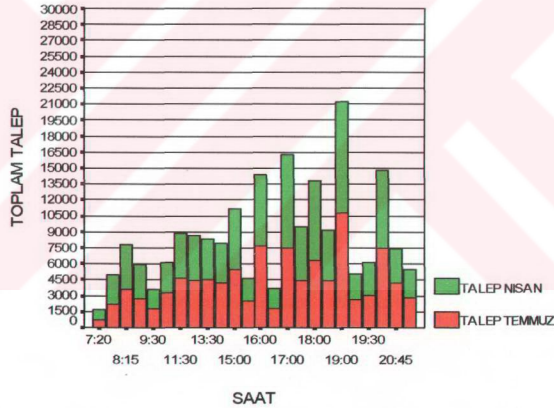
Aşağıdaki şekillerde, İDO'ya ait 2004 yılı Nisan ve Temmuz aylarına ait yolcu istemleri yer almaktadır. Şekil 4.10'a benzetmekle birlikte, küçük farklılıklar da içermektedir.



Şekil 4.12 Yolcu isteminin zaman içerisindeki dağılımı (Nisan 2004)



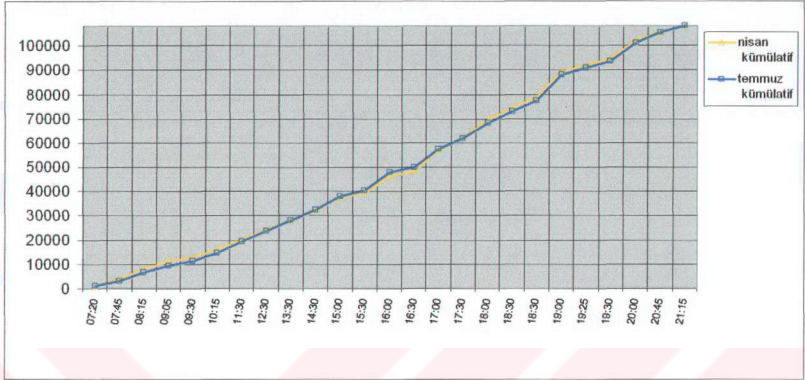
Şekil 4.13 Yolcu isteminin zaman içerisindeki dağılımı (Temmuz 2004)



Şekil 4.14 Yolcu isteminin zaman içerisindeki dağılımı (Nisan- Temmuz, 2004)

Şekil 4.12 ve 4.13'te, en çok kullanılan hat olan Bakırköy-Kadıköy-Bostancı (125.325 yolcu/ay ve 120.253 yolcu/ay) hattında, Nisan 2004 ve Temmuz 2004 tarihli yolcu talebinin zaman içerisindeki dağılımı görülmektedir. Bir yılın en iyi şekilde tasvir ettiği düşünülen temmuz ve nisan aylarına ait bütünleşik grafik ise şekil 4.14'te görülmektedir.

Şekil 4.15'te ise, nisan ve temmuz aylarına ait yığılımlı istem eğrisinin gün içerisindeki değişimi görülmektedir.



Şekil 4.15 Yığılımlı istem eğrisi

4.4.2.3 Karı En Büyükleyen Servis Sıklığının Belirlenmesi

Servis sıklığının servis kalitesi üzerindeki etkilerine ek olarak, yolcu sayısı ve toplam kar ve toplam direkt ve endirekt operasyon maliyetleri üzerindeki etkileri de oldukça önemlidir.

Bu faktörleri hareketin bir noktası olarak kullanan De Vany ve Garges (1972), rekabetin olmadığı bir ortamda havayolu ulaşımı için karı en büyükleyen servis sıklığını belirlemek amacıyla bir model geliştirmişlerdir. Burada i ve j arasındaki bir rotada $kar P$ ile ifade edilmiş olup;

$$P = c * \lambda_{ij}(c, N) - DOC * N - L * N - IOC * \lambda_{ij}(c, N) - IC \quad (4.2)$$

- c:** i şehirden j şehrine olan seyahat ücreti,
N: i şehirden j şehrine günün belirlenen zaman aralıklarındaki sefer sayısı,
 $\lambda_{ij}(c, N)$: N uçuş sıklığında i şehirden j şehrine c ücreti ile uçan yolcu sayısı,
DOC: sefer başına doğrudan (direkt) operasyon maliyeti,
L: Alan vergileri,
IOC: Yolcu başı dolaylı (endirekt) operasyonel maliyet,
IC: Dolaylı maliyet.

Karın en büyükleyen sefer sıklığı aşağıdaki eşitlikten bulunabilir:

$$\frac{\partial P}{\partial N} = 0 \quad (4.3)$$

Buradan;

$$\frac{\partial P}{\partial N} = c \frac{\partial \lambda}{\partial N} - DOC - L - DOC \frac{\partial \lambda}{\partial N} = 0 \quad (4.4)$$

Denklem düzenlenecek olursa aşağıdaki eşitlik elde edilecektir;

$$N = \frac{C - IOC}{DOC + L} \cdot \lambda \cdot \frac{\frac{\partial \lambda}{\partial N}}{\frac{\lambda}{N}} \quad (4.5)$$

Burada $e = \frac{\frac{\partial \lambda}{\partial N}}{\frac{\lambda}{N}}$ servis sıklığının değişimine bağlı yolcu sayısındaki değişimi ifade etmektedir.

Yani servis sıklığındaki değişimin, yolcu talebini arttırıp-azaltma durumu-oranıdır. Bu durumda;

$$N = \frac{(C - IOC) \cdot \lambda \cdot e}{DOC + L} \quad (4.6)$$

Yukarıdaki eşitliğin uygulanabilmesi için, herhangi bir rotadaki e değerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu bilgilere geçmiş istatistiksel verilerden ulaşmak mümkün olabilir. Bu verilerde, servis sıklığı değişimine bağlı olarak yolcu taleplerinin değişimi çıkarılabilir (Teodorovic, 1988).

4.5 Modeller

Bölüm 4.1'de verilen genel rotalama problemlerin ek olarak bu bölümde, eşzamanlı rotalama ve çizelgeleme problemleri ile ilgili temel modeller ve formülasyonları verilecektir. İlk olarak taşıt rotalama ve çizelgeleme problemlerinde kullanılan genel matematiksel modele yer verilecek, ardından zaman çizelgelemesi ile birlikte, taşıt rotalaması ve çizelgelemesini ele alan modellere yer verilecektir. Yapılan literatür çalışmasında, bu alanda yapılan çalışmaların

genellikle, daha önce de bahsedildiği üzere, havayolu taşımacılığı için havayolu firmaları tarafından yapılan veya yaptırılan çalışmalar olduğu görülmüştür. Bu alanda çok sayıda çalışma yapılmasının bir nedeni, havayolu taşımacılığında yaşanan yoğun rekabettir. aşağıda bahsedilen modeller, eşzamanlı rotalama ve çizelgeleme modellerinde göre daha kapsamlıdır ve alt modellerin bir araya getirilmesi ile oluşturulabilirler.

4.5.1 Taşıt Rotalama Problemi Genel Matematiksel Modeli

Karışık yapılı şebekelerde taşıt rotalama işlemi için yukarıda belirtilen rotalama yöntemleri yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle de taşıt rotalamanın temel prensibi olan toplam seyahat mesafesinin minimize edilmesi mümkün olmamakta ve dolayısıyla yüksek seviyede maliyetler oluşmak, servis seviyesi düşmektedir. Bu gibi durumlarda taşıt rotalamada optimal bir sonuca ulaşmak için doğrusal programlama kullanılmaktadır. Doğrusal programlama yardımıyla taşıt rotalamada kısıtlar müşterilerden, araçlardan, depodan ve müşteriler ile depo arasındaki şebeke bağlantılarından oluşur. $N+1$ adet müşteri noktası ve K adet taşıt bulunmaktadır. Depo 0. müşteri olarak ifade edilir. Taşıtlar rotaya depodan başlar, müşteri noktalarını ziyaret eder ve tekrar depoya geri dönerler. Şebeke içersindeki rotaların sayısı kullanılan taşıtların sayısına eşittir. Bir taşıt sadece bir rota üzerinde faaliyet gösterebilir. Rotalama yaparken şebeke içersindeki her bir müşteri taşıtlardan sadece biri tarafından ziyaret edilebilir. Tüm taşıtlar aynı kapasiteye sahiptir ve müşteri talepleri değişebilmektedir. Taşıtların kapasitesi rota üzerinde bulunan tüm müşterilerin taleplerinin toplamından küçük ya da eşit olmalıdır. Bunun anlamı taşıtların kapasitelerinin üzerinde yüklenememesidir. Doğrusal programlama yardımıyla bir taşıt rotalama problemi şu şekilde formüle edilebilir (Karahana, 2001).

$$\text{Min } Z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K C_{ij} X_{ijk} \quad (4.7)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^N X_{ijk} \leq K \quad i=0 \quad (4.8)$$

$$\sum_{j=1}^N X_{ijk} = \sum_{j=1}^N X_{ijk} \leq 1 \quad i=0, k=1,2,\dots,K \quad (4.9)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=0, j \neq i}^N X_{ijk} = 1 \quad i=1,2,\dots,N \quad (4.10)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=0, j \neq i}^N X_{ijk} = 1 \quad j=1,2,\dots,N \quad (4.11)$$

$$\sum_{i=1}^N M_i \sum_{j=0, j \neq i}^N X_{ijk} \leq q_k \quad k=1,2,\dots,K \quad (4.12)$$

$X_{ijk}=0$ veya $X_{ijk}=1$

K: Toplam taşıt sayısı

N: Toplam müşteri sayısı

C_{ij} : i noktasından j noktasına rotalama maliyeti

M_i : i müşteri noktasındaki talep

q_k : k taşıtının kapasitesi

Yukarıdaki doğrusal programlama modelinde (4.7) modelin amacını yani toplam seyahat mesafesinin ve dolayısıyla toplam rotalama maliyetinin minimize edilmesini ifade etmektedir. (4.8) oluşabilecek maksimum K rota sayısını ifade etmektedir. (4.9) her bir rotanın depodan başlayıp yine depoda bittiğini göstermektedir. (4.10) ve (4.11) müşteri noktalarının herbirinin sadece bir taşıt tarafından yalnızca bir defa ziyaret edildiğini göstermektedir. (4.12) üzerinde bulunan müşterilerin toplam talep miktarının rotaya çıkacak olan aracın toplam kapasitesinden fazla olmayacağını ifade etmektedir. X_{ijk} değişkeninin 0 yada 1 değerini alabileceğini göstermektedir.

4.5.2 Model 1

Bodin (1983), eşzamanlı rotalama ve çizelgeleme problemlerinin, ağ optimizasyon problemleri olarak ele alınabileceklerini belirlemekte ve bu konuda üç ayrı model sunmaktadır. Desrosiers ve arkadaşları (1993), bu modellere oldukça benzer modeller sunmuşlardır. Bodin'in bu bölümde sunulan ilk modeli, tek depolu ve eşanlı rotalama ve çizelgeleme modelidir.

Bu model ile, verilen bir görevler kümesinin kaç taşıt ile gerçekleştirileceği ve bu taşıtlara hangi görevlerin atandığı belirlenmektedir. Taşıtların tümü aynı özelliklere sahip olup, tek bir depoda bulunmaktadır. Modelin temel girdisi, görevler kümesidir. Daha önce de belirtildiği gibi, görevler yapılması zorunlu seferlerdir. Her bir (i) görevi, başlangıç yeri (BYi), başlangıç zamanı (BZi), varış yeri (VYi) ve varış zamanı (VZi) ile tanımlanmaktadır.

Modele göre, bir $G(N,A)$ ağında, (N) düğümler kümesini (A) ise kollar kümesini göstermektedir. (N) kümesi ise, (G) görevler kümesi ve (k) kaynak düğüm ile (h) hedef düğümden oluşmaktadır. Kaynak düğüm, taşıtın hareketine başladığı ilk noktayı; hedef düğüm, vardığı en son noktayı göstermektedir. Taşıtın ilk hareketine başladığı ve en son vardığı yer depo olduğu için, kaynak ve hedef düğümler, deponun kopyalarıdır.

Bir taşıtın (i) görevinden sonra bir (j) görevini yerine getirebilmesi için, bu görevlerin,

$$VZ_i + T(VY_i, BY_j) \leq BZ_j \quad (4.13)$$

Bağıntısını gerçekleştirmeleri gerekmektedir. Burada, $T(L_1, L_2)$, L_1 bölgesinden (L_2) bölgesine yolculuk zamanını göstermektedir. (3-5) nolu bağıntıyı gerçekleştiren her bir göreve ve her bir görevden hedef düğüme geçirilen kollar da eklenerek, (A) kollar kümesi elde edilmektedir. Her bir (i, j) koluna, bir c_{ij} maliyeti atanarak, aşağıdaki formülasyon verilmektedir.

$$\text{Min} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (4.14)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i:(i,j) \in A} x_{ij} - \sum_{i:(j,i) \in A} x_{ji} = 0 \quad \text{tüm } j \in N - \{k, h\} \text{ için} \quad (4.15)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in A} x_{ij} = 1 \quad \text{tüm } j \in N - \{k, h\} \text{ için} \quad (4.16)$$

$0 \leq x_{ij} \leq 1$ ve tamsayı tüm (i, j) $\in A$ için

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{eğer bir taşıt } (i, j) \text{ kolunu geçerse,} \\ 0 & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

Amaç fonksiyonu (4.14) toplam kol maliyetlerini minimize etmektedir. Eğer her bir kola,

- $i, j \in N - \{k, h\}$ için, taşıtın i ve j görevleri arasındaki boş bekleme süresinin maliyeti ile eğer gerekiyorsa bu görevler arasındaki boşuna seyir maliyeti,
- $i=k$ ve $j \in N - \{k, h\}$ için, depo ve j görevi arasındaki boş bekleme süresi ile boşuna seyir maliyeti ve taşıtı kiralama ya da taşıta sahip olma maliyeti.
- $J=h$ ve $i \in N - \{k, h\}$ için, I görevi ile depo arasındaki boş bekleme ile boşuna seyir maliyeti

Atanacak olursa, amaç fonksiyonu, taşıtların işletme ve yatırım maliyetlerini en küçükleyecektir. (2) nolu kısıt akımın korunmasını; (3) nolu kısıt, her bir göreve mutlaka ve yalnız bir taşıt atanmasını sağlamaktadır. Üçüncü kısıt tamsayılık kısıtıdır.

Bu modelin formülasyonu, aslında en küçük maliyetli ve tamsayılı bir ağ akım probleminin formülasyonudur. Ve ilk kez Dantzig ve Fulkerson (1954) tarafından tasarlanmıştır. Bu problemin çözümü ile, kaynak düğümünden hedef düğüme doğru, görevleri sıralayan bağlantılar elde edilmektedir: her bir bağlantı (sıralama), bir taşıtın hangi görevleri gerçekleştirmesi gerektiğini göstermektedir. Dolayısı ile, sıralamaların sayısı, bir görevler kümesine hizmet veren taşıtların toplamıdır. Bu sıralamalar, taşıt rotası ya da çizelgesi olarak adlandırılabilirler (Erel, 1995).

Desroiers ve arkadaşlarının sundukları tek depolu modelin farkı, taşıt sayısının sınırlı olmasıdır. Bununla birlikte, taşıt sayısının, her düğüme mutlaka bir taşıtın uğraması kısıtı ile çelişmeyecek bir sınırlı değerde olması gerekmektedir.

Bu model kısaca, “tek depolu ve taşıtların rota süreleriyle ilgili her hangi bir sınırlama olmayan bir model” olarak özetlenebilir. Bölüm 4.4’de yapılan açıklamalara dayanılarak, modelin bu haliyle kentiçi denizyolu taşımacılığına uygulanması söz konusu değildir. Söz konusu olan bölümde taşıtların rota süresinin sınırlı olması üzerinde önemle durulmuştur. Ancak, bu model, Bodin’in sunduğu diğer iki modelin temelini oluşturmaktadır

4.5.3 Model 2

Bodin tarafından verilen bu model, tek depolu modelin genişletilmiş hali olup, hangi depodaki taşıtlar ile hangi görevlere hizmet verileceğinin belirlenmesi ile ilgilidir. Bu modeldeki düğümler kümesi, görevler kümesi ile kaynak düğümler ve hedef düğümlerden oluşmaktadır. Kaynak (hedef) düğümlerin sayısı, depo sayısına eşittir. Buna göre, (m) adet depo varsa, $(k_1, h_1), (k_2, h_2), \dots, (k_m, h_m)$ olmak üzere (m) adet de kaynak/hedef çifti söz konusudur.

Eğer bir (i, j) koluna, bir (I) deposundaki taşıt ile hizmet verilebiliyorsa, bu kol (A_1) kümesine

katılmaktadır. Bu şekilde, her bir depo için bir kol kümesi belirlenmektedir. Diğer modellerde olduğu gibi, her bir kola ilgili maliyetler atanarak, model aşağıda şekilde formüle edilmektedir.

$$\text{Min} \sum_{l=1}^m \sum_{(i,j) \in A_l} c^l_{ij} x^l_{ij} \quad (4.17)$$

Kısıtlar

$$\sum_{i:(i,j) \in A_1} x^1_{ij} - \sum x^1_{ji} = 0 \quad \text{tüm } j \text{ görevleri ve 1 depoları için} \quad (4.18)$$

$$\sum_{l=1}^m \sum_{(i,j) \in A_l} x^l_{ij} = 1 \quad \text{tüm } j \text{ göreve düğümleri için} \quad (4.19)$$

$$0 \leq x^l_{ij} \leq 1 \quad \text{ve tamsayı } l=1,2,..,m \text{ ve tüm } (i,j) \in A_1 \text{ için} \quad (4.20)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } (i, j) \text{ kolu 1 deposundaki bir taşıt ile bağlanıyorsa,} \\ 0 & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

Amaç fonksiyonu (4.17), toplam kol maliyetlerini en küçüklemeyi amaçlamaktadır. (4.18) nolu kısıt, akımın korunumunu, (4.19) nolu kısıt, mutlaka her bir düğüme bir depoda bulunan taşıt ile hizmet verilmesini sağlamaktadır. (4.20) nolu kısıt ise tamsayılık kısıtıdır. Model, yapı olarak tamsayı ve çok türlü (multicommodity) bir ağ akım problemidir.

Çok depolu olan bu model, tek depolu ve çok tipli bir model olarak da ele alınabilir. Böyle bir modelde, (m) adet taşıt tipi varsa, $(k_1, h_1), (k_2, h_2), \dots, (k_m, h_m)$ olmak üzere m adet kaynak/hedef çifti vardır.

Bu modelin (1.) modelden farkı çok depolu olmasıdır. Kentiçi deniz otobüsü seferleri her iskelenin bir depo karakteristiğine sahip olması nedeniyle, modelin uygun olduğu düşünülebilir. Diğer taraftan, rota süresi bu modelde de sınırlı olmadığından, modelin bu hali ile kentiçi denizyolu yolcu taşımacılığına uygulanması düşünülmemiştir.

4.5.4 Model 3

Bodin tarafından verilen bu model, belirli bir zaman dilimi (periyot) için verilen görevlerin ardışık zaman diliminde yeniden aynı taşıtlar tarafından tekrarlanmasını sağlamakta olup, rota süresi sınırlı olan eşzamanlı rotalama ve çizelgeleme modelidir. Örneğin, bir gün boyunca kendisine atanan görevleri gerçekleştiren bir taşıtın, bir sonraki gün aynı görevleri tekrarlaması isteniyorsa, bu taşıtın ilk gündeki son görevini tamamladıktan sonra ikinci gündeki ilk görevinin başlangıç yerine, zamanında ulaşabilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, bu tarzdaki problemlerde (T_{max}) sabitinden daha uzun süreli taşıt rotalarına izin verilmemektedir. Verilen örnek için $T_{max}=24$ saattir.

$$\text{Min} \sum_{(i,j) \in A_1} c_{ij} x_{ij} + \sum_{(i,j) \in A_2} c_{ij} y_{ij} \quad (4.21)$$

Kısıtlar

$$\sum_{(i,j) \in A_1} x_{ij} + \sum_{(i,j) \in A_2} y_{ij} - \sum_{(j,i) \in A_1} x_{ji} - \sum_{(j,i) \in A_2} y_{ji} = 0 \quad \text{tüm } j \in N \text{ için} \quad (4.22)$$

$$\sum_{(i,j) \in A_1} x_{ij} + \sum_{(i,j) \in A_2} y_{ij} = 1 \quad \text{tüm } j \in N \text{ için} \quad (4.23)$$

$$\sum_{(i,j) \in A_1 \cap C} x_{ij} + \sum_{(i,j) \in A_2 \cap C} y_{ij} \leq |C| - 1 \quad \text{tüm } |A_2 \cap C| \geq 2 \text{ olan } C \text{ döngüleri için} \quad (4.24)$$

$$0 \leq x_{ij} \leq 1 \quad \text{ve tamsayı, tüm } (i,j) \in A_1 \text{ için} \quad (4.25)$$

$$0 \leq y_{ij} \leq 1 \quad \text{ve tamsayı, tüm } (i,j) \in A_2 \text{ için} \quad (4.26)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } (i, j) \text{ kolu bir taşıt tarafından geçiliyorsa, } (i,j) \in A_1 \text{ için,} \\ 0 & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (i,j) \in A_1 \text{ için,}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } (i, j) \text{ kolu bir taşıt tarafından geçiliyorsa, } (i,j) \in A_2 \text{ için,} \\ 0 & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (i,j) \in A_2 \text{ için,}$$

Amaç fonksiyonu (4.21), toplam kol maliyetlerini en küçükleme amaçtır. Her bir kol maliyeti, taşıtın boşuna beklemesi ve seyri ile ilgilidir. Taşıt yatırım maliyetlerini, bu modele dahil etmek biraz zordur. Ancak, her bir taşıt elden geldiğince en iyi şekilde kullanılacağı için, gerekli olan taşıt sayısının da en küçüklendiği düşünülebilir. (4.22) nolu kısıt, bir düğüme kol girdiği takdirde, bu düğümden kol çıkmasını ifade etmektedir. (4.23) nolu kısıt, her düğüme bir taşıt atanması ile ilgilidir. (4.24) nolu kısıt ise, diğer kısıtlar ile ortaya çıkan her bir döngüde yalnızca bir geri kol olması gerektiğini göstermektedir. Bunun nedeni, bir döngüde ikiden fazla geri kol olduğu zaman, o döngüye atanan taşıtın, her periyotta aynı görevleri tekrarlayamamasıdır. Bir döngü, düğümlerin ardışık ve tekrarlanabilir sıralamasına karşılık gelmektedir. Bu kısıttaki $|C|$, bir C döngüsündeki kolların sayısını ifade etmektedir. (4.25) ve (4.26) nolu kısıtlar ise tamsayılık kısıtlarıdır (Erel, 1995).

Bu modelin, diğer iki modelden farkı, görevlerin bir döngü (dolaşım) olacak biçimde sıralanmasıdır. Bu nedenle, verilen formülasyon, tamsayılı bir ağ döngü problemidir. Model, kentiçi denizyolu yolcu taşımacılığında, taşıtlara atanan seferlerin, her periyotta tekrarlanmasını sağlayacak bir yapıya sahiptir.

Örnek:

Verilen örneğimiz, 10 görev ve 54 değişkenden oluşmaktadır. Çizelge 4.4'de başlangıç (bitiş) yerleri ve zamanları ile gösterilen görevlerin, her 24 saatte bir tekrarlanması istenilmektedir. Bu nedenle T_{max} 24 saate eşittir. Görevler başlangıç zamanlarına göre sıralandıkları ve numaralandırıldıkları için, eğer bir i, j kolu;

- İleri bir kol ise $i < j$;
- Geri bir kol ise $i > j$;
- Bir düğüm kolu (çıktığı görevden giren kol) ise $i = j$ 'dir.

Taşıtın saatlik boşta bekleme maliyeti (SBBM) 1 birim, saatlik boşa seyir maliyeti (SBSM) 3 birim alınarak hesaplanan her bir kol maliyeti c_{ij} , çizelge 4.5'de sunulmaktadır. Bu tabloda, matrisin (i.) satır ve (j.) kolunu ile tanımlanan elemanı boş bırakılmış ise, (i.) görevi ile (j.) görevi arasında bir kolun bulunmayacağı anlaşılmaktadır. Eğer bir kol mevcut ise, söz konusu elemana ilgili (c_{ij}) maliyeti yazılmaktadır. Buna göre köşegenin üst alanındaki maliyetler, ileri kolların maliyetlerini; köşegendeki maliyetler, düğüm kollarının maliyetlerini; köşegenin alt alanındaki maliyetleri ise geri kolların maliyetlerini göstermektedir.

Çizelge 4.4 Örnek için görevler

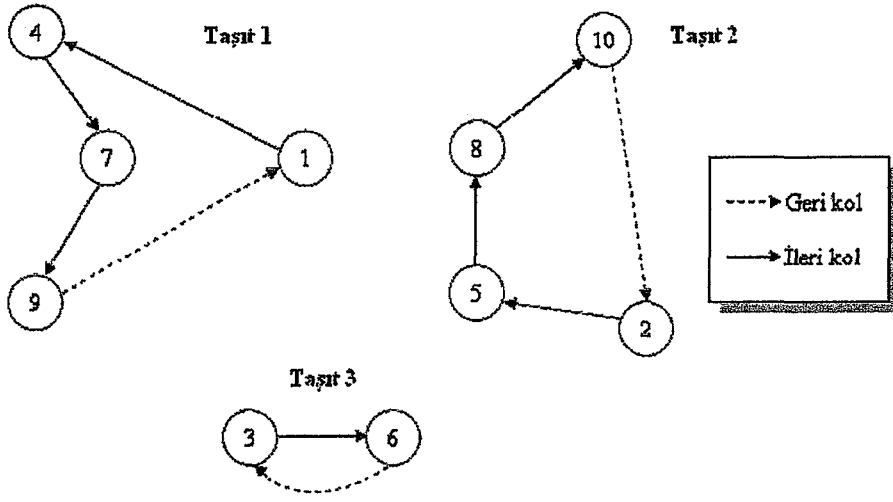
Görev	Başlangıç Yeri (zamanı)	Varış Yeri (Zamanı)
1	C(08:00)	A(12:00)
2	A(09:00)	B(12:00)
3	C(10:00)	B(16:00)
4	A(12:00)	C(16:00)
5	B(15:00)	A(18:00)
6	B(16:00)	C(22:00)
7	C(16:00)	B(22:00)
8	A(18:00)	C(22:00)
9	B(22:00)	C(28:00)
10	C(24:00)	B(30:00)

Çizelge 4.5 Örnek için (i,j) kol maliyetleri

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	12			0	12	13	16	6	19	
2		10			3	4		15	10	30
3			36			0			6	
4	16			32			0		24	8
5	26	15			19			0	13	18
6	10	23	12			16				2
7	28			23			16		0	
8	10	23			35			12		2
9	4	17	6	20	29		12		16	
10		12		15	9	10		21		16

Problemin çözümünü daha anlaşılır kılmak amacıyla, görevler ve aralarındaki kollar, şekil 4.16'de bir ağ biçiminde gösterilmiştir. Görevler, ağın düğümlerini oluşturmaktadır. Ağ üzerindeki kollar, ileri, geri ve düğüm kollarından oluşmaktadır.

Problem, LINGO 8.0 programı ile çözüldüğünde ise, şekil 4.16'da görülen rotalar belirlenmektedir. Bu durumda üç taşıt ile talep karşılanmaktadır.



Şekil 4.16 Problemin optimum çözümü

4.5.5 Model 4

Gavish ve arkadaşları (1978), metropoliten bir bölgede, çok depolu otobüs çizelgelemesi için, iki aşamalı bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Aynı yaklaşım Ceder ve Gonen (1980) tarafından İsrail Otobüs Taşımacılığı'na uygulanmıştır. Bu yaklaşıma göre, ilk aşamada, depolardan bağımsız olarak rotalar ve çizelgeler eşzamanlı olarak oluşturulmakta ve ikinci aşamada, her bir rota ve çizelgeye bir depodan taşıt ataması yapılmaktadır.

İlk aşamada, belirli bir (T) aralığı için, (n) adet otobüs seferi dikkate alınmakta, bu seferleri gerçekleştirecek (n) adet taşıt olduğu ve bu taşıtların hayali bir depoda bulunduruldukları varsayılmaktadır. Bodin'in modellerinde taşıt sayısı sınırsız iken, burada sınırlandırılmıştır. Ancak, bu sınırlama, her bir taşıtın yalnız bir seferi gerçekleştirmesi durumuna olanak tanıdığından, herhangi bir sorun yaratmaz. Her bir sefer, kalkış ve varış olayları olarak ikiye ayrılmıştır. Bir kalkış olayı ait olduğu seferin kalkış yeri ve zamanını; bir varış olayı ise ait olduğu seferin varış yeri ile zamanını göstermektedir.

Bir varış olayı ile bir kalkış olayının birbirine bağlanması ile, bu olayların ait oldukları seferler de bağlanmaktadır. Seferlerin bu şekilde birbirine bağlanmaları ile, her bir taşıt rota ve çizelgesi belirlenmektedir. Bir varış olayı ile bir kalkış olayı arasındaki bağa, taşıt ile personelin boşa bekletilmesi ve boşa seyir maliyetleri atanmaktadır. Eğer hayali depo ile bir kalkış olayı arasında bir bağ kurulursa, bu kalkış olayını kapsayan sefer, bir taşıt rota ve çizelgesinin ilk seferidir. Böyle bir bağa, filo boyunun bir otobüs azaltılması ile sağlanan yıllık kazancın, dikkate alınan periyota düşen payı atanmaktadır. Eğer bir varış olayı ile hayali depo arasında bir bağ kurulursa, bu varış olayını kapsayan sefer, bir taşıt seferinin son

seferidir. Bu bağı her hangi bir maliyet ataması yapılmaz.

İlk aşamanın amaç fonksiyonu, bağ maliyetlerini en küçüklemektedir. Kısıtlar, her bir kalkışa ve varışa bir bağ olmasını sağlamakta ve hayali depodaki otobüslerden gerekli olanların kullanıldığını, diğerlerinin ise depoda bekletildiğini ve hangi varış olaylarının hangi kalkış olayları ile bağlanabileceğini göstermektedir. Ek olarak tamsayılık ve negatif olmama kısıtları da vardır.

İlk aşamada verilen alt modele göre oluşturulan her bir taşıt rotası ve çizelgesi, ikinci aşamada bir depoya bağlanmaktadır. Dolayısı ile, her bir taşıt rotası ve çizelgesine, mutlaka bir depodan bir taşıt atanmaktadır. Bu alt modelin amaç fonksiyonu, depolardan taşıt rota ve çizelgelerine, taşıt rota ve çizelgelerinden depolara olan maliyetlerin toplamını en küçüklemektedir. Kısıtlar ise, her bir taşıt rotası çizelgesine yalnız ve mutlaka bir taşıt atanmasını, bir depodan atanan taşıt sayısının, söz konusu depodaki taşıt sayısını aşmamasını sağlamaktadır (Erel, 1995).

Bu model, çok depolu bir problemin, önce tek depolu probleme dönüştürülerek, çözüme aşamalı olarak ulaşılmasını sağlayan bir modeldir. İlk aşamada, hayali bir deponun ele alınması, modelin bir atama problemine dönüştürülmesine olanak sağlar. Kentiçi denizyolu yolcu taşımacılığı için oldukça iyi bir modeldir. Ancak kentiçi denizyolu taşımacılığına uygulandığı vakit, taşıtların rota süresini sınırlayabilen bir biçime sokulması gerekmektedir.

4.5.6 Model 5

Richardson (1976), uluslar arası havayolu taşımacılığı için değişik bir yaklaşıma sahip bir model sunmuştur. Bu modelde, taşıtların önce rotalanması, ardından çizelgelemesi yapılmaktadır. Rotalama, bir uçağın iniş yapacağı kentlerin sıralamasını, çizelgeleme ise her bir rotadaki sıralı kentlere kalkış zamanlarının atanmasını ifade etmektedir. Dolayısı ile taşıt çizelgelemesi, aynı zamanda zaman çizelgelemesini de belirtmektedir. Richardson, elde edilen bir taşıt ve zaman çizelgesinde, işletmesel tutarsızlıklar saptandığı takdirde yeni bir rota oluşturulması ve son zaman çizelgesine ulaşıncaya kadar bu döngünün tekrarlanması gerektiğini belirtmektedir. Anlaşıldığı gibi, modelde taşıt rotalama ve çizelgelemesi eş zamanlı olarak ele alınmaktadır (Erel, 1995).

Ağıdaki düğümler kümesi, ana ve son düğümler, kayma (slip) düğümleri ve sektör düğümlerinden oluşmaktadır. Ana düğüm, bütün rotaların başladığı ve bittiği kenttir. Son düğüm, ana düğümden ayrılan uçakların geriye dönmek üzere yön değiştirebilecekleri en son

kenttir. Bir kayma düğümü, uçağın son noktaya varmadan, geri dönebileceği bir kente karşılık gelmektedir. En az bir kayma düğümleri kümesi vardır ve bu kümeler, ana ile son düğümler arasındaki bölgeyi sektörlere ayırmaktadır. Bu sektörler içindeki kentlere de sektör kentler adı verilmektedir. Bir uçağın her bir kayma düğümleri kümesinden en fazla bir düğüme, her bir sektörden ise en fazla iki düğüme uğramasına izin verilmektedir. Bunun nedeni, ara durak sayısını sınırlandırarak müşterilerin ara duraklardaki zaman kayıplarını azaltmaya çalışmaktır. Çünkü Richardson'a göre uluslar arası taşımacılıkta, yolcular hizmet sıklığından çok, ara duraklarda güvenlik ve gümrük kontrolleri nedeniyle yitirilen zamanlardan etkilenmektedirler. Bu düşünce tarzı ile, uluslar arası uçak ile yolcu taşımacılığı, ortalama ağırlıklı bir problem haline dönüştürülmüştür.

Modelde önce tek rotalı ve ardından çok rotalı olan iki model verilmiştir. Her iki modelin girdisi, bilet ücreti, kentler arasında yolculuk etmek isteyen müşteri sayısı ve uçakların kapasiteleridir. Tek rota modelinin amaç bağıntısı, bir uçak rotasından elde edilen gelir ile işletme maliyetinin farkını en küçükleme. Başlıca kısıtlar, taşınan yolcu sayısının uçak kapasitesini ve yolcu talebini aşamayacağını göstermektedir. Çok rotalı model tek rotalı modelin genişletilmiş halidir.

Modelde, bir havayolu işletmesinin, diğer işletmeleri dikkate almadan, uğrayacağı kentleri özgürce seçebildiği bu işletmenin taşıyabileceği yolcu sayısının ise, hizmet verilen kentler arasındaki yolcu sayısına ve uçak kapasitesine bağlı olduğu varsayılmaktadır. Ayrıca modelde, talebin zamansal değişimi ele alınmamakta ve yolcuların, duraklardaki bekleme süresi dışındaki yolculuk süresi, ücreti gibi faktörlerden etkilenmediği kabul edilmektedir. Bu varsayımla ve kabuller, modeli kolaylaştırmasına rağmen, gerçek durumdan da uzaklaştırmaktadır. Bu modelin denizyolu taşımacılığına uygulanabilmesi için, çok firmalı ve yolcu tercihlerini dikkate alan bir biçimde dönüştürülmesi gerekmektedir (Erel, 1995).

4.5.7 Model 6

Soumis ve arkadaşları (1993), havayolu taşımacılığı için geliştirdikleri modelde, taşıt rotalaması ve çizelgelemesini zaman çizelgelemesi ile birlikte ele almaktadırlar. Bu çalışma, en çok kaynak gösterilen çalışmalardan birisi olup her bir zaman çizelgesi seçeneği, farklı bir ağı, her bir ağ, farklı bir taşıt rotalaması ve çizelgelemesi problemini ortaya koymaktadır. Bir ağdaki uçuşların gerçekleştirilmesi için gerekli olan yatırım ve işletme maliyetleri, rotalama maliyetleri olarak tanımlanmıştır.

Modelde bir uçuş, bir kentten (O) belirli bir zamanda ayrılan bir uçağın, ara duraklara uğradıktan sonra başka bir kente (D) varışını karakterize etmektedir. Uçuşun duraksız bileşeni ise, uçuş ayağı olarak tanımlanmaktadır. Aktarmalar nedeniyle yolcuların bir O-D çifti arasındaki yolculukları farklı uçaklar ile gerçekleştirilebilmektedir. Bir rota bir O-D çifti yolcularının hangi uçuş ayakları üzerinden götürüleceklerini göstermektedir. Dolayısı ile bir rota üzerindeki uçuş ayaklarının, aynı uçuşa ait olması gerekmemektedir.

Modelin girdisi, her bir O-D çifti arasındaki talebin gün içerisindeki dağılımıdır. Bu talep, günün farklı zamanlarına karşılık gelen ve her biri market olarak tanımlanan, alt gruplara bölünmektedir. Bir O-D çifti arasındaki marketlerin sayısı için bir sınırlama yoktur ve bu sayının rota sayısına eşit olabileceği belirtilmektedir. Bir marketin yolcularının arzu ettiği hareket (kalkış) zamanlarının ortalaması alınmakta ve söz konusu market yolcularının tümünün bu ortalama zamanda yolculuğa başlamak istedikleri varsayılmaktadır.

Amaç fonksiyonu, yolcuların hoşnutsuzlukları ile yolcu fazlasından kaynaklanan gelir kaybını ve rotalama maliyetlerinin toplamını en küçükmektir. En küçük gelir kaybı, en büyük gelire karşılık geldiğinden, amaç fonksiyonunun karı en büyüklediği de söylenebilir. Kısıtlara göre, bir marketteki yolcuların, o markette hizmet veren rotalara atanması gerekmekte ve bir rotaya atanan yolcu sayısı negatif olamamaktadır.

Yolcuların rotalara atanmasında, yolcu fazlası ile, yolcuların hoşnutsuzluklarının en küçüklenmesi esas alınmaktadır. Ancak, bir yolcunun hoşnutsuzluğunun nasıl değerlendirildiği ile ilgili açıklamalar yapılmamıştır. Yolcu fazlası ise, bir rotaya atanan yolculardan, uçaktaki yer yetersizliği nedeni ile taşınamayan yolculardır. Bu fazlalık, kaybedilen bir yolcu potansiyeli olduğundan, bir havayolu firmasının gelir kaybı olarak dikkate alınmıştır (Erel, 1995).

Bu alanda yapılan bir diğer çalışma da, Yan ve Tseng (2002), tarafından, etkinliği arttırmak adına, çoklu filo rotalama ve çok duraklı çizelgeleme için bir karar destek yapısı geliştirdikleri çalışmadır. Bu yapı, tasarlanan zaman çizelgesini, uygun taşıtları, kapasiteyi, taşıt kiralama bedellerini ve diğer maliyet verilerini en yüksek kara ulaşmak için temel girdi olarak dikkate alan bir çok stratejik modelin birleşiminden oluşmaktadır..

Yan ve Young (1996)'ın iki aşamalı iterasyon problemini etkin olarak çözmek için matematiksel modeller geliştiren yaklaşımının, geleneksel deneme-yanılma metoduna göre daha sistematik ve etkin olması beklenmektedir. Yine de Yan ve Young (1996) hala, ilk zaman çizelgesinin planlamacının tecrübeleriyle oluşturulduğu iki aşamalı süreci takip

etmektedirler. Böyle bir prosedürde tahmini talep (OD) ilk olarak seyahat tedarikiyle (taşıt büyüklüğü, servis sıklığı ve rota düzeni) sağlanmıştır. Daha sonra, kaynak kısıtlarını içeren daha iyi bir zaman çizelgesi oluşturmak için stratejik modellere başvurulmuştur.

Yan ve Young'un modellerindeki gibi Tayvan'da da her bir OD çifti için servis sıklığı ve rotaların kabaca hesaplandığı bir ilk zaman çizelgesi tasarımı ile birlikte zaman çizelgeleri, uçuş çizelgeleme uygulamalarının vazgeçilmez temelidir. Bu tür yaklaşımlar sadece süreçte aşırı subjektif yargıyı ve karar vermeyi içermez, aynı zamanda tedarik ve talep arasındaki karşılıklı ilişki yönetiminin yetersizliğini doğrudan ve sistematik olarak gösterir.

Yan ve Young'un çalışmalarına ek olarak, bu yıllarda, Abara'nın (1989) sabit seyahat süreleriyle taşıt atamaları için tam sayılı doğrusal programlama modeli, Teodorovic ve Krcmar-Nozic'in (1989) rekabet ortamında seyahat sıklıklarına karar vermek için çoklu kriter modeli, Balakrishnan'ın, uçuş mesafe rotalaması için karma tam sayı program modeli, Hane'nin sabit zaman pencereleri olmadan günlük taşıt rotalama ve çizelgeleme probleminin (DARSP) çözümü için çoklu ürün ağ akışı modeli ve Desaulniers'in (1997) bilinen sabit zaman pencereleriyle operasyonel uçuş ayaklarına göre düzenlenmiş DARSP probleminin çözümü için zaman kısıtlı çoklu ürün ağ akış modeli gibi bir çok havayolu çizelgeleme modeli geliştirildi. Fakat Yan ve Young'ın modelinde olduğu gibi tüm bu modeller iki aşama mantığıyla geliştirilmiştir. Yukarıda değinildiği gibi, tedarik ve talep arasındaki ilişkiyi ele almakta endirekt yaklaşımlar kullanan bu modeller, gerçek hayatta kullanımını sınırlayan hata ve etkinliğe etki eden süreçteki kritik bir manüel gerekliliğe sahiptirler. Bu model çerçevesinde, Yan ve Tseng (2002)'nin ortaya koydukları model ve çalışma incelenecektir.

Havayolu firmaları tarafından da sıkça kullanılmakta olan filo rotalama ve uçuş çizelgeleme metotları, firmalara önemli avantajlar sağlamaktadır. Aşağıda, denizyolu taşımacılığında da kullanılabilir bir model görülmektedir. Tayvan Havayolları için yapılan çalışma ve sonuçları göstermektedir ki, optimum filo büyüklüğü ve uçuş rotaları, yoğun bir rekabetin yaşandığı sektörde, firmalara çok önemli rekabet avantajı sağlamaktadır.

Yan ve Young'ın çalışmalarında da olduğu gibi, "zaman aralıklı ağ" (the time-space network) tekniği, filo rotalama ve çizelgeleme problemlerinin modellenmesinde oldukça yararlı bir tekniktir. Tayvan Havayolları için yapılmış olan çalışmada, filo rotalama ve uçuş çizelgeleme probleminin bir entegre model formülasyonu için zaman aralıklı ağ (time-space network) tekniği uygulanmıştır. Lagrange çarpanı, Yan ve Young'ın alt eğim metodu, ağ simpleks metodu, en düşük maliyet akış artırma algoritması ve akış ayrıştırması (the flow

decomposition) algoritması bazlı bir algoritma, problemin çözümü için geliştirilmiştir. Özellikle, fizibil bir üst sınır bulmak için iyi bir sezgisel metod geliştirilmesi ve iyi bir alt sınırın sağlanması için, Lagrange çarpanlarının düzeltilmesinde uygun alt eğitim metodun belirlenmesi çözüm algoritmasının performansını doğrudan etkileyen iki önemli konudur (Yan vd., 2002).

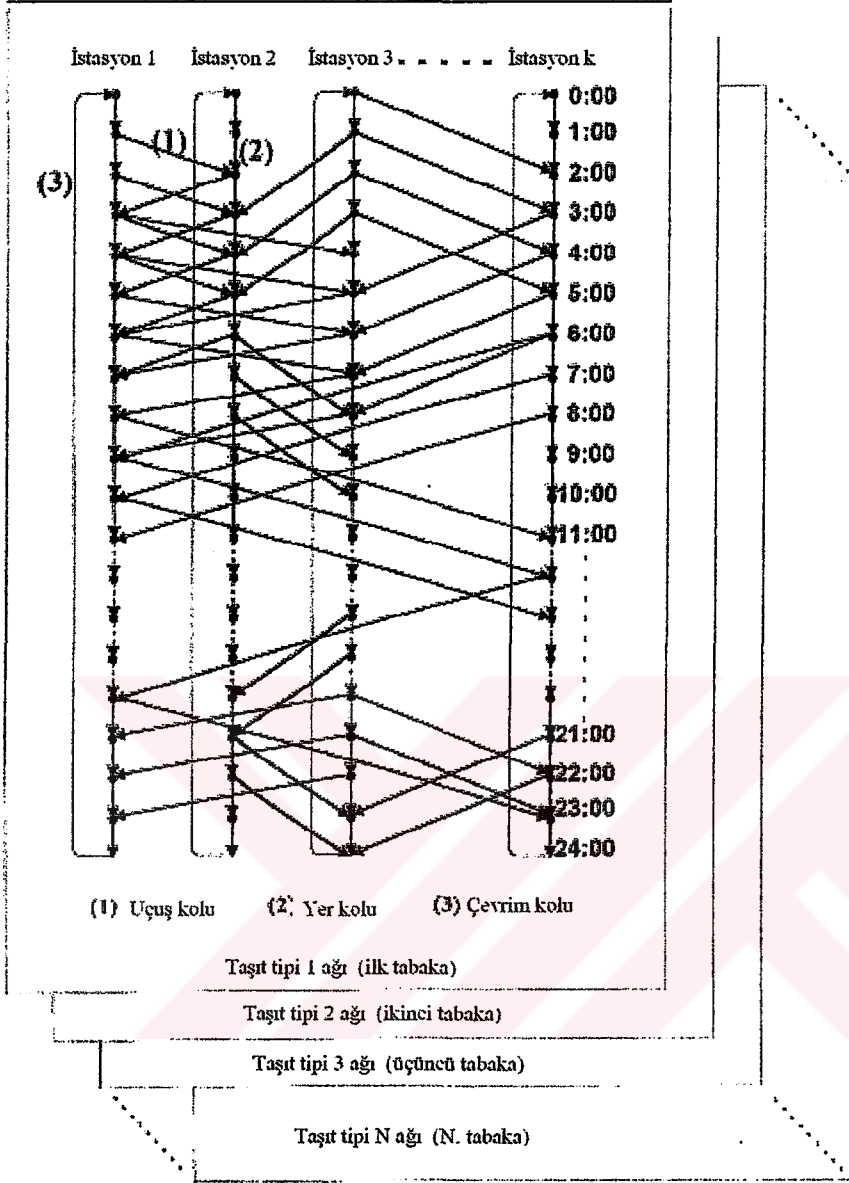
Yan ve Tseng (2002)'nin yapmış oldukları bahsedilen çalışmada, ilk olarak, modelin bir tam sayı çoklu türün ağ akış problemi gibi formüle edilmesi için “zaman aralıklı ağ” modelinin kullanılmasının ardından, önerilen modelin çözümü için bir çözüm algoritması geliştirilmiştir. Daha sonra da, modelin ve çözüm algoritmasının performansının değerlendirilmesi için Tayvan Havayolları'nda bir uygulama yapılmıştır. .

4.5.7.1 Modelleme Yaklaşımı

Nakliyecinin karını maksimize edebilmek için bir entegre filo rotalama ve uçuş çizelgeleme modelinin oluşturulmasında “zaman aralıklı ağ” tekniği kullanılmıştır. Bu model, doğrudan uçuşların, çoklu duruş uçuşlarının ve çoklu filoların sistematik manipülasyonu vasıtasıyla uçakların ve yolcuların ağdaki hareketlerinin optimal yönetimini talep etmektedir. Modellemedeki temel elemanlar şunlardır: Filo akış zaman aralıklı ağı, yolcu zaman aralıklı ağı ve matematiksel formülasyon.

Filo akış ağı

Çalışma, çoklu filo rotalama ve uçuş çizelgeleme probleminin formülasyonu için bir çok zaman aralıklı ağı benimsemiştir. Her bir ağ, bir özel uçak türünün, şekil 4.17'de gösterildiği gibi kesin zaman periyotları ve yer lokasyonları içindeki potansiyel hareketlerini göstermektedir. Yatay eksen havaalanı lokasyonlarını, dikey eksen zamanı temsil etmektedir. Döğümler ve kollar (arc) ağdaki iki temel parçadır. Bir kol uçuş ayağı, “yerde bekleme” ya da “gece duruşu” gibi bir aktiviteyi temsil ederken, bir döğüm, spesifik bir zamanda bir havaalanını belirtmektedir. Kolların üç çeşidi aşağıda tanımlanmıştır:



Şekil 4.17 Filo akış ağı (Yan vd., 2002)

Uçuş Ayağı Kolu: Bir uçuş ayağı kolu, iki farklı havaalanı arasındaki uçuşu temsil etmektedir. Karşılıklı havaalanlarındaki zaman slotları, müsait olduğu sürece tüm olası uçuş ayakları makul bir zaman bloğunda ağa yerleştirilmiştir. Her bir uçuş ayağı, hareket zamanı, hareket edilen havaalanı, varış zamanı, varılan havaalanı ve işlem maliyeti bilgilerini içerir. Bir uçuş ayağı için zaman bloğu, uçağın bu uçuş ayağı için hazır olduğu zaman ve bu uçuş ayağının bittiği zamandan hesaplanarak bulunur. Temel olarak bu zaman bloğu, hareket öncesi inceleme, yakıt alma, yolcu ve bagaj yüklemeleri ve havadaki uçuş süresini

kapsamaktadır. Uçuş maliyeti ağdaki kol maliyetidir. Kol akışının üst sınırı, uçuş ayağının en fazla bir servis yapılabileceği anlamına gelmektedir. Kol akışının alt sınırı ise sıfırdır ve bu uçuş ayağında bir uçağın servis yapmadığı anlamına gelir. Ek olarak, aynı havaalanındaki hareket araları nakliyeciler operasyonlarının gerekliliklerine göre ayarlanmalıdır.

Yer Kolu: Bir yer kolu, bir zaman penceresinde, bir uçağın havaalanındaki yer tuşunu veya gece duruşunu temsil eder. Kol maliyeti, havaalanı vergisi, havaalanı duruş bedeli, kapı kullanım bedeli ve diğer ilişkili maliyetlerden oluşmakta ve ilgili zaman penceresindeki bir uçağın bir havaalanındaki duruş giderlerini belirtmektedir. Kol akışının üst limiti, spesifik bir zaman penceresinde havaalanında bulunabilecek maksimum uçak sayısını temsil etmektedir. Kol akışının alt sınırı sıfırdır ve o zaman penceresinde havaalanında hiç uçak bulunmadığını gösterir.

Çevrim Kolu: Çevrim kolu, ardışık iki planlama periyodu arasındaki devamlılığı gösterir. Her bir havaalanı için bir periyodun bitişini ve sonraki periyodun başlangıcını bağlamaktadır. Kol akışının alt ve üst sınırları kol maliyetidir ve bu maliyet de yer kolu maliyetiyle aynıdır.

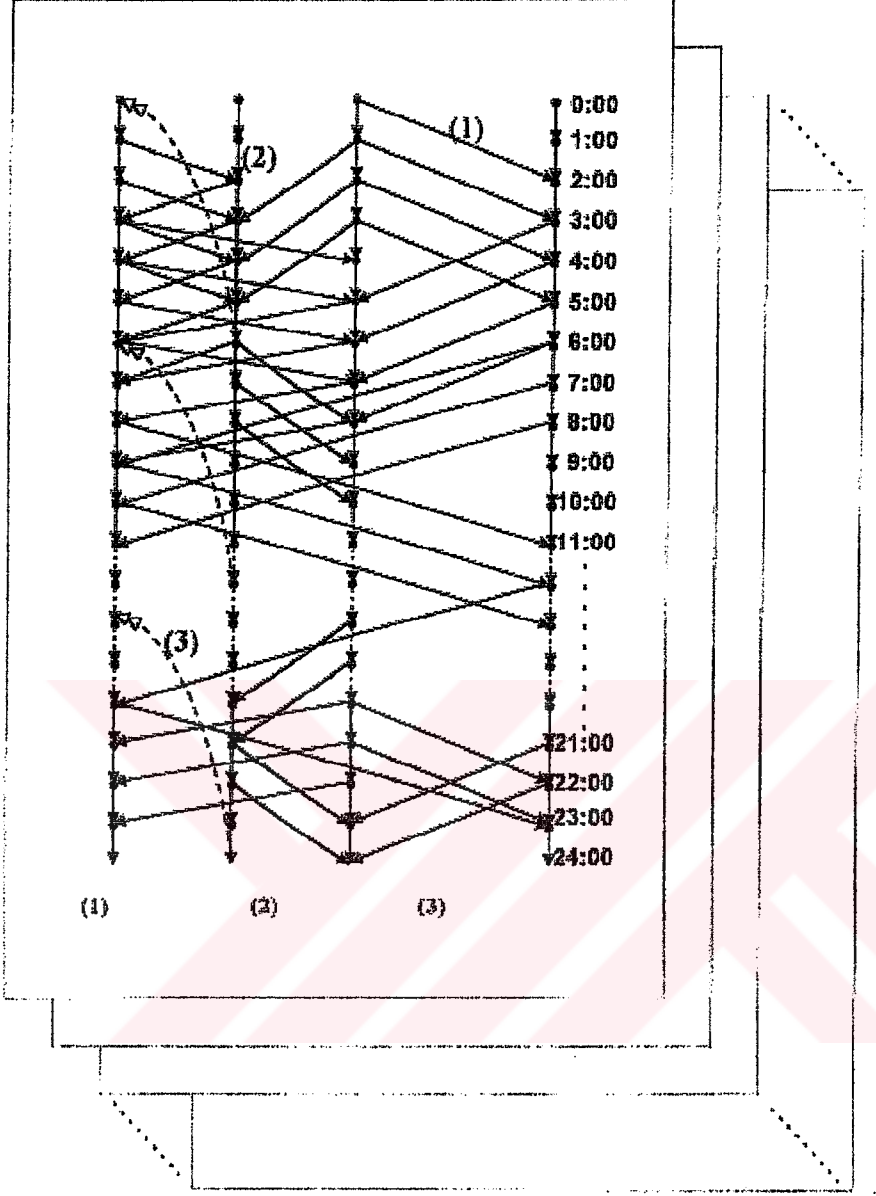
Yolcu akış ağı

Zaman aralıklı ağ tekniği, şekil 4.18'de olduğu gibi yolcu hareketlerinin zamanlar ve yerler olarak belirlenmesinde kullanılmıştır. Her bir yolcu akışı zaman aralıklı ağı, O-D tablosundaki (tahmini talep tablosu) spesifik bir OD çiftini temsil etmektedir. Bu ağlar, problem çözümünü kolaylaştırmak için filo akış zaman aralıklı ağına simetrik olacak şekilde tasarlanmalıdır. Yatay ve dikey eksen filo akış zaman aralıklı ağına olduğu gibidir. Bir düğüm yine spesifik bir zamanda bir havaalanını temsil etmektedir. Ancak kol, yolcu hareketini temsil eder. Kolun üç türü şekil 4.18'te tanımlanmıştır.

Teslimat Kolu: Teslimat kolu, yolcuların bir havaalanından diğerine taşınmasını temsil eder. Zaman bloğu filo akış zaman aralıklı ağındaki zaman bloğuyla aynıdır. Kol maliyeti, her bir yolcuya hizmet maliyetidir. Kol akışının üst sınırı uçak kapasitesidir. Kol akışının alt sınırı ise sıfırdır ve ilgili uçuşta aynı OD'den hiç yolcu taşınmadığını gösterir.

Tutuş Kolu: Tutuş kolu, bir zaman penceresinde yolcuların havaalanında beklemelerini temsil etmektedir. Bekleme maliyeti zaman penceresi için akış maliyetidir. Fakat, kol, bu ağın karşılıklı OD çiftinin varış ya da kalkış istasyonunu bağlamak için henüz oluşmuşsa kol maliyeti sıfırdır, Çünkü yolcu yoktur. Yine de, uygulamada kol maliyeti ayarlanabilir. Kol akışının üst limiti istasyonun belirli bir zaman aralığında yolcu hizmet kapasitesidir. Alt sınırı

ise sıfırdır ve belirli bir zaman aralığında havaalanında hiç yolcu bulunmadığını gösterir.



Şekil 4.18 Yolcu akış ağı (Yan vd., 2002)

Talep Kolu: Talep kolu, ağın aynı OD çifti için kalkış ve varış istasyonlarını bağlar. Talep kolu OD çifti için servis talebini göstermektedir. Kol maliyeti ortalama bilet ücretinin negatif değeridir. Kolun üst sınırı OD çifti için tahmini taleptir. Taşıyıcının karını en yükseklemek için, modelde, OD çifti için bütün yolcuların hizmet görmesi gerekli değildir. Kolun alt sınırı sıfırdır ve ağda OD çifti yolcularının hiç birinin hizmet görmediği anlamına gelir. Bir spesifik OD çifti için tahmini talep gerçek talebe, pazar karakteristiklerine ve nakliyecinin düşüncelerine göre bir kaç talep koluna bölünebilir. Örneğin, kollar, en yoğun saatlerde

abonman yolculuklarını içerecek şekilde bir OD çifti için daha yoğun tasarlanabilmektedir.. Buna karşın, yolcular zamana daha az duyarlıysa-serbest uçuşlar gibi kollar ağa daha seyrek olarak yüklenebilmektedir. Kollar için zaman aralıkları ayarlanabilir. Eğer model sonuçlarının orijinal talepleri etkilemesi bekleniyorsa, uygun sonuçlar elde edilinceye kadar girdiler değiştirilerek model yeniden çalıştırılabilir.

Model formülasyonunda kullanılacak sembol notasyonlarının listesi aşağıda verilmiştir.

m: m. filo

M: tüm filoların seti

n: n. OD çifti

N: tüm OD'lerin seti

Am: m. filo ağındaki tüm kolların seti

Bn: n. yolcu ağındaki tüm kolların seti

X_{ij}^m: m. filo ağındaki kol(i,j) akışı

Y_{ij}ⁿ: n. yolcu ağındaki kol(i,j) akışı

C_{ij}^m: m. filo ağındaki maliyet kolu(i,j)

T_{ij}ⁿ: n. yolcu ağındaki maliyet kolu(i,j)

NFm: m. filo ağındaki tüm düğümlerin seti

NPn: n.yolcu ağındaki tüm düğümlerin seti

CFm: m. filo ağındaki tüm çevrim kollarının seti

AFm: m. filo ağındaki uygun uçak sayısı

FF: tüm uçuş kollarının seti

S^a: a. istasyondaki uçuş kollarının seti

Q^a: a. istasyondaki onaylı uçuş kotası

SA: tüm istasyonların seti

K^m : m. filo ağının uçak kapasitesi

U_{ij}^m : m. filo ağındaki kol(i,j) akışının üst sınırı

U_{ij}^n : n. yolcu ağındaki kol(i,j) akışının üst sınırı

Formülasyon

Filo ve yolcu akış zaman aralıklı ağları temel alınarak model, bir tamsayı ağ akış problemi gibi formüle edilmiştir. Ağda ihtiyaç duyulan uçak sayısı her filo için uygun olan uçak sayısını geçmemelidir. Her uçuş, filo akış ağlarında en fazla bir sefer servis görmelidir. Bir spesifik havaalanındaki belirli bir periyot için uçuş birikimi, o havaalanının kotasını aşmamalıdır ve bir uçuşta taşınanın yolcuların sayısı asla ilgili uçağın kapasitesini geçmemelidir. Bundan dolayı, bu dört taraf kısıtı problem formülasyonu sırasında uygun bir şekilde tasarlanmalıdır.: Her bir filo akış ağındaki çevrim kol akışlarının toplamı, uygun uçakların toplamından büyük olmamalıdır. Aynı uçuşa karşılık gelen tüm kol akışlarının toplamı bire ya da sıfıra eşit olmalıdır. Her havaalanındaki uçuşların toplamı, (farklı filo akış ağlarından iç ve dış akışları içeren) havaalanının onaylanmış uçuş kotasından fazla olmamalıdır ve aynı uçuşa karşılık gelen sevkıyat kol akışlarının toplamı uçak kapasitesinden türetilen her bir uçuş kol akışlarının toplamından büyük olmamalıdır. Bu modelin amacı, minimum maliyetle, bütün ağlarda uçakların ve yolcuların eş zamanlı olarak akışını sağlamaktır (Yan vd., 2002).

Model, sistem maliyetini en küçükleme için bir tamsayı çoklu ürün ağ akış problemi gibi formüle edilmiştir. Kısıt (1) ve (2) her bir filo/yolcu ağındaki tüm düğümlerde akış konulacağını garanti etmektedir. Eşitsizlik (3), her bir filo ağında kullanılan uçak sayısının mevcut uçak sayısını geçmediğini ifade etmekte, kısıt (4) her bir uçuşun en fazla bir kez bir kez yapıldığını belirtmektedir. Kısıt (5) her istasyondaki tüm uçuşların toplamının onaylanan istasyon kotasını aşmadığını garanti ederken, kısıt (6) yolcu taşıma miktarını, uçağın taşıma kapasitesi içerisinde tutmaktadır. Kısıt (7) ve (8)'de kendi sınırları içerisinde kol akışlarını ele almaktadır. .Son olarak kısıt (9) ve (10), uçak/yolcu akışlarının ilişkilendirilmesini garanti etmektedir (Yan vd., 2002).

Minimum;

$$(0) \quad Z = \sum_{m \in M} \sum_{i \in Am} C_{ij}^m X_{ij}^m + \sum_{n \in N} \sum_{i \in Bn} T_{ij}^n Y_{ij}^n \quad (4.27)$$

$$(1) \quad \sum_{j \in NFm} X_{ij}^m - \sum_{k \in NFm} X_{ki}^m = 0, \quad \forall i \in NFm, \forall m \in M \quad (4.28)$$

$$(2) \quad \sum_{j \in NPn} Y_{ij}^n - \sum_{k \in NPn} Y_{ki}^n = 0, \quad \forall i \in NPn, \forall n \in N \quad (4.29)$$

$$(3) \quad \sum_{i \in CFm} X_{ij}^m \leq AFm, \quad \forall m \in M \quad (4.30)$$

$$(4) \quad \sum_{m \in M} X_{ij}^m \leq 1, \quad \forall ij \in FF \quad (4.31)$$

$$(5) \quad \sum_{m \in M} \sum_{i \in SA} X_{ij}^m \leq Q^i, \quad \forall a \in SA \quad (4.32)$$

$$(6) \quad \sum_{n \in N} Y_{ij}^n \leq \sum_{m \in M} K^m X_{ij}^m, \quad \forall ij \in FF \quad (4.33)$$

$$(7) \quad 0 \leq X_{ij}^m \leq U_{ij}^m, \quad \forall ij \in Am, \forall m \in M \quad (4.34)$$

$$(8) \quad 0 \leq Y_{ij}^n \leq U_{ij}^n, \quad \forall ij \in Bn, \forall n \in N \quad (4.35)$$

$$(9) \quad X_{ij}^m \in \quad \quad \quad \forall ij \in Am, \forall m \in M \quad (4.36)$$

$$(10) \quad Y_{ij}^n \in \quad \quad \quad \forall ij \in Bn, \forall n \in N. \quad (4.37)$$

Çözüm Algoritması

Bu örnekte de önerilen tamsayı çoklu ürün ağ akış probleminin çözümü için “Lagrange Çarpanı” ve alt eğim metodu benimsenmiştir. Çözüm prosesi ilk olarak Lagrange problemini oluşturabilmek için, taraf kısıtları yumuşatılır ve sonra onu optimal çözümün alt sınırını üretmek için çözmektedir. İkinci olarak, bir sezgisel metot bu araştırmaya sırasında geliştirilmiştir ve optimal çözümün üst sınırını çözmek için uygulanmıştır. Sonra, Lagrange çarpanlarını revize eden bir özel alt eğim metodu, yakınsayan sonuçlar kabul edilebilir oluncaya ya da iterasyon sayısı önceden belirlenmiş sayıya geçinceye kadar üst ve alt sınırları itere etmek için kullanılmıştır (Yan vd., 2002).

Vaka çalışması, 1996 yılı süresince Tayvan Havayolları'nın önemli yerel operasyonlarından elde edilen verilere dayandırılarak yapılmıştır. Yerel operasyonlar sırasında 11 şehre günlük 170 uçuşla hizmet verilmektedir. Üç çeşit uçak tipi kullanılmaktadır: Airbus 320s, Airbus

321s ve ATR 72s. Basitleştirme için tüm uçaklar 2 filoya kategorize edilmiştir: Filo A, 178 koltuk sayısı ortalamasıyla tüm Airbus uçaklarını (12 uçak) içermektedir. Filo B ise, 72 koltuk sayısı ortalamasıyla 12 adet ATR 72 uçağını içermektedir. Filo akış ve yolcu akış zaman aralıklı ağlarındaki tüm maliyet parametreleri, makul basitleştirmelerle birlikte havayolu şirketi raporlarına ve yasal zorunluluklara göre belirlenmiştir. İterasyon limiti 1000 olarak belirlenmiş olup, maliyet, doğrudan operasyon maliyetidir. Firmanın 1996 yılı operasyon istatistiklerine göre günde 12800 yolcuya hizmet verilmektedir. Operasyon periyodu 1 gün olarak belirlenmiştir (Yan vd., 2002).

Bu örnekten elde edilen sonuçlar, filo akış zaman aralıklı ağlarının iki katmanını, yolcu akış zaman aralıklı ağlarının 34 katmanını, 9504 düğümü ve 25558 kolu içermektedir. Model, akış korunucunu garanti eden 9504 kısıt ve 903 taraf kısıtı olmak üzere toplam 10407 kısıttan oluşmaktadır.

Vaka çalışması, 11 havaalanı arasında günlük 12800 yolcuya hizmet veren toplam 24 uçaktan oluşan 2 farklı filoyu içermektedir.. Sonuçlar göstermektedir ki 12 filo A ve 5 filo B uçağıyla maksimum kar elde edilmektedir.

Test sonuçları göstermiştir ki model ve çözüm algoritması çizelgeleme operasyonları için kullanışlıdır. Amerikan Havayolları gibi diğer büyük havayolu şirketleri için model uygun modifikasyonlarla uygulanabilir. Büyük ölçekli problemlerin çözümünde yakınsama yetersiz kalırsa çözüm algoritması da modifiye edilebilir.

Sonuçlar göstermektedir ki, 12760 yolcunun %99'una hizmet verilmiş ve optimal olarak günde 108 uçuş gerçekleştirmek için 5 filo B uçağı ve 12 filo A uçağı gerekmektedir. Gerçek operasyonlardaki ortalama yük faktörünün sadece 0,5 olması nedeniyle gerçek operasyonlarda istenen uçuş sayısına kıyasla planlanan uçuş sayısı önemli ölçüde azaltılmıştır. Yolcu akış sonuçları göstermiştir ki, yolcuların %94'ü filo A tarafından ve sadece %6'sı filo B tarafından taşınmaktadır. Bu da filo A karlılığının filo B karlılığından daha fazla olduğunu göstermektedir (Yan vd., 2002).

Bu modelde, toplam yolcu fazlasından kaynaklanan gelir kaybının en küçüklenmesi ile, yolcuların toplam hoşnutsuzluk maliyetlerinin en küçüklenmesi, birbirleri ile çatıştırabilirler. Yani bazı yolcular, yolcu fazlasının azaltılması ve bütün yolcuların mutlaka bir rotaya atanması nedenleriyle, çok az hoşnut oldukları rotalara atanabilirler. Böyle bir durum, taşımacılığın yalnızca bir işletme tarafından gerçekleştirilmesi ile olasıdır. Yine rekabet ortamı dikkate alınmadığı için, yolcuların rota ücretlerine olan duyarlılıkları da

önemsenmemiştir. Bu modelin mevcut yapısı ile firmalar arası rekabetin olmadığı denizyolu yolcu taşımacılığına uygulanması olasıdır. Modelin en önemli ve değişik yanı, taşıt kapasitesinin sınırlı olarak ele alınması, ancak bu sınırın aşılabilir olmasıdır. Bu nedenle, bu tarzdaki problemlerde çözümü zorlaştıran taşıt kapasitesi kısıtları yoktur. Yani rotaya, dolayısı ile bir uçuş ağına, uçağın kapasitesini aşan yolcu ataması yapılabilmekte, ancak amaç fonksiyonu ile yolcu fazlası en küçüklenmektedir. Böylece gizli bir kısıtın varlığı söz konusudur.

4.5.8 Model 7

Dobson ve Lederer (1993), “Merkez ve Çubuk (Hub- and Spoke)” sisteminde hizmet veren bir havayolunun zaman çizelgesi ile birlikte, taşıt rotalaması ve çizelgelemesinin seçimini ele almışlardır. “Merkez ve çubuk” sistemi, bir merkez ve aralarında yolculuk talebi olan kentlerden oluşmaktadır. Bir yolculuğun başladığı kent ile bittiği (O-D) arasında, önce O’dan merkeze ve ardından merkezden D’ye olan, iki ayrı uçuşun yapılması gerekmektedir. Bir uçuş ise, kalkış yeri ile zamanı ve varış yeri ile zamanıyla karakterize edilmektedir. Rota, bir (O-D) çifti arasındaki uçuş çiftini; merkez, bir aktarma noktasını göstermektedir.

Dubson ve Ledere’in sundukları algoritma, diğer havayollarının rotaları ve fiyatları belirli iken bir havayolunun karımı en büyükleyen uçuş kümesinin ve dolayısı ile çizelgesi ile taşıt rotası ve çizelgesinin bulunmasını sağlayan üç düzeyli bir algoritmadır. Algoritma sezgisel olduğu halde, optimal terimi kullanmaktadır. Bu terim, sezgisel ile elde edilen en iyiye karşılık gelmektedir.

Algoritmanın birinci düzeyinde, uçuş kümeleri oluşturulmaktadır. Başlangıç uçuş kümesi, bir gün eşit büyüklükteki parçalara bölünerek ve her bir periyot başlangıcında, her bir kentten merkeze ve aksi yönde uçak kaldırıldığı kabul edilerek oluşturulmaktadır. Uçakların her biri yalnızca belirli bir kent ve merkez arasındaki uçuşlara atanabilmektedir. Diğer uçuş kümelerinin her biri, başlangıç uçuş kümesinin bir alt kümesidir. Ve bu kümeden uçuş çifti ya da çiftleri çıkarılarak elde edilirler. Bir uçuş çiftinin çıkarılması, bu uçuş çiftine atanan taşıtın, merkezde ya da kentte boş olarak bekletilmesine neden olmaktadır. Kendisine atanan bütün uçuş çiftleri çıkarılan bir taşıt, otomatik olarak filodan çıkarılır.

Algoritmanın ikinci düzeyinde, bir uçuşlar kümesine göre, rotalar kümesi belirlenmektedir. Aktarmalı bir taşımacılık yapıldığından, yolcular merkezde bir süre zaman kaybedeceklerdir. Orijinden merkeze olan her bir uçuş için, merkezdeki en büyük gecikmeyi aşmayacak şekilde ve merkezden sona bir uçuş mevcut ise, bir rota oluşturulabilir demektir.

Üçüncü düzeyde, bir rotalar kümesindeki her bir rota fiyatı, havayolunun karını en büyükleyecek şekilde bulunmaktadır. Bu düzey için kullanılan modelin amaç fonksiyonu, havayolunun karını en büyükmektir. Havayolunun karı, yolculardan elde edilen gelir ile yatırım ve işletme maliyetlerinin farkıdır.

Yatırım ve işletme maliyetleri, eşzamanlı taşıt rotalaması ve çizelgelemesi ile belirlenirken, yolculardan elde edilen gelir ise, logit bir fonksiyondan oluşan bir model tarafından belirlenmektedir. Bu model göre, bir yolcunun bir rotaya olan talebi, bu rotayı kullanma maliyetinin (kullanımsızlığının) bir fonksiyonudur. Bu maliyet üç bileşene ayrılmaktadır. İlki, rotanın fiyatı, ikincisi rotanın süresi ile ilgili maliyet, üçüncüsü ise müşterinin yolculuğuna başlamak istediği zamandan farklı bir zamanda taşıt kaldırılması ile ortaya çıkan maliyettir.

Makalede verilen “merkez ve çubuk” sistemi, kesinlikle aktarmalı bir taşımacılık gerektirmektedir ve aktarmalar yalnızca merkezde yapılabilmektedir. Bu sistem, Amerika’da bazı havayolları tarafından uygulanmaktadır. Ancak otobüs taşımacılığı için bu sistemi uygulamak için öncelikle ağ yapısının uygun olması gerekmektedir. Belki büyük bir kent ve çevresinde yer alan küçük kentler arasında, bu sistem uygulanabilir. Böyle bir uygulamada, aktarma noktası olan büyük kent, aynı zamanda bir yolculuk başlangıcı ya da sonu olmak zorundadır. Dobson ve Ledere, bir başlangıç uçuşlar kümesinden uçuş çiftleri çıkararak havayolunun karının değişimini incelenmeyi tercih etmektedirler. Soumis ve arkadaşları ise uçuşlar kümesine ya yeni uçuşlar eklemekte ya da mevcut uçuşlardan bazılarının çıkartmaktadır. Belirli bir kümeden uçuş çıkartmanın daha sistematik olduğu söylenebilir.

Modele göre bir uçuş çifti çıkarıldığı zaman, bu uçuş çiftini gerçekleştiren taşıtın mutlaka boş olarak bekletildiğinin kabul edilmesi, gereğinden fazla taşıt kullanılmasına yol açabilir. Böyle bir kabul, büyük bir olasılıkla, çok sayıda uçuş kümesinin dikkate alınması sonucunda ortaya çıkan çok sayıdaki taşıt rotalama ve çizelgeleme problemlerinin çözülmesinden kaçınmak amacı ile yapılmıştır.

Genellikle bir ulaştırma modunda birbiri ile rekabet eden pek çok firma vardır. Sezgisel algoritmada bir havayolu ile ilgili kararların, başka havayollarının da bulunduğu bir ortamda alınması, algoritmanın üstün özelliklerinden birisidir.

4.5.9 Modellerin Değerlendirilmesi

Önceki alt bölümde incelenen modeller, kentiçi deniz taşımacılığında etkin bir rotalama ve çizelgeleme faaliyetinin yürütülebilmesi için geliştirilmesi düşünülen model çerçevesinde

düşünülmüştür. Problem türü ve yapısına göre belirlenen bazı karar değişkenleri ise şu şekilde sıralanabilir (Yardım, 2002);

- Talebin yapısı (sabit, elastik, sabit veya değişken yoğunlukta vb.)
- Maliyet bileşenleri (kullanıcı ve işletme açısından)
- Zamanın parasal değeri
- Taşıt takip aralıkları (veya sefer sıklıkları)
- Hat uzunluğu
- Hatlar arası mesafe
- Taşıma ücretleri
- Taşıt sayısı ve özellikleri
- Hatlar boyunca iskele sayısı ve aralıkları
- Hizmet verilecek bölgenin boyutları
- Taşıtların hat boyunca ticari hızları

Yine böyle bir modelin, bu taşımacılığın yapısını da dikkate alan aşağıdaki genel özelliklere sahip olması gerekmektedir:

- Yolcu tercihlerini dikkate alabilen bir yolcu ataması,
- Yapılacak taşıma karşılığında kar elde edilmesi,
- Gerçek yaşam koşullarının hesaba katılması için belirli ölçüde olasılıksallık,
- Çözüm kolaylığı,
- Çözümde esneklik,
- İnsan deneyiminin ve sezgisinin problemin çözüme katılabilmesi,
- Çözüm algoritmalarının bilimsel gelişmeler ile birlikte kısmen değiştirilebilme özelliği.

Bu çerçevede, deniz yolu ile taşımacılık göz önünde bulundurulduğunda, oluşturulan modelde, yolcu tercihleri ve talep üzerine geçmişte yapılan bilimsel bir çalışma olmadığı ve bu tez çalışması kapsamına girmediği için, mevcut taleplerin rasyonel belirlendiği varsayılmıştır. Çözüm, bir tamsayılı programlama modelinin bilgisayar çözümü olduğundan, esnek bir yapıya sahip olduğunu söylemek zordur. Ancak, yeni eklenen veya çıkarılan görevlerin modele eklenmesi ve çıkarılmasında herhangi bir zorluk yaşanmayacaktır. Bu çerçevede, yukarıda bahsedilen modeller incelendiğinde, model 6'nın sistem için uygun olduğu, yalnız bir firmanın taşımacılık yaptığı varsayımının geçerli olduğu görülmektedir. Ancak modelde, yolcuların zamansal istekleri göz önüne alınmaktadır.

Bununla birlikte, model 6 ve model 7, çok sayıda iterasyon yapılmasını gerekli kılmaktadır. Ayrıca, süreçte çok sayıda değişken yer almaktadır.

Model 1'de, tek depo olması ve bütün taşıtların buradan çıkarak hizmet vermesi dolayısı ile deniz yolu taşımacılığında kullanılabilirliği yoktur.

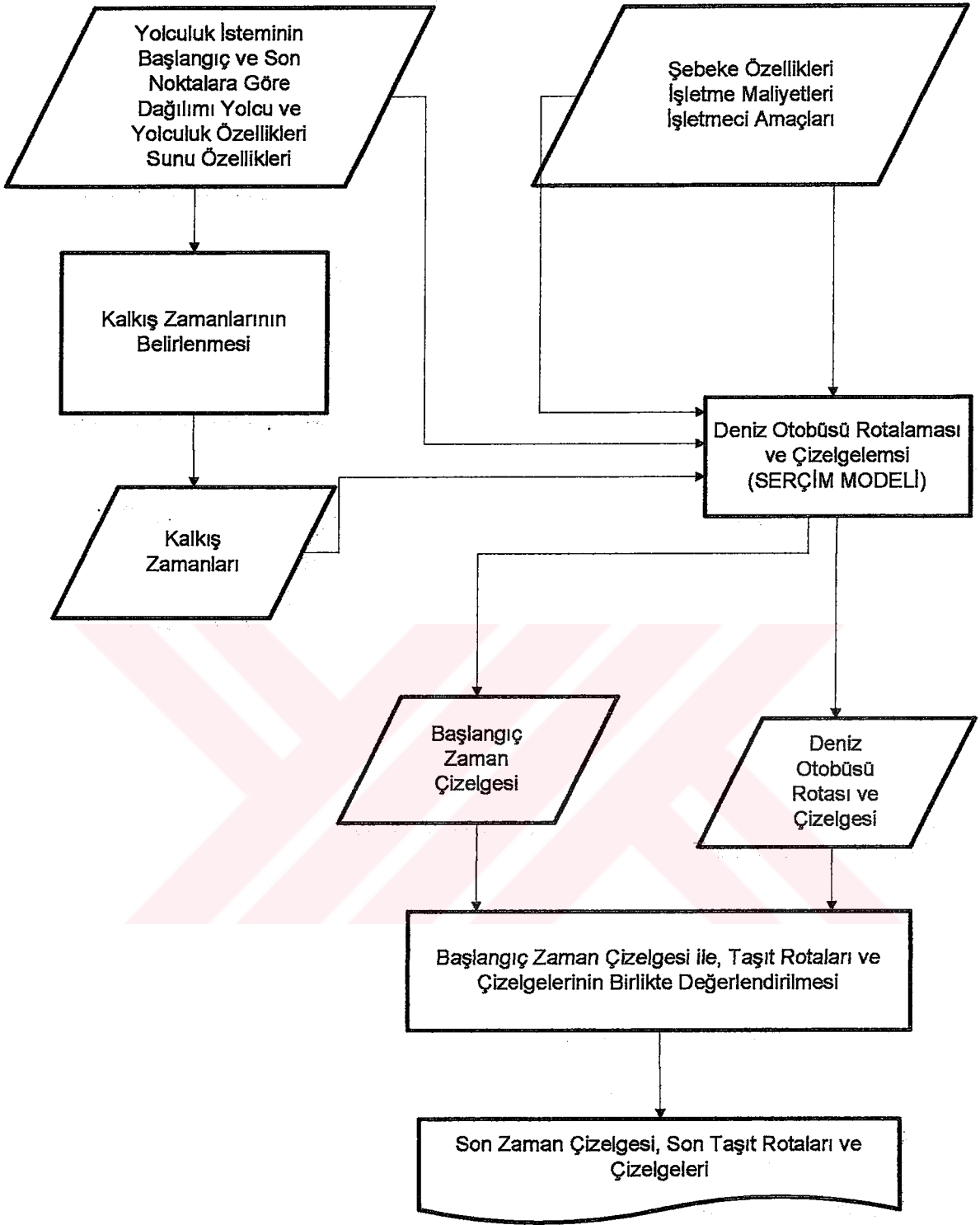
Model 5 ise, önce taşıtlara rotalar belirlemekte, daha sonra da buna uygun çizelgeleri oluşturmaktadır. Bu modelde, yolcu tercihlerinin pek dikkate alındığı söylenemez.

Yukarıda bahsedilen modellerden, gerçek sistemi-hayatı temsil edecek bir model kurmak gerçekten zordur. Sistemi tam olarak benzetmek için, kimi zaman farklı alanlarda uzun süren çalışmalar (yolcu taleplerini belirlemek, iskele sayısını belirlemek, OD talep çiftlerini belirlemek, inen-binen yolcu sayılarını tam olarak belirlemek ve potansiyel hatları ortaya çıkarmak amacıyla yapılabilecek pazarlama araştırmaları vb.) yapmak gerekmektedir. Bu suretle, geliştirilen model, bazı küçük değişiklikler yapılarak, her türdeki ulaşım alt sistemi ile yapılan yolcu taşımacılığı için kullanılabilir.

Modelin temel girdileri, şekil 4.19'de de görüldüğü gibi yolculuk istemin zamansal, mekansal ve niteliksel yapısı ile işletmelerin zaman çizelgeleri ile birlikte ücret ve hız gibi sunu özellikleri, seyir süreleri ve ilgili maliyetler vb.dir.

Model şu şekilde tanımlanabilir. İlk etapta, yolculuk isteminin başlangıç ve son noktalara göre dağılımı belirlenmelidir. bu verilere ulaşmak gerçekten uzun süren çalışmalar gerektirmektedir. Bu nedenle oluşturulan model, mevcut yolcu istemlerinin rasyonel ve bilimsel olduğu varsayımı ile kurulmuştur. Buna bağlı olarak oluşturulan kalkış zamanları, zaman çizelgelerinin oluşturulması ile, sunu ve şebeke özellikleri, işletme amaçları ve maliyetleri, rotalama ve çizelgelemenin oluşturulması için, en düşük maliyetli taşıt rotalarının, çizelgelerini ve gereken en az taşıt sayısını araştıran RS-SERÇİM modeline iletilmektedir.

RS-SERÇİM modeli, kentiçi denizyolu taşımacılığında deniz otobüslerinin en uygun rotalarının belirlenmesi ve çizelgelerinin oluşturulması amacıyla geliştirilmiş bir modeldir. Modelin yapısı bölüm 4.5.4'te verilmiştir. Modelin temel girdilerinden sefere başlama ve varış zamanları ile yerleri, taşıt rotalama ve çizelgeleme faaliyetlerinin eşzamanlı olarak gerçekleştirilmesi gereğidir. Diğer bir temel girdi de, her bir deniz otobüsünün belirli bir zaman dilimi içerisinde yapacağı görevleri, ardışık olarak tekrarlayabilmesi gereğidir. Yani deniz otobüsünün bir çevrim zamanı vardır. Bir önceki bölümde anlatılan modellerden 1, 2 ve 4 numaralı modellerde rota süreleri sınırlandırılmamıştır.



Şekil 4.19 Oluşturulan model ve etkileşimler

RS-SERÇİM modelinde, belirli bir zaman dilimi için verilen görevlerin, ardışık zaman diliminde yeniden aynı taşıtlar tarafından tekrarlanması sağlanmakta, dolayısı ile en büyük rota süresinden (τ_{max}) daha uzun süreli taşıt rotalarına izin verilmemektedir. Ağdaki düğümler kümesi, görevler kümesine karşılık gelmektedir. Kollar kümesi ise, (A_1) ileri kollar kümesi ve

(A₂) geri kollar kümesinin birleşiminden oluşmaktadır. Bu kolların nasıl oluşturulduğu modelde 3'te izah edilmiştir. Bu kollara ek olarak bu modelde, (A₃) düğüm kolları kümesi tanımlanmaktadır. Eğer ilk zaman aralığı (T₁) ile, ardışık zaman aralığı (T₂) ile gösterilecek olursa;

- Bir (i,j) ileri kolu için, $i \neq j$ 'dir ve her iki görev (T₁) zaman aralığına aittir.
- Bir (i,j) geri kolu için, $i \neq j$ 'dir ve i görevi (T₁) zaman aralığına, j görevi (T₂) aralığına aittir.
- Bir (i,j) düğüm kolu için, $i=j$ 'dir ve her iki görev (T₁) aralığına aittir (Düğüm sayısı kadar düğüm kolu mevcuttur).

RS-SERÇİM modeli bir döngü problemi olarak formüle edilmiştir. her bir kol maliyeti, taşıtın boşuna beklemesi ve seyri ile ilgili olduğundan, amaç fonksiyonu bu kolların maliyetlerinin toplamının en küçüklemektir. Model formülasyonu ve ilgili açıklamalar bölüm 4.5.4'te ayrıntılı olarak verilmiştir. Modelde, her bir taşıtın rota süresi, en büyük rotasyon süresini (τ_{max}) kesinlikle aşmamaktadır.

Modelin çözümü ile ilgili ayrıntılı bilgi, uygulama bölümünde verilecektir.

5. UYGULAMA

5.1 Firma Tanıtımı

İDO AŞ. (İstanbul Deniz Otobüsleri Sanayi ve Ticaret A.Ş.)

İDO 1987 ve 1988 yıllarında Norveç'ten satın alınan 449 yolcu kapasiteli 10 adet deniz otobüsü ile hizmete başlamıştır. Bugün toplam 22 deniz otobüsü ile hizmet veren İDO, halen filosunda 6 adet hızlı feribot ve 22 adet deniz otobüsü olmak üzere toplam 28 adet gemi ile hizmet vermektedir.

Kısa adı İDO olan İstanbul Deniz Otobüsleri Sanayi ve Ticaret A.Ş. ise, İstanbul'un deniz ulaşımına ve trafik sorununun çözümüne katkıda bulunmak amacıyla İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı tarafından 1987 yılında kurulmuştur. Etrafı denizlerle çevrili İstanbul'da deniz yolu ile yapılan yolculuklar önemli bir ulaşım alternatifi teşkil etmektedir. Trafiğin gün geçtikçe biraz daha keşmekeşe dönüştüğü İstanbul'da henüz 18 senelik bir maziye sahip olan deniz otobüslerinden her geçen gün daha verimli bir biçimde yararlanılmaktadır. Gelecekte çoğaltılacak hatlar ile ulaşım konforu ve hızı ise İstanbulluların deniz otobüslerine olan talebini daha da artıracığa beklentisi vardır. İDO, bu talep doğrultusunda maliyetleri İstanbullulara ucuz yolculuk imkânı da sağlamayı hedeflemektedir. Kapasite kullanımının her geçen gün artması, fiyatların deniz yollarındaki diğer alternatifler seviyesine düşmesi doğrultusundaki ümitleri de güçlendirmektedir.

Bugün 40 trilyon TL'lık sermayeye sahip olan şirketin en büyük hissedarı %85.9'la İstanbul Büyükşehir Belediyesi'dir. Diğer hissedarlar ise %14 hisse ile İ.E.T.T Genel Müdürlüğü, %0.005 ile Hamidiye A.Ş., %0.001 ile İsbak A.Ş. ve %0.00445 ile İston A.Ş.'dir.

5.2 Giriş

İstanbul'un kronik trafik sorununu, denizin ulaşımındaki payını arttırarak çözümlenmeyi hedefleyen ve bu doğrultuda hız ve konforun birleştiği deniz otobüsleri ve hızlı feribot işletmeciliği ile iştigal eden İDO AŞ'de “hat ve fiyat optimizasyonu” çalışmalarının başlatılmasını düşünmektedir. Tez çalışması bu amaç doğrultusunda yürütülmüştür. .

Bu bölümde, İstanbul Boğaz Hattı'nda taşımacılık yapan İDO A.Ş'nin maliyetlerini en küçükleyen seferler ile deniz otobüsü rotaları ve çizelgeleri araştırılacaktır. İDO AŞ tarafından ortaya konan çalışma amacı, “mevcut ve yeni açılacak hatların ve bu hatlarda uygulanacak sefer ve ücret tarifelerinin, bilimsel metotlar ışığında incelenerek, karar vericiler için sağlıklı bir platform oluşturulmasıdır” olarak tanımlanmıştır. Bu amaçla, bir önceki bölümde anlatılan modellerden RS-SERÇİM modeli ile modellenen (tamsayılı programlama) sistem, LINGO 8.0 programı yardımı ile çözülecektir. Modelin çözümünden elde edilecek sonuç, mevcut deniz otobüslerinin en düşük maliyetli yeni rotalarının ne olması gerektiğini ve en az kaç adet deniz otobüsü ile mevcut talebin karşılanabileceğini ortaya koymaktadır.

Modelin temel verileri ve girdileri şunlardır:

- İDO AŞ'nin de her işletme gibi temel amacı kar elde etmektir. Bu nedenle firma maliyetlerini en küçüklemek istemektedir.
- Deniz otobüsleri 06.25 – 21.55 saatleri arasında faaliyet göstermektedirler.
- Mevcut durumda elde bulunan deniz otobüsü sayısı ve özellikleri çizelge 5.1'de verilmiştir. Bu çizelgeye göre İDO AŞ'ye ait boğaz hattında faaliyet gösteren 17 deniz otobüsü rotası incelenmiştir.
- 19 iskele (düğüm) arasında, deniz otobüsleri seyahat etmektedirler. Bu iskeleler; Yenikapı, Kartal, Bostancı, Kadıköy, Bakırköy, Kabataş, Karaköy, Eminönü, Beykoz, Üsküdar, Beşiktaş, İstinye, Sarıyer, Pendik, Avcılar, Büyükkada, Heybeliada, Burgazada ve Kınalıada'dır.
- Yolcuların, sefer seçiminde, yalnızca sefer ücretlerinden ve kalkış zamanlarından etkilendikleri varsayılmıştır.
- Deniz otobüslerinin saatlik boş bekleme, boş seyir ve yolculu seyir maliyetleri İDO AŞ yetkilileri tarafından belirlenen ve Şubat 2005 tarihi itibari ile geçerli olan rakamlardır. Saatlik boş seyir maliyeti hesaplanırken, sadece değişken maliyetler (yağ sarfiyatı, yakıt sarfiyatı vb.) hesaba katılmıştır. Sigorta giderleri, vergiler, bakım maliyetleri, ekonomik ömür ve diğer maliyetler göz önünde bulundurulmamıştır (Maliyet matrisinin boyutu çok büyük olduğundan bu çalışmaya konulamamıştır-260x260)

- Saatlik boş bekleme maliyeti, deniz otobüslerinin boşta beklerken saatte tüketmiş olduğu yakıt miktarı (15 lt/saat) ve yakıt maliyetinin (0,65 YTL) çarpımından elde edilmiştir. Bu rakam hesaplanırken, farklı deniz otobüslerinin ve dolayısı ile farklı miktarlarda yakıt tüketen deniz otobüslerinin varlığı dikkate alınarak, gemi sayıları ve faaliyet sıklıkları göz önünde bulundurulmuş ve ortalama bir yakıt tüketimi (15lt/saat) bulunmuştur. İlgili maliyet yaklaşık ortalama 10 YTL/saat'tir. Bir saatlik boşta seyir maliyeti ise yine ortalama bir yakıt tüketimi ile (365YTL/saat) bulunmuştur. Oluşturulan maliyet matrisinde, her bir koldan sonra gelen ilgili kolu yapma maliyeti, boşta bekleme ve boşta seyir maliyetleri göz önünde bulundurularak elde edilen maliyetlerdir.
- Deniz otobüsü hızı ortalama 29,27 mil/saat'tir.
- Deniz otobüsü kapasite hesabında, "Deniz otobüsleri, talebi karşılayabilecek yeterliliktedir" varsayımı kabul edilmiştir. Dolayısı ile bu modelde, önce taşıtlar rotalanıp, daha sonra ilgili rotalara, talepler göz önünde bulundurularak, uygun deniz otobüsü tipleri atanacaktır.
- Çizelge 5.2'de iskeleler arası zaman matrisi görülmektedir.
- Çizelge 5.3'de de iskeleler arası mesafe matrisi görülmektedir.

Modelin temel yapısı ve girdiler arası etkileşimler şekil 4.15'te verilmiştir.

5.3 Mevcut Durum

Mevcut durumda incelenen 17 deniz otobüsünün rotaları aşağıdaki çizelgelerde görülmektedir. Bu çizelgeler, İDO AŞ'de tamamen tecrübeler dayalı olarak hazırlanmaktadır ve bu çizelgelere "ordino" adı verilmektedir. İncelenen ordino, Eylül ayı için geçerli olan yaz tarifesine göre hazırlanmış ordinodur. Öğle saatlerinde deniz otobüslerinin önemli ölçüde atıl kaldıkları görülmektedir. Ayrıca bu bağlamda, deniz otobüslerinin günlük fiili çalışma zamanlarının ne kadarını çalışarak geçirdikleri de hesaplanmıştır. Mevcut ordino verilerinden yapılan hesaplamalara göre, örneğin, Temel Reis II adlı deniz otobüsü, belirlenen saatler arasında net 220 dk. yolcu taşımakta ve toplam çalışma zamanının % 29,3'ünde faaliyet göstermektedir. (Günlük çalışma saati ortalama 750 dk veya 12,5 saat kabul edilmiştir.) Aynı şekilde Çavlı Bey adlı deniz otobüsü de net 185 dk. çalışmakta ve toplam çalışma zamanının %24,7'sinde yolcu taşımaktadır. Ek 1'de boğaz hattında çalışan 17 adet deniz otobüsüne ait çizelge ve rotaları gösterilmektedir. Şekil 5.1'de ise, deniz otobüslerinin mevcut şebeke diyagramı görülmektedir.

Çizelge 5.1 İDO AŞ Boğaz hattında faaliyet gösteren deniz otobüsleri ve özellikleri

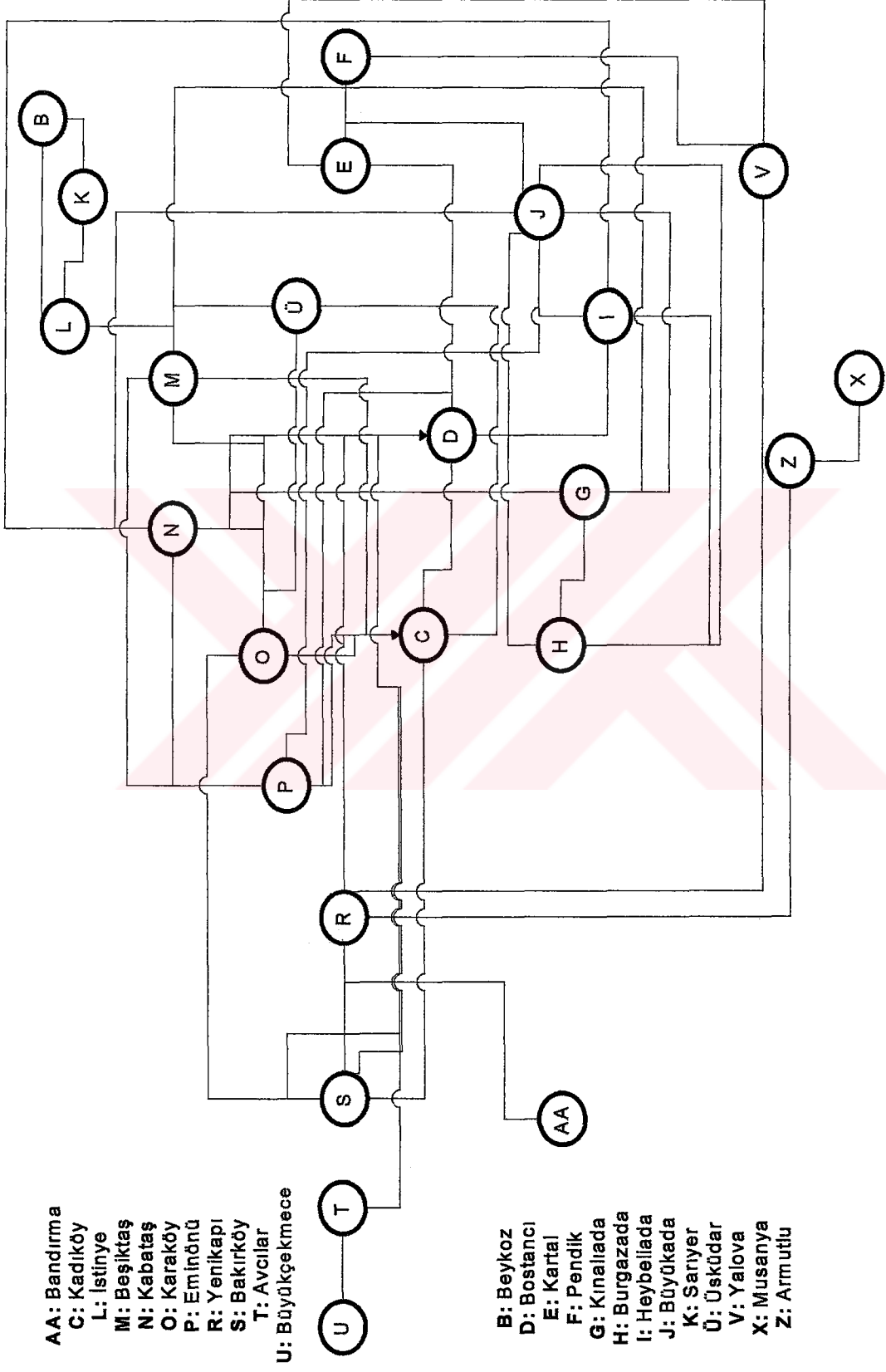
	GEMİ ADI	YOLCU KAPASİTESİ	SÜRAT (MİL)	YAKIT TÜKETİMİ (Lt/mil)	YAŞI
1	<i>Umur Bey</i>	449	30	22 Lt/mil	17
2	<i>Uluç Ali Reis</i>	449	32	22 Lt/mil	17
3	<i>Nüsret Bey</i>	449	32	22 Lt/mil	17
4	<i>Hezarfen Çelebi</i>	449	32	22 Lt/mil	17
5	<i>Çaka Bey I</i>	449	24	20 Lt/mil	17
6	<i>Yeditepe I</i>	449	26	20 Lt/mil	17
7	<i>Ulubatlı Hasan</i>	449	26	20 Lt/mil	17
8	<i>Karamürsel Bey</i>	449	26	20 Lt/mil	17
9	<i>Çavlı Bey</i>	449	24	20 Lt/mil	17
10	<i>Sinan Paşa</i>	450	30	30 Lt/mil	8
11	<i>Piyale Paşa</i>	450	30	30 Lt/mil	8
12	<i>Kaptan Paşa</i>	350	32	20 Lt/mil	7
13	<i>Seydi Ali Reis I</i>	350	32	20 Lt/mil	7
14	<i>Oruç Reis V</i>	350	32	20 Lt/mil	7
15	<i>Piri Reis II</i>	400	32	20 Lt/mil	7
16	<i>Temel Reis II</i>	400	32	20 Lt/mil	6
17	<i>Sokullu Mehmet P.</i>	400	32	20 Lt/mil	4

Çizelge 5.2 İskeleler arası zaman matrisi

Zaman (dk.)	Avcılar	Bakırköy	Beşiktaş	Beykoz	Bostancı	Burgazada	Büyükdada	Eminönü	Heybeliada	İstinye	Kabataş	Kadıköy	Karaköy	Kartal	K.ada	Pendik	Sarıyer	Üsküdar	Yenikapı
Avcılar	00:00	00:17	00:34	00:49	00:38	00:37	00:41	00:28	00:39	00:44	00:33	00:30	00:32	00:47	00:33	00:52	00:49	00:33	00:26
Bakırköy	00:17	00:00	00:16	00:32	00:21	00:22	00:26	00:15	00:25	00:28	00:16	00:12	00:17	00:32	00:19	00:37	00:35	00:15	00:10
Beşiktaş	00:33	00:16	00:00	00:17	00:19	00:19	00:23	00:04	00:22	00:12	00:02	00:06	00:04	00:30	00:17	00:36	00:20	00:02	00:15
Beykoz	00:49	00:32	00:16	00:00	00:34	00:37	00:43	00:20	00:40	00:04	00:18	00:22	00:19	00:48	00:35	00:53	00:06	00:16	00:32
Bostancı	00:38	00:19	00:19	00:34	00:21	00:13	00:10	00:17	00:11	00:29	00:16	00:10	00:16	00:14	00:13	00:19	00:37	00:16	00:15
Burgazada	00:37	00:22	00:19	00:37	00:13	00:06	00:06	00:18	00:05	00:32	00:19	00:16	00:20	00:12	00:10	00:17	00:41	00:19	00:19
Büyükdada	00:41	00:26	00:23	00:42	00:10	00:06	00:15	00:23	00:03	00:40	00:25	00:19	00:25	00:05	00:08	00:11	00:46	00:25	00:23
Eminönü	00:28	00:15	00:04	00:20	00:17	00:18	00:23	00:04	00:23	00:16	00:03	00:06	00:01	00:28	00:16	00:33	00:24	00:04	00:07
Heybeliada	00:38	00:25	00:22	00:40	00:11	00:05	00:03	00:23	00:30	00:35	00:22	00:18	00:22	00:08	00:07	00:13	00:44	00:23	00:21
İstinye	00:44	00:27	00:12	00:04	00:29	00:32	00:40	00:16	00:34	00:13	00:13	00:18	00:15	00:31	00:29	00:37	00:08	00:12	00:20
Kabataş	00:33	00:16	00:02	00:18	00:16	00:19	00:25	00:03	00:22	00:13	00:09	00:06	00:03	00:28	00:17	00:36	00:22	00:20	00:07
Kadıköy	00:30	00:12	00:06	00:22	00:10	00:16	00:19	00:06	00:18	00:18	00:06	00:06	00:06	00:24	00:12	00:30	00:26	00:06	00:07
Karaköy	00:32	00:17	00:04	00:19	00:16	00:20	00:25	00:01	00:22	00:15	00:03	00:06	00:06	00:29	00:16	00:35	00:23	00:04	00:07
Kartal	00:47	00:32	00:30	00:48	00:14	00:12	00:05	00:28	00:09	00:31	00:28	00:24	00:29	00:03	00:13	00:07	00:49	00:30	00:28
Kınalıada	00:33	00:19	00:16	00:35	00:13	00:10	00:08	00:16	00:07	00:29	00:17	00:12	00:16	00:13	00:08	00:19	00:37	00:18	00:15
Pendik	00:52	00:37	00:36	00:53	00:19	00:17	00:11	00:33	00:13	00:37	00:36	00:30	00:35	00:07	00:19	00:35	00:55	00:36	00:34
Sarıyer	00:49	00:35	00:35	00:06	00:37	00:41	00:46	00:24	00:44	00:08	00:22	00:26	00:23	00:48	00:37	00:55	00:34	00:20	00:34
Üsküdar	00:33	00:15	00:02	00:17	00:16	00:19	00:25	00:04	00:23	00:12	00:20	00:06	00:04	00:30	00:18	00:36	00:20	00:08	00:08
Yenikapı	00:26	00:09	00:15	00:32	00:15	00:19	00:23	00:07	00:21	00:29	00:07	00:07	00:07	00:28	00:15	00:34	00:34	00:08	00:08

Çizelge 5.3 İşkeleler arası mesafe matrisi

Mesafe (mil.)	Avcılar	Bakırköy	Beşiktaş	Beykoz	Bostancı	Burgazada	Büyükdada	Eminönü	Heybeliada	İstinye	Kabataş	Kadıköy	Karaköy	Kartal	K.ada	Pendik	Sarıyer	Üsküdar	Yenikapı
Avcılar	0	8.20	16.30	24.00	18.50	18.00	20.00	13.40	18.80	21.60	16.00	14.40	15.40	23.00	16.20	25.30	24.00	16.30	12.80
Bakırköy	8.20	0	7.80	15.80	10.32	10.60	12.85	7.20	12.00	13.40	7.60	6.00	8.33	15.40	9.20	18.20	17.00	7.50	4.60
Beşiktaş	16.30	7.80	0	8.00	9.00	9.00	11.40	2.10	10.60	5.60	0.70	3.10	1.90	14.60	8.50	17.40	9.50	0.80	7.10
Beykoz	24.00	15.80	8.00	0	16.50	18.10	20.70	9.70	19.50	1.90	8.70	10.60	9.40	23.30	17.00	26.00	2.90	8.00	15.00
Bostancı	18.50	10.32	9.00	16.50	0	6.04	4.93	8.10	5.20	14.10	7.88	5.10	7.90	6.95	6.50	9.10	18.10	7.80	7.10
Burgazada	18.00	10.60	9.00	18.10	6.04	0	2.80	8.70	2.20	15.70	9.45	7.60	9.50	5.80	4.90	8.40	19.80	9.00	9.20
Büyükdada	20.00	12.85	11.40	20.70	4.93	2.80	0	11.00	1.20	15.00	12.00	9.00	12.00	2.50	3.90	5.40	22.30	12.00	11.10
Eminönü	13.40	7.20	2.10	9.70	8.10	8.70	11.00	0	11.00	7.80	1.30	2.70	0.25	13.50	8.00	16.10	11.60	2.00	3.40
Heybeliada	18.80	12.00	10.60	19.50	5.20	2.20	1.20	11.00	0	16.80	10.55	8.80	10.80	4.20	3.40	6.20	21.20	11.30	10.30
İstinye	21.60	13.40	5.60	1.90	14.10	15.70	15.00	7.80	16.80	0	6.40	8.70	7.50	15.00	14.20	18.00	3.80	5.70	9.60
Kabataş	16.00	7.60	0.70	8.70	7.88	9.45	12.00	1.30	10.55	6.40	0	3.00	1.42	13.60	8.30	17.30	10.50	9.50	3.40
Kadıköy	14.40	6.00	3.10	10.60	5.10	7.60	9.00	2.70	8.80	8.70	3.00	0	2.70	11.90	5.90	14.70	12.50	2.90	3.20
Karaköy	15.40	8.33	1.90	9.40	7.90	9.50	12.00	0.25	10.80	7.50	1.42	2.70	0	14.00	7.80	17.30	11.30	1.80	3.20
Kartal	23.00	15.40	14.60	23.30	6.95	5.80	2.50	13.50	4.20	15.00	43.60	11.90	14.00	0	6.50	3.20	24.10	14.60	13.40
Kınalıada	16.20	9.20	8.50	17.00	6.50	4.90	3.90	8.00	3.40	14.20	8.30	5.90	7.80	6.50	0	9.10	18.00	8.50	7.40
Pendik	25.30	18.20	17.40	26.00	9.10	8.40	5.40	16.10	6.20	18.00	17.30	14.70	17.30	3.20	9.10	0	26.90	17.40	16.60
Sarıyer	24.00	17.00	9.50	2.90	18.10	19.80	22.30	11.60	21.20	3.80	10.50	12.50	11.30	24.10	18.00	26.90	0	9.60	16.60
Üsküdar	16.30	7.50	0.80	8.00	7.80	9.00	12.00	2.00	11.30	5.70	9.50	2.90	1.80	14.60	8.50	17.40	9.60	0	3.80
Yenikapı	12.80	4.60	7.10	15.00	7.10	9.20	11.10	3.40	18.30	9.60	3.40	3.20	3.20	13.40	7.40	16.60	16.60	3.80	0



Şekil 5.1 Mevcut durum şebeke yapısı

5.4 Model

Kurulan model, daha önce de değinildiği gibi RS-SERÇİM modelidir. Bu model, deniz taşımacılığı için bir taşıt rotalama ve çizelgelemesi modelidir. Modelin temel girdileri, seferler kümesi, mevcut deniz otobüsleri ve özellikleri ile ilgili maliyetlerdir.

5.4.1 Modelin Yapısı

Deniz taşımacılığı ile ilgili olarak taşıt rotalama ve çizelgeleme problemlerinin genel yapısı ile ilgili özellikler bölüm 4.4'te verilmiştir. Bu özelliklerden ikisi, oluşturulacak modelin yapısını önemli ölçüde etkileyen özelliklerdir. Birincisi, deniz otobüslerinin (seferlerin) kalkış ve varış zamanları ile iskelelerinin belirli olması nedeniyle, taşıt rotalamasının ve çizelgelemenin eşzamanlı olarak gerçekleştirilmesi gerekliliğidir. İkincisi ise, her bir deniz otobüsünün belirli bir zaman dilimi boyunca (bir gün) gerçekleştireceği görevleri, ardışık zaman dilimlerinde tekrarlayabilmesi, bir başka deyişle her bir taşıtın rota süresinin sınırlı olmasıdır.

Model, boшта bekleme ve boшта seyir maliyetleri göz önünde bulundurularak deniz otobüslerinin belirlenen 260 görevi minimum maliyet ile gerçekleştirecek şekilde tasarlanmıştır. Her bir görevden sonra gelmesi gereken görevleri belirleyen ve en uygun taşıt sayısını belirlemeyi amaçlayan model, taşıtların rota sürelerini sınırlayabilen ve eşzamanlı rotalama ve çizelgelemeyi gerçekleştirebilen bir modeldir.

Bölüm 4.5.4'de ifade edildiği gibi model, belirli bir zaman dilimi için verilen görevlerin, ardışık zaman diliminde yeniden aynı taşıtlar tarafından tekrarlanması sağlanmakta, dolayısı ile en büyük rota süresinden (τ_{maks}) daha uzun süreli taşıt rotalarına izin vermemektedir. Ağdaki düğümler kümesi, görevler kümesine karşılık gelmektedir. Kollar kümesi ise, (A_1) ileri kollar kümesi ve (A_2) geri kollar kümesinin birleşiminden oluşmaktadır. Bu kolların nasıl oluşturulduğu, model 3'te açıklanmıştır. RS-SERÇİM modelinde bu kollara ek olarak, (A_3) düğüm kolları kümesi tanımlanmaktadır. Eğer ilk zaman aralığı (T_1) ile, ardışık zaman aralığı (T_2) ile gösterilecek olursa;

- Bir (i, j) ileri kolu için, $i \neq j$ 'dir ve her iki görev (T_1) zaman aralığına aittir.
- Bir (i, j) ileri kolu için, $i \neq j$ 'dir ve (i) görevi (T_1) zaman aralığına, (j) görevi (T_2) zaman aralığına aittir.
- Bir (i, j) ileri kolu için, $i = j$ 'dir ve her iki görev (T_1) zaman aralığına aittir (Düğüm sayısı

kadar düğüm kolu mevcuttur).

Bu model, bir ağ sirkülasyon problemi olarak formüle edilmiştir. her bir kol maliyeti, taşıtın boşa beklemesi ve seyir ile ilgili olduğundan, amaç fonksiyonu bu kolların maliyetlerinin toplamını en küçükleyecek şekildedir. Modelin formülasyonu aşağıdaki gibidir.

$$Z_{\min} = \sum_{(i,j) \in A_1} c_{ij} x_{ij} + \sum_{(i,j) \in A_2} c_{ij} y_{ij} \quad (i=1,2,\dots,260, j=1,2,\dots,260) \quad (5.1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{(i,j) \in A_1} x_{ij} + \sum_{(i,j) \in A_2} y_{ij} - \sum_{(j,i) \in A_1} x_{ji} - \sum_{(j,i) \in A_2} y_{ji} = 0 \quad \text{tüm } j \in N \text{ için} \quad (5.2)$$

$$\sum_{(i,j) \in A_1} x_{ij} + \sum_{(i,j) \in A_2} y_{ij} = 1 \quad \text{tüm } j \in N \text{ için} \quad (5.3)$$

$$\sum_{(i,j) \in A_1 \cap C} x_{ij} + \sum_{(i,j) \in A_2 \cap C} y_{ij} \leq |C| - 1 \quad \text{tüm } |A_2 \cap C| \geq 2 \text{ olan } C \text{ döngüleri için} \quad (5.4)$$

$$0 \leq x_{ij} \leq 1 \quad \text{ve tamsayı, tüm } (i,j) \in A_1 \text{ için} \quad (5.5)$$

$$0 \leq y_{ij} \leq 1 \quad \text{ve tamsayı, tüm } (i,j) \in A_2 \text{ için} \quad (5.6)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } (i,j) \text{ kolu bir taşıt tarafından geçiliyorsa,} & (i,j) \in A_1 \text{ için,} \\ 0 & \text{aksi takdirde} & (i,j) \in A_1 \text{ için,} \end{cases}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } (i, j) \text{ kolu bir taşıt tarafından geçiliyorsa,} \\ 0 & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad \begin{array}{l} (i,j) \in A_2 \text{ için,} \\ (i,j) \in A_2 \text{ için,} \end{array}$$

Model 3'de her bir taşıtın rota süresi, en büyük rotasyon süresini (τ_{maks}) kesinlikle aşmamaktadır. RS-SERCİM modelinde iki yaklaşım dikkate alınmaktadır. Bunlardan ilki, taşıt rota süresinin, en büyük rotasyon süresinden küçük ya da eşittir. $(RS) \leq \tau_{maks}$ dır ve bu yaklaşıma **katı kısıtlı yaklaşım** adı verilebilir. İkincisinde ise, rotasyon süresinin belirli koşullar altında aşılmasına izin verilmektedir ve bu yaklaşıma da **gevşek kısıtlı yaklaşım** adı verilebilir. Yaklaşımların farklı olması formülasyonu değiştirmemekte, ancak çözümü ve çözüm sürecini önemli oranda etkilemektedir. İkinci yaklaşımın benimsenmesindeki temel neden, birinci yaklaşımın çözümünde ortaya çıkan zorluklardır (Erel, 1995).

5.4.2 Modelin Çözümü

Modelin değişkenleri tamsayı olduğu için, bu problemin de çözümü literatürde yer alan pek çok tamsayı problem gibi sonlu sayıdadır. Bu nedenle, optimum çözüm için bütün uygun çözümlerin gözden geçirilmesi ve bu çözümlerin en düşük maliyetli olanının seçilmesi gerekmektedir. Ancak, problemin boyutu büyüdükçe, görev sayısı arttıkça çözüm sayısı gözden geçirilemeyecek kadar büyük olabilmektedir. Bu tür büyük boyutlu problemler ve modeller için az sayıda çözümün gözden geçirilmesine ya da tek bir çözümü belirleyen tekniğe gereksinim duyulmaktadır. Bu tür problemlerin çözüm yollarından birisi dal-sınır algoritması kullanımıdır. Ancak bu teknik, küçük boyutlu problemlerin çözümünde rahatlıkla uygulanabilirken, büyük boyutlu problemlere uygulanması zorlaşmaktadır.

Bu modelin çözümünde, dal-sınır tekniğine göre optimum çözüme ulaşabilen LINGO programı kullanılmıştır. Çizelge 5.5'te mevcut durumda 17 deniz otobüsü ile gerçekleştirilen seferlerin, oluşturulan RS-SERCİM modelinin, LINGO programında toplam 516 iterasyonda çözüme ulaşılması ile elde edilen yeni rotalar görülmektedir. Yeni durumda deniz otobüsü adedinden az bir kazanç sağlanmış gibi görünse de, bir deniz otobüsünün maliyetinin ortalama 6 milyon dolar olduğu, yıllık vergi, sigorta ve personel giderleri göz önünde

bulundurulduğunda bu rakam, önemli bir kazanç olarak değerlendirilebilir. Ayrıca, bilimsel bir pazarlama araştırması yapılmak sureti ile müşteri taleplerinin (zaman ve yer) tam olarak belirlenmesi ve yeni çizelgeler oluşturulması, kullanılan deniz otobüsü sayısını da azaltacaktır. Mevcut durumda, aynı zamanda birden fazla sayıda deniz otobüsü gereksinimi olması (aynı zaman dilimi içerisinde farklı bölgelerde farklı yolcu talepleri), kullanılması gereken deniz otobüsü adedini arttırmaktadır. Yeni rotalarda kullanılan deniz otobüslerinin kullanım oranlarına bakıldığında ise, mevcut durumda ortalama kullanım oranının daha düşük olduğu görülmektedir (mevcut durumda ortalama kullanım oranı % 28,62 iken geliştirilen durumda ortalama kullanım oranı %33,81).

Geliştirilen modelin LINGO programı ile çözümü sonucu ortaya çıkan amaç fonksiyonu değeri 3566 YTL'dir (Bkz. Ek 2). Bu maliyetin içerisinde, bekleme ve boşta seyir maliyetleri yer almaktadır. Mevcut durumda ise toplam maliyet 4306 YTL'dir $[(7055 \text{ dk toplam bekleme}/60 \text{ dk}) * 10 \text{ YTL boşta bekleme maliyeti}] + [(512 \text{ dk boşta seyir} / 60 \text{ dk}) * 367 \text{ YTL}] = 4306 \text{ YTL}$. Bu durumda firmanın sadece mevcut rotaları değiştirmek sureti ile elde edeceği günlük net tasarruf miktarı 740,73 YTL'dir. Bu rakam ayda ortalama 17,777 YTL, yılda ise 213.324 YTL tasarruf anlamına gelmektedir.

Çizelge 5.4 Mevcut ve geliştirilen durum

	Toplam Deniz Otobüsü Sayısı (Adet)	Toplam Maliyet (YTL)	Ortalama Kullanım Oranları (%)
Mevcut Durum	17	4306	28,62
Geliştirilen Durum	16	3566	33,81

Çizelge 5.5 Geliştirilen durum deniz otobüsü rotaları

Deniz Otobüsü 1		
Görev No	Başlangıç Saati	Varış Saati
54	Bostancı(08:30)	Heybeliada(08:45)
70	Heybeliada(08:50)	Büyükada(08:55)
73	Büyükada(09:00)	Burgazada(09:05)
79	Burgazada(09:10)	Kınalıada(09:15)
83	Kınalıada(09:20)	Kabataş(09:45)
101	Kabataş(10:10)	Karaköy(10:15)
102	Karaköy(10:15)	Eminönü(10:20)
111	Kadıköy(10:35)	Bostancı(10:55)
120	Bostancı(12:30)	Kadıköy(12:50)
125	Kadıköy(13:30)	Eminönü(13:45)
149	Eminönü(16:35)	Kadıköy(16:50)
153	Kadıköy(16:50)	Bakırköy(17:10)
166	Bakırköy(17:30)	Kadıköy(17:50)
175	Kadıköy(17:50)	Bostancı(18:10)
201	Kabataş(18:30)	Karaköy(18:40)
*12	Bostancı(07:30)	Yenikapı(07:50)

Deniz Otobüsü 2		
Görev No	Başlangıç Saati	Varış Saati
1	Bostancı(06:25)	Kadıköy(06:45)
2	Kadıköy(06:45)	Yenikapı(06:55)
3	Yenikapı(06:55)	Bakırköy(07:15)
9	Bakırköy(07:20)	Kadıköy(07:40)
36	Kadıköy(08:05)	Eminönü(08:10)
45	Eminönü(08:15)	Beşiktaş(08:20)
52	Beşiktaş(08:25)	İstinye(08:40)
66	İstinye(08:45)	Sarıyer(08:55)
87	Sarıyer(09:30)	Beykoz(09:40)
92	Beykoz(09:45)	İstinye(09:50)
98	İstinye(09:55)	Beşiktaş(10:10)
105	Beşiktaş(10:15)	Karaköy(10:20)
107	Karaköy(10:25)	Eminönü(10:30)
110	Eminönü(10:35)	Kadıköy(10:45)
116	Kadıköy(11:50)	Bostancı(12:10)
119	Bostancı(12:30)	Kadıköy(12:45)
121	Kadıköy(12:50)	Bakırköy(13:10)
126	Bakırköy(13:30)	Kadıköy(13:45)
128	Kadıköy(13:50)	Bostancı(14:10)
132	Bostancı(15:00)	Kadıköy(15:20)
134	Kadıköy(15:20)	Bakırköy(15:40)

141	Bakırköy(16:00)	Kadıköy(16:15)
145	Kadıköy(16:20)	Yenikapı(16:25)
146	Yenikapı(16:30)	Bakırköy(16:45)
157	Bakırköy(17:00)	Kadıköy(17:20)
163	Kadıköy(17:20)	Bakırköy(17:40)
180	Bakırköy(18:00)	Yenikapı(18:20)
195	Yenikapı(18:20)	Bostancı(18:40)
206	Bostancı(18:40)	Bakırköy(19:10)
233	Bakırköy(19:25)	Avcılar(19:40)
*11	Avcılar(07:30)	Bakırköy(07:55)

Deniz Otobüsü 3		
Görev No	Başlangıç Saati	Varış Saati
4	Bostancı(07:00)	Kadıköy(07:20)
8	Kadıköy(07:20)	Bakırköy(07:40)
21	Bakırköy(07:45)	Kadıköy(08:05)
37	Kadıköy(08:05)	Bostancı(08:25)
55	Bostancı(08:30)	Bakırköy(09:00)
88	Bakırköy(09:30)	Kadıköy(09:50)
95	Kadıköy(09:50)	Bostancı(10:10)
109	Bostancı(10:30)	Kabataş(10:55)
113	Kabataş(11:00)	Karaköy(11:05)
152	Karaköy(16:50)	Eminönü(16:55)
160	Eminönü(17:15)	Kadıköy(17:30)
167	Kadıköy(17:30)	Eminönü(17:45)
184	Eminönü(18:05)	Kabataş(18:10)
188	Kabataş(18:15)	Karaköy(18:35)
208	Kınalıada(18:40)	Burgazada(18:45)
214	Burgazada(18:50)	Heybeliada(18:55)
217	Heybeliada(19:00)	Büyükada(19:05)
224	Büyükada(19:10)	Bostancı(19:35)
*17	Bostancı(07:35)	Heybeliada(07:50)

Deniz Otobüsü 4		
Görev No	Başlangıç Saati	Varış Saati
5	Bostancı(07:00)	Kadıköy(07:25)
14	Kadıköy(07:30)	Eminönü(07:45)
20	Eminönü(07:45)	Kadıköy(08:00)
47	Kadıköy(08:20)	Yenikapı(08:30)
53	Yenikapı(08:30)	Bakırköy(08:55)
76	Bakırköy(09:05)	Kadıköy(09:20)
84	Kadıköy(09:25)	Yenikapı(09:30)
86	Yenikapı(09:30)	Bostancı(09:55)
103	Bostancı(10:15)	Kadıköy(10:35)

185	Yenikapı(18:05)	Kadıköy(18:15)
194	Kadıköy(18:20)	Bakırköy(18:40)
220	Bostancı(19:00)	Kadıköy(19:20)
231	Kadıköy(19:20)	Bostancı(19:40)
242	Bostancı(19:45)	Kadıköy(20:05)
254	Kabataş(20:30)	Karaköy(20:40)
255	Karaköy(20:40)	Bostancı(21:10)
*10	Bostancı(07:20)	Heybeliada(07:35)

Deniz Otobüsü 5		
Görev No	Başlangıç Saati	Varış Saati
6	Bostancı(07:15)	Karaköy(07:35)
30	Bostancı(08:00)	Kadıköy(08:20)
58	Kadıköy(08:35)	Bostancı(08:55)
93	Bostancı(09:45)	Kadıköy(10:00)
99	Kadıköy(10:00)	Eminönü(10:15)
203	Beşiktaş(18:35)	Üsküdar(18:40)
216	Eminönü(18:55)	Bostancı(19:15)
237	Kabataş(19:30)	Karaköy(19:35)
240	Karaköy(19:40)	Bostancı(20:05)
*34	Bostancı(08:05)	Bakırköy(08:35)

Deniz Otobüsü 6		
Görev No	Başlangıç Saati	Varış Saati
10	Bostancı(07:20)	Heybeliada(07:35)
19	Heybeliada(07:40)	Büyükkada(07:45)
25	Büyükkada(07:50)	Kartal(08:00)
39	Kartal(08:10)	Büyükkada(08:20)
51	Büyükkada(08:25)	Heybeliada(08:30)
62	Heybeliada(08:35)	Bostancı(08:50)
82	Bostancı(09:15)	Kabataş(09:40)
94	Kabataş(09:45)	Karaköy(09:50)
97	Karaköy(09:55)	Eminönü(10:00)
104	Eminönü(10:15)	Kadıköy(10:25)
108	Kadıköy(10:25)	Eminönü(10:40)
123	Eminönü(13:00)	Kadıköy(13:25)
130	Kadıköy(14:50)	Bostancı(15:10)
142	Bostancı(16:00)	Kadıköy(16:35)
151	Kadıköy(16:40)	Eminönü(16:50)
156	Eminönü(17:00)	Bostancı(17:20)
164	Bostancı(17:20)	Heybeliada(17:35)
171	Heybeliada(17:40)	Büyükkada(17:45)
176	Büyükkada(17:50)	Kartal(18:00)
191	Kartal(18:15)	Büyükkada(18:25)

200	Büyükkada(18:30)	Heybeliada(18:35)
207	Heybeliada(18:40)	Bostancı(18:55)
229	Bostancı(19:15)	Kartal(19:35)
*18	Kartal(07:40)	Eminönü(07:45)

Deniz Otobüsü 7		
Görev No	Başlangıç Saati	Varış Saati
7	Pendik(07:15)	Kartal(07:25)
13	Kartal(07:30)	Bostancı(07:55)
40	Bostancı(08:15)	Kabataş(08:35)
65	Kabataş(08:40)	Karaköy(08:45)
67	Karaköy(08:50)	Bostancı(09:15)
189	Karaköy(18:15)	Bostancı(18:40)
222	Kadıköy(19:05)	Bakırköy(19:20)
235	Kartal(19:30)	Pendik(19:45)
*7	Pendik(07:15)	Kartal(07:25)

Deniz Otobüsü 8		
Görev No	Başlangıç Saati	Varış Saati
11	Avcılar(07:30)	Bakırköy(07:55)
31	Bakırköy(08:00)	Karaköy(08:20)
48	Karaköy(08:20)	Üsküdar(08:30)
57	Üsküdar(08:35)	Kadıköy(08:45)
68	Kadıköy(08:50)	Bakırköy(09:10)
80	Bakırköy(09:10)	Avcılar(09:35)
179	Avcılar(17:55)	Bakırköy(18:20)
202	Bakırköy(18:30)	Yenikapı(18:50)
213	Yenikapı(18:50)	Kadıköy(18:55)
226	Bostancı(19:10)	Kadıköy(19:30)
243	Kadıköy(19:45)	Üsküdar(19:50)
249	Kadıköy(20:05)	Bakırköy(20:25)
256	Bakırköy(20:45)	Kadıköy(21:05)
258	Kadıköy(21:05)	Bostancı(21:25)
*5	Bostancı(07:00)	Kadıköy(07:25)

Deniz Otobüsü 9		
Görev No	Başlangıç Saati	Varış Saati
12	Bostancı(07:30)	Yenikapı(07:50)
33	Yenikapı(08:00)	Bakırköy(08:10)
46	Bakırköy(08:15)	Avcılar(08:40)
69	Avcılar(08:50)	Bakırköy(09:15)
114	Bakırköy(11:30)	Kadıköy(11:45)
117	Kadıköy(11:50)	Yenikapı(12:00)
118	Yenikapı(12:00)	Bostancı(12:20)
122	Kadıköy(12:50)	Bostancı(13:10)
124	Bostancı(13:30)	Kadıköy(13:50)
127	Kadıköy(13:50)	Bostancı(14:10)
158	Bostancı(17:00)	Kadıköy(17:20)
177	Kadıköy(17:50)	Bakırköy(18:10)
199	Bakırköy(18:30)	Yenikapı(18:45)
215	Yenikapı(18:50)	Bostancı(19:10)
253	Bostancı(20:30)	Kadıköy(20:50)
257	Kadıköy(20:50)	Bakırköy(21:10)
259	Bakırköy(21:15)	Kadıköy(21:30)
260	Kadıköy(21:35)	Bostancı(21:55)
*4	Bostancı(07:00)	Kadıköy(07:20)

Deniz Otobüsü 10		
Görev No	Başlangıç Saati	Varış Saati
15	Beykoz(07:30)	Sarıyer(07:40)
27	Sarıyer(07:55)	Beykoz(08:10)
38	Beykoz(08:10)	İstinye(08:15)
42	İstinye(08:15)	Beşiktaş(08:30)
59	Beşiktaş(08:35)	Üsküdar(08:40)
64	Üsküdar(08:40)	Karaköy(08:50)
74	Kadıköy(09:00)	Karaköy(09:05)
78	Karaköy(09:10)	Bostancı(09:30)
106	Bostancı(10:20)	Kadıköy(10:40)
112	Kadıköy(10:40)	Bostancı(11:00)
115	Bostancı(11:30)	Kadıköy(11:45)
148	Bakırköy(16:30)	Kadıköy(16:50)
162	Kadıköy(17:20)	Bostancı(17:40)
181	Bostancı(18:00)	Kadıköy(18:20)
211	Karaköy(18:45)	Bakırköy(19:05)
230	Bakırköy(19:20)	Yenikapı(19:30)
238	Yenikapı(19:35)	Kadıköy(19:40)
243	Kadıköy(19:45)	Üsküdar(19:50)
*23	Kadıköy(07:45)	Yenikapı(07:55)

Deniz Otobüsü 11		
Görev No	Başlangıç Saati	Varış Saati
16	Sarıyer(07:30)	Beykoz(07:40)
22	Beykoz(07:45)	İstinye(07:50)
29	İstinye(07:55)	Beşiktaş(08:10)
43	Beşiktaş(08:15)	Karaköy(08:25)
56	Karaköy(08:30)	Kadıköy(08:35)
63	Kadıköy(08:40)	Eminönü(08:55)
96	Kabataş(09:50)	Eminönü(09:55)
138	Eminönü(15:45)	Kadıköy(16:00)
144	Kadıköy(16:20)	Bostancı(16:40)
168	Bostancı(17:30)	Kabataş(17:55)
182	Kabataş(18:00)	Karaköy(18:10)
198	Karaköy(18:25)	Üsküdar(18:30)
205	Üsküdar(18:35)	Beşiktaş(18:40)
209	Beşiktaş(18:45)	İstinye(19:00)
223	İstinye(19:05)	Beykoz(19:10)
227	Beykoz(19:10)	Sarıyer(19:25)
*16	Sarıyer(07:30)	Beykoz(07:40)

Deniz Otobüsü 12		
Görev No	Başlangıç Saati	Variş Saati
17	Bostancı(07:35)	Heybeliada(07:50)
26	Heybeliada(07:55)	Büyükada(08:00)
35	Büyükada(08:05)	Burgazada(08:10)
44	Burgazada(08:15)	Kınalıada(08:20)
50	Kınalıada(08:25)	Kabataş(08:50)
72	Kabataş(08:55)	Eminönü(09:00)
75	Eminönü(09:00)	Kadıköy(09:10)
81	Kadıköy(09:15)	Eminönü(09:30)
90	Eminönü(09:35)	Kadıköy(09:50)
100	Kadıköy(10:05)	Bakırköy(10:20)
135	Bakırköy(15:30)	Kadıköy(15:50)
140	Kadıköy(15:50)	Bostancı(16:10)
155	Bostancı(17:00)	Kabataş(17:25)
165	Kabataş(17:30)	Karaköy(17:40)
172	Karaköy(17:45)	Eminönü(17:50)
174	Eminönü(17:50)	Kadıköy(18:05)
187	Kadıköy(18:10)	Eminönü(18:25)
196	Eminönü(18:25)	Kadıköy(18:40)
219	Kadıköy(19:00)	Eminönü(19:10)
225	Eminönü(19:10)	Kınalıada(19:35)
241	Kınalıada(19:40)	Burgazada(19:45)
245	Burgazada(19:50)	Heybeliada(19:55)
247	Heybeliada(20:00)	Büyükada(20:05)
250	Büyükada(20:10)	Bostancı(20:20)
*54	Bostancı(08:30)	Heybeliada(08:45)

Deniz Otobüsü 13		
Görev No	Başlangıç Saati	Variş Saati
32	Bostancı(08:00)	Kabataş(08:20)
49	Kabataş(08:25)	Eminönü(08:30)
61	Eminönü(08:35)	Bostancı(09:00)
77	Bostancı(09:05)	Kadıköy(09:20)
85	Kadıköy(09:25)	Bostancı(09:40)
91	Bostancı(09:40)	Kabataş(10:00)
136	Kabataş(15:30)	Karaköy(15:40)
137	Karaköy(15:45)	Eminönü(15:50)
139	Eminönü(15:50)	Bostancı(16:10)
147	Bostancı(16:30)	Kadıköy(16:45)
154	Kadıköy(16:50)	Eminönü(17:05)
178	Eminönü(17:55)	Bostancı(18:15)
190	Bostancı(18:15)	Yenikapı(18:40)
236	Bakırköy(19:30)	Yenikapı(19:45)
244	Yenikapı(19:45)	Bostancı(20:10)
*1	Bostancı(06:25)	Kadıköy(06:45)

Deniz Otobüsü 14		
Görev No	Başlangıç Saati	Variş Saati
34	Bostancı(08:05)	Bakırköy(08:35)
128	Kadıköy(13:50)	Bostancı(14:10)
143	Kadıköy(16:10)	Eminönü(16:25)
150	Kabataş(16:40)	Karaköy(16:45)
159	Karaköy(17:05)	Beşiktaş(17:10)
161	Beşiktaş(17:15)	İstinye(17:30)
170	İstinye(17:35)	Beykoz(17:40)
173	Beykoz(17:45)	Sarıyer(17:50)
186	Sarıyer(18:05)	İstinye(18:10)
192	İstinye(18:15)	Beşiktaş(18:30)
218	Kabataş(19:00)	Eminönü(19:05)
221	Eminönü(19:05)	Kadıköy(19:20)
234	Kadıköy(19:30)	Bakırköy(19:50)
248	Bakırköy(20:00)	Yenikapı(20:15)
251	Yenikapı(20:20)	Kadıköy(20:25)
252	Kadıköy(20:25)	Bostancı(20:50)
*32	Bostancı(08:00)	Kabataş(08:20)

Deniz Otobüsü 15		
Görev No	Başlangıç Saati	Variş Saati
18	Kartal(07:40)	Eminönü(07:45)
24	Eminönü(07:50)	Bostancı(08:20)
60	Bostancı(08:35)	Kabataş(08:50)
71	Karaköy(08:55)	Eminönü(09:00)
89	Yenikapı(09:35)	Bakırköy(09:55)
131	Bakırköy(15:00)	Kadıköy(15:15)
133	Kadıköy(15:20)	Bostancı(15:40)
169	Bostancı(17:30)	Kadıköy(17:50)
183	Kadıköy(18:00)	Eminönü(18:10)
193	Eminönü(18:15)	Karaköy(18:20)
210	Karaköy(18:45)	Bostancı(19:05)
*6	Bostancı(07:15)	Karaköy(07:35)

Deniz Otobüsü 16		
Görev No	Başlangıç Saati	Variş Saati
23	Kadıköy(07:45)	Yenikapı(07:55)
28	Yenikapı(07:55)	Bakırköy(08:10)
41	Bakırköy(08:15)	Kadıköy(08:35)
197	Kabataş(18:25)	Eminönü(18:30)
204	Eminönü(18:35)	Karaköy(18:40)
212	Kadıköy(18:50)	Eminönü(19:05)
228	Eminönü(19:15)	Karaköy(19:20)
232	Karaköy(19:25)	Beşiktaş(19:30)
239	Beşiktaş(19:35)	İstinye(19:50)
246	İstinye(19:55)	Beykoz(20:00)
*15	Beykoz(07:30)	Sarıyer(07:40)

*: Geri kollar



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Taşımacılığın işletmeler için giderek artan bir maliyet kalemi haline gelmesi ve zamanında teslimatın değer kazanması, günümüz işletmelerinin, 60'li yılların sonundan itibaren lojistik bilimine önem vermelerini gerektirmiştir. Dağıtım alanından başlayan faaliyetler, daha sonra inbound lojistiğe sıçramış, rotalama ve çizelgeleme faaliyetleri de bu alanda önemli avantajlar ortaya koyan bir optimizasyon aracı olarak ortaya çıkmıştır. Gerek yolcu taşımacılığı, gerekse de yük taşımacılığında, en uygun filo büyüklüğünün ve taşıt tipinin belirlenmesi, kurulan modeller ve oluşturulan benzetim algoritmaları ile gerçekleştirilmiştir.

Bu algoritmalarda, her hangi bir taşıma sisteminin tasarımında ve filo büyüklüğü ve karışımının belirlenmesinde temel amaçlar genellikle, en yüksek kar, en düşük maliyet ve en az taşıt sayısıdır. Bunların yanı sıra doğrusal olmayan problemlerde, yukarıdaki amaçlara ek olarak ortaya çıkan yan hedefler ve öncelikler de bulunmaktadır.

Taşıt rotalama ve çizelgeleme konusunda yapılan çalışmaların pek çoğu, bir fabrikanın malının dağıtılması, çöp kamyonlarının rotalanması ve servis taşımacılığı gibi konular üzerinde yoğunlaşmıştır. Son yıllarda toplu taşımacılık ile ilgili olarak yapılan çalışmalar da kent içi ağırlıklıdır. Özellikle ülkemizde taşıt rotalama ve çizelgelemenin yeterli düzeyde ele alınmamış olması nedeni ile, taşıt rotalama ve çizelgeleme problemlerinin incelenmesine gerek duyulmuş ve bu problemler için, ulaştırmanın talep ve sunu alanları göz önünde bulundurularak yapısal bir çerçeve oluşturulmuştur. Araç rotalama konusunda, literatürde pek çok model bulunduğundan, bu çerçeve, sistemin nasıl olduğunu ve ne yönde ilerlemesi gerektiğinin belirlenmesi ve çalışmanın sistematik bir şekilde yürüyebilmesi açısından, son derece önemli bir analiz kolaylığı sağlamaktadır.

İstanbul kentiçi deniz taşımacılığında kullanılan taşıtların yolcu taşımacılığında etkin bir şekilde kullanılmadığı ve taşıt tiplerinin uygun olmadığı, pek çok kez dile getirilmiş ve halen de getirilmekte olan bir gerçektir. Bu alanda yapılması gereken, çok yüksek bir paya sahip olan karayolu yolcu taşımacılığının, bir an önce denizyolu taşımacılığına dönüştürülmesidir. Bunun için, denizyolu taşımacılığında müşterinin bütün çalışmaların yönlendiricisi olduğunu varsaymak ve değeri bu doğrultuda tanımlamak gerekmektedir. Bu doğrultuda yapılacak çalışmaların başında, potansiyel yolcu taleplerinin nerelerden ve hangi saatlerde olduğunun belirlenmesi gerekliliği vardır.

Amerika Uzak Doğu ve İskandinav ülkelerinde geniş bir çalışma sahası bulan deniz taşıtlarının rotalanması ve çizelgelenmesi konusu, üç tarafı denizlerle çevrili ülkemize halen uzak bir görünüm sergilemektedir. Marmara Bölgesi ve çevresinde yer alan yoğun yerleşim alanları olmasına karşın halen denizyolundan ve Marmara denizinden politik nedenler dolayısı ile halen rasyonel bir şekilde yararlanılamamaktadır. Denizyolu taşımacılığında bilimsel metotlar ışığında yapılmayan rotalama ve çizelgeleme faaliyetleri, bir yandan maliyetleri arttırırken, diğer yandan potansiyel talebi denizyoluna çekememektedir.

Bu çalışmada, İstanbul Boğaz Hattında faaliyet gösteren 17 deniz otobüsünün mevcut güzergahları ve çizelgeleri incelenmiş olup, rota ve çizelgelerin rasyonellikleri analiz edilmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Matematiksel olarak programlanan RS-SERÇİM modeli çözümü göstermiştir ki, mevcut durumda 17 deniz otobüsü ile gerçekleştirilen O-D talepleri, 16 deniz otobüsü ile de gerçekleştirilebilmektedir. Burada, her ne kadar 1 deniz otobüsü tasarruf edilmiş gibi görünse de, bu deniz otobüsüne ait vergi, sigorta, personel vb. giderler de göz önünde bulundurulduğunda, belirli bir oranda maliyet tasarrufu sağlayacağı söylenebilir. Buna ek olarak, O-D çiftlerinin bilimsel metotlar dahilinde belirlenmesi durumunda, çok daha az sayıda deniz otobüsü ve düşük maliyet ile yolcu talepleri karşılanabilecektir. .
- Deniz otobüsü filo büyüklüğüne ek olarak, mevcut durumda, bekleme ve boşta seyir maliyetlerinin, geliştirilen duruma oranla çok daha fazla olduğu (yaklaşık %20,75) ve yeni rota ve çizelgeler ile birlikte buradan elde edilecek yıllık tasarrufun 213,324 YTL olduğu da görülmektedir.
- Deniz otobüsleri kullanım oranlarına bakıldığında, geliştirilen durumda deniz otobüslerinin ortalama kullanım oranlarının mevcut duruma oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak bu oran, öğle saatlerinde deniz otobüslerinin kullanılmaması nedeni ile halen düşüktür.

Mevcut yolcu taleplerine bağlı olarak gerçekleştirilen bu çalışmada, deniz otobüsü tipleri ve kapasiteleri göz önünde bulundurulmamıştır. Rotaların belirlenmesinin ardından, her bir rota taleplerine bağlı olarak, ilgili rotalara yolcu taleplerini karşılayabilecek büyüklükte ve kapasitede deniz otobüsü atanması tasarlanmıştır. Ancak bu süreçte yaşanan sorunlardan birisi, herhangi bir iskeleden binen yolcunun, hangi iskelede ineceğinin belli olmamasıdır. Bu nedenle, her bir O-D çifti için belirlenmiş talep bilgisi bulunmamakta ve dolayısı ile uygun deniz otobüsü tipinin belirlenmesinde sorunlar yaşanmaktadır.

Bu tez çalışması sonucunda, çok daha ucuz ve hızlı bir deniz yolu taşımacılığı için yapılması gerekenler ve araştırma konusu olabilecek konular aşağıda belirtilmiştir.

- Yolcu taleplerinin tam olarak belirlenmesi (kimlerin hangi saatte nereden nereye gitmek istedikleri);
- Mevcut yolcu taşımacılığına ait verilerin çok iyi tutulması;
- Temel hedef müşteri profillerinin ve pazar kesiminin belirlenmesi;
- Şu an kullanımda olan deniz otobüslerinin boğaz taşımacılığı için fizibilite etütlerinin yapılması ve uygun deniz taşıtının (deniz taşıtı tipinin), mesafeler bazında belirlenmesi (Alkan vd. (1995) tarafından yapılan bir çalışma, şu an kullanılmakta olan deniz otobüslerinin, boğaz hattında kullanımının uygun olmadığı sonucunu ortaya koymaktadır);
- Sürecin stokastik olması dolayısı ile, benzetim modellerinin (senaryoların) oluşturulması, çok daha doğru sonuçlar verebilir. Bu yolla oluşturulacak modellerin esnekliğinden faydalanılarak, uygun O-D çiftleri elde edilebilir.
- Model oluşturulurken ortaya çıkan deniz otobüslerinin boşta bekleme maliyetlerinin, sadece değişken (yakıt) maliyetleri içermesi, bulunan sonuca etki eden temel değişkenlerden birisidir. Bu alanda, fırsat maliyetlerini de içeren bir model oluşturulabilir.
- Seyir maliyetleri, deniz otobüsü kapasiteleri, deniz otobüsü tipleri ve tamir-bakım faaliyetleri gibi kalemleri de içeren modellerin geliştirilmesi, ayrı birer araştırma konusu olabilir.

KAYNAKLAR

- Alkan, A.D., Yılmaz, H., Şahin, B., Çelik, A. (1996) "Toplu Taşımacılık İçerisinde Deniz Otobüslerinin Ekonomik Etüdü", Birinci Ulusal Ulaşım Sempozyumu, İstanbul..
- APK Araştırma Müdürlüğü, (1996) "Ulaşım Projesi", Araştırma Raporu, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul.
- Bak, O. A., (1999) "Denizcilik Sektöründe Risk Analizi ve Uluslar arası Güvenli Yönetim Kodu", İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimseli Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Ballou, R. H., (1998), "Business Logistics Management", Prentice Hall International Editions, Third Edition, Case Western Reserve University
- Bodin, (1983) "Routing and Scheduling of Vehicles and Crews" Operations Research, Vol. 10, No. 2, pp. 63-211.
- Bowersox, D. J., Closs D. J., (1996) "Logistical Management-The Integrated Supply Chain Process", McGraw-Hill Companies, Inc., New York.
- Ceder, A., and Gonen, D., (1980) "The Operational Planning Process of a Bus Company", UITP Revue, Vol.3, pp. 207-212.
- Chopra, S., Meindl, P., (2000) "Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation", Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- Christiansen, M., Fagerholt, K., Ronen, D., (2004) "Ship Routing and Scheduling: Status and Perspectives", Transportation Science, Vol:38, No:1, February, pp:1-18.
- Coyle, J. J., Bardi, E. J., Langley, C.J., (1996) "The Management of Business Logistics", Sixth Edition, West Publishing Company, MN.
- Desrosiers, J., Dumas, Y., Solomon, M.M., Soumis, F., (1993) "Time constrained Routing and Scheduling", Forthcoming in Handbooks in Operations Research and Management Science, Volume on Networks, North-Holland, Amsterdam.
- Erel, R., (1995) "Taşıt Rotalaması ve Çizelgelemesi: Otobüsle Kentlerarası Yolcu Taşımacılığı İçin Bir Model" Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Doktora Tezi, İstanbul.
- Eryavuz, M., (2001) "Araç Rotalama Problemi ve Örnek Bir Uygulama", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Gavish, B., et. al., (1978) "Assigning Buses to Schedules in a Meropolitan Area", Operation Research, Vol. 5, pp. 129-138.
- Haughton, M.A., (1998) "The Performance Of Route Modification And Demand Stabilization Strategies In Stochastic Vehicle Routing", Transportation Research, B.Vol. 32 No. 8 pp. 551-566.
- Hilkın, A.Ş., (2002) "Lojistik ve Ulaştırma Hizmetlerinde Optimal Stok Planlama Yönetimi", İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı Y. Lisans Tezi, İstanbul.

Karahan, A., (2003) "Tedarik Zinciri Yönetiminde Dağıtım Faaliyetlerinin Optimize Edilmesine Yönelik Bir Model Tasarımı", Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Kasilingam, R. G., (1998) "Logistics and Transportation Design and Planning", Kluwer Academic Publishers, Boston

Kocaoğlu, B., (2003) "Üçüncü Parti Lojistik Yönetim Sistemlerinde Dağıtım Planlaması Faaliyetleri ve Türkiye'deki Firmaların Uygulamada Karşılaştığı Sorunların Analizi", Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Muş, S., (1992) "Filo Planlaması" İstanbul Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Y. Lisans Tezi, İstanbul.

Ronen, (1983,2002) "Marine Inventory Routing:Shipments Planning." Op. Res. Soc. 53 108-114..

Steenbrink, A. P., (1974) "Optimization of Transport Networks", John Wiley & Sons, Bristol.

Taha, H., (2000) "Yöneylem Araştırması", Altıncı Basımdan Çeviri, Literatür Yayıncılık, İstanbul.

Teodorovi'c, D., (1988) "Airline Operations Research" Gordon and Breach Science Publishers, New York.

Toth, P., Vigo, D., (2002) "The Vehicle Routing Problem", Siam, Bologna

Tunçbilek, M., (2005) "Verimli Taşımacılık Yolu: Demiryolu", Lojistik Dergisi, sayı:4, sayfa:38-41. İstanbul.

Yan, S., Young, H.F., (1996) "A Decision Support Framework For Multi-Fleet Routing and Multi-Stop Flight Scheduling", Transportation Research, 30A: 379-398.

Yan, S., Tseng, C.H., (2002) "A Passenger Demand Model For Airline Flight Scheduling and Fleet Routing" Computers & Operations Research 29 (2002) 1559-1581.

Yan, S., Chen, H., (2002) "A Scheduling Model And A Solution Algorithm For Inter-City Bus Carriers", Transportation Research Part A36 pp. 805-825.

Yardım, M.S., (2002) "Kentiçi Ulaşımında Otobüsle Toplutaşıma İçin İşletmecilik Şeklinin Belirlenmesine Yönelik Bir Matematik Model", Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Doktora Tezi, İstanbul.

Zubieta, L., (1998) "A Network Equilibrium Model For Oligopolistic Competition In City Bus Services", Transportation Research – B. Vol. 32. No. 6 pp. 441-432.

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] www.ibb.gov.tr/istanbultr/360/kenteana.htm

[2] www.ido.com.tr

[3] www.iETT.gov.tr

EKLER**EK 1: Mevcut deniz otobüsü çizelge ve rotaları**

TEMEL REİS-II			
Kalkış Saati	Kalkış Yeri	Varış Yeri	Varış Saati
07:30	Beykoz	Sarıyer	07:40
07:55	Sarıyer	Beykoz	08:10
08:10	Beykoz	İstinye	08:15
08:15	İstinye	Beşiktaş	08:30
08:35	Beşiktaş	Üsküdar	08:40
08:40	Üsküdar	Karaköy	08:50
08:55	Karaköy	Eminönü	09:00
18:05	Yenikapı	Kabataş	18:25
18:25	Kabataş	Eminönü	18:30
18:35	Eminönü	Karaköy	18:40
18:45	Karaköy	Bakırköy	19:05
19:20	Bakırköy	Yenikapı	19:30
19:35	Yenikapı	Kadıköy	19:40
19:45	Kadıköy	Üsküdar	19:50
20:30	Kabataş	Karaköy	20:40
20:40	Karaköy	Bostancı	21:10

TOPLAM ÇALIŞMA SAATI

175 DAKİKA NET

KULLANIM ORANI (%)

23,33

ÇAVLI BEY

Kalkış Saati	Kalkış Yeri	Variş Yeri	Variş Saati
07:35	Bostancı	Heybeliada	07:50
07:55	Heybeliada	Büyükada	08:00
08:05	Büyükada	Burgazada	08:10
08:15	Burgazada	Kınalıada	08:20
08:25	Kınalıada	Kabataş	08:50
08:55	Kabataş	Eminönü	09:00
17:45	Yenikapı	Eminönü	17:55
18:05	Eminönü	Kabataş	18:10
18:15	Kabataş	Kınalıada	18:35
18:40	Kınalıada	Burgazada	18:45
18:50	Burgazada	Heybeliada	18:55
19:00	Heybeliada	Büyükada	19:05
19:10	Büyükada	Kabataş	19:35

ULUBATLI HASAN

Kalkış Saati	Kalkış Yeri	Variş Yeri	Variş Saati
08:30	Bostancı	Heybeliada	08:45
08:50	Heybeliada	Büyükada	08:55
09:00	Büyükada	Burgazada	09:05
09:10	Burgazada	Kınalıada	09:15
09:20	Kınalıada	Kabataş	09:45
09:50	Kabataş	Eminönü	09:55
19:00	Kabataş	Eminönü	19:05
19:10	Eminönü	Kınalıada	19:35
19:40	Kınalıada	Burgazada	19:45
19:50	Burgazada	Heybeliada	19:55
20:00	Heybeliada	Büyükada	20:05
20:10	Büyükada	Bostancı	20:20

TOPLAM ÇALIŞMA SAATI

135 DAKİKA NET

KULLANIM ORANI (%)

18

TOPLAM ÇALIŞMA SAATI

115 DAKİKA NET

KULLANIM ORANI (%)

15,33

KAPTAN PAŞA

Kalkış Saati	Kalkış Yeri	Varış Yeri	Varış Saati
06:25	Bostancı	Kadıköy	06:45
06:45	Kadıköy	Yenikapı	06:55
06:55	Yenikapı	Bakırköy	07:15
07:20	Bakırköy	Kadıköy	07:40
07:45	Kadıköy	Yenikapı	07:55
08:00	Yenikapı	Bakırköy	08:10
08:15	Bakırköy	Avcılar	08:40
08:50	Avcılar	Bakırköy	09:15
09:30	Bakırköy	Kadıköy	09:50
09:50	Kadıköy	Bostancı	10:10
10:30	Bostancı	Kabataş	10:55
11:00	Kabataş	Karaköy	11:05
15:30	Kabataş	Karaköy	15:40
15:45	Karaköy	Eminönü	15:50
15:50	Eminönü	Bostancı	16:10
17:00	Bostancı	Kabataş	17:25
17:30	Kabataş	Karaköy	17:40
17:45	Karaköy	Eminönü	17:50
17:55	Eminönü	Bostancı	18:15
18:40	Bostancı	Bakırköy	19:10
19:25	Bakırköy	Avcılar	19:40

**TOPLAM ÇALIŞMA
SAATI**

300 DAKİKA NET

KULLANIM ORANI (%)

40

PIRİ REİS II

Kalkış Saati	Kalkış Yeri	Varış Yeri	Varış Saati
07:00	Bostancı	Kadıköy	07:15
07:30	Kadıköy	Eminönü	07:45
07:45	Eminönü	Kadıköy	08:00
08:05	Kadıköy	Eminönü	08:15
08:15	Eminönü	Beşiktaş	08:20
08:25	Beşiktaş	İstinye	08:40
08:45	İstinye	Sarıyer	08:55
09:30	Sarıyer	Beykoz	09:40
09:45	Beykoz	İstinye	09:50
09:55	İstinye	Beşiktaş	10:10
10:15	Beşiktaş	Karaköy	10:20
10:25	Karaköy	Eminönü	10:30
10:35	Eminönü	Kadıköy	10:45
16:40	Kadıköy	Eminönü	16:50
16:55	Eminönü	Karaköy	17:00
17:05	Karaköy	Beşiktaş	17:10
17:15	Beşiktaş	İstinye	17:30
17:35	İstinye	Beykoz	17:40
17:45	Beykoz	Sarıyer	17:50
18:05	Sarıyer	İstinye	18:10
18:15	İstinye	Beşiktaş	18:30
18:35	Beşiktaş	Üsküdar	18:40
18:45	Üsküdar	Kadıköy	18:55
19:00	Kadıköy	Eminönü	19:10
19:15	Eminönü	Karaköy	19:20
19:25	Karaköy	Beşiktaş	19:30
19:35	Beşiktaş	İstinye	19:50
19:55	İstinye	Beykoz	20:00

**TOPLAM ÇALIŞMA
SAATI**

255DAKİKA NET

KULLANIM ORANI (%)

34

SINAN PAŞA

Kalkış Saati	Kalkış Yeri	Varış Yeri	Varış Saati
07:20	Bostancı	Heybeliada	07:35
07:40	Heybeliada	Büyükada	07:45
07:50	Büyükada	Kartal	08:00
08:10	Kartal	Büyükada	08:20
08:25	Büyükada	Heybeliada	08:30
08:35	Heybeliada	Bostancı	08:50
12:30	Bostancı	Yenikapı	12:50

UMUR BEY

Kalkış Saati	Kalkış Yeri	Varış Yeri	Varış Saati
15:00	Bostancı	Kadıköy	15:20
15:20	Kadıköy	Bakırköy	15:40
16:00	Bakırköy	Kadıköy	16:15
16:20	Kadıköy	Bostancı	16:40
17:20	Bostancı	Heybeliada	17:35
17:40	Heybeliada	Büyükada	17:45
17:50	Büyükada	Kartal	18:00
18:15	Kartal	Büyükada	18:25
18:30	Büyükada	Heybeliada	18:35
18:40	Heybeliada	Bostancı	18:55

TOPLAM ÇALIŞMA SAATI

80 DAKİKA NET

KULLANIM ORANI (%)

10,66

TOPLAM ÇALIŞMA SAATI

135 DAKİKA NET

KULLANIM ORANI (%)

18

SOKULLU MEHMET PAŞA

Kalkış Saati	Kalkış Yeri	Varış Yeri	Varış Saati
08:00	Bostancı	Kadıköy	08:20
08:20	Kadıköy	Yenikapı	08:30
08:30	Yenikapı	Bakırköy	08:55
16:30	Bakırköy	Kadıköy	16:50
18:00	Kadıköy	Eminönü	18:10
18:15	Eminönü	Karaköy	18:20
18:25	Karaköy	Üsküdar	18:30
18:35	Üsküdar	Beşiktaş	18:40
18:45	Beşiktaş	İstinye	19:00
19:05	İstinye	Beykoz	19:10
19:15	Beykoz	Sarıyer	19:25

TOPLAM ÇALIŞMA SAATI

130 DAKİKA NET

KULLANIM ORANI (%)

17,33

NUSRET BEY

Kalkış Saati	Kalkış Yeri	Varış Yeri	Varış Saati
07:00	Bostancı	Kadıköy	07:20
07:20	Kadıköy	Bakırköy	07:40
07:45	Bakırköy	Kadıköy	08:05
08:05	Kadıköy	Bostancı	08:25
08:35	Bostancı	Kabataş	08:50
09:00	Kabataş	Karaköy	09:05
09:10	Karaköy	Bostancı	09:30
09:45	Bostancı	Kadıköy	10:00
10:05	Kadıköy	Bakırköy	10:20
15:00	Bakırköy	Kadıköy	15:15
15:20	Kadıköy	Bostancı	15:40
18:15	Bostancı	Yenikapı	18:40

**TOPLAM ÇALIŞMA
SAATI**

210 DAKİKA NET

KULLANIM ORANI (%)

28

PİYALE PAŞA

Kalkış Saati	Kalkış Yeri	Varış Yeri	Varış Saati
08:05	Bostancı	Bakırköy	08:35
15:30	Bakırköy	Kadıköy	15:50
15:50	Kadıköy	Bostancı	16:10
17:30	Bostancı	Kadıköy	17:50
17:50	Kadıköy	Bakırköy	18:10
18:30	Bakırköy	Yenikapı	18:50
18:50	Yenikapı	Bostancı	19:10
19:45	Bostancı	Kadıköy	20:05
20:05	Kadıköy	Bakırköy	20:25
20:45	Bakırköy	Kadıköy	21:05
21:05	Kadıköy	Bostancı	21:25

**TOPLAM ÇALIŞMA
SAATI**

230 DAKİKA NET

KULLANIM ORANI (%)

30,7

ULUÇ ALİ REİS

Kalkış Saati	Kalkış Yeri	Varış Yeri	Varış Saati
09:30	Yenikapı	Bostancı	09:55
13:30	Bostancı	Kadıköy	13:50
13:50	Kadıköy	Bakırköy	14:10
14:30	Bakırköy	Kadıköy	14:45
14:50	Kadıköy	Bostancı	15:10
16:00	Bostancı	Kadıköy	16:15
16:20	Kadıköy	Yenikapı	16:25
16:30	Yenikapı	Bakırköy	16:45
17:00	Bakırköy	Kadıköy	17:20
17:20	Kadıköy	Bostancı	17:40
18:00	Bostancı	Kadıköy	18:20
18:20	Kadıköy	Bakırköy	18:40
19:00	Bakırköy	Kadıköy	19:20
19:20	Kadıköy	Bostancı	19:40

**TOPLAM ÇALIŞMA
SAATI**

255 DAKİKA NET

KULLANIM ORANI (%)

34

KARAMÜRSEL BEY

Kalkış Saati	Kalkış Yeri	Varış Yeri	Varış Saati
08:15	Bostancı	Kabataş	08:35
08:40	Kabataş	Karaköy	08:45
08:50	Karaköy	Bostancı	09:15
09:40	Bostancı	Kabataş	10:00
10:10	Kabataş	Karaköy	10:15
10:15	Karaköy	Eminönü	10:20
18:30	Kabataş	Karaköy	18:40
18:45	Karaköy	Bostancı	19:15

**TOPLAM ÇALIŞMA
SAATI**

120 DAKİKA NET

KULLANIM ORANI (%)

16

ORUÇ REİS-V

Kalkış Saati	Kalkış Yeri	Varış Yeri	Varış Saati
07:30	Sarıyer	Beykoz	07:40
07:45	Beykoz	İstinye	07:50
07:55	İstinye	Beşiktaş	08:10
08:15	Beşiktaş	Karaköy	08:25
08:30	Karaköy	Kadıköy	08:35
08:40	Kadıköy	Eminönü	09:00
09:00	Eminönü	Kadıköy	09:15
09:15	Kadıköy	Eminönü	09:35
09:35	Eminönü	Kadıköy	10:00
10:00	Kadıköy	Eminönü	10:15
10:15	Eminönü	Kadıköy	10:25
10:25	Kadıköy	Eminönü	10:40
13:00	Eminönü	Kadıköy	13:30
13:30	Kadıköy	Eminönü	13:45
15:45	Eminönü	Kadıköy	16:10
16:10	Kadıköy	Eminönü	16:35
16:35	Eminönü	Kadıköy	16:50
16:50	Kadıköy	Eminönü	17:15
17:15	Eminönü	Kadıköy	17:30
17:30	Kadıköy	Eminönü	17:50
17:50	Eminönü	Kadıköy	18:10
18:10	Kadıköy	Eminönü	18:25
18:25	Eminönü	Kadıköy	18:50
18:50	Kadıköy	Eminönü	19:05
19:05	Eminönü	Kadıköy	19:20
19:30	Kabataş	Karaköy	19:35
19:40	Karaköy	Bostancı	20:05

**TOPLAM ÇALIŞMA
SAATI**

330 DAKİKA NET

KULLANIM ORANI (%)

44

ÇAKA BEY - 1

Kalkış Saati	Kalkış Yeri	Variş Yeri	Variş Saati
07:15	Bostancı	Karaköy	07:35
07:40	Karaköy	Eminönü	07:45
07:50	Eminönü	Bostancı	08:20
08:30	Bostancı	Bakırköy	09:00
09:05	Bakırköy	Kadıköy	09:20
09:25	Kadıköy	Bostancı	09:40
10:20	Bostancı	Kadıköy	10:40
10:40	Kadıköy	Bakırköy	11:00
11:30	Bakırköy	Kadıköy	11:45
11:50	Kadıköy	Bostancı	12:10
12:30	Bostancı	Kadıköy	12:45
12:50	Kadıköy	Bakırköy	13:10
13:30	Bakırköy	Kadıköy	13:45
13:50	Kadıköy	Bostancı	14:10
16:30	Bostancı	Kadıköy	16:45
16:50	Kadıköy	Bakırköy	17:10
17:30	Bakırköy	Kadıköy	17:50
17:50	Kadıköy	Bostancı	18:10
18:20	Bostancı	Eminönü	18:50
18:55	Eminönü	Bostancı	19:15
19:15	Bostancı	Kartal	19:35
19:35	Kartal	Pendik	19:45

**TOPLAM ÇALIŞMA
SAATI**

365 DAKİKA NET

KULLANIM ORANI (%)

48,66

SEYDİ ALİ REİS

Kalkış Saati	Kalkış Yeri	Variş Yeri	Variş Saati
07:30	Avcılar	Bakırköy	07:55
08:00	Bakırköy	Karaköy	08:20
08:20	Karaköy	Üsküdar	08:30
08:35	Üsküdar	Kadıköy	08:45
08:50	Kadıköy	Bakırköy	09:10
09:10	Bakırköy	Avcılar	09:35
17:55	Avcılar	Bakırköy	18:20
18:30	Bakırköy	Yenikapı	18:45
18:50	Yenikapı	Kadıköy	18:55
19:05	Kadıköy	Bakırköy	19:20
19:30	Bakırköy	Yenikapı	19:45
19:45	Yenikapı	Bostancı	20:10

**TOPLAM ÇALIŞMA
SAATI**

195 DAKİKA NET

KULLANIM ORANI (%)

26

HEZARFEN

Kalkış Saati	Kalkış Yeri	Varış Yeri	Varış Saati
07:15	Pendik	Kartal	07:25
07:30	Kartal	Bostancı	07:55
08:00	Bostancı	Kabataş	08:20
08:25	Kabataş	Eminönü	08:30
08:35	Eminönü	Bostancı	09:00
09:15	Bostancı	Kabataş	09:40
09:45	Kabataş	Karaköy	09:50
09:55	Karaköy	Eminönü	10:00
16:40	Kabataş	Karaköy	16:45
16:50	Karaköy	Eminönü	16:55
17:00	Eminönü	Bostancı	17:20
17:30	Bostancı	Kabataş	17:55
18:00	Kabataş	Karaköy	18:10
18:15	Karaköy	Bostancı	18:40
20:30	Bostancı	Kadıköy	20:50
20:50	Kadıköy	Bakırköy	21:10
21:15	Bakırköy	Kadıköy	21:30
21:35	Kadıköy	Bostancı	21:55

**TOPLAM ÇALIŞMA
SAATI**

270 DAKİKA NET

KULLANIM ORANI (%)

36

YEDİTEPE-I

Kalkış Saati	Kalkış Yeri	Varış Yeri	Varış Saati
07:30	Bostancı	Yenikapı	07:50
07:55	Yenikapı	Bakırköy	08:10
08:15	Bakırköy	Kadıköy	08:35
08:35	Kadıköy	Bostancı	08:55
09:05	Bostancı	Kadıköy	09:20
09:25	Kadıköy	Yenikapı	09:30
09:35	Yenikapı	Bakırköy	09:55
10:15	Bakırköy	Kadıköy	10:35
10:35	Kadıköy	Bostancı	10:55
11:30	Bostancı	Kadıköy	11:45
11:50	Kadıköy	Yenikapı	12:00
12:00	Yenikapı	Bakırköy	12:20
12:30	Bakırköy	Kadıköy	12:50
12:50	Kadıköy	Bostancı	13:10
17:00	Bostancı	Kadıköy	17:20
17:20	Kadıköy	Bakırköy	17:40
18:00	Bakırköy	Yenikapı	18:20
18:20	Yenikapı	Bostancı	18:40
19:10	Bostancı	Kadıköy	19:30
19:30	Kadıköy	Bakırköy	19:50
20:00	Bakırköy	Yenikapı	20:15
20:20	Yenikapı	Kadıköy	20:25
20:25	Kadıköy	Bostancı	20:50

**TOPLAM ÇALIŞMA
SAATI**

350 DAKİKA NET

KULLANIM ORANI (%)

46,66

EK 2: Model Çözümü (Özet)

Global Optimum Çözüm İterasyon Sayısı:

516

Amaç Fonksiyonu Değeri:

3566.00

Değişken	Değer	Duyarılık	Değişken	Değer	Duyarılık
IG_1_2	1.0	0.0	IG 40 65	1.0	1.0
IG_2_3	1.0	0.0	IG 41 197	1.0	13.0
IG_3_9	1.0	1.0	IG 42 59	1.0	1.0
IG_4_8	1.0	0.0	IG 43 56	1.0	1.0
IG_5_14	1.0	1.0	IG 44 50	1.0	1.0
IG_6_30	1.0	29.0	IG 45 52	1.0	1.0
IG_7_13	1.0	1.0	IG 46 69	1.0	2.0
IG_8_21	1.0	1.0	IG 47 53	1.0	0.0
IG_9_36	1.0	4.0	IG 48 57	1.0	1.0
IG_10_19	1.0	1.0	IG 49 61	1.0	1.0
IG_11_31	1.0	1.0	IG 50 72	1.0	1.0
IG_12_33	1.0	2.0	IG 51 62	1.0	1.0
IG_13_40	1.0	3.0	IG 52 66	1.0	1.0
IG_14_20	1.0	0.0	IG 53 76	1.0	167.0
IG_15_27	1.0	2.0	IG 54 70	1.0	-2.0
IG_16_22	1.0	1.0	IG 55 88	1.0	5.0
IG_17_26	1.0	1.0	IG 56 63	1.0	1.0
IG_18_24	1.0	1.0	IG 57 68	1.0	1.0
IG_19_25	1.0	1.0	IG 58 93	1.0	8.0
IG_20_47	1.0	3.0	IG 59 64	1.0	0.0
IG_21_37	1.0	0.0	IG 60 71	1.0	1.0
IG_22_29	1.0	1.0	IG 61 77	1.0	1.0
IG_23_28	1.0	0.0	IG 62 82	1.0	4.0
IG_24_60	1.0	2.0	IG 63 96	1.0	27.0
IG_25_39	1.0	2.0	IG 64 74	1.0	38.0
IG_26_35	1.0	1.0	IG 65 67	1.0	1.0
IG_27_38	1.0	0.0	IG 66 87	1.0	6.0
IG_28_41	1.0	1.0	IG 67 189	1.0	90.0
IG_29_43	1.0	1.0	IG 68 80	1.0	0.0
IG_30_58	1.0	2.0	IG 69 114	1.0	23.0
IG_31_48	1.0	0.0	IG 70 73	1.0	-17.0
IG_32_49	1.0	1.0	IG 71 89	1.0	52.0
IG_33_46	1.0	1.0	IG 72 75	1.0	155.0
IG_34_129	1.0	59.0	IG 73 79	1.0	22.0
IG_35_44	1.0	1.0	IG 74 78	1.0	153.0
IG_36_45	1.0	1.0	IG 75 81	1.0	156.0
IG_37_55	1.0	1.0	IG 76 84	1.0	170.0
IG_38_42	1.0	0.0	IG 77 85	1.0	1.0
IG_39_51	1.0	1.0	IG 78 106	1.0	162.0

Değişken	Değer	Duyarlılık	Değişken	Değer	Duyarlılık
IG 79 83	1.0	1.0	IG 124 127	1.0	0.0
IG 80 179	1.0	83.0	IG 125 149	1.0	28.0
IG 81 90	1.0	1.0	IG 126 128	1.0	1.0
IG 82 94	1.0	1.0	IG 127 158	1.0	28.0
IG 83 101	1.0	4.0	IG 128 132	1.0	8.0
IG 84 86	1.0	0.0	IG 129 143	1.0	14.0
IG 85 91	1.0	0.0	IG 130 142	1.0	8.0
IG 86 103	1.0	3.0	IG 131 133	1.0	1.0
IG 87 92	1.0	1.0	IG 132 134	1.0	0.0
IG 88 95	1.0	0.0	IG 133 169	1.0	18.0
IG 89 131	1.0	51.0	IG 134 141	1.0	3.0
IG 90 100	1.0	2.0	IG 135 140	1.0	0.0
IG 91 136	1.0	55.0	IG 136 137	1.0	1.0
IG 92 98	1.0	1.0	IG 137 139	1.0	0.0
IG 93 99	1.0	0.0	IG 138 144	1.0	3.0
IG 94 97	1.0	1.0	IG 139 147	1.0	3.0
IG 95 109	1.0	3.0	IG 140 155	1.0	8.0
IG 96 138	1.0	58.0	IG 141 145	1.0	1.0
IG 97 104	1.0	2.0	IG 142 151	1.0	1.0
IG 98 105	1.0	1.0	IG 143 150	1.0	20.0
IG 99 203	1.0	11.0	IG 144 168	1.0	8.0
IG 100 13	1.0	52.0	IG 145 146	1.0	1.0
IG 101 10	1.0	0.0	IG 146 157	1.0	3.0
IG 102 11	1.0	39.0	IG 147 154	1.0	1.0
IG 103 18	1.0	118.0	IG 148 162	1.0	5.0
IG 104 10	1.0	0.0	IG 149 153	1.0	0.0
IG 105 10	1.0	1.0	IG 150 159	1.0	3.0
IG 106 11	1.0	0.0	IG 151 156	1.0	2.0
IG 107 11	1.0	1.0	IG 152 160	1.0	3.0
IG 108 12	1.0	23.0	IG 153 166	1.0	1.0
IG 109 11	1.0	1.0	IG 154 178	1.0	8.0
IG 110 11	1.0	11.0	IG 155 165	1.0	1.0
IG 111 12	1.0	16.0	IG 156 164	1.0	0.0
IG 112 11	1.0	5.0	IG 157 163	1.0	0.0
IG 113 15	1.0	58.0	IG 158 177	1.0	5.0
IG 114 11	1.0	1.0	IG 159 161	1.0	1.0
IG 115 14	1.0	29.0	IG 160 167	1.0	0.0
IG 116 11	1.0	3.0	IG 161 170	1.0	1.0
IG 117 11	1.0	0.0	IG 162 181	1.0	3.0
IG 118 12	1.0	74.0	IG 163 180	1.0	3.0
IG 119 12	1.0	1.0	IG 164 171	1.0	1.0
IG 120 12	1.0	7.0	IG 165 172	1.0	1.0
IG 121 12	1.0	3.0	IG 166 175	1.0	0.0
IG 122 12	1.0	3.0	IG 167 184	1.0	3.0
IG 123 13	1.0	14.0	IG 168 182	1.0	1.0

Değişken	Değer	Duyarlılık	Değişken	Değer	Duyarlılık
IG 169 18	1.0	2.0	IG 215 253	1.0	13.0
IG 170 17	1.0	1.0	IG 216 237	1.0	98.0
IG 171 17	1.0	1.0	IG 217 224	1.0	1.0
IG 172 17	1.0	0.0	IG 218 221	1.0	0.0
IG 173 18	1.0	3.0	IG 219 225	1.0	0.0
IG 174 18	1.0	1.0	IG 220 231	1.0	0.0
IG 175 20	1.0	111.0	IG 221 234	1.0	2.0
IG 176 19	1.0	2.0	IG 222 235	1.0	1.0
IG 177 19	1.0	3.0	IG 223 227	1.0	0.0
IG 178 19	1.0	0.0	GG 224 17	1.0	118.0
IG 179 20	1.0	3.0	IG 225 241	1.0	1.0
IG 180 19	1.0	0.0	IG 226 243	1.0	2.0
IG 181 21	1.0	41.0	GG 227 16	1.0	119.0
IG 182 19	1.0	2.0	IG 228 232	1.0	1.0
IG 183 19	1.0	1.0	GG 229 18	1.0	119.0
IG 184 18	1.0	1.0	IG 230 238	1.0	1.0
IG 185 19	1.0	1.0	IG 231 242	1.0	1.0
IG 186 19	1.0	1.0	IG 232 239	1.0	1.0
IG 187 19	1.0	0.0	GG 233 11	1.0	117.0
IG 188 20	1.0	1.0	IG 234 248	1.0	2.0
IG 189 22	1.0	74.0	GG 235 7	1.0	113.0
IG 190 23	1.0	55.0	IG 236 244	1.0	0.0
IG 191 20	1.0	1.0	IG 237 240	1.0	1.0
IG 192 21	1.0	14.0	IG 238 243	1.0	1.0
IG 193 21	1.0	4.0	IG 239 246	1.0	1.0
IG 194 22	1.0	3.0	GG 240 34	1.0	118.0
IG 195 20	1.0	0.0	IG 241 245	1.0	1.0
IG 196 21	1.0	3.0	IG 242 254	1.0	45.0
IG 197 20	1.0	1.0	IG 243 249	1.0	42.0
IG 198 20	1.0	1.0	GG 244 1	1.0	101.0
IG 199 21	1.0	1.0	IG 245 247	1.0	1.0
IG 200 20	1.0	1.0	GG 246 15	1.0	113.0
GG 201 12	1.0	12.0	IG 247 250	1.0	1.0
IG 202 21	1.0	0.0	IG 248 251	1.0	1.0
IG 203 21	1.0	30.0	IG 249 256	1.0	3.0
IG 204 21	1.0	1.0	GG 250 54	1.0	120.0
IG 205 20	1.0	1.0	IG 251 252	1.0	0.0
IG 206 23	1.0	2.0	GG 252 32	1.0	110.0
IG 207 22	1.0	3.0	IG 253 257	1.0	0.0
IG 208 21	1.0	1.0	IG 254 255	1.0	0.0
IG 209 22	1.0	1.0	GG 255 10	1.0	100.0
GG 210 6	1.0	118.0	IG 256 258	1.0	0.0
IG 211 23	1.0	2.0	IG 257 259	1.0	1.0
IG 212 22	1.0	2.0	GG 258 5	1.0	94.0
IG 213 22	1.0	2.0	IG 259 260	1.0	1.0
IG 214 21	1.0	1.0	GG 260 4	1.0	89.0

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 18.06.1980

Doğum yeri Nevşehir

Lise 1994–1998

Nevşehir 2000 Evler Süper Lisesi

Lisans 1999–2003

Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans

2003- Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri
Enstitüsü Endüstri Müh. Bölümü, Endüstri
Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Müh.
Programı

Çalıştığı kurumlar

2003-Devam Ediyor

YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi

