

47024

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TAŞIT ROTALAMASI VE ÇİZELGELEMESİ :
OTOBÜSLE KENTLERARASI YOLCU TAŞIMACILIĞI
İÇİN BİR MODEL

İnş. Y. Müh. Rezzan EREL

F.B.E. İnşaat Müh. Anabilim Dalı Ulaştırma Programında
hazırlanan

DOKTORA TEZİ

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Aydın EREL

İstanbul, 1995

İÇİNDEKİLER

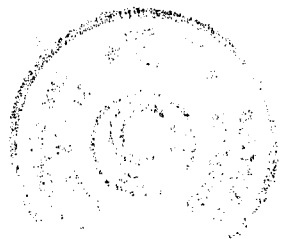
Kullanılan Semboller	
Kullanılan Kısaltmalar	
Özet	
Summary	

1. BÖLÜM

GİRİŞ	1
1.1. ÜLKEMİZDEKİ OTOBÜS TAŞIMACILIĞINA GENEL BAKIŞ	1
1.2. AMAÇ ve KAPSAM	5

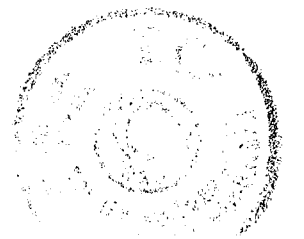
2. BÖLÜM

KENTLERARASI YOLCU ULAŞTIRMASI İÇİN TAŞIMA PLANLAMASI	8
2.1. ULAŞTIRMA SİSTEMİ ve PLANLAMASI	8
2.1.1. Ulaştırma Sistemi	8
2.1.2. Ulaştırma Planlaması	12
2.2. KENTLERARASI YOLCU TAŞIMACILIĞININ PLANLANMASI	14
2.2.1. Kentlerarası Yolcu Taşımacılığı Planlamasının Yapısı ve Etkili Faktörler	15
2.2.2. Kentlerarası Yolcu Taşıma Planlamasının Aşamaları	17
2.2.2.1. Taşımacılık Yapılacak Ağ Kesiminin Belirlenmesi	18
2.2.2.2. Hizmet Düzeyinin ve Taşıma Ücretlerinin Belirlenmesi	20
2.2.2.3. Seferlerin Kalkış-Varış Zaman Çizelgelemesi	20
2.2.2.4. Taşıt Rotalaması ve Çizelgelemesi(TRÇ)	23
2.2.2.5. Taşıt Personelinin Rotalaması ve Çizelgelemesi	24
2.2.3. Taşıma Planlamasında Kullanılan Model Tipleri	25



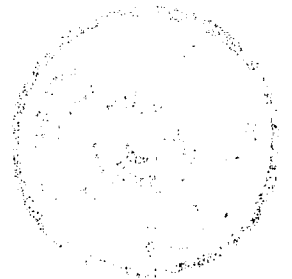
3. BÖLÜM

TAŞIT ROTALAMASI ve ÇİZELGELEMESİ (TRÇ)	30
3.1. TAŞIT ROTALAMA ve ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ(TRÇP)	31
3.1.1. Rotalama Problemleri(RP)	31
3.1.1.1. Rota Süresi Sınırsız RP	32
3.1.1.2. Rota Süresi Sınırlı RP	33
3.1.2. Zaman Pencereci Rotalama Problemleri(ZPRP)	34
3.1.3. Eşanlı Rotalama ve Çizelgeleme Problemleri(ERÇP)	36
3.2. TRÇP'NİN İSTEM VE SUNU ALANLARINA GÖRE ANALİZİ	38
3.2.1. İstem Alanı	39
3.2.2. Sunu Alanı	44
3.3. KENTLERARASI YOLCU TAŞIMACILIĞINDA ROTALAMA VE ÇİZELGELEME(KYT-RÇP)	50
3.3.1. Kentlerarası Yolcu Taşımacılığı İçin TRÇ Problemlerinde Zaman Çizelgesinin Önemi	52
3.3.2. Sunu, Yolculuk ve Yolcu Özellikleri	54
3.3.3. Yolculuk(Sefer) Seçimi	57
3.3.3.1. Deterministik Seçim	58
3.3.3.2. Stokastik Seçim	59
3.3.4. Modeller	61
3.3.4.1. Model 1	61
3.3.4.2. Model 2	63
3.3.4.3. Model 3	65
3.3.4.4. Model 4	67
3.3.4.5. Model 5	69
3.3.4.6. Model 6	70
3.3.4.7. Model 7	72
3.3.4.8. Modellerin Değerlendirilmesi	74



4. BÖLÜM

OTOBÜSLE KENTLERARASI YOLCU TAŞIMACILIĞI İÇİN BİR TAŞIT ROTALAMA-ÇİZELGELEME(OKYT-TRÇ) MODELİ	76
4.1. MODELİN DÜŞÜNSEL YAPISI	76
4.2. ÜLKEMİZDE OTOBÜSLE KENTLERARASI ULAŞIMDA KALKIŞ ZAMANINA GÖSTERİLEN DUYARLILIK	78
4.3. OKYT MODELİ	83
4.4. TADAM MODELİ	85
4.5. OLZAM MODELİ	87
4.5.1. Deterministik ve Stokastik Seçim	87
4.5.2. Modelin Yapısı	91
4.5.2.1. Sezgisel Algoritma ile Çözüm	93
4.5.2.2. Sezgisel Algoritmanın Değerlendirilmesi	95
4.6. SERÇİM MODELİ100	
4.6.1. Modelin Yapısı	100
4.6.2. Modelin Çözümü	101
4.6.2.1. Dal-Sınır Tekniği İle Elde Edilen Çözümler	102
4.6.2.1.1. Katı Kısıtlı Yaklaşımına Göre Elde Edilen Çözümler	103
4.6.2.1.2. Gevşek Kısıtlı Yaklaşımına Göre Elde Edilen Çözümler	114
4.6.2.1.3. Katı Kısıtlı Yaklaşımına Göre Ayrıştırılmış Çözüm	116
4.6.2.2. Sezgisel Algoritma İle Çözüm	118
4.6.2.2.1. Sezgisel Algoritmanın Tanıtımı	118
4.6.2.2.2. Sezgisel Algoritmanın Değerlendirilmesi	121
4.6.2.2.3. Sezgisel Algoritma ile Bir TRÇ Örneği	122
4.7. BÜTÜNSEL DEĞERLENDİRME126	



4.8.	OKYT-TRÇ MODELİ İÇİN SAYISAL BİR UYGULAMA	129
4.8.1.	TADAM Modeli'nin Uygulanması	131
4.8.2.	OLZAM Modeli'nin Uygulanması	131
4.8.2.1.	Logit Model	132
4.8.2.1.1.	Logit Model'in Kalibrasyonu	134
4.8.2.1.2.	Kalibrasyonun Testi	136
4.8.2.1.3.	Logit Model'in Sayısal Uygulamada Kullanımı	138
4.8.2.2.	OLZAM Sezgisel Algoritmasının Uygulanması	142
4.8.3.	SERÇİM Modeli'nin Uygulanması	144
4.8.4.	Bütünsel Değerlendirme	145

5. BÖLÜM

SONUÇLAR ve ÖNERİLER	147
-----------------------------	-----

KAYNAKLAR	151
------------------	-----

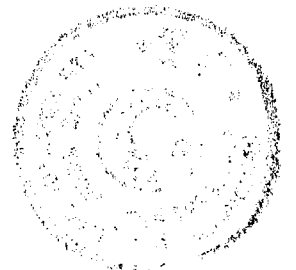
EK 1	: Anket Föyü
EK 2	: Maliyet Matrisi

ÖZGEÇMİŞ



SEMBOL LİSTESİ

β_k	: (k) değişkeninin önemini belirten katsayı
τ_{maks}	: Maksimum rotasyon(rota) süresi
A	: Bir ağdaki kollar kümesi
A_1	: İleri Kollar Kümesi
A_2	: Geri Kollar Kümesi
A_1	: (1) Deposundaki Taşıtlar ile Hizmet Verilebilen Kollar Kümesi
C	: Döngü(rotasyon)
c_{ij}	: (i,j) kolunun maliyeti
e_i	: Yararlılığın rastlantısal ya da açıklanamayan kısmını oluşturan bir rasgele(stokastik) değişken
$G(N, A)$	: (N) düğümler kümesinden ve (A) kollar kümesinden oluşan bir ağ
g_s	: (s) seferinden elde edilen gelir
h	: Hedef düğüm noktası
h_s	: (s) seferinin kalkış zamanı
k	: Kaynak düğüm noktası
k_{min}	: Kârın alt sınırı
l	: Depo adı
L	: Logaritmik Olabilirlik(Likelihood) Fonksiyonu
m	: Sefer sayısı
m_r	: (r) Rotasyonunun seferleri arasındaki bağların toplam maliyeti
m_s	: (s) seferinin maliyeti
N	: Bir ağdaki düğümler kümesi
n_s	: (s) seferinde taşınabilen yolcu sayısı
P_i	: Bir (i) seçeneğinin seçilme olasılığı
q	: Taşıt Kapasitesi
r	: Rotasyon
R	: Rotasyonlar Kümesi
s	: Sefer
s_r	: (r) Rotasyonunun seferlerinden elde edilen toplam kâr



T	: Zaman aralığı(periyot)
$T(L_1, L_2)$	: (L_1) bölgesinden (L_2) bölgesine yolculuk süresi
U_i	: Bir (i) seçeneğinin stokastik yararlılık fonksiyonu
$\bar{u}_s$	: (s) seferinin bilet ücreti
V_i	: Seçim modelinde (i) seçeneğinin deterministik yararlılık fonksiyonu
Y	: Toplam Yolcu sayısı

KULLANILAN KISALTMALAR

AS	: Aday Seferler Kümesi
BBM	: Taşıtın Boş Bekleme Maliyeti
BSM	: Taşıtın Boş (çizelge dışı) Seyir Maliyeti
BSS	: Boş Seyir Süresi
BY	: Başlangıç Yeri
BZ	: Başlangıç Zamanı
ÇGSP	: Çok taşıtlı Gezgin Satıcı Problemi
ÇPP	: Çinli Postacı Problemi
D	: Yolculuk bitiş yeri (Destination)
ERÇP	: Eşanlı Rotalama ve Çizelgeleme Problemi
GS	: Gerçek Seferler Kümesi
GSP	: Gezgin Satıcı Problemi
KYT	: Kentlerarası Yolcu Taşımacılığı
O	: Yolculuk başlangıç yeri (Origin)
OKYT	: Otobüsle Kentlerarası Yolcu Taşımacılığı
OLZAM	: Olasılıksal Zaman Çizelgelemesi Modeli
PRÇ	: Personelin Rotalaması ve Çizelgelemesi
PRÇP	: Personel Rotalama ve Çizelgeleme Problemi



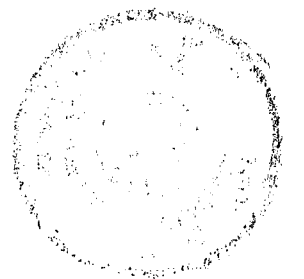
RP	: Rotalama Problemi
RS	: Rota(Rotasyon) Süresi
RİS	: Rakip Seferler Kümesi
SBBM	: Saatlik Boş Bekleme Maliyeti
SBSM	: Saatlik Boş Seyir Maliyeti
SERÇİM	: Rotasyon Süresi Sınırlı Eşanlı Rotalama ve Çizelgeleme Modeli
SYSM	: Saatlik Yolculu Seyir Maliyeti
TADAM	: İdeal Kalkış Zamanlarına Göre Yolcu İstemini Belirleyen Model
TRÇ	: Taşıt Rotalaması ve Çizelgelemesi
TRÇP	: Taşıt Rotalaması ve Çizelgelemesi Problemi
VY	: Varış Yeri
VZ	: Varış Zamanı
ZÇ	: Zaman Çizelgelemesi
ZF	: “Yolcuların İdeal Kalkış Zamanları” ile “Seferin Kalkış Zamanı” Arasındaki Fark
ZPRP	: Zaman Pencere Rotalama Problemi



TEŞEKKÜR

Bu tezimin gerçekleşmesi sırasında bilgi, kaynak ve deneyimlerinden yararlandığım tez yöneticisi Prof.Dr.Aydın EREL'e, Doç.Dr. Mehmet AHLATÇIOĞLU'na, Prof.Dr.Ergun GEDİZLİOĞLU'na, YTÜ Endüstri Mühendisliği Bölümü elemanlarına, değişik aşamalarda yardımlarını gördüğüm İnş.Y.Müh.İsmail ŞAHİN'e, YTÜ Ulaştırma Anabilim Dalı elemanlarına, İnş.Müh.Serhat ERCAN'a ve anlayışı için oğlum ILGAZ'a içten teşekkürlerimi sunarım.

İnş.Y.Müh.Rezzan EREL



ÖZET

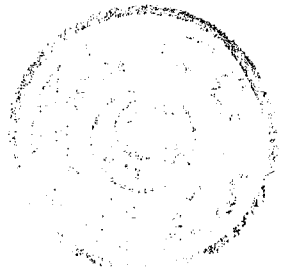
Bu çalışmada genel olarak, önce taşıt rotalama ve çizelgeleme problemlerinin yapısal özelliklerini belirlenmesi amacıyla bu problemlerin analizi yapılmış, ardından analiz yardımıyla kentlerarası yolcu taşımacılığında TRÇ problemlerinin özellikleri belirlenmiş ve en son olarak üç alt modelden oluşan bir model sunulmuştur.

İlk bölümde, doktora çalışmasının amacı ve her bir bölümde bu amaca yönelik olarak yapılan çalışmalar özetlenmiştir. İkinci bölüm, kentlerarası yolcu taşımacılığında TRÇ konusuna bir yaklaşım sağlanması amacıyla hazırlanmıştır. Bu bölümde, ulaştırma sistemi ve planlaması ile TRÇ'nin kentlerarası yolcu taşımacılığındaki yeri ve önemi incelenmiştir.

Üçüncü bölümde, önce TRÇ problemleri tanımlanmış, ardından problemlerin yapılarını ortaya koyan ve bu doktora çalışması için gerçekleştirilmiş bir analiz sunulmuştur. Bu analiz sonucunda TRÇ'nin zaman çizelgelemesinden soyutlanamayacağı anlaşılmış ve bu nedenle zaman çizelgelemesi tanımlanmıştır. Son olarak da, TRÇ için geliştirilen çeşitli modeller incelenmiş ve eleştirilmiştir.

Dördüncü bölümde, kentlerarası yolcu taşımacılığı için geliştirilen ve TADAM, OLZAM ve SERÇİM alt modellerinden oluşan modelin yapısı, alt modellerin birbirleriyle olan ilişkileri ve bu modeller ile ilgili çözüm teknikleri önerilmiştir. Kısaca TADAM, yolcuların ideal kalkış zamanlarını araştıran; OLZAM, zaman çizelgelemesini gerçekleştiren ve SERÇİM, taşıt rotalaması ve çizelgelemesi ile ilgili modellerdir.

En son bölüm ise, doktora çalışması ile elde edilen sonuçları ve araştırmacılara bu ve benzeri çalışmaların geliştirilmesi amacıyla yapılan önerileri kapsamaktadır.



SUMMARY

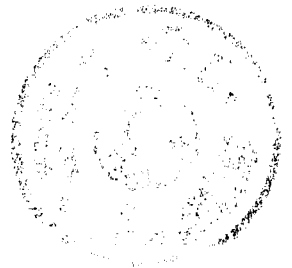
This dissertation, in general, consists of vehicle routing and scheduling problem in transportation planning and establishes a routing and scheduling model for intercity passenger buses.

The first chapter is devoted to summarize the goal and content of the study. The second chapter provides an approach to the interrelation between the vehicle routing and scheduling and the intercity passenger transportation problems. In this chapter, we deal primarily with the transportation system and planning of intercity passenger transportation and the models used for it.

In the third chapter, firstly, a structured framework is established to analyze the vehicle routing and scheduling problems with respect to transportation demand and supply. Furthermore, according to this framework, the structural features of the intercity transportation have been analyzed and the importance of scheduling issue for the intercity passenger transportation is pointed out regarding to vehicle routing and scheduling problems. Lastly, the existing models developed for vehicle routing and scheduling have been analyzed and criticized.

The fourth chapter introduces a new model for intercity passenger transportation, which includes three sub-models; additionally, it provides solution techniques concerning intercity passenger transportation and vehicle routing and scheduling problems together based on the model introduced. The first sub-model, TADAM, gives distribution of passengers in time according to their "ideal departure times." The second one, OLZAM, consists of a main normative model and a predictive model. The last one determines the schedule as an input for vehicle routing and scheduling problem, with respect to passengers' choices and the goal(s) of the company. The last sub-model, SERÇİM, is a completely normative and a simultaneously established vehicle routing and scheduling model, which creates a set of bus services with minimum cost associated with idle time and/or deadheading. In the last section of this chapter, numerical examples helping to understand the solution techniques are given.

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



1. GİRİŞ

Bu bölümde, önce ülkemizde otobüs taşımacılığı ve bu taşımacılığın belirgin sorunlarına kısaca değinilecek, ardından doktora çalışmasının amacı ve kapsamı verilecektir.

1.1. ÜLKEMİZDEKİ OTOBÜS TAŞIMACILIĞINA GENEL BAKIŞ

Kentlerarası yolcu taşımacılığı, bölgesel, ulusal ve uluslararası düzeylerde büyük bir ekonomik ve sosyal rol oynar. Bu sektörün önemi, meslekle ilgili, endüstriyel, ticari ve sosyal etkinliklerdeki gelişmelere koşut olarak, her geçen gün daha da artmaktadır.

Ülkemizdeki kentlerarası yolcu taşımacılığı ağırlıklı olarak karayolu ağı üzerinde yapılmaktadır. Zira, karayolunun yolcu taşımacılığındaki payı, “yolcu-km” cinsinden 1950’de % 46 iken, 1960’da % 67’ye, 1988’de % 94’e ulaşmıştır (Artar,1991). Bu değer son yıllarda % 94-95 dolayında değişmektedir. Otobüslerin yolcu taşımacılığındaki payları ise, “yolcu-km” cinsinden % 80 dolayındadır(T.C.K.Gn.Md.,1993). Bu durumda, kentlerarası yolculuk yapanların yaklaşık % 75’inin otobüsü tercih ettiği ortaya çıkmaktadır.

Ülkemizde, hızlı nüfus artışının yanı sıra, sosyal, ekonomik ve teknolojik gelişmelerle birlikte insanların aktiviteleri çoğalmakta, bunun sonucu olarak da kentlerarası ulaşım istemi artmaktadır. Bu artışla, kentlerarası otobüs taşımacılığı kârlı ve çekici bir iş alanı olmuş, taşımacılık yapan işletmelerin sayıları çoğalmıştır. Diğer yandan, son yıllarda maliyet yapılarında belirgin değişimler oluşmuş, yüksek faiz oranları ile artan enerji ve işçilik maliyetleri, yatırım ve işletme maliyetlerini yükseltmiştir. Ulaştırma işletmeciliği, çok sayıda ulaşım türlerinin ve işletmelerinin bulunduğu bir ortamda zor ve riskli bir iş haline gelmiştir. Bu durum işletmecileri ve yolcuları etkileyen bir takım sorunları ortaya çıkarmaktadır. Ülkemizde otobüs taşımacılığında yolcuların en çok karşılaştığı sorunlar şunlardır:

- İşletmelerin uyguladıkları taşıma ücretleri bazen birbirinin iki katı kadar farklılık gösterebilmektedir,



- Aynı işletmenin iki kent arasındaki taşıma ücreti, gidiş ile dönüş yönlerinde farklı olabilmekte ve taşıtın doluluğu ile yolcuların pazarlık yapabilme yeteneğine göre de değişebilmektedir,
- Kısa bir zaman dilimi içinde iki kent arasında çok sayıda sefer konulabilmektedir. Bazı seferler, yolcu olmadığı için iptal edilebilmekte ya da geç başlatılabilmektedir. Zamanında hareket ettirilen bazı taşıtlar, yolcu toplanabilmesi amacıyla ara duraklarda uzun süre bekletilebilmektedir,
- Taşıma ücreti ve kalkış-varış zamanlarındaki sapmalara bağlı olarak, yolculuk süresi ve konforu da değişebilmektedir,
- Yolcuların can ve mal güvenliği giderek azalmaktadır. 1986-1991 yılları arasında otobüslerin karıştığı kazalardaki artış yüzdesi % 40'dır(İlıcılı, 1993),
- Otobüs taşımacılığında etkin bir denetim yoktur.

Bu sorunların kaynaklarını araştırmak amacıyla incelenmiş olan "kentlerarası yolcu taşımacılığı ile ilgili yönetmeliğin" bazı maddeleri(Resmi Gazete, 1994) ve bu konudaki değerlendirmeler, aşağıda verilmiştir:

1. Kentlerarası taşıma ücretleri, işletmeciler tarafından belirlenmekte ve Ulaştırma Bakanlığı tarafından onaylanır. İşletmeler arasında yıkıcı bir rekabet olması halinde taşıma ücretlerinin taban ve tavan sınırlarını Bakanlık belirler.
2. İşletmeciler belirlenen taşıma ücretlerine uymak zorundadırlar ve iki kent arasında gidiş-dönüş taşıma ücretinin aynı olması gerekmektedir.
3. Kentlerarası düzenli yolcu taşımacılığı zaman tarifesine(çizelgesine) bağlıdır.
4. Karayolu ile kentlerarası yolcu taşımacılığı yapılabilmesi için Bakanlık'tan yetki belgesi alınması zorunludur. Yetki belgesi almak isteyen özel ve tüzel kişilerin kendi adına kayıt ve tescil edilmiş en az yedi adet otobüse(8 Eylül 1994 tarihinden önceki yönetmeliğe göre, öz



mal ya da kiralık üç adet otobüs idi), en az bir yolcu terminaline sahip olmaları gerekmektedir.

5. Kentlerarası yolcu taşımacılığı yapılan hatlarda; yolcu kapasitesi, işletme sayısı ve taşımada kullanılan otobüslerin durumu(durum ile neyin kastedildiği açık değildir) gibi konular dikkate alınarak, gereksinime göre Bakanlık'ça sınırlayıcı bazı düzenlemeler yapılabilir.

İlk üç maddeye göre, belirlenen taşıma ücretlerine ve zaman çizelgelerine (tarifelerine) uyulması zorunlu olmasına karşın, bazı işletmelerin daha önce de belirtildiği gibi bunlara uymaması, etkin bir denetim sisteminin oluşturulmadığını ortaya koymaktadır. Buna göre sorunların kaynaklarından birisi, yönetmeliğe uyulması konusundaki denetimin yetersizliğidir.

4. sıradaki madde gözden geçirildiğinde, eski yönetmeliğe göre taşımacılık yetki belgesine sahip olmanın oldukça kolay olduğu görülebilir. Yeni yönetmeliğe göre bu belgenin alınması biraz zorlaştırılmıştır. Bunun yeterli olup olmadığına dair bir yorum yapmak yerine, Almanya'da bu belge verilirken nasıl bir prosedür izlendiğine kısaca değinilecektir. Bu ülkede, taşıma yetki belgesinin alınması için, "işletmeci" sıfatına sahip olunması gerekmektedir., "İşletmeci" sıfatı ise yapılan sınavda başarılı olanlara verilmektedir. Taşıma izni vermeye yetkili idari makam, taşımacılık yapılması istenen hatta bulunan ve bu taşımacılıktan etkilenecek mevcut kara ve demiryolu işletmecilerinden, yerel yönetim ve planlama idarelerinden ve görev alanları nedeniyle başvurudan etkilenecek diğer makamlardan rapor ister. Ulaşımın mevcut taşıtlarla yeterince yapılamadığı ve toplu taşımacılığın çıkarlarının olumsuz olarak etkilenmeyeceği kararlarına varıldığı takdirde, işletmeciye taşıma yetki belgesi verilmektedir(Alpbek, 1994).

Türkiye'de kentlerarası taşımacılık yapan işletme sayısı, 1992 yılı sonuna göre 600 dolayındadır(Özcan, 1993). Buna karşın Birleşik Amerika Devletleri'nde ise belli-başlı 2 işletme bulunmaktadır(Yayla, 1992). Ülkemizde sözkonusu sayının azaltılması ya da artmaması için herhangi bir çaba gözlenmemektedir. Bu kadar çok işletmenin bulunduğu ve taşıma ücretleri ile zaman tarifelerinin (çizelgelerinin) denetlenmediği bir taşımacılık ortamında, haksız rekabet olmaması beklenemez. Buna karşın yukarıda sıralanan maddelerden ilkinde göre, bu rekabeti önlemek için Bakanlık'ça sınırlayıcı düzenlemeler yapılabileceği belirtilmiş ancak,



şimdiye kadar işletme sayısını sınırlayan ve ortak kararlar almalarını sağlayan bir düzenlemeye gidilmemiştir.

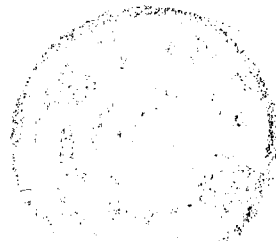
Yukarıdaki son iki paragrafa göre, kentlerarası yolcu taşımacılığındaki sorunların kaynaklarından ikincisi, hem işletmeleri ve hem de kamuyu koruyan konularda düzenlemeler yapabilen, işletmeler arasında koordinasyonu sağlayan ve kaynakların verimli kullanılmasını gözeten bir mekanizmanın olmamasıdır.

Belki de yukarıda çerçevesi çizilen taşıma ortamının etkisi ile, ülkemizde bilinçli taşımacılık yapan işletme sayısı azdır. Bu nedenle ulaşım istemi ile sunu arasında bir denge sağlanabildiği söylenemez. Örneğin 1991 yılında taşınan günlük yolcu miktarına göre yapılan hesaba göre, 45 koltuk kapasiteli bir otobüsün % 60 dolulukla günde iki sefer yapacağı varsayımı ile, bu yolcuların taşınabilmesi için gereksinim duyulan otobüs sayısı yaklaşık olarak 7.500 dür. Oysa kullanılan otobüs sayısı, sözkonusu tarihte 10.000'i çoktan aşmıştır ve üstelik bu otobüslerin bir kısmında koltuk sayısı 45'in üzerindedir. Kış aylarında doluluk oranı % 10' lara düşen taşıtlar ile de hizmet verilebilmesi ve hatta hemen hemen boş taşıtlara bile rastlanılabilmesi (Özcan, 1994) de, sözkonusu dengenin oluşturulamadığının bir başka göstergesidir. Bir pazar araştırılması yapılmadan ve ne kadar kaynağa gereksinim olacağı belirlenmeden yapılmaya çalışılan taşımacılık zihniyeti ile, bu tür dengesizliklerin yaşanması kaçınılmazdır.. Açıklamalara dayanarak, sorunların kaynaklarından üçüncüsü ise, bir çok işletmenin,

- mevcut taşıtlarının verimli olarak kullanılması,
- gereksinim duyacakları taşıt sayısının belirlenmesi,
- sefer kalkış ve varış saatlerinin iyi düzenlenmesi ve
- işletme maliyetlerini azaltacak önlemlerin alınması

gibi, hem kendisini ve hem de ülke ekonomisini etkileyen konulara yeterince planlı yaklaşmamalarıdır.

Ulaştırma alt sistemlerinde, kısa ve orta vadede büyük değişimlerin gerçekleştirilmesinin çok zor olacağı ve bu sistemleri bir bütün olarak algılayan ve planlayan düşünce yapısının henüz oluşmadığı gözönünde bulundurulacak olursa; otobüs taşımacılığının yolcu ulaşımında egemenliğini sürdüreceği ve bu taşımacılık ile ilgili sorunların zaman geçtikçe artacağı



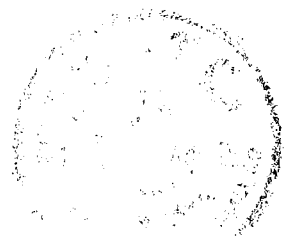
ortadadır. Bu nedenle ülkemizde otobüs ile taşımacılığın sorunları üzerinde önemle durulmalı ve ivedi çözüm yolları aranmalıdır.

1.2. AMAÇ ve KAPSAM

Bilindiği gibi, ülkemizin doğu-batı ve kuzey-güney uçları arasındaki karayolu bağlantılarının uzunlukları, sırasıyla yaklaşık 2000 km ve 800 km'ye ulaşmaktadır. Böyle büyük boyutları olan bir ülkede, taşımacılığın ve taşıt kullanımının çok önemli olacağı açıktır. Ancak, bu konuda ülkemizde yapılan çalışmalar yok denebilecek kadar azdır.

Türkiye'de ulaştırma alanındaki bilimsel araştırmalar ile, uygulamaya yönelik olarak yapılan çalışmalar, genellikle ağ tasarımı, yol alt ve üstyapısı ve trafiğin denetimi konuları üzerinde yoğunlaşmıştır. Bunun en önemli nedenlerinden birisi, gerçekte çok disiplinli ve çok sektörlü olan ulaştırma alanındaki yüksek öğretimin, yalnızca inşaat mühendisliği eğitiminin kapsamına sıkıştırılmış olan birkaç ders ile sınırlı kalmasıdır. İşletme eğitimi veren ve taşımacılık yapan kurumlar ise, konuya genellikle ekonomi ağırlıklı bir bakış açısıyla yaklaşmaktadırlar. Aslında bu sorun, Türkiye'deki kadar belirgin olmasa da, diğer ülkelerde yapılan çalışmalarda da gözlenebilmektedir. Örneğin, bir yöneylem araştırmacısı ya da bir matematikçi, ulaştırma ile ilgili bir problemin modelini oluştururken, bu konudaki bilgi düzeyinin yetersiz olması nedeniyle, sistemi yeterli ayrıntıda tanımlamakta güçlük çekebilmektedir. Diğer yandan, yüksek öğrenimini inşaat mühendisliği dalında yapmış olan bir araştırmacı da, ulaştırma planlamasına yönelik çalışmalarında, ekonomi, istatistik, yöneylem araştırması ve psikoloji gibi bilim dallarına başvurmak zorunda kalmaktadır.

Taşıt rotalaması ve çizelgelemesi(TRÇ), 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 yapan işletmelerin, bir yandan varlıklarını sürdürebilmek ve kıyasıya bir rekabet ortamında pazar paylarını yükseltebilmek için çaba gösterirlerken, diğer yandan varolan kaynaklarını en etkin düzeyde kullanarak, sürekli artan enerji, işçilik vb. maliyetleri de, en az düzeyde tutmaya çalışmaları gerekmektedir. Bu konu, sunulacak hizmetin daha ucuza maledilmesi ve ülke kaynaklarının etkin kullanılarak ulusal ekonomiye katkıda bulunulması açılarından, hem yolcu ve yük sahiplerini, hem de ülkeyi yakından ilgilendirmektedir.



Ülkemizde, TRÇ konusunun yeterli düzeyde araştırılmamış olması, bu çalışmanın yönlendirilmesinde etkili olmuştur.

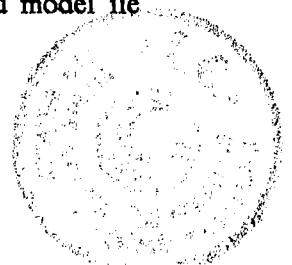
Ön çalışmalar sırasında yapılan geniş bir kaynak taraması sonunda, bu konudaki bilimsel temelin 1980'li yıllarda oluştuğu, ancak büyük boyutlu problemlerin çözüm yöntemlerinin, bilgisayar teknolojisi ile birlikte gelişme kaydettiği gözlenmiştir. İlerideki bölümlerde de görüleceği gibi, bugünkü bilgisayar kapasiteleri bile, büyük boyuttaki TRÇ problemlerinin salt kuramsal yöntemlerle çözülmesi konusunda yetersiz kalmaktadır.

Bu doktora çalışmasının başlıca iki amacı vardır. Bunlardan ilki, taşıt rotalaması ve çizelgelemesi(TRÇ) problemlerini incelemek ve bunların yapısal özelliklerini ortaya koymaktır. İkincisi, otobüs ile kentlerarası yolcu taşımacılığı(OKYT) için bir TRÇ modelinin geliştirilmesidir.

TRÇ ve problemleri, ulaştırma sisteminin ve bu sistemle etkileşim içinde olan çevre bileşenlerinin ele alınmalarını gerektirmektedir. Bu nedenle 2. Bölümde, önce ulaştırma sistemi ve çevresi ile bunlar arasındaki etkileşim, daha sonra sistemin girdi ve çıktıları incelenmiştir. Ardından, kentlerarası yolcu taşımacılığı(KYT) planlamasına yaklaşım sağlanabilmesi amacıyla, ulaştırma planlaması, KYT'na planlı yaklaşımın önemini ve bu alanda hizmet sunan bir işletmenin karar vermesi gereken konular üzerinde durulmuştur. Bölümün sonunda, KYT planlamasında kullanılan model tipleri tanıtılmıştır.

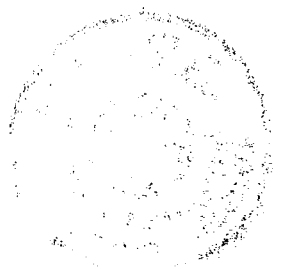
Üçüncü bölümde ilk olarak, ulaştırmanın istem ve sunu alanlarına göre TRÇ problemlerinin analiz edilmesini sağlayan bir yapısal çerçeve oluşturulmuştur. Bunun amacı, TRÇ problemlerinin yapısal özelliklerini, bir ulaştırmacının bakış açısıyla belirleyebilmektir. Nitekim daha sonra bu çerçeveye göre, KYT için TRÇ problemlerinin analizi yapılmıştır. Ayrıca, TRÇ problemlerinin en önemli girdisini oluşturan zaman çizelgelemesinin önemi, yeni bir başlık altında vurgulanmıştır. Son olarak, TRÇ için günümüze dek geliştirilmiş olan belli başlı model tipleri sunulmuş ve bunlar OKYT'da kullanılabilirlikleri açısından değerlendirilmiştir.

Dördüncü bölümde, kentlerarası otobüs taşımacılığı için bu doktora kapsamında geliştirilen ve üç alt modelden oluşan model tanıtılmakta ve OKYT-TRÇ problemlerinin bu model ile



çözölmesini sağlayan teknikler verilmektedir. Alt modellerden ilki olan TADAM ile, yolcuların zaman içindeki dağılımı, “ideal kalkış zamanları” na göre elde edilmektedir. Yolcuların ideal kalkış zamanları, ana kütleyi oluşturan yolcular arasından seçilen bir örnek ile anket yapılarak belirlenmektedir. İkinci alt model OLZAM, bir aday seferleri kümesinden, yolcuların seçimleri ve işletmecinin amacı dikkate alınarak, TRÇ’nin girdisi olan seferlerin seçimini gerçekleştiren bir modeldir. Yolcuların seçimleri logit bir model ile tahmin edildiğinden, normatif yapıda olan OLZAM modeline prediktif(öngörölse) bir özellik de katılmış olur. Sonuncu alt model SERÇİM, bir seferler kümesinin minimum maliyetle gerçekleştirilmesini sağlayan, tümölle normatif yapıdaki eşanlı bir taşıt rotalaması ve çizelgelemesi modelidir. TRÇ problemlerinin çözölümü, problemin boyutuna bağlı olarak farklı teknikler gerektirmektedir. Bu durum dikkate alınarak, bir tamsayılı programlama problemi olarak formölle edilen SERÇİM’de farklı çözölüm teknikleri sunulmuştur.

En son bölümde, doktora çalışması ile elde edilen sonuçlar ve bu alandaki çalışmaların sürdürölmesi amacıyla araştırmacılara bazı yol gösterici öneriler sunulmuştur.



2. KENTLERARASI YOLCU ULAŞTIRMASI İÇİN TAŞIMA PLANLAMASI

Bu bölümde, tez konusunu da kapsayan “Kentlerarası Yolcu Taşımacılığı Planlaması”na bir yaklaşım sağlanması amaçlanmıştır. Bunun için başlangıçta, ulaştırma sistemi ve çevresi tanımlanmış, bu ikisi arasındaki etkileşim, herbirinin girdileri ve çıktıları ile birlikte incelenmiştir. Daha sonra ulaştırma planlaması konusu ele alınarak, planlama konuları stratejik, taktik ve işletme düzeyleri içinde özetlenmiştir.

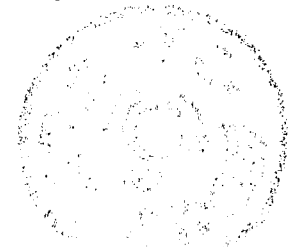
Bu bölümün ikinci kısmı, kentlerarası yolcu taşımacılığının planlaması konusuna ayrılmıştır. Önce, kentlerarası yolcu taşımacılığında planlama gereksinimine kısaca değinilmiş, ardından bu konudaki planlamanın yapısı ve etkili olduğu faktörler incelenmiştir. Daha sonra, kentlerarası yolcu taşımacılığı yapan bir işletmede karar verilmesi gereken konular, başka bir deyişle, taşıma planlamasının içinde doktora konusunun da bulunduğu aşamaları, etkili faktörleriyle birlikte kısaca tanımlanmaya çalışılmıştır.

Taşıma planlamasında kullanılan model tipleri, bu bölümün son konusunu oluşturmaktadır. Bu modeller, prediktif(öngörüsül), normatif ve sunucu davranışını tanımlayan model gruplarının çerçevesinde incelendikten sonra, eksik ve zayıf yönleri bakımından irdelenmiştir.

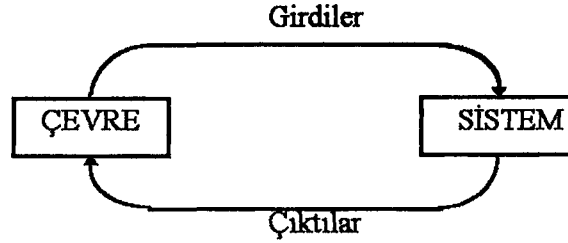
2.1 ULAŞTIRMA SİSTEMİ VE PLANLAMASI

2.1.1 Ulaştırma Sistemi

Sözlük anlamı olarak sistem, “düzenli ilişki ya da bağımlılık içinde bulunan nesneler kümesidir(Erel, 1987)”. Hutchinson(1974) sistemi, “eylemleri, özel hedef ve amaçlara yönelik girdiler altında yönlendirilebilecek şekilde organize edilen bileşenler kümesi” olarak tanımlamaktadır. Herbir sistem, kendi dışındaki bir “çevre” ile sürekli etkileşim içinde bulunmaktadır. Sistemin eylemleri ve bunların çevreye etkileri, sistem çıktılarını oluştururlar. Çıktılar, kaynağı çevre olan girdilerin bir fonksiyonudurlar. Hutchinson çevreyi de, “sistem dışında olan, sistemin davranışını etkileyen ve sistemin davranışından etkilenen bileşenler kümesi” olarak tanımlamıştır. Sistem ve çevresi arasında, Şekil 2.1’de görülen sürekli bir döngü söz konusudur. Çevre sisteme girdiler sunmakta, sistem bu girdilerden etkilenecek, çıktılarını



oluşturmakta, çıktılarından etkilenerek değişime uğrayan çevre de, yeni kimliği ile sistemi etkilemektedir. Bu döngüde çevre, bazen sistemin oluşturduğu değişimlere uyum göstererek, kendi içinde yeni bir denge kurabilmekte ise de, bazılarında uyum gösteremeyerek, olumsuz yönde yapısal değişikliklere uğrayabilmektedir.



Şekil 2-1. Sistem ve Çevre İlişkisi

Bir sistemin hedef ve amaçlara uygun olarak kurulabilmesi, sistem içindeki problemlerin çözülebilmesi, değişik koşullarda sistemdeki olası değişimlerin tahmin edilebilmesi ve sistemde değişiklikler yapılabilmesi için, o sistemi ve çevresini oluşturan bileşenlerin birbirleriyle olan ilişki ve etkileşimlerinin yanısıra, sistem çıktılarına olan etkilerinin araştırılması ve belirlenmesi gerekir.

Mannheim (1979), ulaştırma sistemini, “İnsan ve eşyaların belirli ve iyi tanımlanmış bir şekilde ulaşımı ile ilgili tüm fiziksel, sosyal, ekonomik ve kurumsal bileşenlerin bir araya getirilmesiyle oluşan bir küme” olarak tanımlamaktadır. Bu sistem; yol ağı, taşıt filosu, işletme, terminaller gibi bileşenlerden oluşur. Ulaştırma sistemini en çok etkileyen çevre özellikleri; nüfus yoğunluğu ve karakteri, arazi kullanımı, sosyo-ekonomik yapı, topoğrafik ve jeolojik yapı, iklim koşulları, ekolojik yapı, ülke ve bölgelerin yönetsel yapıları vb. dir. Ulaştırma sistemi, çevresini önemli boyutlarda etkileyen ve denge sorunları yaratan sistemlerden birisidir.

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

- Ulaşım İstemi,
- Yasa ve Yönetmelikler,
- Yönetimsel Kararlar ve



- Kaynaklar ve Kısıtları

olmak üzere dört grupta incelenebilir. Ulaşım istemi kavramının kapsamına, aktivite merkezleri arasında yer değiştirmek isteyen insan miktarının ve yeri değiştirilmek istenen yük miktarının yanısıra, arzu edilen ulaşım koşulları ve bunların zaman içindeki değişimleri de girmektedir. İnsanlar, fiziksel, psikolojik, kültürel ve sosyo-ekonomik bakımlardan farklı özelliklerde olduklarından, ulaştırma sistemi ile ilgili gereksinimleri ve beklentileri de farklı olmaktadır. Ayrıca, taşınacak yükler için de, yükün miktarına ve türüne bağlı olarak, değişik ulaşım koşulları gerekebilir. Bu nedenle, ulaşım isteminin belirlenmesi karmaşık ve zahmetli bir iş olup, ayrıntılı bir analizi gerektirir.

Bir ülkenin diğer sektörlerinde olduğu gibi, ulaştırma sektörü için de belirli yasa ve yönetmeliklere gereksinim duyulur. Bunlar, ülkenin güvenliği ve gelişmesi, doğanın korunması, toplum için güvenli ve çağdaş düzeydeki ulaşım olanaklarının sağlanması, can ve mal güvenliği, işletmeler arasında haksız rekabetin önlenmesi vb. amaçlarla hazırlanan tanımlamaları, kısıtları, kuralları ve düzenlemeleri içerirler.

Ülke ve kent yönetimleri, önceden yapılmış yasa ve yönetmeliklerdeki değişiklik ve eklemelerin yanısıra, kendi ulaştırma politikalarını gerçekleştirecek bazı kararlar alarak, uygulamaya sokabilirler. Ancak bu konuda en doğru olanı, siyasi düşünce ve amaçların üstündeki, ülkenin, kentlerin ve toplumun yararlarını ön planda tutan bir ulaştırma stratejisinin güdülmesidir. Buna uymayan kararlar, önemli boyutlardaki emek, zaman ve para kaybına neden olmaları dışında, sağlıklı bir ulaştırma sisteminin oluşturulmasını da geciktirebilirler.

Kaynaklar ve kısıtlar gurubunun içine, sistemin kurulması ve işletilmesi aşamaları için gerekli olan sermaye, insan emeği, enerji kaynakları ve teknoloji ile, doğal (coğrafik, topoğrafik, jeolojik, ekolojik), ekonomik ve sosyal kısıtlar girmektedir. Aslında her bir kaynak için, elde edilebilirliği, miktarı ve maliyeti bakımından bir kısıt sözkonusu olabilir. Benzer şekilde, doğal kısıtların yanısıra, deniz ve akarsu ulaşımı olanakları ve yapım maliyetini düşüren düz bir arazi, birer doğal olanak, kaynak olarak nitelendirilebilir.

Ulaştırma sisteminin çıktıları, “sunu” ve “etkiler” olarak iki grupta toplanabilir. Sunu grubu içine, ulaşım ağı ve bu ağ boyunca sunulan seyir koşulları, işletmeler tarafından sunulan



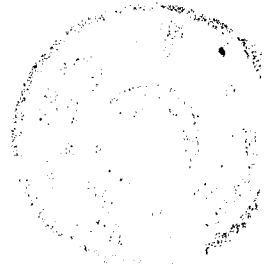
hizmetin özellikleri girmektedir. Etkiler grubu ise, ulaştırma sisteminin çevreye yaptığı olumlu ve olumsuz etkileri kapsamaktadır.

Karayolu, demiryolu, boru hatları, deniz ve havayolu gibi ulaştırma alt sistemlerine ait ulaşım ağının boyutları ile, denizyolu ve havayoluna ait rıhtım ve limanlarının mekansal dağılımları ve kapasiteleri, bölgelere, kentlere ve aktivite merkezlerine erişim olanaklarını sunmaktadırlar. Kara ulaşımı alt sistemlerinin ağlarını oluşturan yolların geometrik ve fiziksel özellikleri ile akarsu ve kanalların özellikleri ve bunların denetimleri, özel taşıt sahipleri ve ulaştırma hizmeti veren işletmeler için, kapasite, hız ve güvenlik gibi seyir koşullarını belirlemektedirler.

Sunu grubundaki diğer çıktılar, taşımacılık yapan işletmelerin hedef ve amaçlarına yönelik olarak pazara sundukları taşıma ağları, kapasiteleri, hizmet düzeyleri ve taşıma ücretleri ile, bu hizmeti gerçekleştirebilmek için tükettikleri kaynaklardır. Hizmet düzeyi ise, erişilebilirlik, sıklık, ulaşım süresi, konfor, dakiklık ve güvenlik gibi niteliklerle ölçülmektedir. Bu çıktılar, işletmelerin kamu ya da özel kurum olmalarına göre önemli farklılıklar gösterebilmektedir. Bu konudan ilerdeki bölümlerde tekrar sözedilecektir.

“Etkiler” olarak adlandırılan ikinci çıktı grubunun içine, erişilebilirlikteki, ulaşım maliyetlerindeki ve dolayısıyla taşınır-taşımaz malların değerlerindeki değişimler, gürültü, hava-toprak-su kirlenmesi gibi, olumlu ve olumsuz etkiler girmektedir(Erel, 1995) .

Bir ülke ya da kentin ulaşım ağının oluşturulması, korunması ve denetimi konularındaki karar verme ve uygulama yetkileri, genellikle o ülke ya da kentin yönetimlerine verilmiştir. Bu konulardaki kararlar alınmadan önce, yukarıda sözü edilen sistem girdilerini ayrıntılı olarak analiz ederek, hedef ve amaçları en yüksek düzeyde gerçekleştirilebilecek ve, kaynak tüketimi ile, yukarıda değinilen olumsuz çıktıların boyutlarını en aza indirilebilecek seçenekleri araştıran ve değerlendiren bir planlama çalışmasının yapılması gerektiği kuşkusuzdur. Aynı gereksinim, yolcu ve yük taşımacılığı yapan işletmeler için de sözkonusudur.



2.1.2 Ulaştırma Planlaması

Sözlük anlamı olarak planlama, bir amaca ulaşmak için izlenen yoldur. Planlama, “belirli bir amaca yönelik bir problemi, belirli kısıtlar altında, optimal düzeyde çözme eylemi” olarak tanımlanabilir(Erel, 1987). Ulaştırma sisteminde birden fazla ve birbiriyle ilişkili problemler ile karşılaşılması, bu sistemin planlamasını 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 başarılmaması gereken

karmaşık bir karar verme süreci olarak tanımlamaktadır .

Ulaştırma planlamasındaki problemlerin herbiri, gerek ulaştırma sistemi ve gerekse çevre ile ilgili çok sayıda değişken içermektedir. Her problemde çok sayıda değişkenin birarada ele alınması, problemin yapısını karmaşık kılarak çözümünü zorlaştırdığı gibi, aynı zamanda gereksiz bir işlemdir. Örneğin bir işletmecinin, gelecekteki stratejilerini belirlerken, demografik değişimi dikkate alması doğaldır; ancak kısa vadeli aktivitelerini organize ederken, bu değişimi hesaba katması beklenilmez. Duruma, içeriğe ve bakış açısına bağlı olarak, planlamada farklı düzeyler oluşturulması; problemlerin daha anlaşılır duruma getirilmesine, etkili faktörlerden nelerin belirli, nelerin değişken olarak kabul edileceği konusunda karar verilmesine ve bir problemin planlamadaki konumunun belirlenmesine yardımcı olacaktır.

Florian ve arkadaşları(1988), ulaştırma planlamasının aşamalarını, kapsamalarına, ayrıntı düzeylerine, sabit ve değişken faktörlerine, zaman boyutlarına, finansal maliyetlerine ve karar verme düzeylerine göre, aşağıdaki 3 grup içinde ele alınmasını önermektedirler.

- Stratejik düzey,
- Taktik düzey,



- İşletme düzeyi

En uzun vadeli ve en bütünsel 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 gözönünde 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 yönetimlerin politika ve stratejileridir. Bu düzeydeki problemler genellikle,

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

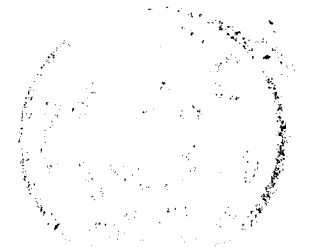
gibi konular ile ilgilidir.

Taktik planlama, orta vadeli bir süreci kapsar ve bu düzey, 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, taşıma ücretleri vb. konulardaki kurumsal kısıtların dikkate alınması gerekmektedir. Bu düzeyde en çok ele alınan problemler,

- Hizmet frekanslarının belirlenmesi,
- Taşıt ve personel rota ve çizelgelerinin oluşturulması,
- Hizmet düzeyinin ve taşıma ücretlerinin belirlenmesi,
- Yol ve taşıtlar ile ilgili bakım planlamalarının yapılması

konularıyla ilgilidir.

En dar ve en ayrıntılı bakış açısına sahip olan işletme düzeyinde, çok kısa süreli problemlerin çözülmesi, aktivitelerin günlük ya da haftalık olarak organize edilmesi söz konusudur.



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.

Daha önce de belirtildiği gibi, bu düzeyler, ulaştırma planlaması ve problemlerini dar bir kalıba sokup, şekillendirmeye yönelik değildir. Bunların verilmesindeki amaç, ulaştırma planlamasının hiyerarşik bir karar verme süreci olduğunu ve hiyerarşinin en üst düzeyinde hemen hemen herşeyin değişken, en alt düzeyinde birçok değişkenin belirlenmiş olduğunu vurgulamak içindir. Elbette, iki sınır düzey arasında yer alan problemlerde, hangi faktörlerin belirli, hangilerinin değişken olduğuna karar verilmesi gerekmektedir.

2.2 KENTLERARASI YOLCU TAŞIMACILIĞININ PLANLANMASI

Yukarıda, ulaştırma sisteminin, yol ağı, taşıt filosu, işletme ve terminaller gibi bileşenlerden oluştuğu belirtilmişti. İnsanların bir yol ağı üzerindeki noktalar arasındaki ulaşimleri, ya kişilerin özel araçları ile, istedikleri noktalar arasında, istedikleri zamanlarda ve istedikleri yolu kullanarak seyirleri ile; ya da toplu taşımacılık yapan işletmelerin belirli noktalar arasında, belirli güzergahlar boyunca ve belirli zamanlarda sundukları taşımacılık hizmetinden yararlanmaları ile gerçekleştirilebilir. Çalışma konusunun dışında olan ilk seçenek, tek taşıtlı ve tek kişilik bireysel bir işletme olarak tanımlanabilir. Toplu taşımacılık hizmeti ise, özel işletmeler ile, tümüyle ya da kısmen merkezi ve yerel yönetimlere bağlı olan işletmeler tarafından sunulmaktadır. Merkezi ve yerel yönetimlere ait işletmelerin temel amacı, insanların ülke ve kentlerdeki aktivite merkezlerine erişebilirliklerini kolaylaştırmak, iyileştirmek ve oralara diğer hizmetlerin ulaşmasını sağlamaktır. Diğer bir amaç da, bu hizmetin -kâr amacı güdülmese bile- en düşük maliyetle gerçekleştirilmesidir. Özel işletmeler ise, sundukları hizmetin karşılığı olarak kâr elde etmeyi amaçlarlar. Bu amacın gerçekleştirilmesi için, taşımacılık maliyetlerinin minimize edilmesi, yolculardan elde edilen gelirin de maksimize edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada ilke olarak, yolcu taşımacılığı yapan kurumlar için, yönetimlere ya da özel işletmelere ait olması konusunda ayırım yapılmayacak, geliştirilecek modellerin her iki tür için de kullanılabilir olmasına özen gösterilecektir.

Bir ulaştırma sisteminde, değişik ulaştırma alt sistemleri ile toplu taşımacılık yapan çok sayıda işletme bulunabilir. Bunların herbirinin, kendi hedef, amaç ve stratejileri doğrultusunda,



hizmet sunacakları ulaşım ağını, taşıtlarının izleyecekleri rotaları, seferlerin kalkış-varış zamanlarını, hizmet kalitesini ve taşıma ücretlerini belirleyerek, bunlara uygun bir taşımacılığı sürdürmeleri gerekmektedir.

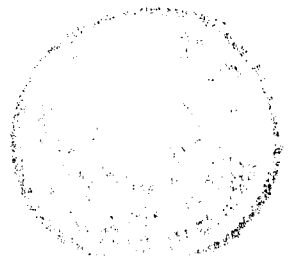
Ulaştırma planlamacıları ve yöneticileri, daha düşük maliyetlerle daha çok ve daha iyi hizmetler sağlamaları konularında baskı altında tutulmalarının yanısıra, karmaşık ve değişken bir çevre ile yüzyüze kalmaktadırlar. Ayrıca, uzun ve orta süreli planlamalardan kısa süreli işletmesel eylemlere kadar, değişik düzeylerde kararlar almaları gerekmektedir. Tüm kararların, birbirlerinden etkilenen, dolaysız ya da dolaylı birçok 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, varolan hizmet ve tesisleri de çok ayrıntılı olarak inceleyip, kontrol etmeleri, yeni hizmet ve tesisleri çok dikkatli tasarlamaları gerekmektedir.

Bölüm 1.1’de belirtildiği gibi, ülkemizde, otobüs taşımacılığının yönetimlerce yeterli ölçüde denetlenmemesi, bu işi yapan işletmelere bir eylem özgürlüğü sağlamıştır. Bu durum, haksız rekabet ortamını doğurarak, kaliteli ulaşım olanakları sunan işletmelerin, düşük hizmet düzeyi ve düşük ücretlerle taşımacılık yapan küçük işletmelerle karşı karşıya gelmelerine neden olmuştur.

Ekonomik ve sosyal gelişmeye koşut olarak, zaman değeri artmaya başlayan ülkemizde havayolu ulaşımını seçenlerin sayısında da artış olmuş, iç hatlarda taşımacılık yapan ve bu pazarı paylaşmak isteyen yeni işletmeler kurulmuştur. Diğer yandan, ulaşım ağı, taşıt filosu ve işletme koşullarında kayda değer bir gelişme gösteremeyen 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.

2.2.1 Kentlerarası Yolcu Taşımacılığı Planlamasının Yapısı ve Etkili Faktörler

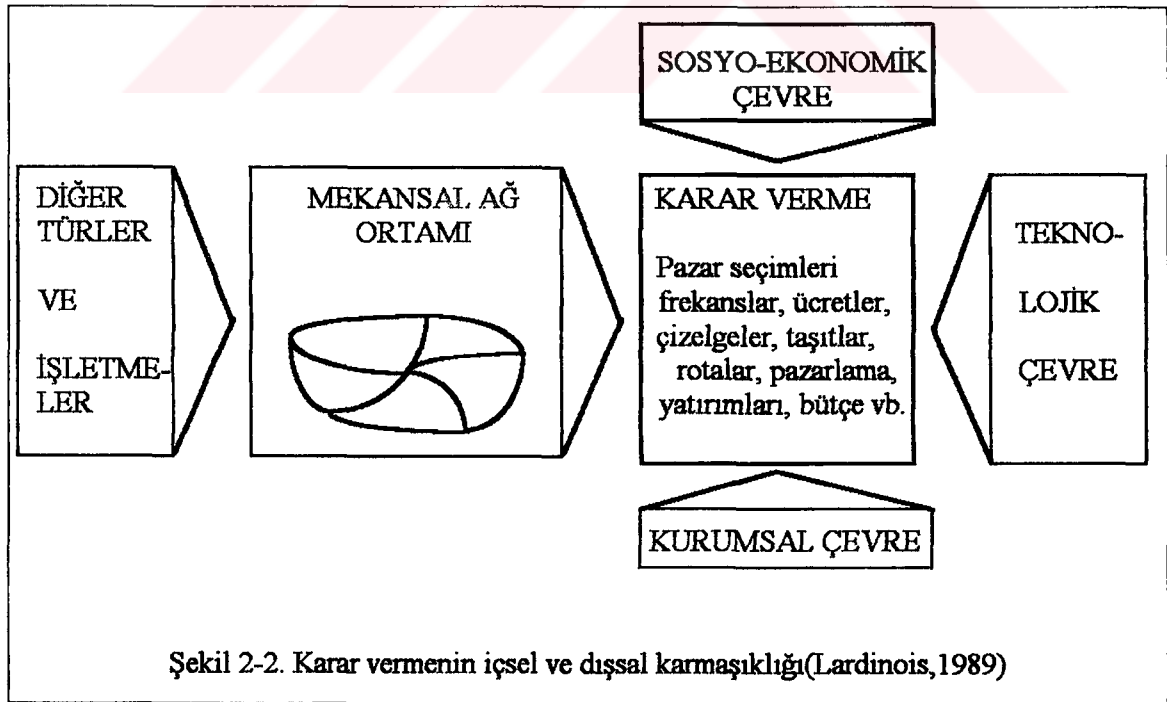
Kentlerarası yolcu taşımacılığı yapan bir kamu ya da özel işletmesinde, planlama ve yönetimin zorluğu, hem karar verme sürecinin. hem de içinde bulunulan çevrenin(ortamın)



karmaşıklığından kaynaklanır. Lardinois(1989), bu “içsel” ve “dışsal” karmaşıklıkları, Şekil 2.2’deki şema yardımı ile şöyle anlatmaktadır:

“Bir ulaştırma işletmesi bir vakum içinde işletilemez. Diğer endüstri sektörlerindeki çoğu işletmenin aksine, ulaştırma işletmesi mekansal bir ağ ile bağımlıdır. Bu ağ boyutu, diğer endüstrilerle karşılaştırmada büyük bir farklılık oluşturur. Çünkü neyin sunu, neyin istem olduğunun ve bunların ağ üzerinde nasıl dengeleneceğinin anlaşılması, açıklanması ve modellenmesi, kuramsal olarak zordur.

Taşıma ücretleri ve (yolculuk süreleri, çizelgeler, taşıt konforu ile, yer bulamama ve bekleme gibi yığılma etkileri vb.) diğer ulaştırma hizmet nitelikleri, ağırlıklandırılmaları ya da birbirlerinden ayrı ele alınabilmeleri zor olan “sunu karakteristikleri” dir. Ayrıca, bu karakteristiklerin bazıları ölçülemezler. Sununun para ile ölçülemeyen özelliklerinin bazıları, hem sunucunun kararlarına, hem de müşterinin tepkilerine bağlıdır. Zira (yolculuk süresi, bekleme süresi, yer bulma olasılığı vb.) hizmet düzeyleri, güncel istemin artışıyla kötüleşebilir. Üstelik, aynı pazarda farklı işletmeler rekabet ediyorsa, her işletmenin hizmet düzeyi, diğer işletmelerin pazar paylarından ve sundukları hizmet düzeylerinden etkilenebilir.



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

- a) Hizmet düzeyleri,
- b) Hizmeti gerçekleştirmek için tüketilen kaynaklar,
- c) Ağ üzerinde hareket eden trafik hacimleri

ile tanımlandığı düşünüldüğünde, bu 3 sunu boyutunun, karmaşık ve değişim içindeki çevrenin kısıtlarından ve baskılarından bağımsız olmadığı da unutulmamalıdır. Bu ilişkilerin açıkça anlaşılması, kararların ve çevrenin birleşik etkilerinin,

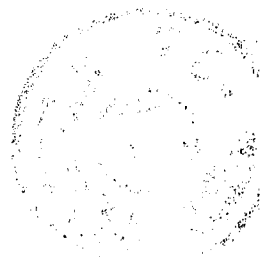
- maliyet minimizasyonu,
- pazar payının maksimizasyonu,
- kârın maksimizasyonu

gibi amaçların gerçekleştirilmesinde nasıl etki yapabileceklerinin tahmin edilmesi için bir ön gereksinimdir. Örneğin, enerji ücretindeki bir büyük artış, havayolu taşıma ücretlerindeki büyük bir artışa ve dolayısıyla hava endüstrisinin pazar payının ve kârının azalmasına neden olabilir. Oysa bu artış, enerji maliyetinin toplam işletme maliyeti içindeki oranı, havayoluna göre daha küçük olan otobüs endüstrisinde daha az olacaktır. Bu durumda, havayolundan otobüse olan kayma ile, otobüs işletmelerinin pazar payları ve kârları artabilecektir. ”

2.2.2 Kentlerarası Yolcu Taşıma Planlamasının Aşamaları

Kentlerarası yolcu taşımacılığı yapan bir işletmede, karar verilmesi gereken en önemli konular şunlardır:

- Taşımacılık yapılacak ağın belirlenmesi,



- Hizmet düzeyi(yolculuk süresi, konfor vb. yolculuk özellikleri) ve taşıma ücretlerinin belirlenmesi,
- Zaman çizelgelemesi (ulaştırma hizmetinin verileceği kentler kümesinde taşıtların kalkış ve dolayısıyla varış zamanlarının belirlenmesi),
- Taşıt rotalaması ve çizelgelemesi (taşıt hareketlerinin mekansal ve zamansal olarak sıralandırılması),
- Taşıt personelinin rotalaması ve çizelgelemesi (hangi taşıtlara hangi personelin atanacağını belirlenmesi).

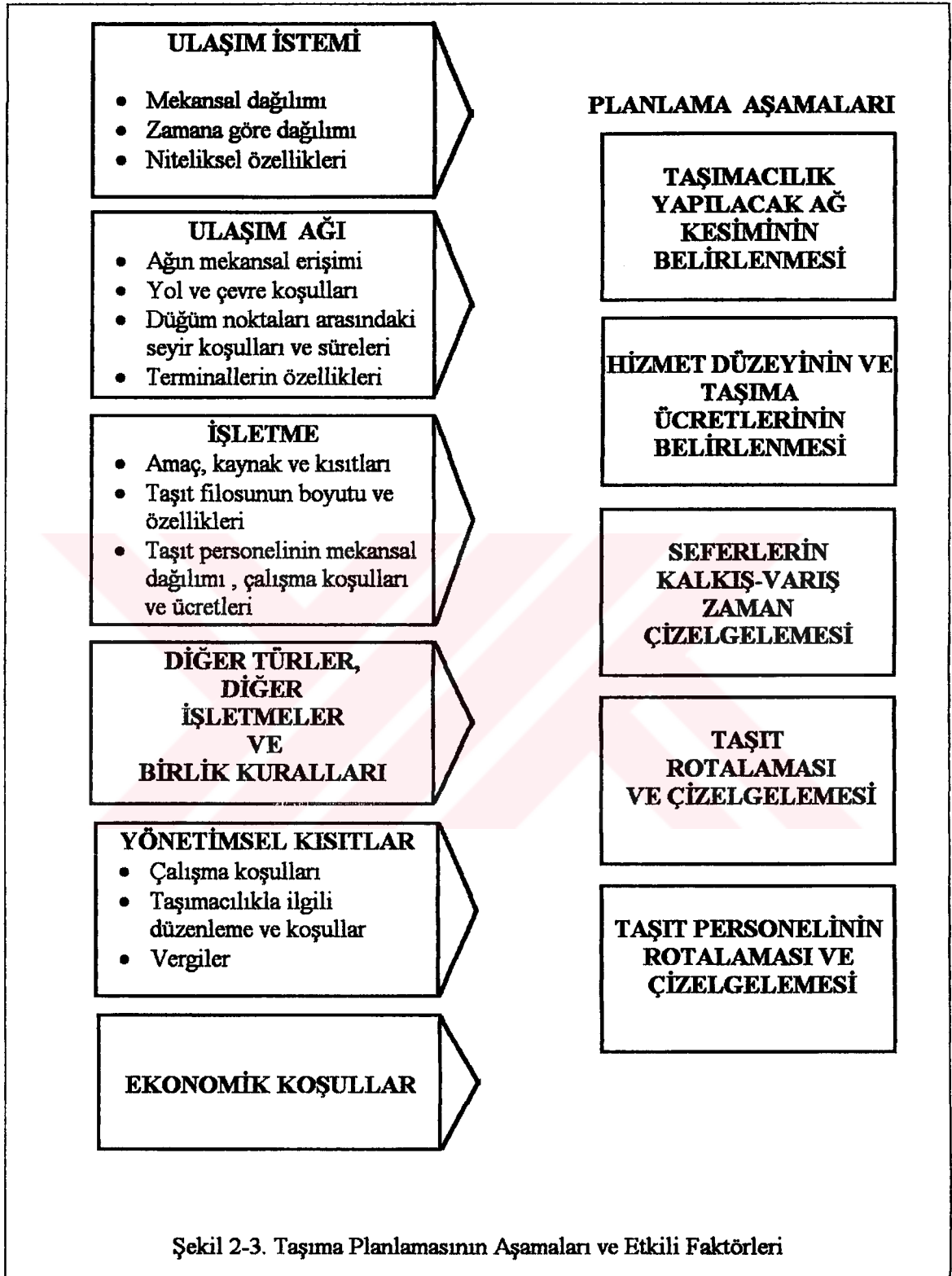
Bu konular, aynı zamanda taşıma planlamasının aşamalarını da tanımlamaktadırlar. Bu aşamalar ve etkilendikleri faktörler, Ceder ve Wilson(1986) tarafından verilen bir planlama şemasının genişletilmiş biçimi ile, Şekil 2.3’de özetlenmeye çalışılmıştır.

Bu şekilde de görüleceği gibi, bazı girdiler değişik planlama aşamalarında tekrarlanmaktadır. Aşağıda incelenecek olan bu aşamalardan bazılarının çıktıları, bir diğerinin girdisi olabilmekte ve onun çıktılarını etkilemektedir.

2.2.2.1 Taşımacılık Yapılacak Ağ Kesiminin Belirlenmesi

Bir kamu ya da özel taşımacılık işletmesinin ulaşım ağı içinde hizmet götüreceği bölgeyi belirlemede en çok etkili olan faktörler şunlardır :

- Ulaşım isteminin mekansal ve niteliksel dağılımı,
- Varolan ulaşım sunusunun özellikleri,
- Ağ boyunca çevre ve yol koşulları,
- İşletmenin amaç, kaynak ve kısıtları,
- Yönetimsel kısıtlar.



Taşımacılık yapılacak ağın seçim ölçütleri ve bu ölçütlerin karar vermedeki ağırlıkları, işletmenin bir kamu kuruluşu ya da özel kuruluş olması durumlarında farklı olabilir. Çünkü bu iki tür kuruluşun amaç, kaynak ve kısıtları genelde aynı değildir. Ancak her ikisi için de önemli olan bir sorun, varolan ulaşım sunusunun niteliksel ve/veya niceliksel olarak yeterli olmamasıdır. Çevre ve yol koşulları, sunulacak ulaşım hizmetin düzeyi, kaynak tüketimi ve maliyetler konusunda etkilidir. Bunların dışında, yönetim tarafından, bir bölgede taşımacılık yapmak isteyen işletmelerden, taşıma ağının içine -yararlı ya da kârlı olmasa bile- bazı aktivite merkezlerini de katmaları istenebilir. Ağın belirlenmesinde, günümüzde “pazar araştırması” adı verilen bir ön incelemenin ve değerlendirmenin yapılması gerekmektedir.

2.2.2.2 Hizmet Düzeyinin ve Taşıma Ücretlerinin Belirlenmesi

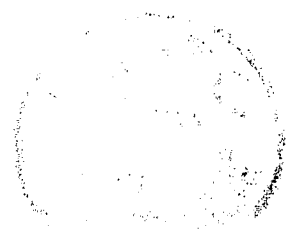
Taşıma ücretleri, çoğu ülkede bir alt sistem türünün, bir işletmenin ya da bir seferin seçilmesinde en önemli rolü oynar. Toplu taşıma araçları ile yapılacak yolculuk kararlarında, ücretin yanı sıra, yolculuk süresi, güvenlik, sıklık, dakiklik ve konfor gibi hizmet özellikleri de, farklı ağırlıklarda etkili olmaktadır. Yolcular, sosyal ve ekonomik koşulları iyileştikçe ve zamanlarının değerleri yükseldikçe, sunulan hizmet düzeyindeki artışa karşılık olarak daha fazla bir para ödemeye istekli duruma gelmektedirler. Sunulacak hizmet düzeyi ve istenecek ücret konusunda,

- * Yolcuların gelir düzeyleri,
- * Ulaşım isteminin niteliksel(süre, sıklık, konfor, vb.) özellikleri ,
- * İşletmenin amaç, kaynak ve kısıtları,
- * Maliyetler,

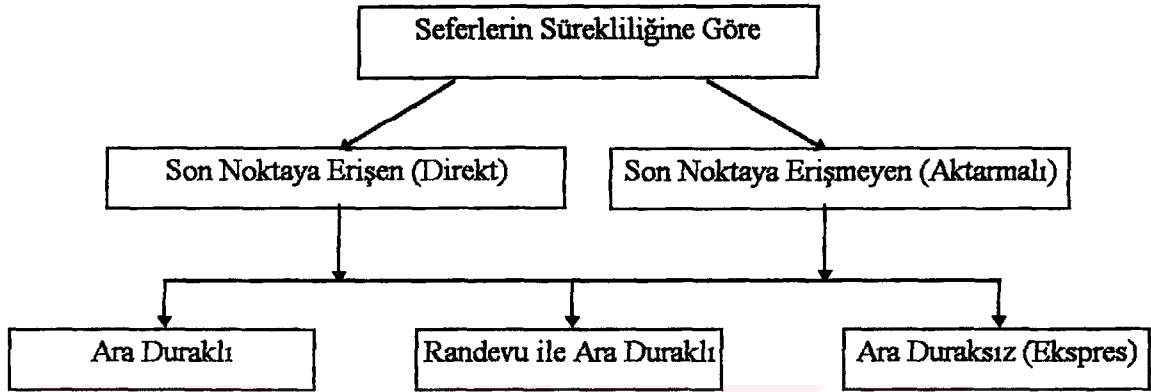
birincil etkiye sahip olan faktörlerdir.

2.2.2.3 Seferlerin Kalkış-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(Lehmann, 1978). İki nokta



arasında sunulacak bir taşımacılık hizmetinde, direkt, ara duraklı ya da aktarmalı seferler planlanabilir(Şekil 2.4). Bazı durumlarda yalnızca belirli miktarda istemin bulunduğu ara noktalarda, yolcu bırakma ve/veya alma amaçları ile duruş yapılabilir.



Şekil 2-4. Seferlerin Sürekliliğine Göre Taşımacılık Türleri

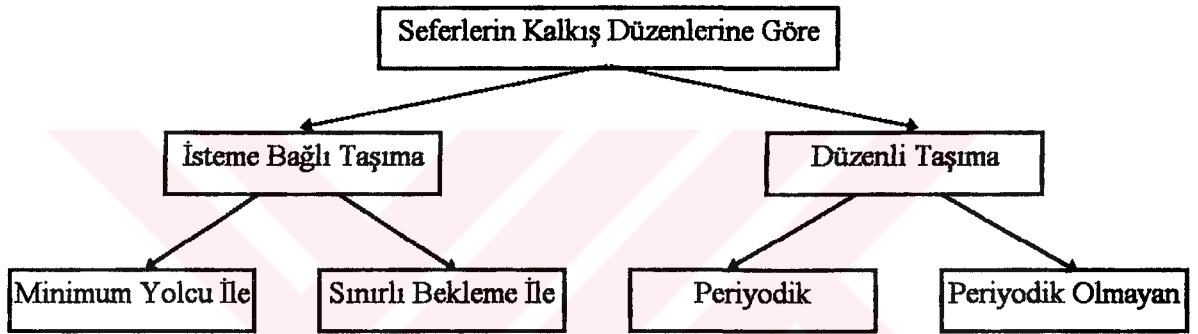
Bu seferlerin başlama ya da kalkışları ise, ya önceden belirli bir zaman süreci için hazırlanmış olan Kalkış-Variş Zaman Çizelgelemesi'ne uygun olarak, ya da “minimum yolcu” ve “sınırlı bekleme” koşullarından birisine ya da her ikisine birden uyularak gerçekleştirilebilir (Şekil 2.5). Bu işletmecilik şekillerinden her ikisinde de isteme göre planlama yapılacağı kuşkusuzdur. Uluslararası 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 istemine göre belirlenen maksimum bir bekleme süresi ile sınırlandırılır. Diğer yandan, önceden düzenlenen bir zaman çizelgesine uyularak yapılan düzenli işletmede çekicilik daha fazladır. Buna karşın her bir sefere çekilebilecek yolcu sayısı konusundaki risk daha yüksektir.

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

a) Kalkış yeri ile zamanının,

- b) Ara durak yerleri ile uğranılacak zamanların,
c) Varış yeri ile zamanının

belirlenmesi işlemidir. Bir zaman çizelgesi genel olarak, taşımacılığın düzenli olarak gerçekleştirilmesi, taşınacak yolcu sayısının ve/ya da elde edilecek gelirin maksimize edilmesi amaçlarına yönelik olarak hazırlanmaktadır.

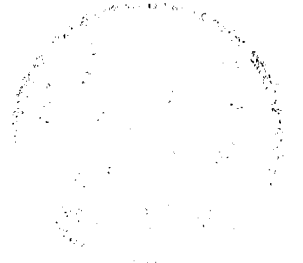


Şekil 2-5. Seferlerin Kalkış Düzenlerine Göre Taşımacılık Türleri

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

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

İki nokta arasında herhangi bir yolculuk isteminin bulunmadığı zamanlarda, bu iki nokta arasında sefer konulmasının, ne hizmet ne de parasal kazanç amaçlarını gerçekleştiremeyeceği açıktır. Sefer saatleri, “en azından maliyeti karşılansın” düşüncesine göre düzenlense bile,



bunun için gerekli yolcu sayısının oluşabileceği zamanların araştırılması ve tahmin edilmesi gerekmektedir. Ulaşım isteminin çok sayıdaki faktörlere bağlı olan stokastik bir olgu olduğu ve gün, hafta ve mevsimlere göre değiştiği gözönünde tutulursa, bu işin hiç de kolay olmadığı ortaya çıkar. Bu konuda karar vermeye yardımcı olabilecek tek yordam, 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 özelliklerinin 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 önce varmak isteyen bir yolcunun kabul edebileceği en geç kalkış zamanının, güneşin batış zamanından yolculuk süresi kadar erken bir saat olacağı açıktır.

Yönetimler, ülkenin sosyo-ekonomik düzeyi konusunda mekansal dengenin sağlanabilmesi amacıyla, bazı bölgelere sağlanacak ulaşım hizmetinin frekansı ile ilgili alt sınırlar koyabilirler. Örneğin, okulu ya da hastanesi bulunmayan bir yerleşim birimi ile, bu olanakların bulunabileceği diğer bir yerleşim birimi arasında, “günde en az iki karşılıklı seferin yapılması” gibi bir koşul konabilir.

Zaman çizelgelemesi, çalışma konusu ile çok ilgili olduğundan, 3. ve 4. Bölüm’de daha ayrıntılı olarak yeniden incelenecektir.

2.2.2.4 Taşıt Rotalaması ve Çizelgelemesi (TRÇ)

Taşıt rotalaması taşıt hareketlerinin mekansal olarak, taşıt çizelgelemesi ise taşıt hareketlerinin zamansal olarak sıralandırılmasıdır. Bir taşıtın izleyeceği rota¹ ile, bu rota

¹ Rota sözcüğü, ingilizcede “route”, fransızcada “itinéraire” sözcüklerinin karşılığı olarak kullanılmaktadır.

boyunca hangi zamanlarda nerelerde bulunacağı konuları, birbirleri ile çok yakından ilişkilidir. Doğal olarak, bu konulardaki kararlar da, genellikle birlikte ya da -en azından- bir diğerine bağlı olarak verilebilmektedir. Bu kararlarda, çoğu durumda taşıt ile ilgili işletme maliyetlerinin ve taşıt sayısının minimize edilmesi gibi amaçlar sözkonusu olduğundan, taşıt rotalaması ve çizelgelemesinin, optimizasyon problemleri olarak ele alınması gerekmektedir.

TRÇ problemlerinin ana girdisi, yukarıda verilen tanımdan da anlaşılacağı gibi, seferler kümesidir. Bu seferler, mutlaka birer taşıt tarafından gerçekleştirilecekleri için, “görevler” olarak da tanımlanmaktadır. TRÇ, zaman çizelgelemesini izleyen ardışık aşamadır. Ancak bu hiyerarşi, zaman çizelgelemesinin TRÇ den etkilenmediği anlamına gelmez.

TRÇ problemlerinde minimize edilecek taşıt ile ilgili maliyetler, taşıtların elde edilme, boş bekletilme, görevler kümesi 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 bir sıralaması” olup, aynı zamanda seferler kümesini gerçekleştirecek taşıt sayısını da vermektedir. Eğer gerekli olan yedek taşıt sayısı tahmin edilirse, filo boyutu belirlenmiş olur. Bu aşama Bölüm 3’ de daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

2.2.2.5 Taşıt Personelinin Rotalaması ve Çizelgelemesi

Personel rotalaması ve çizelgelemesinde (PRÇ) temel düşünce, taşıt rotalaması ve çizelgelemesinde olduğu gibi, taşıt personelinin hareketini, belirli amaç ve kısıtlara uygun olarak sıralamaktır. PRÇ problemleri, yapı olarak TRÇ problemlerine benzerdir. Ancak personelin dinlenme araları, çalışma süreleri, fazla mesailer vb. konularla ilgili sınırlar, problemlerdeki kısıt sayısını arttırmaktadır. Bu nedenle, TRÇ’ye göre biraz daha karışık yapıdadırlar.

Aslında personel ve taşıt RÇ problemleri, birbiriyle yakından ilişkilidirler. Örneğin sınırlı olan taşıt sayısı, personel sayısını etkiler. Bunun tersi de geçerlidir. Ancak bu iki problemi tek bir problem olarak çözmek oldukça zordur. Oysa, her ikisinin birbirinden bağımsız olarak çözülmesi de pek kolay değildir. Bu nedenle, önce taşıt rotalama ve çizelgelemesi, ardından personel rotalama ve çizelgelemesi yapılabilir. Bununla birlikte, taşıt maliyetleri kadar, personel

maliyetlerinin de çok önemli olduğu problemlerde, olanaklı ise her ikisinin birlikte çözülmesi daha gerçekçidir.

Taşıtlardan bağımsız olarak ele alınacak olan bir PRÇ problemi için girdiler kümesi, ilgili olan TRÇ probleminin çıktısı olan, taşıt çizelgesidir. Herbir taşıt çizelgesi, personelin çalışma süresi ve dinlenme araları gibi faktörlere bağlı olarak, birkaç aralığa bölünebilir. Herbir aralığın ayrım noktası, taşıttaki personelin başka bir personel ile değiştirilebileceği yere karşılık gelmektedir. Böyle bir problemin amacı, büyük bir olasılıkla personel maliyetlerinin minimize edilmesidir. Çıktısı ise, personelin hangi taşıtlara atandığıdır.

2.2.3 Taşıma Planlamasında Kullanılan Model Tipleri

Kentlerarası ulaştırma ile ilgili karar vericilerin, alabilecekleri tüm olası kararların çok sayıdaki etkilerini anlayabilmeleri, ya 1/1 ölçeğinde deneme yapmaları, ya da bir model yardımıyla çalışmaları gerekmektedir. Birinci yol, çok pahalı olmasının yanısıra, varolan ulaşım olanaklarının da aksamasına yol açabilir. Ulaştırma modellemesi ise, planlamacılar, yöneticiler ve bilim adamları tarafından çok sık kullanılan incelikli bir tekniktir. Modelleme, aralarında neden-sonuç ilişkisi olan birkaç problemin, değişik karar seçenekleri ve ağ boyutundaki etkileri ile birlikte ele alınabildiği, gerçek durumlarda ortaya çıkacak etkilerin tahmin edilmesini ve belirli amaçlara ulaşmak için uygun çözüm seçeneklerinin araştırılmasını sağlayan, bir yol göstericidir.

Kentlerarası yolcu ulaştırması sektöründe, ulaştırma planlaması konusundaki ilk araştırmalar, yolculuk istem modellerinin geliştirilmesi ve kalibrasyonu üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu modeller ya arzu edilen yolculukların sayılarının tahmin edilmesi için, ya da sunu ile ilgili tüm teknolojik ve işletme karakteristikleri belli olduğunda, hizmet düzeyi, ücret, vb. değişkenler yardımıyla bir ulaştırma türünün pazar payının tahmin edilmesi için geliştirilirler. Son yıllarda bu modellerle ilgili önemli yöntembilimsel gelişmeler olmuştur. Ancak bu modellerin ulaştırma işletmelerine aşağıdaki konularda fazla yararları yoktur:

- Duyarlı bir pazar yerinde, rekabet eden türlerin ya da işletmelerin olası stratejilerini değerlendirme,

- Yeni hizmet hatlarının seçilmesi ya da varolanların kaldırılması,
- Geniş ve karmaşık ağlarda taşıt çizelgelerinin ve trafik akımlarının planlanması,
- Taşıtların satın alınması ya da kiralanması,
- Etkili hizmet ve ücret düzeyleri konularındaki ayrıntılı kararların alınması,

Ulaştırma tesisleri ve hizmetleri ile, bunların yönetimleri ve denetimlerinin planlanması konularında etkili karar verme için, özellikle sunu eylem ve politikaları ile ilgili olan bilimsel yaklaşımlara ve yöntemlere gereksinim vardır.

Son yıllarda, ulaştırmanın sunu alanındaki çalışmalara duyulan ilgi, önemli ölçüde artmıştır. Önceki sunu çalışmalarının çoğu kentsel ulaştırma planlamasına yönelik olmasına karşın, günümüzde kentlerarası ulaşım konusunda da araştırmalar yapılmaktadır.

Ulaştırmada sunu çalışmaları, sunu eylemleri ile ilgili tüm olası teknolojileri, ağları, altyapıları, taşıtları, örgütsel politikaları, işletmeleri vb. ve bunlarla ilgili her türlü değişimleri kapsamaktadır.

Sunu modelleri, genel olarak aşağıdaki sorulardan birisine yanıt aramak amacıyla kullanılmaktadır(Lardinois, 1985) :

- Eğer herhangi bir sunu eylemi uygulanırsa ne olur ? (Prediktif modeller),
- Bir amacı optimize etmek için hangi sunu eylemi gerçekleştirilmelidir ? (Normatif modeller).

Diğer bir deyişle, bu modeller, teknolojik, politik, işletmesel, yönetsel vb. kararların tamamını kapsayan bir tayfı içeren sunu eylemlerinin “değerlendirilmesi” ya da “en uygun şekilde belirlenmesi” ile ilgilidir. Bu modellerin heriki türü de, karmaşık bir yapıya sahip olan ulaştırma sistemlerine, etkin bir şekilde nasıl müdahale edilebileceğini anlamaya yararlar.

Prediktif(öngörüs) sunu modelleri, ulaştırma sistemlerinin performansları ile ilgili olarak tasarlanan sunu eylemlerinin etkilerinin tahmini ile ilgilenirler. Bunların temel amaçları, verilen bir küme içinden farklı sunu eylemi seçeneklerini ele alarak, bunların herbirini değerlendirme ve karşılaştırma olanağını sunmaktır. Sunu modellerinin bu grubu için performans kavramının önemli olması, bazı yazarların bu tür sunu modellerini “Performans

Modelleri” olarak tanımlamalarına neden olmaktadır. Çünkü bunların önemli özelliklerinden birisi, “hizmet düzeyi” değerleri ile, “istem düzeyi” ve taşıt tipleri, yol karakteristikleri, çizelgeler, işletme kuralları ve trafik kontrolü gibi “özgün teknolojik sunu eylemleri” arasında ilişki kurmalarıdır.

Lardinois’in(1985) görüşüne göre, performans için yukarıda belirtilen tanım oldukça kısıtlıdır. O da, Mannheim(1979) gibi, ulaştırma sistemi performansının en azından iki boyutu olduğuna inanmaktadır. Birincisi, hizmet düzeylerinin, istem düzeyleri ve sunu eylemlerinin bir fonksiyonu olarak tanımlanması ile ilgili olanıdır. İkinci performans boyutu da, ulaştırma sistemi tarafından tüketilen kaynakları, istem düzeyleri ve sunu eylemleri gibi değişkenlerin bir fonksiyonu olarak tanımlayanıdır. Uygulamada bazen bu iki performans boyutundan yalnızca birisinin ele alınması, basitlik ve kolaylık açısından uygun olur. Ancak bu iki boyutun birbirleri ile yakından ilişkili oldukları gerçeği de unutulmamalıdır. Özetlenirse, “Performans” kavramı, prediktif(öngörüselsel) sunu modelleri için bir temel kavramdır. Performans, “kullanıcı” ve “işletmeci” olmak üzere iki açıdan ele alınabilir. Kullanıcı açısından performans, hizmet düzeyleri ve kalite ile ilgilenirken; işletmeci açısından olanı, hizmetleri gerçekleştirmek için gereksinim duyulan “kaynak tüketim maliyetleri” ile ilgilenir. Ayrıca şunu da belirtmek gerekir: Bir ulaştırma sisteminin performansının değerlendirilmesi, aynı zamanda diğer sosyal gruplar üzerindeki(hava kirliliği ya da kaynak maliyetlerinin karşılanması amacıyla alınan vergiler gibi) dışsal etkilerin incelenmesini de içermelidir.

Hizmet düzeylerinin sunumu(tanıtımı) için kullanılan performans kavramı,

- bir istem modeli ile ilişkili ise ya da,
- sunu eylemlerinin, yolcuların davranışlarını nasıl etkileyeceklerini tahmin etmek için kullanılan bazı türdeki atama modelleri ile ilişkili ise,

daha yararlıdır. Başka bir deyişle, performansı tanımlayan fonksiyonlar ya da algoritmalar, genelde ulaşım isteminin ve sunusunun dengesi ile ilgili olan, daha geniş bir modelleme çalışmasının içinde bulunur. Bu durum, Lardinois’in “performans modelleri” yerine “prediktif (öngörüselsel) sunu modelleri” kavramını kullanmasının gerekçesidir. Çünkü “performans modelleri” kavramı, dar bir anlama sahiptir. Özet olarak, “prediktif sunu modelleri” nin amacı, ulaştırma hizmetlerinin kullanıcılar ve sunucular(işletmeciler) üzerindeki etkilerinin tahmini ile

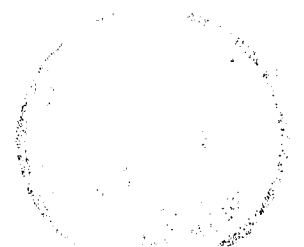
birlikte, sunu eylemlerinin değerlendirilmesidir. Bu modeller genellikle, istem fonksiyonları ile ele alınan performans modellerini içerirler. Örneğin, bir havayolu şirketi tarafından tasarlanan uçuş çizelgelemesinin maliyetinin ve yolcuların bu uçuşlara dağılımlarının belirlenmesi için kurulan model, bir “Prediktif Sunu Modeli”dir.

Normatif sunu modelleri, belirli amaçlar ya da koşullar altında en çekici olan “sunu eylem planı”nı bulmak için, olası tüm eylemlerin araştırılması ve bulunması ile ilgilidirler. Bu modeller, ulaşım ağlarının, hizmetlerin, taşıt rotalarının, taşıt ve personel çizelgelerinin tasarımlarının yanı sıra, aynı zamanda taşıt filosu boyutu, terminal kapasitesi planlaması ve ulaştırma kontrol sistemleri gibi diğer ilgili tasarım problemlerinin çözümleri ile ilgilidirler. Ulaştırma tesis ve hizmetlerini sunanların eylemleri, bu tür eylemlerin performansının, “kaynak(kapital ve işletme maliyetleri) maliyetleri” ve “yolculuk edenlerin sunulan hizmet düzeyine tepkileri” terimleri ile tahmin edilmesine dayandığından, normatif sunu modelleri genelde (en azından düşünsel olarak) performans fonksiyonlarını içerirler. Bunlar aynı zamanda istem ve yolcu atama modelleri ile de ilişkilidirler.

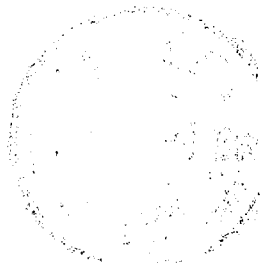
Son olarak, prediktif ve normatif modellerin dışında, ulaştırma sunu modellerinin yeni bir türünden de söz edilmesi yerinde olacaktır. “Sunucu davranış modelleri” ya da “Pazar sunu modelleri” olarak adlandırılan bu modeller, ulaştırma olanaklarını ve hizmetlerini sunanların, karar verme konusundaki davranışlarını tahmin etmeye yöneliktir(Morlok, 1980). Bunlar, istem-sunu denge sürecinin tümüyle anlaşılabilmesi ve bir ulaştırma işletmecisine rakiplerinin davranışlarını tahmin etmesinde yardımcı olması bakımından çok önemlidirler.

Yukarıda kısaca tanıtılmaya çalışılan model tiplerinin, ulaştırma planlamasında birincil öneme sahip olmayı sürdürecekleri kuşkusuzdur. Bununla birlikte, bu modeller, bunların bilgisayar yazılımları ile birlikte, bazı sınırlamalar içinde kalmaktadırlar.

- Genelde, her bir model, sistemin diğer elemanları hakkında basit varsayımlar yapılarak, bireysel olarak kullanılır. Örneğin istem modellerinde, genellikle sunu ve hizmet düzeylerinin sabit olduğu varsayılır. Çoğu ağ tasarımı modelleri, rekabetin bulunmadığı bir çevreyi esas alır ve işletmesel düzeydeki rotalama ve çizelgeleme konuları ile ilgilenir. Personel çizelgeleme modellerinde, genellikle taşıt çizelgelerinin sabit olduğunu varsayılır.



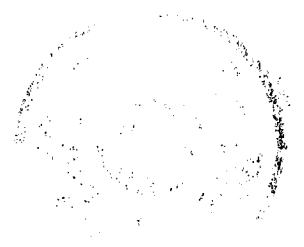
- İkincisi, bu modellerin çoğunun tamamen teknik ulaştırma problemlerine odaklanmış olması, örgütsel yapı, bütçe planlaması, pazarlama ve hükümet düzenlemeleri ile sübvansiyon politikaları gibi dışsal konuları dikkate almaması ya da çok küçük ölçüde hesaba katmasıdır.
- Üçüncüsü, sistemin sunu tarafının benzetiminde, modellerin genellikle “insan” elemanını içermemesidir. Bunun nedeni, bireylerin karar verme işleminin modellenmesinin zor olmasıdır. Bu tür modeller, gerçek yaşamda insanların ulaşım ile ilgili kararlarındaki “tereddüt” boyutundan yoksundur



3. TAŞIT ROTALAMASI VE ÇİZELGELEMESİ (TRÇ)

Yapılan literatür taramasının kapsamına göre, taşıt rotalaması ve çizelgelemesi konusunun, 1950'li yıllarda bilim adamlarının ilgi alanına 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 işletmeleri arasında giderek artan ve kırıncı bir rekabet ortaya çıkmıştır. Günümüzde, düşük maliyetlerle daha çok ve daha iyi ulaştırma hizmetlerinin sağlanabilmesi, hem işletmecileri ve hem de bilim adamlarını yakından ilgilendirmektedir. Bu nedenle, taşıt rotalaması ve çizelgelemesi konusunun önemi artmaya devam edecek, şu ana kadar yapılan pek çok sayıdaki rotalama ve çizelgeleme problemlerine yenileri eklenecektir.

Bölüm 3.1'de, taşıt rotalaması ve çizelgelemesi problemleriyle ilgili temel kavramlara yer verilmekte, problemlerin genel sınıflandırılması yapılmakta ve konuya bir bakış açısı kazandıran bazı örnekler sunulmaktadır. Herbir rotalama ya da çizelgeleme problemi, istemin yapısı, işletmenin sahip olduğu filo boyutu ve işletmenin amaçları gibi birçok faktörlere bağlı olarak özgün bir yapı kazanmaktadır. Bu nedenle herbiri 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 3.3'de incelenecektir. Zira, doğru ve gerçekçi bir modelin temeli, problemin yapısının iyi bir şekilde ortaya konulmasına büyük ölçüde bağlıdır. Kentlerarası yolcu taşımacılığı için rotalama ve çizelgeleme problemleri incelenirken, zaman çizelgelemesinin bu problemler için bir girdi olduğu ve bu girdiye bağlı olarak problemin şekil aldığı görülmüştür. Böylesine önemli bir girdiyi dikkate almadan yapılacak olan rotalama ve çizelgelemenin gerçekçi olmayacağı düşüncesi ile, Bölüm 3.3.1'de zaman çizelgelemesi, Bölüm 3.3.2'de sunu, yolculuk ile yolcu özellikleri ve Bölüm 3.3.3'de yolculuk(sefer) seçimi ile ilgili açıklamalar yapılmıştır. Bölüm 3.3.4'de ise, bu konuda ortaya konulan önemli ve ayrı karakterdeki bazı modeller tanıtılmaya çalışılacak ve bunların kentlerarası otobüs taşımacılığına uygulanabilirliği tartışılacaktır.



3.1 TAŞIT ROTALAMA VE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ(TRÇP)

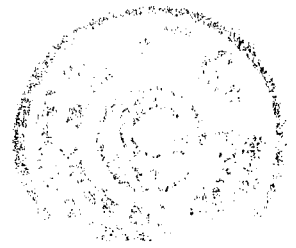
Taşıt rotalama ve çizelgeleme problemleri, bir adresler kümesine, bir ya da birkaç depoda bulunan taşıtlar tarafından, belirli stratejiler ve kısıtlar altında, önceden saptanmış amaç/amaçları gerçekleştiren taşımacılık hizmetinin verilmesiyle ilgili problemlerdir. Adresler, bir taşıt ya da taşıt kümesinin uğrayacağı terminaller, 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(RP),
- Zaman pencereli rotalama problemleri(ZPRP),
- Eşanlı(simültane) rotalama ve çizelgeleme problemleri(ERÇP)

olarak sınıflandırılabilirler. Rotalama problemlerinde, taşıtların hangi zamanlarda adreslere uğrayacakları önemli değildir (adres-zaman ilişkisi yoktur). Eşanlı rotalama ve çizelgeleme problemlerinde, adreslere belirli (kesin) zamanlarda uğranılması gereklidir (adres-zaman ilişkisi vardır). İlki, bir turistin bir kentteki tarihi yerlere istediği sırayla gidebilmesine; ikincisi, önceden biletlerini almış olan bir kişinin, değişik yerlerdeki tiyatro oyunlarının başlangıç zamanlarına yetişmesine benzemektedir. Zaman pencereli rotalama problemlerinde ise, bir adrese, bir zaman aralığının herhangi bir anında uğranılabilir. Bu, bir kişinin, aynı günde, (9:00-15:00) arasında bir yere, (12:00-17:00) arasında başka bir yere uğramak zorunda olmasına benzemektedir.

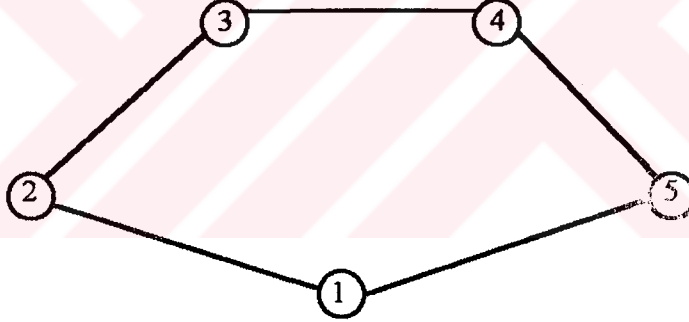
3.1.1 Rotalama Problemleri(RP)

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. Aşağıda, rotalama problemleri, rota süresinin sınırlı olup-olmamasına göre, çeşitli örnekler yardımıyla kısaca tanıtmaya çalışılacaktır.



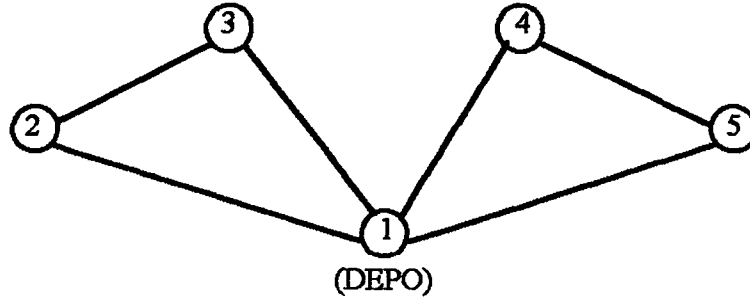
3.1.1.1 Rota Süresi Sınırsız RP

“Rota süresi”, depodan ayrılan bir taşıtın depoya dönmesi için gereken süre olarak tanımlanabilir. Rota süresi sınırsız RP’nin belki de en iyi örneği, tek taşıtlı Gezgin Satıcı Problemi(GSP)’dir. Bu problem, tek bir taşıt ile bir “Hamiltonion tur” oluşturulması esasına dayanır(Toyva, 1983), (Winston, 1987). Bir Hamiltonion tur, bir $G = [N,A]$ ağında, herbir düğümden kesinlikle bir kez geçen turu göstermektedir. Bu ağda (N), düğümler(adresler) kümesini, (A), kollar(adresleri birbirine bağlayan yollar) kümesini göstermektedir. Problemin amacı, toplam tur uzunluğunu ya da maliyetini minimize etmektir. Bu problemde, adreslere uğranılacak zamanlar ve rota süresi ile ilgili girdiler ve kısıtlar yoktur. Bir gezgin satıcı probleminin optimum çözümü, Şekil 3.1’de verilen (1-2-3-4-5-1) rotası olsun. Eğer rota uzunluğu ya da maliyeti, yolculuğun yönünden etkilenmiyorsa; GSP’de adres-zaman ilişkisi olmadığı için taşıt (1-5-4-3-2-1) sıralamasını da izleyebilir.



Şekil 3-1. GSP için çözüm örneği

Çok taşıtlı Gezgin Satıcı Problemi(ÇGSP), tek taşıtlı GSP’nin genel durumudur. Bu problemde, aynı depodan hareket eden herbir taşıtın rotası, düğümlerin bir alt kümesinden geçer. GSP’de olduğu gibi, herbir düğüme yalnız bir taşıt ile ve bir kez uğranılmalıdır. Şekil 3.2.’de iki taşıtlı bir gezgin satıcı problemi için çözüm örneği verilmiştir.



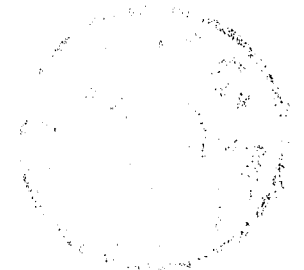
Şekil 3-2. ÇGSP için çözüm örneği

GSP’de adresler düğümler ile karakterize edildiğinden, bu tür problemler “düğüm rotalaması problemleri” olarak da adlandırılmaktadırlar. Bunun yanısıra, Çinli Postacı Problemi’nde olduğu gibi, adreslerin kollar ile karakterize edildiği problemlere de “kol rotalaması problemleri” adı verilmektedir. Çinli Postacı Probleminde (ÇPP’de), adresler kümelere ayrılmakta ve herbir küme, bir kol ile gösterilmektedir(Edmons ve Johnson, 1973).

3.1.1.2 Rota Süresi Sınırlı RP

Golden’in(1977) dağıtım problemi, rota süresi sınırlı RP’lere oldukça iyi bir örnektir. Bu problemde, taşıtların katettikleri toplam uzunluk minimize edilmektedir. Depodan ayrılan taşıtlar, belirli adreslere(düğümlere) uğradıktan sonra aynı depoya dönmek zorundadırlar. Bir taşıtın depodan-depoya olan rota süresi, maksimum 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 karşılaşılabilir. Eğer bütün adreslere mutlaka uğranılması gerekiyorsa ve taşıt sayısını arttırmak olanaksızsa, maksimum rota süresi aşılmak zorunda kalınabilir. Bu durumda, aşılacak her birim süre için bir ceza maliyeti verilerek, toplam ceza maliyeti minimize edilebilir. 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 gibi problemin yapısı, rota süresinin sınırlandırılmasından önemli ölçüde etkilenmektedir.



Rotalama problemlerini tanıtmak amacıyla verilen örnekler, tek depolu ve tek ya da çok taşıtlıdır. Çok depolu rotalama problemleri ile de karşılaşılabilir. Örneğin, Golden'ın dağıtım problemi çok depolu biçimine dönüştürülebilir.

3.1.2 Zaman Pencere Rotalama Problemleri(ZPRP)

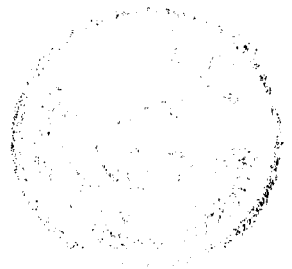
Genellikle yük taşımacılığı problemleri, malların dağıtılması ve/veya toplanılması ile ilgilidir. Bir mal grubu, bir adresten alınıp çeşitli adreslere ya da çeşitli adreslerden alınıp tek bir adrese götürülebilir. İlki, “tek toplama adresinden-çok dağıtım adresine”, ikincisi “çok toplama adresinden-tek 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. Böyle problemlerde çoğunlukla, malların alınacağı ya da dağıtılacağı adreslere, belirli bir zaman aralığında hizmet verilmesi istenilmektedir. Bu aralıklar “zaman pencereleri” olarak adlandırılarak,

- Çift sınırlı zaman pencereleri,
- Tek sınırlı zaman pencereleri

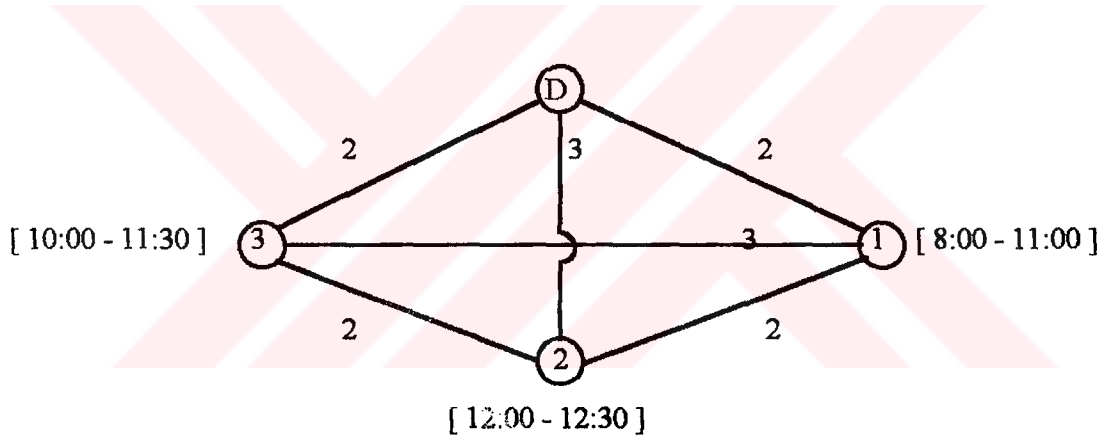
olarak sınıflandırılabilir.

Çift sınırlı bir zaman penceresinde, adrese uğranılabilecek en erken zaman(i) ve en geç zaman(s) belirlidir. Dolayısıyla, bir taşıt bir adrese $[i,s]$ zaman sınırları içinde uğramalıdır. (i) zamanından önce adrese erişen bir taşıtın, bu zamana kadar bekleyeceği kabul edilir. Taşıtın (s) sınırından sonra adrese uğramasına asla izin verilmez. Tek sınırlı zaman pencereleri, uğranılabilecek “ilk zamanı belirli olanlar” ve “son zamanı belirli olanlar” şeklinde ikiye ayrılabilirler.

ZPRP genelde, “önce müşteriye istediği zaman aralığında hizmet verilmesi ve sonra rotanın optimize edilmesi (önce müşteri-sonra rota), RP ise “yalnızca rotanın optimize edilmesi (yalnız rota)” stratejilerine dayanan problemlerdir.

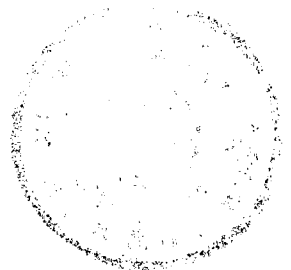


Şekil 3.3'de verilen örnek, bir depodan, (1), (2) ve (3) nolu adreslere dağıtım yapılmasıyla ilgilidir. (1), (2) ve (3) nolu adreslere, verildikleri sıraya göre (8:00-11:00), (12:00-12.30) ve (10:00-11:30) zaman pencerelerinde hizmet verilmesi gerekmektedir. İki adres arasındaki seyir süresi, şekilde 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 3-3. Zaman pencereli bir rotalama problemi

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.



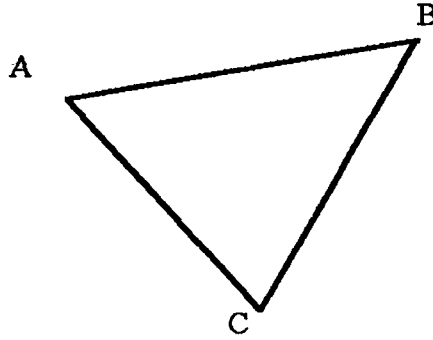
Zaman pencereleli rotalama problemleriyle ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan Desrochers ve arkadaşlarının(1987) rotalama probleminde, bir taşıt deposu vardır, herbir taşıtın kapasitesi sınırlıdır ve herbir müşteriye bir zaman penceresinde hizmet verilebilir. Solomon ve arkadaşları(1988) ise, rotalama problemleri için kullanılan ve kol değiştirme prosedürü olarak tanımlanan sezgisel yaklaşımı, zaman pencereleli bir rotalama probleminin çözümünde kullanmışlardır.

3.1.3 Eşanlı Rotalama ve Çizelgelemesi Problemleri(ERÇP)

Bir toplu taşıma sisteminde yolcu taşımacılığı, bir adreste başlayan ve başka bir adreste biten hatların üzerinde yapılmaktadır. Adresler, Bölüm 3.1’de belirtildiği gibi, kentler, duraklar vb. yolculuk üretim ve/veya tüketim merkezleridir. Düzenli taşımacılık yapan işletmelerde, herbir 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 herbir seferin, filodaki hangi taşıt ile yapılacağını belirlemek işleme, “eşanlı rotalama ve çizelgeleme” adı verilmektedir. Bir sefer, o seferi gerçekleştirecek olan taşıt için bir görev olduğundan, bu çalışmada “sefer” ve “görev” kavramları eşanlamlı olarak kullanılacaktır.

Eşanlı rotalama ve çizelgeleme, Şekil 3.4 yardımıyla daha kolay açıklanabilir. 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 herbirine başka bir taşıt atayarak, ERÇ yapılabilirdi. Taşıtların kapital ve işletme maliyetlerinin büyük olması nedeniyle, böyle bir uygulamanın yapılamıyacağı açıktır. Bu yüzden ERÇ, “herbir taşıtın gerçekleştireceği görevlerin sıralamasını” veren bir optimizasyon problemi olarak ele alınmaktadır. Bir ERÇP’de, amaç fonksiyonu, taşıtların kapital ve işletme maliyetleri ile birlikte, personel maliyetlerini de minimize edebilir, bir ya da birden fazla depo olabilir, belirli görevlere belirli özellikteki taşıtlar ile hizmet verilebilir ve taşıtların belirli bir süre sonunda depoya dönmeleri istenebilir.





((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))

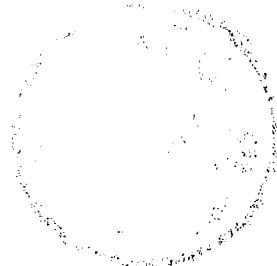
Şekil 3-4. Bir yol ağında (A-B) ve (B-C) hatları üzerindeki seferler

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

ERÇP’de personel maliyetlerinin dikkate alınması, personel rotalama ve çizelgelemesinin yapılmasını da gerektirmektedir. Bu durumda, personel ile ilgili, günlük çalışma ve dinlenme saatleri, fazla çalışmalar gibi bilgilere gereksinme duyulacaktır. Daha önce de belirtildiği gibi, taşıt ve personeli birlikte rotalama ve çizelgeleme, oldukça zor bir işlemdir. Nitekim, Sklar ve arkadaşları(1990), taşıt ve personelin rotalaması ve çizelgelemesini aşamalı olarak ele almaktadırlar. İlk aşamada TRÇ, ikinci aşamada ise TRÇ girdisine göre PRÇ gerçekleştirilmektedir.

Personelden bağımsız eşanlı rotalama ve çizelgeleme problemlerinde, en yaygın olarak dikkate alınan kısıtlar şunlardır:

- Herbir görev, belirli bir zaman periyodunda, yalnız bir taşıt tarafından ve yalnız bir kere gerçekleştirilmelidir,
- Bir depodan ayrılan herbir taşıt, görevlerini gerçekleştirdikten sonra ait olduğu depoya geri dönmelidir,
- Depodaki ya da depolardaki taşıtlar ile görevlerin tümü yerine getirilmelidir,
- Görevlere, kendileriyle özelleştirilen taşıt tipleriyle hizmet verilmelidir,



- Herbir 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 kısıtlar, bazıları da gevşek kısıtlar olabilir.

Rotalama ve çizelgeleme problemlerini, amaç fonksiyonlarının ve kısıtların çok çeşitli olmaları nedeniyle, sınırlı bir çerçevede tanımlayabilmek oldukça zordur. Bu bölümde yapılan açıklamalar ve verilen örnekler, rotalama ve çizelgeleme problemlerine bir bakış açısı sağlamaya yöneliktir. Bölüm 3.2’de, bu problemlerin yapısal özellikleri daha ayrıntılı biçimde verilmeye çalışılacaktır.

3.2 TRCP’NİN İSTEM VE SUNU ALANLARINA GÖRE ANALİZİ

Bilindiği gibi yöneylem araştırmasında problemlerinin çözüm süreci, problemin yapısının belirlenmesi, ilgili modelin kurulması, çözüm elde edilmesi, çözümün denenmesi ve çözümün uygulanması aşamalarından oluşmaktadır(Saatçioğlu, 1976), (Yardım, 1994). Bu bölümün ilgi alanı olan “bir rotalama ya da çizelgeleme probleminin yapısının belirlenmesi”, iyi bir modelin kurulmasının ön koşulu olup, “Kaç depo vardır?”, “Kaç taşıt kullanılacaktır?” ve “Hangi adreslere hizmet verilecektir?” vb. soruların yanıtlanması ile başılır.

Bodin ve Golden (1981), Assad (1988) ve Desrochers ve arkadaşları (1990), rotalama ve çizelgeleme problemlerinde karşılaşılabilecek olası yapısal özellikleri ele almışlardır. Son kaynak, bu konuda yapılan belki de en kapsamlı ve en yeni çalışmadır. Bu çalışmada problemler, adresler, taşıtlar, problem karakteristikleri ve amaçlar olmak üzere dört alanda incelenmiştir.

Rotalama ve çizelgeleme problemlerinin yapılarının ortaya konulmasıyla ilgili yapılan çalışmalar incelenirken, bu çalışmalarda bir ulaşırmacının bakış açısının eksikliği farkedilmiştir. Bu doktora çalışmasında, kentlerarası ve kentiçi yolcu ve yük taşımacılığı ile ilgili rotalama ve çizelgeleme problemlerinin analizi, ulaşırmacının istem ve sunu alanlarına göre

yapılmış ve bir yapısal çerçeve oluşturulmuştur. Bu yapısal çerçevede, istem ve sunu alanları, önce alt alanlara, sonra gerekirse bileşenlere ayrılmakta ve herbir bileşen için seçenekler verilmektedir(Bkz. Tablo 3.1). Herbir seçenek, bu problemlerdeki bir yapısal özelliği simgelemektedir. Aşağıda sunulan Tablo 3.1 ile ilgili açıklamalar, Bölüm 3.2.1. ve Bölüm 3.2.2.'de yapılacaktır.

3.2.1 İstem Alanı

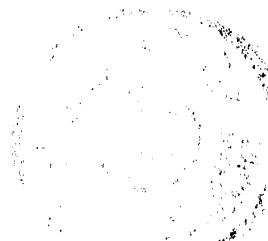
Ulaştırma istemin belirlenmesi, ne kadar yolcu ya da yükün, nereden nereye, hangi zamanlarda ve hangi koşullarda ulaşmak istediğinin ya da ulaştırılmak istendiğinin belirlenmesidir. “Nereden nereye”, rotalama ve çizelgeleme problemlerindeki “hangi toplama adresinden, hangi dağıtım adresine” sorusu ile özdeşdir. Dolayısıyla, yolcu ya da yükün alındığı yer “toplama adresi”, bırakıldığı yer ise “dağıtım adresi” olarak adlandırılabilir ve genellikle bu terimler kullanılacaktır.

“İstem” alanı sırasıyla, “istemin yeri”, “adres-zaman ilişkisi”, “istemin yapısı” ve “müşterilerin tercihleri” olmak üzere dört alt alanda incelenmiştir.

İstemin Yeri (A.1) :

“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 tanımlanabilirler.



Tablo 3.1. Taşıt rotalama ve çizelgeleme problemleri için bir yapısal çerçeve

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

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

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

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

Adres-Zaman İlişkisi (A.2) :

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

İlk seçenek, adreslere uğrama zamanlarının önemli olmadığını göstermektedir. Bu seçeneğe yük taşımacılığında rastlanabilir.

İkinci seçeneğe göre, her bir adrese tek bir zaman penceresinde uğranılması gerekir. Üçüncü seçenek, ikinci seçeneğin çok zaman pencereli durumudur. Yük taşımacılığı ile ilgili problemlerin zaman pencereli olarak ele alınması, bir hayli yaygındır. Örneğin, Şekil 3.3’de verilen zaman pencereli rotalama problemi, bir fabrikadan ayrılan taşıtın (1), (2) ve (3) nolu dağıtım adreslerine mal götürmesi ve yeniden fabrikaya dönmesi olarak düşünülebilir. Yolcu taşımacılığında zaman pencereli problemlere çoğunlukla, çağrılı taşımacılık(dial-a-ride) sistemlerinde rastlanılmaktadır. Müşterilerin bulundukları 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 zamanını, ikinci sınırı müşteriye 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 (A.3) :

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

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

Müşterilerin Tercihleri (A.4) :

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

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



“Mekansal 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 belirtmıyorlarsa, bu seçenek geçerlidir. İkinci ve üçüncü seçenekler, “esnek tercihler” ve “değişmez tercihler”dir. İlki, müşterilere, istedikleri zamanlar dışında hizmet verilmesinin söz konusu olabileceğini; ikincisi ise müşterilerin, istedikleri zaman dışındaki bir hizmeti kesinlikle kabul etmediklerini göstermektedir.

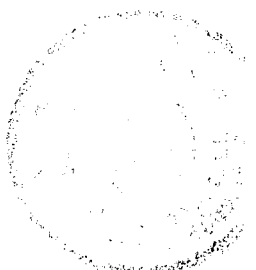
Son bileşen “özel tercihler”dir. Seçenekler özel durumlara göre değişir. Örneğin bir müşteri, malının bozulabilir ya da kırılabılır olduğunu belirterek, bu durumu dikkate alan bir taşımacılık isteyebilir.

3.2.2 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 birtakım 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.

Depo ve Taşıtlar (B.1) :

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

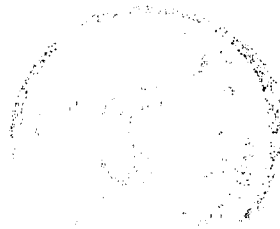


“Depo sayısı” bileşeninin, “tek depo” ve “çok depo” seçenekleri sözkonusudur. Belediyelere ait otobüs taşımacılığı yapan işletmelerin genellikle, küçük kentlerde bir, büyük kentlerde ise birden fazla deposu vardır. Tek depolu bir problemde, depodan görevlerini yapmak üzere ayrılan taşıtlar, görevlerini tamamladıktan sonra aynı depoya dönerler. Çok depolu bir problem, hangi taşıtın hangi depoya ait olması gerektiğine karar verilmesi nedeniyle, karmaşık yapıdadır. Bu problemlerin aşamalı olarak ele alınmaları, daha kolay çözümlerini sağlayabilmektedir. Ribeiro ile Soumis’in(1994) çalışması, çok depolu problemlere örnek olarak verilebilir.

“Taşıt sayısı” bileşeninde, “taşıt sayısı belirli” ve “taşıt sayısı belirsiz” seçenekleri verilmektedir. Eğer bir problemde taşıt sayısı belirli ise, problemin bir kısıtıdır, belirli değil ise, problemin çözümünden elde edilen bir çıktıdır. Eşanlı bir rotalama ve çizelgeleme probleminde, bir görevler kümesi için ne kadar taşıt gerektiği, problemin çözümü ile belirlenebilir. Böyle bir problemde taşıt sayısı sınırlı olduğu taktirde, bazı görevlerin gerçekleştirilememesi durumu ile karşılaşılabılır. Buna karşın pekçok rotalama probleminde, taşıt sayısı, probleme bir kısıt olarak sokulmaktadır.

“Taşıtların kapasite ya da hacim özellikleri” bileşeninde, “kapasite ya da hacim kısıtı yok”, “kapasite ya da hacim kısıtı var” seçenekleri verilmektedir. Bir taşıta alınabilecek yolcu sayısı ya da yük miktarı, taşıtın kapasitesi ya da hacmi ile sınırlıdır. Bu yüzden, bir taşıtın kapasitesi(hacmi), problemin bir kısıtı olabilmektedir. Rotalama problemlerinin bir çoğunda, taşıt kapasitesi kısıt olarak ele alınmaktadır. Eşanlı rotalama ve çizelgeleme problemlerinde, ne kadar yolcu ya da yük taşınacağı dikkate alınmadığından, böyle bir kısıt gerekmez.

“Taşıtların kompartımanları” bileşeninin seçenekleri, “kompartıman yok”, “değiştirilebilir kompartımanlar” ve “özelleştirilmiş kompartımanlar”dır. Örneğin, minibüs ile yolcu taşımacılığında, kompartıman yoktur. Bir taşıtın kendi içinde değiştirilebilir kompartımanlara sahip olması seçeneğine, genellikle yük taşımacılığında rastlanır. Bazı mal gruplarına ayrılmış olan kompartımanlar, gerektiğinde başka mal grupları için de kullanılabilir. Özelleştirilmiş kompartımanlar için böyle bir kullanım tarzı sözkonusu olamaz. Sigara içen ve içmeyen yolculara ait kompartımanlar, özelleştirilmiş kompartımanlara örnek olarak verilebilir.



İşletmesel Stratejiler (B.2) :

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

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

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 alınmadan durmaktadırlar. Sürücü-yolcu iletişimin zor olduğu ve mutlak bir düzenliliğe gereksinim duyulan raylı taşımacılıkta, bu alt seçenek uygulanmaktadır. İkincisinde taşıtlar, duraktan alınacak ve/veya durağa bırakılacak yolcu olduğu taktirde durmaktadırlar. Bu seçeneğe otobüs işletmeciliğinde rastlanabilir. Son seçenekte, yolcular güzergahın herhangi bir noktasında inme-binme yapabilmektedirler. Minibüs ile yolcu taşımacılığı, bu seçeneğe örnek olarak verilebilir.

Parçalı yük taşımacılığı seçeneği, “geri dönüşte yükleme var” ve “geri dönüşte yükleme yok” olmak üzere iki alt seçeneğe ayrılmıştır. “Geri dönüşte yükleme”, bir merkezden dolu olarak ayrılan bir taşıtın, bütün dağıtımlarını yaptıktan sonra, merkeze geri dönerken 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, kentiçi otobüs 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” taşımacılıklar seçenekleri verilmiştir. Bilindiği gibi, “Zaman çizelgesi”, nereden nereye, ne zaman taşıt kaldırılacağını gösteren bir tarifiedir. İlk seçenek, demiryolu ve havayolu taşımacılığında uygulandığı gibi, önceden belirlenmiş ve duyurulmuş bir zaman çizelgesi olduğunu göstermektedir. İkinci seçenek, genellikle minibüs ile yolcu taşımacılığında olduğu gibi, duyurulmuş bir zaman çizelgesi olmamasına karşın, taşıtların, pik ve pik dışı saatlerde hangi sıklıkta kalktığının aşağı-yukarı belirli olduğunu göstermektedir. Son seçenek, çağrılı taşımacılık sistemlerinde olduğu gibi, bir zaman çizelgesi olmadığını göstermektedir.

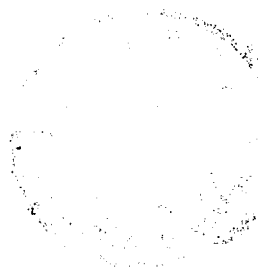
İşletmesel Düzenlemeler (B.3) :

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

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

“Rota süresi” için de “sınırlı” ve “sınırsız” seçenekleri verilmiştir. Çağrılı 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 sözkonusudur. Kentlerarasındaki modeller genellikle bir periyotta bir rota yapılmasına dayanmaktadır. Çağrılı taşımacılıkta, bir periyotta birden fazla rota yapılabilir.



Çalışma Ortamındaki İlişkiler (B.4) :

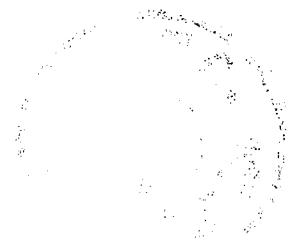
“Çalışma ortamındaki ilişkiler” alt alanı, “adres-adres ilişkileri”, “depo-adres ilişkileri”, “taşıt-adres ilişkileri” ve “rota-adres ilişkileri” olarak dört bileşende incelenmiştir.

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

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

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

“Rota-adres ilişkileri” için de, “rota-adres kısıtı var” ve “rota-adres kısıtı yok” seçenekleri verilmiştir. “Rota-adres” kısıtı, bir rotanın hangi seçenekleri kapsaması gerektiğini göstermektedir. Örneğin, biri ilkokul diğeri ortaokul olmak üzere, iki ayrı okula yapılan bir servis taşımacılığında, ortaokula gidenler için oluşturulacak taşıt rotalarına, ilkokul öğrencilerin adresleri dahil olmamalıdır.



İşletmesel Amaçlar (B.5) :

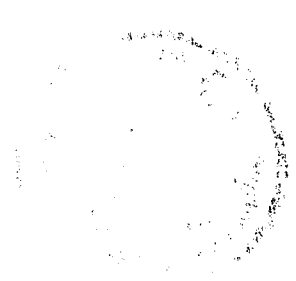
“İşletmesel amaçlar” alanında, en yaygın olarak kullanılan altı amaç, seçenekler olarak verilmiştir.

İlki, “taşıtların toplam rota süresinin minimize edilmesi”dir ve ulaştırmada özellikle rotalama problemleri için “olmazsa olmaz” şeklinde tanımlanabilecek bir amaçtır. Toplam rota süresinin minimize edilmesi, aynı zamanda taşıtların işletme maliyetlerini de minimize edilmesini sağlamaktadır.

İkincisi, “toplam adres maliyetlerinin minimize edilmesi”dir. “Adres maliyetleri”, adreslere birden fazla uğranılması nedeniyle verilen cezaların maliyetleridir. Bir adrese yeniden uğranılması, miktarsal açıdan istemin bir kerede karşılanamaması durumunda ortaya çıkar. Bu amaç yük taşımacılığında sözkonusu olabilir. Üçüncüsü, “toplam adres ceza maliyetlerinin minimize edilmesi”dir. “Adres ceza maliyeti”, eğer bir adrese zaman penceresinde uğranılması, gevşek bir kısıt ise, bu kısıtın yerine getirilmemesi durumunda verilen cezanın maliyetidir. Zaman pencereli yük ve yolcu taşımacılığı problemlerinde kullanılabilir.

Dördüncüsü, “toplam taşıt sayısının minimize edilmesi”dir. Bu amacın gerçekleştirilmesi ile, taşıtların yatırım maliyetleri de minimize edilmektedir. Beşincisi, “taşıtların kullanılmayan zamanlarının minimize edilmesi”dir. Eşanlı taşıt rotalaması ve çizelgelemesi problemlerinin yapısına oldukça uygun bir amaçtır. Sonuncusu, “toplam taşıt ceza maliyetlerinin minimize edilmesi”dir.

“Taşıt ceza maliyeti”, bir taşıtın kapasitesi, hacmi, çalışma zamanı ve rota süresi ile ilgili sınırlardan bir ya da birkaçının aşılması durumunda verilen cezanın maliyetidir. Brown ve Graves’in(1981) çalışmasında, taşıtların çalışma zamanı sınırlarını aşması durumunda verilen cezanın maliyeti, personelin fazla çalışma maliyetidir.



3.3 KENTLERARASI YOLCU TAŞIMACILIĞINDA ROTALAMA VE ÇİZELGELEME (KYT-TRÇ)

Bu bölümde, kentlerarası yolcu taşımacılığında taşıt rotalama ve çizelgeleme problemlerinin özelliklerini belirleyebilmek için, Tablo 3.1’de verilen yapısal çerçeveden yararlanılmıştır ve aşağıdaki paragraflar, alt alanların tabloda verilme sırasına göre düzenlenmiştir.

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

Düzenli bir işletmecilikte, taşıtların ne zaman ve nereden kaldırılacakları bir zaman çizelgesi ile belirli olduğu için, A.2. alt alanında “adres-kesin zaman” seçeneği geçerlidir. Kentlerarası yolcu taşımacılığında, istemin miktarsal yapısı, zaman çizelgelemesi aşamasının ilgi alanına girmekte olduğundan, A.3. alt alanında “istemin miktarsal yapısı” ile ilgili bir seçenek yoktur. Böylece, A.2. ve A.3. alt alanları, kentlerarası yolcu taşımacılığındaki problemlerin genel olarak, eşanlı rotalama ve çizelgeleme problemleri sınıfına girdiğini göstermektedirler.

Bir eşanlı taşıt rotalaması ve çizelgelemesi probleminde, seferlerin herbiri yapılmak zorunda olan görevlerdir. Problemin yapısı gereği, yolcuların 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 tanımlar. Buna göre, A.4. alt alanında “müşterilerin zamansal tercihleri” değiştirilemezdir. “Mekansal tercihler” için, A.3. alt alanında miktarsal yapı ile ilgili açıklamalara dayanılarak, herhangi bir seçenek verilmemiştir. “Mekansal tercihler” için, direkt yolculuk ve ara duraklı yolculuk seçeneklerinin her ikisi de geçerlidir. Ara duraklı taşımacılıktaki görevlerde yolculuk süresi, direkt taşımacılıktaki yolculuk süresinden daha uzundur. Bir problemde, bazı görevler direkt taşımacılığa, bazıları da ara duraklı taşımacılığa yönelik olabilir. Hangilerinin hangi tarzda olduğuna ise, zaman çizelgelemesi aşamasında karar verilmelidir.

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

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

Kentiçi otobüs taşımacılığında, taşıtlar (6:00-24:00) gibi bir zaman aralığında çalıştırılırlar. Kentlerarasında ise, gece saatlerinde taşıt kaldırılmasına pek rastlanılmamakla birlikte, bu saatlerde hareket halinde olan taşıtlar vardır. Genel olarak, “taşıtların çalışma süreleri”nin “sınırsız” olduğu söylenebilir. Bir taşıtın bir periyot boyunca gerçekleştirdiği görevleri, her periyotta tekrarlayabilmesi için, “rota süresi” “sınırlı” olmak zorundadır. Kentiçinde rota süresinin aşılması, sürücünün fazla mesai yapmasına neden olurken, kentlerarasında ise, taşıtın görevini aksatmasına neden olabilir. Kentlerarasında, taşıtın bir periyot boyunca izlediği yol bir rota olarak tanımlanacak olursa, “rota sayısı” için “bir rota” seçeneği elde edilir.

Eşanlı rotalama ve çizelgeleme problemlerinde(ERÇP’de) görevler, öncelik kısıtlarının örtülü bir tarzda ifadesidir ve hangi adreslere hangi adreslerden önce uğranılması gerektiği belirlidir. Bu nedenle, B.4. alt alanında, “adres-adres ilişkileri” için “öncelik kısıtı var” seçeneği verilebilir. Eğer, kentlerarası yolcu taşımacılığında depo yerleri daha önceden belirleniyor ve bu girdiye göre çizelgeleme yapılması isteniyorsa, “depo-adres ilişkileri” için “depo-adres kısıtı var” seçeneğinden söz edilebilir. Depo yerleri problemin çözümünden sonra belirleniyorsa, “depo-adres kısıtı yok” seçeneği geçerlidir. Bütün eşanlı rotalama ve çizelgeleme

problemlerinde olduğu gibi, bir kentlerarası ERÇP’nde de, taşıt-adres ve rota-adres kısıtları olabilir. Buna göre, “taşıt-adres ve rota-adres ilişkileri” için, tabloda verilen bütün seçenekler geçerlidir.

Son alt alan olan işletmesel amaçlar için verilen seçeneklerden ilk üçü, genellikle RP’lerinin yapısına uygundur, sonuncusu ise RP’lerinde ve kentiçi ERÇP’lerinde olabilir. “Toplam taşıt sayısının minimize edilmesi” ve “taşıtların kullanılmayan zamanlarının minimize edilmesi” seçenekleri, kentlerarası ERÇP’lerin yapısına uygun amaçlardır.

Yukarıda sıralanan yapısal özelliklerden en önemlisi, kentlerarası yolcu taşımacılığında rotalama ve çizelgeleme problemlerinin, ERÇP tarzında olmalarıdır. Bir ERÇP için en önemli girdi ise, bir seferler kümesidir. Kentlerarası yolcu taşımacılığında, bir seferler kümesinin belirlenmesini sağlayan işleme, Bölüm 2.2.2’de zaman çizelgelemesi adı verilmiştir.

3.3.1 Kentlerarası Yolcu Taşımacılığı İçin TRÇ Problemlerinde Zaman Çizelgesinin Önemi

Önceki bölümde görüldüğü gibi, bir ağ içinde yapılacak seferlerin başlama yer ve zamanları ile, varış yer ve zamanlarını tanımlayan zaman çizelgesi, taşıt rotalaması ve çizelgelemesinin temel girdilerinden birisidir. Genel olarak, her farklı zaman çizelgesi için, farklı taşıt rotalarının ve çizelgelerinin elde edilmesi doğaldır. Hatırlanacağı gibi, taşıt rotalaması ve çizelgelemesi bir optimizasyon problemi olup, bu problemin taşıma maliyetlerini ya da kullanılacak taşıt sayısını minimize eden çözümleri araştırılmaktadır. Oysa yolcu taşımacılığı yapan bir işletmenin temel amacı, verdiği hizmet karşısında bir yarar sağlamaktır. Bu bir kamu yararı olabileceği gibi, yolculardan elde edilen gelirin maksimize edilmesi de olabilir. Elde edilecek yararlar, “sunulan hizmeti seçen yolcu sayısı” ile “taşıma maliyeti” nin fonksiyonudur.

Kentlerarası yolcu taşımacılığı TRÇ problemlerinde zaman çizelgesinin belirlenmesi için, aşağıdaki iki yoldan birisi izlenebilir:

1. Değişik zaman çizelgesi seçeneklerinin herbiri için ayrı bir TRÇ problemi çözülür ve bunların arasından en fazla yarar sağlayan çözüm seçilir,
2. Önce, işletme amaçlarını en yüksek düzeyde gerçekleştirebilecek zaman çizelgesi

oluşturulur; ardından bu çizelgeye göre TRÇ problemi çözülür,

Birinci yolda hem sefer sayısı(m), hem de sefer kalkış zamanları için seçenek sayısı(n) değişken olduğundan, zaman çizelgesi seçeneklerinin sayısı, aynı zamanda birden fazla sefer konulmaması durumunda, m=1 için (n), m=2 için $n(n-1)/2$ ve genel olarak $n!/(m!(n-m)!)$ olacaktır. Bütün (m) değerleri için toplam zaman çizelgesi seçeneği sayısı ise,

$$\sum_m \frac{n!}{m!(n-m)!} \quad (3-1)$$

işlemi ile hesaplanabilen büyük bir değere ulaşır. Örneğin, 24 saatlik bir periyotta saat başlarında sefer konulması sözkonusu olduğunda, günde bir sefer için 24, iki sefer için 276, üç sefer için 2024, dört sefer için 10.626 ve beş sefer için 42.504 adet zaman çizelgesi seçeneği oluşacaktır. 24 saatlik bir periyotta 1'li, 2'li, . . . , 24'lü seferlerin kombinezonlarının toplamı ise 16.777.220 olmaktadır. Bu seçeneklerin tümü için ayrı bir TRÇ probleminin çözümü çok zaman gerektiren bir yaklaşımdır. Daha pratik ve akılcı olan yol, seçenek sayısının bazı karar ölçütleri yardımıyla önceden azaltılmasıdır.

İkinci yol ise, işletmeye en fazla geliri ya da yararı sağlayabilecek zaman çizelgesinin belirlenmesi ve bunun için TRÇ probleminin çözülmesidir. Bu durumda bir “Zaman Çizelgelemesi” modelinin oluşturulması ve çözülmesi gerekecektir.

Bir taşıma işletmesinin iki kent arasında herhangi bir saatte sefer koyup koymama konusunda en etkili karar ölçütleri, işletmenin amaç, kaynak ve kısıtlarının yanısıra, o sefere çekilebilecek olası yolcu sayısı, kişi başına alınacak taşımacılık ücreti ve o seferin maliyetidir. Çekilebilecek olası yolcu sayısı ise, insanların yolculuk ve sefer seçimi konularındaki kararlarına bağlıdır.

Zaman çizelgelemesi, amacı, çekilebilecek yolcu sayısının maksimize edilmesi olan bir optimizasyon problemi olarak ele alınabilir. Ancak normatif yapıdaki bu zaman çizelgeleme modelinin, yolculuk seçimini tanımlayan stokastik bir alt modeli de içermesi gerekecektir. Zira, yolcuların iki nokta arasında herhangi bir saatte konulacak seferi seçmelerinde, bu seferin

kalkış zamanı, erişebilirliği, taşıma ücreti, yolculuk süresi ve konforu gibi deterministik özelliklerinin yanısıra, onların stokastik yapıdaki davranışları da etkili olacaktır.

Yolcu sayılarının, yolculuğa başlamak istedikleri zaman aralıklarına göre dağılımlarının bilindiği varsayılırsa, bu durumda da, belirli bir zaman aralığında yolculuk yapacak olanların, aynı aralıkta değişik tür ve işletmeler tarafından sunulan seferlerden hangisini seçeceklerini araştıran bir alt modele gereksinim duyulacaktır.

Eğer, bir işletme ile yolculuk yapmak isteyenlerin zaman içindeki dağılımları ile, yolcuların arzu ettikleri kalkış saatinden önce ya da sonra kalkacak olan bir seferi seçebilmeleri için kabul edebilecekleri en büyük zaman farkları da biliniyorsa, bu durumda zaman çizelgelemesi problemi, deterministik bir optimizasyon problemine dönüşür.

Zaman çizelgelemesi için çok önemli olan sunu, yolculuk ile yolcu özellikleri Bölüm 3.3.2’de, ve yolculuk(sefer) seçimi Bölüm 3.3.3’de kısaca gözden geçirilecektir.

3.3.2 Sunu, Yolculuk ve Yolcu Özellikleri

İkinci bölümde, bir ulaştırma sisteminin çıktılarının, “sunu” ve “etkiler olarak iki grupta toplanabileceği; sunu grubu içine, ulaşım ağı ve bu ağ boyunca sunulan seyir koşulları ile, işletmeler tarafından sunulan hizmetin özelliklerinin girdiği belirtilmişti. Erel(1995), daha iyi anlaşılabilmesi için, ulaştırmadaki “sunu” kavramının, sunu eylemlerinde etkileyici ve etkilenen rollere sahip olan aşağıdaki üç grubun(aktörlerin) değerlendirmelerine, algılamalarına ve etkilenmelerine göre ele alınmasını önermektedir :

- Ulaşım olanaklarını sunanlar (Merkezi ve yerel yönetimler, işletmeciler),
- Sistemi kullananlar(özel taşıt sahipleri, işletmeciler, yolcular, yük sahipleri),
- Sistemi kullanmayanlar ve diğer çevre bileşenleri.

Sunu özellikleri, ulaşım olanaklarını sunanların kararlarına göre belirlenen, taşıma ağı, , zaman çizelgeleri, taşıt rotaları ve çizelgeleri, taşıt filosu, kaynak tüketimi, maliyetler, taşıma

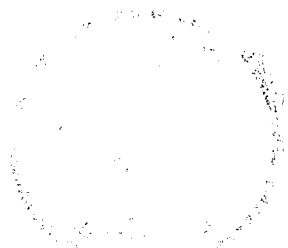
cretleri, hizmet kalitesi ve işletme denetimi konularının, yolcuların gözüyle algılanan ve değerlendirilen şekli olarak tanımlanabilir. En önemli sunu özellikleri şunlardır :

- * Erişebilirlik,
- * Sıklık,
- * Ulaşım süresi,
- * Konfor,
- * Dakiklik,
- * Güvenilirlik,
- * Taşıma kapasitesi,
- * Taşıma creti

Bunlardan ilk yedi özellik, bir taşımacılığın hizmet düzeyini tanımlamaktadır. Erişebilirlik, bir taşıma işletmesinin sunu özellikleri hakkında görsel-işitsel iletişim yollarıyla bilgi edinebilme ve yer ayırtabilme olanakları ile, yolculuk başlangıç-son noktalarının terminallere ulaşım olanaklarını tanımlamaktadır. Sıklık ve ulaşım süresi, zaman çizelgesinin çıktılarıdır. Konfor ve dakiklik, hizmet kalitesi ve işletmenin denetim koşulları ile; taşıma kapasitesi, zaman izelgesi ve taşıt filosu ile, taşıma creti ise, işletme amaçlarının yanısıra, kaynak tüketimi ve maliyetler ile belirlenen özelliklerdir.

Yolcuların sunu özelliklerini algılamaları ve değerlendirmeleri, aşağıda sayılan yolculuk ve yolcu özelliklerine bağlıdır(Erel, 1994) :

- * yolculuk amacı,
- * yolculuğun başlangıç ve son noktaları,
- * yolculuğa karar verilen zaman,
- * yolculuğa başlanabilecek en erken zaman ile son noktaya varılması gereken en geç zaman,
- * yolcunun ekonomik ve sosyal düzeyi,
- * yolcunun fiziksel özellikleri (cinsiyet, yaş, kilo, hastalık vb.),
- * yolcunun ruhsal özellikleri (alışkanlık, korku, hoşlanma vb.),
- * yolculuğun tek ya da grup olarak yapılması,



* yolcunun taşıma işletmelerinin sundukları ulaşım olanakları ve koşulları hakkındaki bilgi düzeyi.

Bu özelliklerin ilk dördü “yolculuk”, diğerleri ise “yolcu” özellikleri olarak gruplandırılabilir. Yolcu özellikleri, gerek arzu edilen yolculuk koşulları ile ilgili kararlarda, gerek tür, işletme ve sefer seçiminde çok etkilidir.

Kanafani(1983), amaçlarına göre yolculukları, iş, ziyaret ve eğlenme-dinlenme olmak üzere üç grupta sınıflandırmakta; iş yolculukları yapanların en çok yolculuk süresine duyarlı olduklarını, diğer yolculuklar için ücretin ön plana çıkabileceğini belirtmektedir. Yolculuk amacı, diğer bir çok yolcu özelliğinin belirlenmesinde ve, yolcuların tercih edecekleri sistem türü ile, işletme ve sefer seçimlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin, ölüm ve hastalık gibi, önceden tahmin edilebilme olanağı bulunmayan ve zaman değeri çok yüksek olan nedenlerle yapılacak yolculuklarda, diğer bir çok özellik önemsiz ya da etkisiz duruma gelebilir.

Başlangıç ve son noktaları da yolculuk amacı ile yakın ilişkili olup, aynı zamanda seçilebilecek ulaşım alt sistemlerinin ve taşıma işletmelerinin kümelerini belirleyici bir özelliktir. Yolculuğa karar verilen zaman, bir yolcunun seçme olasılığı olan sefer saatleri kümesini tanımlar. Yolculuğa başlanabilecek en erken zaman ile son noktaya ulaşılması gereken en geç zaman sınırları, karar zamanına göre belirlenen seferler kümesinin içindeki daha küçük bir kümeyi tanımlarlar. Burada hatırlanılması gereken konu, yolculuk sürelerinin değişik ulaştırma alt sistemleri ve hatta aynı alt sistem içinde hizmet sunan değişik işletmeler için farklı olabileceğidir. Bu durumda, her bir alt sistem ayrı ayrı seferler kümeleri tanımlanabilecektir. Bunların içinden yapılacak seçim ise, diğer yolcu özelliklerine göre belirlenecektir

Ekonomik ve sosyal düzeyin, tür ve işletme seçiminde etkili olacağı açıktır. İnsanlar olağanüstü durumların dışında, taşıma ücretini ödeyebilecekleri tür ve işletmelere yönelmek zorundadırlar. Bununla birlikte gelir düzeyi pek yüksek olmasa da, konfora ya da güvenliğe fazla önem veren bazı insanlar, bu özellikler için ek para ödemeyi kabul edebilmektedirler.

İnsanlar, yolculukları için tür, işletme ve zaman seçerken, cinsiyet, yaş, kilo, hastalık gibi fiziksel özellikleri ile, alışkanlık, korku, hoşlanma gibi ruhsal özelliklerinden ve, yolculuğu tek ya da grup olarak yapmalarından çok etkilenmektedirler. Örneğin küçük yaştaki bir çocuğun

yalnız olarak uzun süreli bir yolculuk yapması gerektiğinde, yolculuk zamanı gündüz saatleri içinde seçilecek, belki de gelir düzeyi düşük olmasına karşın uçak ile yolculuk yapması tercih edilebilecektir. Bu konuda çok sayıda örnekler verilebilir.

Yolcu özelliklerinin sonuncusu, yolculuk için kullanılabilecek tür, işletme ve sefer seçeneği kümelerinin belirlenmesinde doğrudan etki yapabilmektedir. Örneğin gitmek istediği bir yere ulaşım hizmeti sunan bazı tür ya da işletmeler hakkında, ya da istediği zaman kesiminde kalkan seferlerin tümü hakkında bilgisi bulunmayan bir yolcu adayı, seçimini yalnızca bildikleri arasından yapmak durumunda kalacaktır. Bu konuda tür ve işletmelerin bilgi ile erişebilirlik özellikleri çok önemli rol oynamaktadır.

3.3.3 Yolculuk(Sefer) Seçimi

Seçim, yolculuk yapmada karar verme eyleminin ana bileşenidir. Yolculuk yapacak olan yolcu, tür, rota, zaman gibi seçenek türlerinin birkaçı ile karşı karşıyadır. Bu nedenle, yolculuk seçiminin modellenmesi, ulaştırma istem 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 oluşturmuştur.

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

Bu varsayımların herikisinin de uygulanabilirliği, stokastik seçim modeline uyarlanmaları ile olanaklı hale gelir. Varsayımlara dayanılarak oluşturulabilen bu modelde, seçim sürecinin

kendisi deterministik olmasına rağmen, tamamıyla açıklanamayan rastlantısal etkiler altındadır. Bu etkiler, seçim yapacak kişilerin davranışlarının düzensizliğinden kaynaklanır. Bunun nedeni de, varolan seçeneklerin özellikleri konusundaki bilgi yetersizliği, ya da bu özelliklerin anlaşılmasındaki düzensiz rastlantısal değişimlerdir. Rastlantısallığın kaynaklarının neler olduğunu ortaya çıkaracak bir yol yoktur. Stokastik modeller, yolculuk davranışının tahmininde deterministik modellerden daha iyidir.

3.3.3.1 Deterministik Seçim

Bu konu bir örnekle açıklanabilir. Bir yolcu adayını, I seçenekler kümesi ile karşı karşıya olsun. Herbir $i \in I$ seçeneği, seçim fonksiyonu olarak ifade edilen (V_i) fonksiyonu ile tanımlanır. Bu fonksiyon, bütün istem ve sunu değişkenlerini içerdiği gibi, seçeneğin yararlılığına ya da yararsızlığına ilişkin özellikleri de içerir. (V_i) fonksiyonunun en genel oluşturulma şekli, bu istem ve sunu değişkenlerinin veya bunların basit kombinasyonlarının bir lineer fonksiyondur (Lerman, 1982), (Kanafani, 1983):

$$V_i = \beta_1 \cdot (\text{süre}_i) + \beta_2 \cdot (\text{maliyet}_i) \quad (3-2)$$

Daha genel olarak;

$$V_i = \beta_1 \cdot x_{i1} + \beta_2 \cdot x_{i2} + \dots + \beta_k \cdot x_{ik} \quad (3-3)$$

yazılabilir. Burada ;

- V_i : “i” seçeneğinin yolcu adayına yararlılığı,
- $x_{i1}, \dots, x_{ik}$: yolcu adayını için “i” seçeneğinin niteliklerini açıklayan değişkenler,
- $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$: her bir değişkenin etkilerini belirten ve hesaplanmasına gereksinim duyulan katsayılar.



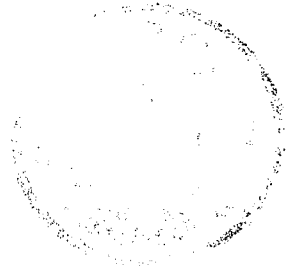
Bu bağıntıya göre seçim fonksiyonu pozitif yöndedir. Yani, (V_i) fonksiyonu yüksek bir değere sahipse, (i) seçeneğinin seçilme şansı yüksektir. Bu durum (β) katsayılarının işaretlerini değiştirmek sureti ile değiştirilebilir.

Örnek : Bu konuya basit bir rota seçimi örneği verilebilir. Eğer bir yolcu, yolculuğu için belirli sayıdaki rota seçenekleri ile karşılaşır ve bu rotalar yolculuk süresi dışındaki (taşıma ücreti, konfor vb.) özellikleri bakımından benzer iseler, birey en kısa süreli olan rotayı seçecektir. Bu da deterministik seçim modeline oldukça uygundur. Bu durumda, (X_i) vektöründe sadece bir tane değişken vardır, o da (i) seçeneğinin yolculuk süresi (t_i) olacaktır. (β_k) değeri tüm seçenekler için aynıdır ve (-1) 'e eşittir.

3.3.3.2 Stokastik Seçim

Yolcu davranışının analizi konusundaki deneyimler, deterministik seçim modelinin, gerçek yaşam içindeki durumlara cevap verebilmesinin kısıtlı ve sınırlı olabileceğini göstermektedir. Stokastik tercih modellerinin tercih edilebilir olmasının en önemli gerekçeleri şunlardır (Lerman, 1982) :

1. Bireylerin davranışları, her zaman akılcı seçim kurallarını izlemeyebilir ve yolcu davranışının yapısı, deterministik bir modelde görülmeyebilir;
2. $V(.)$ seçim fonksiyonunun, seçimi etkileyebilme olasılığı olan tüm değişkenleri içermesi her zaman olanaklı değildir. Örneğin işe gitmek için bir ulaşım türünün seçiminde, birçok insanın, herhangi bir günde iş sonrası başka etkinliklere erişmeleri gerekebilir, bu da onların işe gitmek için otomobili seçmeleri konusunda yol gösterir ya da etkili olur. Bu gibi etkenlerin daha önceden tahmin edilmeleri olanaksızdır. Edilebilse bile, bunları da içeren bir fonksiyonunun yapısı çok karmaşık olur;
3. Olası yolcunun, kendisine sunulan ulaşım sistemi ve seçenekler konusunda kesin bilgileri olmayabilir. Analiz ile belirlenen (I) seçenekler kümesi, gerçekte yolcu tarafından anlaşılandan daha geniş olabilir. Ya da $V(.)$ fonksiyonu, yolcu tarafından eksik ya da yarım anlaşılan değişkenleri içerebilir;



4. Bireylerin ve bireylerin algıladığı seçenek özelliklerinin ölçümünde eksiklik yapılabilir. Analizcinin ölçümü ile, bireyin gerçek değeri arasındaki farklılıklar, gözlemlerin rastlantısallığından kaynaklanır;
5. Genellikle, karar verici tarafından kullanılan gerçek niteliklerin yerine, onları temsil edecek nitelikler kullanmak zorunda kalınır. Örneğin bir araba seçiminin yapılmasında, bireyler “konfor” gibi genelleştirilmiş bir nitelik kullanabilirler. Analizciler ise, ölçülerek çıkarılan niteliklerle karşı karşıyadırlar. Gerçek nitelikler ile, onları temsilen kullanılan nitelikler arasındaki farklılıklar, rastlantısallığın başka bir kaynağını oluşturmaktadırlar.

Stokastik bir modelde, yukarıdaki konular yararlılık fonksiyonuna eklenen rasgele değişkenler yardımıyla hesaba katılabilmektedir. Rasgele yararlılık modeli (random utility model) olarak tanımlanan bu fonksiyon aşağıdaki biçimde tanımlanır(Lerman, 1982) :

$$U_i = V_i + e_i \quad (3-4)$$

- U_i : “i” seçeneğinin yolcu adayına yararlılığı,
 V_i : Yararlılığın deterministik olan, rastlantısal olmayan bileşeni,
 e_i : Yararlılığın rastlantısal ya da açıklanamayan kısmını oluşturan bir rasgele(stokastik) değişken.

Deneysel araştırmalar ve yolcu davranışlarından, (V_i) fonksiyonunun şeklini saptamak ve içerdiği değişkenleri seçmek olanaklıdır. Oysa, seçim fonksiyonunun rasgele bileşenlerinin deneysel olarak gözlenmesi kolay değildir. Çünkü deneysel yöntemlerle, ancak kontrol edilebilen durumlardaki birey davranışları gözlenebilir. Bu nedenle, seçim fonksiyonu karşısında algının ve davranış değişkenliğinin gözlenmesi için, istatistiksel veriler ile, (e_i)’in dağılım şeklinin bilinmesine gereksinim vardır.

Günümüzde en çok kullanılan seçim modelleri, Probit ve Logit modellerdir. Bunlardan en çok uygulananı ise, (β_k) katsayılarının bulunması, uygulanması ve yorumu probit modelden daha kolay olan Logit modeldir.

3.3.4 Modeller

Bu çalışma amacıyla yapılan kaynak taramasında, son yirmi yıldaki çalışmaların arasında, kentlerarası yolcu taşımacılığı planlaması ile ilgili az sayıda örneğe rastlanmıştır. Bunlar da genellikle havayolu taşımacılığına yöneliktir. Bu bölümde, önce, eşanlı rotama ve çizelgeleme problemleri ile ilgili temel modeller, formülasyonları ile birlikte verilecektir. Hatırlanacağı gibi, eşanlı rotalama ve çizelgeleme modellerinde, yolcuların istemleri, yolculardan elde edilen gelir vb. dikkate alınmamaktadırlar. Ardından, zaman çizelgelemesi ile birlikte taşıt rotalaması ve çizelgelemesini ele alan modellere yer verilecektir. Bu modeller, eşanlı rotalama ve çizelgeleme modellerine göre daha kapsamlıdır ve alt modellerin biraraya getirilmesiyle oluşturulabilirler. Aşağıda herbir alt bölümde, ayrı bir model tanıtılmaktadır.

3.3.4.1 Model 1

Bodin(1983), eşanlı rotalama ve çizelgeleme problemlerinin, ağ optimizasyon problemleri olarak ele alınabileceklerini belirtmekte 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 bulunmaktadırlar. Modelin temel girdisi, görevler kümesidir. Daha önce de belirtildiği gibi, görevler, yapılması zorunlu olan seferlerdir. Herbir (i) görevi, başlangıç yeri (BY_i), başlangıç zamanı (BZ_i), varış yeri (VY_i) ve varış zamanı (VZ_i) 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,

$$VZ_i + T(VY_i, BY_j) \leq BZ_j \quad (3-5)$$

bağıntısını gerçekleştirmeleri gerekmektedir. Burada $T(L_1, L_2)$, (L_1) bölgesinden (L_2) bölgesine yolculuk süresini göstermektedir. (3-5) nolu bağıntıyı gerçekleştiren herbir (i) düğümünden (j) düğümüne bir kol geçirilmektedir. Bu kollara, kaynak düğümünden herbir göreve ve herbir görevden hedef düğüme geçirilen kollar da eklenerek, (A) kollar kümesi elde edilmektedir. Herbir (i, j) koluna, bir (c_{ij}) maliyeti atanarak, aşağıdaki formülasyon verilmektedir.

I :

$$\text{Min} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (3-6)$$

Kısıtlar :

$$\sum_{i:(i,j) \in A} x_{ij} - \sum_{i:(j,i) \in A} x_{ji} = 0 \quad \text{tüm } j \in N - \{k, h\} \quad \text{iç in} \quad (3-7)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in A} x_{ij} = 1 \quad \text{tüm } j \in N - \{k, h\} \quad \text{iç in} \quad (3-8)$$

$$0 \leq x_{ij} \leq 1 \quad \text{ve tamsayı} \quad \text{tüm } (i, j) \in A \quad \text{iç in} \quad (3-9)$$

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

Amaç fonksiyonu(3.6), toplam kol maliyetlerini minimize etmektedir. Eğer herbir kola,

- $i, j \in N - \{k, h\}$ için, taşıtın (i) ve (j) görevleri arasındaki boş bekleme süresinin maliyeti ile eğer gerekirse 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 minimize eder. (3-7) nolu kısıt, akımın korunmasını¹; (3-8) nolu kısıt, herbir göreve mutlaka ve yalnız bir taşıt atanmasını sağlamaktadır. (3-9) nolu kısıt tamsayılık kısıtıdır.

Bu modelin formülasyonu, aslında minimum 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. Herbir bağlantı(sıralama), bir taşıtın hangi görevleri gerçekleştirmesi gerektiğini göstermektedir. Dolayısıyla, sıralamaların sayısı, bir görevler kümesine hizmet veren taşıtların toplamıdır. Bu sıralamalar, taşıt rotası ya da çizelgesi olarak adlandırılabilirler.

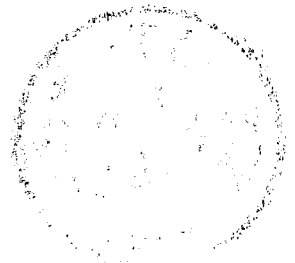
Desrosiers ve arkadaşlarının sundukları tek depolu modelin farkı, taşıt sayısının sınırlı olmasıdır. Bununla birlikte, taşıt sayısının, her düğüme mutlaka bir taşıtın uğraması kısıtı ile çelişmeyecek bir sınırlı değerde olması gerekmektedir.

Bu model kısaca, “tek depolu ve taşıtların rota süreleriyle ilgili herhangi bir sınırlama olmayan bir model” olarak özetlenebilir. Bölüm 3.3’de yapılan açıklamalara dayanılarak, modelin bu haliyle kentlerarasına uygulanması söz konusu değildir. Söz konusu olan bölümde, taşıtların rota sürelerinin sınırlı olması üzerinde önemle durulmuştur. Ancak bu model, Bodin’in sunduğu diğer iki modelin temelini oluşturmaktadır.

3.3.4.2 Model 2

Bodin tarafından verilen bu model, tek depolu modelin genişletilmiş hali olup, hangi depodaki taşıtlar ile hangi görevlere hizmet verileceğinin belirlenmesiyle 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) , ... , (k_m, h_m) olmak üzere (m) adet de kaynak/hedef çifti söz konusudur.

¹ Akım ve akımın korunumu için (Potts, 1972) kaynağına bakınız.



Eğer bir (i, j) koluna, bir (l) deposundaki taşıt ile hizmet verilebiliyorsa, bu kol (A_l) kümesine katılmaktadır. Bu şekilde, herbir depo için bir kol kümesi belirlenmektedir. Diğer modellerde olduğu gibi, herbir kola ilgili maliyetler atanarak, model aşağıdaki şekilde formüle edilmektedir.

II.

$$\text{Min } \sum_{l=1}^m \sum_{(i,j) \in A_l} c_{ij}^l x_{ij}^l \quad (3-10)$$

Kısıtlar :

$$\sum_{i:(i,j) \in A_l} x_{ij}^l - \sum_{j:i(j) \in A_l} x_{ji}^l = 0 \quad \text{tüm } j \text{ görevleri ve } l \text{ depoları için} \quad (3-11)$$

$$\sum_{l=1}^m \sum_{i:(i,j) \in A_l} x_{ij}^l = 1 \quad \text{tüm } j \text{ görev düğümleri için} \quad (3-12)$$

$$0 \leq x_{ij}^l \leq 1 \text{ ve tamsayı} \quad l = 1, 2, \dots, m \text{ ve tüm } (i, j) \in A_l \text{ için} \quad (3-13)$$

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

Amaç fonksiyonu(3.10), toplam kol maliyetlerini minimize etmeyi araştırmaktadır. (3-11) nolu kısıt, akımın korunumunu; (3.12) nolu kısıt, mutlaka herbir düğüme, bir depoda bulunan taşıt ile hizmet verilmesini sağlamaktadır. (3.13) nolu kısıt ise tamsayılık kısıtıdır. Model, yapı olarak tamsayılı ve çok türlü (multicommodity) bir ağ akım problemidir².

² Çok türlü (multicommodity) ağ akım problemleri için (Schrage, 1991) kaynağına bakınız.

Çok depolu olan bu model, tek depolu ve çok taşıt 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 oluşudur. Kentlerarasında her kentin bir depo karakteristiğinde olması nedeniyle, modelin uygun olduğu düşünülebilir. Diğer yandan, rota süresi bu modelde de sınırlı olmadığından, modelin bu hali ile kentlerarası yolcu taşımacılığına uygulanması düşünülmemiştir.

3.3.4.3 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 eşanlı 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, (τ_{maks}) sabitinden daha uzun süreli taşıt rotalarına izin verilmemektedir. Verilen örnek için $\tau_{maks} = 24$ saat'tir.

Ağdaki düğümler kümesi, yalnızca görevler kümesinden oluşmaktadır. Dolayısıyla kaynak ve hedef düğümler yoktur. Kollar kümesi ise, iki ayrı kümenin birleşiminden oluşmaktadır. Bunlardan ilki, (A_1) ileri kollar kümesidir. Bir (i) düğümünden bir (j) düğüme ileri bir kol geçirebilmek için, bu iki düğümün, (1.) Modelde verilen (3.5) nolu bağıntıyı sağlamaları gerekmektedir. İkinci küme, (A_2) geri kollar kümesidir. Bir (i) düğümünden bir (j) düğüme geri bir kol geçirebilmek için, bu iki düğümün,

$$(VZ_i - BZ_j) + T(VY_i, BY_j) \leq \tau_{maks} \quad (3-14)$$

bağıntısını sağlamaları gerekmektedir. Herbir ileri kol ve geri kola, ilgili bir (c_{ij}) maliyeti atanarak, aşağıdaki formülasyon verilmektedir.

III :

$$\text{Min } \sum_{(i,j) \in A_1} c_{ij} x_{ij} + \sum_{(i,j) \in A_2} c_{ij} y_{ij} \quad (3-15)$$

Kısıtlar :

$$\sum_{i:(i,j) \in A_1} x_{ij} + \sum_{i:(i,j) \in A_2} y_{ij} - \sum_{i:(i,j) \in A_1} x_{ji} - \sum_{i:(i,j) \in A_2} y_{ji} = 0 \quad (3-16)$$

tüm $j \in N$ için

$$\sum_{i:(i,j) \in A_1} x_{ij} + \sum_{i:(i,j) \in A_2} y_{ij} = 1 \quad \text{tüm } j \in N \text{ için} \quad (3-17)$$

$$\sum_{(i,j) \in A_1 \cap C} x_{ij} + \sum_{(i,j) \in A_2 \cap C} y_{ij} \leq |C| - 1 \quad (3-18)$$

tüm $|A_2 \cap C| \geq 2$ olan C döngüleri için

$$0 \leq x_{ij} \leq 1 \quad \text{ve tamsayı,} \quad \text{tüm } (i,j) \in A_1 \text{ için} \quad (3-19)$$

$$0 \leq y_{ij} \leq 1 \quad \text{ve tamsayı,} \quad \text{tüm } (i,j) \in A_2 \text{ için} \quad (3-20)$$

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

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



Amaç fonksiyonu(3.15), toplam kol maliyetlerini minimize etmektedir. Herbir kol maliyeti, taşıtın boşuna beklemesi ve seyri ile ilgilidir. Taşıt yatırım maliyetlerini, bu modele dahil etmek biraz zordur. Ancak herbir taşıt elden geldiğince en iyi şekilde kullanılacağı için, gerekli olan taşıt sayısının da minimize edildiği düşünülebilir. (3-16) nolu kısıt, bir düğüme kol girdiği takdirde bu düğümden kol çıkmasını sağlamaktadır. (3-17) nolu kısıt, her düğüme bir taşıt atanması ile ilgilidir. (3-18) nolu kısıt, diğer kısıtlar ile ortaya çıkan herbir 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. (3-19) ve (3-20) nolu kısıtlar, tamsayılık kısıtlarıdır.

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

3.3.4.4 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 Taşımacılığına uygulanmıştır. Bu yaklaşıma göre, ilk aşamada, depolardan bağımsız olarak rotalar ve çizelgeler eşanlı olarak oluşturulmakta ve ikinci aşamada, herbir 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, herbir taşıtın yalnız bir seferi gerçekleştirmesi durumuna olanak tanıdığından, herhangi bir sorun yaratmaz. Herbir sefer, kalkış ve varış olayları olarak ikiye

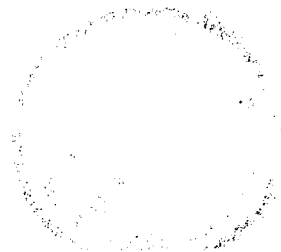
ayrılmıştır. Bir kalkış olayı ait olduğu seferin kalkış yeri ve zamanını; bir varış olayı ise ait olduğu seferin varış yeri ile zamanını göstermektedir.

Bir varış olayı ile kalkış olayının birbirlerine bağlanması ile, bu olayların ait oldukları seferler de bağlanmaktadır. Seferlerin bu şekilde birbirlerine bağlanmaları ile, herbir taşıt rota ve çizelgesi belirlenmektedir. Bir varış olayı ile bir kalkış olayı arasındaki bağa, taşıt ile personelin boş bekletilmesi ve boş 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 boyutunun 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 orerinin son seferidir. Bu bağa herhangi bir maliyet ataması yapılmaz.

İlk aşamanın amaç fonksiyonu, bağ maliyetlerini minimize etmektedir. Kısıtlar, herbir kalkışa ve varışa bir bağ olmasını sağlamakta ve hayali depodaki otobüslerden gerekli olanlarının 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 herbir taşıt rotası ve çizelgesi, ikinci aşamada bir depoya bağlanmaktadır. Dolayısıyla, herbir 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 minimize etmektedir. Kısıtlar ise, herbir taşıt rotası-çizelgesine yalnız ve mutlaka bir taşıt atanmasını; bir depodan atanan taşıt sayısının, sözkonusu depodaki taşıt sayısını aşmamasını sağlamaktadır.

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



3.3.4.5 Model 5

Richardson(1976), uluslararası havayolu taşımacılığı için değişik bir yaklaşıma sahip bir model sunmuştur. Bu modelde, taşıtların önce rotalaması, ardından çizelgelemesi yapılmaktadır. Rotalama, bir uçağın iniş yapacağı kentlerin sıralamasını; çizelgeleme ise herbir rotadaki sıralı kentlere kalkış zamanlarının atanmasını ifade etmektedir. Dolayısıyla taşıt çizelgelemesi, aynı zamanda zaman çizelgelemesini de belirlemektedir. 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 rotalaması ve çizelgelemesi eşanlı olarak ele alınmamaktadır.

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 sektörler ayırmaktadır. Bu sektörler içindeki kentlere de, sektör kentler adı verilmektedir. Bir uçağın herbir kayma düğümleri kümesinden en fazla bir düğüme, herbir 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, uluslararası taşımacılıkta, yolcular, hizmet sıklığından ziyade, ara duraklarda güvenlik ve gümrük kontrolleri nedeniyle yitirilen zamanlardan etkilenmektedirler. Bu düşünce tarzı ile, uluslararası uçak ile yolcu taşımacılığı, rotalama ağırlıklı bir problem haline dönüştürülmüştür.

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

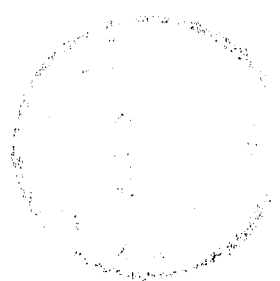
Modelde, bir havayolu işletmesinin, diğer işletmeleri dikkate almadan, uğrayacağı kentleri özgürce seçebildiği ve bu işletmenin taşıyabileceği yolcu sayısının ise, hizmet verilen kentler arasındaki yolcu sayısına ve uçak kapasitesine bağlı olduğu varsayılmaktadır. Ayrıca modelde, istemin zamansal değişimi ele alınmamakta ve yolcuların, duraklardaki bekleme süresi dışındaki yolculuk süresi, ücreti gibi faktörlerden etkilenmediği kabul edilmektedir. Bu varsayımlar ve kabuller, modeli kolaylaştırmasına karşın, gerçek durumdan da uzaklaştırmaktadır. Bu modelin otobüs taşımacılığına uygulanabilmesi için, çok işletmeli ve yolcu tercihlerini dikkate alan bir biçime dönüştürülmesi gerekir.

3.3.4.6 Model 6

Soumis ve arkadaşları(1980), havayolu taşımacılığı için geliştirdikleri modelde, taşıt rotalaması ve çizelgelemesini zaman çizelgelemesi ile birlikte ele almaktadırlar. Bu çalışma, en çok kaynak gösterilen çalışmalardan birisidir. Herbir zaman çizelgesi seçeneği, farklı bir ağ; herbir 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 gerçekleştirebilmektedir. Bir rota, bir O-D çifti yolcularının hangi uçuş ayakları üzerinden götürüleceklerini göstermektedir. Dolayısıyla bir rota üzerindeki uçuş ayaklarının, aynı uçuşa ait olması gerekmemektedir.

Modelin girdisi, herbir O-D çifti arasındaki istemin gün içindeki dağılımıdır. Bu istem, günün farklı zamanlarına karşılık gelen ve herbiri market olarak tanımlanan, altgruplara 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 sözkonusu market yolcularının tümünün bu ortalama zamanda yolculuğa başlamak istedikleri varsayılmaktadır.



Amaç fonksiyonu, yolcuların hoşnutsuzları ile yolcu fazlasından kaynaklanan gelir kaybını ve rotalama maliyetlerinin toplamını minimize etmektedir. Minimum gelir kaybı, maksimum gelire karşılık geldiğinden, amaç fonksiyonunun kârı maksimize ettiği de söylenebilir. Kısıtlara göre, bir marketteki yolcuların, o markete hizmet veren rotalara atanması gerekmekte ve bir rotaya atanan yolcu sayısı negatif olamamaktadır.

Yolcuların rotalara atanmasında, yolcu fazlası ile, yolcuların hoşnutsuzluklarının minimize edilmesi esas alınmıştır. Ancak bir yolcunun hoşnutsuzluğunun nasıl değerlendirildiği ile ilgili açıklamalar yapılmamıştır. Yolcu fazlası ise, bir rotaya atanan yolculardan, uçaktaki yer yetersizliği nedeniyle taşınamayan yolculardır. Bu fazlalık, kaybedilen bir yolcu potansiyeli olduğundan, bir havayolu işletmesinin gelir kaybı olarak dikkate alınmıştır.

Soumis ve arkadaşları(1981), başka bir makalede, yolcunun hoşnutsuzluğu ile ilgili olarak daha kapsamlı açıklamalarda bulunmaktadır. Buna göre, bir yolcunun hoşnutsuzluğu, rotanın çekiciliği arttıkça azalmaktadır. Bir rotanın çekiciliği ise, yolcunun tasarladığı kalkış zamanı ile rotanın kalkış zamanı arasındaki farkın ve aktarmasız ve ara duraksız(direkt) yolculuk süresi ile rota özelliklerine bağlı yolculuk süresi arasındaki farkın bir fonksiyonudur.

Bu modelde, toplam yolcu fazlasından kaynaklanan gelir kaybının minimize edilmesi ile, yolcuların toplam hoşnutsuzluk maliyetlerinin minimize edilmesi, birbirleriyle çatışabilirler. 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. Modelde, yolcuların rota ücretlerine olan duyarlılıkları da önemsenmemiştir. Bu modelin mevcut yapısı ile çok sayıda işletmenin bulunduğu kentlerarası yolcu taşımacılığına uygulanması pek olası değildir. Modelin en önemli ve değişik yanı, taşıt kapasitesinin sınırlı olarak ele alınması, ancak bu sınırın aşılabılır olmasıdır. Bu nedenle, bu tarzdaki problemlerde çözümü zorlaştıran taşıt kapasitesi kısıtları yoktur. Yani bir rotaya, dolayısıyla bir uçuş ayağına, uçağın kapasitesini aşan yolcu ataması yapılabilmekte, ancak amaç fonksiyonu ile yolcu fazlası minimize edilmektedir. Böylece gizli bir kısıtın varlığı sözkonusudur. Ancak, bir yandan yolcular, tek işletme kabulü ile mutlaka bir rotaya atanırlarken; diğer yandan başka seçenekleri varmış gibi taşınamamalarının kabul edilmesi, oldukça çelişkilidir.

3.3.4.7 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 istemi olan kentlerden oluşmaktadır. Bir yolculuğun başladığı kent ile bittiği kent(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.

Dobson ve Lederer’in sundukları algoritma, diğer havayollarının rotaları ve taşıma ücretleri belirli iken, bir havayolunun kârını maksimize eden uçuş kümesinin ve dolayısıyla zaman çizelgesi ile taşıt rotası ve çizelgesinin bulunmasını sağlayan, üç düzeyli bir algoritmadır. Algoritma sezgisel olduğu halde, optimal terimi kullanılmaktadır. Bu terim, sezgisel ile elde edilen en iyiye karşılık gelmektedir.

Algoritmanın birinci düzeyinde, uçuş kümeleri oluşturulmaktadır. Başlangıç uçuş kümesi, bir gün eşit büyüklükteki periyotlara bölünerek ve herbir periyot başlangıcında, herbir kentten merkeze ve aksi yönde uçak kaldırıldığı kabul edilerek oluşturulmaktadır. Uçakların herbiri, yalnızca belirli bir kent ve merkez arasındaki uçuşlara atanabilmektedirler. Diğer uçuş kümelerinin herbiri, 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 taşıt filosundan çıkarılır.

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

Üçüncü düzeyde, bir rotalar kümesindeki herbir rota ücreti, havayolunun kârını maksimize edecek şekilde bulunmaktadır. Bu düzey için kullanılan modelin amaç fonksiyonu,



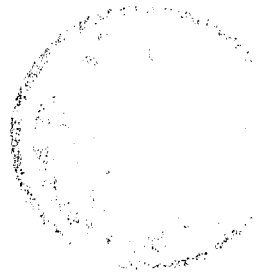
havayolunun kârını maksimize etmektedir. Havayolunun kârı, yolculardan elde edilen gelir ile yatırım ve işletme maliyetlerinin farkıdır.

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

Makalede verilen “merkez ve çubuk” sistemi, kesinlikle aktarmalı bir taşımacılık gerektirmekte 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 Lederer, bir başlangıç uçuşlar kümesinden uçuş çiftleri çıkararak havayolunun kârının değişiminin incelemeyi tercih etmektedirler. Soumis ve arkadaşları ise uçuşlar kümesine ya yeni uçuşlar eklemekte, ya da mevcut uçuşlardan bazılarını 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 sayıda taşıt rotalama ve çizelgeleme problemlerinin çözülmesinden kaçınmak amacıyla yapılmıştır.

Genellikle bir ulaştırma türünde hizmet veren birçok işletme vardır. Sezgisel algoritmada, bir havayolu ile ilgili kararların başka havayollarının da bulunduğu bir ortamda alınması, algoritmanın üstün özelliklerinden birisidir.



3.3.4.8 Modellerin Değerlendirilmesi

Bölüm 3.3.4'de, çeşitli modeller açıklanmış ve eleştirileri yapılmıştır. Bu modeller, kentlerarası otobüs taşımacılığı için oluşturulması düşünülen bir modele, uygunlukları açısından birarada yeniden gözden geçirilecektir. Böyle bir modelin, bu taşımacılığın yapısını da dikkate alan aşağıdaki genel özelliklere sahip olması gerekir:

- * Çok sayıda işletmenin bulunduğu bir taşımacılık ortamı,
- * Yolcunun tercihlerini dikkate alan bir yolcu ataması,
- * Yapılacak taşımacılık karşılığında kâr elde edilmesi,
- * Yolcuların rasgele davranışlarının hesaba katılması,
- * Çözüm kolaylığı,
- * Çözümde esneklik,
- * İnsan deneyiminin ve sezgisinin problemin çözümüne katılabilmesi,
- * Çözüm algoritmalarının bilimsel gelişmeler ile birlikte, kısmen değiştirilebilme özelliği.

Öncelikle, Bölüm 3.3.4'de verilen modellerden yalnızca (4) nolu model, otobüs taşımacılığına yöneliktir. Ancak bu model, diğer (1), (2) ve (3) nolu modeller gibi, yalnızca eşanlı rotalama ve çizelgele modelidir. Dolayısıyla bu model ile, yolcuların tercihlerinin ve diğer işletmelerin kararlarının dikkate alınması beklenemez. Ancak bu modeller, zaman çizelgelemesini ve taşıt rotalama ve çizelgelemesini gerçekleştirecek bir modelin alt modelleri olarak ele alınabilirler. Örneğin, (6) ve (7) nolu modeller, taşıt rotalaması ve çizelgelemesi için alt modeller içermektedirler.

(5) nolu model, aslında bir rotalama modelidir. Önce taşıtların rotalaması yapılarak, bu rotalara uygun zamanların atanması ile taşıt çizelgelemesi ve zaman çizelgelemesi gerçekleştirilmektedir. Bu modelde, diğer işletmelerin kararlarının ve yolcuların tercihlerinin dikkate alınmasından pek sözedilemez. Bu ölçütler dikkate alınmadan, kârın maksimize edilmesinin ne denli gerçekçi olduğu düşündürücüdür.

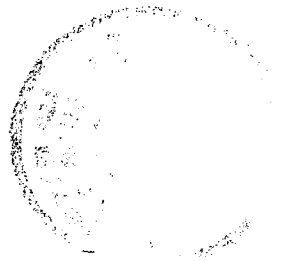
(6) nolu model, taşımacılığın yalnız bir işletme tarafından yapıldığı varsayımına dayalıdır. Diğer işletmeler olmamasına karşın, yolcuların zamansal istemleri dikkate alınmaktadır. Bununla birlikte, yolcuların, taşıma ücretine olan duyarlılıkları ele alınmamıştır. (7) nolu

modelde ise, yolcuların zamansal tercihleri ve taşıma ücretinden etkilenmeleri gözönünde tutulmuştur. Ayrıca, yolcu atamasında, diğer işletmelerin kararları da etkili olmaktadır. (6) nolu model, yolcunun memnuniyetsizliğini, yolcu fazlasını ve taşıma maliyetlerini minimize etmektedir. Bu modelin amaç fonksiyonunun, dolaylı olarak kârı maksimize ettiği düşünülebilir. (7) nolu modelde, işletmenin kârı, doğrudan maksimize edilmektedir.

Modelin çözüm kolaylığı, zaman çizelgelemesi ile taşıt rotalaması ve çizelgelemesinin birlikte iterasyon sayısı ile değerlendirilebilir. Hem (6) ve hem (7) nolu modeller, çok sayıda iterasyon yapılmasını gerektiren modellerdir. Çok sayıda iterasyon nedeniyle, çözümü kısaltmak için yapılan varsayımlar, modeli biraz gerçekçilikten uzaklaştırabilir. Örneğin (7) nolu modelde, büyük bir olasılıkla taşıt rotalaması ve çizelgelemesi aşamasının hızlandırılması amacıyla, sefer çiftleri çıkarıldığı zaman, o sefer çiftini gerçekleştiren taşıtın boş bekletildiği kabul edilmektedir. Tartışılan her iki model, çözümde insan sezgisini, sefer kümelerinin seçiminde katmak zorundadırlar. Ancak bu bölümün başında belirtilen “insan sezgisinin modele katılması” ile, insan sezgisinin mutlaka katılmak zorunda olduğu bir durumu değil, istenirse ve gerekirse yapılacak olan bir insan müdahalesinden söz edilmektedir.

Sözkonusu modellerden, istenen özelliklere en yakın olanı (7) nolu modeldir. Ancak bu modelin öncelikle ağ yapısının otobüs taşımacılığına uygun olmadığı belirtilmiş ve çözüm zorluğundan söz edilmişti.

Bu modellerle ilgili başka eleştiriler de yapılabilir. Ancak model kurmak, özellikle gerçek yaşam koşullarını modele katabilmek, oldukça zordur. Modellerin başarıları, gerçek yaşam koşullarını ve kısıtlarını yansıtmaya düzeylerine ve uygulama kolaylıklarına bağlı olarak ölçülebilir. Sözkonusu olan iki temel ölçüt, birbirleriyle çatışabilmektedirler Uygulama kolaylığının sağlanması amacıyla gerçek durumdan uzak; gerçeğin yansıtılması kaygısıyla da çözümü zor ve karmaşık modeller ile karşılaşabilmektedir. Ayrıca, bir yandan gerçeğin yansıtılması için karmaşık ilişkileri modele sokarken, diğer yandan çözüm kolaylığı için birtakım gerçek olmayan varsayımları ele almanın olumlu sonuçlar vermesi beklenemez.



4. OTOBÜSLE KENTLERARASI YOLCU TAŞIMACILIĞI (OKYT) İÇİN BİR TAŞIT ROTALAMA-ÇİZELGELEME MODELİ

Önceki iki bölümde, kentlerarası yolcu ulaştırması için taşıma planlaması ile taşıt rotalama ve çizelgeleme problemleri gözden geçirilmiş, taşıt rotalama ve çizelgeleme (TRÇ) problemlerinin analizini sağlayan özgün bir yapısal çerçeve verilmiş ve bellibaşlı TRÇ problemleri için geliştirilen değişik modeller incelenerek, eleştirilmiştir. Bölüm 4.2’de, kentlerarası otobüs taşımacılığında taşıt rotalaması ve çizelgelemesi problemlerinin çözülmesi için geliştirilen bir model sunulacaktır. Geliştirilen model, aslında bazı küçük değişiklikler yapılarak, her türdeki ulaşım alt sistemi ile yapılan yolcu taşımacılığı için kullanılabilir. Bölüm 4.1’de ise modeldeki düşünsel yapı verilecektir.

4.1. MODELİN DÜŞÜNSEL YAPISI

OKYT-TRÇ Modelinde, Bölüm 3.3’deki “kentlerarası yolcu taşımacılığında rotalama ve çizelgeleme problemlerinin özelliklerinin belirlenmesi” ile ilgili çalışmanın doğrultusunda, taşıt rotalaması ve çizelgelemesi eşanlı olarak yapılmakta ve taşıtların rota süresi sınırlandırılmaktadır. Hatırlanacağı gibi, böyle bir modelin girdisi bir zaman çizelgesidir.

Kentlerarası otobüs taşımacılığında TRÇ’ne, zaman çizelgesine karar verilmiş bir optimizasyon problemi olarak yaklaşmak yeterli değildir. Böyle bir yaklaşımda, yalnızca seferler arasındaki maliyetler minimize edilebilir. Herbir zaman çizelgesi için farklı bir taşıt rotası ve çizelgesi elde edileceğine göre, işletmeci doğal olarak kendi amacını en yüksek düzeyde gerçekleştirebilecek “zaman çizelgesi” ile “taşıt rotası ve çizelgesi”ni seçmek ister. Bu nedenle OKYT-TRÇ Modelinde, “zaman çizelgesinin belirlenmesi” için bir alt modele gereksinim duyulmuştur.

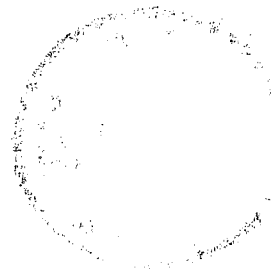
Bölüm 3.3.1’de, kentlerarası yolcu taşımacılığı TRÇ problemlerinde zaman çizelgesinin belirlenmesinin iki yolu olduğundan sözedilmiştir. Bu yollardan ilki, “değişik zaman çizelgesi seçeneklerinin herbiri için ayrı bir TRÇ probleminin çözülmesi ve bunlardan en fazla yarar

sağlayan çözümün seçilmesi” dir. Bu çok zaman gerektiren bir yaklaşımdır. İkincisi, “önce işletmenin amaçlarını en yüksek düzeyde gerçekleştirmeyi araştıran bir zaman çizelgesinin oluşturulması ve ardından bu çizelgeye göre TRÇ probleminin çözülmesi”dir. Dolayısıyla ilkinde göre daha az zaman gerektiren bir yaklaşımdır. OKYT-TRÇ Modelinde ikinci yol tercih edilmiştir.

Zaman çizelgesi, TRÇ’nin girdisi olduğuna göre, TRÇ’den önce oluşturulacaktır. Bilindiği gibi zaman çizelgesi, bir seferler kümesine karşılık gelmektedir. Bir seferin gerçekleştirilmesi ile elde edilen kâr “seferin geliri - seferin maliyeti” dir. Bir seferi tamamlayan taşıtın başka bir seferi gerçekleştirebilmesi için, sözkonusu olan iki sefer arasında boşuna beklemesi ve/veya boş seyir yapması gerekebilir. Bunlar ile ilgili maliyetler, ancak taşıt rotalaması ve çizelgelemesi aşaması tamamlandıktan sonra belirlenebilir. Bu nedenle, zaman çizelgelemesi(ZÇ) aşamasında, taşımacılık ile ilgili tüm maliyetlerin dikkate alınabilmesi sözkonusu değildir. OKYT-TRÇ Modelindeki ZÇ, yalnızca seferlere göre(seferler arasındaki maliyetler dikkate alınmadan), işletmenin kârını maksimize etmeyi araştıran bir optimizasyon problemi olarak ele alınmıştır.

Zaman çizelgesi için sefer maliyeti, çeşitli yaklaşımlar ile belirlenebilir. Bir seferin geliri ise, o seferi seçen yolcu sayısının, taşıma ücretinin ve taşıt kapasitesinin bir fonksiyonudur. Bu durumda bir seferin gelirinin tahmin edilmesi için, o seferi seçecek olası yolcu sayısının tahmin edilmesi gerekmektedir. Bir seferi seçecek olası yolcu sayısı, yolcu ile yolculuk özelliklerinin, seferin kalkış zamanı ile sunu özelliklerinin, işletmeye ve rakip işletmelere ait olan seferlerin kalkış zamanlarının ve diğer sunu özelliklerinin bir fonksiyonudur. OKYT-TRÇ Modelinde, yolcuların rasgele davranış ve kararlarını da gözönünde bulundurmak için, stokastik bir seçim modelinin kullanılmasına karar verilmiştir. Tercih edilen stokastik model, en çok kullanılan ve uygulaması diğerlerine göre daha kolay olan, logit modelidir.

Ulaşım isteminin gün içindeki dağılımı, ZÇ’nin en önemli girdilerinden birisidir. ZÇ ve TRÇ’nin başarısı, sözkonusu dağılımla ilgili verilerin doğru elde edilmesine büyük ölçüde bağlıdır. Bu nedenle OKYT-TRÇ Modelinde, ulaşım isteminin dağılımının elde edilmesine önem verilmiş ve bu konu ayrı bir model kapsamında ele alınmıştır. Niçin böyle bir modele gereksinim duyulduğu, Bölüm 4.2’de ayrıntılı olarak açıklanacaktır.



OKYT-TRÇ Modeline göre, ZÇ ve TRÇ aşamaları tamamlandıktan sonra, elde edilenler şunlardır:

- Bir zaman çizelgesi ve bu çizelgedeki seferlerden elde edilen toplam kâr,
- Bir taşıt rotası, çizelgesi ve seferler arasındaki bağlantıların(kolların) toplam maliyeti.

Eğer iki aşama bir bütün olarak ele alınırsa, işletmenin net kârı “seferlerden elde edilen toplam kâr ile, seferler arasındaki bağlantıların toplam maliyeti arasındaki fark”a eşittir. Bu durumda bir işletmesel tutarsızlıkla karşılaşılabilir. Daha açık ifade edilecek olursa, seferlerin herbiri kâr elde edilmesini sağladığı halde, seferler arasındaki bağlantıların maliyeti fazla olduğu için(bu maliyetin de minimize edilen maliyet olduğuna dikkat edilmelidir), işletme kâra geçemeyebilir. Bu tutarsızlığın giderilmesi gerekir. Bu amaçla, OKYT-TRÇ modelinde ZÇ ve TRÇ’nin çıktılarının birlikte değerlendirilmesi dikkate alınmıştır ve bu aşamaya “Bütünsel Değerlendirme” adı verilmiştir.

4.2. ÜLKEMİZDE OTOBÜSLE KENTLERARASI ULAŞIMDA KALKIŞ ZAMANINA GÖSTERİLEN DUYARLILIK

Yolcu taşımacılığındaki zaman çizelgeleme modelleri ve dolayısıyla taşıt rotalama ve çizelgeleme modelleri için, hangi saatlerde ne kadar sayıdaki insanın, nereden nereye yolculuk yapmak istedikleri(istemin dağılımı), en önemli veriyi oluşturmaktadır.

Kentlerarası otobüs taşımacılığında, herbir yolculuk başlangıç-son çifti arasındaki istem miktarının gün içindeki dağılımının, “bu başlangıç-son çifti arasında ulaşım olanağı sunan işletmeler tarafından taşınan yolcu sayıları” yardımıyla elde edilebileceği düşünülebilir. Bu dağılım, yolcuların varolan ulaşım olanaklarından kendi “yolculuk ve yolcu özelliklerine” en uygun olanını seçmeleri ile oluşmuştur. Ancak bu dağılımın, yolcuların mevcut olan bir taşıma sistemine adaptasyonunu göstermekte olduğu, bu verinin zaman çizelgelemesinde doğrudan kullanılmasının sakıncalı olabileceği kaygısı duyulmuştur. Bu nedenle, Lisans Bitirme Ödevi yapan 3 öğrenciye, İstanbul’dan kalkan otobüs yolcularıyla 436 adet anket yaptırılmış (Yiğitsoy, 1994), (Atalar, 1994), (Ekşioğlu, 1994), ve yolcuların kalkış zamanına olan



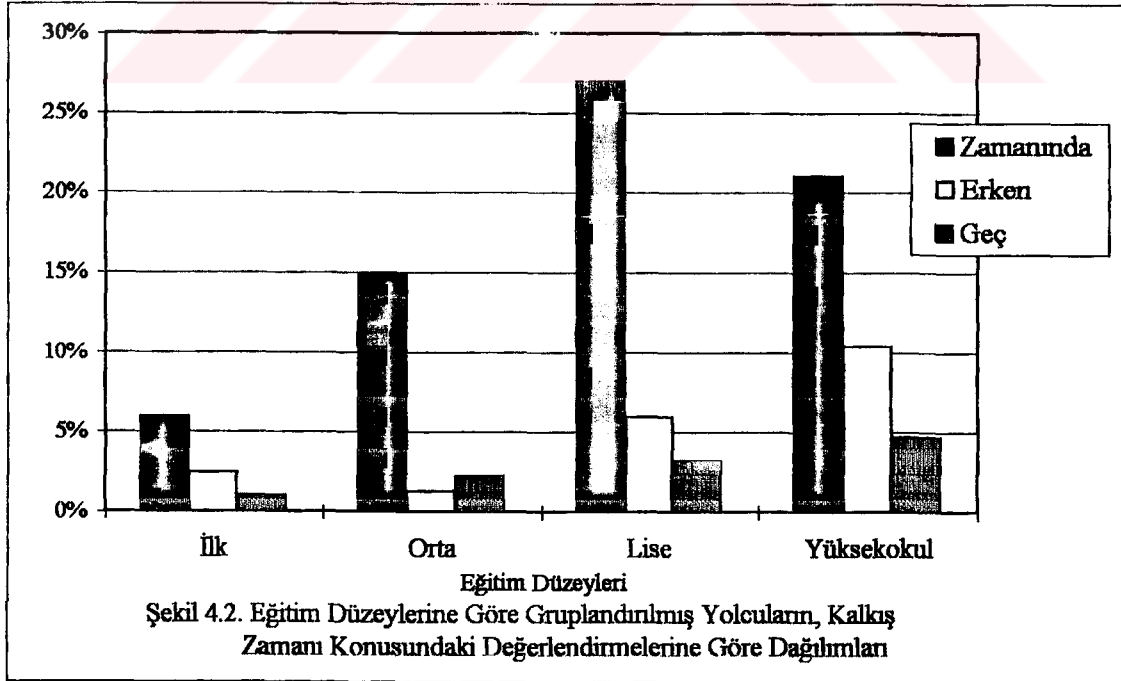
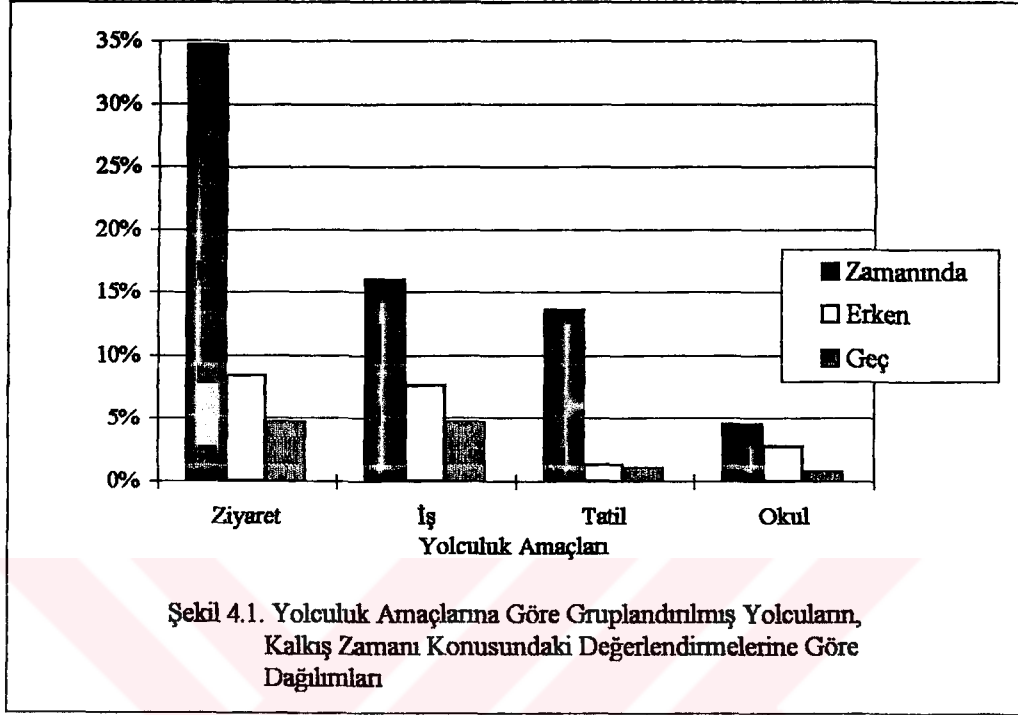
duyarlılıkları araştırılmıştır (Anket föyünün bir örneği Ek 1’de sunulmuştur). Anketlerin “Kalkış zamanına duyarlılık” konusundaki değerlendirme sonuçları ise aşağıda sunulacaktır.

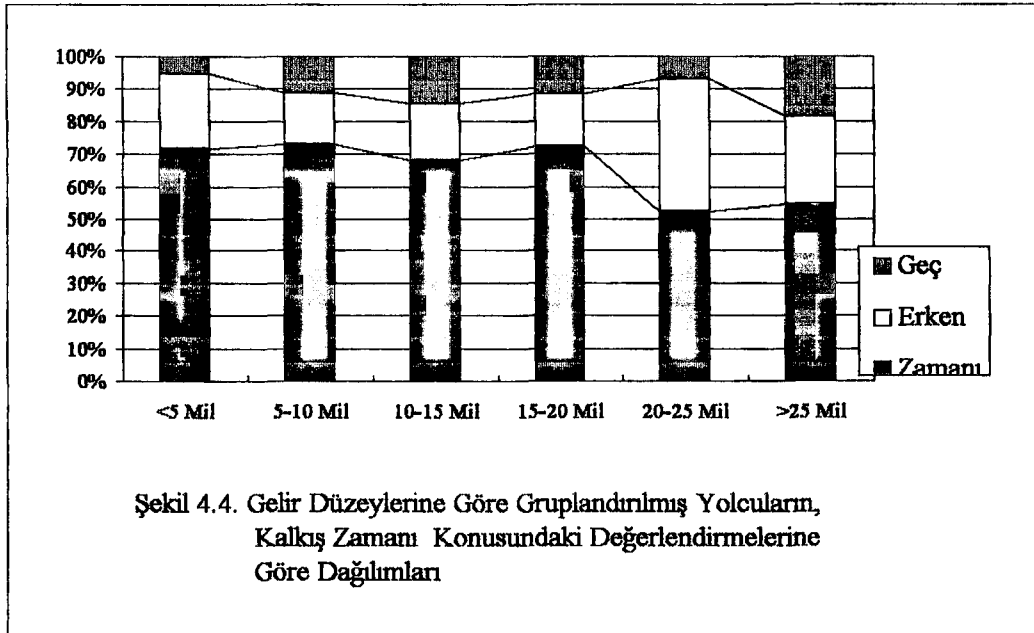
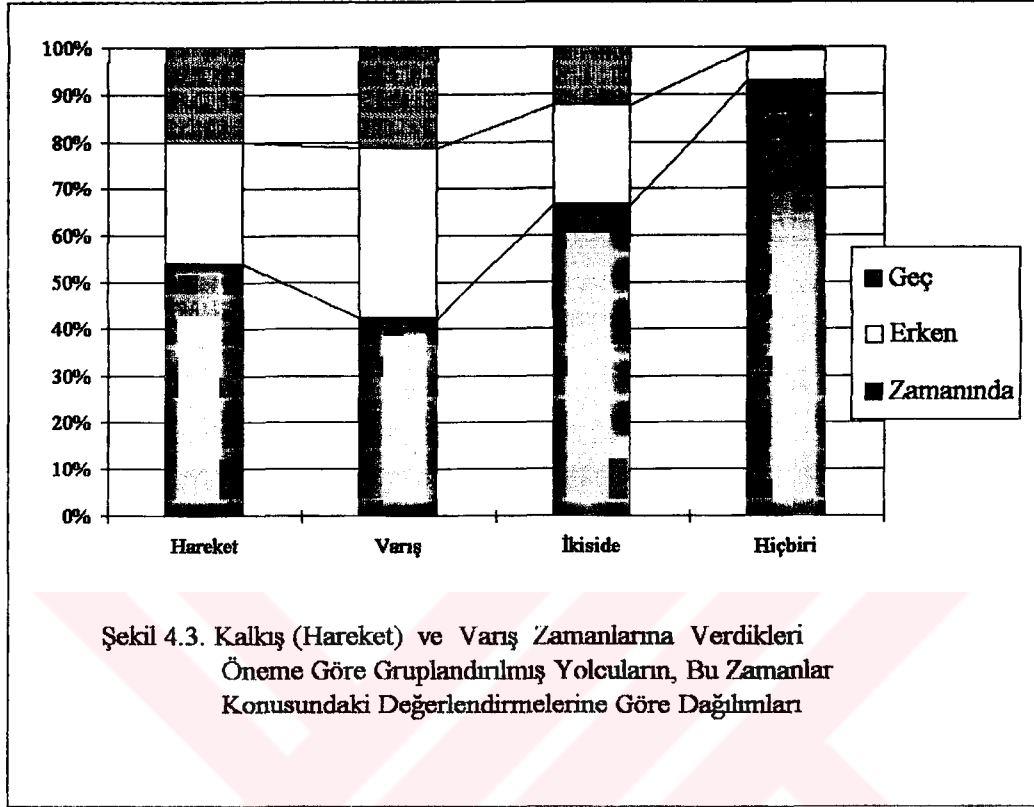
Şekil 4.1’de verilen grafik, yolculuk amaçlarına göre gruplandırılmış yolcuların “kalkış zamanı konusundaki değerlendirmelerine göre” dağılımlarını göstermektedir. Yolculuklar, ziyaret, iş, tatil ve okul amaçlı olmak üzere 4 gruba ayrılmıştır. Bu amaçlara göre sefer saatlerinin yolcular açısından “geç”, “erken” ya da “zamanında” olmaları incelenmiştir. Bütün yolculuklar içinde, ziyaret amacıyla yapılan yolculukların oranı yaklaşık % 48’dir. Ziyaret amacıyla yolculuk yapanların yaklaşık % 71’i istedikleri zamanda yolculuk yaptıklarını, % 29’u ise istedikleri zamandan önce ya da sonra yolculuğa başladıklarını belirtmektedirler. İş amacı ile yapılan yolculukların oranı ise, % 28’ dir. Bunların da % 57’si, zamanında yolculuk yaptıklarını, % 47’ si ise yolculuklarına erken ya da geç başladıklarını belirtmektedirler. İş amacı ile yolculuk yapanların, kalkış zamanına daha duyarlı oldukları görülmektedir.

Şekil 4.2’de verilen grafik, eğitim düzeylerine göre gruplandırılmış yolcuların, “kalkış zamanı konusundaki değerlendirmelerine göre” dağılımlarını göstermektedir. Eğitim düzeyine göre yolcular, ilk, orta, lise ve yüksekokul olarak gruplandırılmışlardır. Anketlerin yaklaşık % 36’sı yüksekokul mezunları ile yapılmıştır. Bunların % 58’i istedikleri zamanda yolculuk yaptıklarını, % 42’si ise yolculuklarına erken ya da geç başladıklarını belirtmektedirler. Anketlerin yaklaşık olarak % 37’si ise lise mezunları ile yapılmıştır. Bunların da, % 73’ü zamanında, % 27’si ise erken ya da geç başladıklarını belirtmişlerdir. Yüksekokul mezunlarının, kalkış zamanlarına daha duyarlı oldukları görülmektedir.

Şekil 4.3’de verilen grafik, kalkış ve varış zamanlarına verdikleri öneme göre gruplandırılmış yolcuların, “bu zamanlar konusundaki değerlendirmelerine göre” dağılımlarını göstermektedir. Görüldüğü gibi, kalkış ve varış zamanlarına önem vermeyenlerin % 90’lık bölümü, tam zamanında yolculuk yaptıklarını belirtmektedirler. Kalkış, varış zamanlarına ve her ikisine de önem veren yolculardan kalkış ya da varış zamanlarının geç yada erken olduğunu belirtenlerin oranları, sırasıyla % 46, % 57 ve % 33’ dür.

Son olarak Şekil 4.4, gelir düzeylerine göre gruplandırılmış yolcuların, “kalkış zamanı konusundaki değerlendirmelerine göre” dağılımlarını göstermektedir. Gelir düzeyi, 25 milyonun





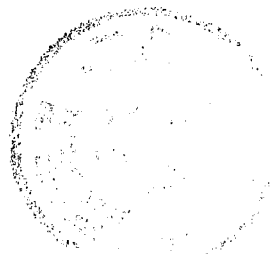
üzerinde olanların yaklaşık % 55'i, istedikleri zamanda yolculuk yaptıklarını belirtirlerken; 5-10 milyon arasında olanlarda ise bu oran yaklaşık % 73' dür. Gelir düzeyi arttıkça, yolcuların kalkış zamanlarına olan duyarlılıklarının arttığı söylenebilir.

Yapılan anketin sonuçlarına göre, zaman çizelgelemesinin girdisi olan herbir başlangıç-son çifti arasındaki istem miktarının gün içindeki dağılımının, "sözkonusu başlangıç-son çifti arasında ulaşım olanağı sunan işletmelerin seferlerinde taşınan yolcu sayılarının dağılımı" ile aynı alınmasının sakıncalı olacağı düşüncesine varılmıştır.

Anket çalışmalarından elde edilen sonuçlar gözden geçirildikten sonra, OLZAM Modelinde kullanılan seçim modeli incelenecek olursa, yararlılık fonksiyonunun (4.6) bağıntısı ile,

$$V_{jt} = \beta_1 |t_j - h_s| + \beta_2 \cdot x_{s2} + \dots + \beta_k \cdot x_{sk}$$

olarak verildiği görülebilir. Burada, $(t_j - h_s)$ yolcunun istediği kalkış zamanı ile seferin kalkış zamanı arasındaki farkı, diğerleri ise yolculuk ücreti, süresi, konforu gibi değişkenleri göstermektedir. $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ da bu değişkenlerin yolcular için önemini, değerini belirten katsayılardır. Görüldüğü gibi sefer seçiminde etkili olan bütün parametreler ayrı ayrı ele alınmaktadır. Eğer taşınan yolcu dağılıma göre $(t_j - h_s)$ farkı alınacak olursa; bu fark yolculuk ücreti, süresi ve konforu gibi diğer parametrelerden etkilenmiş olan bir yolcunun, yolculuğuna karar verdiği kalkış zamanı ile, seferin kalkış zamanı arasındaki fark olur.



4.3. OKYT MODELİ

Model, başka işletmelerin de bulunduğu bir pazarda, bir işletmenin zaman çizelgesi ile taşıt rotaları ve çizelgelerinin belirlenmesini sağlayan 3 alt modelden oluşmaktadır. Şekil 4.5’de görüldüğü gibi, bu alt modeller birbirleriyle etkileşim içindedirler.

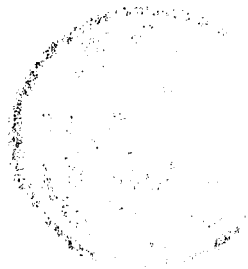
Modelin başlıca girdileri,

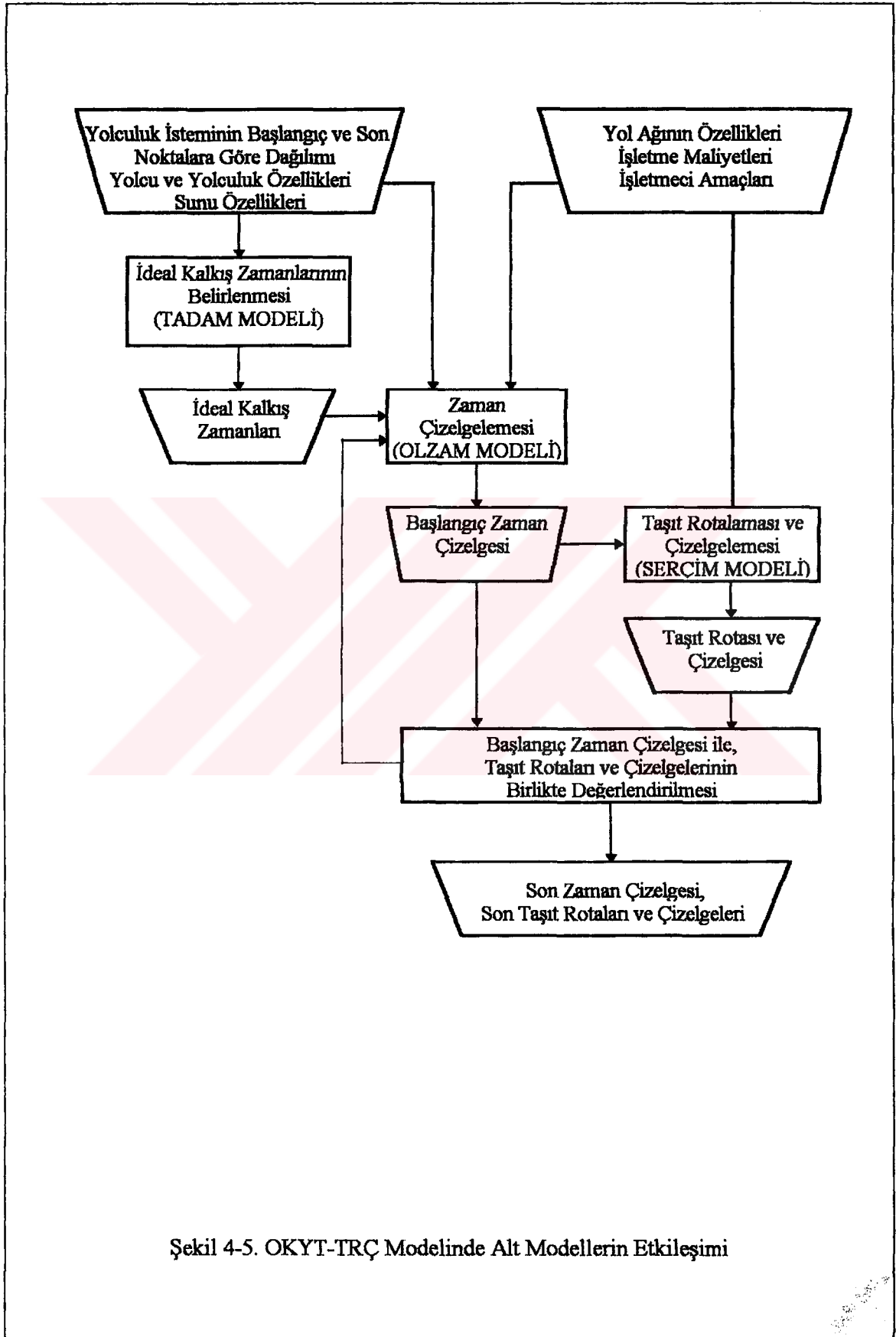
- yolculuk isteminin zamansal, mekansal ve niteliksel yapısı,
- diğer işletmelerin zaman çizelgeleri ile birlikte, ücret ve konfor gibi sunu özellikleri,
- işletmenin amacı ve zaman çizelgesi dışındaki sunu özellikleri,
- taşıt ile ilgili maliyetler ve
- kentlerarası seyir süreleridir.

Alt modeller aşağıda kısaca tanımlanmıştır :

1. Kentlerarası yolcu taşımacılığı verilerinin ve “Yolcuların Zamana Duyarlılığını” araştıran anket sonuçlarının yardımıyla, yolcu isteminin zaman içindeki dağılımını, yolcuların ideal kalkış zamanlarına göre araştıran “TADAM” Modeli,
2. TADAM Modeli’nin çıktıları ve stokastik seçim modeli yardımıyla, istenilen sayıdaki yolcunun çekilebileceği sefer saatlerini araştırarak, iki nokta arasında yapılacak sefer saatlerini, olası yolcu sayılarını ve olası kazancı araştıran zaman çizelgelemesi(OLZAM) modeli,
3. OLZAM Modelinin çıktıları ve Rotasyon Süresi Sınırlı Olan Eşanlı Rotalama-Çizelgeleme Modeli ile, en düşük maliyetli taşıt rotaları ile çizelgelerini ve gereken en az taşıt sayısını araştıran “SERÇİM” Modeli.

Ayrıca, Bölüm 4.1’de belirtildiği gibi, işletmesel bir tutarsızlık olmasını önlemek için, OLZAM modeli ile SERÇİM modelinin çıktılarının birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu değerlendirmeye “Bütünsel Değerlendirme adı verilmiştir. İzleyen bölümlerde bu modeller verilecek ve bütünsel değerlendirme aşaması açıklanacaktır.





4.4. TADAM MODELİ

Ulaşım istemi, mevsimlere, aylara ve hafta içindeki günlere göre değişim gösterebilmektedir. Bilindiği gibi, kentlerarası otobüs taşımacılığında, zaman çizelgesinin hergün değiştirilmesi sözkonusu değildir. Mevsimlik ve belki de aylık düzenlemeler yapılabilir. Zaman çizelgesi belirlenirken, yolcu sayısı için günlük bir ortalama değerin esas alınması gerekecektir. Daha önce de belirtildiği gibi, herbir yolculuk başlangıç-son çifti için, istem miktarının gün içindeki dağılımı, bu başlangıç-son çifti arasında ulaşım olanağı sunan işletmeler tarafından taşınan yolcu sayıları öğrenilerek, elde edilebilir. Ancak bu dağılım, yolcuların varolan ulaşım olanaklarından, kendi “yolculuk ve yolcu özellikleri” ne en uygun olanını seçmeleri ile oluşmuştur.

TADAM modelinin amacı, insanların, istedikleri ve/veya kendileri için en uygun olan yolculuk başlangıç zamanlarına göre dağılımlarını araştırmaktır. Bu konudaki verilerin, ulaştırma sisteminin dışında yapılacak anketler yardımıyla sağlıklı biçimde elde edilmesi hem çok güç, hem de zaman ve maliyet açısından pahalı bir yoldur. Bunun iki nedeni vardır:

- * Anket yapmak için kentlerarası yolculuk yapan ana kütleyi temsil edecek bir örneğin seçilmesi ve bu örnek içindeki bireylere erişilebilmesi zordur.
- * Böyle bir anketten alınacak yanıtların, deneklerin yolculuk sırasındaki davranışlarını tam olarak yansıtmaya olasılığı düşüktür. Zira yakın zamanda herhangi bir yolculuk yapması sözkonusu olmayan kişilerin yanıtları, büyük bir olasılıkla, yolculukları sırasındaki rasgele davranış ve kararlarını içermeyen, akılcı ve deterministik yanıtlar olacaktır.

Ulaştırma sisteminin içinde, yani yolculuk kararını vermiş, yolculuğa başlamış ya da yeni bitirmiş olan kişilerle yapılan anketlerde alınacak yanıtların gerçeği yansıtmaya olasılıkları daha fazladır. Ancak bunun için de büyük boyutlu örneklerin seçilmesi gerekmektedir.

Modelin oluşturulması için seçilen yöntem, aşağıdaki 3 adımda tamamlanmaktadır :

1. Adım : Sunu özellikleri farklı olan değişik tür, işletme ve seferlerde taşınan yolcu sayılarının zaman içindeki dağılımlarının elde edilmesi ,



2. Adım : İlk adımın sonuçlarının değerlendirilmesi ile belirlenen örneklemeğe göre anket yapılarak, yolculardan “yolculuğa başlangıç zamanlarının istedikleri zaman olup olmadığının, değilse kendileri için en uygun(ideal) başlangıç zamanının ne kadar önce ya da sonra olduğunun” öğrenilmesi,

3. Adım : İlk adımda elde edilen dağılımın, ikinci adım sonuçları yardımıyla düzeltilerek, “İdeal Kalkış Zamanları Dağılımı”nın bulunması,

Eğer iki kent arasındaki yolcu taşımacılığında seferler (T) saat süreli periyotlarla tekrar ediliyorsa, bir periyot süresi (n) adet (Δt) aralığına bölündüğünde, bu periyot boyunca yolculuklarına $i = 1, 2, 3, \dots, n$ 'inci zaman aralıkları içinde başlayan yolcu sayıları, $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ ile gösterilebilir. (i.) zaman aralığında yolculuğa başlayanlarla yapılan anketlerin değerlendirilmesi sonucunda, bunların istedikleri yolculuk başlangıç zaman aralıklarına dağılımları, aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

$$y_i = y_{i,1} + y_{i,2} + \dots + y_{i,n} = \sum_{j=1}^n y_{i,j} \quad (4-1)$$

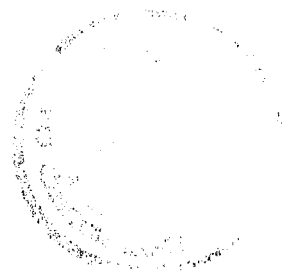
$i=1, 2, \dots, n$ için

Bu bağında,

$y_{i,j}$: Yolculuklarına (i.) zaman aralığında başlayan ancak gerçekte (j.) zaman aralığında başlamak isteyen yolcuların sayısını belirtmektedir.

Bu dağılım yardımıyla, yolculuklarına bir (j.) zaman aralığı içinde başlamak isteyen yolcuların sayısı (y_j), aşağıdaki şekilde bulunabilir :

$$y_j = \sum_{i=1}^n y_{i,j} \quad j = 1, 2, \dots, n \text{ için} \quad (4-2)$$



Eğer 24 saatlik periyot içinde yolculuk yapanların toplam sayısı (Y) ise, aşağıdaki bağıntı geçerlidir :

$$Y = \sum_{i=1}^n y_i = \sum_{j=1}^n y_j, \quad j=1,2,\dots,n \quad \text{ve} \quad i=1,2,\dots,n \quad \text{için} \quad (4-3)$$

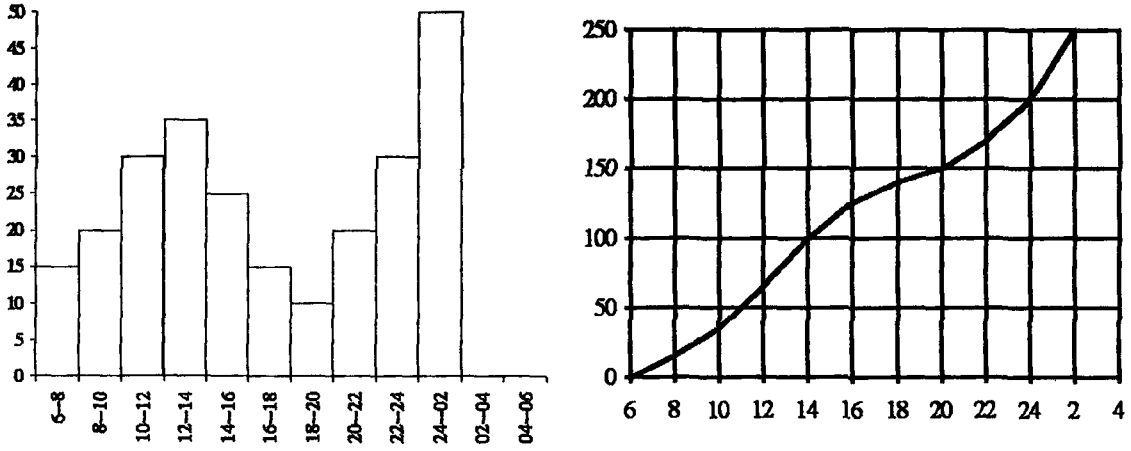
Herbir Δt_j ($j = 1, 2, \dots, n$) aralığı için (y_j) yolcu sayılarını gösteren dağılıma, “Yolcuların İdeal Kalkış Zamanlarına Göre Dağılımı” adı verilmiştir. Kentlerarası yolcu taşımacılığı için (Δt_j) zaman aralığı, yolcu istemine ve sefer sıklıklarına göre 0.5, 1 ya da 2 saat olarak seçilebilir. Bu durumda periyot süresi 24 saat alınırsa, zaman aralığı sayıları sırasıyla 48, 24 ya da 12 olacaktır.

4.5. OLZAM MODELİ

OLZAM Modeli, stokastik bir sefer seçimi modeli yardımıyla, yalnızca seferler dikkate alınarak (yani seferler arasındaki bağlantılar ihmal edilerek) maksimum kârı sağlayabilecek zaman çizelgesinin oluşturulması amacıyla geliştirilmiştir. OLZAM Modeli tanıtılmadan önce, bu modelde kullanılan seçim modeli Bölüm 4.5.1’de sunulacaktır.

4.5.1 Deterministik ve Stokastik Seçim

Daha önce de belirtildiği gibi, bir işletmenin iki nokta arasındaki yolcu ulaşımı için hizmete sunacağı sefer sayısı ve sıklığı, yolcu isteminin yanı sıra, bu işletmenin amaçlarına, kaynaklarına ve kısıtlarına bağlıdır. Yolcuların seçebilecekleri tek bir tür ve tek bir işletmenin bulunduğu bir taşımacılık ortamında, bu işletmenin zaman çizelgesini yalnız kendi amaçlarını gerçekleştirecek şekilde oluşturması doğaldır. Örnek olarak, amacı “kârın maksimizasyonu” olan bir işletme ele alınabilir.



a) Yolcu isteminin zaman içindeki dağılımı

b) Yığılımlı istem eğrisi

Şekil 4.6

Bir taşıt kapasitesinin 50 yolcu ve istemin zaman içindeki dağılımı Şekil 4.6-a'da verildiği gibi ise, yığılımlı istem eğrisi(Şekil 4.6-b) yardımıyla, bu işletme için maksimum kârı sağlayan sefer saatlerinin, 11:00, 14:00, 20:00, 24:00 ve 02:00 saatleri olacağı kolayca görülebilir. Bu durumda toplam 250 yolcunun tümü, herbiri dolu kalkan 5 seferde taşınacaktır.

Eğer bu işletmenin, sefer saatleri dışındaki tüm sunu özellikleri kendisinininkine benzeyen bir rakibi var ve yolcular, yolculuğa başlamak istedikleri zamana en yakın saatteki seferleri tercih ediyorlarsa; yukarıda belirtilen seferlerle yolcuların tümü taşınamayacağı gibi, taşıtların doluluk oranları da düşecek, yolcuların bir kısmı rakip işletmeyi tercih edeceklerdir.

Bu durumda, Şekil 4.6-a yardımıyla ve önceki modeldeki gösterimler kullanılarak, bir (i.) zaman aralığına karşıt gelen (t_i) zamanında başlayacak seferi seçecek yolcuların sayısı hesaplanabilir. Bir periyot herbiri (Δt) süresine eşit olan (n) adet zaman aralığına

bölündüğünde, bu seferin kalkış saatine en yakın iki rakip seferin kalkış zamanları, $t_{r1} < t_i$ ve $t_{r2} > t_i$ olmak üzere (t_{r1}) ve (t_{r2}) ise, (t_i) deki seferi seçecek yolcuların sayısı,

$$Y(t_i) = \sum_{j=i-l_1}^{i+l_2} y_j \quad , \quad l_1 = \frac{t_i - t_{r1}}{2 \cdot \Delta t} \quad , \quad l_2 = \frac{t_{r2} - t_i}{2 \cdot \Delta t} \quad (4-4)$$

($i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, n$)

(l_1 ve l_2 tamsayı alınacak)

olacaktır. $i = 1$ ile $i = n$ arasındaki tüm zaman aralıkları için (Y_i) değerleri hesaplandığında, bunların arasında işletmecinin amaçlarını en fazla gerçekleştiren yolcu sayısının elde edileceği (t_i) zamanı, en uygun sefer saati olarak seçilebilecektir.

Şimdi de, iki kent arasında yolcu taşımacılığı yapan ve sunu özellikleri birbirlerinden farklı olabilen çok sayıda tür ve işletmenin bulunduğu genel durum incelenebilir. Bu durumda, yolcu adayları tür, işletme ve bunlara ait seferlerden birisini seçerlerken, yolculuğa başlamak istedikleri zamanın yanı sıra, kendi “yolculuk ve yolcu özelliklerini” de hesaba katacaklardır. Ancak bu seçimde, yolcuların yalnızca sunu özellikleri ile ilgili deterministik değerlendirmeleri etkili olmayacak, stokastik yolcu davranışları da önemli rol oynayacaktır.

Stokastik zaman çizelgelemesi modeli (OLZAM), yukarıda deterministik problem için oluşturulan modelin, önceki bölümde sözü edilen stokastik seçim modellerinden Logit Model yardımıyla geliştirilmiş şeklidir. Bu model, seçim yararlılık fonksiyonunun rasgele bileşenleri olan $e(i)$ lerin tümünün bağımsız ve Gumbell dağılımına uygun olarak dağıldıkları varsayılarak oluşturulmuştur (Florian, 1982), (Kanafani, 1983). Bu modele göre, iki ya da daha çok seçeneğin sözkonusu olduğu bir durumda, herhangi bir (i) seçeneğinin seçilme olasılığı aşağıdaki bağıntı ile tanımlanmaktadır:

$$P(i) = \frac{e^{V_i}}{\sum_{i=1}^n e^{V_i}} \quad ; \quad V_i = \sum_k \beta_k x_{ik} \quad , \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (4-5)$$

Bu eşitlikte,

- $P(i)$: (i.) seçeneğin seçilme olasılığı,
 V_i : (i.) seçeneğinin yararlılık(utility) fonksiyonu,
 x_{ik} : (i.) seçeneğin niteliklerini açıklayan değişken,
 β_k : Herbir seçeneğin yolcu için önemini, değerini belirten katsayılar,
 n : Seçenek sayısı.

Logit modelin çok iyi bilinen bu şekline “Multinomial Logit (MNL)”, iki seçenekli özel şekline ise “Binomial Logit” adı verilmektedir. Bu modelin kullanılabilmesi için, seçimde etkili olan değişkenlerin seçmen açısından önemini, değerini belirleyen (β_k) katsayıların tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu işleme, “modelin kalibrasyonu” adı verilmektedir. Bunun için, seçimle ilgili yeterli sayıdaki gözlem sonuçlarından yararlanılır. Katsayıların hesabı için, Binomial Logit modellerde En Küçük Kareler Yöntemi, Multinomial Logit modellerde ise Maximum Likelihood (Maksimum Olabilirlik) yöntemi kullanılmaktadır. Ulaşımda seçimi etkileyen yolculuk süresi, bekleme süresi ve yolculuk ücreti gibi değişkenler, değeri arttıkça yolcu hoşnutsuzluğunu arttırdığından (yani yararlılığı azaltan değişkenler olduğundan), (β_k) katsayılarının işaretleri negatif (-) olmaktadır.

Olasılıksal zaman çizelge modelinin oluşturulabilmesi için, yolcuların tür, işletme ve sefer saati seçimlerinde etkili olan süre, ücret, konfor vb. karar değişkenlerinin neler olduğunun saptanması ve yukarıda belirtilen yöntemlerle (β_k) katsayılarının bulunması gerekmektedir. Zaman çizelgesi için mutlaka bulunması gereken değişken, yolcu adaylarının ideal kalkış zamanları (t_j) ile, seçilme olasılığı araştırılan seferin kalkış zamanı (h_s) arasındaki farktır. Bu farkın büyümesi, yolcu adayının o seferi seçme olasılığını düşürecektir. Bir (s) seferinin, ideal kalkış zamanı (t_j) olan yolcular için bu değişkeni de içeren yararlılık fonksiyonu,

$$V_{js} = \beta_1 |t_j - h_s| + \beta_2 \cdot x_{s2} + \dots + \beta_k \cdot x_{sk} \quad (4-6)$$

şeklinde olacaktır. Bu fonksiyonda $x_{s2}, \dots, x_{sk}$, (s) seferinin ücret, seyir süresi vb. sunu özelliklerini tanımlayan değişkenler, $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ da bu değişkenlerin yolcular için önemini, değerini belirten katsayılardır.

(T) saatlik bir periyot içinde iki kent arasında yolculuk yapmak isteyenlerin ideal kalkış zaman aralıklarına göre dağılımları (y_j , $j = 1, 2, \dots, n$), bu periyot içinde başlayacak (m) sayıdaki seferlerin kalkış saatleri (h_s , $s = 1, 2, \dots, m$) ile sunu özellikleri ve bu özelliklerin yolcular için değerleri biliniyorsa; bir seferi seçecek olası yolcu sayısı (Y_s), aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$Y_s = \sum_{j=1}^n y_j \cdot \frac{e^{V_{js}}}{\sum_{s=1}^m e^{V_{js}}} \quad (4-7)$$

4.5.2. Modelin Yapısı

Olzam modeli, işletmenin kârını maksimize edebilecek bir başlangıç zaman çizelgesinin oluşturulmasını araştıran bir modeldir. Bölüm 4.1’de açıklandığı gibi, bir işletmenin elde ettiği kâr, taşımacılıktan elde edilen gelir ile taşımacılık maliyetleri arasındaki farktır. Bir seferin gerçekleştirilmesi ile ortaya çıkacak olan işletme maliyetleri kolaylıkla tahmin edilebilir. Ancak taşıtların seferler arasında bekletilmeleri ya da dikkate alınan seferler dışında kullanılmaları ile ilgili maliyetler, taşıt rotalaması ve çizelgelemesinin yapılmasını gerektirmektedir. Taşıt rotalaması ve çizelgelemesinin başlangıç zaman çizelgesine bağımlı olarak yapılması nedeniyle; Olzam modelinde, **yalnızca seferlerin gerçekleştirilmesi için gerekli olan işletme maliyetleri** dikkate alınmaktadır. Modelin formülasyonu aşağıda verilmiştir.

$$\text{Maksimize } \sum_{\{s \in AS\}} (\bar{u}_s \cdot n_s - m_s) \cdot x_s \quad (4-8)$$

$$n_s = \begin{cases} q & \text{eğer } Y_s \geq q \\ Y_s & \text{eğer } Y_s < q \end{cases} \quad \forall s \in AS \quad (4-9)$$

$$(\bar{u}_s \cdot n_s - m_s) < k_{\min} \Rightarrow x_s = 0 \quad \forall s \in AS \quad (4-10)$$

$$Y_s, \quad (4.7) \text{ Logit fonksiyonu ile belirlenecektir} \quad (4-11)$$

m_s : (s) seferinin maliyeti

$\bar{u}_s$: (s) seferinin bilet ücreti

q : Taşıtın kapasitesi

Y_s : (s) seferini seçecek olası yolcu sayısı

n_s : (s) seferinde taşınabilen yolcu sayısı

$k_{\min}$: (s) seferinden elde edilmesi düşünülen kârın alt sınırı

x_s : Eğer (s) seferi gerçekleştiriliyorsa 1, aksi taktirde 0 dır.

AS : Aday seferler kümesi

Amaç fonksiyonu(4.8), işletmenin kârını maksimize etmeyi araştırmaktadır. (4.9) No'lu kısıta göre, eğer (s) seferini seçecek olası yolcu sayısı, taşıt kapasitesini aşıyorsa; taşınabilen yolcu sayısı, taşıtın kapasitesine eşittir. Yine aynı kısıta göre, eğer (s) seferini seçecek olası yolcu sayısı, taşıt kapasitesinin altındaysa, bu yolcuların tümü taşınabilmektedir. (4.10) No'lu kısıt, bir seferden elde edilen kâr, $k_{\min}$ değerinin altındaysa, o seferin kabul edilemeyeceğini göstermektedir. (4.11) No'lu kısıt ise, (s) seferini seçen yolcuların sayısının (4.7) bağıntısı ile belirleneceğini göstermektedir. Bu modelin formülasyonu, bir non-lineer programlama problemi tarzındadır.

Formülasyondan ve açıklamalardan anlaşılacağı gibi, bir sefere taşıt kapasitesini aşan yolcu ataması yapılabilmektedir. Ancak kârın maksimize edilmesi nedeniyle, bu yolcu fazlalarının işletme açısından önemi yoktur. Atanan fazla yolcuların sayısı, zaman çizelgesine başka bir sefer daha eklenmesi ile kârın arttırılamayacağı sayıdadır.

4.5.2.1. Sezgisel Algoritma İle Çözüm

Modelin çözümü için sezgisel bir algoritma geliştirilmiştir. Aşağıda bu algoritma verildikten sonra, bunun performansı test edilecektir.

Bu algoritmada, bir O-D çifti için aday seferler kümesi (AS), aralarından seçim yapılacak olan seferleri; gerçek seferler kümesi(GS), işletmenin gerçekleştireceği seferleri; rakip seferler kümesi(RİS), rakip işletmelerin seferlerini göstermektedir.

Algoritmaya göre, gerçek seferler kümesi, aday seferler kümesinden bu kümeye birer birer sefer seçilmesi ile oluşturulmaktadır. Dolayısıyla algoritmanın her bir adımı, bir seferin aday seferler kümesinden çıkarılarak gerçek seferler kümesine dahil edilmesi işlemiyle ilgilidir. Bu işlem, bir seferin gerçek seferler kümesine dahil edilmesi ile, kârda bir artış sağlanamıyorsa durdurulur. Algoritma adım adım aşağıda verilmektedir:

0.Adım : (AS) ve (RİS) kümelerini belirleyiniz. (GS), boş kümedir.

1.Adım : Gerçek seferler kümesinin ilk seferini, aşağıda verilen alt adımlara göre seçiniz

- 1.1.Adım : Diğer aday seferlerden bağımsız olarak, her bir aday seferi seçecek olası yolcu sayısını, rakip seferleri dikkate alarak (4.7) No'lu bağıntı ile belirleyiniz.
- 1.2.Adım : Her bir sefer ile elde edilebilecek geliri (g_s), " $g_s = n_s \cdot \bar{u}_s$ " bağıntısı ile bulunuz. (n_s) için (4.9) No'lu kısıt geçerlidir.
- 1.3.Adım : En fazla gelir getiren seferi belirleyiniz (en fazla gelire sahip birden fazla sefer varsa, en çok tercih edilen sefer dikkate alınır). Bu sefer için " $g_s - m_s$ " farkını, yani seferin kârını bulunuz. Eğer " $g_s - m_s < k_{\min}$ " ise (1.4) adımına, " $g_s - m_s \geq k_{\min}$ " ise (1.5) adımına gidiniz.
- 1.4.Adım : Gerçek seferler kümesi boş kümedir ve çözüm sona ermiştir.
- 1.5.Adım : Seferi aday seferler kümesinden çıkararak, gerçek seferler kümesinin birinci elemanı yapınız.

2. Adım : Gerçek seferler kümesinin ikinci seferini, aşağıda verilen alt adımlara göre seçiniz.

- 2.1. Adım :Diğer aday seferlerden bağımsız olarak, herbir aday seferi seçecek olası yolcu sayısını, rakip seferler kümesini ve ilk gerçek seferi dikkate alarak, (4.7) No'lu bağıntısı ile belirleyiniz. Herbir aday (2.) sefere bağlı olarak (1.) gerçek seferi seçecek olası yolcu sayısını (4.7) No'lu bağıntıyı kullanarak belirleyiniz.
- 2.2. Adım :Herbir aday (2.) sefer ile bu sefere bağlı olarak (1.) seferi seçecek olası yolculardan elde edilen toplam geliri bulunuz.
- 2.3. Adım :(1.) sefer ile birlikte en fazla gelir getiren (2.) aday seferi belirleyiniz ve her ikisi için toplam kârı bulunuz. Eğer iki sefer için elde edilebilecek kâr, yalnızca (1.) sefer ile elde edilebilen kârdan küçük ise (2.4) adımına, aksi durum geçerli ise (2.5.) adımına gidiniz
- 2.4. Adım :Gerçek seferler kümesi yalnızca (1.) seferi kapsamaktadır ve çözüm sona ermiştir.
- 2.5. Adım :Seferi aday seferler kümesinden çıkararak, gerçek seferler kümesinin ikinci elemanı yapınız.

n. Adım : Gerçek seferler kümesinin (n.) seferinin bulunmasıdır ve alt adımları (2.) adımdakiler ile özdeşdir. (2.) adımda gerçek seferler kümesinde yalnızca 1 sefer var iken, burada n-1 adet sefer vardır.

4.5.5.2. Sezgisel Algoritmanın Değerlendirilmesi

OLZAM Modeli'nin çözümü için geliştirilmiş olan sezgisel algoritmanın performansı, (n) adet sefer olasılığından oluşan aday seferler kümesinde 1'li, 2'li, 3'lü, olarak tüm sefer seçeneklerini deneyen bir kesin çözüm yöntemi ile test edilebilir. Ancak (n) adet seçeneğin (m)li kombinezonlarını oluşturarak, bunların herbiri için toplam kârın karşılaştırılması uzun zaman gerektiren bir iştir. Tablo 4.1'de $n=24$ için $m=1,2,...,24$ 'lü kombinezon sayıları verilmiştir.

Tablo 4.1. 24 Aday Sefer İçin Kombinezon Sayıları

Sefer Sayısı	Kombinezon Sayısı	Sefer Sayısı	Kombinezon Sayısı	Sefer Sayısı	Kombinezon Sayısı
1	24	9	1.307.504	17	346.104
2	276	10	1.961.256	18	134.596
3	2.024	11	2.496.144	19	42.504
4	10.626	12	2.704.156	20	10.626
5	42.504	13	2.496.144	21	2.024
6	134.596	14	1.961.256	22	276
7	346.104	15	1.307.504	23	24
8	735.471	16	735.471	24	1
Toplam					16.777.215

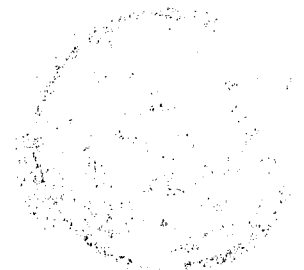
Görüldüğü gibi, bir (O-D) çifti arasında bu kadar çok seçeneğin dikkate alınması hemen hemen olanaksızdır. Bu nedenle algoritma, 24 saatlik bir periyot yerine, 12 saatlik bir periyot ve 1 saatlik zaman aralıkları için test edilmiştir. Bu testlerde, aday seferler içinden en fazla yolcu çekilme olasılığı olan 1'li, 2'li, 3'lü, ... sefer grupları, hem sezgisel algoritmaya göre, hem de toplam 4095 kombinezondan oluşan tüm olası seçenekler denenerek, bulunmuştur. Yapılan toplam test sayısı 13 olup, bunların toplu sonuçları, Tablo 4.2'de özetlenmiştir.

Bu tabloda da görüldüğü gibi, sezgisel algoritmanın hesaplama süresi, kombinezonların hesaplama süresinin yaklaşık $(1/37)$ 'si olup, ortalama başarısı % 99,82'dir. Kaldı ki, herbir testteki 4095 kombinezon için harcanan ortalama 291 saniye'lik süre, aday seferler kümesinin 24 seferden oluşması durumunda 16.777.215 kombinezon için -basit bir hesaplama- yaklaşık 331 saat'e çıkabilecektir.

Tablo 4.2. Olzam Modeli İçin Sezgisel Algoritmanın Test
Sonuçları

Test No	Zaman Aralığı (Saat)	Hesap Süresi (sn)		Sezg. Alg. Başarısı (%)
		Sezg. Alg.	Komb.	
1	1 - 12	7	290	99.65
2	2 - 13	7	290	99.76
3	3 - 14	8	291	99.71
4	4 - 15	7	291	99.84
5	5 - 16	7	291	99.75
6	6 - 17	8	292	99.73
7	7 - 18	8	291	99.89
8	8 - 19	8	291	100.00
9	9 - 20	8	292	99.88
10	10 - 21	8	291	99.97
11	11 - 22	9	292	99.80
12	12 - 23	9	292	99.95
13	13 - 24	8	291	99.96
Ortalama		7.85	291	99.82

Tablo 4.3, Tablo 4.4. ve Tablo 4.5’de ise, yapılan 13 testten 3 tanesinin sonuçları daha ayrıntılı olarak özetlenmiştir. Tabloların son kolonlarında, her iki yöntem için seçilen sefer kümelerine çekilebilecek toplam olası yolcu sayıları, 486 DX2 66 bilgisayarla yapılan hesaplama süreleri ve sezgiselin, tüm kombinezon seçeneklerini araştıran yöntemle göre başarısı gösterilmektedir.



Tablo 4.3. Sezgisel Algoritmanın Değerlendirilmesi İçin Yapılan 1. Testin Sonuçları

SEFER SAYISI	Çözüm Yöntemi	ADAY SEFERLER KÜMESİ VE ATAMA YAPILAN SEFERLERİN OLASI YOLCU SAYILARI												Toplam Yolcu	Sezgiselin Başarısı (%)	Hesaplama Süresi (sn)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Komb.(12)								48					48		1
	Sez.Alg.								48					48	100	1
2	Komb.(66)								46		47			93		2
	Sez.Alg.								46		47			93	100	.5
3	Komb.(220)								46		46	42		134		8
	Sez.Alg.								43	44	45			132	98.5	1
4	Komb.(495)								42	44	43	42		171		23
	Sez.Alg.								42	44	43	42		171	100	.5
5	Komb.(792)	35							42	44	43	42		206		46
	Sez.Alg.	35							42	44	43	42		206	100	1
6	Komb.(924)	35							41	44	42	41	33	236		65
	Sez.Alg.	35						33	39	42	42	42		233	98.7	1
7	Komb.(792)	33	32						41	44	42	41	33	266		64
	Sez.Alg.	35						33	39	40	41	41	33	262	98.5	.5
8	Komb.(495)	33	30					33	39	40	41	41	33	290		46
	Sez.Alg.	33	30					33	39	40	41	41	33	290	100	1
9	Komb.(220)	33	30				22	31	37	40	40	41	32	306		23
	Sez.Alg.	33	30				22	31	37	40	40	41	32	306	100	1
10	Komb.(66)	31	29	16			22	31	37	40	40	41	32	319		8
	Sez.Alg.	31	29	16			22	31	37	40	40	41	32	319	100	.5
11	Komb.(12)	31	29	16		12	20	31	36	40	40	41	32	328		1
	Sez.Alg.	31	29	16		12	20	31	36	40	40	41	32	328	100	1
12	Komb.(1)	31	28	16	10	11	20	29	36	40	40	41	32	334		1
	Sez.Alg.	31	28	16	10	11	20	29	36	40	40	41	32	334	100	.5

Tablo 4.4. Sezgisel Algoritmanın Değerlendirilmesi İçin Yapılan 8. Testin Sonuçları

[illegible]

Tablo 4.5. Sezgisel Algoritmanın Değerlendirilmesi İçin Yapılan 13. Testin Sonuçları

SEFER SAYISI	Çözüm Yöntemi	ADAY SEFERLER KÜMESİ VE ATAMA YAPILAN SEFERLERİ SEÇEN YOLCU SAYILARI													Toplam Yolcu	Sezgiselin Başarısı (%)	Hesaplama Süresi (sn)
		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24				
1	Komb.(12)											49		49		2	
	Sez.Alg.											49		49	100	2	
2	Komb.(66)										43	48		91		1	
	Sez.Alg.										43	48		91	100	.5	
3	Komb.(220)										42	47	43	132		8	
	Sez.Alg.										42	47	73	132	100	1	
4	Komb.(495)		36								42	47	43	168		24	
	Sez.Alg.		36								42	47	43	168	100	1	
5	Komb.(792)		36	33							42	47	43	201		46	
	Sez.Alg.		36							35	41	46	43	201	100	.5	
6	Komb.(924)		36	33							35	41	46	234		65	
	Sez.Alg.	33	35							35	41	46	43	233	99.6	1	
7	Komb.(792)	32	34	31							35	41	46	262		64	
	Sez.Alg.	32	34	31						35	41	46	43	262	100	1	
8	Komb.(495)	32	34	31					28	34	40	46	42	287		46	
	Sez.Alg.	32	34	31					28	34	40	46	42	287	100	.5	
9	Komb.(220)	32	34	31					24	28	34	40	46	311		23	
	Sez.Alg.	32	34	31					24	28	34	40	46	311	100	1	
10	Komb.(66)	32	34	29	23				24	27	33	40	45	329		8	
	Sez.Alg.	32	34	29	23				24	27	33	40	45	329	100	1	
11	Komb.(12)	32	33	29	22			20	24	27	33	40	45	347		1	
	Sez.Alg.	32	33	29	22			20	24	27	33	40	45	347	100	.5	
12	Komb.(1)	32	33	29	22	19	20	23	27	32	40	45	42	364		1	
	Sez.Alg.	32	33	29	22	19	20	23	27	32	40	45	42	364	100	1	

4.6 SERÇİM MODELİ

Serçim modeli, kentlerarası yolcu taşımacılığı için bir taşıt rotalaması ve çizelgelemesi modelidir. Bu modelin temel girdisi, OLZAM modeli ile oluşturulan zaman çizelgesinde yer alan seferler kümesidir. Bölüm 4.6.1’de modelin yapısı ve Bölüm 4.6.2’de modelin çözüm teknikleri sunulacaktır.

4.6.1 Modelin Yapısı

Kentlerarası yolcu taşımacılığı için taşıt rotalama ve çizelgeleme problemlerinin genel yapısı ile ilgili özellikler, Bölüm 3.3’de verilmiştir. Bu özelliklerden ikisi, oluşturulacak modelin yapısını büyük ölçüde etkileyen özelliklerdir. Bunlardan ilki, seferlerin kalkış ve varış zamanları ile yerlerinin belirli olması nedeniyle, taşıt rotalaması ve çizelgelemesinin eşanlı olarak gerçekleştirilmesi gereğidir. İkincisi, her bir taşıtın bir periyot boyunca gerçekleştireceği görevleri, ardışık periyotta tekrarlayabilmesi; diğer bir deyişle, her bir taşıtın rota süresinin sınırlı olmasıdır.

Bölüm 3.3.4’de verilen (1), (2) ve (4) nolu modeller de eşanlı rotalama ve çizelgeleme modelleridir. Ancak bunlar birer ağ akım problemi olarak formüle edildiklerinden, taşıtların rota süreleri sınırlandırılmamıştır. Ayrıca bir taşıtın ilk periyottaki son görevi ile ardışık periyottaki ilk görevi arasında bir kol tanımlanamadığından, bu tür kolların maliyetleri ihmal edilmek zorundadır. Oysa, kentlerarası taşımacılık, uzun mesafelerin katedilmesini gerektirdiğinden, bu maliyetlerin gözardı edilmesine olanak tanımaz. Bu nedenlerle, kentlerarası yolcu taşımacılığı modeli, taşıtların rota süresini sınırlayabilen ve eşanlı rotalama ve çizelgelemeyi gerçekleştirebilen bir model olmalıdır. Bölüm 3.3.4’de incelenen modeller arasında yalnızca üçüncüsü bu özelliklere sahip olup, Serçim modelinin de kaynağını oluşturmaktadır. Bilindiği kadarıyla, Model 3’ün uygulandığı bir çalışma yoktur.

Hatırlanacağı gibi, Model 3’de, belirli bir zaman dilimi (periyot) için verilen görevlerin, ardışık zaman diliminde yeniden aynı taşıtlar tarafından tekrarlanması sağlanmakta, dolayısıyla maksimum rota süresinden (τ_{maks}) daha uzun süreli taşıt rotalarına izin verilmemektedir. 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’de açıklanmıştır. Serçim 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) geri kolu için, $i \neq j$ ’dir ve (i) görevi (T_1) aralığına, (j) görevi (T_2) aralığına aittir,
- bir (i,j) düğüm kolu için, $i = j$ ’dir ve her iki görev (T_1) aralığına aittir (Düğüm sayısı kadar düğüm kolu mevcuttur).

Model 3, bir ağ döngü problemi olarak formüle edilmiştir. Herbir kol maliyeti, taşıtın boşuna beklemesi ve seyri ile ilgili olduğundan; amaç fonksiyonu bu kolların maliyetlerinin toplamını minimize etmektedir. Modelin formülasyonu ve formülasyon ile ilgili açıklamalar, Bölüm 3.3.4.3’de yeterli ayrıntıda verilmiştir. Serçim modelinde de aynı formülasyon kullanılmakta ve taşıtın boş bekleme maliyeti “BBM” ile ve boş seyir maliyeti “BSM” ile gösterilmektedir. Model 3’de herbir taşıtın rota süresi (RS) , maksimum rotasyon süresini (τ_{maks}) kesinlikle aşmamaktadır. Serçim modelinde iki yaklaşım dikkate alınmaktadır. Bunlardan ilkinde, Model 3’de olduğu gibi, $RS \leq \tau_{maks}$ ’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 büyük ölçüde etkilemektedir. Zaten ikinci yaklaşımın dikkate alınmasının nedeni, birinci yaklaşıma göre problemlerin çözümünde ortaya çıkan zorluklardır. Ayrıca taşıtlara atanan görevler döngüsel olduğu için, Serçim modelinde rota yerine “rotasyon” teriminin kullanılması uygun görülmüştür.

4.6.2 Modelin Çözümü

Modelin değişkenleri tamsayı olduğu için, bu modele göre çözülecek olan bir problem, her tamsayı problem gibi, sonlu sayıda uygun çözüme sahiptir. Bu nedenle optimum çözüm için ilk akla gelen, bütün uygun çözümlerin gözden geçirilmesi ve bu çözümlerden minimum maliyetli olanının seçimidir. Ancak problemin boyutu büyüdüğünde değişken sayısı

artacağından, sonlu olarak sözedilen çözüm sayısı, gözden geçirilemeyecek kadar büyük olabilmektedir. Böyle problemler için, az sayıda çözümün gözden geçirilmesi ile optimum çözümü belirleyebilen bir tekniğe gereksinime duyulmaktadır. Dal-sınır tekniği, tamsayılı problemler için en yaygın olarak kullanılan ve oldukça başarılı olduğu belirtilen bir tekniktir. Bu tekniğin altında yatan ana düşünce, problemi daha küçük alt problemlere bölmek(dallandırmak) ve optimum çözümü oluşturmayacağı anlaşılan alt problemleri elemektir(Başlıgil,1988),(Hiller and Lieberman,1990).

Bu modelin çözümünde, dal-sınır tekniğine göre hazırlanmış olan QSB paket programı kullanılmıştır. Çözümlerde çıkan bazı sorunlar nedeniyle, sezgisel bir algoritma oluşturulmasına karar verilmiştir. Dolayısıyla çözümler iki grupta incelenebilir:

- Dal-sınır tekniği ile elde edilen çözümler
- Sezgisel algoritma kullanılarak elde edilen çözümler

4.6.2.1 Dal-Sınır Tekniği İle Elde Edilen Çözümler

Bu modelin (3.18) nolu kısıtı, her bir rotasyonda yalnızca bir geri kol olmasını sağlayan kısıttır. Bu kısıt gözardı edilirse, çözülecek olan problem, bir ağ akım problemine dönüşmektedir. Böyle bir problem, bilgisayar kapasitesi yeterli ise kolaylıkla çözülebilir. Modelin (3.18) nolu kısıtı dikkate alındığı takdirde çözüme nasıl ulaşıldığı, aşağıda verilen algoritma ile açıklanacaktır:

1. Adım : (3.18) nolu kısıtı dikkate almadan problemi, bir ağ akım problemi olarak çözüünüz.
2. Adım : Ortaya çıkan rotasyonlardan herbirinde geri kol sayısı bir tane ise (3.) adıma, aksi durum söz konusu ise (4.) adıma gidiniz.
3. Adım : İstenilen optimum çözüm elde edilmiştir.
4. Adım : Modeldeki (3.18) kısıtına karşılık gelen kısıtları probleme ekleyerek, problemi yeniden çözüünüz ve (2.) adıma gidiniz.

Algoritmanın (3.) adımında , “istenilen optimum çözüm” ile, herbir rotasyonun yalnızca bir geri kola sahip olduğu çözüm ifade edilmektedir. (4.) adımda ise, probleme eklenen kısıt sayısı, birden fazla geri kol içeren rotasyon sayısına eşittir.

Dal sınır tekniği kullanılarak elde edilen çözümler, 3 grupta sınıflandırılabilir:

- 1) Katı kısıtlı yaklaşıma göre elde edilen optimum çözümler
- 2) Gevşek kısıtlı yaklaşıma göre elde edilen optimum çözümler
- 3) Katı kısıtlı yaklaşıma göre elde edilen ayrıştırılmış çözümler

4.6.2.1.1 Katı Kısıtlı Yaklaşıma Göre Optimum Çözüm

Daha önce de belirtildiği gibi, katı kısıtlı yaklaşıma göre elde edilen bir çözümde, herbir rotasyon yalnız bir geri kol içermeli ve bu nedenle, taşıtların rotasyon süresi (RS), maksimum rotasyon süresini (τ_{maks})’ı aşmamalıdır. Bu yaklaşıma göre çözüm süreci, aşağıda verilen 4 örnek yardımıyla açıklanacak ve örneklerin bitiminde kısa bir değerlendirme yapılacaktır.

Örnek 1.

İlk örnek, 10 görevden ve 54 değişkenden oluşmaktadır. Tablo 4.6’da başlangıç(bitiş) yerleri ve zamanları ile gösterilen görevlerin, her 24 saatte bir tekrarlanması istenilmektedir, bu nedenle (τ_{maks}) 24 saate eşittir. Görevler başlangıç zamanlarına göre sıralandıkları ve numaralandırıldıkları için, eğer bir (i,j) kolu,

- ileri bir kol ise, $i < j$;
- geri bir kol ise, $i > j$ ve
- bir düğüm kolu(çıktığı göreve giren kol) ise, $i = j$ dir.

Taşıtların saatlik boş bekleme maliyeti(SBBM) 1 birim, saatlik boş seyir maliyeti(SBSM) 3 birim alınarak hesaplanan herbir kol maliyeti (c_{ij}), Tablo 4.7’de sunulmuştur. Bu tabloda, matrisin (i .) satır ve (j .) kolunu ile tanımlanan elemanı boş bırakılmış ise, (i) görevi ile (j) görevi

arasında bir kolun bulunamayacağı anlaşılmaktadır. Eğer bir kol mevcut ise, sözkonusu elemana ilgili (c_{ij}) maliyeti yazılmaktadır. Buna göre köşegenin üst alanındaki maliyetler, ileri kolların maliyetlerini; köşegendeki maliyetler, düğüm kollarının maliyetlerini; köşegenin alt alanındaki maliyetler ise geri kolların maliyetlerini göstermektedir.

Tablo 4.6. Örnek 1 için görevler

Görev -ler	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)

Tablo 4.7. Örnek 1 için (i, j) kollarının maliyetleri

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

Problemin çözümünü daha anlaşılır kılmak amacıyla, görevler ve aralarındaki kollar, Şekil 4.7a'da, bir ağ biçiminde gösterilmiştir. Görevler, ağın düğümlerini oluşturmaktadır. Ağ üzerindeki kollar, ileri , geri ve düğüm kollarından oluşmaktadır.

Şekil 4.7 b'de, problemin başlangıç çözümü verilmiştir. Başlangıç çözümü için problem, tamsayılık kısıtları dışında 20 kısıta sahiptir. Bu çözüme göre, yalnızca bir rotasyon vardır ve bu rotasyon 3 geri kolludur. Taşıtın rotasyon süresi, maksimum rotasyon süresini aştığından, problemin çözümüne devam edilmelidir. Probleme aşağıdaki kısıt eklenir:

$$x_{1,4} + x_{4,7} + x_{7,9} + x_{3,6} + x_{6,10} + x_{2,5} + x_{5,8} + y_{8,1} + y_{9,3} + y_{10,2} \leq 9 \quad (4-12)$$

Bu kısıt, modelde (3.18) nolu olarak tanımlanan kısıta karşılık gelmektedir.

Yeni problem, 21 kısıta sahiptir. Bu problemin çözümü(ikinci çözüm), Şekil 4.7 c'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, şekilde iki rotasyon mevcuttur. Bu rotasyonlardan bir geri kol içereni için $RS \leq \tau_{maks}$ kısıtı sağlanmakta; diğeri için sözkonusu kısıt sağlanamamaktadır. Problemin çözümüne,

$$x_{1,4} + x_{4,7} + x_{7,9} + x_{3,6} + y_{9,3} + y_{6,1} \leq 5 \quad (4-13)$$

kısıtı eklenerek devam edilmelidir. Buna göre, yeni problem 22 kısıtlıdır. Yeni problemin çözümü(üçüncü çözüm), Şekil 4.7 d'de gösterilmiştir. Herbir rotasyon yalnızca bir geri kol içerdiğinden, istenilen optimum çözüm bulunmuştur.

Herbir rotasyon, bir taşıtın 24 saat içindeki yapacağı görevleri sıraladığından, istenilen optimum çözüm için toplam 3 taşıta gereksinim vardır. Bu taşıtların yapacağı görevler aşağıda sıralanmaktadır.

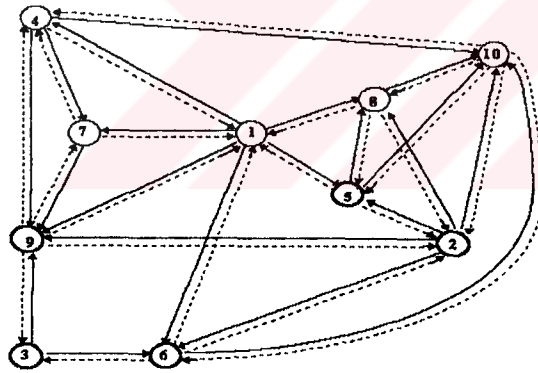
1. taşıt: 1, 4, 7 ve 9 nolu görevler
2. taşıt: 2, 5, 8 ve 10 nolu görevler
3. taşıt: 3 ve 6 nolu görevler

Bu örneğin çözüm süreci, Tablo 4.8'in 1., 2., 3., 4., 5. ve 6.satırlarında özetlenmiştir.

Tablo 4.8 Örnek 1 için çözümler (Görev sayısı : 10 , Değişken sayısı : 54)

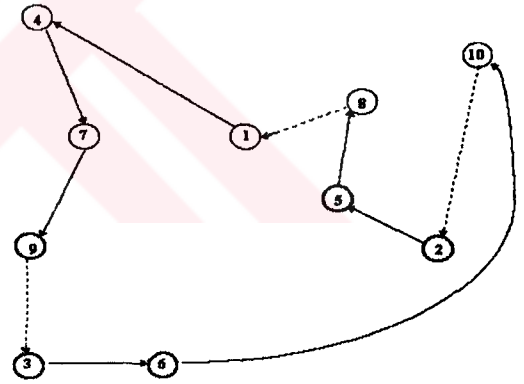
ÇÖZÜMLER			1.ÇÖZÜM	2. ÇÖZÜM	3. ÇÖZÜM
KISIT SAYISI (*)	1		20	21	22
İTERASYON SAYISI	2		1	2	3
ÇÖZÜM SÜRESİ	3		2 sn	6 sn	39 sn
TOPLAM TAŞIT (Rotasyon Sayısı)	4		3	3	3
TAŞITLARIN ROTASYON SÜRELERİ	5		3 (3 gün)	2 (2 gün) 1 (1 gün)	3 (1 gün)
TOPLAM BBM ve BSM	6		33	33	33
ÇÖZÜMÜN AYRIŞTIRIL- MASI	Toplam Taşıt Sayısı	7	Ayrışma Sağlanamıyor	3	Çözüm zaten Ayrışık
	Toplam BBM ve BSM	8		33	

(*) Kısıt sayısına, tamsayılık kısıtları katılmamıştır.



Şekil 4.7.a. Görevler ve Kolların Ağ Şeklinde Gösterimi

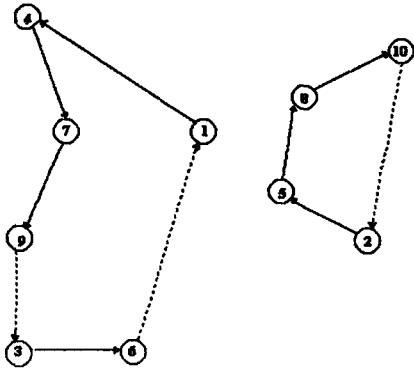
(Düğüm Kolları, çıktıkları düğüm lere giren kollar oldukları için gösterilm em iştir)



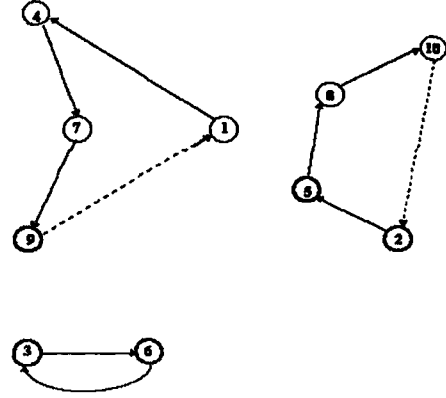
Şekil 4.7.b. Problemin Başlangıç Çözümü

—————→ İLERİ KOL

-----→ GERİ KOL



Şekil 4.7.c. Problemin İkinci Çözümü



Şekil 4.7.d. Problemin Üçüncü Çözümü

Tablo 4.9. Örnek 2 için görevler

Görev	Başlangıç	Varış	Görev	Başlangıç	Varış
1	A(06:00)	B(09:00)	8	C(12:00)	A(17:00)
2	A(07:00)	C(12:00)	9	A(12:00)	B(15:00)
3	B(07:00)	A(10:00)	10	A(13:00)	C(18:00)
4	C(08:00)	A(13:00)	11	A(15:00)	B(18:00)
5	B(10:00)	C(14:00)	12	B(16:00)	C(20:00)
6	C(11:00)	B(15:00)	13	A(16:00)	C(21:00)
7	B(12:00)	A(15:00)	14	C(16:00)	B(20:00)

Örnek 2.

Bu örnekte, görev sayısı 14 ve değişken sayısı 66'dır. (τ_{maks}) 24 saat, (SBBM) 1 birim ve (SBSM) 3 birim olarak alınmıştır. Görevlerin karakteristikleri Tablo 4.9'da, kol maliyetleri ise Tablo 4.10'da verilmiştir. Problem başlangıçta, tamsayılık kısıtları dışında 28 kısıttan oluşmaktadır. Yeni kısıtlar eklenerek problem 3 aşamada çözülmüş ve toplam 27 sn'lik bilgisayar süresi ile, istenen optimum çözüm elde edilmiştir. Çözüm süreci, Tablo 4.11'in 1., 2., 3., 4., 5. ve 6. satırlarında özetlenmiştir.

Tablo 4.10. Örnek 2 için (i, j) kollarının maliyetleri

i\j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	30				1		3		12	13	15	7	16	19
2		34						0				16		4
3			30						1	3	5	15	6	21
4				34						0	2	12	3	
5	31				32									2
6						32						1		
7	15						30				0		1	
8		14						34						
9	24		16						30			1		
10	27		25	14						34				
11	21		13	26			18				30			
12	25	26	23	12		15			31			32		
13	24		22	11			27						34	
14	19	20	11		14									32

İstenen optimum çözüm için gerekli taşıt sayısı 7 dir. (1, 7, 13) görevleri 1. taşıt ile, (2, 8) görevleri 2. taşıt ile, (3, 9) görevleri 3. taşıt ile, (4, 10) görevleri 4. taşıt ile, (5, 14) görevleri 5. taşıt ile, (6, 12) görevleri 6. taşıt ile ve (11) nolu görev 7. taşıt ile gerçekleştirilecektir.

Tablo 4.11. Örnek 2 için çözümler (Görev sayısı : 14 , Değişken sayısı : 66)

ÇÖZÜMLER		1.	2.	3.
ÇÖZÜM		ÇÖZÜM	ÇÖZÜM	ÇÖZÜM
KISIT SAYISI (*)	1	28	29	30
İTERASYON SAYISI	2	1	2	3
ÇÖZÜM SÜRESİ	3	3 sn	9 sn	15 sn
TOPLAM TAŞIT (Rotasyon Sayısı)	4	7	7	7
TAŞITLARIN ROTASYON SÜRELERİ	5	2 (2 gün) 5 (1 gün)	3 (3 gün) 4 (1 gün)	7 (1 gün)
TOPLAM BBM ve BSM	6	136	136	136
ÇÖZÜMÜN AYRIŞTIRIL- MASI	Toplam Taşıt Sayısı	7	7	Çözüm zaten
	Toplam BBM ve BSM	8	177	Ayrışık

(*) Kısıt sayısına, tamsayılık kısıtları katılmamıştır

Örnek 3.

Bu örnek, Örnek 2'deki 14 göreve, 4 yeni görev eklenerek bir problemdeki görev sayısı artırıldığında, nasıl bir çözüm zorluğu ile karşılaşıldığını göstermek amacıyla hazırlanmıştır. Dolayısıyla görev sayısı 18, değişken sayısı ise 140 dır. Maksimum rotasyon süresi ve saatlik kol maliyetleri, Örnek 2'de verildiği gibidir. Son 4 görevin karakteristikleri Tablo 4.12'de, kol maliyetleri ise Tablo 4.13'de verilmiştir.

Başlangıçta, problemin kısıt sayısı 36 dır(Tamsayı kısıtları, bu sayıya dahil edilmemiştir). Problem ek kısıtlar ile birlikte, tam 22 kez çözülmüş, buna karşın taşıtların her gün aynı görevleri yerine getirmesi söz konusu olmamıştır. İlk çözümler saniye mertebesinde iken, son çözümde 1 saat 59 dakika bilgisayar süresi harcanmıştır. Bütün çözümler için harcanan bilgisayar süresi, 18 saat 47 dakikadır. Çözümlerin giderek çok fazla zaman alması ve istenen

optimum çözüme ne zaman ulaşılacağına bilinmemesi nedeniyle, problemin çözümüne devam edilmemiştir. Çözümler Tablo 4.13'ün, 1., 2., 3., 4., 5. ve 6. satırlarında özetlenmiştir.

Tablo 4.12. Örnek 3 için ek görevler

Görevler	Başlangıç Yeri (zamanı)	Varış Yeri (zamanı)
15	B(17:00)	A(20:00)
16	C(19:00)	A(24:00)
17	C(20:00)	B(24:00)
18	B(21:00)	C(25:00)

Tablo 4.13. Örnek 3 için (i, j) kollarının maliyetleri

i \ j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	30				1		3		12	13	15	7	16	9	8	22	23	12
2		34						0				16		4	17	7	8	21
3			30						2	3	5	15	6	21	16	24	25	20
4				34						0	2	12	3		13	21	22	17
5	31				32									2		5	6	19
6						32						1			2	16	17	6
7	15						30				0		1				20	15
8		14						34										13
9	24		16						30			1			2	16	17	6
10	27		25	14						34						1	2	
11	21		13	26			18				30							3
12	25	26	23	12		15			31			32					0	
13	24		22	11			27						34					
14	19	20	11		14									32				1
15	10	11	20	27		30			16						30			
16	6	7	16	23	19	26			12	13						34		
17	15	16	7	20	10	23	12		21	22		16					32	
18	20	21	18	7	21	10	23	11	26		29			15				32

Tablo 4.14. Örnek 3 için çözümler (Görev sayısı : 18 , Değişken sayısı : 140)

ÇÖZÜM NO :		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
KISIT SAYISI	1	36	37	39	41	42	43	45	46
İTERASYON SAYISI	2	1	2	3	4	5	43	43	101
ÇÖZÜM SÜRESİ (dak.)	3	0,32	0,62	1	1,42	1,82	13	13	31
TOPLAM TAŞIT (Rotasyon) SAYISI	4	7	7	7	7	7	7	7	7
TAŞITLARIN ROTASYON SÜRELERİ [Taşıt(Gün)]	5	5 (5) 2 (1)	3 (3) 2 (2) 1 (1)	5 (5) 2 (1)	4 (4) 3 (1)	3 (3) 2 (2) 2 (1)	3 (3) 2 (2) 2 (1)	5 (5) 2 (1)	2 (2) 5 (5)
TOPLAM BBM ve BSM	6	96	96	96	96	96	96	96	96
ÇÖZÜMÜN AYRIŞTIRILMASI	Toplam Taşıt Sayısı	7	7	7	7	7	7	7	7
	Toplam BBM ve BSM	8	162	156	132	132	156	126	150

Tablo 4.14. (Devam 1) Örnek 3'in Çözümleri (Görev sayısı : 18 , Değişken sayısı : 140)

ÇÖZÜM NO :		9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
KISIT SAYISI	1	47	48	49	50	51	52	53	54
İTERASYON SAYISI	2	45	89	154	186	187	188	190	202
ÇÖZÜM SÜRESİ (dak.)	3	14	29	52	69	69	71	80	98
TOPL.TAŞIT (Rotasyon) SAYISI	4	7	7	7	7	7	7	7	7
TAŞITLARIN ROTASYON SÜRELERİ [Taşıt(Gün)]	5	3 (3) 4 (1)	4 (4) 3 (1)	4 (4) 3 (1)	2 (2) 5 (1)	5 (5) 2 (2)	4 (4) 3 (1)	4 (4) 3 (1)	5 (5) 2 (2)
TOPLAM BBM ve BSM	6	96	96	96	96	96	96	96	96
ÇÖZÜMÜN AYRIŞTIRILMASI	Toplam Taşıt Sayısı	7	7	7	7	7	7	7	7
	Toplam BBM+BSM	8	132	132	140	126	150	144	132

Tablo 4.14. (Devam 2) Örnek 3'in Çözümleri (Görev sayısı:18, Değ. sayısı:140)

ÇÖZÜM NO :		17	18	19.	20.	21.	22.
KISIT SAYISI	1	55	56	57	58	59	60
İTERASYON SAYISI	2	200	203	275	188	198	259
ÇÖZÜM SÜRESİ (dak.)	3	86	88	115	87	88	119
TOPL. TAŞIT (Rotasyon) SAYISI	4	7	7	7	7	7	7
TAŞITLARIN ROTASYON SÜRELERİ [Taşıt(Gün)]	5	5 (5) 2 (2)	6 (6) 1 (1)	3 (3) 4 (1)	5 (5) 2 (1)	4 (4) 3 (3)	4 (4) 3 (3)
TOPLAM BBM ve BSM	6	96	96	96	96	96	96
ÇÖZÜMÜN AYRIŞTIRILMASI	Toplam Taşıt Sayısı	7	7	7	7	7	7
	Toplam BBM+BSM	8	132	132	132	150	132
							150

Örnek 4.

Örnek 4'deki görev sayısı, görevlerin karakteristikleri, taşıtların maksimum rotasyon süresi ve saatlik boş bekleme maliyetleri, Örnek 3'de verilenler ile aynıdır. Bu örneğin özelliği, iki görev arasında boş yapılacak seyire kesinlikle izin verilmemesidir. Bu nedenle değişken sayısı 52 dir ve Tablo 4.15'de verilen kol maliyetleri, yalnızca iki görev arasında taşıtın bekletilmesiyle ilgilidir. Bu örnek, hemen hemen aynı özelliklere ve aynı sayıda kısıta sahip problemlerde, değişken sayısının çözüm sürecini nasıl etkilediğini göstermek amacıyla hazırlanmıştır.

Tablo 4.15. Örnek 4 için (i, j) kollarının maliyetleri

i\j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	30						3								8			
2		34						0								7		
3			30						2		5							
4				34						0			3					
5					32									2			6	
6						32						1						6
7	15						30				0							
8		14						34										
9			16						30						2			
10				14						34						1		
11			13				18				30							
12						15						32					0	
13				11									34					
14					14									32				1
15	10								16						30			
16		7								13						30		
17					10							16					32	
18						10								15				32

Tablo 4.16. Örnek 4 için çözümler (Görev sayısı :18 , Değ. sayısı :52)

ÇÖZÜMLER		1.ÇÖZÜM	2.ÇÖZÜM
KISIT SAYISI	1	36	38
İTERASYON SAYISI	2	1	29
ÇÖZÜM SÜRESİ	3	3 sn	182 sn
TOPLAM TAŞIT (Rotasyon SAYISI)	4	7	9
TAŞITLARIN ROTASYON SÜRELERİ	5	4 (2 gün) 3 (1 gün)	9 (1 gün)
TOPLAM BBM ve BSM	6	96	144
ÇÖZÜMÜN AYRIŞTIRILMASI	Toplam Taşıt Sayısı	Ayrışma Sağlanamıyor	Bu çözüm Ayrışmıştır
	Toplam BBM ve BSM		

Örnek 3’de olduğu gibi, başlangıçta problem 36 kısıtlıdır(tamsayılık kısıtları dışında). İlk çözümde 5 rotasyon elde edilmiştir. Bu rotasyonlardan ikisi birden fazla geri kol içerdiğinden, probleme iki kısıt daha eklenmiş ve bu yeni problemin çözümü ile istenen optimum çözüme ulaşılmıştır. Buna göre gerekli olan taşıt sayısı 9’ dur ve çözümler Tablo 4.16’nın 1., 2., 3., 4., 5. ve 6. satırlarında özetlenmiştir.

Örnek 1 ve Örnek 2’de, zamansal bir sorun çıkmadan, istenilen optimum çözüm kolaylıkla elde edilmiştir. Örnek 2’nin görevlerine 4 görev daha eklenmesi ile kısıt ve değişken sayısının nasıl artış gösterdiği ve problemin çözümünün nasıl zorlaştığı, Örnek 2 ile Örnek 3 karşılaştırılarak görülebilir. Örnek 3 ile Örnek 4, problemin çözümünde yalnızca değişken sayısının etkisini göstermektedir.

Yapılan benzeri örneklere göre, bir problemdeki görev sayısı 15’in üzerinde olduğunda, 486 DX2 66 bilgisayarı ile çözüm zorluğu ile karşılaşılabilir. Elbette bu bir sınır değer değildir. Örnek 4, 18 görevden oluşmasına karşın kolaylıkla çözülebilmektedir. Kısaca, çözüm süresi ve zorluğu, kısıt sayısına, değişken sayısına ve bilgisayarın hızına bağlı olarak değişmektedir.

Yalnızca iki kent arasında yapılacak olan bir taşımacılıkta, günün (8:00-24:00) saatlerinde her iki saatte bir sefer kalkışının olduğu varsayılacak olursa, toplam 18 görevli bir problem ile karşılaşılır. Kent sayısı arttıkça görevlerin sayısı da artacaktır. Böyle bir yaklaşımla çözüm zorluğu ile karşılaşılacağı ortadadır. Bu nedenle, modelin daha pratik olarak kullanımını sağlayan bir yaklaşıma gerek vardır. İzleyen alt bölümlerde, bu amaca yönelik olarak yapılan çalışmalar verilecektir.

4.6.2.1.2 Gevşek Kısıtlı Yaklaşım Göre Optimum Çözüm

Örneklerden anlaşıldığı gibi, istenen optimum çözüm elde edilinceye kadar, her bir çözüm, birer optimum çözümdür. İstenen optimum çözümün diğerlerinden farkı, her bir periyottaki görevlerin aynı taşıt tarafından tekrarlanabilmesidir. Taşıtların her bir periyotta aynı görevleri tekrarlaması arzu edilmekle birlikte, maksimum rotasyon süresini aşan rotasyon sürelerine izin

verilerek, $RS \leq \tau_{maks}$ kısıtının gevşek bir kısıt haline dönüştürülmesi olasıdır. Bunun anlamı; bir göreve, farklı periyotlarda farklı taşıtların atanabileceğidir.

Böyle bir yaklaşımda, maksimum rotasyon süresini, arzu edilen maksimum rotasyon süresi olarak adlandırmak daha anlamlıdır. Bunun dışında (τ_{maks})'ın herhangi bir katı olan ve bu sürenin üzerindeki rotasyon sürelerinin artık kabul edilemez olduğunu gösteren, bir sınır sürenin dikkate alınması da sözkonusu olabilir. Bu süre, kesin maksimum rotasyon süresi olarak adlandırılabilir ve (τ_{mk}) ile de gösterilebilir. Böylece bir rotasyonda, birden fazla geri kola izin verilebilmektedir. Ancak bir rotasyondaki geri kolların sayısının, (τ_{mk}) ile belirlenen geri kol sayısını aşmaması gerekmektedir. (τ_{mk}) süresinin, planlayıcının isteğine bağlı olarak artırılıp azaltılabilmesi, çözüme esneklik kazandırmaktadır. Bununla birlikte, bir rotasyonda her ek geri kol için , ayrı bir taşıt kullanılması gerektiği unutulmamalıdır. Aksi takdirde, bazı görevlerin her periyotta tekrarlanamaması sözkonusu olur.

Örnek 1'de, kesin maksimum rotasyon süresinin 48 saat olduğu varsayılın. Şekil 4.7'de görüldüğü gibi, (1.) çözümdeki rotasyon 3 geri kola sahiptir ve rotasyon süresi 48 saatin üzerindedir. Bu nedenle, bu çözüm kabul edilemez. (2.) çözümdeki rotasyonlardan birisi, zaten 24 saat içinde gerçekleşmektedir, diğerinde ise 2 geri kol vardır ve dolayısıyla $RS \leq \tau_{mk}$ dır. Bu çözüm, kabul edilebilir bir çözümdür ve 3 taşıtın kullanılmasını gerektirmektedir. Bu taşıtların hangi periyotta hangi görevleri gerçekleştirecekleri, aşağıda verilmektedir.

	1.periyot	2.periyot
1. taşıt	1-4-7-9	3-6
2. taşıt	3-6	1- 4-7-9
3. taşıt	2-5-8-10	2-5-8-10

Bu çözüm için toplam BBM ve BSM 33 birimdir. Katı kısıtlı yaklaşıma göre 3. çözümde(istenilen çözüm) de 3 taşıt gerektiğine ve toplam BBM ve BSM'in 33 birim olduğuna dikkat edilmelidir.

Bölüm 4.6.2.1.1'de, Örnek 3 için çözüme ulaşamadığı belirtilmişti. Aslında $\tau_{mk}=48$ saate göre, gevşek kısıtlı optimum çözüm, 8. çözümde elde edilmiştir. Bu çözümde, toplam BBM ve

BSM 96 birim, gerekli olan taşıt sayısı ise 7'dir. Taşıtların hangi periyotta hangi görevleri yapacağı aşağıda verilmiştir.

	1. periyot	2. periyot
1. taşıt	1-5-14-18	6-15
2. taşıt	6-15	1-5-14-18
3. taşıt	2-8	2-8
4. taşıt	3-9-12-17	3-9-12-17
5. taşıt	4-13	4-13
6. taşıt	7-11	7-11
7. taşıt	10-16	10-16

Açıklamalardan anlaşıldığı gibi, gevşek kısıtlı çözüme ulaşmak daha kolay ve daha az zaman alıcıdır. Üstelik gevşek kısıtlı optimum çözüme, istenen optimum çözümden önce ulaşılması, taşıt ile ilgili maliyetlerin daha az olmasını da sağlayabilir. Tablo 4.16'de, Örnek 4'ün 1. çözümünde 7 taşıt kullanılması gerektiği ve toplam BBM ve BSM'in 96 birim olduğu görülmektedir. Bu çözüm bazı taşıtların 2 günde bir rotasyonunu gerektirir. İstenilen optimum çözümde ise kullanılması gerekli olan taşıt sayısı 9 ve söz konusu maliyetler 144 birimdir.

Bu yaklaşımda da, kabul edilebilir çözüme ne zaman ulaşılacağı hakkında önceden fikir sahibi olmak söz konusu değildir. Ayrıca, taşıtların mutlaka her periyotta aynı görevleri tekrarlamaları isteniyorsa, bu yaklaşım buna yanıt veremez. Aşağıda, taşıtların her periyotta aynı görevleri tekrarlayabilmesini sağlayan bir yaklaşım sunulacaktır.

4.6.2.1.3 Katı Kısıtlı Yaklaşım Göre Ayrıştırılmış Çözüm

Ayrıştırılmış bir çözüm, bir optimum çözümdeki birden fazla geri kola sahip olan herbir rotasyonun, birer geri kola sahip alt rotasyonlara ayrıştırılmasıyla elde edilen çözümdür. Ayrıştırma işlemi, aşağıda açıklanacaktır.

Örnek 1'in ilk çözümündeki üç geri kollu rotasyon, (1,4), (4,7), (7,9), (9,3), (3,6), (6,10), (10,2), (2,5), (5,8) ve (8,1) kollarından oluşmaktadır (Bkz. Şekil 4.7). Bu rotasyondaki (9,3), (10,2) ve (8,1) geri kolları çıkarıldığı takdirde,

* (1,4), (4,7), (7,9);

* (3,6), (6,10);

* (2,5), (5,8)

görev kümeleri oluşacaktır. Bu görev kümelerini döngüye(rotasyona) dönüştürmek için, herbir kümeye, son görevini ilk görevine bağlayan bir geri kol eklemek gerekecektir. Bu durumda,

* (1,4), (4,7), (7,9), (9,1);

* (3,6), (6,10), (10,3) ve

* (2,5), (5,8), (8,2)

rotasyonları oluşacaktır. Ancak eklenen bu geri kollardan (10,3) kolu mevcut olmadığı için (Bkz. Tablo 4.7), üç geri kollu rotasyon için ayrıştırma işlemi gerçekleştirilemez.

Örnek 1'in ikinci çözümünde ise, iki geri kola sahip rotasyon (9,1) ve (6,3) geri kolları olduğu için,

* (1,4), (4,7), (7,9), (9,1);

* (3,6), (6,3)

rotasyonlarına, ayrıştırılabilir. Böylece, (2,5), (5,8), (8,10) ve (10,2) kollarından oluşan rotasyon ile birlikte, toplam 3 taşıt gerekmekte ve toplam BBM ile BSM 33 birime eşit olmaktadır. Elde edilen çözüm, istenilen optimum çözüm ile aynıdır.

Örnek 2 için, istenen optimum çözümden önceki tüm çözümler ayrıştırılarak Tablo 4.11'de verilmiştir. İlk çözümün ayrıştırılması ile toplam BBM ve BSM=177 birim, ikinci çözümün ayrıştırılması ile toplam BBM ve BSM=142 birim olmuştur. Oysa istenilen optimum çözüm için toplam BBM ve BSM= 136 birimdir. Dolayısıyla ayrıştırma işlemi ile her zaman, istenilen optimum çözüm elde edilememektedir. Ancak ayrıştırma işlemi, kullanılması gerekli olan taşıt sayısında bir artışa neden olmamaktadır.

Ayrıştırma işlemi ile çözüm elde etme, optimum çözümlere dayandırılmış bir sezgisel yaklaşımdır. Ayrıştırılmış çözümlerin sayısı fazla olduğu takdirde, istenilen optimum çözümü elde etme olasılığı artar. Örnek 3 için, bütün çözümler ayrıştırılmış ve bunlardan minimum maliyetli olanının 6. çözüm olduğu görülmüştür.

Bundan önce verilen yaklaşımlardaki gibi, bu yaklaşımın uygulanabilirliği de bilgisayarın kapasitesi ile yakından ilgilidir. Planlamacılar, genellikle daha kolay ve pratik çözüm süreçlerini tercih etmektedirler. Ancak bu çözüm süreçleri ile optimum çözüme ulaşılması tamamen bir rastlantıdır. İzleyen alt bölümde, bu tarzda bir sezgisel algoritma sunulacaktır.

4.6.2.2 Sezgisel Algoritma ile Çözüm

Optimum çözüm tekniklerinin, kısıt ve değişken sayısı arttıkça, problemlerin çözümlerinde etkili olamadıkları, bilinen bir konudur. Optimum çözüm tekniklerinin yeterli olamadığı problemler “Large problemler” olarak tanımlanmaktadırlar. Daha açık olarak, bu problemler çözüme zamansal açıdan zor ulaşılabilen ya da kullanılan bilgisayarın kapasitesinin üzerinde hafıza gerektiren problemlerdir (Brooke ve arkadaşları, 1988). Bu nedenle sezgisel algoritmalar geliştirilmekte ve algoritmaların başarıları, optimum çözüme olan yakınlıklarıyla test edilmektedir. Ancak denendikleri halde, tüm sezgisel algoritma seçeneklerinin optimum çözümden uzak çözümler ortaya koyma olasılıkları da vardır. Bölüm 4.6.2.2.1’de taşıt rotalaması ve çizelgelemesi için geliştirilen bir sezgisel bir algoritma tanıtılacak ve Bölüm 4.6.2.2.2’de bu algoritmanın değerlendirilmesi yapılacaktır.

4.6.2.2.1 Sezgisel Algoritmanın Tanıtımı

Bu sezgiselin esası, her bir (i) düğümünün minimum maliyetli olarak bir (j) düğüme bağlanabilmesidir. Algoritmanın birinci adımında, olası bütün kollar tanımlanmaktadır. İkinci adımında, bu kollardan gerçek olanları için ilgili maliyetler hesaplanmakta, diğerlerinin maliyetleri ise çok büyük bir sayı olan “M” değerine eşitlenmektedir. Böylece bu kollar ile düğümler arasında bağ oluşturulamaz.

Algoritmanın üçüncü adımında, mutlaka taşıt atanması gerekli olan düğümler belirlenmektedir. Örnek 1 için hazırlanan Tablo 4.7 incelendiğinde, 1, 2 ve 3 düğümlerine herhangi bir ileri kol girmediği görülmektedir. Dolayısıyla bu düğümlere, mutlaka birer taşıt atanacaktır. Yani bu örnekteki 10 adet görev için, en azından 3 taşıt kullanılması gerekecektir. Algoritmada da, ileri kol girmeyen düğümler, mutlaka taşıt atanan düğümlerdir.

Algoritmanın dördüncü, beşinci, altıncı ve yedinci adımlarında, kendisine ileri kol girmeyen görevlere atanan taşıtların, başka hangi görevleri gerçekleştireceği belirlenmektedir. Bu adımlar, (3.16), (3.17) ve (3.18) kısıtlarını sağlamaktadır.

Algoritmanın sekizinci adımı, taşıt atanmayan görevler olduğu takdirde geçerlidir ve bu görevler için algoritmanın üçüncü, dördüncü, beşinci, altıncı ve yedinci adımlarının tekrarlanmasını gerektirir. Dokuzuncu adım ise değişik seçenek çözümler ortaya konulması için, birinci ve ikinci adımlar dışında bütün adımların tekrarlanmasını sağlamaktadır

Sezgisel Algoritmanın Adımları:

- 1.Adım : Verilen düğümler kümesine göre, $i = 1, 2, \dots, (n-1)$ ve $j = (i+1), (i+2), \dots, n]$ için her bir (i,j) ileri kolunu, $i = 1, 2, \dots, n$ ve $j = i]$ için her bir (i,j) düğüm kolunu, $i = 2, 3, \dots, n$ ve $j = (i-1), (i-2), \dots, 1]$ için her bir (i,j) geri kolunu tanımlayınız.
- 2.Adım : Her bir kolun maliyetini(c_{ij}), eğer i düğümü ile j düğümü arasında, gerçek bir kol geçirilebiliyorsa, " $c_{ij} = BSS.BSM + BBS.BBM$ " bağıntısı ile bulunuz; aksi takdirde, "M" olarak alınız. Gerçek kollar, (3.5) ve (3.14) bağıntılarına göre oluşturulan kollardır. (BSS), taşıtın boş seyir süresi; (BSM), taşıtın birim süre için boş seyir maliyeti; (BBS), taşıtın boş bekleme süresi; (BBM), taşıtın birim süre için boş bekleme maliyetidir.

- 3.Adım : Kendisine ileri kol girmeyen herbir (i^*) düğümünü belirleyiniz, bu düğümlerin başlangıç zamanlarına göre sıralı kümesini (G^*) ile gösteriniz ve bu kümedeki herbir göreve ayrı birer taşıt atayınız.
- 4.Adım : (G^*) kümesinin birinci elemanı olan (i^*) düğümünü minimum maliyetli olarak bir (j^*) düğüme ileri bir kol ile bağlayınız. Böylece (i^*) ve (j^*) düğümlerine aynı taşıt tarafından hizmet verilecek demektir ve bir sonraki adıma gidiniz. Eğer (i^*) minimum maliyetli olarak yalnız kendisine bağlanabiliyorsa, 7. adıma gidiniz.
- 5.Adım : (j^*) düğümünü minimum maliyetli olarak başka bir düğüme ileri bir kol ile bağlayınız ve bağlama işlemini kendisinden hiçbir ileri kol çıkmayan (k^*) düğümünü buluncaya dek sürdürünüz. (k^*) 'dan (i^*) 'a bir geri kol varsa, $(i^*, j^*, \dots, k^*, i^*)$ rotasyonunu oluşturunuz. Eğer (k^*, i^*) geri kolunun maliyeti M değerine eşit ise, (k^*) düğümünü rotasyondan çıkartınız ve geri kalan düğümler arasında aynı şekilde rotasyon oluşturunuz.
- 6.Adım : Rotasyona dahil olan herbir düğüme giren ve çıkan kolların maliyetlerini M değerine eşitleyiniz.
- 7.Adım : Sırasıyla (G^*) kümesindeki herbir (i^*) için, 4., 5. ve 6. adımları tekrarlayınız.
- 8.Adım : Eğer yukarıdaki işlemler sonucunda, taşıt atanmayan görevler var ise, bu görevler yeni bir görevler kümesini tanımlayacaktır. Bu küme için, 3., 4., 5., 6., 7. ve 8.adımları tekrarlayınız.
- 9.Adım : (G^*) kümesindeki görevlerin sıralarını değiştirerek, başka çözümler oluşturunuz ve minimum maliyetli olanı seçiniz.

Bu sezgiselin değişik bir şekli, herbir görevin, başlangıç görevi olarak alınarak rotasyonların oluşturulmasıdır. Bu çalışmada, her ikisinin de bilgisayar programı yapılmıştır.

4.6.2.2.2 Sezgisel Algoritmanın Değerlendirilmesi

Sezgisel algoritmanın başarısını ölçebilmek için çeşitli problemler çözülmüş ve bunlar Tablo 4.17’de özetlenmiştir. Aşağıda çözümlerin değerlendirilmesi yapılacaktır.

Tablo 4.17. Çözümlerde Sezgisel Algoritma İle Dal-Sınır Tekniğinin Karşılaştırılması

ÇÖZÜM NO		1	2	3	4	5	6	7	8	9
PROBLEMİN	Düğüm Sayısı	8	10	12	14	14	16	16	18	18
	Değişken Sayısı	26	54	78	100	66	62	96	140	52
DAL - SINIR TEKNIĞİ İLE ÇÖZÜM	Kesin Çözüm	*	*	*		*	*			*
	Ayrışık Çözüm				*			*	*	
	Kısıt Sayısı	19	22	32	35	30		37	46	38
	Taşıt Sayısı	4	3	4	6	7	8	7	7	9
	Toplam BBM ve BSM	48	33	48	118	126	128	122	126	144
SEZGİSEL ALGORİTMA İLE ÇÖZÜM	Taşıt Sayısı	4	3	4	6	7	8	7	7	10
	Toplam BBM ve BSM	48	33	72	136	156	188	154	156	176
SEZGİSELİN	BAŞARISI (%)	100	100	67	86	80	68	79	80	82

Tablo 4.17’de görüleceği gibi, optimum çözümün sezgisel algoritma ile de elde edilme olasılığı vardır. Nitekim çözümlerden 2 tanesi optimum çözümdür. Herbir problem için “optimum çözüm maliyeti / sezgisel algoritma ile çözüm maliyeti” oranı hesaplandığında, optimum çözüme en az yaklaşan sezgisel algoritma çözümlerinin 3. ve 6. çözümler olduğu ortaya çıkar. Söz konusu oranların ortalaması ise, yaklaşık olarak % 83’dür. Bir sezgiselin başka bir değerlendirme prosedürü, mevcut bir sezgisel ile karşılaştırılmasıdır. Bilgi dahilinde böyle bir sezgisel ile karşılaşılmadığından, bu değerlendirme yapılamamıştır.

Tablo 4.17’de sezgisel algoritmanın başarısı, bu algoritma ile elde edilen çözümlerin optimum çözüme olan yakınlığı ile ölçülmüştür. Bunun dışında başka bir değerlendirme ölçütünü de gözardı etmemek gerekir. Bu ölçüt, çözüme ulaşma kolaylığıdır. Hatırlanacağı gibi, katı kısıtlı yaklaşıma göre, Örnek 3’de verilen 18 düğümlü problem için, yaklaşık 19 saat bilgisayar süresi harcandığı halde, istenilen optimum çözüm elde edilememiştir. Bu duruma, görev sayısının 15 in üzerinde olduğu problemlerde rastlanılmaktadır. Değişken ve kısıt sayısı arttıkça problemlerin çözümü hemen hemen olanaksız hale gelmektedir. Oysa, aynı problemler için sezgisel algoritmaya ait programlar ile dakika mertebesinde çözümlere ulaşılabilir. Bu durum gözönüne alındığında, sezgisel algoritmaların neden kullanılmak zorunda oldukları anlaşılabilir.

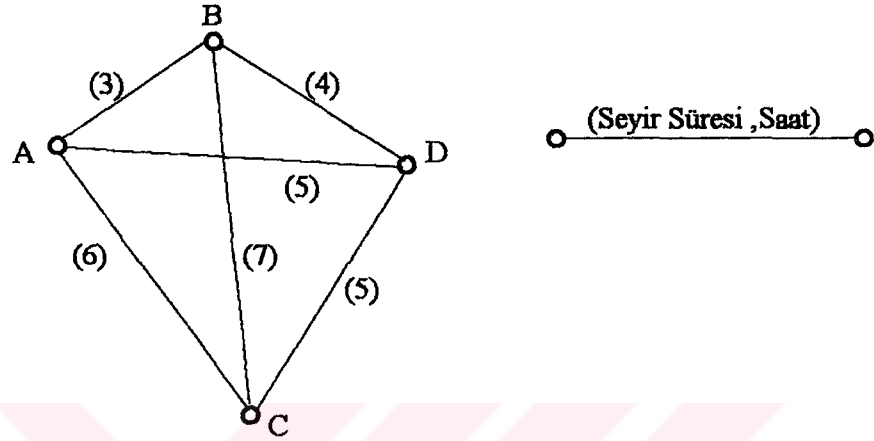
Yukarıda da sözedildiği gibi, sezgisel algoritma ile çözüm elde etmek için, 2 bilgisayar programı yapılmıştır. Bunlardan ilki, bu bölümde adımları ayrıntılı olarak verilen sezgisel algoritma içindir. İkincisi ise, sezgisel algoritmanın değişik bir şekline aittir. Bunda, kendisine ileri kol girmeyen görevler dışındaki görevlere de taşıt ataması yapılmaktadır. Bu algoritma, çok sayıdaki seçenekleri tarayarak daha başarılı sonuçlar verebilmesine karşın, büyük boyutlu problemlerde yetersiz kaldığı için, çalışmanın kapsamına alınmamıştır.

4.6.2.2.3. Sezgisel Algoritma ile Bir TRÇ Örneği

Bundan önce sezgisel algoritma ile çözülen problemler, bu algoritmanın test edilmesine yönelik olarak yapılmıştır. Bu bölümde ise, daha büyük boyutlu bir ağ için sezgisel algoritma ile elde edilen çözüm verilecektir.

Bilindiği gibi, modeldeki ağ, düğümler(seferler) ve kollar kümesinden oluşmaktadır. Bu problemde, (A), (B), (C) ve (D) kentleri arasında yapılan seferler, ağın düğümler kümesini oluşturmaktadır. Şekil 4.8’de bu kentler arasındaki seyir süreleri ve Tablo 4.18’de bu kentler arasındaki seferlerin kalkış zamanları verilmektedir. Bu verilere göre ortaya çıkan ağın düğümler kümesi, Tablo 4.19’da sunulmuştur. Görüldüğü gibi görev sayısı 60’dır. Saatlik Boş Bekleme Maliyeti(SBBM) 120.000 TL ve Saatlik Boş Seyir Maliyeti(SBSM) 650.000 TL olarak alınmıştır. Kol sayısı ise 1058 olup, bu kolların maliyetleri Ek 2’de bir matris olarak

gösterilmiştir. Problemin sezgisel algoritma ile çözümünden elde edilen rotasyon(taşıt) sayısı 23'dür ve herbir rotasyonun maliyeti Tablo 4.19'da gösterilmektedir. Rotasyonların toplam BBM ve BSM' i ise 83,44 Milyon TL'dir.



Şekil 4.8. Örnekte Kullanılan Ağ ve Seyir Süreleri

Tablo 4.18. Örnekte Kullanılan Seferlere Ait Veriler

Kalkış Yeri	Varış Yeri	Seferlerin Kalkış Saatleri
A	B	8:00, 10:00, 13:00, 15:00, 19:00, 21:00
A	C	9:00, 11:00, 15:00, 17:00, 24:00
A	D	7:00, 10:00, 14:00, 18:00, 20:00
B	A	8:00, 10:00, 13:00, 16:00, 20:00, 22:00
B	C	8:00, 11:00, 14:00, 23:00
B	D	8:00, 10:00, 12:00, 16:00, 18:00, 21:00
C	A	8:00, 11:00, 16:00, 19:00, 24:00
C	B	9:00, 12:00, 18:00, 23:00
C	D	7:00, 11:00, 15:00, 20:00
D	A	8:00, 11:00, 14:00, 17:00, 20:00
D	B	8:00, 10:00, 13:00, 15:00, 19:00, 21:00
D	C	8:00, 11:00, 16:00, 21:00

Tablo 4.19. Örneğin Görevler Kümesi

Görev No	Başlangıç	Varış	Görev No.	Başlangıç	Varış
1	A(07:00)	D(12:00)	31	A(14:00)	D(19:00)
2	C(07:00)	D(12:00)	32	C(15:00)	D(20:00)
3	B(08:00)	A(11:00)	33	D(15:00)	B(19:00)
4	B(08:00)	C(15:00)	34	A(15:00)	B(18:00)
5	B(08:00)	D(12:00)	35	A(15:00)	C(21:00)
6	C(08:00)	A(14:00)	36	C(16:00)	A(22:00)
7	A(08:00)	B(11:00)	37	B(16:00)	A(19:00)
8	D(08:00)	A(13:00)	38	B(16:00)	D(20:00)
9	D(08:00)	B(12:00)	39	D(16:00)	C(21:00)
10	D(08:00)	C(13:00)	40	D(17:00)	A(22:00)
11	A(09:00)	C(15:00)	41	A(17:00)	C(23:00)
12	C(09:00)	B(16:00)	42	C(18:00)	B(25:00)
13	A(10:00)	B(13:00)	43	B(18:00)	D(22:00)
14	B(10:00)	D(14:00)	44	A(18:00)	D(23:00)
15	B(10:00)	A(13:00)	45	A(19:00)	B(22:00)
16	D(10:00)	B(14:00)	46	C(19:00)	A(25:00)
17	A(10:00)	D(15:00)	47	D(19:00)	B(23:00)
18	C(11:00)	A(17:00)	48	B(20:00)	A(23:00)
19	D(11:00)	A(16:00)	49	C(20:00)	D(25:00)
20	B(11:00)	C(18:00)	50	A(20:00)	D(25:00)
21	A(11:00)	C(17:00)	51	D(20:00)	A(25:00)
22	C(11:00)	D(16:00)	52	B(21:00)	D(25:00)
23	D(11:00)	C(16:00)	53	A(21:00)	B(24:00)
24	B(12:00)	D(16:00)	54	D(21:00)	B(25:00)
25	C(12:00)	B(19:00)	55	D(21:00)	C(26:00)
26	D(13:00)	B(17:00)	56	B(22:00)	A(25:00)
27	B(13:00)	A(16:00)	57	C(23:00)	B(30:00)
28	A(13:00)	B(16:00)	58	B(23:00)	C(30:00)
29	D(14:00)	A(19:00)	59	C(24:00)	A(30:00)
30	B(14:00)	C(21:00)	60	A(24:00)	C(30:00)

Tablo 20. Örneğin Sezgisel Algoritma İle Çözüm Sonuçları

Rotasyon no.	Rotasyonlar (Görev no. →Görev no.)	Rotasyonun toplam BSM ve BBM Maliyeti (Milyon TL)
1	(1 → 26 → 43 → 1)	4,57
2	(2 → 29 → 45 → 56 → 2)	4,86
3	(3 → 21 → 42 → 3)	0,96
4	(4 → 32 → 51 → 4)	2,79
5	(5 → 33 → 52 → 5)	4,04
6	(6 → 31 → 47 → 58 → 6)	0,24
7	(7 → 20 → 46 → 7)	0,96
8	(8 → 28 → 37 → 50 → 8)	0,96
9	(9 → 24 → 40 → 9)	4,57
10	(10 → 49 → 10)	1,68
11	(11 → 59 → 11)	1,44
12	(12 → 38 → 54 → 12)	5,63
13	(13 → 27 → 41 → 13)	5,34
14	(14 → 55 → 14)	6,35
15	(15 → 34 → 53 → 15)	3,75
16	(16 → 30 → 16)	4,81
17	(17 → 17)	5,53
18	(18 → 44 → 18)	4,81
19	(19 → 19)	5,53
20	(22 → 39 → 22)	1,68
21	(23 → 36 → 60 → 23)	4,09
22	(25 → 48 → 25)	5,58
23	(35 → 57 → 35)	3,2
TOPLAM		83,44

4.7. BÜTÜNSEL DEĞERLENDİRME

Bu bölüme kadar, önce OLZAM modeli kullanılarak başlangıç zaman çizelgesinin ve ardından bu çizelgede yer alan seferler girdi olmak üzere, SERÇİM Modeli kullanılarak taşıt rotaları ve çizelgelerinin elde edilmesi açıklanmıştır. Bu bölümde ise, her iki modelin çıktılarının bir bütün olarak değerlendirilmesi yapılacaktır.

OLZAM ve SERÇİM modellerinin sonuçları için iki durum sözkonusu olabilir :

- a) Rotasyonlarda boş seyirli bağlantıların olmaması,
- b) Rotasyonlarda boş seyirli bağlantıların da bulunması.

İlk durumda herbir rotasyonda arzu edilen değerde ya da onun üstünde kâr sağlanıyorsa, çözüm sonuçlanmıştır. Aksi durumda maliyeti yüksek olan bazı rotasyonların çıkartılması ve OLZAM'a geri dönülerek seferlere çekilebilecek yolcu sayıları ile herbir rotasyon kârının yeniden hesaplanması gerekmektedir. Bu döngü, arzu edilen kâr düzeyine ulaşmaya dek sürdürülür.

İkinci durumda da herbir rotasyonda arzu edilen değerde ya da onun üstünde kâr sağlanıyorsa, çözüm sonuçlanmıştır. Ancak, boş seyirlerin bazılarının ya da tümünün birer sefer olarak zaman çizelgesine katılması da araştırılabilir. Bu durumda toplam rotasyon maliyetinden, yeni seferler olarak zaman çizelgesine katılan boş seyirlerin maliyetlerinin çıkartılması gerekmektedir. Daha sonra OLZAM'a geri dönülerek bunlara ve diğer seferlere çekilebilecek yolcu sayıları ile, kâr yeniden hesaplanır. Bu işlemin sonunda ise, iki seçenek sözkonusu olabilir:

1. Boş seyirlerin bir kısmı ya da tümü ek seferler haline dönüştürüldüğünde, arzu edilen değerde ya da bunun üzerindeki bir kâr sağlanıyorsa, çözüm sonuçlanmıştır.
2. Aksi halde maliyeti arttıran rotasyonların çıkartılması sözkonusu olur. Bu durumda OLZAM'a geri dönülerek, azaltılmış seferler kümesine çekilecek yolcu sayılarının ve sağlanacak gelirin hesaplanması gerekmektedir. Bu döngü, arzu edilen kâr düzeyine ulaşmaya dek sürdürülür.

Yukarıda sözü edilen rotasyon çıkartma işlemi bir optimizasyon problemi olarak aşağıdaki şekilde formüle edilmiştir:

$$\sum_{r \in R} (s_r - m_r) \cdot x_r \quad (4-14)$$

$$(s_r - m_r) < k_{\min} \Rightarrow x_r = 0 \quad \forall r \in R \text{ için} \quad (4-15)$$

$$x_r = \begin{cases} 0 & \text{eğer } (r) \text{ rotasyonu gerç ekleşmiyorsa,} \\ 1 & \text{eğer } (r) \text{ rotasyonu gerçekleşiyorsa,} \end{cases} \quad (4-16)$$

R : Rotasyonlar kümesi, $r \in R$

s_r : (r) rotasyonunun seferlerinden elde edilen toplam kâr,

m_r : (r) rotasyonunun seferlerinin arasındaki bağların toplam maliyeti,

$k_{\min}$: İşletmecinin bir rotasyondan elde etmek istediği kârın alt sınırı.

(4-14) No'lu amaç fonksiyonu, rotasyonlardan elde edilen kârın maksimize edildiğini göstermektedir. (4-15) No'lu kısıta göre, bir rotasyondan elde edilen net kârın, işletmeci tarafından belirlenen alt sınıra eşit ya da üzerinde olması gerekmektedir. (4-16) ise tamsayılık kısıtıdır.

Bu formülasyona istenirse, işletmenin sahip olduğu toplam taşıt sayısı (S) ve seçilecek yeni rotasyonlar kümesi (R') olmak üzere,

$$|R'| \leq S \quad (R' \subset R) \quad (4-17)$$

kısıtı da eklenebilir. Bu kısıt ile, seçilen rotasyon sayısının işletmenin sahip olduğu taşıt sayısını aşamayacağı ifade edilmektedir. Dolayısıyla kârlı olduğu halde, taşıt sayısının yeterli olmaması nedeni ile gerçekleştirilemeyen rotasyonlar olabilmektedir.

Rotasyon çıkartma işlemi, istenirse işletmecinin sezgilerine dayanan bir işlem olarak da gerçekleştirilebilir. Bu düşünce tarzının şu yararları olacaktır:

- Rotasyonun zarar etmesi, seferlerinin zarar etmesinden dolayı değil; rotasyondaki seferleri bağlayan kolların toplam maliyetinin, sözkonusu seferlerin toplam kârından fazla olmasından kaynaklanmaktadır. İşletmeci ve uzman, bu maliyetleri azaltabilecek basit önlemler alabilirler(Örneğin, taşıtın kullanılmadığı zamanlarının başka kentler arasında değerlendirilmesi gibi),
- Bu modelin başka alt sistemlere de uygulanabileceği belirtilmişti. Bu sistemlerde işletmeci bir devlet kurumu ise, genel olarak kâr elde etmeyi yeterli görebilir ve ulaşım hizmetinin verilmesini ön planda tutarak, zarar eden rotasyonların tümünü ya da bazılarını gerçekleştirmeyi isteyebilir.

4.8. OKYT-TRÇ MODELİ İÇİN SAYISAL BİR UYGULAMA

Bu bölümde sunulan örnekte, İstanbul-İzmir arasında taşımacılık yapan bir işletmenin kârını maksimize edebilecek seferler ile taşıt rotaları ve çizelgeleri araştırılacaktır.

Bu problemin verileri şunlardır:

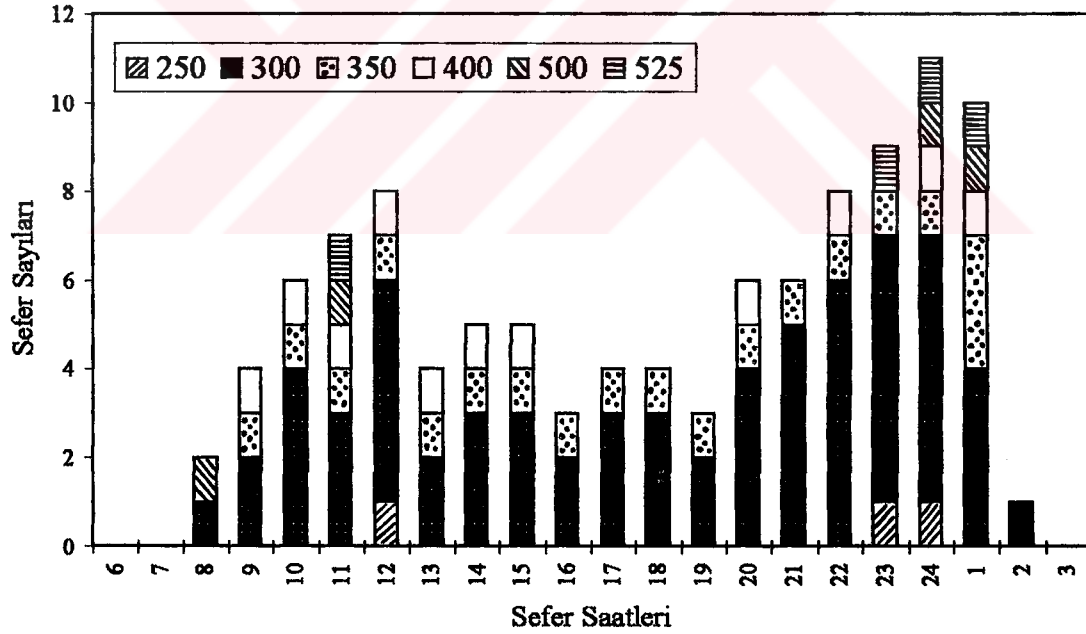
- * İşletmecinin amacı kâr elde etmektir. Bir sefer başına elde etmek istediği kârın alt sınırı(k_{min}) % 30'dur.
- * İstanbul -İzmir arasında bir gündeki ortalama yolcu sayısı 4725'dir. İzmir-İstanbul arası yolcu sayısının da aynı olduğu kabul edilmiştir.
- * İstanbul-İzmir arasında taşımacılık yapan işletmeler, taşıma ücretlerine göre 6 grupta toplanmaktadır. Bu grupların 1995 Ocak ayına göre İstanbul-İzmir arasında günlük sefer sayıları ve sefer ücretleri, Şekil 4.9'da grafik olarak gösterilmiştir. Günlük toplam sefer sayısı 105'dir. İzmir-İstanbul arasındaki sefer sayıları ve ücretlerinin de aynı olduğu kabul edilmiştir.
- * Yolcuların, sefer seçiminde yalnızca sefer ücretinden ve kalkış zamanlarından etkilendikleri varsayılmaktadır. Bununla birlikte, ücreti yüksek olan seferlerdeki güvenlik ve konfor koşullarının daha iyi olduğu da dikkate alınacaktır.
- * Taşıtların saatlik boş bekleme, boş seyir ve yolculu seyir sefer maliyetleri, Anadolu ve Trakya Otobüsçüler Derneği tarafından belirlenen ve Ocak 1995 için geçerli olan taşıma maliyetleri yardımıyla, yaklaşık olarak bulunmuştur. Saatlik yolculu seyir maliyeti, taşıtın bir aylık sabit ve değişken maliyetleri toplamının, saat başına düşen payıdır. Saatlik boş seyir maliyeti de, saatlik yolculu seyir maliyetinden, saat başına düşen ikinci sürücü ve yolcu ikram maliyetleri çıkarılarak bulunmuştur. Saatlik boş bekleme maliyeti ise, taşıtın sabit maliyetlerinin saat başına düşen payıdır. Buna göre, bu maliyetler için aşağıdaki değerler sözkonusudur:

Saatlik Yolculu Seyir Maliyeti(SYSM) :800.000 TL

Saatlik Boş Seyir Maliyeti(SBSM) :650.000 TL

Saatlik Boş Bekleme Maliyeti(SBBM) :120.000 TL

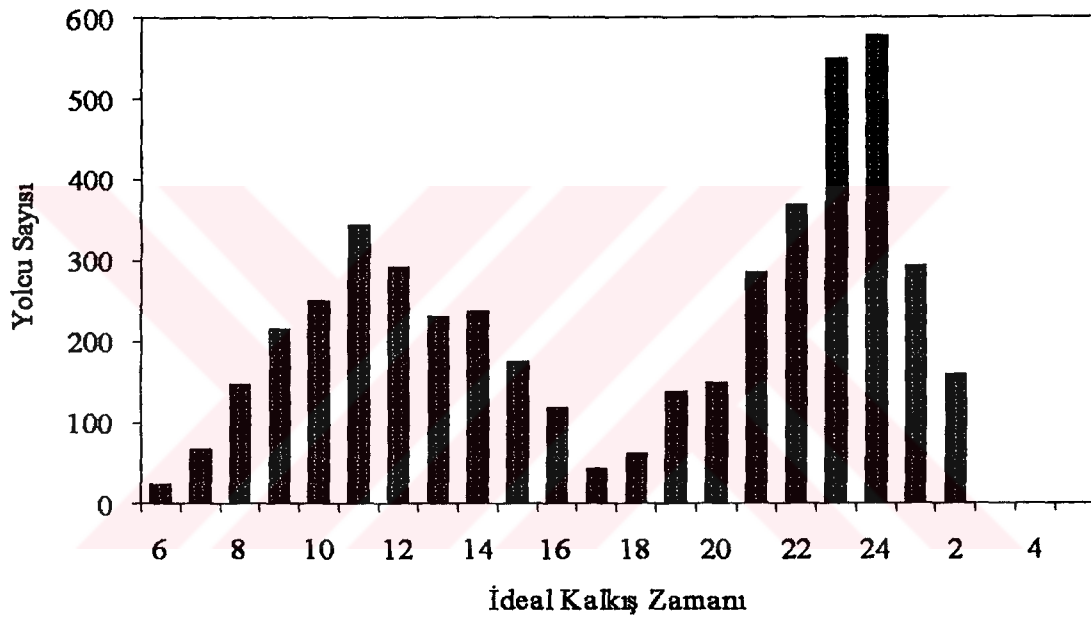
- İstanbul-İzmir arasında yolculuk yapanların ideal kalkış zamanlarına göre yolcu dağılımlarının TADAM modeli ile elde edilebilmesi için, daha önce yapılan 422 adet yolcu anketi sonuçları kullanılmıştır.
- Logit Model'in kalibrasyonu için, yolcuların İstanbul-İzmir arasında değişik ücretler ve zaman çizelgeleri ile taşımacılık hizmeti sunan işletmeler tarafından yapılmakta olan seferlere dağılımları esas alınacaktır.



Şekil 4.9. İstanbul-İzmir Arasında Sunulan Sefer Sayılarının Ücret Gruplarına ve Zamana Göre Dağılımları

4.8.1. TADAM Modeli'nin Uygulanması

Bir öğrenciye(Saatçioğlu, 1995), TADAM modelinin bilgisayar programı yaptırılmıştır. Yukarıda belirtilen anket sonuçları bu programa veri olarak girilerek, İstanbul-İzmir yolcularının ideal kalkış zamanlarına göre dağılımları (%) cinsinden bulunmuş, bu dağılım 4725 yolcu için sayısal olarak, Şekil 4.10'da görüldüğü gibi elde edilmiştir.

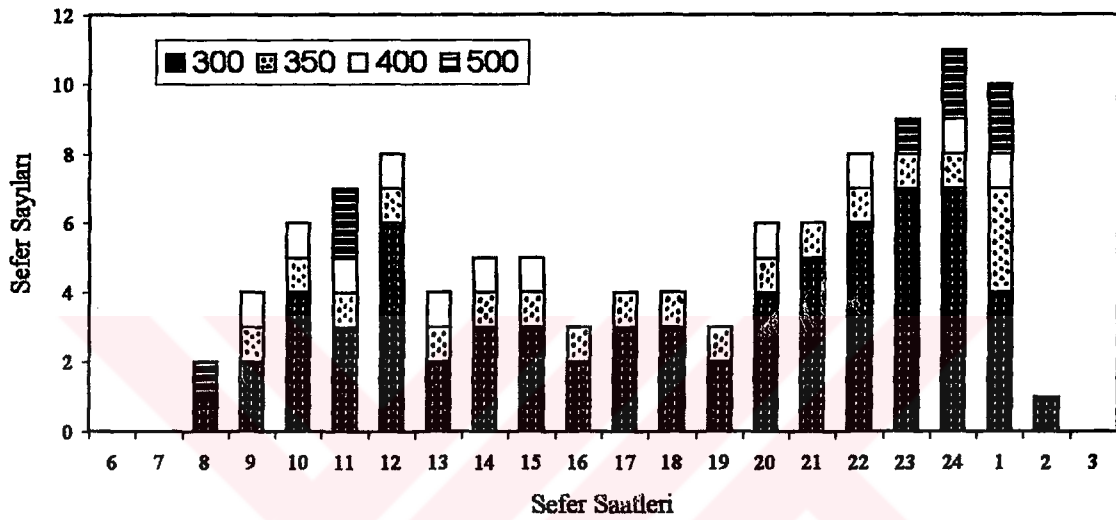


Şekil 4.10. İstanbul-İzmir yolcularının ideal kalkış zamanlarına göre gün içindeki dağılımları

4.8.2. OLZAM Modeli'nin Uygulanması

Zaman Çizelgelemesi için Aday Seferler Kümesi(AS), saat başlarında kaldırılacak 24 adet aday seferden oluşmaktadır. İstanbul-İzmir arasında değişik işletmeler tarafından uygulanan başlıca taşıma ücretleri, 250, 300, 350, 400, 500 ve 525 Bin TL'dir. Şekil 4.9' da da görüldüğü gibi, 250 Bin ve 525 Bin TL ücretli seferlerin sayıları çok az olduğundan, bunlar sırasıyla 300

Bin TL ve 500 Bin TL ücretli sefer gruplarına katılacaktır. Böylece, modelde yer alacak ücret seçeneklerinin sayısı 4 olup, bunlar 300, 350, 400 ve 500 Bin TL'dir. Rakip Seferler Kümesi(RİS) bu kabule göre yeniden düzenlenerek Şekil 4.11 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Uygulamada Esas Alınan Rakip Seferler Kümesi

4.8.2.1. Logit Model

Bölüm 4.5.1'de, Olzam Modeli ile Zaman Çizelgelemesi'nin oluşturulması için, yolcuların sefer seçimlerinin stokastik bir model olan Logit Model yardımıyla belirleneceği belirtilmişti. (4-6) eşitliği ile verilmiş olan ve Logit Model'in deterministik kısmını oluşturan değişkenler, "yolcuların ideal kalkış zamanları ile bir aday seferin kalkış zamanı arasındaki fark(ZF)" ve sefer ücreti, yolculuk süresi, yolculuk konforu vb. niteliklerden oluşmaktadır. İstanbul-İzmir arasındaki yolcu taşımacılığı için yapılacak sayısal uygulamada, bir "Bütünleşik Çok Seçenekli Logit Model (Disaggregate Multinomial Logit Model)" kullanılmasına karar verilmiştir.

Kullanılacak modelin kurulmasında aşağıdaki kabuller yapılmıştır :

- Tüm seferlerin yolculuk süreleri eşittir. Bu nedenle yolculuk süresi Logit Model'e değişken olarak katılmayacaktır,
- Yolculuk konforunun gerek sunulduğu, gerek yolcular tarafından algılandığı şekliyle ölçülmesi oldukça zor olduğu ve Ülkemizde genellikle "otobüsle ulaşımdaki konfor düzeyinin, taşıma ücreti ile arttığı" şeklinde bir kanı oluştuğu için, bu değişken modele katılmamıştır. Aynı kanı güvenlik konusunda da bulunmaktadır. Bu nedenle, sözkonusu iki etkenin sefer seçimindeki etkilerinin, yararlılık fonksiyonuna katılacak "sefere özgü katsayılar" ile araştırılması benimsenmiştir,
- Logit Model'in kalibrasyonu için gerekli olan gözlem değerleri olarak, yolcuların İstanbul-İzmir arasında değişik ücretler ve zaman çizelgeleri ile taşımacılık hizmeti sunan işletmeler tarafından yapılmakta olan seferlere dağılımları esas alınacaktır.
- Bilindiği gibi, Logit Model bir "süreksiz seçim modeli (discrete choise model)"dir. Başka bir deyişle, seçicilerin varolan seçenekler içinden, kendileri için yararlılığı en yüksek olan yalnızca bir tanesini seçecekleri öngörülmektedir. Tüm seçeneklerin yararlılık fonksiyonları aynı ise, yani seçeneklerin yararlılık fonksiyonlarında, kullanılan değişkenlerin dışında kendilerine özgün nitelikleri tanımlayan katsayılar bulunmuyorsa, kurulacak logit model yardımıyla bu seçeneklerden farklı özelliklerde olanların seçilme olasılıkları da araştırılabilir. Aksi durumda modelin içermediği seçenekler için de "seçeneğe özgü" katsayıların bilinmesi ya da tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu sayısal uygulama için de ikinci durum sözkonusu olacaktır.

Uygulamada kullanılacak Multinomial Logit Model'e katılacak sefer seçenekleri için öngörülen yararlılık fonksiyonu şöyledir :

$$V_{js} = \beta_1 + \beta_2 \cdot \bar{u}_s + \beta_3 \cdot |t_j - h_s| \quad (4-18)$$

- V_{js} : Taşıma ücreti ($\bar{u}_s$) olan ve (h_s) saatinde kalkacak olan (s) seferinin, ideal kalkış zamanları (t_j) olan yolcular için deterministik yararlılık fonksiyonu,
- β_1 : (s) seferine özgü, ücret ve zaman farkı dışındaki özelliklerin yolcular için önemini belirten katsayı,
- β_2, β_3 : Sırasıyla, seçimde taşıma ücreti ile zaman farkı(ZF)'nın yolcular için önemini belirten katsayılar,
- $\bar{u}_s$: (s) seferinin taşıma ücreti (10^6 TL),
- h_s : (s) seferinin kalkış zamanı (Saat),
- t_j : Yolcuların yolculuğa başlamak istediği zaman(İdeal kalkış zamanı) (Saat) ,

Buna göre, 4 ücret grubuna ait yararlılık fonksiyonları,

$$\begin{aligned}
 (V_{js})_{300} &= \beta_1 (300) + 0,30 \beta_2 + \beta_3 \cdot |t_j - h_s| \\
 (V_{js})_{350} &= \beta_1 (350) + 0,35 \beta_2 + \beta_3 \cdot |t_j - h_s| \\
 (V_{js})_{400} &= \beta_1 (400) + 0,40 \beta_2 + \beta_3 \cdot |t_j - h_s| \\
 (V_{js})_{500} &= 0,5 \beta_2 + \beta_3 \cdot |t_j - h_s|
 \end{aligned} \tag{4-19}$$

olmaktadır. Bilindiği gibi, modeldeki seçeneğe özgü katsayı sayısının, seçenek sayısının bir eksiği olması gerekli ve yeterlidir. Bu uygulamada 500 Bin TL ücretli seferler için özgün katsayı “0” alınmıştır.

4.8.2.1.1. Logit Modelin Kalibrasyonu

Modelin kalibrasyonu için kullanılan veriler Tablo 4.21’de gösterilmiştir. Bu tablodaki (ZF) değerleri, bir ücret grubundaki seferleri seçen yolcuların “ideal kalkış zamanları ile, seçtikleri sefer saati arasındaki farkların ortalaması” olarak alınmıştır.

Tablo 4.21. Logit Modelin Kalibrasyonunda Kullanılan Veriler

Yolculuk Ücretleri	10 ⁶ TL	0,3	0,35	0,4	0,5
İstenilen ve sunulan kalkış zamanları arasındaki ortalama fark (ZF)	Dakika (Saat)	20 (0,333)	60 (1,0)	100 (1,667)	160 (2,667)
Tercih Oranı	%	55	20	15	10

Yukarıdaki 4.19 eşitliklerindeki β_2 , β_3 , $\beta_{1(300)}$, $\beta_{1(350)}$ ve $\beta_{1(400)}$ katsayıları, En çok Olabilirlik Yöntemi(Maksimum Likelihood Method) ile elde edilebilir. Bunun için, aşağıdaki (L) Logaritmik Olabilirlik(Likelihood) fonksiyonunu en büyükleyen β_2 , β_3 , $\beta_{1(300)}$, $\beta_{1(350)}$ ve $\beta_{1(400)}$ katsayılarının hesaplanması gerekmektedir (Ben-Akiva ve Lerman, 1985) :

$$L = 55 (\beta_{1(300)} + 0,3 \beta_2 + 0,333 \beta_3) + 20 (\beta_{1(350)} + 0,35 \beta_2 + \beta_3) + \\ + 15 (\beta_{1(400)} + 0,4 \beta_2 + 1,667 \beta_3) + 10 (0,5 \beta_2 + 2,667 \beta_3) - 100 \ln Y$$

$$Y = \exp (\beta_{1(300)} + 0,3 \beta_2 + 0,333 \beta_3) + \exp (\beta_{1(350)} + 0,35 \beta_2 + \beta_3) + \\ + \exp (\beta_{1(400)} + 0,4 \beta_2 + 1,667 \beta_3) + \exp (0,5 \beta_2 + 2,667 \beta_3) \quad (4-20)$$

Bu fonksiyonun β_2 , β_3 , $\beta_{1(300)}$, $\beta_{1(350)}$ ve $\beta_{1(400)}$ katsayılarına göre kısmi türevleri alınarak sıfıra eşitlendiğinde 5 adet denklem elde edilmiş ve bunların çözüm sonuçları Tablo 4.22'de gösterilmiştir.

Tablo 4.22. Kalibrasyon Sonuçları

Katsayılar	β_2	β_3	$\beta_1 (300)$	$\beta_1 (350)$	$\beta_1 (400)$	$L(\beta)$
	- 0,888	- 0,697	- 0,0996	- 0,602	- 0,381	
Kısmi türevler	-4,5E-04	-4,7E-03	1,7E-03	-2,1E-03	4,2E-03	-216,5525

4.8.2.1.2. Kalibrasyonun Testi

Yapılan kalibrasyonun sonuçları, Olabilirlik Oran Sınaması(Likelihood Ratio Test) yöntemi ile test edilmiştir(Ben-Akiva, ve Lerman, 1985), (Daganzo, 1979). Bunun için aşağıdaki iki sıfır hipotezi testi ile, kalibrasyon sonuçlarının gözlem verilerine uyumunun testi yapılmıştır.

- a) Tüm katsayıların değerleri sıfıra eşittir, yani seçeneklerin yolcular tarafından seçilme olasılıkları birbirine eşittir.

Bu hipotezi sınamak için kullanılan istatistik

$$-2\{ L(0) - L(\beta) \}$$

$L(0)$: Logaritmik Olabilirlik(Likelihood) fonksiyonunun, $\beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$ için değeri,

$L(\beta)$: Logaritmik Olabilirlik(Likelihood) fonksiyonunun kalibrasyon sonunda bulunan en büyük değeri,

k : Yararlılık fonksiyonundaki katsayıların sayısı

olup, dağılımı χ^2 (ki kare)'ye uygundur. Dolayısıyla, (k) serbestlik derecesi için

$$-2\{ L(0) - L(\beta) \} > \chi^2_{(k)}$$

ise sıfır hipotezi reddedilecek ve bulunan (β) katsayılarının anlamlı olduğu kanıtlanmış olacaktır.

- b) Seçeneğe özgü olanların dışındaki tüm katsayıların değerleri sifıra eşittir, başka bir deyişle bu sayısal uygulamada sefer seçiminde taşıma ücretinin ve zaman farkının etkisi yoktur.

Bu hipotezi sınamak için kullanılan istatistik

$$-2\{ L(c) - L(\beta) \}$$

$L(c)$: Logaritmik Olabilirlik(Likelihood) fonksiyonunun, $\beta_2 = \dots = \beta_k = 0$ için değeri,

olup, dağılımı χ^2 (ki kare)'ye uygundur. Yukarıdakine benzer şekilde, (k-1) serbestlik derecesi için

$$-2\{ L(c) - L(\beta) \} > \chi^2_{(k-1)}$$

ise sıfır hipotezi reddedilecek ve (β_1) dışındaki $\beta_2, \dots, \beta_k$ katsayılarının da anlamlı olduğu kanıtlanmış olacaktır.

Yukarıdaki kalibrasyon için bu sınamalar yapıldığında,

$$L(\beta) = -216,5525$$

$$L(0) = -400$$

$$L(c) = -336,8423$$

$$k = 3$$

$$\chi^2_{(3)} = 16.266 \text{ (0,999 güvenlik için)}$$

$$\chi^2_{(2)} = 13,816 \text{ (0,999 -2\{ L(0) - L(\beta) \} = 366,895 > 16,266)}$$

$$-2\{ L(c) - L(\beta) \} = 240,579 > 13,816$$

olduğundan, her iki sıfır hipotezi de reddedilerek, (β) katsayılarının anlamlı oldukları kabul edilir.

c) Uyum İyiliğinin Ölçülmesi (Goodness-of-Fit Measurement)

Kalibrasyon sonuçlarının gözlem verilerine uyumunun ölçülmesi için (ρ^2 : ro-kare) adı verilen aşağıdaki ölçütler kullanılır :

$$(\rho^2)_1 = 1 - (L(\beta) / L(0))$$

$$(\rho^2)_2 = 1 - (L(\beta) / L(c))$$

Bu ölçütler her ne kadar istatistikteki korelasyon ölçütüne benzerlik gösterse de, onunla aynı anlamda değildir(Akiva ve Lerman, 1985). Bu ölçütlerin (0) ile (1) arasında kalması gerekmektedir.

Sayısal uygulama için yapılan kalibrasyon için (ρ^2) değerleri aşağıdaki gibi bulunmuştur :

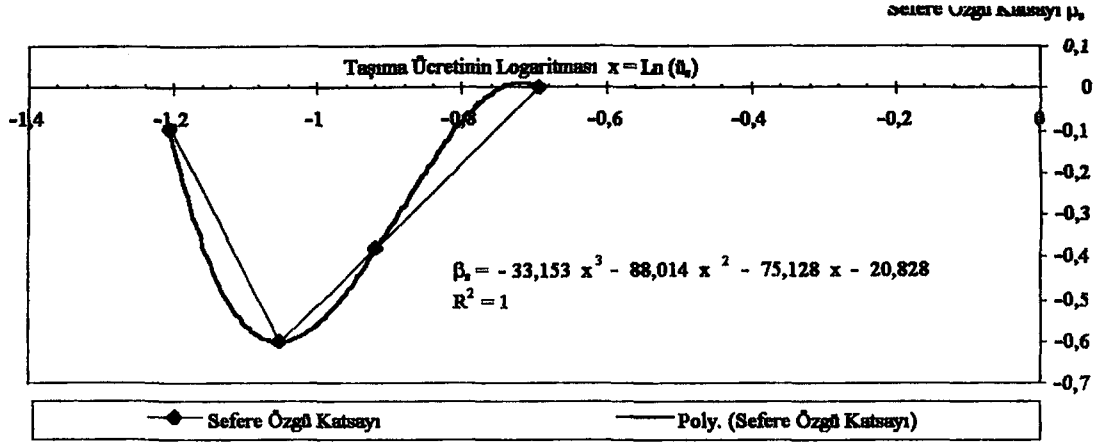
$$(\rho^2)_1 = 0,4586$$

$$(\rho^2)_2 = 0,3571$$

4.8.2.1.3. Logit Modelin Sayısal Uygulamada Kullanımı

Yukarıda da belirtildiği gibi, kullanılacak Logit Model'deki seçeneklerin yararlılık fonksiyonlarında, kullanılan değişkenlerin dışında kendilerine özgün nitelikleri tanımlayan katsayılar bulunduğundan, modelin başka seçenekler için de kullanılabilmesi için, o seçenekler için “sefere özgü” katsayıların tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla bir regresyon analizi yapılarak, seçeneklerin taşıma ücretleri ile “seçeneğe özgü” katsayıları arasında bir ilişki aranmıştır. Bağımsız değişken olarak taşıma ücretinin alınmasının nedeni, Ülkemizdeki otobüs taşımacılığında “konfor ve güvenlik niteliklerinin taşıma ücretleri ile birlikte arttığı” şeklinde bir kanının bulunması, bunun da genel de doğru olmasıdır.

Yapılan araştırmada, yukarıdaki iki değişken arasında, varyansı $R^2=1$ olan 3. derece bir ilişki bulunmuştur(Şekil 4.12).

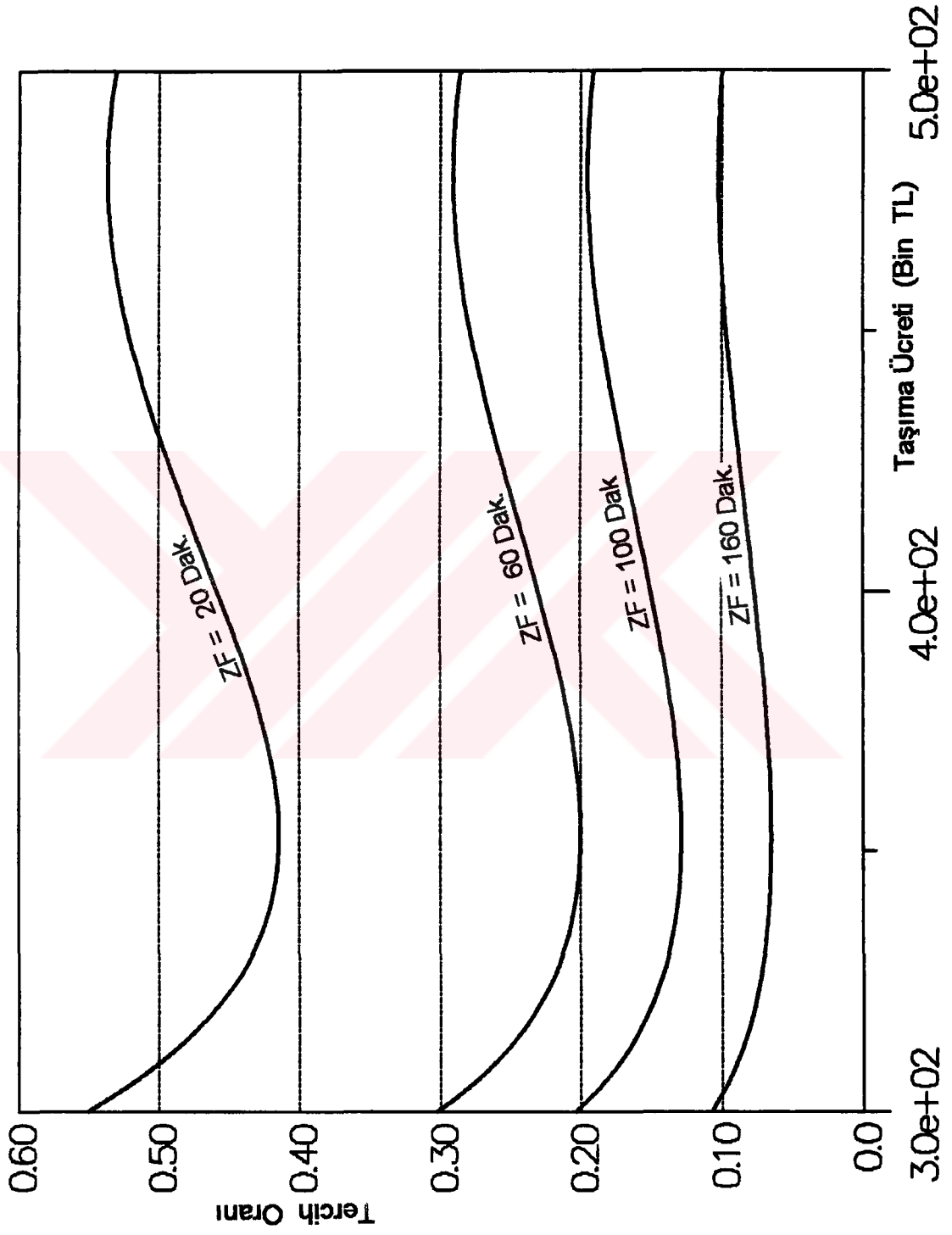


Şekil 4.12. Sefer Özgü Katsayısının Taşıma Ücreti İle Değişimi

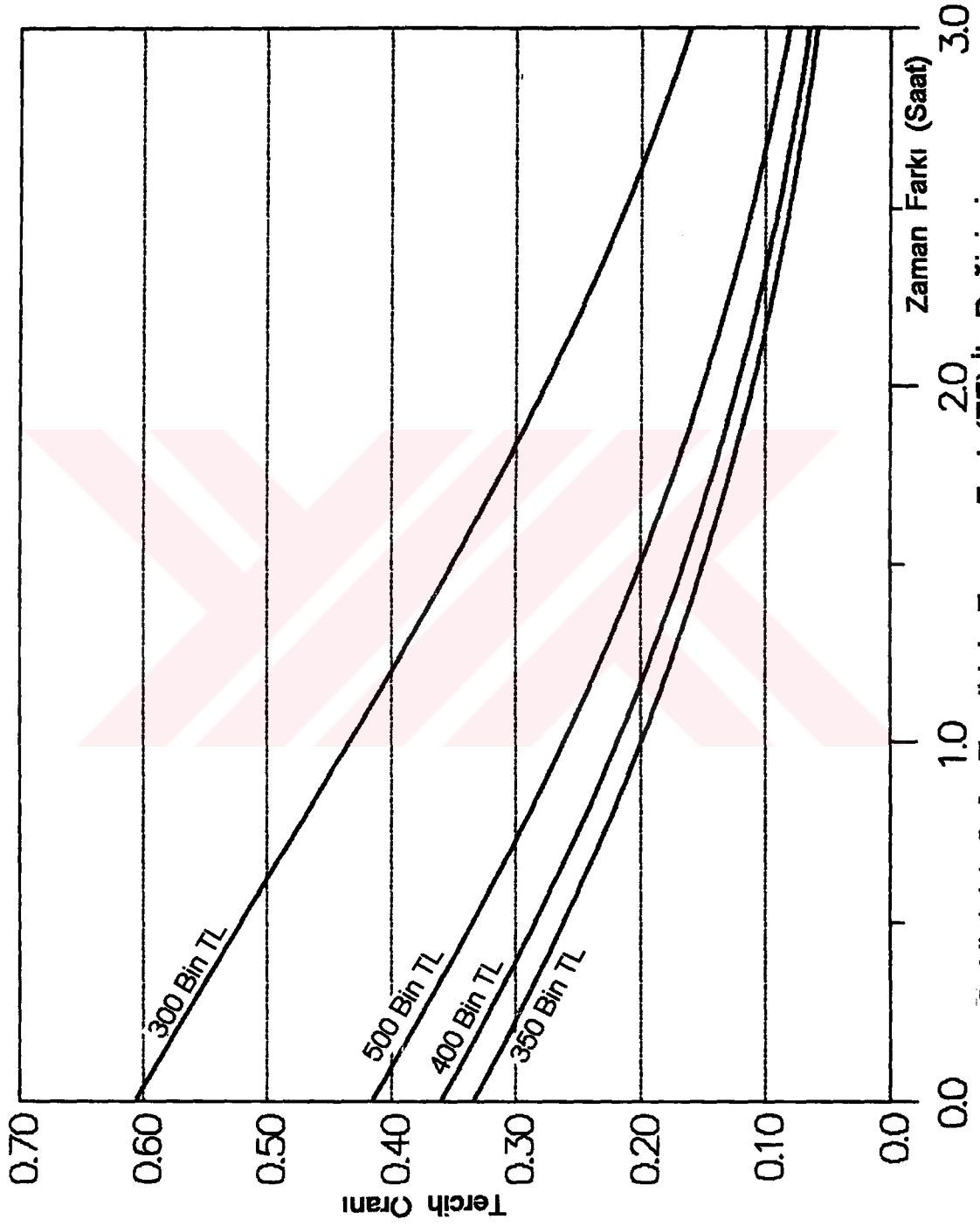
Oluşturulan Logit Modele göre bir seferin tercih olasılığının, “Taşıma ücreti (u_s)”ne ve “Yolcuların yolculuğa başlamak istedikleri zaman ile sefer kalkış zamanı arasındaki fark (ZF)”a göre duyarlılığı, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de gösterilmiştir.

Taşıma ücretine duyarlılık, zaman farkı arttıkça azalmaktadır. Kalibrasyon sonunda, taşıma ücreti 300 Bin TL’den 350 Bin TL’a düşerken, seferi seçen yolcu oranlarının % 5 ile % 13 arasında düşme gösterdiği; 350 Bin TL’dan 450 Bin TL’na artarken ise, % 3 ile % 12 arasında yükselme gösterdiği ortaya çıkmıştır. Bu kanımızca, konfor ve güvenliğe verilen önemi yansıtmaktadır.

Zaman farkına en fazla duyarlılık taşıma ücreti 300 Bin TL olan seferlerde sözkonusudur. Bu konuda ikinci sırada 500 Bin TL taşıma ücreti olan, diğerlerinden daha konforlu ve güvenli olarak algılanan seferler yer almaktadır. Ancak, taşıma ücretleri 350 ve 400 Bin TL olan seferlerin seçilme oranlarının zaman farkına duyarlılıkları yaklaşık aynıdır.



Şekil 4.13. Sefer Tercihinin Taşıma Ücreti İle Değişimi



Şekil 4.14. Sefer Tercihinin Zaman Farkı(ZF) İle Değişimi

4.8.2.2. OLZAM Sezgisel Algoritmasının Uygulanması

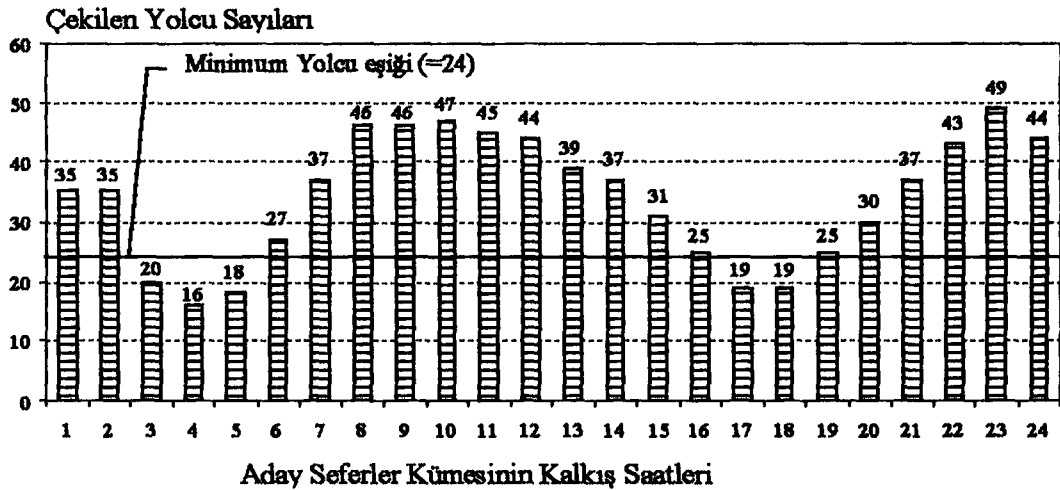
Bu uygulama için OLZAM Sezgisel Algoritması ile elde edilen sonuçlar, aşağıda açıklanacaktır.

Şekil 4.15’de OLZAM Modeli ile en kârlı 1. seferin araştırıldığı 1. atama aşamasının sonuçları görülmektedir. Bir seferin gerçekleştirilebilmesi için çekilmesi gereken en az yolcu sayısı (Minimum Yolcu Eşiği), işletmecinin bir seferden en az % 30 kâr sağlayacak yolcu sayısı olarak kabul edilmiştir. Bir sefer maliyeti 8 Milyon TL kabul edildiğinden, bu değer

$$8.000.000 \times 1,3 / 450.000 = 23,11 \Rightarrow 24 \text{ yolcu}$$

olarak alınmıştır.

Şekilde de görüldüğü gibi, birinci aşamada en fazla yolcu, 23:00’de kalkan aday sefer için elde edilmiştir. Taşıt kapasitesi 45 olarak alındığından, çekilen yolcu sayısı bu değer üzerinde olduğunda gelir ve kâr, 45 yolcu için hesaplanacaktır.



Şekil 4.15. Zaman Çizelgelemesinin 1. Atama Sonuçları

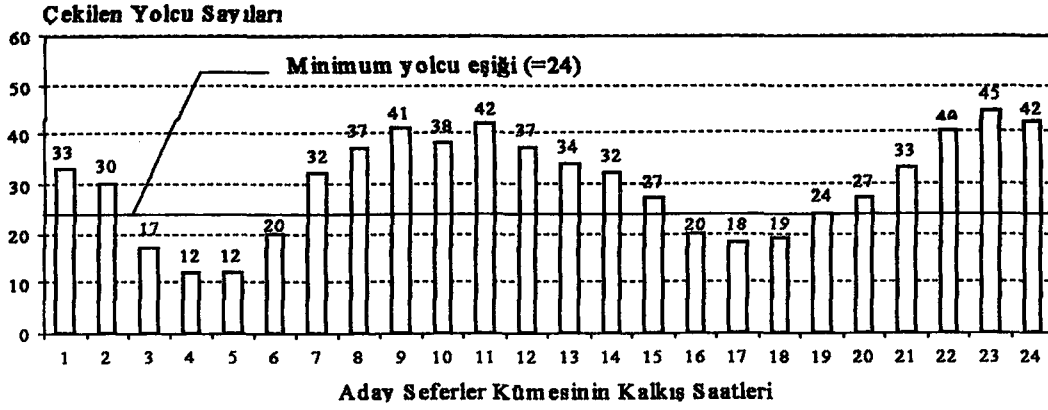
Sefer seçimine devam edildiğinde en yüksek geliri ve kârı sağlayan 2., 3., ... seferlere çekilebilecek toplam yolcu sayıları ve olası toplam kâr değerleri, toplu olarak Tablo 4.23' de gösterilmiştir. 17. seferden sonra toplam kâr azaldığı ve aynı zamanda çekilebilecek yolcu sayısı da "Minimum Yolcu Eşiği"nin altına düştüğü için araştırmaya son verilmiştir.

Bu tabloda ayrıca, sefer sayısı arttıkça daha önce seçilmiş olan seferlere çekilebilecek yolcu sayılarındaki azalmalar da gösterilmiştir. 3. kolondaki "ilk" değer, o sefer seçildiğinde çekilebilecek yolcu sayısını, "son" değer ise, çizelgeleme işlemindeki son sefer seçildiğinde sözkonusu sefere çekilebilecek yolcu sayısını göstermektedir.

İki kent arasında, bir yönde OLZAM Modeli ile edilen 17 seferin gerçekleştirilmesi durumunda, çekilecek toplam yolcu sayısı 594 olup, 450 Bin TL taşıma ücreti için 267,3 Milyon TL gelir elde edilecektir. Bir sefer maliyeti 8 Milyon TL olduğuna göre, 17 seferin toplam maliyeti 136 Milyon TL , toplam kârı 131,3 Milyon TL olacak ve yaklaşık % 97 oranında kâr edilebilecektir.

Tablo 4.23. Sayısal Uygulamanın OLZAM Aşamasının Sonuçları

Atama Aşaması (k)	Atama Yapılan Sefer Saati	Seferin Olası Yolcu Sayısı İlk $\Rightarrow$ Son	(k). Aşamada Taşınabilecek Topl. Yolcu Sayısı	(k).Aşamada Olası Toplam Kâr Milyon TL	(k).Aşamada Olası Kâr Oranı %
1	23:00	49 $\Rightarrow$ 45	45	12,25	153
2	10:00	47 $\Rightarrow$ 38	90	24,50	153
3	09:00	45 $\Rightarrow$ 41	135	36,75	153
4	11:00	44 $\Rightarrow$ 42	179	48,55	152
5	22:00	43 $\Rightarrow$ 40	222	59,90	150
6	24:00	43 $\Rightarrow$ 42	264	70,80	148
7	08:00	40 $\Rightarrow$ 37	299	78,55	140
8	12:00	39 $\Rightarrow$ 37	336	87,20	136
9	13:00	38 $\Rightarrow$ 34	372	95,40	133
10	01:00	35 $\Rightarrow$ 33	405	102,25	128
11	21:00	35 $\Rightarrow$ 33	439	109,55	124
12	07:00	32 $\Rightarrow$ 32	465	113,25	118
13	14:00	32 $\Rightarrow$ 32	494	118,30	114
14	02:00	30 $\Rightarrow$ 30	522	122,90	110
15	15:00	29 $\Rightarrow$ 27	550	127,50	106
16	20:00	27 $\Rightarrow$ 27	574	130,30	101
17	19:00	24 $\Rightarrow$ 24	594	131,30	97
18	06:00	20 $\Rightarrow$ 20	607	129,15	90
19	16:00	20 $\Rightarrow$ 20	626	129,70	85



Şekil 4.16. Zaman Çizelgelemesinin Son (17.) Atama Sonuçları

Şekil 4.16 ise, 19:00'daki son seferin seçildiği aşamanın sonuçlarını göstermektedir. Görüldüğü gibi, seçilmeyen 7 aday sefere çekilebilecek yolcu sayıları, "minimum yolcu eşiği"nin altına düşmüş bulunmaktadır.

4.8.3. SERÇİM Modelinin Uygulanması

OLZAM Modelinin uygulanması ile İstanbul - İzmir yönünde en fazla kar getirebilecek seferlerin saatleri belirlenmiştir. İzmir-İst yönünde de aynı saatlerde sefer uygulanacağı için, SERÇİM Modelinin girdisi olan görevlerin sayısı 34' tür. Bu görevler Tablo 4.24'de gösterilmiştir.

Tablo 4.24. OLZAM ile elde edilen sonuçlar

SEFERLER (Görevler)	KALKIŞ SAATİ	SEFERLER (Görevler)	KALKIŞ SAATİ	SEFERLER (Görevler)	KALKIŞ SAATİ
1 (İst.-İzm.)	01:00	13 (İst.-İzm.)	11:00	25 (İst.-İzm.)	20:00
2 (İzm.-İst.)	01:00	14 (İzm.-İst.)	11:00	26 (İzm.-İst.)	20:00
3 (İst.-İzm.)	02:00	15 (İst.-İzm.)	12:00	27 (İst.-İzm.)	21:00
4 (İzm.-İst.)	02:00	16 (İzm.-İst.)	12:00	28 (İzm.-İst.)	21:00
5 (İst.-İzm.)	07:00	17 (İst.-İzm.)	13:00	29 (İst.-İzm.)	22:00
6 (İzm.-İst.)	07:00	18 (İzm.-İst.)	13:00	30 (İzm.-İst.)	22:00
7 (İst.-İzm.)	08:00	19 (İst.-İzm.)	14:00	31 (İst.-İzm.)	23:00
8 (İzm.-İst.)	08:00	20 (İzm.-İst.)	14:00	32 (İzm.-İst.)	23:00
9 (İst.-İzm.)	09:00	21 (İst.-İzm.)	15:00	33 (İst.-İzm.)	24:00
10 (İzm.-İst.)	09:00	22 (İzm.-İst.)	15:00	34 (İzm.-İst.)	24:00
11 (İst.-İzm.)	10:00	23 (İst.-İzm.)	19:00		
12 (İzm.-İst.)	10:00	24 (İzm.-İst.)	19:00		

Tablo 4.24'deki seferler için toplam 18 taşıt gerekmektedir. Bu taşıtların rotasyonlarında yer alan seferler, Tablo 4.25'in 2. kolonunda gösterilmiştir. Yine bu tablonun 3. kolonunda herbir rotasyonda taşınan yolcu sayıları, 4. kolonunda rotasyonda yer alan seferlerden elde edilen toplam kâr, 5. kolonunda ise rotasyonda seferleri bağlayan kolların toplam maliyeti ve 6. kolonunda ise "seferlerin toplam kârı - seferleri bağlayan kolların toplam maliyeti" ne eşit olan rotasyonun net kârı verilmiştir.

Görüldüğü gibi, 17 ve 18 nolu seferler dışında, bütün rotasyonlardan kâr elde edildiği halde, işletmecinin toplam kârı, 22,20 Milyon TL'dir.

Tablo 4.25. SERÇİM İle Elde Edilen Rotasyonlar ve Değerlendirilmesi

No.	Görevler	Taşınan Toplam Yolcu Sayısı	Seferlerin Toplam Kârı Milyon TL	Kolların Toplam Maliyeti Milyon TL	Net Kâr Milyon TL
1	2	3	4	5	6
1	1 - 14	33+42=75	17,75	4,8	12,95
2	2 - 13	33+42=75	17,75	4,8	12,95
3	3 - 16	30+37=67	14,15	4,8	9,35
4	4 - 15	30+37=67	14,15	4,8	9,35
5	5 - 24	32+24=56	9,20	4,8	4,40
6	6 - 23	32+24=56	9,20	4,8	4,40
7	7 - 26	37+27=64	12,80	4,8	8,00
8	8 - 25	37+27=64	12,80	4,8	8,00
9	9 - 28	41+33=74	17,30	4,8	12,50
10	10 - 27	41+33=74	17,30	4,8	12,50
11	11 - 30	38+40=78	19,10	4,8	14,30
12	12 - 29	38+40=78	19,10	4,8	14,30
13	17 - 32	34+45=79	19,55	4,8	14,75
14	18 - 31	34+45=79	19,55	4,8	14,75
15	19 - 34	32+42=74	17,30	4,8	12,50
16	20 - 33	32+42=74	17,30	4,8	12,50
17	21	27	4,15	81,8	-77,65
18	22	27	4,15	81,8	-77,65
Toplam		1188	262,6	240,40	22,20

4.8.4. Bütünsel Değerlendirme

Tablo 4.25'de görüldüğü gibi, işletmecinin kârını azaltan rotasyonlar, 17 ve 18 no'lu olarak gösterilenlerdir. İşletmecinin kârını arttırabilmek için bu rotasyonların, yani 21 ve 22 No'lu

seferlerin çıkarılması gerekmektedir. Bu durumda gereken taşıt sayısı 16'ya düşecek ve işletmecinin kârı en az $2 \times 77,665 = 155,3$ Milyon TL artarak, 177,5 Milyon TL'na ulaşacaktır.

21 ve 22 nolu seferler zaman çizelgesinden çıkarıldıktan sonra, bu seferlerde yolculuk etmek isteyen yolcuların diğer seferlere nasıl dağılacığı ve gerçek kârın ne olacağı da araştırılabilir. Bu işlem için OLZAM Modeline geri dönmeli ve Logit Model kullanılarak yeni zaman çizelgesine göre yolcuların ataması yapılmalıdır. Bu işlemin sonucu, Tablo 4.26'da gösterilmiştir. Tablonun 3. kolonundaki (*) işaretleri, o rotasyonlardaki yolcu sayılarında artış olduğunu belirtmektedir. Tablo 4.25 ile 4.26 karşılaştırılacak olursa, 3., 4., 7., 8., 13. ve 14. rotasyonların herbirinde birer yolcu daha çekildiği görülebilir. Buna durumda işletmecinin kârı 2,5 Milyon TL daha artarak, 180,20 Milyon TL değerine ulaşacaktır. Böylece bütünsel değerlendirme işlemi tamamlanmış olur.

Tablo 4.26. SERÇİM İle Elde Edilen Rotasyonlar ve Değerlendirilmesi

No.	Görevler	Taşıyan Toplam Yolcu Sayısı	Seferlerin Toplam Kârı Milyon TL	Kolların Toplam Maliyeti Milyon TL	Net Kâr Milyon TL
1	2	3	4	5	6
1	1 - 14	33+42=75	17,75	4,8	12,95
2	2 - 13	33+42=75	17,75	4,8	12,95
3	3 - 16	30+38=68*	14,60	4,8	9,35
4	4 - 15	30+38=68*	14,60	4,8	9,35
5	5 - 24	32+24=56	9,20	4,8	4,40
6	6 - 23	32+24=56	9,20	4,8	4,40
7	7 - 26	37+28=65*	13,25	4,8	8,00
8	8 - 25	37+28=65*	13,25	4,8	8,00
9	9 - 28	41+33=74	17,30	4,8	12,50
10	10 - 27	41+33=74	17,30	4,8	12,50
11	11 - 30	38+40=78	19,10	4,8	14,30
12	12 - 29	38+40=78	19,10	4,8	14,30
13	17 - 32	35+45=80*	20,00	4,8	14,75
14	18 - 31	35+45=80*	20,00	4,8	14,75
15	19 - 34	32+42=74	17,30	4,8	12,50
16	20 - 33	32+42=74	17,30	4,8	12,50
17	Çıkarıldı	-	-	-	-
18	Çıkarıldı	-	-	-	-
Toplam		1140	257,50	76,8	180,20

5. SONUÇLAR

Bu doktora çalışmasının amacı, daha önce de belirtildiği gibi, taşıt rotalaması ve çizelgelemesi problemlerinin yapısal özelliklerini ortaya koymak ve otobüs ile kentlerarası yolcu taşımacılığı(KYT) planlamasında, taşıt rotalaması ve çizelgelemesi(TRÇ) için bir model geliştirmektir. Yapılan kaynak taraması ile, KYT planlaması konusunda yeterli sayıda çalışma olmadığı görülmüş ve bu nedenle başlangıç olarak, KYT planlaması konusunun ele alınmasının yararlı olacağı düşünülmüştür.

Yapılan çalışmalar ve otoritelerin görüşleri dikkate alınarak(Ceder ve Gonen, 1980), KYT planlaması için belirli bir kalıba oturtulmuş bir planlama süreci verilmesinden kaçınılmış, yalnızca karar verilmesi gereken konular sunulmuştur. Dikkat edilecek olursa, taşıma planlamasının aşamalarını gösteren Şekil 2.3’de, sözkonusu aşamalar arasındaki ilişkiler, mevcut çalışmalarda yaklaşımlara bağlı olarak gösterilebileceği halde, planlamacıya bırakılmıştır. Planlamacı bu aşamaların ilişkilerini gösteren bir akış diyagramını, kendi bakış açısına, karşılaştığı problemin yapısına göre oluşturabilir. Bunlardan, “hizmet düzeyinin ve taşıma ücretlerinin belirlenmesi” ve “zaman çizelgelemesinin oluşturulması”, yapılan kaynak taramasına göre en az ele alınan konulardır. Hatta karşılaşılan birçok kaynakta, bunlar birer aşama ile gösterilmemekte, taşıt rotalaması ve çizelgelemesinin girdisini oluşturan bir karar olarak ele alınmaktadır. Bu nedenle, KYT planlaması konusunda daha birçok çalışmalara gereksinim olduğu söylenebilir.

TRÇ konusunda yapılan çalışmaların pek çoğu, bir fabrikanın malının dağıtılması, posta dağıtımı, çöp kamyonlarının rotalandırılması ve servis taşımacılığı gibi konular üzerinde yoğunlaşmıştır. Son yıllarda, toplu taşımacılık ile ilgili yapılan çalışmalar da kentiçi ağırlıklıdır. Özellikle ülkemizde TRÇ’nin yeterli düzeyde ele alınmamış olması nedeniyle, TRÇ problemlerinin incelenmesine gerek duyulmuş ve bu problemler için, ulaştırmanın istem ve sunu alanları gözönünde bulundurularak yapısal bir çerçeve oluşturulmuştur. Tartışmaya ve gelişmeye açık olan bu çerçeve ile, ulaştırmadaki kentiçi ve kentlerarası TRÇ problemlerinin analizi yapılabilir ya da en azından bu problemlere bir bakış açısı sağlanabilir.

Yapısal çerçeve ile, otobüs ile KYT-TRÇ’nin yapısal özellikleri incelenmiş ve bu taşımacılığın yapısına, rotasyon süresi sınırlı olan bir eşanlı rotalama ve çizelgeme modelinin

uygun olacağına karar verilmiştir. Böyle bir modelin en önemli girdisi zaman çizelgesidir. Bu çalışmada KYT-TRÇ problemlerinin zaman çizelgelemesinden soyutlanamayacağı, bir işletmenin zaman çizelgesinde yer alacak seferlerin seçiminde, kalkış zamanları ile birlikte taşıma ücreti, yolculuk süresi ve konfor gibi sunu özelliklerinin de önemli olduğu kanısına varılmıştır. 2. Bölümde zaman çizelgelemesinin, KYT planlamasında bir aşama olarak gösterilmesinin nedeni de budur.

Bu çalışmada, KYT'nin yapısına uyum sağlayabilecek belli başlı modeller sunulmuştur. Bu modeller, otobüs taşımacılığında kullanılabilirlikleri açısından değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmenin amacı, sözkonusu modellerin olumlu yanlarını belirlemek ve bunları oluşturulması düşünülen modele katabilmektir.

Geliştirilen model, TADAM, OLZAM ve SERÇİM olarak adlandırılan ve birbirleriyle ilişkili olan üç alt modeli kapsamaktadır. Bölüm 3.3.4.8'de modellerin değerlendirilmesi yapılmadan önce, kentlerarası yolcu taşımacılığında nasıl bir TRÇ modeli oluşturulması gerektiği hakkında, bazı ölçütler verilmiştir. Bunlara başka ölçütler eklenebilirse de, diğer modeller bunlara göre değerlendirildiklerinden, yine aynıları esas alınarak, bu çalışma için oluşturulan model eleştirilecektir. Sözkonusu olan ölçütler şunlardır:

1. Çok sayıda işletmenin bulunduğu bir taşımacılık ortamı,
2. Yolcunun tercihlerini dikkate alan bir yolcu ataması,
3. Yapılacak taşımacılık karşısında kâr elde edilmesi,
4. Yolcuların rasgele davranışlarının hesaba katılması,
5. Çözüm kolaylığı,
6. Çözümde esneklik,
7. İnsan deneyiminin ve sezgisinin problemin çözümüne katılabilmesi,
8. Çözüm algoritmalarının bilimsel gelişmeler ile birlikte, kısmen değiştirilebilme özelliği.

Model oluşturulurken öncelikle gerçeği yansıtması ve ardından çözüm kolaylığı dikkate alınmıştır. Bu nedenle bir işletmenin zaman çizelgesinde yer alacak seferlerin seçiminde, diğer işletmelerin zaman çizelgeleri ve sunu özellikleri dikkate alınmıştır. Bir işletmenin seferleri, yolcuların seçimlerine ve işletmenin maliyetlerine bağlı olarak gerçekleştirildiği için, yolcuların

tercihleri de göz önünde bulundurulmaktadır. Ayrıca yolcuları seçimlerine göre seferlere atayan logit modelin yerine, daha gerçekçi sonuçlar vereceği tahmin edilen başka bir model de kullanılabilir. Böyle bir değişim, modelin genel yapısını bozmaz. Bu açıklamalara dayanarak, ilk iki ölçütün elden geldiğince gerçekleştirilmeye çalışıldığı ortadadır. Zaten bu modelin esas işletmenin kâr elde etmesi olduğundan, üçüncü ölçütün de sağlanıldığı düşünülmektedir.

Gerçek yaşam koşullarının hesaba katılması için OLZAM modeli, aynı zamanda prediktif(öngörüselsel) yanı olan normatif bir modeldir. Bir önceki paragrafta da belirtildiği gibi, yolcuların sefer seçimi stokastik bir model ile tahmin edilmektedir.

Ölçütlerden birisi olan çözüm kolaylığı için, önce ZÇ, OLZAM ile ve ardından TRÇ, SERÇİM ile gerçekleştirilmektedir. Bölüm 3.3.1’de, KYT-TRÇ için zaman çizelgesinin belirlenmesi ile ilgili iki yoldan sözedilmektedir. Bunlardan ilki “değişik zaman çizelgesi seçeneklerinin herbiri için ayrı bir TRÇ probleminin çözülmesi ve bunların arasından en fazla yarar sağlayan çözümün seçilmesi”, ikincisi “önce işletme amaçlarını en yüksek düzeyde gerçekleştirebilecek zaman çizelgesinin oluşturulması, ardından bu çizelgeye göre TRÇ’nin çözülmesi” dir. İlkinde ne kadar çok seçenek olacağı da gösterilmiştir. Çok sayıda zaman çizelgesi seçeneğinin denenmesi, hem fazla zaman alıcı olması, hem de bazı seçeneklerin elenmesi için problemin başlangıcında, insan sezgisinin kullanılmasını gerektirdiğinden, ikinci seçenek tercih edilmiştir.

Beşinci ölçüt, çözümde esnekliktir. SERÇİM için Dal-Sınır tekniği ile ilgili üç farklı çözüm yaklaşımı verildikten sonra, sezgisel bir algoritma da verilmiştir. Bölüm.4.4.2’ de gözlenebileceği gibi, fazla sayıda kısıt ve değişken içeren optimizasyon problemlerinin çözümünde zamansal sorunlar çıkabilmekte ve bilgisayarın kapasitesi yetersiz kalabilmektedir. Verilen farklı yaklaşımlar, bu sorunların yaşanması ile ortaya çıkmıştır. Ayrıca bir planlamacı bu yaklaşımlar ile, başka çözüm yaklaşımları da geliştirebilir. Örneğin, önce problemi kısmen sezgisel algoritma ile çözerek, bazı taşıtları bazı görevlere atayabilir ve geriye kalan görevler için Dal-Sınır tekniği ile çözüme ulaşabilir.

Bu modelde, insan deneyimi ve sezgisi, “ZÇ ve TRÇ’nin birlikte değerlendirilmesi”nde katılmaktadır. Planlamacı ya da işletmeci, bu değerlendirme sırasında işletmesel tutarsızlıklar

belirledikleri taktirde, ZÇ'den sefer çıkararak ya da bazı seferlerin zamanlarını değiştirerek daha tutarlı bir ZÇ ve TRÇ gerçekleştirebilir.

Yukarıda tanımlanan ve eleştirileri yapılan bu modelin, diğer ulaştırma türlerindeki TRÇ problemlerine uygulanabilmesi olasıdır. Bunun dışında SERÇİM'de kullanılan model ve verilen çözüm yaklaşımları, kentlerarası taşımacılıkta taşıt personelinin rotalaması ve çizelgelemesini de gerçekleştirebilir. Kentiçi yolcu taşımacılığında taşıt ve personelin rotalama ve çizelgelemesinin modeli ise, bir ağ akım problemi olarak ele alınabilir.



KAYNAKLAR

-
- (1) Alpbek, M., 1994. Almanya'da Karayolu Taşımacılığı, Uluslararası Anadolu ve Trakya Otobüsçüler Derneği Ulaştırma Dünyası Dergisi, Sayı 9, Sayfa 19-21.
 - (2) Artar, A., 1991. Karayolu Yolcu Taşımacılığında Verimlilik ve Performans Ölçümü, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Sayı 449.
 - (3) Assad, A., 1988. Modeling and Implementation Issues in Vehicle Routing, Studies in Management Science and Systems, Elsevier Science Publishers, Vol. 16, pp. 7-47.
 - (4) Atalar, F., 1994. Kentlerarası Otobüs Taşımacılığı "İstanbul-Türkiye Geneli", 1993-1994 Bahar Yarıyılı Bitirme Tezi, YTÜ İnşaat Müh.Bölümü.
 - (5) Başlıgil, H., 1988. Sıralama ve Programlama (Çizelgeleme), Eğitim Yayınları, İstanbul.
 - (6) Ben-Akiva, M. and Lerman, S.R., 1985. Discrete Choice Analysis, The Massachusetts Institute of Technology, USA.
 - (7) Bodin, L. and Golden, B., 1981. Classification in Vehicle Routing and Scheduling, Networks 11, pp.97-108.
 - (8) Bodin, L., 1983. Routing and Scheduling of Vehicles and Crews, Ops Res., Vol. 10, No. 2, pp. 63-211.
 - (9) Brooke, A. et al, 1988. GAMS: A User's Guide, The World Bank, United States of America.
 - (10) Brown, G. G. and Graves, G.W., 1981. Real-Time Dispatch of Petroleum Tank Trucks, Management Science 27, pp. 19-32.

- (11) Ceder, A. and Gonen, D., 1980. The Operational Planning Process of a Bus Company, *UITP Revue*, Vol. 3, pp. 207-212.
- (12) Ceder, A. and Wilson, H. M., 1986. Bus Network Design, *Transp. Res. B*, Vol. 20B, No.4, pp. 331-344.
- (13) Daganzo, C., 1979. Multinomial Probit, Department of Civil Engineering University of California, Academic Press, New York.
- (14) Dantzig, G. and Fulkerson, D., 1954. Minimizing the Number of Tankers to Meet a Fixed Schedule, *Naval Research Logistics Quarterly* 1, pp. 217-222.
- (15) Desrochers, M. et al., 1990. A Classification Scheme for Vehicle Routing and Scheduling Problems, *European Journal of Operational Research* 46, pp. 322-332.
- (16) Desrochers, M. et. al., 1988. Vehicle Routing with Time Windows, *Studies in Management Science and Systems*, Elsevier Science Publishers Vol. 16, pp.65-85
- (17) Desrosiers, J. et al, 1993. Time Constrained Routing and Scheduling, *Groupe d'etudes et de recherché en analyse des decisions*, Universite McGill.
- (18) Dobson, G., Lederer, P.J., 1993. Airline Scheduling and Routing in a Hub-and Spoke System, *Transportation Science*, Vo. 27, No.3, pp. 281-297.
- (19) Edmons, J. and Johnson, E., 1973. Matching, Euler tours, and the Chinese postman, *Math. Prog.* 5, pp. 88-124.
- (20) Ekşioğlu, G., 1995. Kentlerarası Otobüs Taşımacılığı "İstanbul- Ankara", 1994-1995 Güz Yarıyılı Bitirme Tezi, YTÜ İnşaat Müh.Bölümü.
- (21) Erel, A., 1993. Kentlerarası Yolcu Ulaşımı ve Otobüs Taşımacılığı, *Uluslararası Anadolu ve Otobüsçüler Derneği Ulaştırma Dünyası Dergisi*, Sayı 8. Sayfa 6-8.

- (22) Erel, A., 1994. Yeni Otogarın Düşündürdükleri : Nasıl Bir İşletmecilik ?, Uluslararası Anadolu ve Otobüsçüler Derneği Ulaştırma Dünyası Dergisi, Sayı 10. Sayfa 4-7.
- (23) Erel, A., 1995. Ulaştırma Planlamasında Talep - Sunu İlişkileri, Bildiri, TMMOB İnş. Müh. Odası İstanbul Şubesi tarafından düzenlenen 3. Ulaştırma Kongresi'nde sunulmak üzere kabul edildi.
- (24) Erel, R., 1987. Karayolunda Çevre ve Estetik Etkilerin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ.
- (25) Florian, M. et al, 1988. A Two - Dimensional Framework for the Understanding of Transportation Planning Models, Transp. Res. B, Vol. 22B, pp. 411-419.
- (26) Gavish, B. et al, 1978. Assigning buses to Schedules in a Metropolitan Area, Operation Research, Vol. 5, pp. 129-138.
- (27) Golden, B. et. al., 1977. Implementing Vehicle Routing Algorithms, Networks 7, pp. 113-148.
- (28) Hiller, F.S. and Lieberman G.J., 1990. Introduction to Operations Research, Mc. Graw Hill, New York.
- (29) Hutchinson, B.G., 1974. Principles of Urban Transport Systems Planning, Scripta Book Company, Washington.
- (30) Ilıcalı, M., 1993. Karayollarımızda Meydana Gelen Trafik Kazalarında Otobüsün Rolünün İncelenmesi, Uluslararası Anadolu ve Trakya Otobüsçüler Derneği Ulaştırma Dünyası Dergisi, Sayı 7, Sayfa 14-17.
- (31) Kanafani, A., 1983. Transportation Demand Analysis, McGraw-Hill Book Company, New York.
- (32) Keskin, A., 1992. Toplu Taşıma Sistemleri, İTÜ Kütüphanesi, Sayı 1487.

- (33) Lardinois, C., 1985. Supply Models for Intercity Passenger Transport: A Review, Universite de Montreal, Centre de Recherche sur les Transports, Publication 420, pp. 1-50
- (34) Lardinois, C., 1989. Simulation, Gaming and Training in a Competitive, Multimodal, Multicompany Intercity Passenger - Transportation Environment, JORS, Vol. 10, pp. 849-861.
- (35) Lehmann, H., 1978. Bahnsysteme und Ihr Wirtschaftlicher Betrieb, Tetzlaff Verlag GmbH, im Hause.
- (36) Lerman, S.R., 1982. Recent Advances in Dissaggregate Demand Modelling, Transportation Planning Models, Proceedings of the course given at The International Center for Transportation Studies (ICTS), Amalfi, Italy - October 11-16, Published by Elsevier Science Publishers, The Netherlands, pp. 3-18.
- (37) Mannheim, M.L., 1979. Fundamentals of Transportation System Analysis, Vol.1: Basic Concepts, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, and London, England.
- (38) Morlok, E.K., 1980. Types of Transportation Supply Functions and Their Applications, Transportation Research B, Vol.14B, pp.9-27.
- (39) Özcan, M. T., 1994. Sektörümüz ve Otobüs Üretimi, Uluslararası Anadolu ve Trakya Otobüsçüler Derneği Ulaştırma Dünyası Dergisi, Sayı 7, Sayfa 3-8.
- (40) Özcan, M. T., 1994. Sektörümüz ve Otobüs Üretimi, Uluslararası Anadolu ve Trakya Otobüsçüler Derneği Ulaştırma Dünyası Dergisi, Sayı 9, Sayfa 2-3.
- (41) Potts, B. and Oliver, R.M., 1972. Flows in Transportation Networks, University of Southern California, Academic Press, New York.
- (42) Resmi Gazete, 20 Ağustos 1994. Karayoluyla Şehirlerarası Yolcu Taşımaları ve Uluslararası Yolcu ve Eşya Taşımaları Hakkında Yönetmelik, Sayı 22027.

- (43) Riberio C.C. and Soumis F., 1994. A Column generation Approach to the Multiple-Depot Vehicle Scheduling Problem, *Operation Research* 42, pp. 41-51.
- (44) Richardson, R., 1976. An Optimization Approach to Routing Aircraft, *Transportation Sci.* 10, pp. 52-71.
- (45) Saatçioğlu, K., 1995. Kentlerarası Otobüsle Yolcu Taşımacılığında, Kalkış Zamanına Duyarlılığın Araştırılması. 1994-1995 Güz Yarıyılı Bitirme Tezi, YTÜ İnşaat Müh.Bölümü.
- (46) Saatçioğlu, Ö., 1976. Ulaşım Sistemlerinde Yöneylem Araştırması Uygulamaları, Doçentlik tezi, ODTÜ.
- (47) Scaler, M. et al, 1990. Heuristics for Scheduling Aircraft and Crew during Airlift Operations, *Transportation Science*, Vo. 24, No. 1, pp. 63-76.
- (48) Schrage, L., 1991. Lindo-An Optimization Modeling System, Graduate School of Business University of Chicago, America.
- (49) Solomon, M. et. al., 1988. Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Windows Constraint, *Studies in Management Science and Systems*, Elsevier Science Publishers, Vol. 16, pp. 85-104.
- (50) Soumis, F. et al, 1980. A Model for Large-Scale Aircraft Routing and Scheduling Problems, *Transp. Res. B*, Vol. 14B, pp. 191-201.
- (51) Soumis, F. et al, 1981. MAPUM: A Model for Assigning Passenger to a Flight Schedule, *Transp. Res. A*, Vol. 15 A, pp. 155-162
- (52) T.C.Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, 1993. Trafik ve Ulaşım Bilgileri.

- (53) Toyva ,Y., 1981. Four Heuristic Solution Procedures to the Traveling Salesman Problem and Application to the Multi-Depot Vehicle Routing Problem, Master tezi, Boğaziçi Üniversitesi.
- (54) Winston, W. L., 1987. Operations Research, Applications and Algorithms, PWS Publishers, United States of America.
- (55) Yardım, M.S., 1994.Ulaştırma Mühendisliğinde Yöneylem Araştırması Çözüm Teknikleri Kullanımının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ.
- (56) Yayla, N., 1992. Türkiye’de Otobüs ile Yolcu Taşımacılığında Bazı Sorunlar, Uluslararası Anadolu ve Trakya Otobüsçüler Derneği Ulaştırma Dünyası Dergisi, Sayı 6, Sayfa 7-11
- (57) Yiğitsoy, Ş., 1994. Kentlerarası Otobüs Taşımacılığı “İstanbul-İzmir”, 1993-1994 Bahar Yarıyılı Bitirme Tezi, YTÜ İnşaat Müh.Bölümü.
- (58) Yüksel, H., Kentlerarası Yolcu Taşımacılığı İçin Geliştirilen Bir Zaman Çizelgesi Modelinin Bilgisayara Uyarlanması, 1994-1995 Güz Yarıyılı Bitirme Tezi, YTÜ İnşaat Müh.Bölümü.

Ek-1 : Anket örneği

İLİDİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ KENTLERARASI YOLCU TAŞIMACILIĞI ANKETİ

RİH : .../.../199.

ANKET YERİ :.....

MA ADI :

ANKET SAATİ :.....

Yolculuğunuzun başladığı yer ve hareket saati ?

Yolculuğunuzun sona erdiği yer ?

Yolculuğunuz ne kadar sürecek (sürdü) ?

Yolculuğunuzun amacı nedir ?

41 () İş 42 () Okul 43 () Ziyaret 44 () Tatil-gezi

Hangi firma ile seyahat edeceksiniz (ettiniz) ?

Genelde bu firma ile mi seyahat ediyorsunuz ?

61 () Evet 62 () Hayır,ile

Ne kadar ücret ödediniz ?

Bu firmayı seçmenizdeki en önemli etkenleri önem sırasına göre belirtiniz :

81 () Ucuz 83 () Güvenli 84 () Konfor-kalite

85 () Önce kalkması 86 () Hızlı 87 () Tek seçenek

88 () Alışkanlık/Prensip 89 () Servis kolaylığı

Bu seyahatinizde hareket saatiniz mi, varış saatiniz mi önemli ?

91 () Hareket 92 () Varış 93 () Her ikiside önemli

94 () Her ikiside önemsiz

Hareket/varış zamanı sizin hareket etmek/varmak istediğiniz zamandan ne kadar farklı ?

ERKEN GEÇ 1000 () FARKSIZ

001 () Yarım saat 1021 () Yarım saat

002 () Bir saat 1022 () Bir saat

003 () İki Saat 1023 () İki Saat

004 () (Diğer) 1024 () (Diğer)

İhtim düzeyiniz nedir ?

1 () İlk 112 () Orta 113 () Lise 114 () Yüksek

enizin aylık net geliri ne kadar ?

() < 5 Mil. 122 () 5 - 10 Mil. 123 () 10 - 15 Mil.

() 15 - 20 Mil. 125 () 20 - 25 Mil. 126 () > 25 Mil.

M A L İ Y E T M A T R İ S İ (1)

EK2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	55.3	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
2	*M	55.3	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
3	*M	*M	44.7	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
4	*M	*M	*M	65.9	*M	*M	*M	*M	*M	*M
5	*M	*M	*M	*M	50.0	*M	*M	*M	*M	*M
6	*M	*M	*M	*M	*M	60.6	*M	*M	*M	*M
7	*M	*M	*M	*M	*M	*M	44.7	*M	*M	*M
8	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	55.3	*M	*M
9	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	50.0	*M
10	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	55.3
11	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
12	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
13	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
14	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
15	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
16	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
17	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
18	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
19	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
20	*M	*M	*M	*M	*M	*M	55.8	*M	*M	*M
21	*M	*M	63.5	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
22	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
23	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
24	*M	*M	*M	*M	*M	*M	51.7	*M	19.2	*M
25	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
26	36.3	62.3	*M	*M	18.0	*M	*M	*M	*M	*M
27	*M	*M	*M	*M	*M	*M	19.2	*M	51.7	*M
28	*M	*M	19.2	*M	*M	*M	*M	45.2	*M	*M
29	14.4	53.4	*M	*M	35.1	*M	*M	*M	*M	*M
30	*M	*M	58.7	*M	*M	*M	52.2	*M	45.7	*M
31	*M	*M	41.6	*M	*M	48.1	48.1	15.6	*M	*M
32	*M	*M	*M	40.4	*M	*M	*M	*M	*M	14.4
33	33.9	59.9	*M	*M	15.6	*M	35.1	*M	*M	*M
34	*M	*M	16.8	*M	*M	62.3	36.3	42.8	42.8	*M
35	*M	*M	58.7	*M	*M	13.2	52.2	45.7	45.7	*M
36	*M	*M	*M	31.5	*M	*M	*M	*M	*M	44.5
37	14.4	53.4	35.1	*M	35.1	*M	15.6	48.1	48.1	*M
38	45.7	45.7	40.4	*M	40.4	*M	46.9	14.4	14.4	*M
39	51.0	12.0	58.7	*M	58.7	*M	52.2	*M	45.7	*M
40	10.8	49.8	31.5	*M	31.5	*M	12.0	*M	44.5	*M
41	48.6	9.6	56.3	*M	56.3	10.8	49.8	43.3	43.3	*M
42	26.7	*M	8.4	8.4	8.4	*M	27.9	*M	*M	34.4
43	43.3	43.3	38.0	*M	38.0	44.5	44.5	12.0	12.0	*M
44	42.1	42.1	36.8	*M	36.8	43.3	43.3	10.8	10.8	*M
45	30.3	56.3	12.0	*M	12.0	57.5	31.5	38.0	38.0	38.0
46	7.2	46.2	27.9	27.9	27.9	*M	8.4	40.9	40.9	40.9
47	29.1	55.1	10.8	*M	10.8	56.3	30.3	36.8	36.8	36.8
48	9.6	48.6	30.3	*M	30.3	49.8	10.8	43.3	43.3	43.3
49	39.7	39.7	34.4	34.4	34.4	40.9	40.9	8.4	8.4	8.4
50	39.7	39.7	34.4	*M	34.4	40.9	40.9	8.4	8.4	8.4
51	7.2	46.2	27.9	27.9	27.9	47.4	8.4	40.9	40.9	40.9
52	39.7	39.7	34.4	*M	34.4	40.9	40.9	8.4	8.4	8.4
53	27.9	53.9	9.6	9.6	9.6	55.1	29.1	35.6	35.6	35.6
54	26.7	*M	8.4	8.4	8.4	53.9	27.9	34.4	34.4	34.4
55	*M	6.0	*M	*M	*M	7.2	46.2	39.7	39.7	39.7
56	7.2	46.2	27.9	27.9	27.9	47.4	8.4	40.9	40.9	40.9
57	*M	*M	2.4	2.4	2.4	*M	*M	*M	*M	*M
58	*M	1.2	*M	*M	*M	2.4	*M	*M	*M	*M
59	1.2	*M	*M	*M	*M	*M	2.4	*M	*M	*M
60	*M	1.2	*M	*M	*M	2.4	*M	*M	*M	*M

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
2	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
3	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
4	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
5	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
6	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
7	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	0.0
8	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
9	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
10	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
11	60.6	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
12	*M	65.9	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
13	*M	*M	44.7	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
14	*M	*M	*M	50.0	*M	*M	*M	*M	*M	*M
15	*M	*M	*M	*M	44.7	*M	*M	*M	*M	*M
16	*M	*M	*M	*M	*M	50.0	*M	*M	*M	*M
17	*M	*M	*M	*M	*M	*M	55.3	*M	*M	*M
18	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	60.6	*M	*M
19	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	55.3	*M
20	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	65.9
21	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
22	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
23	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
24	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
25	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
26	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
27	*M	*M	21.6	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
28	*M	*M	*M	*M	21.6	*M	*M	*M	*M	*M
29	*M	*M	*M	37.5	*M	*M	*M	*M	*M	*M
30	*M	*M	54.6	*M	*M	48.1	*M	*M	*M	*M
31	*M	*M	*M	*M	44.0	*M	*M	*M	*M	*M
32	48.1	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
33	*M	*M	*M	18.0	*M	*M	37.5	*M	*M	*M
34	*M	*M	*M	*M	19.2	*M	*M	*M	*M	*M
35	*M	*M	*M	*M	61.1	*M	*M	*M	*M	*M
36	13.2	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
37	*M	55.8	18.0	*M	37.5	50.5	*M	*M	*M	*M
38	*M	48.1	49.3	*M	42.8	16.8	*M	*M	*M	*M
39	*M	*M	*M	61.1	*M	*M	54.6	*M	*M	*M
40	*M	*M	14.4	33.9	*M	*M	14.4	*M	*M	*M
41	*M	*M	52.2	*M	58.7	45.7	*M	14.4	46.9	*M
42	29.1	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	12.0
43	*M	45.7	46.9	40.4	40.4	14.4	*M	*M	*M	*M
44	*M	*M	45.7	*M	39.2	13.2	*M	46.9	14.4	*M
45	*M	58.7	33.9	14.4	14.4	40.4	*M	61.1	41.6	*M
46	9.6	*M	*M	30.3	30.3	*M	*M	*M	*M	31.5
47	*M	*M	32.7	13.2	13.2	39.2	32.7	*M	*M	*M
48	*M	51.0	13.2	32.7	32.7	45.7	13.2	53.4	46.9	*M
49	42.1	*M	43.3	36.8	36.8	*M	43.3	*M	*M	38.0
50	*M	42.1	43.3	36.8	36.8	10.8	43.3	44.5	12.0	*M
51	9.6	48.6	10.8	30.3	30.3	43.3	10.8	*M	*M	*M
52	*M	42.1	43.3	36.8	36.8	10.8	43.3	44.5	12.0	*M
53	30.3	56.3	31.5	12.0	12.0	38.0	31.5	58.7	39.2	*M
54	29.1	55.1	30.3	10.8	10.8	36.8	30.3	*M	38.0	*M
55	47.4	8.4	48.6	55.1	55.1	42.1	48.6	*M	43.3	*M
56	9.6	48.6	10.8	30.3	30.3	43.3	10.8	51.0	44.5	*M
57	23.1	*M	24.3	4.8	4.8	30.8	24.3	*M	32.0	6.0
58	*M	3.6	*M	*M	*M	*M	*M	6.0	38.5	*M
59	3.6	*M	4.8	24.3	24.3	*M	4.8	*M	38.5	25.5
60	*M	3.6	*M	*M	*M	*M	*M	6.0	38.5	*M

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	*M	*M	*M	*M	*M	1.2	*M	*M	2.4	*M
2	*M	*M	*M	*M	*M	1.2	*M	*M	2.4	*M
3	0.0	*M	*M	*M	*M	*M	*M	2.4	*M	23.1
4	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
5	*M	*M	*M	*M	*M	1.2	*M	*M	2.4	*M
6	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
7	*M	*M	*M	1.2	*M	*M	2.4	*M	*M	3.6
8	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	0.0	*M	*M
9	*M	*M	*M	0.0	*M	*M	1.2	*M	*M	2.4
10	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
11	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
12	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
13	*M	*M	*M	*M	*M	*M	0.0	*M	*M	1.2
14	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	0.0	*M
15	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	0.0	*M	*M
16	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	0.0
17	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
18	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
19	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
20	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
21	60.6	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
22	*M	55.3	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
23	*M	*M	55.3	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
24	*M	*M	*M	50.0	*M	*M	*M	*M	*M	*M
25	*M	*M	*M	*M	65.9	*M	*M	*M	*M	*M
26	*M	*M	*M	*M	*M	50.0	*M	*M	*M	*M
27	*M	*M	*M	*M	*M	*M	44.7	*M	*M	*M
28	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	44.7	*M	*M
29	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	55.3	*M
30	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	65.9
31	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
32	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
33	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
34	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
35	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
36	*M	*M	48.1	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
37	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	21.6	*M	*M
38	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	52.9	*M	*M
39	*M	16.8	*M	63.5	*M	*M	*M	*M	*M	*M
40	*M	54.6	*M	36.3	*M	*M	*M	*M	*M	*M
41	*M	*M	*M	*M	*M	*M	62.3	*M	*M	*M
42	31.5	*M	38.0	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
43	*M	*M	*M	*M	*M	18.0	*M	50.5	*M	*M
44	*M	*M	*M	*M	*M	*M	42.8	*M	*M	*M
45	*M	*M	*M	*M	*M	*M	18.0	37.5	45.2	*M
46	12.0	*M	44.5	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
47	*M	59.9	*M	15.6	*M	*M	*M	*M	*M	*M
48	*M	53.4	*M	35.1	54.6	49.3	36.3	16.8	*M	*M
49	44.5	*M	12.0	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
50	*M	*M	*M	*M	*M	14.4	40.4	46.9	15.6	*M
51	*M	51.0	*M	32.7	*M	*M	*M	14.4	*M	*M
52	*M	44.5	*M	39.2	45.7	14.4	40.4	46.9	*M	*M
53	*M	58.7	*M	14.4	*M	41.6	15.6	35.1	42.8	*M
54	*M	57.5	38.0	13.2	*M	40.4	14.4	33.9	*M	*M
55	*M	10.8	43.3	57.5	*M	45.7	58.7	52.2	*M	*M
56	*M	51.0	*M	32.7	52.2	46.9	33.9	14.4	48.1	*M
57	25.5	*M	32.0	7.2	*M	*M	8.4	27.9	*M	9.6
58	*M	6.0	38.5	*M	7.2	40.9	53.9	47.4	42.1	*M
59	6.0	*M	38.5	26.7	*M	40.9	27.9	8.4	*M	29.1
60	*M	6.0	38.5	*M	7.2	40.9	53.9	47.4	42.1	*M

	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
1	*M	*M	3.6	*M	*M	*M	30.8	30.8	4.8	6.0
2	*M	*M	3.6	*M	*M	*M	30.8	30.8	4.8	6.0
3	3.6	*M	*M	4.8	4.8	*M	25.5	25.5	38.5	39.7
4	*M	0.0	*M	*M	*M	1.2	*M	*M	*M	*M
5	*M	*M	3.6	*M	*M	*M	30.8	30.8	4.8	6.0
6	0.0	*M	*M	1.2	1.2	*M	*M	*M	*M	*M
7	23.1	*M	30.8	24.3	24.3	*M	6.0	6.0	32.0	33.2
8	1.2	*M	*M	2.4	2.4	*M	23.1	23.1	*M	*M
9	*M	*M	*M	23.1	23.1	*M	4.8	4.8	30.8	32.0
10	*M	2.4	*M	*M	*M	3.6	*M	*M	*M	*M
11	*M	0.0	*M	*M	*M	1.2	*M	*M	*M	*M
12	*M	*M	*M	*M	*M	*M	0.0	0.0	*M	*M
13	*M	*M	*M	*M	*M	*M	3.6	3.6	*M	30.8
14	*M	*M	1.2	*M	*M	*M	*M	*M	2.4	3.6
15	1.2	*M	*M	2.4	2.4	*M	23.1	23.1	*M	*M
16	*M	*M	*M	*M	*M	*M	2.4	2.4	*M	*M
17	*M	*M	0.0	*M	*M	*M	*M	*M	1.2	2.4
18	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
19	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
20	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
21	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
22	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	0.0	1.2
23	*M	*M	*M	*M	*M	0.0	*M	*M	*M	*M
24	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	0.0	1.2
25	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
26	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
27	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
28	*M	*M	*M	*M	*M	*M	0.0	0.0	*M	*M
29	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
30	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
31	55.3	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
32	*M	55.3	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
33	*M	*M	50.0	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
34	*M	*M	*M	44.7	*M	*M	*M	*M	*M	*M
35	*M	*M	*M	*M	60.6	*M	*M	*M	*M	*M
36	*M	*M	*M	*M	*M	60.6	*M	*M	*M	*M
37	*M	*M	*M	*M	*M	*M	44.7	*M	*M	*M
38	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	50.0	*M	*M
39	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	55.3	*M
40	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	55.3
41	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
42	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
43	*M	*M	*M	52.9	*M	*M	*M	*M	*M	*M
44	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
45	*M	*M	*M	*M	*M	*M	21.6	*M	*M	*M
46	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
47	37.5	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
48	*M	*M	51.7	19.2	*M	*M	*M	*M	*M	*M
49	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
50	*M	*M	*M	*M	*M	*M	44.0	*M	*M	*M
51	15.6	55.8	*M	*M	*M	*M	*M	37.5	*M	*M
52	*M	*M	16.8	49.3	*M	*M	*M	*M	*M	*M
53	*M	*M	*M	37.5	*M	*M	19.2	*M	*M	*M
54	35.1	62.3	*M	*M	*M	*M	*M	18.0	*M	*M
55	53.4	15.6	*M	*M	*M	*M	*M	62.3	*M	*M
56	*M	*M	49.3	16.8	*M	*M	37.5	*M	*M	*M
57	*M	*M	*M	*M	30.3	*M	*M	*M	38.0	*M
58	48.6	*M	43.3	49.8	*M	*M	57.5	*M	*M	*M
59	9.6	*M	*M	*M	10.8	*M	*M	*M	44.5	*M
60	48.6	*M	43.3	49.8	*M	12.0	57.5	*M	*M	45.7

	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1	38.5	39.7	33.2	39.7	40.9	40.9	8.4	35.6	42.1	42.1
2	38.5	*M	33.2	39.7	40.9	40.9	8.4	35.6	42.1	42.1
3	7.2	47.4	27.9	8.4	9.6	48.6	42.1	30.3	49.8	10.8
4	*M	3.6	*M	*M	*M	4.8	*M	*M	6.0	*M
5	38.5	39.7	33.2	39.7	40.9	40.9	8.4	35.6	42.1	42.1
6	3.6	*M	24.3	4.8	6.0	*M	38.5	26.7	46.2	7.2
7	26.7	53.9	8.4	27.9	29.1	55.1	35.6	10.8	56.3	30.3
8	4.8	*M	25.5	6.0	7.2	46.2	39.7	27.9	47.4	8.4
9	25.5	*M	7.2	26.7	27.9	53.9	34.4	9.6	55.1	29.1
10	*M	6.0	*M	*M	46.2	7.2	39.7	53.9	8.4	47.4
11	*M	3.6	*M	*M	*M	4.8	*M	*M	6.0	*M
12	*M	*M	2.4	*M	23.1	*M	*M	4.8	*M	24.3
13	24.3	*M	6.0	25.5	26.7	*M	33.2	8.4	53.9	27.9
14	*M	*M	30.8	*M	38.5	38.5	6.0	33.2	39.7	39.7
15	4.8	*M	25.5	6.0	7.2	46.2	39.7	27.9	47.4	8.4
16	23.1	*M	4.8	24.3	25.5	*M	32.0	7.2	*M	26.7
17	*M	*M	*M	*M	*M	*M	4.8	32.0	38.5	38.5
18	0.0	*M	*M	1.2	2.4	*M	*M	23.1	*M	3.6
19	1.2	*M	*M	2.4	3.6	*M	*M	24.3	*M	4.8
20	*M	0.0	*M	*M	*M	1.2	*M	*M	2.4	*M
21	*M	1.2	*M	*M	*M	2.4	*M	*M	3.6	*M
22	*M	*M	*M	*M	*M	*M	3.6	30.8	*M	*M
23	*M	2.4	*M	*M	*M	3.6	*M	*M	4.8	*M
24	*M	*M	*M	*M	*M	*M	3.6	30.8	*M	*M
25	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	1.2	*M	*M
26	*M	*M	1.2	*M	*M	*M	*M	3.6	*M	23.1
27	1.2	*M	*M	2.4	3.6	*M	*M	24.3	*M	4.8
28	*M	*M	2.4	*M	23.1	*M	*M	4.8	*M	24.3
29	*M	*M	*M	*M	0.0	*M	*M	*M	*M	1.2
30	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
31	*M	*M	*M	*M	*M	*M	0.0	*M	*M	*M
32	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
33	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	1.2	*M	*M
34	*M	*M	0.0	*M	*M	*M	*M	2.4	*M	*M
35	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
36	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
37	*M	*M	*M	*M	0.0	*M	*M	*M	*M	1.2
38	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
39	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
40	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
41	60.6	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
42	*M	65.9	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
43	*M	*M	50.0	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
44	*M	*M	*M	55.3	*M	*M	*M	*M	*M	*M
45	*M	*M	*M	*M	44.7	*M	*M	*M	*M	*M
46	*M	*M	*M	*M	*M	60.6	*M	*M	*M	*M
47	*M	*M	*M	*M	*M	*M	50.0	*M	*M	*M
48	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	44.7	*M	*M
49	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	55.3	*M
50	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	55.3
51	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
52	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
53	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
54	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
55	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
56	*M	*M	*M	*M	21.6	*M	*M	*M	*M	*M
57	32.7	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
58	*M	*M	*M	*M	54.6	*M	48.1	*M	*M	*M
59	13.2	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M
60	*M	*M	*M	*M	*M	*M	*M	62.3	*M	*M

ÖZGEÇMİŞ

1963 yılında Balıkesir’de doğan Rezzan Erel, 1984 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü’nden mezun olmuştur. 1986 yılında YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsüne araştırma görevlisi olarak girmiştir. 1987 yılında YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü’nde Ulaştırma Bilim Dalında yaptığı Yüksek Lisans eğitimini tamamlamıştır. 1994 yılında YTÜ’deki görevinden ayrılmıştır.