

DOĞRUSAL PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI İLE TOPLU TAŞIMA SİSTEMLERİNİN PLANLANMASI VE ÇİZELGELENMESİ

Mehmet Emrah Özkaya

**Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
İşletme Anabilim Dalı
Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı**

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2006

KABUL VE ONAY

Mehmet Emrah Özkaya tarafından hazırlanan “Doğrusal Programlama Yaklaşımı İle Toplu Taşıma Sistemlerinin Planlanması ve Çizelgelenmesi” başlıklı bu çalışma, 23.01.2006 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



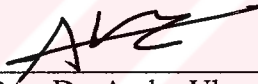
Prof. Dr. M. Baha Karan (Başkan)



Doç. Dr. Argun Karacabey



Doç. Dr. Yalçın Karatepe



Doç. Dr. Aydın Ulucan (Danışman)



Dr. Arzu İlsev

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.



BİLDİRİM

Hazırladığım tezin/raporun tamamen kendi çalışmam olduğunu ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi taahhüt eder, tezimin/raporumun kağıt ve elektronik kopyalarının Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü arşivlerinde aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım:

- ☒ Tezimin/Raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.
- ☐ Tezim/Raporum sadece Hacettepe Üniversitesi yerleşkelerinden erişime açılabilir.
- ☐ Tezimin/Raporumun yıl süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.

23.01.2006

Mehmet Emrah Özkaya

ÖZET

ÖZKAYA Mehmet Emrah, Doğrusal Programlama Yaklaşımı İle Toplu Taşıma Sistemlerinin Planlanması ve Çizelgelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara 2005

Dünyada kentleşme ve buna bağlı olarak kent nüfusu hızla artmaktadır. 1995 yılında dünya nüfusunun % 45' i yaklaşık 2,6 milyar kişi kentlerde yaşamaktayken bu oranın 2025 yılında % 60' a ulaşacağı tahmin edilmektedir. Kentlerdeki bu yoğun nüfus, kent sorunlarının temelini oluşturmaktadır.

Kent sorunlarının en önemlilerinin biri, trafik sorunudur. Kentlerde yaşanan trafik sorunu, temiz hava, sakinlik ve sessizlik ile trafik akışı gibi bir çok alanda olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bu olumsuzlukları en az seviyeye indirme çalışmalarının temelinde, kentlerde toplu taşıma sistemlerinin yaygın kullanımı öngörülmektedir. Toplu taşıma sistemlerinin kullanımının toplumda yaygınlaştırılmasının yanında, bu sistemlerin sağlıklı ve verimli çalışmaları da, trafik sorununun çözümünde önemli bir rol oynamaktadır.

Türkiye Cumhuriyeti'nin başkenti Ankara'da toplu taşıma hizmetleri, EGO bünyesindeki Toplu Taşıma Dairesi Başkanlığı tarafından sürdürülmektedir. Hızla artan nüfusuyla Ankara, toplu taşımacılığın acil olarak iyileştirilmesi gereken önemli merkezlerden biri haline gelmiştir. 2004 verilerine göre günlük ortalama 1300 belediye otobüsün, 651 halk otobüsünün sefer yaptığı, raylı sistem olarak Metro ve Ankaray'ın da taşıdığı yolcular da göz önüne alındığında, yaklaşık günlük 1,5 milyon yolcunun taşındığı Ankara'nın, bu açıdan toplu taşıma sistemlerinin etkin bir şekilde planlanması ve çizelgelenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, yöneylem araştırması yöntemlerinden yararlanarak, karışık tamsayılı programlama yöntemiyle, 235 hat ve 6 bakım-onarım tesisi içeren Ankara belediye otobüsleri hizmetlerinin planlanması ve çizelgelenmesinde, tesis yerleşim problemine çözüm getirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın sonucunda, her hattın atanması gereken bakım-onarım tesisi belirlenmiş, alternatif senaryolar ile toplam maliyetler karşılaştırılmıştır. Geliştirilen tesis yerleşim modeli, alternatif tesisin sisteme eklenmesi aşamasında hatların bu tesislere nasıl atanması gerektiği ya da alternatif tesisin toplam

maliyeti nasıl etkilediği gibi konulara ışık tuttuğu için tesis yerleşim problemleri için bir karar verme aracı olarak da kullanılabilir.

Anahtar Sözcükler

Toplu Taşıma Sistemleri, Karışık Tamsayılı Programlama, Servis Dışı Maliyet, Tesis Yerleşimi



ABSTRACT

Özkaya Mehmet Emrah, Planning and Scheduling of Public Transit Systems with the Linear Programming Approach, Master's Thesis, Ankara 2005

In the world, urbanization and depending on urbanization, populations of the cities are increasing at a fast rate. While 45 % of the world's population, approximately 2.6 billion people, was living in cities, it is estimated that this ratio will reach 60 % in the year 2025. This dense population in the cities is the main contributor to urban problems.

One of the most important problems of the cities is the traffic problem. The traffic problem in the cities creates negative effects in most fields such as clear air, noise and flow of the traffic. In order to decrease these negative effects to a minimum level, the common use of the public transit systems is recommended. In addition to the widespread use of the public transit systems, effective and regular working of these systems has an important role in solving the traffic problem.

The public transit services is executed by the Chairman of Public Transit Systems in the body of EGO in Ankara, the capital city of the Turkish Republic. Ankara became one of the most important centers where public transportation should be cured immediately because of its fast increasing population. The public transportation systems should be planned and scheduled effectively in Ankara where according to the 2004 data, approximately 1300 municipality buses and 651 public buses are working in a day and approximately 1,5 million passengers are transported including the passengers carried by the subway systems, Metro and Ankaray.

In this study, it is aimed to achieve a solution to the garage location/allocation problems for the planning and scheduling of the services of the municipality buses of Ankara which comprises 235 routes and 6 garages. By the use of mixed integer programming method, the garages where every routes should be appointed are determined, and costs of different alternative scenarios are compared. The improved garage location/allocation model in this study can be a useful decision making tool in the case of adding an alternative garage to the

system, since it discloses how the routes should be appointed to these garages and how these alternative garages affect the total cost.

Key Words

Public Transportation Systems, Mixed Integer Programming, Deadhead Cost, Garage Location/Allocation



İÇİNDEKİLER

Kabul ve Onay.....	i
Bildirim.....	ii
Özet.....	iii
Abstract.....	v
Tablolar.....	ix
Şekiller.....	x
GİRİŞ.....	1
1. TOPLU TAŞIMA HİZMETLERİ	4
1.1. Sektörün Dünyadaki ve Türkiye’deki Mevcut Durumu	4
1.1.1. Dünyada Mevcut Durum	5
1.1.2. Dünyada Yaşanan Mevcut Sorunlar	6
1.1.3. Dünyada Yaşanan Mevcut Sorunları Giderme Çalışmaları.....	7
1.1.4. Türkiye’de Mevcut Durum.....	10
1.2. Ankara’da Toplu Taşıma Sistemleri.....	11
2. TESİS YERLEŞİM PROBLEMLERİ.....	19
2.1. Literatür Taraması	21
2.1.1. Tesis Yerleşim Problemi.....	22
2.1.2. Temel Karışık Tamsayılı Programlama Modeli	26
2.1.3. Tesis Yerleşiminde Karışık Tamsayılı Programlama Modeli	27
2.1.4. Tesis Yerleşiminde Khumawala’nın Delta (∇) ve Omega (Ω) Sezgiselleri.....	32
2.1.5. Tesis Yerleşiminde Değişen Tesis Sayılı Karışık Tamsayılı Model.....	41
2.2. Toplu Taşıma Sistemlerinin Matematiksel Programlama ile Analizi.....	49

3. TESİS YERLEŞİM PROBLEMİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ.....	59
3.1.Varsayımlar:	60
3.2. Matematiksel Formülasyon	60
3.2.1. Notasyonlar.....	61
3.2.2. Amaç Fonksiyonu:.....	62
3.2.3. Kısıtlar	62
3.3. Modelde Kullanılacak Verilerin Elde Edilişi	65
3.3.1. Sistemde Bulunan Hat Sayısı.....	65
3.3.2. Sistemde Bulunan Tesis Sayısı.....	65
3.3.3. Hatların İhtiyaç Duydukları Otobüs Sayıları.....	66
3.3.4. Servis Dışı Maliyet	67
3.4. Modelin Sonuçları	72
4. SONUÇ	85
KAYNAKÇA	88
EK – 1 : LINGO MODELİ.....	91
EK – 2. LINGO ÇIKTISI	94

TABLOLAR

Tablo 1.1. 32 kentte otomobil ve toplu taşımacılık kullanımı ile ilgili sonuçlar.	5
Tablo 1.2. Dünya kentlerinde araba ve halk ulaşımı kullanımının yıllara göre değişimi.	6
Tablo 2.1. Örnek sistemin hatları ile tesislerinin uzaklıkları	35
Tablo 2.2. Örnek sistemin atanmamış hatları ile 1., 3. ve 4. tesislere olan uzaklıkları	37
Tablo 2.3. Örnek sistemin atanmamış hatları ile 1. ve 3. tesislere olan uzaklıkları	38
Tablo 2.4. Örnek sistemin, değişen tesis sayısına göre verdiği sonuçlar	48
Tablo 2.5. Örnek sistemin, değişen tesis sayısına göre 6. tesis ilave edildiğinde verdiği sonuçlar	49
Tablo 2.6. Örnek sistemde değişen tesis sayılı yaklaşımın Willoughby'nin karışık tamsayıli programlama modeline uygulandığında elde edilen sonuçlar	57
Tablo 3.1. Ankara Toplu Taşıma Daire Başkanlığı'na bağıli tesisler	66
Tablo 3.2. Ankara Merkeze bağıli belediye otobüsü hatları ve bu hatların günlük otobüs ihtiyaçları ile toplam servis dışı maliyet tablosuna bir örnek	70
Tablo 3.3. Mevcut durumda Ankara Toplu Taşıma Daire Başkanlığı'na bağıli tesislere atanan hat ve otobüs sayıları	71
Tablo 3.4. Modelin Sonuçları	73
Tablo 3.5. Modelde 5 Tesisin Yer Alması Durumunda Elde Edilen Sonuçlar	83

ŞEKİLLER

Şekil 1.1. Ankara Raylı Sistem Hatları 2005	17
Şekil 2.1. Örnek modelde hatların ve tesislerin yerleşimleri.	25
Şekil 2.2. Örnek modelin karışık tamsayılı programlama modeliyle çözülmesiyle gerçekleşen tesis yerleşimleri.	31
Şekil 2.3. Örnek modelin Khumawala sezgiseliyle çözülmesiyle gerçekleşen tesis yerleşimleri.	40
Şekil 2.4. Kanada'nın Vancouver eyaletindeki bölgesel toplu taşıma sistemleri	50
Şekil 2.5. Örnek sistemde değişen tesis sayılı yaklaşımın Willoughby'nin karışık tamsayılı programlama modeline uygulanmasıyla gerçekleşen tesis yerleşimleri.	58
Şekil 3.1.: EGO Genel Müdürlüğü Toplu Taşıma Daire Başkanlığı'na ait Güzergah Haritasına bir örnek.	68
Şekil 3.2. Ankara Toplu Taşıma Daire Başkanlığı'na ait 2005 yılı Ankara Kent Planı	69
Şekil 3.3. Hatların servis dışı maliyetlerini gösteren Excel tablosunun görüntüsü	72

GİRİŞ

Dünyada kentleşme ve buna bağlı olarak kent nüfusu hızla artmaktadır. 1995 yılında dünya nüfusunun % 45' i yaklaşık 2,6 milyar kişi kentlerde yaşamaktayken bu oranın 2025 yılında % 60' a ulaşacağı tahmin edilmektedir. Kentlerdeki bu yoğun nüfus, kent sorunlarının temelini oluşturmaktadır. Dünyanın 100 büyük kentinden 58' i gelişmekte olan ülkelerde yer almaktadır. Gelişmekte olan ülkelerdeki kentleşme eğilimi kentin büyüklüğü ile ekonomik kalkınma düzeyini ve gücünü aşar boyutlardadır. Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu verilerine göre 1985 - 2000 yılları arasında gelişmekte olan ülkeler, kentlerdeki gereksinimlerini karşılayabilmek için gelirlerini % 65 oranında arttırmak zorunda kalmaktadırlar. Günümüzde zaten gelişmekte olan ülkelerde milli gelirin yarısı kentsel alanlara ayrılmaktadır. (Mandıracıoğlu, 1997)

Kentlerin tüm sorunlarına rağmen yaşanabilir olması için bazı kriterler geliştirilmiştir. Nüfus Kriz Komitesinin geliştirdiği bu kriterler arasında temiz hava, sakinlik, sessizlik ve trafik akışı yer almaktadır. (Mandıracıoğlu, 1997) Kentlerde yaşanan trafik karmaşası kriterleri olumsuz yönde etkilemektedir. Trafiğin kentlerde ekonomik, çevresel ve sağlık üzerinde etkileri de önemli boyutlardadır.

Bu olumsuzlukları en az seviyeye indigeme çalışmalarının temelinde, kentlerde toplu taşıma sistemlerinin yaygın kullanımı öngörülmektedir. Toplu taşıma sistemlerinin kullanımının toplumda yaygınlaştırılmasının yanında, bu sistemlerin sağlıklı, ekonomik ve verimli çalışmaları da, trafik sorununun çözümünde önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, özellikle toplu taşıma sistemlerinin etkin bir şekilde planlanması ve çizelgelenmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, toplu taşıma sistemlerinin tesis yerleşim problemi üzerinde durulmuştur. Toplu taşıma sistemleri içinde yer alan araçlar, çalışma saatleri dışında tesislere gelerek park halinde buralarda beklerler. Araçlar, servise başlamadan önce, bu tesislerden günlük izleyecekleri hatlarının başlangıç noktasına (yani ilk durağa) giderler ve yine servis bittiğinde de günlük izleyecekleri hatlarının bitiş noktasından (yani son duraktan) gerek park etmek için, gerekse periyodik günlük bakımlarının yapılması için yine tesislerine dönerler. Servis zamanı dışında, tesislerden başlangıç noktasına gitmek ve yine bitiş noktasından tesislere geri dönmek önemli bir maliyet oluşturmaktadır. Bu maliyet “*Servis Dışı Maliyet*” olarak adlandırılır. Tesis yerleşim problemi daha sonraki bölümlerde de anlatılacağı gibi en temel haliyle, tesislerin, servis dışı maliyetleri en azlayacak şekilde yerleştirilmesi ve bu tesisleri kullanan toplu taşıma araçlarının bu tesislere atanması aşamalarını içermektedir. Ayrıca alternatif tesislerin modele dahil edilmesiyle servis dışı maliyetlerdeki değişiklikler göz önüne alınarak mevcut tesis sayısı ve bu tesislere atanacak araç sayıları belirlenmektedir. Bu çalışmada, toplu taşıma araçlarının mevcut tesislere servis dışı maliyetleri en azlayacak şekilde atanmaları ve alternatif bir tesisin sisteme eklenmesiyle toplam maliyetlerde oluşan iyileştirmeler ortaya koyulacaktır.

Bu çalışmada Ankara Toplu Taşıma Dairesi Başkanlığı bünyesindeki belediye otobüsleri hizmetlerinin planlanması ve çizelgelenmesinde, tesis yerleşim probleminin çözümüne yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu problemlerin belediye otobüsleri hizmetleri için çözümü için A. Willloughby’nin (2002) modeli baz alınmış ve model geliştirilerek sisteme uyarlanmıştır.

Bu çalışmada, yöneylem araştırması yöntemlerinden yararlanarak, karışık tamsayılı programlama yöntemiyle, 236 hat ve 6 bakım-onarım tesisi içeren Ankara belediye otobüsleri hizmetlerinin planlanması ve çizelgelenmesinde, tesis yerleşim problemine çözüm getirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın sonucunda, her hattın atanması gereken tesis belirlenmiş, alternatif senaryolar ile toplam maliyetler karşılaştırılmıştır.

Tezin diğer bölümlerinde anlatılacak olan konular şu şekildedir:

1. Bölümde toplu taşıma sektöründen, dünyadaki ve Türkiye'deki geçmiş ve mevcut durum ile gelecekte sektörde beklenen gelişmelerden bahsedilmiştir. Ayrıca toplu taşıma sistemlerinin problemlerinin, çözümü için yapılan çalışmalar üzerinde durulmuştur. Başkent Ankara'daki toplu taşıma sistemlerinin dün ve bugüne bir göz atılmış ve bugün gelinen noktadaki son durumdan bahsedilmiştir.
2. Bölüm tesis yerleşim probleminin irdelenmesinden oluşmaktadır. Öncelikle tesis yerleşim problemi açıklanmış, tesis yerleşimine yönelik farklı görüşlere göre oluşturulan modeller ve çözümüne yönelik yaklaşımlar anlatılmış ve literatürde tesis yerleşiminin etkinleştirilmesini amaçlayan çalışmalardan bahsedilmiştir. Ayrıca, Willloughby'nin (2002) ortaya koyduğu ve geliştirdiği tesis yerleşim modeli anlatılmış, modeldeki amaç fonksiyonu ve kısıtlar tek tek açıklanarak modelin varsayımları üzerinde durulmuştur. Modelin çözümünden önce Willloughby'nin modelinin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla küçük çaplı örnek bir model geliştirilmiş ve modelin sonuçları yorumlanmıştır.
3. Bölümde Ankara belediye otobüsleri hizmetleri için geliştirilen model anlatılmış, modelin amaç fonksiyonu ve kısıtları tek tek açıklanmış, tesis yerleşim modelinin çözümüyle sistemde yer alacak tesisler ve bu tesislere atanacak araç sayılarının yorumu yapılmış, sonuçların değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler üzerinde durulmuştur.
4. Bölüm sonuç bölümüdür. Bu bölümde, yapılan çalışmanın sonuçları ve model hakkındaki son görüşler ve düşünceler belirtilmiş, ileride yapılması gereken çalışmalardan bahsedilmiştir.

1. TOPLU TAŞIMA HİZMETLERİ

19. yüzyılın ortasından itibaren büyük şehirlerde ulaşım sorun haline gelmeye, ana sokaklar tıkanmaya başlamıştır. Otomobilin devreye aniden girişi, buna duyulan talep ve sonuç olarak toplu taşımın büyük ölçüde ihmal edilmesi, A.B.D. ve Avrupa' nın birçok yerinde trafik sorununu baştan itibaren hızlandırmıştır. 50 yıl önce özel araba sahipliği yaygın değilken, toplu taşımacılığın yanı sıra, yaya yolculuğu da önemli bir oran teşkil etmekteydi. Toplu taşımada ilk gelişme, 1860 yılında Londra' da hizmete giren ilk raylı sistemdir. Metronun ilk örneği de yine Londra' da görülür. 1843'de Thames tüneline demiryolu döşenmesi, yani demiryolunun ilk kez yeraltında uygulanması metronun ilk adımını oluşturmuştur. Raylı sistemlerin kullanımı Londra'dan sonra 1892'de Chicago' da, 1896'da Budapeşte' de, 1897'de Glasgow' da, 1990'de Paris'te, 1902'de Berlin'de, yaygınlaşmıştır. A.B.D.'de raylı sistemin ilk örneği 1827'de New York'ta kullanılmaya başlanan atlı tramvaylardır. İstanbul'da 1871 yılında kullanılmaya başlanan atlı tramvaylar 1924'de elektrikli tramvaya dönüştürülmüştür. (Renda, 1996) Ankara'da ise 1930 yılında devreye giren 9 km.lik banliyö hattı işletmesi ilk toplu taşıma örneğini teşkil etmektedir.

1.1. Sektörün Dünyadaki ve Türkiye'deki Mevcut Durumu

Dünyada kent nüfusları hızlı bir şekilde artarken, bu artışla beraber gelen ulaşım sorunları, toplu taşımacılık bilincinin oluşmasını ve kent içi ulaşımında toplu taşımacılığa ağırlık verilmesini zorunlu kılmıştır. Tüm bu gelişmelere rağmen, bazı ülkelerde toplu taşımacılık olması gereken seviyeye ulaşmamış, otomobil kullanımının özendirilmesi ile birlikte, özellikle bazı gelişmiş ülkelerde toplu taşımacılık oranı çok düşük seviyelerde seyretmiştir.

1.1.1. Dünyada Mevcut Durum

Otomobillerin yaygınlaşması ilk olarak A.B.D.' de başlamıştır. 1908 yılından itibaren otomobillerin seri üretime başlamasıyla raylı sistemden motorize sisteme geçiş başlamıştır. 1920 - 1928 tarihleri arasında demiryolları A.B.D.' de müşterilerinin % 38' i kaybetmiştir. 1914'de kayıtlı otomobil sayısı A.B.D.'de 1.000.000 - 2.000.000 iken, Almanya'da 50.000, İngiltere'de 106.000 dolaylarında seyretmiştir. Avrupa'da otomobillerin alımı ve kullanımı o dönemde oldukça pahalı olması, otomobillerin seri üretimle değil de elde yapılması, bunun yanı sıra Avrupa'da petrol fiyatlarının da yüksek olması, Amerika'ya oranla Avrupa'da toplu taşımacılığın daha yaygın kullanılmasını zorunlu kılmıştır. Ancak yine de savaş yılları atlatıldıktan sonra Avrupa şehirlerinde de otomobil kullanımı hızla artmaya başlamış ve başta Almanya da olmak üzere otomobil endüstrisi hızlı bir gelişme göstermiştir. (Renda, 1996)

Tablo 1.1.: 32 kentte otomobil ve toplu taşımacılık kullanımı ile ilgili sonuçlar. (Newman, 1996)

	Asya	Avrupa Kent	Avustralya	A.B.D.
Araba sayısı / 1000 kişi	88	328	453	533
Araba km'si / kişi	1.067	3.485	5.794	8.715
Yolculukta halk ulaşımı (%)	64	25	8	4
Yürüme ve bisiklet (%)	25	21	5	5
Toplu Taşıma (%)	103	79	56	30
Nüfus yoğunluğu (kişi / hektar)	160	54	14	14

20. yüzyılın son çeyreğine doğru gelişen teknolojiyle beraber otomobil kullanımı önemli ölçüde artmıştır. Halen günümüzde, şehirlerde insanların özel otomobil kullanmaları büyük farklılıklar göstermektedir. 1980'de farklı ülkelerden 32 kentte yapılan bir çalışmada otomobil bağımlılığı ve toplu taşımacılık ile ilgili sonuçlar tablo 1.1.'de gösterilmiştir.

A.B.D. ve Avusturalya'daki kentlerin çoğunluğu, çok yüksek veya yüksek düzeyde otomobil bağımlılığı göstermektedir. Avrupa kentlerinin çoğunluğunda ise daha az düzeyde bağımlılık söz konusudur. Münih, Paris, Stokholm, Viyana, Kopenhag Avrupa'nın en refah kentleridir. Buralarda kişi başına düşen gelir düzeyi çok yüksek olmasına rağmen toplu taşımacılığın kullanım oranı, A.B.D. ve Avustralya'ya nazaran daha yüksektir. Asya'nın en zengin ve kalabalık kentleri Tokyo, Singapur ve Hong Kong'da da yine toplu taşıma sistemlerinin kullanım oranı oldukça yüksektir.

Tablo 1.2.'de otomobil bağımlılığının düzeyinin yıllara göre değişimi izlenmektedir. Buna göre otomobil kullanımı hızlı bir şekilde artarken, toplu taşıma sistemlerinin kullanım trendi aynı oranda artış göstermemektedir. (Newman, 1996)

Tablo 1.2.: Dünya kentlerinde araba ve halk ulaşımı kullanımının yıllara göre değişimi. (Newman, 1996)

	Yıllar	ABD.kent.	Avust. kent.	Toronto	Avrupa kent	Asya kent.
Araba Kullanımı Km / kişi	1970	7334	4628	-	2750	913
	1980	9168	5820	4807	3798	1067
	1990	11559	6589	5680	4754	1487
Halk Ulaşımı Kullanımı	1970	48	118	154	249	454
	1980	57	93	202	290	430
	1990	64	91	210	359	496

1.1.2. Dünyada Yaşanan Mevcut Sorunlar

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde toplu taşımacılığın geliştirilememesi bir sorun teşkil etmektedir. Gelişmemiş ülkelerde de insanların rüyası özel arabadır. Her aileye bir araba gibi sloganlarla otomobil alımı özendirilmektedir. Buna karşın gelişmekte olan ülkelerin kentlerinde toplu taşımacılığın özendirilmesi ve yolların geliştirilmesi ihmal edilmekte, trafik sistemi zayıf işlemektedir. Gelişmekte olan ülke kentlerinin nüfus artış hızına paralel olarak toplu taşımacılık yaygınlaştırılamamıştır. Bu ülkelerin çoğunda toplu taşıma araçları üretilmemektedir ve bu araçların ithalatında da güçlükler

yaşanmaktadır. Gelişmekte olan ülke kentlerinin büyümesi ve yapılaşması, çok hızlı olmaktadır. Hızla oluşan yeni yerleşim birimlerinin toplu ulaşım olanakları da kısıtlı olmaktadır. Gerek yetersiz yol yapımı, gerekse otobüs sayısının yetersizliği nedeniyle, ulaşımında güçlük çekilmektedir. (Mandıracıoğlu, 1997)

Kentlerde toplu ulaşım planları, çok iyi yapılmalıdır. Çünkü duraklarda fazlaca beklemek, otobüslerin kalabalık olması, toplu taşıma ücretlerinin yüksek olması, bir toplu taşıttan diğerine rahatlıkla binememe gibi dezavantajlar, toplu taşıma sistemlerinin kullanım oranlarını olumsuz etkilemektedir. Otomobillerin teknolojik avantajlarının artması, daha az yakıt tüketimi, kirletici unsurların azaltılması, artan otomobil konforu nedeniyle, özel otomobil sahibi olma isteği engellenememektedir. Ayrıca toplu taşımada kullanılan otobüslerin bakımı, yenilenmemesi, bunlarda çalışacak kişilerin yetiştirilmemesi, durakların iyi konumlandırılmaması, duruş - kalkış saatlerinin belirsizliği, güvenlik standartlarına uyum, temizlik, bilet ücretlerinin uygunsuzluğu gibi işletmeyle ilgili sorunlar göz önüne alınırsa, halkın otomobil yerine toplu taşımacılığı tercih etmesi güç olmaktadır. (Renda, 1996)

1.1.3. Dünyada Yaşanan Mevcut Sorunları Giderme Çalışmaları

Dünyanın pek çok kentinde ortak sorun olan trafik sıkışıklığının azaltılması, otomobil bağımlılığının engellenmesi, toplu taşımacılığın yaygınlaştırılması, alternatif ulaşım yollarının geliştirilmesi için yapılanlar aşağıda özetlenmiştir.

- ❖ A.B.D. kentlerinde ulaşımın %87'si özel otomobillerle sağlanmaktadır. Kent dışındaki müstakil yaşam tercih edilmektedir. Bu durumda uzak mesafeleri aşmak için özel otomobil gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Mali olarak otomobil kullanımını karşılayacak güce sahip olunması, günlük yaşamın rahatlığı, alışveriş, çocukların kreşten alınması gibi aile gereksinimlerinin karşılanması da göz önüne tutulunca, özel otomobil, A.B.D. kentlerinde bir lüks değil, gereksinim olarak düşünülmektedir. (Orski, 1993)
- ❖ Bangkok'da trafik yoğunluğu her yıl %15-20 oranında artmaktadır. Her gün kentin caddelerine 500 yeni araba eklenmektedir. Bu durumda ulaşım hızı ise gittikçe düşmekte 5-6 km/saat'e varmaktadır. Kentin tüm kara alanlarının %11'ini karayolları oluşturmaktadır. Kentin karayolları tıkanırken, kanallar, nehirler ve demiryolları çok

az kullanılmaktadır. Özel araba üretilmektedir ve öte yandan ithal arabalarda vergilerin düşük tutulması alımı kolaylaştırmaktadır. Altı şeritli yollar da trafik sıkışıklığına çözüm getirmeyince, Bangkok'da mega projeler geliştirilerek uygulanmaya başlanmıştır. Tanayong projesi (yükseltilmiş demiryolu), skytrain projesi (hızlı tren), ekspres paralı yollar gibi projeler bazı güçlüklerle rağmen gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. (Stickland , 1993)

- ❖ Lagos'da ulaşım sorunu, özellikle kötü trafik yönetimi ve yetersiz halk taşımacılığından kaynaklanmaktadır. Toplu ulaşımın %40'nı eski araba ve otobüslerden oluşan ve "Kabu-Kabu" denilen bir sistem oluşturmaktadır. Fakat bu sistemde otobüs sayısı yetersiz, saatler belirsiz ve düzenli olmayan bir ulaşım mevcuttur. Ayrıca kenar semtlerden kentin merkezine motorsikletle taşımacılık da yaygındır. Su yolları, demiryolları gibi alternatifler ise ulaşımında kullanılır hale getirilmemiş, desteklenmemiştir. (Bolade, 1993)
- ❖ Hong Kong'da ulaşımının % 90'ını toplu taşımacılık oluşturmaktadır. Yeraltı treni, elektrikli tren, feribot, tramvay, çift katlı otobüs gibi tüm toplu ulaşım olanakları kullanılmaktadır. Diğer bir yenilik ise yürüyen merdivenlerin kullanımıdır. Öğrenciler ve ofis çalışanları için kantin merkezine kolaylıkla ulaşmayı sağlayan bu yürüyen yollar ile yolculuk 20 dakika sürmektedir. (Lee, 1993)
- ❖ Singapur'da çok az sayıda özel arabanın kullanıldığı başarılı bir ulaşım sistemi vardır. Toplu taşımacılığın yanı sıra bisiklet kullanımı da yaygınlaştırılmıştır. Özel araç sahipleri için yüksek vergi alınması, ehliyet ücretlerinin fazla olması ve şehir girişte ek ücret alınması gibi tedbirler vardır. Yayalar da, güvenli olarak yolculuklarını sürdürebilecekleri yollara sahiptirler. (Mandıracıoğlu, 1997)
- ❖ Fransa, Lille'de toplu taşımacılık yoğun olarak kullanılmaktadır. Özellikle demiryolu sistemi önemli yer tutmaktadır. Kentlerin diğer sorunu olan çöp ve trafik sorununu birlikte çözmek için geliştirilen proje oldukça başarılı olmuştur. Çöplerden elde edilen metan gazı ile işleyen otobüsler kullanıma sunulmuştur. Kentte ortaya çıkan yılda 600.000 ton çöp de sorun olmaktan çıkmıştır. (Rowley, 1995)
- ❖ Amsterdam'da uzun yıllardır trafiğin problem olmaması için mücadele edilmiştir. Çünkü her yıl milyonlarca turist bu kenti ziyaret etmektedir ve kentliler kadar turistler için de trafiğin sorun olmaması önemlidir. Araç sayısının artışının

kontrolünü halk da desteklemektedir. 1992'de yapılan referandumda halkın çoğu bu yönde oy vermiştir. Araç sayısının kısıtlanması temelde pek çok sorunu çözmüştür. Ayrıca bisiklet kullanımı özendirilerek, özel bisiklet yolları ve park yerleri yapılmış, toplu taşımacılık yaygınlaştırılmıştır. (Thijin, 1993)

- ❖ Varşova, ikinci dünya savaşı sırasında fazla yıkıma uğradığından, şehir yeniden inşa edilmiş, bu inşa planına ulaşım da dahil edilmiştir. Hükümetin politikaları nedeniyle özel araba alımı fazla hızlı değilken son yıllardaki politik ve ekonomik değişiklikler sonucu otomobil sayısı artmaya başlamıştır. Banliyölerden çevre kentlere ulaşım trenle sağlanmakta, yine kent içinde de metro sistemi kullanılmaktadır. Fakat bu ikisi tek başına trafiğe çözüm olamamıştır. Hızla artan trafik sıkışıklığı sonucu kent içinde otobüsler ancak 8 km/saat'lik hızla ilerleyebilir hale gelmiştir. Kısıtlı kaynaklarla var olan sistemin geliştirilmesi, en iyi çözüm gibi görülmüştür. En iyi trafik yönetimi ile tramvay sisteminin daha fazla kişi tarafından kullanılmasının sağlanması düşünülmüştür. Arabaların kullanılması konusunda da motorlu araçlar için çevresel standartlara uyum, park etme sınırlılıkları gibi bir takım kurallar getirilmiştir. (Suchorzewski,1993)
- ❖ Latin Amerika kentleri içinde dünyanın en kalabalık dört kenti bulunmaktadır. Elli şehrin nüfusu da 1.500.000 ve üzerindedir. Dolayısıyla bu kentlerin en önemli problemleri ulaşımıdır. Özel araba kullanımı artış göstermiştir. Karakas'da her on bin kişiye 150 araba düşerken Brezilya'da bin kişiden atmışında ve Bolivya'da bin kişiden beşinde özel araba mevcuttur. Tren yolu sistemi ile yapılan yolculuklar, 37 Latin Amerika kentinde tüm yolculukların % 15' ini bulmaktadır. Sao Paulo, Buenos Aires, Rio de Janeiro gibi çok büyük kentlerde düşük gelirli halk kesimi özellikle tren ulaşımını tercih etmektedir. Demiryolu sistemlerine gereksinim olduğu düşünülerek projeler yürütülmektedir. (Henry, 1993)
- ❖ Latin Amerika kentlerinde en yaygın halk ulaşımı otobüsler yoluyla gerçekleşmektedir. 37 Latin Amerika kentinde tüm toplu ulaşımın % 65'i otobüsler ile olmaktadır. Brezilya, en güçlü otobüs ulaşım sistemine sahip ülkedir. Bu ülkede kullanılan otobüslerin yeni ve bakımlı olmasına da önem verilmektedir. Özel minibüslerin kullanımı, bir yandan yardımcı bir ulaşım modeli teşkil ederken bir yandan da trafik sıkışıklığına neden olmaktadır. Ulaşımda özelleştirme ile bir

takım yeni olanaklar sağlanmaya çalışılmıştır. Sao Paulo ve Mexico City buna iyi örneklerdir. Diğer toplu ulaşımın 1/3'ü özel sektör tarafından yürütülmektedir. Günlük 10 toplu yolculuğun 8'i otobüs ve minibüsle, 1'den fazlası metro, 1'den azıda tren, deniz ve nehir yoluyla gerçekleştirilmektedir. (Henry, 1993)

- ❖ Curitiba, Brezilyanın büyük kentlerinden biridir ve motorlu araçların en az düzeyde kaza yaptığı kentlerin başında gelmektedir. Özel otomobil alınıminin artışına karşın toplu ulaşım oldukça desteklenmiş ve geliştirilmiştir. Toplu taşıma ücretleri asgari düzeyde tutulmaya çalışılmıştır. Ekspres yollar ve tek otobüs yolları şehir merkezinden etrafa dağılmaktadır. Otobüslerin renkleri ayrı yapılarak ayrı yollardan gideceği belirlenmiştir. Örneğin ekspres otobüsler kırmızı, bölgeler arası otobüsler yeşil renktedir. Ayrıca büyük otobüs terminalleri ile yolcuların diğer otobüslere kolaylıkla aktarma yapması sağlanmıştır. Yollar ve güzergahlar, otobüslerin yolları fazla işgal etmeyeceği şekilde düzenlenmiştir. Tüm bu düzenlemelerde tarihi yapılar, doğa ve yaya alanları da korunmuştur. Curitiba'da halk ulaşımı ile günde 1.300.000 kişi yani nüfusun yaklaşık 2/3'ü taşınmaktadır. Bu özel organize sistemle insanlar üç kat fazla zaman kazanmakta, yakıt tüketimi % 25 azalmaktadır. (Newman, 1996)
- ❖ Surabaya da Endonezya'nın kentlerinden biridir. Motorize olmayan ulaşım sistemlerinin geliştirilmesi ve toplu taşımacılığın yaygınlaştırılması için çaba sarf edilmiştir. Yayaların rahat ve ferah bir şekilde yürüyebileceği yaya alanları düzenlenmiştir. (Newman, 1996)
- ❖ Avusturalya'da, Perth'de ve diğer kentlerde banliyöler geniş bir kullanım alanına sahip olmasına rağmen, otomobil bağımlılığı yüksektir. Yine de otobüs ve demir yolu ulaşımı çok geliştirilmiştir. Otobüs ve tren sisteminin durakları iyi organize edildiğinden yolcu aktarımı çok hızlı ve kolay olmaktadır. Otomobil bağımlılığının üstesinden gelmek uzun zaman alsa da pek çok olumlu adımlar atılmıştır. (Newman, 1996)

1.1.4. Türkiye'de Mevcut Durum

Türkiye kentlerinde ise ulaşım sorunun temelinde karayollarına fazla ağırlık verilmesi yatmaktadır. Örneğin İstanbul'da günlük şehir içi yolculuğunun % 90'ı karayolu ile yapılmaktadır. Demiryolu % 6 ve deniz yolu % 4 civarındadır. Diğer taraftan toplu

taşımacılıkta kullanılan otobüsler, yeterli hizmet verememektedir. Duraklarda fazla bekleme, durak yerlerinin uygunsuzluğu, otobüslerin kalabalık olması gibi nedenlerle özel araba kullanılması artmaktadır. Türkiye’ de 1983 yılı sonu itibariyle trafiğe kayıtlı motorlu taşıt sayısı 4.380.063 iken, 1995 yılı sonunda 4.985.331’e yükselmiştir. Yani % 13.8’ lik bir artış olmuştur. Artış en fazla % 6.9 ile otomobillerde gerçekleşmiştir. Kayıtlı motorlu araçların % 51.8’i yedi büyük kente aittir. 1995 yılında ülkemizde tüm yük ve yolcu taşımacılığının % 92.5’i karayolu ile gerçekleşmiştir. Demiryolu % 7.1, denizyolu % 0.2, havayolu % 0.2’sini teşkil etmektedir. (Mandiracıoğlu, 1997) Ülkemizde toplu taşımacılığın iyileştirilmesi kentlerin yerel yönetimlerinin mali olanakları ve bakış açılarına göre değişmektedir.

1.2. Ankara’da Toplu Taşıma Sistemleri

Başkent Ankara’nın, yarım yüzyılda karşılaştığı çok hızlı ve yoğun kentleşme olgusu ulaşım sorununun da beraberinde yaşanmasına neden olmuştur. Burada otobüsü, otobüs taşımacılığını ve kent içi taşımacılığını, Ankara Kenti özelinde ve çevresel bir takım faktörlerinde gelişimi ile birlikte ele alıp incelemek gerekmektedir. Kent formu ile kent içi yolcu taşıma hizmetlerinin gelişimi arasında daima karşılıklı ilişkiler mevcuttur.

Ankara, 1930’ların 90 bin nüfuslu, toplam yolculukların yüzde 15’inin araçlı yolculukların olduğu bir kent iken, 1998’lerde yaklaşık 4,5 milyon nüfuslu ve araçlı yolculukların oranının yüzde 90’a vardığı bir kent haline gelmiştir. Bu 68 yıllık geçiş süreci içinde toplu taşımacılık, siyasi, ekonomik ve sosyo-kültürel anlamda pek çok dış etkenin etkisi altında zaman zaman hızlı ve olumlu, zaman zamansa oldukça yavaş ve olumsuz bir gelişim çizgisi izlemiştir. Bu süreç içinde hızla artan toplu taşıma talebi ise aynı hızla örgütlenmeyen ve kaynakları sınırlı bir kamu girişimciliği tarafından karşılanmıştır. (Ego Genel Müdürlüğü, 2004)

1920’li yıllarda kale çerçevesinde 25 bin nüfuslu, yoğun bir yerleşimi olan Ankara, hem topografik özellikleri ve hem de büyüklüğü bakımından bir yayalar kenti olma özelliğini gösteriyordu. Sadece istasyon ve kent çevresindeki bağlara yönelen çok sınırlı sayıdaki araçlı yolculuk talebi arabalarla karşılanıyordu. 1930’ların başında ise hızla artan Ankara’nın nüfusu kentin Yenışehir ve Cebeci bölümlerine yayılmaya başlamış ve

araçlı yolculuk talebinde artışlar gözlenmiştir. İşte artan bu talebi o yıllarda kaptı-kaçtı denilen küçük girişimcilerin otobüsleri ile karşılanmaya çalışılmaktaydı.

Bu otobüsler 12 toplu taşıma hattında belediye tarafından belirlenen tarifeye göre Ulus merkezli olarak çalışmıştır. Bu yıllarda kamunun kentiçi yolcu taşımaya katkısı, hemen hemen hiç olmamıştır denebilir. Bu dönemde tek kamu toplu taşımacılığı Ankara Kayaş arasında açılan 9 Km.lik banliyö hattı işletmesidir. Bu hat Cebeci, Mamak, Kayaş bölgelerinin ulaşılabilirliğini artırarak gelişmeyi hızlandırmıştır. Bu arada 22.11.1930 tarihinde Bakanlar Kurulu Kararıyla otobüs, minibüs ve elektrikli tramvay işletme yetkisi belediyeye verilmiş olmasına rağmen 1935 yılına kadar bu konuda bir girişim olmamıştır.

Çünkü şehir içi yolcu taşımacılığının kamu desteği ile yapılacak olan bir ülkenin ekonomik ve idari şartlarının iyi durumda olması gerekmektedir. Ama bu yıllarda bilindiği gibi tüm dünyada yaşanan ekonomik buhran, ülkemiz ekonomik şartlarını da olumsuz yönde etkilemiştir. Ancak her türlü olumsuzluğa karşın belediye ilk girişimini 1935 yılında yapabilmiş ve Ankara Belediyesi Otobüs İdaresi kurularak Sovyetler Birliğinden 100 adet ZİS Marka otobüs ithal edilmiştir. İşte bu imkandan yararlanarak ortalama 6 Km. uzunlukta 15 hatta hizmet veren otobüslere ek olarak bu otobüsler de hizmet vermeye başlamıştır.

1935 yılında toplu taşıma talebin azlığına karşın arz fazlalığı söz konusudur ve kent formunun etkisiyle, araçlı yolculukların toplam yolculuklar içinde payı yüzde 22'yi geçmezken, belediye otobüslerinin bu yolculuklardaki payı ise yüzde 60'dır. Bu sistem 1940 yılına kadar bir değişiklik geçirmeden işlerliğini korumuştur. Ancak bu yıllarda başlayan ikinci Dünya savaşı nedeniyle yaşanan ithal zorlukları ve 1942 yılında sadece 7 otobüsün alınışı, servise verilen otobüs sayısında hızlı düşüşe sebep olmuştur.

Bu yıllar, toplu taşıma arzındaki kıtlığın başlangıcı olmuştur ama belediye araç arzını belli bir düzeyde tutabilmek için kamyonlara karoseri geçirterek yeni otobüsler yaptırma yoluna gitmiştir. 1944 yılında otobüs idaresi katma bütçeli hale getirilerek "Ankara Otobüs İşletmesi" adını almış ancak işletme gelişme olanağı bulamamıştır. Bu dönemde sorunların aşılması için küçük girişimcilerin bulduğu çözüm "taksi-dolmuş"

uygulamasıdır. Toplu taşıma talebi daha az araçla daha çok yolcu taşınarak karşılanmaya çalışılmıştır. Bu yıllarda kamunun toplu taşımacılıktaki payı yüzde 70 düzeyindedir. 1946 'da alınan 19 otobüse karşılık bir yangın sonucu 18 otobüs hizmet dışı kalmış, bu dar boğazda Ankara Umumi Otomobilciler ve Şoförler Derneği düzenli taksi, dolmuş hattı oluşturma isteklerini, belediyeye kabul ettirmişlerdir. (Ego Genel Müdürlüğü, 2004)

Böylece Ulus-Cebeci, Ulus-Sıhhiye gibi kentin en yoğun yerleşim yerlerine ilk dolmuş hatları konulmuştur. 1947'de işletmeye alınan 10 otobüse rağmen bu yıllarda kamunun taşımacılıktaki payı yüzde 50'ye gerilemiştir. Bu arada Ulus merkezli en işlek hatlardaki dolmuş taşımacılığının payı ise yüzde 45'e yükselmiştir. Belediye Otobüs İşletmesi 01.01.1950 tarihinden itibaren Ankara Elektrik Havagazı ve Otobüs İşletmesi adını almış ve yönetim esnekliği kazanmıştır.

1950'li yılların ortalarına gelindiğinde Türkiye ithalatını artırma olanağı bulmuş ve bu da kamu ve özel girişimin araç kapasitesini artırmasına olanak vermiştir. Bu dönemde EGO hatlarının sayısı 28'e, toplam ağ ise 171 km.'ye yükselmiş taşınan yolcu sayısı 2,7 kat artmış ancak kamunun payı yüzde 65'e çıkabilmiştir. Taşımacılıktaki kamunun payının yeterli artmamasının nedeni özel girişimcilerin bu yıllarda araç parklarını genişletmeleri ve taşıdıkları yolcu sayısını arttırmalarıdır. 1950'lerin ikinci yarısı ise dış ödemeler dengesindeki sıkıntılar nedeniyle araç artışının kısıtlı olduğu yıllardır. Buna karşın EGO'nun hat sayısı 42' ye, hat uzunluğu 273 km.' ye çıkarken, EGO otobüsleri kentin yeni gelişen alanlarına hizmet vermeye başlamış, merkezi alanlar ise özel girişimcilere bırakılmıştır.

Bu dönemde kamunun taşımacılıktaki payı yüzde 50'nin altına düşmüştür. Bunlara kentin gelişmesine paralel olarak Bakanlıklar, Cebeci ve Samanpazarı üçlü hatlar da eklenmiştir. EGO' nun özellikle kent merkezinde yetersiz kalması sonucu bu bölgelerde yeni küçük girişimcilik türleri doğmuş, 11 yolcu taşıyan minibüs işletmecileri 330 araçla 1952 yıllarında Bahçelievler-Dörtüol, Aydınlikevler-Çankaya hatlarında çalışmaya başlamışlardır. 1960-1968 yılları arasındaki dönem ise EGO araç parkının ve hat sayısının büyük ölçüde sabit kaldığı dönemdir. Taşınan yolcu sayısı azalmış, kamunun

payı ise yüzde 30'lara gerilemiştir. Bunun nedenlerinden biri de Türkiye' de minibüs üretiminin başlaması ve belediyenin çıkardığı bir yönetmelikle minibüs hatlarını denetim altına alınarak kontenjanlarının artırılmasıdır. Bu dönemde sunulan hizmetin sınıflara göre farklılaşması başlamıştır.

Otobüs ve minibüsler düşük gelirli sınıflara hizmet verirken, minibüslerin Gazi Mustafa Kemal Bulvarı'na girişlerinin yasaklanması sonucu ortaya çıkan 7 kişilik steysin dolmuşlar orta ve üst-orta gelir grupları için bir seçenek olmuştur.

EGO, 1969 yılında 140 adet yeni otobüs alımı yaparak araç parkını genişletmiş olmasına karşın 1970'li yılların ilk yarısında yeni alımlar sürdürülmemiş ve servise verilen araç sayısında artış sağlanamamıştır. Küçük girişimcilerin araç sayıları, büyük ölçüde artmamış, daha az araçla daha çok yolcu taşınarak talep karşılanmaya çalışılmıştır. Bu arada önemle belirtilmesi gereken konu toplu taşımadaki yetersizlik ve kamu kuruluşlarının kent merkezinden uzakta yer seçmeleri bir başka kent içi ulaşım türünün doğmasına yol açmıştır. Resmi kuruluşlar kendi personelinin ulaşımını sağlamak için servis araçları hizmete sokmuş ve bu araçların sayısı hızla artmıştır.

Böylece 1970'lere gelindiğinde kent içi ulaşımında küçük girişimcilerin egemen olduğu görülmektedir. 1974'lü yıllarda görülen en önemli gelişmelerden birisi de yerli otomobil fabrikalarının üretime geçmesi ve kent içi trafiğinde hızla artan özel oto sayılarıdır. Bu yıllarda otobüs işletmesine bağlı Hipodrom Atölyesinde tamamı Türk Mühendis ve işçilerinden oluşan çalışma grubunun ortaya koyduğu çabalarla ilk yerli otobüs imal edilmiştir. 1969-1977 yılları arasında kamu taşımacılığı büyük ölçüde EGO tarafından yürütülmüş, bu yıllarda araçlı yolculuk talebi daha az sayıda araçla daha çok yolcu taşınarak karşılanmaya çalışılmıştır.

Bunun sonucu Ankara'da sabah ve akşam yoğun durumlardaki yolcu pik saatlerinin daha uzun zamana yayılmasına ve tabi ki kullanıcıların da zaman kayıplarına yol açmıştır. 1977 sonrası kamu taşımacılığı yeni atılımlara girişmiş, bu dönemde büyük sayıda otobüs alınarak araç parkı yenilenmiş ve servise verilen araç sayısı artırılmaya çalışılmıştır.

1984'lü yıllarda özellikle Macaristan'dan satın alınan İkarus marka körüklü otobüsler servise verilmiş, böylece kent içi yolcu taşımacılığında büyük bir rahatlama sağlanmıştır. Yine bu dönemde otobüslerde biletçi uygulaması kaldırılarak tek tip ücret ve kumbara uygulaması başlatılmış, Dikimevi-Beşevler arasında 5,3 km.'lik otobüs özel yolu hizmete açılmıştır. Bu yıllarda kamunun taşımacılıktaki payı yüzde 32'ye yükselmiş, EGO otobüs hatlarının ortalama uzunluğu 20 km.'ye hat sayısı 88'e çıkmıştır. 1980'lerin başı, ekonomide alınan istikrar önlemlerin etkisiyle kamu taşımacılık gelişiminin durduğu yıllar olmuş, araç parkı geliştirilememiş, buna karşılık hat sayısı hızla artmaya devam etmiştir. Yine bu yıllarda sabah ve akşam yoğun durumlardaki pik saatlerde yolcu talebini karşılayabilmek amacıyla ekspres otobüs işletmesine geçilmiştir.

Kamu servis araçlarının hızla artan sayılarının yanı sıra bu dönemin en önemli gelişmesi özel halk otobüslerinin 1982 yılında kent içi yolcu taşımacılığına katılmasıdır. Bu dönemde steysin dolmuşların kentsel trafik ve çevre kirliliği açısından yarattığı olumsuzluklar nedeniyle tüm hatlarda kaldırılması kararı uygulanarak ticari faaliyetleri kesin olarak yasaklanmıştır. Bu sürede 11 kişilik minibüsler de yerini 14 kişilik daha büyük araçlara bırakmıştır.

Minibüs dolmuş taşımacılığındaki önemli bir gelişme merkezle konut alanları arasındaki hatların yanı sıra çevre içindeki iki nokta arasında yeni hatların ortaya çıkmasıdır. 1983'de EGO, 25'i ekspres 119'u normal olmak üzere 144 hatta hizmet vermiştir. Yine bu dönemde kamu servis araçlarının hızla artan sayılarının yanı sıra artan nüfusun yolculuk talebini karşılayabilmek için ne belediye otobüsleri, ne halk otobüsleri, ne taksi dolmuşlar, ne de minibüsler yeterli olmayınca taksi sayısında ve taşımacılığında büyük artışlar gözlenmiştir, ama bunların hiç biri Ankara'daki toplu taşıma yeterince cevap vermemiştir.

Toplu taşıma konusunda çok ciddi bir adım olarak Metronun temeli, 1989 yılında atılmıştır. Yap-İşlet-Devret formülüyle başlayan metro yeni yönetim tarafından anahtar teslimine çevrilerek yeniden temel atılmış ve metro inşaatı başlamıştır. 1992 yılında egzoz dumanlarından oluşan hava kirliliğinin önlenmesi amacıyla ODTÜ'lü bilim adamlarınca otobüslerde yapılan değişikliklerle 30 adet doğalgazla çalışan otobüs hizmete

girmiştir. 1993 yılına gelindiğinde ise 32 hatta toplam 2134 minibüs dolmuş, 17 hatta toplam 200 özel halk otobüsü kent içi yolcu taşımacılığı yapmıştır. Günümüzde EGO otobüslerinin toplu taşımacılıktaki payı ise % 28,7'dir. Bu arada EGO 1995 yılında çift katlı otobüsleri hizmete sokarak kent içi toplu taşımacılığına yeni bir boyut getirmiştir.

İlk aşamada 16 otobüs hizmete girmiştir. Sonuç olarak, Ankara'daki kent içi toplu taşımacılığı bu yarım yüzyılı aşan süreç içinde değerlendirecek olursak, Ankara, kentinin büyümesine paralel olarak nüfus artışından daha hızlı artan bir araçlı yolculuk talebiyle karşı karşıya kalmıştır.

Günümüzdeki toplu taşımadaki yetersizlik, gelişen otomotiv sanayi ve özel taşımacılığı destekleyen hükümet politikalarının etkisiyle, hızla artan özel oto sahipliliği, toplam motorlu araç yolculukları içinde özel taşımacılık payının artmasına neden olmuş ve son yıllarda Ankara, trafik sorununun yoğun olarak yaşandığı bir kent durumuna gelmiştir. 1999 yılında EGO kent içi toplu taşımacılıkta 1500' e yakın araç filosu ve 1996 Ağustosun da hizmete giren hafif raylı toplu taşıma sistemi Ankaray ile 8,7 km. bir alanda günde 400 bine yakın Ankaralının ulaşımına çözüm getirmiştir.

1998 yılına gelindiğinde toplu taşımacılıkta kullanılan 1403 adet otobüs filosu, Dikimevi-Aşti arasındaki 8,7 km.'lik hatta hizmet veren hafif raylı sistem Ankaray ile Aralık 1997 tarihinde Kızılay-Batıkent arasında 14,5 km.'lik bir hatta hizmet vermeye başlayan ağır raylı sistem Ankara Metro'su ile günlük 716 bine yakın Ankaralıya toplu taşıma hizmeti verilmektedir. Ankara'daki raylı sistemlerin mevcut durumu aşağıdaki yer almaktadır;

- ❖ Dikimevi-Aşti arası Ankaray (Hafif Raylı Sistem) 30.08.1996 tarihinden itibaren ticari işletmeye alınmıştır.
- ❖ Batıkent-Kızılay arası Ankara Metrosu I. Aşaması 28.12.1997 tarihinden itibaren işletmeye alınmıştır.
- ❖ Batıkent-Sincan-(Törekent) M3 hattı için 19.02.2001 tarihinde sözleşme imzalanarak yapım çalışmalarına başlanmıştır.

toplu taşıma ve özel halk otobüslerinin denetimini yaparak Ankara Halkına en iyi hizmeti vermeye çalışmaktadır. Ancak özellikle otobüslere ait park alanlarının (yani tesislerin) artan otobüs sayısı karşısında yetersiz kaldığı, bu park alanlarının ve park alanlarına atanan otobüslerin etkin bir şekilde planlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır.



2. TESİS YERLEŞİM PROBLEMLERİ

Bir toplu taşıma sisteminin faaliyetleri planlanırken, en önemli problemlerden biri tesis yerleşim problemidir. Toplu taşıma sistemlerinde tesis yerleşim problemini geliştirmek için aşağıdaki sıralama kullanılır:

- *Hat Planlaması:* Kentin hangi noktalarından, hangi noktalarına otobüs hatlarının olması gerektiğinin planıdır.
- *Talep Planlaması:* Belirlenen hatlarda, hangi saatlerde ne kadar otobüsün yer alacağını planlanmasıdır. Bir başka deyişle, her hatta kaç yolcunun taşınması gerektiğinin planıdır.
- *Tesis Planlaması:* Sistemde çalışan otobüslerin, servis dışı zamanlarda park halinde bekleyecekleri tesislerin ve kapasitelerinin planlanmasıdır.
- *Bakım Planlaması:* Otobüslerin haftalık, aylık ve gerekiyorsa günlük periyodik bakımlarının planlanmasıdır.
- *Maliyet Analizi:* Tesislerin kurulum, sabit işletme ve kapasite azaltma veya artırım maliyetleri ile birim taşıma maliyetlerinin belirlenmesidir.
- *Personel Çizelgelemesi:* Her hatta çalışacak otobüslere atanacak otobüs şoförlerinin planlanmasıdır.

Toplu taşıma sistemlerinin planlanması ve çizelgelenmesinde, tesis yerleşim problemlerinin çözümünde kullanılan yöntemlerin detayına inmeden önce, tesis yerleşim problemlerinde kullanılan ve bilinmesi gereken temel terimler aşağıda sıralanmıştır.

Terminoloji

- **Servis Hattı:**

Belirli bir noktadan yine belirli bir başka noktaya (ilk duraktan, son durağa), yolcuların taşınması için belirlenmiş güzergahtır. (Örneğin Kızılay – Beşevler hattı gibi)

- **İlk Durak:**

Bir hattın en ucunda bulunan ve otobüslerin servise başlayacakları ilk noktadır.

- **Son Durak:**

Bir hattın en ucunda bulunan ve otobüslerin servisi bitirdikleri noktadır.

- **Tesis :**

Sistemde mevcut otobüslerin servis süresi dışında, gerek periyodik bakımlarının yapılması, gerekse park halinde beklemeleri için belirlenmiş alanlardır.

- **Tesis Kurulum Maliyeti :**

Sisteme yeni bir alternatif sistemin dahil edilmesinin toplam maliyetidir.

- **Tesis Sabit Maliyeti:**

İlgili tesisin sistemde faal halde kalmasının toplam maliyetidir.

- **Tesis Değişken Maliyeti:**

Tesise atanacak her bir otobüs için birim maliyettir.

- **Taşıma Maliyeti:**

Otobüslerin birim mesafede yol almaları için gerekli maliyettir .

- **Tesis Kapasitesi:**

Tesislere atanabilecek maksimum otobüs sayısıdır.

- **Kapasite Artırım Maliyeti:**

Tesislere atanabilecek otobüs sayısının artırılabilmesi için, tesise her bir otobüs için gelecek ek maliyettir.

- **Servis Dışı Maliyet:**

Servis zamanı dışında, bir otobüsün tesisten başlangıç noktasına gitmek, ve yine bitiş noktasından tesise geri dönmesinin maliyetidir.

- **Otobüs Ataması:**

Belirlenmiş hatlardaki otobüslerin, belirlenmiş sayıda, belirli tesislere atanmasıdır.

2.1. Literatür Taraması

Bu bölümde, toplu taşıma sistemlerinde tesis yerleşim problemi anlatılacaktır. Literatürde mevcut olan daha önce yapılmış çalışmalara bir göz atmak, tesis yerleşim probleminin iyi anlaşılması ve analiz edilmesi açısından yararlı olacaktır.

Tesis yerleşim problemi üzerinde çalışmalar, Cooper'ın (1963) yapmış olduğu ambar, depo ve ambulans merkezlerinin yerleşimlerine yönelik çalışmalar yapmasıyla başlamaktadır. Cooper'ın bu çalışmaları, çok kapsamlı olmasa da, sonraki çalışmalara ışık tutacak niteliktedir.

Daha sonra Khumawala'nın (1974) delta ve omega sezgiselleri ise bu tesislerin artan değişken maliyetlerini, yeni bir tesis kurmanın sabit maliyeti ile kıyaslamıştır. Maze ve bu grupta yer alan diğer arkadaşları, bu modeli başarıyla Detroit toplu taşıma sistemlerinde uygulamışlardır.

Maze (1982), toplu taşıma sistemleri için bir Karışık Tamsayılı Programlama modeli geliştirmiştir. Çalışmalarında, araçlar için servis dışı maliyeti minimize etmeye çalışmış, ayrıca sürücüler içinde bunun bir maliyet olduğunu kabul etmiştir. Yine çalışmalarında, tesislerin yönetim maliyetlerini ve sermaye maliyetlerini de modelinde kullanmıştır.

Maze'in (1983) başka bir çalışması ise tesis yerleşim problemi ile tesislerin optimal kapasitelerinin belirlenmesi üzerine olmuştur. Bu çalışmada Maze, tesislerin yerleşimini ve kapasitelerinin belirlenmesi için, bilgisayar destekli bir model geliştirmiştir. Bu modelde, Khumuwala'nın delta ve omega sezgiselleri de başarıyla kullanılmış, model Detroit üzerinde kullanılarak gerçekleşen iyileşmeler gösterilmiştir.

Ball ise (1984) çok yüksek sayıda alternatif tesislerin kurulumunu içeren bir sezgisel geliştirmiştir. Bu sezgiseli 11 mevcut tesisin olduğu, 1400 otobüsün ve 800 alternatif tesisin varsayıldığı Pennsylvania'da uygulamıştır.

Maze'in (1985) geliştirdiği başka bir modelde ise, tesis yerleşimlerinin ve tesis kapasitelerinin belirlenmesinin yanında, araçların dinamik olarak çizelgelenmesi de yer

almaktadır. Bu çalışmada, araçların çizelgelenmesi için değişik metotlardan bahsedilmiştir.

Waters (1986), yerleşim problemini Kanada'nın Calgary eyaleti üzerinde modellemiştir. Modelinde yine servis dışı maliyeti, yeni bir tesis kurmanın ve yönetmenin maliyetiyle kıyaslamıştır. Ayrıca, modelinde araçların trafik yoğunluğu yüksek olan yerlerden geçmesi halinde, onlara ceza maliyeti veren bir uygulamaya da yer vermiştir. Bu sayede şehir içi trafiğinin de bu modele ilave edilebileceği görülmüştür.

Willoughby (1995), tesislerin sayısının, kapasitelerinin ve yerleşimlerinin belirlenmesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmasında, yeni tesislerin kurulumları için sermaye maliyetlerinin belirlenmesiyle, tesis kurulum maliyetleri model içerisinde yer almıştır.

Willoughby (2001), bir diğer çalışmasında bir hattaki her otobüsün aynı tesise atanmasına ilişkin bir sezgisel yaklaşım geliştirmiştir. Bu modelde, tesislerde kapasite sınırlarına erişildiğinde, aynı hatlardaki otobüslerin aynı tesislere atanmasına yönelik bir karışık tamsayılı programlama metodunun kullanılması söz konusudur. Model temel olarak iki adımdan oluşmakta, ilk adımda hatlardaki otobüsler aynı tesise atanmakta ve sonrasında kapasite sınırlarına gelindiğinde ise kalan otobüslerin alternatif tesislere yönlendirilmesi sağlanmaktadır.

Willoughby'nin (2002) bir başka çalışması, Kanada'nın Vancouver eyaletine yine benzer bir uygulama üzerine olmuştur. Çalışmasında servis dışı maliyet ile yeni bir tesisin kurulması ve yönetilmesi maliyetlerini kıyaslamıştır. Alternatif tesisler geliştirmiş, amaç fonksiyonunu en iyileyen alternatifi belirlemiştir.

2.1.1. Tesis Yerleşim Problemi

Toplu taşıma sistemlerinde, sistem içinde yer alan otobüsler, çalışma saatleri dışında bu tesislere gelerek park halinde buralarda beklerler. Otobüsler, servise başlamadan önce, bu tesislerden günlük izleyecekleri hatlarının başlangıç noktasına (ilk durak) giderler ve yine servis bittiğinde de günlük izleyecekleri hatlarının bitiş noktasından (son durak) gerek park etmek için, gerekse periyodik günlük bakımlarının yapılması için yine tesislerine dönerler. Servis zamanı dışında, tesislerden başlangıç noktasına gitmek ve

yine bitiş noktasından tesislere geri dönmek, önemli bir maliyet oluşturmaktadır. Bu maliyet “*Servis Dışı Maliyet*” olarak adlandırılır.

Toplu taşıma sistemlerinde tesis yerleşim problemi, servis dışı maliyeti en azlayacak şekilde tesis yerlerinin belirlenmesi ve hatlardaki otobüslerin bu tesislere atanmasını amaçlamaktadır. Bundan dolayı tesis yerleşim problemi, toplu taşıma sistemlerinin planlanması ve çizelgelenmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Tesis yerleşim probleminin çözümü için oluşturulan ve geliştirilen bütün modellerin kullandıkları ortak özellikler vardır. Temel tesis yerleşiminin ana yapısını oluşturan bu özellikler aşağıdaki gibi sıralandırılmıştır:

- Tesis yerleşim problemi, karışık tamsayılı programlama modeliyle formüle edilir ve en iyi sonuç (optimum), ancak karışık tamsayılı programlama modeliyle elde edilir. Literatürdeki bazı sezgisel çözümler her ne kadar en iyi sonuca yakın sonuçlar getirirse de, en iyi sonucu garanti etmezler.
- Tesis yerleşim problemlerinde amaç, hatlar ile o hatlarda kullanılacak otobüslerin atanacağı tesisler arasındaki mesafeyi minimize etmektir. Bu nedenle amaç fonksiyonu, maliyet minimizasyonu üzerine kurulmaktadır.
- Problem, mevcut tesisler ve sisteme eklenebilecek yeni tesislere göre modellenir.
- Her hatta ihtiyaç duyulan otobüs sayısı kadar otobüs atanmalıdır.
- Hatlarda yer alan her otobüs, servis zamanı dışında en az bir tesise gitmelidir.
- Bir tesise en az bir otobüsün atanması durumunda, o tesis için belirlenmiş sabit maliyetin karşılanması gerekmektedir.
- Tesis yerleşim problemlerinde kullanılan karışık tamsayılı modellerde ve sezgisel modellerde kullanılan ortak kısıtlar şu şekildedir;

❖ Tesislerin Kapasitesi

Tesislere atanacak otobüs sayıları, tesislerin kapasitelerini aşamaz. Bu nedenle her tesis için, bütün hatlardan bu tesise atanacak otobüslerin sayısı, bu tesisin kapasitesine eşit veya daha az olmalıdır. Modellerde tesis sayısı kadar kapasite kısıtı olmak durumundadır.

❖ Hatların Talebi

Her hat için önceden belirlenmiş otobüs sayısı, o hatta atanmak durumundadır. Dolayısıyla, mevcut hattan her tesise atanmış otobüslerin toplamı, o hattın ihtiyaç duyduğu otobüs sayısına eşit olmalıdır.

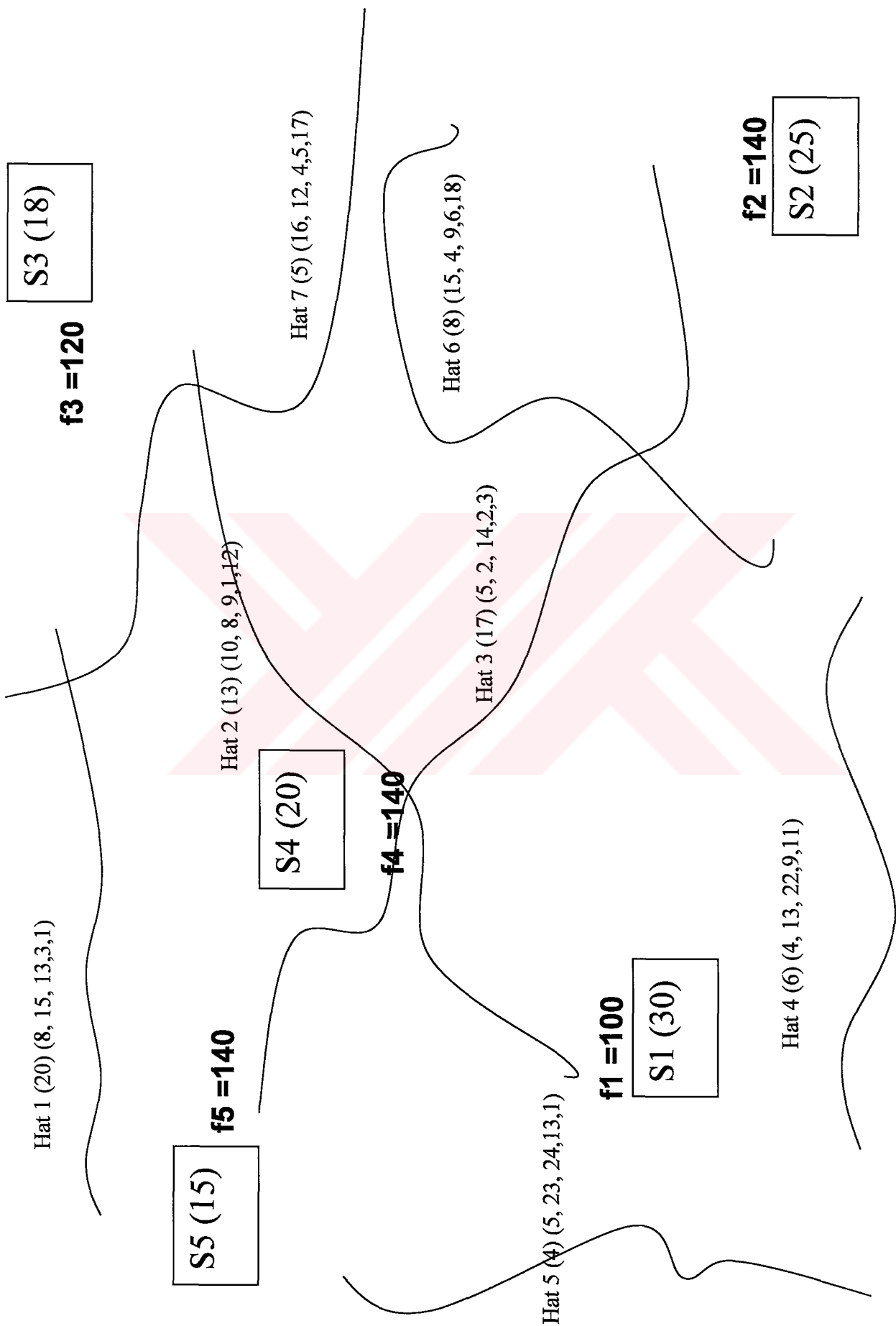
Tesis yerleşim probleminin çözümünde kullanılan modellerin daha iyi anlaşılabilmesi için örnek bir problem üzerinde uygulamalar yapılacaktır. Modellerin bu sisteme getirmiş oldukları çözümler değerlendirilecek ve sonuçlar yorumlanacaktır. Toplam 7 hattın ve 5 tesisin mevcut olduğunun varsayılacağı örnek sistem üzerinde alternatif uygulamalar yapılacaktır.

Örnek sistemde kullanılacak notasyonlar şu şekildedir;

- S** Her tesisin mevcut kapasitesini göstermektedir.
- F_i** Her tesisin sabit maliyetini göstermektedir.
- X_{ij}** i. hattan j. tesise olan uzaklığı göstermektedir.
- C_{ij}** i. hattan j. tesise birim ulaşım maliyetini göstermektedir.
- D** Her hatta olması gereken otobüs sayısını göstermektedir.

Şekil 2.1’de gösterilen hatlarda, hatların ihtiyaç duydukları otobüs sayıları ve hatların tesise olan uzaklıkları, hatların yanında parantez içerisinde gösterilmiştir. Örneğin, “Hat 1 (20) (8, 15, 13,3,1)” ifadesinden, 1. hattın ihtiyaç duyduğu otobüs sayısının 20, 1. tesise olan uzaklığının 8, 2. tesise olan uzaklığının 15, 3. tesise olan uzaklığının 13, 4. tesise olan uzaklığının 3 ve 5. tesise olan uzaklığının 1 br. olduğu anlaşılmalıdır. Ayrıca, hatların tesislere olan uzaklıkları, ilk durak uzaklığı ile son durak uzaklığının toplamı olarak varsayılmıştır. Yani, 1. hattın ilk durağının 1. tesise olan uzaklığı ile 1. hattın son durağının 1. tesise uzaklığının toplamı 8 br. olarak varsayılacaktır.

Şekil 2.1.: Örnek modelde hatların ve tesislerin yerleşimleri.



2.1.2. Temel Karışık Tamsayılı Programlama Modeli

Herhangi bir sayıdaki bağımsız değişkenlerin bir fonksiyonunu düşünelim. Değişkenler, matematiksel denklemler ya da eşitsizlikler biçiminde ifade edilen kısıtlayıcılara bağlı olsun. Bu fonksiyonun değişkenler üzerine konan kısıtlayıcıları bozmadan maksimum yada minimum değerini araştıran problemlere optimizasyon problemleri denir. (İç,2000)

Doğrusal programlama ise optimizasyon problemlerinin çözümü için bir araçtır. 1947’de George Dantzig doğrusal problemlerin çözümü için etkili bir yöntem olan simpleks algoritmasını geliştirmiştir. Simpleks algoritmasının geliştirilmesinden beri, doğrusal programlama pek çok değişik alandaki değişik problemlerin çözülmesi için kullanılmaktadır. 1952 yılında bu tür programların çözülebilmesi için bilgisayar programları hazırlanmıştır. bu da doğrusal programlamanın geniş çaplı problemlere uygulanabilmesini sağlamıştır. (Winston, 1994)

Genel olarak doğrusal programlama problemleri toplam miktarları kısıtlı olan çeşitli kaynaklardan, belirli amaçları gerçekleştirecek biçimde nasıl yararlanılabileceğini araştırır. Örneğin, hammadde temininde hangi müşteriye hangi depodan malzeme yollanacağına karar vermede, birçok kaynaktan en ekonomik karışımı saptamak üzere materyalleri seçmekte ve buna benzer birçok konuda doğrusal programlama yardımcı olur. Bir karar probleminde karar vericinin birden çok alternatifi ve bu alternatifleri aynı anda seçmesini engelleyecek sınırlayıcı bazı faktörler varsa doğrusal programlama kullanılabilir.

Karışık tamsayılı programlama ise doğrusal programlamanın değişkenlerin bir kısmının tamsayı olması kısıtını taşıyan şeklidir. Modelin matematiksel yapısı şu şekilde gösterilebilir: (İç, 2000)

$$\text{Maksimize : } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

$$\text{Kısıtlar : } a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

.. ..

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{m2n}x_n \leq b_m$$

$$x_1: 0 \text{ veya } 1, x_2: 0 \text{ veya } 1 \dots x_n \geq 0$$

Burada;

Z : Amaç fonksiyonudur. Problemin türüne göre maksimum veya minimum yapılması amaçlanmaktadır.

$x_1, x_2, \dots, x_n$: Karar değişkenleridir.

$c_1, c_2, \dots, c_n$: Karar değişkenlerinin, amaç fonksiyonuna etkilerini gösteren parametreleridir.

Toplu taşıma sistemlerinde tesis yerleşimi için kullanılan karışık tamsayılı programlama modeli ile en uygun tesis sayısının, bu tesislerin kullanılacak kapasitelerinin ve hatlardaki otobüslerin bu tesislere hangi sayıda atanması gerektiğinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

2.1.3. Tesis Yerleşiminde Karışık Tamsayılı Programlama Modeli

Tesis yerleşim problemlerinde karışık tamsayılı programlama yöntemi, ilk olarak Cooper'ın ambar ve depolar, ambulans merkezleri ve kontrol merkezleri üzerinde yaptığı çalışmalarda kullanılmıştır. (Cooper L. Location-allocation problems) Daha sonra, Ellwein'in (Ellwein L., Fixed Charged Location Allocation Problems with Capacity and Configuration Constraints), Gray'in (Gray P., Mixed Integer Programming Algorithm for Site Selection and Other Fixed Charged Problems) ve Jandy'nin (Jandy G., Approximate Algorithm for the Fixed Charge

Capacitated Site Location Problem) çalışmalarında en temel haliyle tesis yerleşiminde karışık tamsayılı programlama modeli aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir;

$$\text{Minimize} : Z = \sum_{ij} C_{ij} X_{ij} + \sum_j F_j Y_j \quad (2.1)$$

$$\text{Kısıtlar} : \sum_i X_{ij} \leq S \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2.2)$$

$$\sum_j X_{ij} = D_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.3)$$

$$\sum_i X_{ij} \leq S_j Y_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2.4)$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad (2.5)$$

$$Y_j = 0, 1 \text{ (tamsayı)} \quad (2.6)$$

Burada;

S Her tesisin mevcut kapasitesini göstermektedir.

F_i Her tesisin sabit maliyetini göstermektedir.

X_{ij} i. hattan j. tesise atanan otobüs sayısını göstermektedir.

C_{ij} i. hattan j. tesise birim ulaşım maliyetini göstermektedir.

D_i i. hatta olması gereken otobüs sayısını göstermektedir.

- ❖ Tesis yerleşim problemlerinde kullanılan karışık tamsayılı modelin amaç fonksiyonu (2.1), en temel halinde, toplam maliyeti minimize etmeyi amaçlamaktadır. Toplam maliyet, hatlardan tesislere giden otobüs sayısı, birim ulaşım maliyetleri (taşıma) ve hattın tesise uzaklıklarının çarpımı olan servis dışı

maliyet ile açık olan tesislerin sabit maliyetlerinin toplamıdır. Burada birim ulaşım maliyeti 1 br. olarak kabul edilmiştir ve dolayısıyla birim ulaşım maliyeti otobüs sayısı ile hattın tesise olan uzaklığının çarpımına eşit olmuştur.

- ❖ Sistemde bulunan her hattın, aynı tesise atanan otobüslerin sayısının toplamı, o tesisin kapasitesini aşmamalıdır. Kapasite kısıtı (2.2), modele bu nedenle eklenmiştir.
- ❖ Sistemdeki bir hattın tesislere atanan otobüs sayılarının toplamı, o hattın ihtiyaç duyduğu otobüs sayısına eşit olmalıdır. (2.3)
- ❖ Eğer bir tesise, herhangi bir hattın herhangi bir sayıda otobüsün atanması gerçekleştirilmiş ise, o tesisin sabit maliyeti toplam maliyet içerisinde yer almalıdır. Tesisin sabit maliyeti, ancak tesis hiç kullanılmıyacaksa 0 olacaktır. (2.4, 2.6)
- ❖ Hatlardan tesislere atanan otobüs sayıları negatif değer alamazlar. Bu nedenle sıfır veya pozitif değer almalıdırlar. (2.5)

Tesis yerleşim problemlerinde karışık tamsayılı programlama modelinin kullanılması en iyi (optimum) sonucu garanti etmektedir. Örnek sistemimizin karışık tamsayılı programlama modeliyle modellenmesi ve çözümü, aşağıdaki şekilde olacaktır;

$$\text{Minimize } Z = 8 * x_{11} + 15 * x_{12} + 13 * x_{13} + 3 * x_{14} + 1 * x_{15} + 10 * x_{21} + 8 * x_{22} + 9 * x_{23} + 1 * x_{24} + 12 * x_{25} + 5 * x_{31} + 2 * x_{32} + 14 * x_{33} + 2 * x_{34} + 3 * x_{35} + 4 * x_{41} + 13 * x_{42} + 22 * x_{43} + 9 * x_{44} + 11 * x_{45} + 5 * x_{51} + 23 * x_{52} + 24 * x_{53} + 13 * x_{54} + 1 * x_{55} + 15 * x_{61} + 4 * x_{62} + 9 * x_{63} + 6 * x_{64} + 18 * x_{65} + 16 * x_{71} + 12 * x_{72} + 4 * x_{73} + 5 * x_{74} + 17 * x_{75} + 100 * Y_1 + 140 * Y_2 + 120 * Y_3 + 140 * Y_4 + 140 * Y_5;$$

Kısıtlar:

$$\begin{aligned} x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} + x_{61} + x_{71} &\leq 30; \\ x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} + x_{62} + x_{72} &\leq 25; \\ x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} + x_{53} + x_{63} + x_{73} &\leq 18; \\ x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} + x_{54} + x_{64} + x_{74} &\leq 20; \\ x_{15} + x_{25} + x_{35} + x_{45} + x_{55} + x_{65} + x_{75} &\leq 15; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} &= 20; \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} &= 13; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} &= 17; \\
x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} + x_{45} &= 6; \\
x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} + x_{55} &= 4; \\
x_{61} + x_{62} + x_{63} + x_{64} + x_{65} &= 8; \\
x_{71} + x_{72} + x_{73} + x_{74} + x_{75} &= 5;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} + x_{61} + x_{71} &\leq 30 \cdot Y_1; \\
x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} + x_{62} + x_{72} &\leq 25 \cdot Y_2; \\
x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} + x_{53} + x_{63} + x_{73} &\leq 18 \cdot Y_3; \\
x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} + x_{54} + x_{64} + x_{74} &\leq 20 \cdot Y_4; \\
x_{15} + x_{25} + x_{35} + x_{45} + x_{55} + x_{65} + x_{75} &\leq 15 \cdot Y_5;
\end{aligned}$$

$$X_{ij} \geq 0$$

$$Y_i = 0, 1 \text{ (tamsayı)}$$

Modelin çözülmesiyle elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

$$Z = 678 \text{ br.}$$

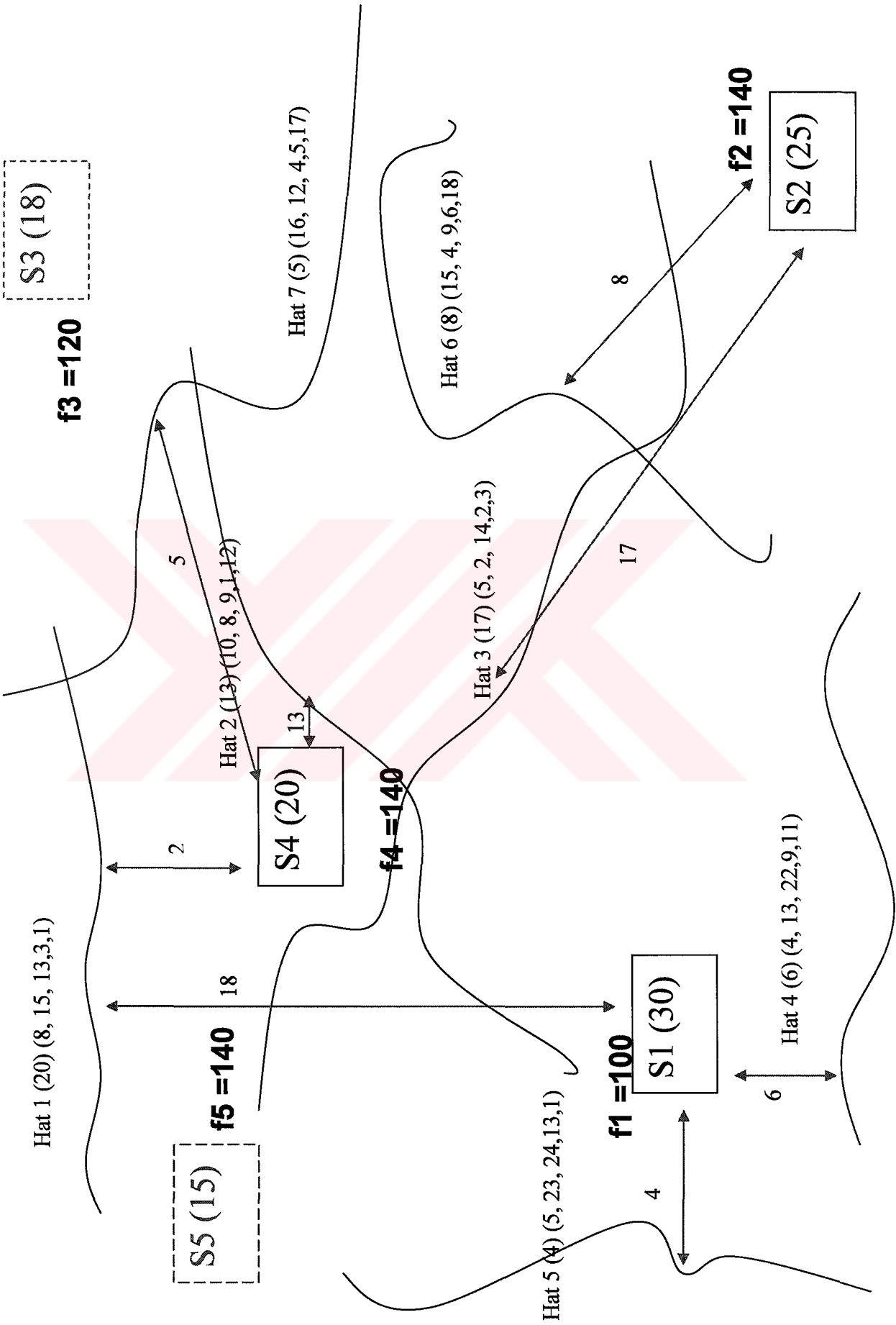
$$x_{11} = 18, x_{14} = 2, x_{24} = 13, x_{32} = 17, x_{41} = 6, x_{51} = 4, x_{62} = 8, x_{74} = 5 \text{ ve}$$

$$Y_1 = Y_2 = Y_4 = 1.$$

Sonuçlardan da görüleceği üzere, tesislerden 1, 2 ve 4 numaralı tesislerin sistemde kullanılması gerekirken, 3 ve 5 numaralı tesisler kullanılmayacaklardır. Dolayısıyla toplam maliyet hesaplanırken bu tesislerin sabit maliyetleri, toplam maliyet içerisinde yer almayacaktır.

Bu bölümden itibaren, literatürde yer alan bazı tesis yerleşim modelleri anlatılacak ve yine örnek sistem üzerinde çözümler gerçekleştirilerek, sonuçlar yorumlanacaktır.

Şekil 2.2.: Örnek modelin karışık tamsayılı programlama modeliyle çözülmesiyle gerçekleşen tesis yerleşimleri.



2.1.4. Tesis Yerleşiminde Khumawala'nın Delta (∇) ve Omega (Ω) Sezgiselleri

Tesis yerleşim problemlerinin karışık tamsayılı programlama ile modellenmesinde, sisteme eklenecek her yeni değişken, işlem süresini ve iterasyon sayısını üstsel olarak artırmaktadır. Örnek sistemimizde, modelde sadece ilk 3 tesis mevcutken optimum sonuca 10 iterasyonda ulaşılırken, sisteme 4. ve 5. tesislerin eklenmesi, optimum sonuca ulaşmak için gereken iterasyon sayısının 89'a çıkmasına neden olmuştur. Dolayısıyla, her iterasyonda onlarca işlemin yapılması ve problemlerdeki değişken sayılarının arttıkça işlem sayısının üstsel olarak artması, çözümü daha kolay olan sezgisel modellerin geliştirilmesini teşvik etmiştir. Ayrıca sezgisel modellerin geliştirilmesinin bir başka nedeni de, tesis yerleşiminin önemli bir yönetim ve işletme problemi olmasıdır. Çünkü yönetimler, tek en iyi sonucu elde etmek yerine, en iyi sonuca yakın, diğer alternatif çözümleri de göz önünde bulundurmak isterler. (Khumawala, 1974)

Khumawala'nın geliştirmiş olduğu sezgisel model, en temel haliyle, dal-sınır algoritmasının düğüm noktalarında her tesisin var olduğunu kabul etmekte, ve bu tesisler için seçilmiş yolun belirlenmesini amaçlamaktadır. Khumawala sezgiseli, her tesis için, i. tesis mevcut iken modelin optimum sonucunun, i. tesis modelden çıkarıldığında elde edilen sonuç ile farkını, i. tesisin sabit maliyeti ile kıyaslar. Eğer bu fark, sabit maliyetten büyük ise i. tesis çözümde yer almalıdır, sabit maliyetten küçük ise i. tesis çözümde yer almamalıdır.

$$\nabla V_i = V_{\text{Min}} - V_{\text{Min}_i} \quad (2.7)$$

Burada;

V_{Min_i} i. tesis sistemde mevcut iken sistemin toplam maliyetini göstermektedir.

V_{Min} i. tesis sistemde mevcut değil iken sistemin toplam maliyetini göstermektedir.

Eğer ∇V_i i. tesisin sabit maliyetinden büyük ise i. tesis sistemde yer almalıdır.

$$(\nabla V_i \geq F_i \Rightarrow Y_i = 1)$$

Eğer ∇V_i i. tesisin sabit maliyetinden küçük ise i. tesis sistemde yer almamalıdır.

$$(\nabla V_i \leq F_i \Rightarrow Y_i = 0)$$

Ancak, buradan da görüleceği üzere, her tesis için ∇V_i 'nin hesaplanması, $(m+1)$ adet çözüm gerektirmektedir. Bu nedenle, hesaplanması ∇V_i 'den daha kolay olan ve ∇V_i ile benzer sonuç verecek olan $LB\nabla V_i$, Khumawala'nın modelinde kullanılmaktadır. ∇V_i 'ye benzer şekilde $LB\nabla V_i$, i. tesisin sabit maliyeti olan F_i 'den büyük ise, i. tesis sistemde yer almalıdır. ($LB\nabla V_i \geq F_i \Rightarrow Y_i = 1$).

$$LB\nabla V_i = \text{maksimize} \sum \nabla_{ij} D_j \quad (2.8)$$

$$\text{s.t.} \sum D_j \leq S_i \quad (2.9)$$

Khumawala sezgiselinde, $LB\nabla V_i$, (2.8) ve (2.9)'da verilen modelin çözülmesiyle elde edilmektedir. Modelde yer alabilecek alternatif tesisler, 3 küme içerisinde ifade edilmektedir. Bu kümeler; K_0 , K_1 ve K_2 kümeleridir. K_0 , sistemin çözümünde yer almayacak, yani kapalı olan tesisler kümesini; K_1 , sistemin çözümünde yer alacak, yani açık olan tesislerin kümesini; ve K_2 ise çözümde yer alabilecek ancak henüz açık veya kapalı olmasına karar verilmeyen tesisler kümesini ifade etmektedir. Modelde kullanılan ∇_{ij} , aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır;

$$\nabla_{ij} = \min [\max (C_{kj} - C_{ij}, 0)] \quad k \in k_1 \cup k_2, k \neq i \quad (2.10)$$

Her tesis için $LB\nabla V_i$ 'nin hesaplanmasının ardından her $LB\nabla V_i$ 'nin aşağıdaki dört kategoriden birine düşmesi beklenmektedir;

- a) $LB\nabla V_i \geq F_i$ ve i. tesisin kapasitesi aşılmıştır.
- b) $LB\nabla V_i < F_i$ ve i. tesisin kapasitesi aşılmıştır.
- c) $LB\nabla V_i \geq F_i$ ve i. tesisin kapasitesi aşılmamıştır.
- d) $LB\nabla V_i < F_i$ ve i. tesisin kapasitesi aşılmamıştır.

$LB\nabla V_i$ 'nin hesaplanmasının ardından, (a) ve (c) koşullarını sağlayan tesisler açık olacaklardır. Bu kategorilere düşen tesisler ve talepleri modelden çıkarılarak yeniden

kalan tesisler için $LB\forall V_i$ hesaplanacaktır. (a) kategorisine en az bir tesis düştüğü sürece işlemler tekrar edilecektir.

Hiçbir $LB\forall V_i$ 'nin (a) kategorisine düşmediği ancak en az bir tesisin (b) kategorisine düştüğü durumda ise, (b) ve (c) kategorisine düşen tesisler ve talepleri modelden çıkarılarak yeniden kalan tesisler için $LB\forall V_i$ hesaplanacaktır. İşlemler, yukarıdaki koşullar sağlanana kadar devam edecektir.

Hiçbir $LB\forall V_i$ 'nin (a) ve (b) kategorisine düşmediği durumda, söz konusu tesisler kapalı kalacaklardır. Ancak, tesisler için aşağıdaki omega (Ω) hesaplamaları söz konusudur;

$$\Omega_i' = Z_T(K_1) - Z_T(K_1 \cup \{i\}) \quad (2.11)$$

Burada;

$Z_T(K_1)$ i. tesis sistemde mevcut değil iken sistemin toplam maliyetini göstermektedir.

$Z_T(K_1 \cup \{i\})$ i. tesis sistemde mevcut iken sistemin toplam maliyetini göstermektedir.

Eğer Ω_i' , i. tesisin sabit maliyetinden büyük ise i. tesis sistemde yer almalıdır.

$$(\Omega_i' \geq F_i \Rightarrow Y_i = 1)$$

Eğer Ω_i' , i. tesisin sabit maliyetinden küçük ise i. tesis sistemde yer almamalıdır.

$$(\Omega_i' \leq F_i \Rightarrow Y_i = 0)$$

Ancak, buradan da görüleceği üzere, her tesis için Ω_i' 'nin hesaplanması, (m+1) adet çözüm gerektirmektedir. Bu nedenle, hesaplanması Ω_i' 'den daha kolay olan ve Ω_i' ile benzer sonuç verecek olan $UB\Omega_i'$, Khumawala'nın modelinde kullanılmaktadır. Ω_i' ye benzer şekilde $UB\Omega_i'$, i. tesisin sabit maliyeti olan F_i 'den büyük ise, i. tesis sistemde yer almalıdır. ($UB\Omega_i' \geq F_i \Rightarrow Y_i = 1$).

$$UB\Omega_i' = \text{maksimize} \sum w_{ij} D_j \quad (2.12)$$

$$\text{s.t. } \sum D_j \leq S_i \quad (2.13)$$

$$w_{ij} = \max [\max (C_{kj} - C_{ij}, 0)] \quad k \in k_1 \cup k_2, k \neq i \quad (2.14)$$

$UB\Omega_i$ 'nin F_i 'den küçük olmasıyla i. tesis kapalı olarak kalır ve problemin çözümü elde edilmiş olur. Ancak unutulmamalıdır ki, Khumawala'nın modelleri sezgisel olduğundan, optimal çözümde bulunmayan bir tesis, bu modelde açık olarak bulunabilir. (Khumawala, 1974)

Burada, Khumawala sezgiseli örnek sistem üzerinde uygulanacak ve sonuçlar değerlendirilecektir.

Tablo 2.1. Örnek sistemin hatları ile tesislerinin uzaklıkları

Tesisler	Sabit Maliyet	HATLAR							Kapasite
		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	
T1	100	8	10	5	4	5	15	16	30
T2	140	15	8	2	13	23	4	12	25
T3	120	13	9	14	22	24	9	4	18
T4	140	3	1	4	9	13	6	5	20
T5	140	1	12	3	11	1	18	17	15
OTOBÜS SAYISI		20	13	17	6	4	8	5	

Sistemde tesisler için $LB\nabla V_i$ 'nin hesaplanması için ilk önce ∇_{ij} 'lerin hesaplanması gerekmektedir. Başlangıçta bütün tesisler K_2 kümesindedirler;

$$K_0 = \emptyset, K_1 = \emptyset \text{ ve } K_2 = \{T1, T2, T3, T4, T5\}$$

$$\nabla_{14} = 5$$

$$\nabla_{23} = 1, \nabla_{26} = 2$$

$$\nabla_{37} = 1$$

$$\nabla_{42} = 7$$

$$\nabla_{51} = 2, \nabla_{55} = 4$$

Bu ∇_{ij} değerlerine göre

$$LB\nabla V_i = \text{maksimize } \sum \nabla_{ij} D_j \quad (2.8)$$

$$\text{s.t. } \sum D_j \leq S_i \quad (2.9)$$

koşullarını sağlayan $LB\nabla V_i$ 'ler aşağıda hesaplanmıştır;

$$LB\nabla V_1 = 5*6 = 30$$

$$LB\nabla V_2 = 1*17 + 2*8 = 33$$

$$LB\nabla V_3 = 1*5 = 5$$

$$LB\nabla V_4 = 7*13 = 91$$

$$LB\nabla V_5 = 2*11 + 4*4 = 38$$

Hiçbir $LB\nabla V_i$ i. tesisin sabit maliyetinden büyük değildir. Dolayısıyla (a) kategorisine düşen $LB\nabla V_i$ olmadığından, (b) kategorisine düşen $LB\nabla V_i$ olup olmadığına bakılmalıdır. 5. tesisin kapasitesi 15 iken 1. ve 5. hatların bu tesise atanmasıyla 5. tesisin kapasitesi aşılmıştır. Ayrıca, 2. tesisin de kapasitesi 25'tir ve 3. ile 6. hatların bu tesise atanmalarıyla 2. tesisin de kapasitesi dolmuştur. Bu hatlardaki otobüsler, (2.8) ve (2.9) denklemlerini sağlayacak şekilde bu tesislere atanırlar. Dolayısıyla, tesislerin yer aldığı kümeler;

$$K_0 = \emptyset, K_1 = \{T2, T5\} \text{ ve } K_2 = \{T1, T3, T4\}$$

şeklini almıştır. Bu tesisler sistemden çıkarılarak oluşturulan yeni sistem şu şekilde olacaktır;

Tablo 2.2. Örnek sistemin atanmamış hatları ile 1. , 3. ve 4. tesislere olan uzaklıkları

Tesisler	Sabit Maliyet	HATLAR				Kapasite
		H1	H2	H4	H7	
T1	100	8	10	4	16	30
T3	120	13	9	22	4	18
T4	140	3	1	9	5	20
OTOBÜS SAYISI		9	13	6	5	

$$\nabla_{14} = 5$$

$$\nabla_{37} = 1$$

$$\nabla_{41} = 5, \nabla_{42} = 8$$

Bu ∇_{ij} değerlerine göre

$$LB\nabla V_i = \text{maksimize } \sum \nabla_{ij} D_j \quad (2.8)$$

$$\text{s.t. } \sum D_j \leq S_i \quad (2.9)$$

koşullarını sağlayan $LB\nabla V_i$ 'ler aşağıda hesaplanmıştır;

$$LB\nabla V_1 = 5*6 = 30$$

$$LB\nabla V_3 = 1*5 = 5$$

$$LB\nabla V_4 = 9*5 + 8*13 = 149$$

Sadece 4. tesis (a) kategorisinde yer aldığından, bu tesis de açık hale getirilmelidir. Dolayısıyla, tesislerin yer aldığı kümeler;

$$K_0 = \emptyset, K_1 = \{T2, T5, T4\} \text{ ve } K_2 = \{T1, T3\}$$

şeklini almıştır. Bu tesis sistemden çıkarılarak oluşturulan yeni sistem şu şekilde olacaktır;

Tablo 2.3. Örnek sistemin atanmamış hatları ile 1. ve 3. tesislere olan uzaklıkları

Tesisler	Sabit Maliyet	HATLAR			Kapasite
		H1	H4	H7	
T1	100	8	4	16	30
T3	120	13	22	4	18
OTOBÜS SAYISI		2	6	5	

$$\nabla_{11} = 5, \quad \nabla_{14} = 18$$

$$\nabla_{37} = 12$$

Bu ∇_{ij} değerlerine göre

$$LB\nabla V_i = \text{maksimize} \sum \nabla_{ij} D_j \quad (2.8)$$

$$\text{s.t.} \sum D_j \leq S_i \quad (2.9)$$

koşullarını sağlayan $LB\nabla V_i$ 'ler aşağıda hesaplanmıştır;

$$LB\nabla V_1 = 5*2 + 18*6 = 108$$

$$LB\nabla V_3 = 12*5 = 60$$

1. tesis (a) kategorisinde yer aldığından, bu tesis de açık hale getirilmelidir.

Dolayısıyla, tesislerin yer aldığı kümeler;

$$K_0 = \emptyset, \quad K_1 = \{T2, T5, T4, T1\} \text{ ve } K_2 = \{T3\}$$

şeklini almıştır. Kapalı halde K_2 kümesinde yer alan 3. tesis için $UB\Omega_i$ 'nin hesaplanması gerekmektedir.

$$w_{ij} = \max [\max (C_{kj} - C_{ij}, 0)] \quad k \in k_1 \cup k_2, k \neq i \quad (2.14)$$

$$w_{31} = 2, w_{32} = 3, w_{36} = 6 \text{ ve } w_{37} = 1$$

Bu w_{ij} değerlerine göre

$$UB\Omega_i' = \text{maksimize } \sum wijDj \quad (2.12)$$

$$\text{s.t. } \sum Dj \leq Si \quad (2.13)$$

koşullarını sağlayan $UB\Omega_3' = 6*8 + 3*10 = 78$

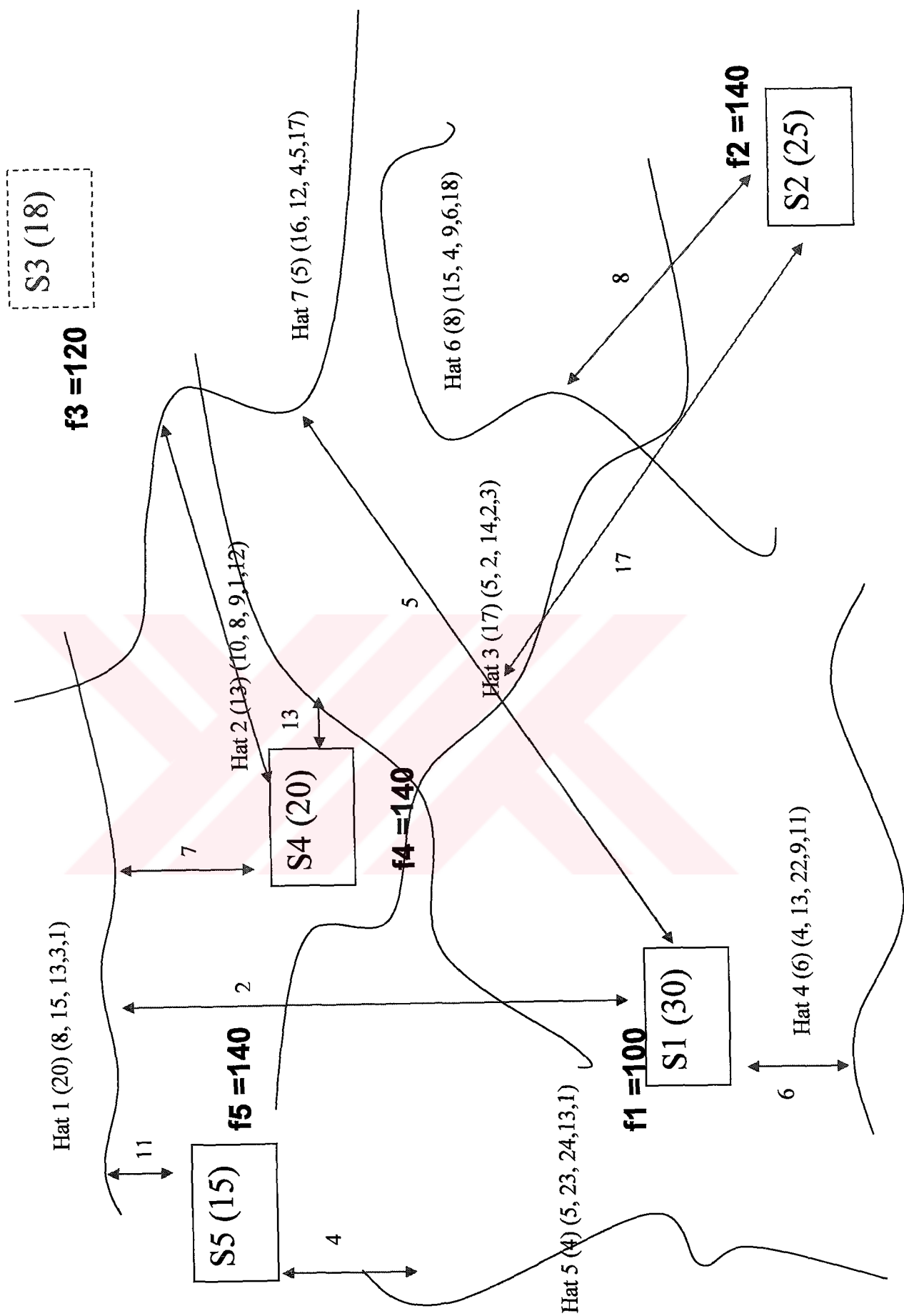
$UB\Omega_3'$ 3. tesisin sabit maliyetinden daha az olduğundan 3. tesis kapalı kalmalıdır. Dolayısıyla problemin sonucunda;

$K_0 = \{T3\}$, $K_1 = \{T2, T5, T4, T1\}$ ve $K_2 = \emptyset$ setleri oluşmaktadır. Problemin sonucunda;

1. tesise 1. hattan 2, 4. hattan 6 ve 7. hattan 5 otobüs,
2. tesise 3. hattan 17 ve 6. hattan 8 otobüs,
4. tesise 1. hattan 7 ve 2. hattan 13 otobüs ve
5. tesise 1. hattan 11 ve 5. hattan 4 otobüs ataması gerçekleşecektir.

Toplam maliyet ise 755 br. olacaktır. Görüleceği üzere optimum çözümde yer almayan 5. tesis, bu sezgiselde yer almaktadır. Toplam maliyette $755 - 678 = 77$ br. lik bir artış söz konusudur. 5. tesisin sabit maliyeti 140 br. olduğundan, sistem içerisinde toplam kat edilen yol uzunluğu 63 br. azalmıştır. Daha önce de bahsedildiği gibi, bu tür sezgisel yöntemlerle alternatif çözümlerin saptanması, işletmeler açısından çok önemli olmaktadır. (Khumawala, 1974) Örneğin, 5. tesisin sisteme getirmiş olduğu 63 br. lik ek maliyete rağmen, bu tesisin bazı kaynaklara yakınlığı, hizmet kalitesi veya stratejik önemi gibi çeşitli nedenler ile açık kalması istenilebilir. Ayrıca, 1. tesise atanan otobüslerin sayısındaki azalma nedeniyle, bu tesiste yapılacak kapasite indirimi nedeniyle sağlanacak tasarruflar da söz konusu olabilir.

Şekil 2.3.: Örnek modelin Khumawala sezgiseliyle çözülmesiyle gerçekleşen tesis yerleşimleri.



2.1.5. Tesis Yerleşiminde Değişen Tesis Sayılı Karışık Tamsayılı Model

Tesis yerleşim problemlerinin çözümünde, amaç fonksiyonu genelde servis dışı maliyet ile tesislerin sabit maliyetlerini minimize etmeyi amaçlamaktadır. Bu yaklaşımlar, gün içerisinde her hatta atanan otobüs sayısının belirli olduğunu ve gün içerisinde bu dağılımın eşit şekilde yapıldığını varsayarlar. Ancak, her yerleşim biriminde, toplu taşıma sistemlerinde ihtiyaç duyulan otobüs sayısı, günün her saatinde aynı değildir. Özellikle sabah ve akşam belirli saatlerde bu ihtiyaç, normal zamanlardaki ihtiyaçtan çok daha fazla olmaktadır. Özellikle büyük şehirlerde bu durumun gözardı edilmesi, amaç fonksiyonunda önemli farklar yaratmaktadır.

Ball ve arkadaşlarının geliştirdiği bir yaklaşım ile sabah saatlerinde (AM), akşam saatlerinde (PM) ve günün normal zamanlarındaki otobüs ihtiyaçları da, modele dahil edilmiştir. (Ball, 1984) Bununla beraber, tesislere atanan her otobüsün, tesisler için değişken bir maliyet oluşturduğunu ve bunun da modele dahil edilmesi gerektiği belirtilerek, bu değişken maliyetlerde yine modele dahil edilmiştir.

Ball ve arkadaşlarının geliştirmiş olduğu tesis yerleşim modeli temel olarak aşağıdaki gibi modellenmektedir;

$$\text{Minimize } Z = \sum_{j=1}^n (B_j y_j + b_j z_j + b_j z_j^d) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (c_{ij}^a x_{ij}^a + c_{ij}^p x_{ij}^p + c_{ij}^d x_{ij}^d) \quad (2.14)$$

$$\text{Kısıtlar : } y_j N_j \leq z_j + z_j^d \leq y_j M_j \quad (2.15)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij}^a + w_j^a = z_j \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (2.16)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij}^p + w_j^p = z_j \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (2.17)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij}^d = z_j^d \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (2.18)$$

$$z_j \leq f z_j^d \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (2.19)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij}^a = A_i \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (2.20)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij}^p = P_i \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (2.21)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij}^d = D_i \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (2.22)$$

$$x_{ij}^a, x_{ij}^p, x_{ij}^d \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad (i=1,2,\dots,m), \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (2.23)$$

$$\sum_{j=1}^n y_j = T \quad (2.24)$$

Modelde kullanılan notasyonlar şu şekildedir;

N_j j. tesisin minimum kapasitesi

M_j j. tesisin maksimum kapasitesi

B_j j. tesisin sabit maliyeti

b_j j. tesise atanan her otobüs için birim maliyet

D_i i. hattın normal zamanlardaki otobüs ihtiyacı

A_i i. hattın sabah en yoğun durumundaki ihtiyaç duyduğu maksimum araç sayısı

P_i i. hattın akşam en yoğun durumundaki ihtiyaç duyduğu maksimum araç sayısı

c_{ij}^a i. hattan j. tesise sabah en yoğun durumda birim otobüs atanma maliyeti

c_{ij}^p i. hattan j. tesise akşam en yoğun durumda birim otobüs atanma maliyeti

c_{ij}^d i. hattan j. tesise normal zamanlarda birim otobüs atanma maliyeti

z_j j. tesise sabah veya akşam en yoğun durumda atanan araç sayısı

z_j^d j. tesise normal zamanlarda atanan araç sayısı

w_j^a j. tesiste sabah en yoğun durumda kullanılmayan araç kapasitesi

w_j^p j. tesiste akşam en yoğun durumda kullanılmayan araç kapasitesi

x_{ij}^a i. hattan j. tesise sabah en yoğun durumda atanan araç sayısı

x_{ij}^p i. hattan j. tesise akşam en yoğun durumda atanan araç sayısı

x_{ij}^d i. hattan j. tesise normal zamanlarda atanan araç sayısı

Amaç fonksiyonu (2.14), tesis maliyetleri ve hatlardan tesislere atanacak otobüslerin maliyetlerinden oluşmaktadır. Amaç fonksiyonundaki ilk toplamda, j. tesisin kullanıldığı durumdaki sabit maliyeti, j. tesise atanan en yoğun durumlardaki ve normal zamanlardaki otobüs sayısı ve bunun maliyeti yer almaktadır.

(2.15)'deki kullanım kısıtı ile, ancak j. tesis kullanılacak ise amaç fonksiyonunda maliyetlerin oluşması sağlanmıştır. Ayrıca her tesisin minimum ve maksimum kapasitesinin arasında bir otobüs sayısı, bu tesise atanmalıdır. Bu durumda, j. tesis kullanılacak ise $y_j = 1$ değerini alacak, kullanılmayacak ise $y_j = 0$ değerini alacak ve bu durumda bu kısıt j. tesise atanacak otobüs sayısının 0 olmasını sağlayacaktır.

Kısıtlardan (2.16), (2.17) ve (2.18), z_j , z_j^d , w_j^a ve w_j^p değişkenlerinin x_{ij} cinsinden tanımlanmalarını sağlamaktadır. Bu kısıtlar, belirli zamanlarda hatlardan j. tesise atanan otobüs sayısı ile o tesisin kullanılmayan kapasitesinin toplamının, j. tesise atanan toplam otobüs sayısına eşit olması koşulunu yerine getirmektedirler. Kullanılmayan kapasitenin 0 olması istendiğinden, genelde optimum çözümde w_j^a ve w_j^p en az biri veya her ikisi birden 0 değerini almaktadır.

Kısıtlardan (2.20), (2.21) ve (2.22), hatlar için yoğun durumlar ve normal zamanlar için yeterli miktarda otobüsün tesislere atanma koşulunu yerine getirmektedir.

Kısıt (2.19), yoğun durumlar ile normal zamanlardaki otobüs sayıları arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir. Buradaki f katsayısı yoğun durumlardaki otobüs sayısının, normal zamanlardaki ihtiyaçtan ne kadar fazla olması gerektiğini simgelemektedir. Örneğin $f=1,5$ seçildiğinde, yoğun durumlardaki otobüs sayısının, normal zamandaki sayının %50'sinden daha fazla olamayacağını belirtmektedir.

Problemin çözümünde kullanılması istenilen tesis sayısı T , kısıt (2.24) ile belirlenmektedir. Bu nedenle mümkün T değerleri için model tekrar tekrar çözülür ve sistem için en iyi çözüm veya arzu edilen en iyi çözüme yakın alternatif çözümlerden biri seçilir. Bununla beraber, mümkün T değerleri haricinde sisteme eklenebilecek olan

başka tesis var ise, bu tesis de modele katılarak sonuçlar yorumlanır. Eğer, sisteme sonradan eklenen k. tesis, çözümde iyileştirme sağlıyor ise mevcut çözümde yer alır, çözümde herhangi bir iyileşme sağlamıyor ise çözümde yer almaz. Ball ve arkadaşlarının geliştirmiş oldukları model, en temel halinde bu şekilde bir çözümü öngörmektedir.(Ball, 1984)

Bu modelin örnek sisteme uyarlanması ve sistemdeki varsayımlar aşağıda açıklanmıştır.

- ❖ Örnek sistemde normal zamanların yanında sabah ve akşam saatlerinde yoğun durumlarda, hatlara daha fazla otobüs atanması sağlanmıştır. Sabah (AM) ve akşam (PM) saatlerinde normal ihtiyaçtan %50 fazla olacak şekilde otobüs sayısının artırılması söz konusudur.
- ❖ Örnek sistemde normal zamanlarda birim ulaşım maliyeti 1 br. olarak kabul edilmişti. Bu modelimizde, yoğun durumlar için atanan otobüsler için birim ulaşım maliyeti 2 br. olarak kabul edilecektir.
- ❖ Örnek sistemde tesisler için sabit maliyetlerin yanında (B_i), tesise atanan her otobüs için birim maliyetlerin de (b_i) olduğu kabul edilecektir. Bu maliyetlerin, tesisler için sırasıyla 1, 1, 1, 2 ve 2 br. oldukları kabul edilecektir.
- ❖ Sabah ve akşam saatlerinde yoğun durumlarda duyulan otobüs sayısı ihtiyacı, birbirine eşit kabul edilecektir. Dolayısıyla her hat için sabah ve akşam saatlerinde yoğun durumlarda duyulan otobüs sayısı ihtiyacı, normal zamanlardaki ihtiyacın %50 fazlası olarak kabul edilecektir.
- ❖ Sistemin çözümünün ardından, alternatif bir tesisin olduğu (6. tesis, S6) kabul edilecek, modele bu tesisin eklenebilme ihtimali üzerinde durulacaktır.

Sistemin modellenmesi şu şekildedir;

$$\text{Minimize } Z = \sum_{j=1}^n (B_j Y_j + b_j z_j + b_j z_j^d) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (c_{ij}^a x_{ij}^a + c_{ij}^d x_{ij}^d) \quad (2.25)$$

$$\text{Kısıtlar : } \sum_{i=1}^m x_{ij}^a + x_{ij}^d \leq S_j Y_j \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (2.26)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij}^a = D_j^a \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (2.27)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij}^d = D_j^d \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (2.28)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij}^a = z_j \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (2.29)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij}^d = z_j^d \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (2.30)$$

$$x_{ij}^a \leq f x_{ij}^d \quad (i=1,2,\dots,m) , \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (2.31)$$

$$\sum_{j=1}^n Y_j = T \quad (2.32)$$

$$x_{ij}^a, x_{ij}^d \geq 0 \text{ ve tamsayı } (i=1,2,\dots,m) , \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (2.33)$$

$$Y_j = 0, 1 \text{ Tamsayı} \quad (2.34)$$

Modelimizin açık halde yazımı ise şu şekilde olacaktır;

$$\begin{aligned} \text{MIN} = & 8 * x_{11} + 15 * x_{12} + 13 * x_{13} + 3 * x_{14} + 1 * x_{15} + 10 * x_{21} + 8 * x_{22} + 9 * x_{23} + \\ & 1 * x_{24} + 12 * x_{25} + 5 * x_{31} + 2 * x_{32} + 14 * x_{33} + 2 * x_{34} + 3 * x_{35} + 4 * x_{41} + 13 * x_{42} \\ & + 22 * x_{43} + 9 * x_{44} + 11 * x_{45} + 5 * x_{51} + 23 * x_{52} + 24 * x_{53} + 13 * x_{54} + 1 * x_{55} + 15 * \\ & x_{61} + 4 * x_{62} + 9 * x_{63} + 6 * x_{64} + 18 * x_{65} + 16 * x_{71} + 12 * x_{72} + 4 * x_{73} + 5 * x_{74} + \\ & 17 * x_{75} + 100 * g_1 + 140 * g_2 + 120 * g_3 + 140 * g_4 + 140 * g_5 + z_1 + z_2 + z_3 + z_4 + z_5 + \\ & 2 * 8 * x_{11a} + 2 * 15 * x_{12a} + 2 * 13 * x_{13a} + 2 * 3 * x_{14a} + 2 * 1 * x_{15a} + 2 * 10 * x_{21a} + 2 * 8 \\ & * x_{22a} + 2 * 9 * x_{23a} + 2 * 1 * x_{24a} + 2 * 12 * x_{25a} + 2 * 5 * x_{31a} + 2 * 2 * x_{32a} + 2 * 14 * x_{33a} \\ & + 2 * 2 * x_{34a} + 2 * 3 * x_{35a} + 2 * 4 * x_{41a} + 2 * 13 * x_{42a} + 2 * 22 * x_{43a} + 2 * 9 * x_{44a} + \\ & 2 * 11 * x_{45a} + 2 * 5 * x_{51a} + 2 * 23 * x_{52a} + 2 * 24 * x_{53a} + 2 * 13 * x_{54a} + 2 * 1 * x_{55a} + \\ & 2 * 15 * x_{61a} + 2 * 4 * x_{62a} + 2 * 9 * x_{63a} + 2 * 6 * x_{64a} + 2 * 18 * x_{65a} + 2 * 16 * x_{71a} + 2 * 12 \\ & * x_{72a} + 2 * 4 * x_{73a} + 2 * 5 * x_{74a} + 2 * 17 * x_{75a} + z_1^d + z_2^d + z_3^d + 2 * z_4^d + 2 * z_5^d \end{aligned}$$

Kısıtlar

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} + x_{61} + x_{71} + x_{11a} + x_{21a} + x_{31a} + x_{41a} + x_{51a} + x_{61a} + x_{71a} \leq 45 \cdot g_1;$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} + x_{62} + x_{72} + x_{12a} + x_{22a} + x_{32a} + x_{42a} + x_{52a} + x_{62a} + x_{72a} \leq 38 \cdot g_2;$$

$$x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} + x_{53} + x_{63} + x_{73} + x_{13a} + x_{23a} + x_{33a} + x_{43a} + x_{53a} + x_{63a} + x_{73a} \leq 27 \cdot g_3;$$

$$x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} + x_{54} + x_{64} + x_{74} + x_{14a} + x_{24a} + x_{34a} + x_{44a} + x_{54a} + x_{64a} + x_{74a} \leq 30 \cdot g_4;$$

$$x_{15} + x_{25} + x_{35} + x_{45} + x_{55} + x_{65} + x_{75} + x_{15a} + x_{25a} + x_{35a} + x_{45a} + x_{55a} + x_{65a} + x_{75a} \leq 23 \cdot g_5;$$

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} = 20;$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} = 13;$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} = 17;$$

$$x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} + x_{45} = 6;$$

$$x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} + x_{55} = 4;$$

$$x_{61} + x_{62} + x_{63} + x_{64} + x_{65} = 8;$$

$$x_{71} + x_{72} + x_{73} + x_{74} + x_{75} = 5;$$

$$x_{11a} + x_{12a} + x_{13a} + x_{14a} + x_{15a} = 10;$$

$$x_{21a} + x_{22a} + x_{23a} + x_{24a} + x_{25a} = 7;$$

$$x_{31a} + x_{32a} + x_{33a} + x_{34a} + x_{35a} = 9;$$

$$x_{41a} + x_{42a} + x_{43a} + x_{44a} + x_{45a} = 3;$$

$$x_{51a} + x_{52a} + x_{53a} + x_{54a} + x_{55a} = 2;$$

$$x_{61a} + x_{62a} + x_{63a} + x_{64a} + x_{65a} = 4;$$

$$x_{71a} + x_{72a} + x_{73a} + x_{74a} + x_{75a} = 3;$$

$$z_1 = x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} + x_{61} + x_{71};$$

$$z_2 = x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} + x_{62} + x_{72};$$

$$z_3 = x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} + x_{53} + x_{63} + x_{73};$$

$$z_4 = x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} + x_{54} + x_{64} + x_{74};$$

$$z_5 = x_{15} + x_{25} + x_{35} + x_{45} + x_{55} + x_{65} + x_{75};$$

$$z_1^d = x_{11a} + x_{21a} + x_{31a} + x_{41a} + x_{51a} + x_{61a} + x_{71a};$$

$$z_2^d = x_{12a} + x_{22a} + x_{32a} + x_{42a} + x_{52a} + x_{62a} + x_{72a};$$

$$z_3^d = x_{13a} + x_{23a} + x_{33a} + x_{43a} + x_{53a} + x_{63a} + x_{73a};$$

$$z_4^d = x_{14a} + x_{24a} + x_{34a} + x_{44a} + x_{54a} + x_{64a} + x_{74a};$$

$$z_5^d = x_{15a} + x_{25a} + x_{35a} + x_{45a} + x_{55a} + x_{65a} + x_{75a};$$

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} + x_{61} + x_{71} \leq 30 \cdot g_1;$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} + x_{62} + x_{72} \leq 25 \cdot g_2;$$

$$x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} + x_{53} + x_{63} + x_{73} \leq 18 \cdot g_3;$$

$$x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} + x_{54} + x_{64} + x_{74} \leq 20 \cdot g_4;$$

$$x_{15} + x_{25} + x_{35} + x_{45} + x_{55} + x_{65} + x_{75} \leq 15 \cdot g_5;$$

$$x_{11a} + x_{21a} + x_{31a} + x_{41a} + x_{51a} + x_{61a} + x_{71a} \leq 15 \cdot g_1;$$

$$x_{12a} + x_{22a} + x_{32a} + x_{42a} + x_{52a} + x_{62a} + x_{72a} \leq 13 \cdot g_2;$$

$$x_{13a} + x_{23a} + x_{33a} + x_{43a} + x_{53a} + x_{63a} + x_{73a} \leq 9 \cdot g_3;$$

$$x_{14a} + x_{24a} + x_{34a} + x_{44a} + x_{54a} + x_{64a} + x_{74a} \leq 10 \cdot g_4;$$

$$x_{15a} + x_{25a} + x_{35a} + x_{45a} + x_{55a} + x_{65a} + x_{75a} \leq 8 \cdot g_5;$$

$$g_1 + g_2 + g_3 + g_4 + g_5 \leq 5;$$

$$x_{ij}^a \leq f x_{ij}^d$$

$$x_{ij}^a, x_{ij}^d \geq 0 \text{ ve tamsayı } (i=1,2,\dots,m), \quad (j=1,2,\dots,n)$$

$$Y_j = 0, 1 \text{ Tamsayı}$$

Burada sistemde açık kalması istenilen tesis sayısı T , mümkün olan değerlerde değiştirilerek, model tekrar tekrar çalıştırılmış ve sistem için en iyi çözüm veya arzu edilen en iyi çözüme yakın alternatif çözümler belirlenmiştir. Modelimizde tesis sayısı 3, 4 veya 5 olabilir. Bu değerler için model çözüldüğünde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır;

Tablo 2.4. Örnek sistemin, değişen tesis sayısına göre verdiği sonuçlar

T	Çözümde Yer Alan Tesisler	Amaç Fonksiyonu Değeri
T=3	1, 2, 4	1115
T=4	1, 2, 4, 5	1046
T=5	1, 2, 3, 4, 5	1112

Tablo 2.4.'ten de görüleceği üzere, örnek sistem için amaç fonksiyonunda en iyi sonucu veren tesis sayısı 4'tür. Dolayısıyla sistem için ilk çözüm değerimiz $T=4$ ve çözümde yer alan tesisler kümesi $T'=\{T1, T2, T4 \text{ ve } T5\}$ 'dir.

Ball ve arkadaşlarının geliştirmiş oldukları modelde (Ball M, Assad A, Bodin L, Golden B, Spielberg F. Garage Location For An Urban Mass Transit System) mümkün olan T değerleri haricinde sisteme eklenebilecek olan başka tesisin olması durumunda, bu tesisin de modele katılarak sonuçların yorumlanması gerektiği, daha önce belirtilmişti. Şimdi sisteme varsayılan bir 6. tesisin (S6) eklenebilme ihtimali üzerinde çalışalım. Bu tesis için öngörülen değerlerin şu şekilde olduğu varsayılacaktır;

- ❖ Sisteme eklenebilecek 6. tesisin, otobüs hatlarına uzaklığı sırasıyla 8, 6, 3, 5, 7, 4 ve 6 olarak kabul edilecektir.
- ❖ Sisteme eklenebilecek 6. tesisin kapasitesi 25 br. olarak kabul edilecektir.
- ❖ Sisteme eklenebilecek 6. tesisin sabit maliyeti $B_i = 20$ br. olarak kabul edilecektir.
- ❖ Sisteme eklenebilecek 6. tesise atanan her otobüs için birim maliyet $b_i=2$ br. olarak kabul edilecektir.
- ❖ Sisteme eklenebilecek 6. tesis için birim ulaşım maliyeti 1 br., yoğun durumlar için atanan otobüsler için birim ulaşım maliyeti 2 br. olarak kabul edilecektir.

Tablo 2.5. Örnek sistemin, değişen tesis sayısına göre 6. tesis ilave edildiğinde verdiği sonuçlar

T	Çözümde Yer Alan Tesisler	Amaç Fonksiyonu Değeri
T=3	1, 2, 4	1115
T=4	2, 4, 5, 6	946
T=5	1, 2, 4, 5, 6	1027
T=6	1, 2, 3, 4, 5, 6	1128

Sisteme 6. tesis ilave edilip model çözüldüğünde Tablo 2.5.'deki değerler elde edilmektedir. Görüleceği üzere, 6. tesisin sisteme dahil edilmesi, amaç fonksiyonunda iyileşme sağlamaktadır. Çözümde 3 tesisin yer alması istendiğinde 6. tesisin bulunması sonucu değiştirmiyorken, 4 tesisin yer almasının istendiği durumda, 1. tesisin yerine 6. tesisin çözümde yer alması (Şekil 2.4.), toplam maliyette 100 br. lik bir azalışı sağlamaktadır. Yine çözümde 5 tesisin yer almasının istendiği durumda da, 3. tesisin yerine 6. tesisin çözümde yer alması, toplam maliyette 85 br. lik bir azalışı sağlamaktadır.

2.2. Toplu Taşıma Sistemlerinin Matematiksel Programlama ile Analizi

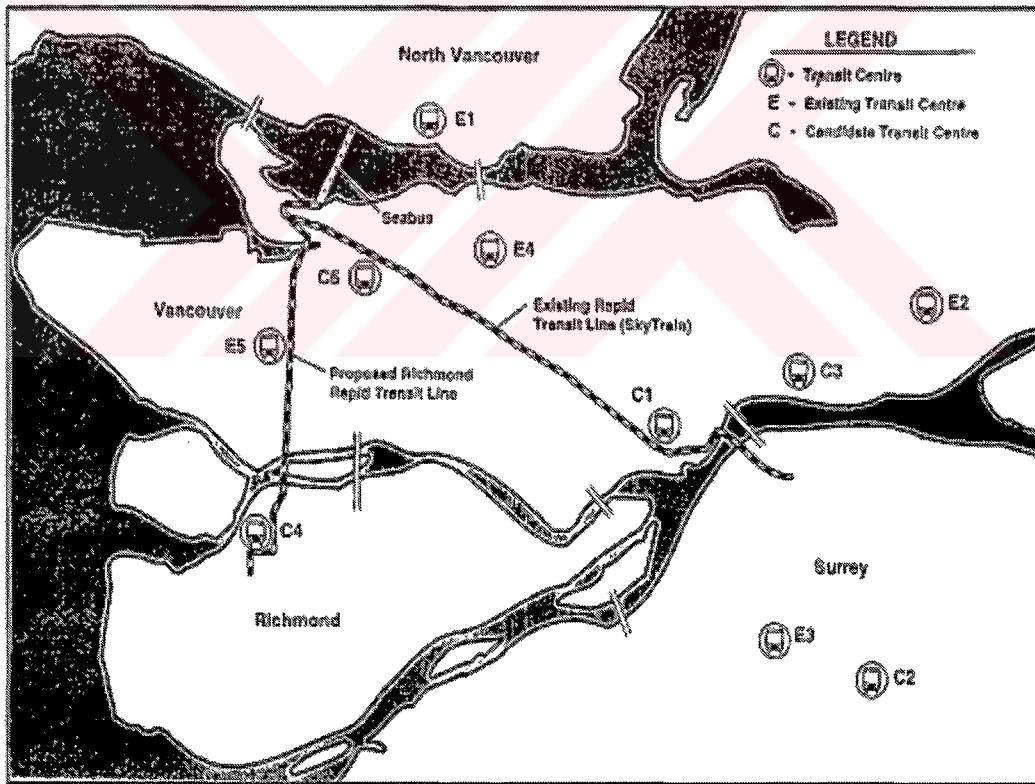
Önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere, toplu taşıma sistemlerinin planlanması ve çizelgelenmesinde tesis yerleşim problemi, en önemli konulardan biridir. Tesis yerleşim problemlerinde maliyeti etkileyen en önemli unsurlar, sistemde yer alacak tesislerin sayısı, yeri ve kapasiteleridir. Dolayısıyla, toplu taşıma sistemlerinde tesislerin sayısının, sistemde bulunacakları yerlerinin ve kapasitelerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Willoughby (2002), toplu taşıma sistemlerinde yer alması gereken tesis sayısının, tesislerin yerinin ve çözümü en iyileyen tesis kapasitelerinin belirlenmesi amacıyla bir model geliştirmiş ve bu modeli, Kanada'nın Vancouver eyaletinde bölgesel toplu taşıma

sistemleri üzerinde uygulamıştır. Willoughby'nin uyguladığı modelde, değişik planlama senaryoları ile toplam maliyetin nasıl değiştiği yorumlanmış, bu senaryolar ile hem en iyi çözüme ulaşılmış hem de en iyi çözüme yakın alternatif çözümler elde edilmiştir. Ayrıca, sistemin bileşenlerinin değişik değerlerine göre toplam maliyetin nasıl etkilendiği de ortaya konulmuştur.

Willoughby'nin modelini uyguladığı Vancouver eyaleti, 2 milyon nüfuslu bir şehirdir. Toplam yıllık 130 milyon insanın taşındığı, 900 otobüsün yer aldığı sistemde, ayrıca deniz otobüsleri ve tramvaylar da yer almaktadır. Otobüsler için toplam 5 adet tesis sistemde yer almakta ve 5 adet de alternatif tesisin kurulması söz konusu olmaktadır.

Şekil 2.5.: Kanada'nın Vancouver eyaletindeki bölgesel toplu taşıma sistemleri (Willoughby, 2002)



Sistemin modellenmesi şu şekildedir;

Minimize

$$Z = \sum_r \sum_d \sum_p \sum_s C_{rdps} X_{rdps} + \sum_{s=\text{alternatif}} V_s N_s + \sum_{s=E4} F_s W_s - \sum_{s=\text{mevcut}} R_s Z_s - \sum_{s=E5} P_s K_s \quad (2.35)$$

$$\text{Kısıtlar : } \sum_s X_{rdps} = D_{rdp} \quad \forall r, d, p, \quad (2.36)$$

$$\sum_r X_{rdps} - A_s \leq 0 \quad \forall s, \quad (2.37)$$

$$N_s - \alpha A_s \geq 0 \quad \forall s, \quad (2.38)$$

$$N_s - w_s Y_s \leq 0 \quad \forall s = \text{alternatif}, \quad (2.39)$$

$$N_s - \lambda_s Y_s \geq 0 \quad \forall s = \text{alternatif}, \quad (2.40)$$

$$N_s - \beta_s (1 - Z_s) \leq 0 \quad \forall s = \text{mevcut}, \quad (2.41)$$

$$N_s - \gamma_s (1 - Z_s) \geq 0 \quad \forall s = \text{mevcut}, \quad (2.42)$$

$$\sum_{r=\text{trolleybüs}} X_{rdp,E4} - \beta_{E4} W_{E4} \leq 0 \quad \forall d, p \quad (2.43)$$

$$N_{E5} + K_{E5} = \beta_{E5} (1 - Z_{E5}) \quad (2.44)$$

$$X_{rdps} \geq 0 \quad (2.45)$$

$$A_s, N_s \geq 0 \text{ ve Tamsayı} \quad (2.46)$$

$$W_{E4}, Y_s, Z_s = 0, 1 \text{ Tamsayı} \quad (2.47)$$

$$K_{E5} \geq 0 \quad (2.48)$$

$$w_s, \lambda_s, \beta_s, \gamma_s \geq 0 \quad (2.49)$$

$$\alpha \geq 1 \quad (2.50)$$

Modelde kullanılan notasyonlar şu şekildedir;

r hat

d gün (haftaiçi, haftasonu)

p servis periyodu (akşam ve sabah yoğun durumlar (AM-PM), normal zamanlar)

s tesis

X_{rdps} , r hattından, d gününde p servis periyodunda s tesisine atanan otobüs sayısı

N_s , s tesisine atanan toplam otobüs sayısı

$W_{E4} = 0$, eğer Burnaby tesisi trolleybüs atanması için modifiye edilmezse,
 $= 1$, eğer Burnaby tesisi trolleybüs atanması için modifiye edilirse,

$Z_s = 0$, eğer mevcut s tesisi açık kalırsa,
 $= 1$, eğer mevcut s tesisi kapanırsa,

A_s , s tesisine atanan aktif otobüs sayısı

$Y_s = 0$, eğer alternatif s tesisi açılmazsa,
 $= 1$, eğer alternatif s tesisi açılırsa,

K_{E5} , Oakridge tesisinin kapasitesindeki azalma

C_{rdps} , r hattından, d gününde p servis periyodunda s tesisine atanan otobüs için yıllık servis dışı maliyet

V_s , alternatif s tesisinin kurulması için birim otobüse düşen yıllık sermaye maliyeti

F_{E4} , Trolleybüslerin atanması için Burnaby tesisinin modifikasyonunun yıllık maliyeti

R_s , s tesisinin kapanmasıyla yıllık elde edilecek tasarruf

P_{E5} , Oakridge tesisinin kapasitesinin azaltılmasıyla otobüs başına yıllık elde edilecek tasarruf

D_{rdp} , r hattında, d gününde p servis periyodunda ihtiyaç duyulacak otobüs sayısı

α , araç bozulmaları veya kaza durumlarında aktif otobüs sayısını belirleyen katsayı

w_s , alternatif s tesisine atanabilecek maksimum otobüs sayısı

λ_s , alternatif s tesisine atanabilecek minimum otobüs sayısı

β_s , mevcut s tesisine atanabilecek maksimum otobüs sayısı

γ_s , mevcut s tesisine atanabilecek minimum otobüs sayısı

Amaç fonksiyonu, tesis yerleşiminin toplam maliyetini göstermektedir. Amaç fonksiyonundaki ilk terim, toplam servis dışı maliyetin toplamıdır. Burada r hattından, d gününde, p servis periyodunda, s tesisine atanan otobüs için yıllık servis dışı maliyet (C_{rdps}) ile r hattından, d gününde p servis periyodunda s tesisine atanan otobüs sayısı (X_{rdps}) çarpılarak toplam servis dışı maliyet hesaplanmaktadır.

Amaç fonksiyonundaki ikinci toplam, alternatif bir tesisin kurulumu için toplam sermaye maliyetini göstermektedir. Bu terimde toplam sermaye maliyeti, alternatif tesise atanacak birim otobüs sayısı için yıllık maliyetin (V_s), o tesise atanan otobüs sayısı (N_s) ile çarpımı ile elde edilmektedir. Burada sermaye maliyetinin, o tesise atanan otobüs sayısı ile doğrusal olarak arttığı kabul edilmektedir. Burada kurulan tesisler için sabit maliyetlerin, sermaye maliyetinin yanında ihmal edilebilir bir değer olduğu varsayılmış, bu nedenle sabit maliyetler amaç fonksiyonunun içinde yer almamıştır.

Amaç fonksiyonundaki üçüncü terim, bir tesisin trolleybüslerin atanması için gerekli tadilat ve hazırlıkların yapılması için ihtiyaç duyulan maliyetleri göstermektedir. Bu modelde, Burnaby tesisinin modifikasyonu için toplam maliyet (F_{E4}) yer almaktadır. Eğer bu modifikasyon yapılırsa, bu maliyet amaç fonksiyonunda yer alacak (bu durumda $W_{E4}=1$ olacaktır), eğer modifikasyon yapılmazsa bu maliyet amaç fonksiyonunda bulunmayacaktır. (Bu durumda $W_{E4}=0$ olacaktır).

Amaç fonksiyonundaki dördüncü terim, mevcut tesislerin herhangi birinin kapanmasıyla yıllık elde edilecek tasarrufu göstermektedir. Burada s mevcut tesisi çözümde yer almaz ve kapatılırsa, yıllık elde edilecek tasarruf (R_s) amaç fonksiyonunda yer alacak ve toplam maliyeti azaltan bir etki yaratacaktır (bu durumda $Z_s=1$ olacaktır). Eğer ki, s mevcut tesisi kapatılmaz ve çözümde yer alırsa, bu durumda bu tasarrufun (R_s) amaç fonksiyonunda yer almaması için $Z_s=0$ değerini alacaktır.

Amaç fonksiyonundaki son terim ise, mevcut tesislerin herhangi birinin kapasitesinin indirilmesiyle elde edilecek tasarrufu göstermektedir. Modelde sadece Oakridge tesisinde böyle bir kapasite indiriminin söz konusu olabileceği kabul edilmiş ve bu ifade sadece bu tesis için göz önüne alınmıştır. Kapasite indirimiyle elde edilecek tasarruf hesaplanırken, bu tesisin kapatılmasıyla elde edilecek toplam tasarruf, bu tesisin kapasitesine bölünmüş ve böylece kapasite indirimiyle otobüs başına elde edilecek yıllık tasarruf hesaplanmıştır (P_{E5}). Tesis kapasitesinin kaç otobüslük bir azalma gösterdiği belirlenerek bu sayının kapasite indirimiyle otobüs başına elde edilecek yıllık tasarruf ile çarpılmasıyla bu tesis için toplam kapasite indirimiyle elde edilecek tasarruf hesaplanmış ve modele dahil edilmiştir.

İlk kısıt seti (2.36), hatlar için toplam otobüs ihtiyacının karşılanması koşulunu yerine getirmek için modelde kullanılmıştır. Burada, r hattında, d gününde, p servis periyodunda ihtiyaç duyulan otobüs sayısının karşılanması ve uygun bir s tesisine atanması sağlanmaktadır.

İkinci kısıt seti (2.37) ile r hatlarındaki toplam otobüs sayısının s tesisine atanan aktif otobüs sayısını geçmemesi koşulu sağlanmaktadır. Bütün r hatlarından bir s tesisine atanan otobüs sayısı, o tesise atanan aktif otobüs sayısından büyük olmamalıdır. Farklı p servis periyodu için (sabah ve akşam saatlerinde yoğun durumlar ile normal zamanlar) her hatta ihtiyaç duyulan otobüs sayısı, bu periyotlardaki en yüksek otobüs sayısı olarak belirlenmiştir. Çünkü r hattı için s tesisine atanacak otobüs sayısı, o hattın maksimum otobüs ihtiyacını karşılamak zorundadır. Örneğin, sabah yoğun durumda r hattı için 15, normal zamanlar için 10 ve akşam yoğun durumlar için ise 13 otobüs ihtiyacının olduğu varsayılırsa, o hat için atanacak otobüs sayısı, en yüksek değer olan 15 olarak belirlenmektedir. 15 adet otobüsün s tesislerine atanması ile sabah yoğun durumlarda otobüslerin tamamı tesisten hatlarına giderken, normal zamanlarda 10 otobüs servise devam etmekte ve kalan 5 otobüs tesislere geri dönmekte ve akşam yoğun durumlarda 13 otobüslük ihtiyacı karşılamak için 3 otobüs tekrar hatlara gitmektedir. Dolayısıyla, normal durumlardaki ihtiyaç duyulan otobüse ek olarak atanan otobüs sayısı ile toplam sayı, sabah ve akşam yoğun durumlarda ihtiyaç duyulan sayılardan en büyük olanıdır.

Üçüncü kısıt seti (2.38), s tesisine atanan toplam otobüs sayısı ile yine s tesisindeki aktif otobüs sayısı ile ilişkisini göstermektedir. Örneğin, s tesisinde 200 otobüsün olduğu varsayılacak olursa ve aktif otobüs sayısını belirleyen katsayının da $\alpha=0.05$ olduğu kabul edilirse, bu durumda 200 otobüsten her zaman için %5'inin kazalar, bozulmalar veya bakım faaliyetleri gibi nedenlerle aktif olarak servis veremeyecekleri ve 190 otobüsün hatlara dağılırken, 10 otobüsün tesiste bekleyeceği sonucu ortaya çıkmaktadır.

Dördüncü ve beşinci kısıt setlerinde (2.39 ve 2.40), alternatif tesislerin açılması durumunda, o tesislere atanacak toplam otobüs sayısının (N_s), o tesis için atanabilecek maksimum otobüs sayısından (w_s) küçük ve minimum otobüs sayısından (λ_s) büyük olması sağlanmaktadır.

Altıncı ve yedinci kısıt setlerinde (2.39 ve 2.40), tesislerin açık kalması durumunda, o tesislere atanacak toplam otobüs sayısının (N_s), o tesis için atanabilecek maksimum otobüs sayısından (β_s) küçük ve minimum otobüs sayısından (γ_s) büyük olması sağlanmaktadır.

Sekizinci kısıt seti (2.42) ile Burnaby tesisine atanacak trolleybüslerin sayısının ($X_{rdp,E4}$), bu tesis için atanabilecek maksimum otobüs sayısından (β_{E4}) küçük olması sağlanmaktadır.

Dokuzuncu kısıt ile (2.44) Oakridge tesisinde yapılan kapasite indiriminin (K_{E5}), o tesisin toplam kapasitesinden (β_{E5}) daha fazla olmaması sağlanmaktadır. Eğer Oakridge tesisi açık kalır ve bir kapasite indirimi yapılırsa, bu tesise atanacak toplam otobüs sayısının (N_{E5}) bu tesiste yapılan kapasite indirimi (K_{E5}) ile toplamı, tesisin toplam kapasitesinden (β_{E5}) daha fazla olmamalıdır. Bu durumda $Z_{E5} = 0$ değerini alacaktır ve eğer Oakridge tesisi çözümde yer almaz ve kapalı duruma geçerse, bu durumda $Z_{E5} = 1$ değerini alacak ve bu durumda tesise herhangi bir atama yapılması engellenmiş olacaktır.

Willoughby, bu model ile toplu taşıma sistemleri için optimal bir çözüm geliştirmiştir. Bu sayede modelin uygulandığı Kanada'nın Vancouver eyaletindeki bölgesel toplu taşıma sistemlerinde yıllık ortalama 700.000\$ tasarruf sağlanabileceğini göstermiştir. Ayrıca, modeldeki değişkenler değiştirilerek, bu değişkenlerin toplam maliyet üzerinde nasıl bir etki yarattıklarının belirlenmesi de sağlanmıştır. En iyi sonuçla beraber, en iyi sonuca yakın alternatif çözümlerin de olabileceği, modeldeki değişkenler ile oynanarak ortaya çıkarılabileceği ve bu alternatif çözümlerin de dikkate alınması gerektiği belirtilmektedir. (Willoughby, VKA.A Mathematical Programming Analysis of Public Transit Systems, The International Journal of Management Science)

Bu modelin örnek sisteme uyarlanması ve sistemdeki varsayımlar aşağıda açıklanmıştır. Modele ek olarak Ball'un geliştirdiği değişen tesis sayılı yaklaşım uygulanmış ve tesisler için sabit maliyetlerin olduğu da varsayılmıştır.

- ❖ Örnek sistemde bölüm (2.1.5.)'dekilere ek olarak aşağıdaki varsayımlar da modele eklenmiştir.

- ❖ Willoughby'nin modelinde kullandığı yeni tesis için kurulum maliyetinin 6. tesis için mevcut olduğu ve bu değerin $V_6=200$ br. olduğu kabul edilecektir.
- ❖ Willoughby'nin modelinde kullandığı mevcut tesisler için kapasite indiriminin sadece 1. tesis için mevcut olduğu ve otobüs başına kapasite indiriminin 2 br. olduğu kabul edilecektir.
- ❖ Willoughby'nin modelinde kullandığı aktif otobüs sayısını belirleyen katsayının $\alpha = 0.10$ olduğu kabul edilecektir.

Sistemin modellenmesi şu şekildedir;

Minimize

$$Z = \sum_{j=1}^n (B_j y_j + b_j z_j + b_j z_j^d) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (c_{ij}^a x_{ij}^a + c_{ij}^d x_{ij}^d) + \sum_{j=6} V_j Y_j - \sum_{j=1} P_j K_j \quad (2.51)$$

$$\text{Kısıtlar : } \sum_{j=1}^n x_{ij}^a = D_j^a \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (2.52)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij}^d = D_j^d \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (2.53)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij}^a = z_j \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (2.54)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij}^d = z_j^d \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (2.55)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij}^a + x_{ij}^d \leq S_j Y_i (1 - \alpha) \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (2.56)$$

$$K_1 = S_1 Y_1 - (1 + \alpha) \sum_{i=1}^m x_{ij}^a + x_{ij}^d \quad (2.57)$$

$$x_{ij}^a \leq f x_{ij}^d \quad (i=1,2,\dots,m), \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (2.58)$$

$$\sum_{j=1}^n Y_j \leq T \quad (2.59)$$

$$x_{ij}^a, x_{ij}^d \geq 0 \text{ ve tamsayı } (i=1,2,\dots,m), \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (2.60)$$

$$Y_j = 0, 1 \text{ Tamsayı} \quad (2.61)$$

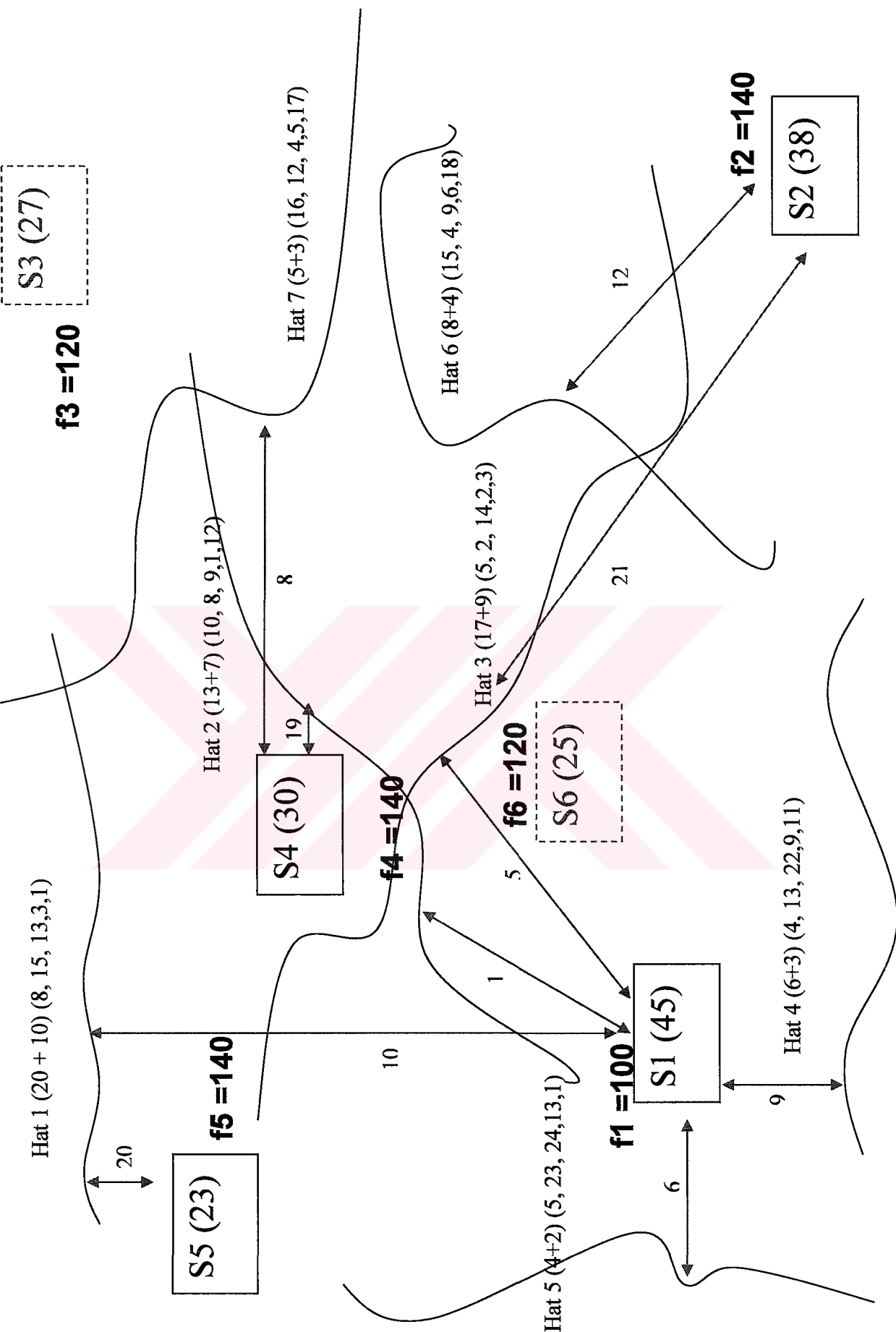
Modelin çözülmesiyle elde edilen sonuçlar aşağıda yer almaktadır.

Tablo 2.6. Örnek sistemde değişen tesis sayılı yaklaşımın Willoughby'nin karışık tamsayıli programlama modeline uygulandığında elde edilen sonuçlar

T	Çözümde Yer Alan Tesisler	Amaç Fonksiyonu Değeri
T=4	1, 2, 4, 5,	1103
T=5	1, 2, 3, 4, 5,	1133
T=6	1, 2, 3, 4, 5, 6	1303

Bu sonuçlardan da görüleceği gibi 6. tesisi için 200 br.lik kurulum maliyetinin yer alması, bu tesisin açılmamasına neden olmaktadır. Ayrıca, 1. tesis için 45 otobüslük kapasitenin 31 otobüse indirilmesiyle $10 \cdot 2 = 20$ br.lik tasarruf sağlanmıştır.

Şekil 2.6.: Örnek sistemde değişen tesis sayılı yaklaşımın Willoughby'nin karışık tamsayılı programlama modeline uygulanmasıyla gerçekleşen tesis yerleşimleri.



3. TESİS YERLEŞİM PROBLEMİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ

Toplu taşıma sistemlerinin planlanmasında tesis yerleşim problemi, sistemde yer alacak tesislerin yerlerinin, sayılarının, kapasitelerinin belirlenmesi ve hangi hatlardan hangi tesislere ne kadar otobüsün atanacağını planıdır. Öncelikle sistemde yer alan hatlar ve bu hatlarda ihtiyaç duyulan otobüs sayıları belirlenir. Ayrıca sistemde bulunan tesisler ve bu tesislerin kapasiteleri belirlenmektedir. Servis dışı maliyeti minimize edecek şekilde hatlardan tesislere atamalar yapılmaktadır. Burada, literatürdeki son çalışma olan Willoughby'nin karışık tamsayılı programlama modeli ile sistem modellenecektir. Bu çalışmada, Willoughby'nin modeline Ball'un modelinde kullandığı tesisler için sabit maliyetler ve değişen tesis sayılı karışık tamsayılı çözüm yaklaşımı birleştirilecektir.

Son yıllarda büyükşehirlerde artan şehir nüfuslarıyla beraber, toplu taşıma sistemlerinin kullanım oranları da artmıştır. Sistemde yer alan araçların ve tesislerin artması, bu araçların tesislere atanmasının planlanmasını zorunlu kılmaktadır. Bu planlanmanın etkin bir şekilde yapılmasıyla çok daha ekonomik sonuçlar elde edilecektir.

Tesis yerleşim problemi için Ankara Toplu Taşıma Dairesine bağlı, Belediye Otobüsü Hizmetleri üzerinde model uygulanmıştır. Modelde, servis dışı maliyetin en azlanmasına çalışılmıştır. Ayrıca Willoughby'nin modelinde bulunan kapasite azaltımı ile elde edilecek maliyetler de sistemde kullanılmıştır. Modelde ek olarak, Ball'un geliştirdiği değişen tesis sayılı yaklaşım da göz önüne alınmıştır. Ball'un modelinde yer alan ve Willoughby tarafından kullanılmayan tesisler için sabit maliyetler de yine modelde yer almıştır.

Çalışma sonucunda, hangi hattın hangi tesise ne kadar otobüsün atanması gerektiği belirlenmiştir. Bununla beraber sistemde yer alması gereken tesisler ve açılması muhtemel alternatif tesisler de ele alınmış, kapasiteleri azaltılabilen tesisler için kapasitelerinin olması

gereken değerleri belirlenmiştir. Bu model ile toplam maliyeti minimize eden atama izelgesi elde edilmiştir.

3.1.Varsayımlar:

Tesis yerleşimi için varsayımlar aşağıda yer almaktadır;

- Günlük dengelenmiş bir tesis yerleşim ve otobüs atama planı kullanılacaktır. Bu plana göre günlük maliyet hesaplanarak bu maliyet üzerinden yıllık toplam maliyet elde edilecektir.
- Otobüsler servis süreleri bittiğinde tesislere geri dönmektedirler.
- Sabah ve akşam yoğun durumlarda hatlarda ihtiyaç duyulan otobüs sayıları birbirine eşittir ve normal zamanlardaki ihtiyaın 1,5 katıdır.
- Hafta içi ve hafta sonu günlerinde ihtiyaç duyulacak otobüs sayısı farkı dikkate alınmayacaktır.
- Her hattın ihtiyaç duyduğu otobüs sayısı belirlidir.
- Tesislerin kapasiteleri ve yıllık sabit maliyetleri belirlidir ve yıl içinde değişiklik göstermemektedir.
- Tesisler için birim otobüs atama maliyetleri dikkate alınmayacaktır.
- Otobüslerin arızalanma oranı %5'tir.
- Kapasite indirimi, sadece 1. tesis için geçerlidir.
- Sisteme 6. tesisin eklenebileceği varsayılacaktır. Bu tesisin kullanılır duruma gelmesi için ihtiyaç duyulan modifiye maliyeti belirlidir.

3.2. Matematiksel Formülasyon

Oluşturulan modelde; otobüs hatlarının normal zamanlar ve sabah ile akşam yoğun durumlarda ihtiyaçlarının karşılanması, tesislerin kapasitelerinin aşılmaması, sabah ve akşam yoğun durumlarda ihtiyaç duyulan otobüs sayısının normal zamanlarda ihtiyaç duyulan otobüs sayısından belirli bir orandan fazla olamaması, tesislerdeki otobüslerin belirli bir oranda arızalı duruma geçmesi kısıtlarının sağlanması koşuluyla, tesislere yapılacak

atamalarla ortaya çıkacak toplam maliyetin minimizasyonu amaçlanmaktadır. Öncelikle modelde kullanılan indisler, kümeler, karar değişkenleri ve parametreler, daha sonra amaç fonksiyonu ve kullanılan kısıtlar açıklanacaktır.

3.2.1. Notasyonlar

Modelde kullanılacak indisler, kümeler, karar değişkenleri ve parametreler şu şekildedir:

İndisler:

i = Hat $i = \{ 1,2,3,...,I \}$

j = Tesis $j = \{ 1,2,3,...,J \}$

l = Servis periyodu $l = \{ 1,2 \}$

Kümeler

I = Mevcut hatların kümesi

J = Mevcut tesislerin kümesi

L = Servis periyodu

$D(i,l)$ = i hattının, l servis periyodunda ihtiyaç duyacağı toplam otobüs sayısı

Karar Değişkenleri

X_{ijl} = i hattından j tesisine l servis periyodunda atanan toplam otobüs sayısı

Y_j = j tesisinin açık kalması durumudur. $Y_j = 1$ ise j tesisi açık kalacak, $Y_j = 0$ ise kapalı kalacaktır.

Parametreler:

S_j = j tesisinin kapasitesi

B_j = j tesisinin sabit maliyeti

P_j = j tesisinin birim kapasite azaltım maliyeti

K_j = j tesisinin kapasitesinde meydana gelen azalma

C_{ijl} = i. hattan j. tesise l servis periyodunda gerçekleşen ulaşım maliyeti

V_j = j. alternatif tesisin kurulum veya modifiye maliyeti

3.2.2. Amaç Fonksiyonu:

Amaç fonksiyonu maliyet minimizasyonudur. Maliyet minimizasyonunda amaç, tesislere atanacak otobüslerin oluşturacağı toplam servis dışı maliyeti, tesislerin sabit maliyeti ve tesis kurulum maliyeti toplamlarından, tesislerin kapasitelerinin azaltılmasıyla elde edilecek tasarrufun farkının minimizasyonudur.

$$Z_{\min} = \sum_i^I \sum_j^J \sum_l^L C_{ijl} X_{ijl} + \sum_j^J B_j Y_j + \sum_{j=6}^J V_j Y_j - \sum_{j=1}^J P_j K_j$$

Amaç fonksiyonunda 1. toplam, i. hattan l servis periyodunda j. tesise atanan otobüs sayılarının (X_{ijl}) ulaşım maliyetiyle (C_{ijl}) çarpımıdır. Bu ifade, toplam servis dışı maliyeti göstermektedir.

Amaç fonksiyonundaki 2. toplam, sistemde açık kalan tesislerin sabit maliyetlerini (B_j) göstermektedir. j. tesis sistemde açık olarak yer alırsa $Y_j=1$, almazsa $Y_j=0$ olacaktır.

Amaç fonksiyonundaki 3. toplam, sisteme ilave edilebilecek alternatif tesislerin kurulum veya modifiye maliyetlerini (V_j) göstermektedir. j. aday tesis sisteme dahil edilirse $Y_j =1$, edilmezse $Y_j=0$ olacaktır.

Amaç fonksiyonundaki 4. toplam, j. tesisin kapasitesinin azaltılmasıyla elde edilen tasarrufu göstermektedir. Bu tasarruf miktarı, kapasitenin birim otobüs azaltılmasıyla elde edilecek tasarrufun (P_j) j. tesiste yapılan kapasite indirimi (K_j) ile çarpılmasıyla elde edilmektedir.

3.2.3. Kısıtlar

Modelde kullanılan kısıtlar şu şekildedir:

- Hatların Otobüs İhtiyacının Karşılanması:

Herhangi bir servis periyodunda hatların ihtiyaç duyacağı otobüs sayısı tesislerden karşılanmalıdır. Dolayısıyla i. hattın l servis periyodunda j tesislerine atanan otobüs sayısı, i. hattın l servis periyodunda ihtiyaç duyacağı otobüs sayısına eşit olmalıdır.

$$\sum_{j=1}^J X_{ijl} = D_{il} \quad \forall i \in I$$

$$\forall l \in L$$

- Tesis Kapasitesi

Sistemde mevcut tesislere atanacak toplam otobüs sayısı, tesislerin kapasitelerini aşmamalıdır.

$$\sum_{i=1}^I X_{ijl} \leq S_j Y_j (1 - \alpha) \quad \forall j \in J$$

$$\forall l \in L$$

- Kapasite İndiriminin Toplam Kapasiteden Fazla Olmaması

Sistemde kapasite indirimi, tesisin toplam kapasitesinden daha fazla olmamalıdır. Eğer j. tesis açık kalır ve bir kapasite indirimi (K_j) yapılırsa, bu tesise atanacak toplam otobüs sayısının ($\sum_{i=1}^I X_{ijl}$) bu tesiste yapılan kapasite indirimi (K_j) ile toplamı, tesisin kapasitesinden (S_j) fazla olmamalıdır.

$$K_j = S_j Y_j - (1 + \alpha) \sum_{i=1}^I X_{ijl} \quad \forall j \in J$$

$$\forall l \in L$$

- Yoğun Durumlarda İhtiyaç Duyulan Otobüs Sayısının Normal Durumlarda İhtiyaç Duyulan Otobüs Sayısının Belili Bir Oranından Fazla Olmaması

Sistemde sabah ve akşam yoğun durumlarda ihtiyaç duyulan otobüs sayısı, normal zamanlarda ihtiyaç duyulan otobüs sayısının belirli bir oranından fazla olmamalıdır.

$$X_{ij2} \leq f X_{ij1} \quad \forall j \in J$$

$$\forall i \in I$$

- Tesis Sayısı

Sistemde açık kalacak tesis sayısı, toplam tesis sayısından büyük olmamalıdır.

$$\sum_{i=1}^m Y_i \leq T \quad \forall i \in I$$

- Tamsayı Kısıtları

Eğer j. tesis sistemde açık olarak yer alırsa $Y_j=1$, almazsa $Y_j=0$ olacaktır.

$$Y_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J$$

Sistemde i. hattın l servis periyodunda j. tesise atanan otobüs sayıları sıfıra eşit veya sıfırdan büyük tamsayı olmalıdır.

$$X_{ijl} \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad \forall i \in I$$

$$\forall j \in J$$

$$\forall l \in L$$

Modelimizi amaç fonksiyonu ve kısıtları ile birlikte bütünleşik olarak yazarsak aşağıdaki gibi oluşur:

$$Z_{\min} = \sum_i^I \sum_j^J \sum_l^L C_{ijl} X_{ijl} + \sum_j^J B_j Y_j + \sum_{j=6} V_j Y_j - \sum_{j=1} P_j K_j$$

$$\sum_{j=1}^J X_{ijl} = D_{il} \quad \forall i \in I$$

$$\forall l \in L$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ijl} \leq S_j Y_j (1 - \alpha) \quad \forall j \in J$$

$$\forall l \in L$$

$$K_j = S_j Y_j - (1 + \alpha) \sum_{i=1}^I X_{ijl} \quad \forall j \in J$$

$$\begin{aligned}
& \forall l \in L \\
X_{ij2} & \leq fX_{ij1} & \forall j \in J \\
& \forall i \in I \\
\sum_{i=1}^m Y_i & \leq T & \forall i \in I \\
Y_j & \in \{0,1\} & \forall j \in J \\
X_{ijl} & \geq 0 \text{ ve tamsayı} & \forall i \in I \\
& & \forall j \in J \\
& & \forall l \in L
\end{aligned}$$

3.3. Modelde Kullanılacak Verilerin Elde Edilişi

Oluşturulan modelden önce, modelde kullanılacak verilerin elde edilmesi gerekmektedir. Sistemde ilk olarak kaç adet hat olduğu, bu hatların normal zamanlarda ve sabah ve akşam yoğun durumlarda ihtiyaç duydukları otobüs sayıları, otobüsler için birim ulaşım maliyetleri, sistemde bulunan tesis sayısı, sisteme ilave edilecek tesisler ve maliyetleri, tesislerin kapasiteleri ve sabit maliyetleri ve hatların her tesise olan uzaklıkları belirlenmelidir.

3.3.1. Sistemde Bulunan Hat Sayısı

Ankara Toplu Taşıma Daire Başkanlığı'na bağlı belediye otobüsleri hizmetleri bünyesinde, Ankara Merkeze bağlı 235 adet belediye otobüsü hattı bulunmaktadır. Bu hatlar, Tablo 3.2. de gösterilmiştir. (Ego Genel Müdürlüğü, Otobüs Daire Başkanlığı, İstatistik Müdürlüğü, 2005 Eylül Ayı İçtima Raporları)

3.3.2. Sistemde Bulunan Tesis Sayısı

Ankara Toplu Taşıma Daire Başkanlığı'na bağlı belediye otobüsleri hizmetleri bünyesinde, belediye otobüsü hizmetleri için mevcut 6 adet tesis bulunmaktadır. Ancak, bu 6 tesisten aktif olarak 5'i kullanılmaktadır. Bu tesisler ve kapasiteleri, Tablo 3.1. de gösterilmiştir. (Ego

Genel Müdürlüğü, Otobüs Daire Başkanlığı, İstatistik Müdürlüğü, 2005 Eylül Ayı İçtım Raporları) Yine Tablo 3.1. de bu tesislerin yıllık sabit maliyetleri de yer almaktadır. (Ego Genel Müdürlüğü, Otobüs Daire Başkanlığı, İstatistik Müdürlüğü 2004 Faaliyet Raporu) Sistemde 6. tesisin açılabilmesi için gerekli hazırlıkların yapılması ve sistemin modifiye edilmesi için gerekli maliyetin de sistemin yıllık sabit maliyetine eşit olacağı varsayılacaktır.

Tablo 3.1. Ankara Toplu Taşıma Daire Başkanlığı'na bağlı tesisler

TESİSLER	TESİS YERİ	TESİS KAPASİTESİ	TESİS YILLIK SABİT MALİYETİ	TESİS GÜNLÜK SABİT MALİYETİ
TESİS 1	KEKLİK PINARI	275	150.000	410,9
TESİS 2	MACUNKÖY	400	210.000	575,3
TESİS 3	NATOYOLU	300	200.000	547,9
TESİS 4	AKKÖPRÜ	350	175.000	616,4
TESİS 5	SİNCAN YOLU	200	150.000	410,9
TESİS 6	HİPODROM CAD.	200	75.000	205,4

3.3.3. Hatların İhtiyaç Duydukları Otobüs Sayıları

Ankara Toplu Taşıma Daire Başkanlığı'na bağlı belediye otobüsleri hizmetleri bünyesinde bulunan otobüs hatlarının normal zamanlarda ve sabah ve akşam yoğun durumlarda ihtiyaç duydukları otobüs sayıları dönemsel olarak kısmi farklılıklar gösterse de, genel itibariyle bu sayıların belirli olduğu kabul edilebilir. İstatistik Daire Başkanlığı, günlük, haftalık ve aylık içtım raporlarıyla o gün veya o dönemde hangi hatta ne kadar otobüsün çalıştığını kayıt altında tutmaktadır. Modelde kullanılacak olan hatların ihtiyaç duydukları otobüs sayıları, 2005 yılı Eylül ayında düzenlenen toplam 10 farklı günlük içtım raporundan elde edilmiştir. (Ego Genel Müdürlüğü, Otobüs Daire Başkanlığı, İstatistik Müdürlüğü, 2005 Eylül Ayı İçtım Raporları) Bazı hatlar için ihtiyaç duyulan otobüs sayıları Tablo 3.2. nin 5. ve 6. sütunlarında görülmektedir. Sabah ve akşam yoğun durumlarda ihtiyaç duyulacak otobüs sayıları birbirine eşit olacak ve normal zamanda duyulan ihtiyacın 1,5 katı olacaktır. Ancak,

yoğun durumlarda ihtiyaç duyulan otobüs sayısının tamsayı çıkmaması halinde, bu sayının kendisinden büyük en yakın tamsayıya yuvarlanması sağlanacaktır. Örneğin normal zamanlarda 3 otobüs ihtiyacı olan bir hat için, yoğun durumlarda ihtiyaç duyulacak ek otobüs sayısı 2 ve toplam ihtiyaç 5 olarak kabul edilecektir.

3.3.3. Servis Dışı Maliyet

Servis dışı maliyetin, servis zamanı dışında, otobüslerin tesislerden ilgili hatların başlangıç noktasına gitmelerinin ve yine hatların bitiş noktasından tesislere geri dönmelerinin oluşturduğu bir maliyet olduğu, tezin önceki bölümlerinde açıklanmıştı. Servis dışı maliyet, i. hattan j. tesise birim otobüs için gerekli toplam ulaşım maliyetinin, i. hattan j. tesise atanan toplam otobüs sayısı ile çarpımı olduğundan, her hat için bütün tesislere olan ulaşım maliyetleri hesaplanmalıdır.

Ulaşım maliyeti, i. hattın başlangıç ve bitiş noktalarının j. tesise uzaklıkları toplamının, birim mesafedeki ulaşım maliyeti ile çarpılmasıyla elde edilmektedir. Örneğin, i. hattın başlangıç ve bitiş noktalarının j. tesise uzaklıkları toplamının 10 br. ve i. hattan j. tesise birim mesafedeki ulaşım maliyetinin 0,2 br. olduğu varsayıldığında, bir otobüs için i. hattan j. tesise servis dışı ulaşım maliyeti $10 \times 0,2 = 2$ br. olacaktır. Dolayısıyla, sistemdeki her hattın başlangıç ve bitiş noktalarının, sistemde yer alan veya alternatif tesislere uzaklıkları hesaplanmalıdır.

Hatların başlangıç ve bitiş noktaları, EGO Genel Müdürlüğü Toplu Taşıma Daire Başkanlığı'na ait Güzergah Haritaları kullanılarak elde edilmiştir. Hatların başlangıç ve bitiş noktalarının tesislere olan toplam uzaklıkları toplamı, Şekil 3.2'de gösterilen Ankara Toplu Taşıma Daire Başkanlığı'na ait 2005 yılı Ankara Kent Planı üzerinde ölçeklendirme yapılarak hesap edilmiştir.

Birim mesafedeki ulaşım maliyeti ise, birim km. de otobüslerin tükettiği yakıt ve sürücü maliyetleri göz önüne alınarak hesap edilmiştir. Ego Genel Müdürlüğü, Otobüs Daire Başkanlığı, İstatistik Müdürlüğü 2004 faaliyet raporunda göre bir otobüsün ortalama 1 km. yi 3,5 dakikada aldığı ve 0,4 lt. yakıt tükettiği, 1 otobüs şoförünün kuruma maliyetinin 2124 YTL olduğu belirtilmiş ve birim mesafedeki ulaşım maliyeti bu değerler esas alınarak hesaplanmıştır. Bir otobüs şoförünün ortalama aylık 180 saat çalışacağı düşünüldüğünde, km.

Şekil 3.2.: Ankara Toplu Taşıma Daire Başkanlığı'na ait 2005 yılı Ankara Kent Planı



Tablo 3.2.: Ankara Merkeze bağlı belediye otobüsü hatları ve bu hatların günlük otobüs ihtiyaçları ile toplam servis dışı maliyet tablosuna bir örnek

Hat No	Kalkış Yeri	Varış Yeri	Normal Zamanlardaki İhtiyaç	Yoğun Durum Ek İhtiyaç	Toplam İhtiyaç	Normal Zamanlardaki Gidiş-Dönüş	Yoğun Durumlardaki Gidiş-Dönüş	UZAKLIK						NORMAL ZAMANLAR MALİYET MATRİSİ						YOĞUN DURUMLAR MALİYET MATRİSİ					
								1. TESİS	2. TESİS	3. TESİS	4. TESİS	5. TESİS	6. TESİS	Cijl j=1 i=1	Cijl j=2 i=1	Cijl j=3 i=1	Cijl j=4 i=1	Cijl j=5 i=1	Cijl j=6 i=1	Cijl j=1 i=2	Cijl j=2 i=2	Cijl j=3 i=2	Cijl j=4 i=2	Cijl j=5 i=2	Cijl j=6 i=2
110	BEYTEPE	HÜRRİYET CADDESİ	3	2	5	3	4	12,0	13,9	24,3	17,6	35,8	19,0	17,9	20,7	36,3	26,3	53,4	28,3	35,8	41,5	72,5	52,5	106,8	56,7
111	GÜVENPARK	BİLKENT	5	3	8	5	6	13,4	20,9	22,8	14,2	39,0	15,6	20,0	31,2	34,0	21,2	58,2	23,3	20,0	62,4	68,0	42,4	116,4	46,6
112	KIZILAY	GAZİOSMANPAŞA	9	5	14	9	10	14,2	22,0	11,6	8,5	45,2	9,9	21,2	32,8	17,3	12,7	67,4	14,8	21,2	65,6	34,6	25,4	134,9	29,5
114	KIRKKONAKLAR	ULUS	9	5	14	9	10	17,0	22,2	11,8	9,0	46,2	10,4	25,4	33,1	17,6	13,4	68,9	15,5	25,4	66,2	35,2	26,9	137,9	31,0
115	GÖLTEPE	ULUS	7	4	11	7	8	18,5	23,8	10,2	9,5	48,8	10,9	27,6	35,5	15,2	14,2	72,8	16,3	27,6	71,0	30,4	28,3	145,6	32,5
117	ODTÜ	DIKMEN KEKLİK	2	1	3	2	2	8,6	20,2	19,8	12,8	39,3	14,2	12,8	30,1	29,5	19,1	58,6	21,2	12,8	60,3	59,1	38,2	117,3	42,4
119	ODTÜ	ORAN SİTESİ	3	2	5	3	4	5,7	23,1	22,0	15,9	42,2	17,3	8,5	34,5	32,8	23,7	63,0	25,8	8,5	68,9	65,6	47,4	125,9	51,6
121	İLKER 121 SOKAK	ULUS	1	1	2	1	2	12,4	21,6	16,2	9,7	46,9	11,1	18,5	32,2	24,2	14,5	70,0	16,6	18,5	64,5	48,3	28,9	139,9	33,1
129	GÜVENPARK	EMSAN SİTESİ	1	1	2	1	2	15,6	16,0	18,9	8,0	37,8	9,4	23,3	23,9	28,2	11,9	56,4	14,0	23,3	47,7	56,4	23,9	112,8	28,0
130	GÜVENPARK	CEVİZLİDERE	1	1	2	1	2	11,2	20,6	15,4	9,8	34,2	11,2	16,7	30,7	23,0	14,6	51,0	16,7	16,7	61,5	46,0	29,2	102,1	33,4
131	GÜVENPARK	TURTAŞ SİTESİ	1	1	2	1	2	11,4	21,3	14,3	9,4	42,3	10,8	17,0	31,8	21,3	14,0	63,1	16,1	17,0	63,6	42,7	28,0	126,2	32,2
132	KARAKUSUNLAR	ULUS	9	5	14	9	10	14,6	18,3	19,1	8,2	43,2	9,6	21,8	27,3	28,5	12,2	64,5	14,3	21,8	54,6	57,0	24,5	128,9	28,6
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
593	KONUTKENT	ÇANKAYA	2	1	3	2	2	44,3	29,3	29,3	29,3	28,8	27,6	66,1	43,7	43,7	43,7	43,0	41,2	66,1	87,4	87,4	87,4	85,9	82,4
594	KORU - ÇINAR SİTESİ	KIZILAY	1	1	2	1	2	48,7	30,7	27,6	26,1	24,3	24,4	72,7	45,8	41,2	38,9	36,3	36,4	72,7	91,6	82,4	77,9	72,5	72,8
595	KORU SİTESİ	ÜMİTKÖY-ÇANKAYA	2	1	3	2	2	46,3	35,2	45,2	25,5	25,6	23,8	69,1	52,5	67,4	38,0	38,2	35,5	69,1	105,0	134,9	76,1	76,4	71,0

Mevcut durumda gerçekleştirilen atamalar Tablo 3.3. de özetlenmiştir.

Tablo 3.3. Mevcut durumda Ankara Toplu Taşıma Daire Başkanlığı'na bağlı tesislere atanan hat ve otobüs sayıları

TESİSLER	HAT SAYISI	TESİS KAPASİTESİ	ATANAN OTOBÜS SAYISI
TESİS 1	53	275	252
TESİS 2	58	400	254
TESİS 3	54	300	267
TESİS 4	40	350	294
TESİS 5	30	200	179
TOPLAM	235	1525	1246
TOPLAM GÜNLÜK MALİYET			69.655,4 YTL

Ankara Toplu Taşıma Daire Başkanlığı'na bağlı belediye otobüsleri hizmetleri bünyesinde, Ankara Merkeze bağlı 235 adet belediye otobüsü hattı için toplam servis dışı maliyetler, Excel programı kullanılarak, birim ulaşım maliyetleri ile hatların başlangıç ve bitiş noktalarının tesislere olan uzaklıkları toplamı çarpılmak suretiyle elde edilmiştir. Hatların bir bölümü, toplam servis dışı maliyetleriyle beraber Tablo 3.2. de gösterilmektedir. Excel programdan elde edilen veriler, LINGO ile modellediğimiz programda kullanılacaktır. Elde edilen bu veriler .txt dosyalarına yazdırılmaktadır. LINGO da oluşturulan modelde kullanılacak verilerin bu dosyalardan çağrılması sağlanmaktadır.

Excel programı kullanılarak elde edilen veriler aşağıdaki gibidir;

- ❖ LINGO modelinde kullanılacak 235 hat için normal zamanlardaki otobüs ihtiyaçları.
- ❖ LINGO modelinde kullanılacak 235 hat için sabah ve akşam yoğun durumlardaki otobüs ihtiyaçları.
- ❖ Her hattın başlangıç ve bitiş noktasının tesislere olan uzaklıkları toplamı.

Model çözüldüğünde günlük 33.482,7 YTL kazanç elde edildiği görülmektedir. Tablo 3.4.'te bulunan değerlere bir örnek vererek modelin sonuçlarını açıklayalım:

- Hatlardan tesislere yapılan otobüs atamaları 1 günlük otobüs ihtiyaçlarını karşılamaktadır.
- 110 numaralı hattan 1. tesise normal zamanlarda 3, sabah ve akşam yoğun durumlarda 2 otobüs olmak üzere toplam 5 otobüs atanacaktır.
- 1. tesise 12 hattan toplam 51 otobüs ataması gerçekleşecektir. Ancak otobüslerin % 5 oranında arızalı oldukları göz önünde bulundurulacağından, 1. tesiste bulunan toplam otobüs sayısı 54 olacaktır.
- 1. tesise atanan otobüsler için toplam servis dışı maliyet günlük 1459,4 YTL olacaktır.

Tablo 3.4.: Modelin Sonuçları

TESİS	HAT	HAT NO	KALKIŞ YERİ	VARIŞ YERİ	Normal Zamanlar İçin Atanan Otobüs Sayısı	Yoğun Durumlar İçin Atanan Ek Otobüs Sayısı	Toplam Atanan Otobüs Sayısı	Toplam Servis Dışı Maliyet
1	1	110	BEYTEPE	HÜRRİYET CADDESİ	3	2	5	125,3
1	2	111	GÜVENPARK	BİLKENT	5	3	8	219,9
1	6	117	ODTÜ	DİKMEN KEKLİK	2	1	3	51,3
1	7	119	ODTÜ	ORAN SİTESİ	3	2	5	59,5
1	8	121	İLKER 121 SOKAK	ULUS	1	1	2	55,5
1	14	135	GÜVENPARK	ORAN SİTESİ	2	1	3	50,7
1	39	177	OPERA	VELİHİMMETLİ KÖYÜ	2	1	3	110,4
1	40	182	SOKULLU	BAYRAK GARNİZONU	1	1	2	60,9
1	48	191	GÜVENPARK	TAŞPINAR KÖYÜ	3	2	5	167,1
1	49	192	GÜVENPARK	TULUMTAŞ KÖYÜ	3	2	5	177,5
1	50	193	GÜVENPARK	ŞEHİTALİ KÖYÜ	3	2	5	182,8
1	51	194	GÜVENPARK	FEVZİYE KÖYÜ	3	2	5	198,4

TESİS	HAT	HAT NO	KALKIŞ YERİ	VARIŞ YERİ	Normal Zamanlar İçin Atanan Otobüs Sayısı	Yoğun Durumlar İçin Atanan Ek Otobüs Sayısı	Toplam Atanan Otobüs Sayısı	Toplam Servis Dışı Maliyet
TOPLAM					30	20	51	
1. TESİS TOPLAM SERVİS DIŞI MALİYET								1459,4
1. TESİS SABİT MALİYETİ								410,9
1. TESİS KAPASİTE İNDİRİMİ İLE SAĞLANAN TASARRUF								(331,5)
1. TESİS TOPLAM MALİYETİ								1538,8
2	58	205	YENİMAHALLE METRO İST.	ANADOLU MAH	2	1	3	22,1
2	60	207	İVEDİK METRO İST.	KARDEŞLER KURT İNİ	1	1	2	14,8
2	61	208	İVEDİK METRO İST.-	KARDEŞLER KURT İNİ	5	3	8	54,2
2	62	209	URANKENT	METRO	1	1	2	28,6
2	63	210	HASTAHANE METRO	KARŞIYAKA MEZARLIK	2	1	3	76,4
2	64	211	HASTAHANE METRO	ÇAMLICA MAH	2	1	3	59,1
2	65	213	ŞENTEPE	HASTANE METRO İST	3	2	5	124,3
2	67	215	HASTANE METRO İSTASYONU	YAKACIK - MEMLÜK	2	1	3	89,5
2	68	217	HASTANE METRO İST.	YUVA - KARACAKAYA KÖYÜ	2	1	3	120,0
2	70	226	HASTANE	MEMLÜK	1	1	2	67,1
2	107	295	MESA BATI SİTESİ	BATIKENT METRO	4	2	6	216,0
2	108	296	ERGAZİ MAH.	BATIKENT METRO	3	2	5	170,2
2	109	297	OSTİM	UĞUR MUMCU MAH.	4	2	6	255,4
2	110	298	KARDELEN	BATIKENT METRO	4	2	6	237,5
2	111	299	İLK YERLEŞİM	BATIKENT METRO	3	2	5	215,1
2	128	325	BOSTANCIK	ULUS	3	2	5	170,2
2	185	450	GÜNEŞEVLER	SIHHIYE	7	4	11	360,3
2	186	452	GÜNEŞEVLER	SIHHIYE	2	0	2	53,4
2	190	471	KUŞCAĞIZ	KIZILAY	5	3	8	320,0
2	191	472	UFUKTEPE	KIZILAY	4	2	6	218,4

TESİS	HAT	HAT NO	KALKIŞ YERİ	VARIŞ YERİ	Normal Zamanlar İçin Atanan Otobüs Sayısı	Yoğun Durumlar İçin Atanan Ek Otobüs Sayısı	Toplam Atanan Otobüs Sayısı	Toplam Servis Dışı Maliyet
2	194	475	19 MAYIS MAHALLESİ	KIZILAY	3	2	5	196,3
2	195	476	BAĞLUM-ULUS	KIZILAY	10	5	15	516,2
2	196	477	ATAPARK	KIZILAY	4	2	6	169,5
2	198	480	ITRİ ULUS	KIZILAY	5	3	8	256,0
2	199	481	UYANIŞ- PINARBAŞI	ULUS-KIZILAY	5	3	8	287,2
2	200	482	UYANIŞ-HACI KADIN	ULUS-KIZILAY	6	3	9	327,6
2	203	485	ALTINOVA	ULUS	1	1	2	73,4
2	204	486	SARAY	ULUS	1	1	2	76,5
2	205	487	BAĞLUM	GAR - KIZILAY	9	5	14	399,7
2	166	404	İNCİRLİ	KIZILAY	10	5	15	516,2
2	167	406	KEÇİÖREN	O.D.T.Ü.	2	1	3	91,3
2	168	408	HASKÖY	ÇANKAYA	8	4	12	386,7
2	179	421	KEÇİÖREN	ORAN ŞEHRİ	4	2	6	177,8
2	180	422	KEÇİÖREN- GAR	KIZILAY	5	3	8	247,8
2	181	423	KEÇİÖREN	KIZILAY	3	2	5	143,1
2	182	427	KEÇİÖREN - KALABA	KIZILAY	2	1	3	74,0
2	183	445	BAHÇELİ	HASKÖY	2	1	3	80,6
2	184	446	SOLFASOL	SIHHİYE	9	5	14	419,6
2	186	452	GÜNEŞEVLER	SIHHİYE	0	1	1	53,4
2	187	468	ATIŞ CAD.	KIZILAY	2	1	3	90,7
2	188	469	UFUKTEPE	KIZILAY	4	2	6	134,9
2	192	473	BEŞEVLER	TEKNİK OKULLAR	3	2	5	171,3
2	193	474	ATAPARK - GAR	KIZILAY	5	3	8	247,8
TOPLAM					163	81	238	
2. TESİS TOPLAM SERVİS DIŞI MALİYET								8010,6
2. TESİS SABİT MALİYETİ								575,3
2. TESİS TOPLAM MALİYETİ								8585,9
3	112	301	ÖRNEK	BALGAT	7	4	11	313,3
3	113	302	ÖRNEK	ÖVEÇLER	7	4	11	275,3
3	114	303	ÖRNEK	BEŞTEPE	6	3	9	293,6
3	115	304	BAKANLIK	AŞAĞI AYRANCİ	4	2	6	181,4

TESİS	HAT	HAT NO	KALKIŞ YERİ	VARIŞ YERİ	Normal Zamanlar İçin Atanan Otobüs Sayısı	Yoğun Durumlar İçin Atanan Ek Otobüs Sayısı	Toplam Atanan Otobüs Sayısı	Toplam Servis Dışı Maliyet
3	116	305	EMEK	BAHÇELİ	3	2	5	153,5
3	117	306	ÇALIŞKANLAR	KIZILAY	2	1	3	66,8
3	118	307	HIDIRLIKTEPE	BAKANLIKLAR	1	1	2	60,9
3	119	308	ÖRNEK BEŞTEPE	G.O.P	1	1	2	59,1
3	120	309	BABÜR	BAKANLIK	1	1	2	76,5
3	121	310	YENİDOĞAN	BAKANLIK	1	1	2	71,2
3	122	311	KÜÇÜKESAT	ULUS	4	2	6	194,6
3	123	317	BAĞCILAR	ULUS	6	3	9	222,0
3	124	318	BAĞCILAR	AYDINLIK	4	2	6	139,7
3	125	319	ODTÜ	KIZILAY	3	2	5	112,8
3	126	321	BOSTANCIK	BASİNEVLERİ	4	2	6	213,7
3	127	324	ÇATAK ÇİĞİLTEPE	KIZILAY	5	3	8	251,1
3	129	326	ÇİĞİLTEPE	ULUS	4	2	6	195,8
3	130	327	BOSTANCIK- ÇİĞİLTEPE	KIZILAY	4	2	6	175,5
3	131	328	BOSTANCIK- ALTIŞEVLER	ULUS	2	1	3	84,1
3	132	329	BOSTANCIK- ALTIŞEVLER	KIZILAY	5	3	8	221,6
3	133	333	ULUS	İMRAHOR	3	2	5	170,2
3	134	334	TUZLUÇAYIR	KIZILAY	4	2	6	169,5
3	135	336	YAKUPABDAL KÖYÜ	ULUS	1	1	2	53,3
3	136	340	EGE MAHALLESİ	BEŞEVLER DDY HAST	14	7	21	568,2
3	137	343	BOSTANCIK- ALTIAĞAÇ	ULUS	5	3	8	252,7
3	138	344	BOSTANCIK- ALTIAĞAÇ	KIZILAY	1	1	2	65,8
3	139	346	TEPECİK - ÇOBAN ÇEŞMESİ	KIZILAY	3	2	5	126,4
3	140	348	KAYAŞ	BEŞEVLER	5	3	8	185,5
3	141	349	DERBENT- ARAPLAR	ULUS	1	1	2	47,4
3	142	350	KIZILCAKÖY	ULUS	2	1	3	84,1
3	143	353	AKŞEMSETTİN- BOĞAZIÇI- 4.CADDE	ULUS	1	1	2	56,0

TESİS	HAT	HAT NO	KALKIŞ YERİ	VARIŞ YERİ	Normal Zamanlar İçin Atanan Otobüs Sayısı	Yoğun Durumlar İçin Atanan Ek Otobüs Sayısı	Toplam Atanan Otobüs Sayısı	Toplam Servis Dışı Maliyet
3	144	356	KAYAŞ	ULUS	1	1	2	73,4
3	145	358	KAYAŞ	BENDDERESİ	1	1	2	77,4
3	146	359	GÖKÇEYURT	ULUS	2	1	3	91,3
3	147	360	ORTAKÖY	ULUS	1	1	2	73,4
3	148	363	KUSUNLAR KÖYÜ	ULUS	1	1	2	82,8
3	149	366	DERBENT- ARAPLAR	KIZLAY	2	1	3	102,6
3	150	367	ŞİRİNTEPE	ULUS	2	1	3	96,7
3	151	371	KIBRIS KÖYÜ	KIZILAY	1	1	2	47,1
3	152	373	ZABITA BLOKLARI	ULUS	2	1	3	103,8
3	153	374	ZERDALİTEPE	DİKİMEVİ ANKARAY (RİNG)	3	2	5	147,3
3	154	375	AKDERE	ULUS	2	1	3	115,8
3	155	376	YEŞİLBAYIR	KIZILAY	4	2	6	150,4
3	156	377	ŞAHAPGÜRLER	KIZILAY	1	1	2	68,5
3	157	378	MUTLU TUZLUÇAYIR	KIZILAY	3	2	5	147,3
3	158	379	GÖKÇEYURT	KIZILAY	2	1	3	82,4
3	159	381	TÜRKÖZÜ	ULUS	3	2	5	136,8
3	160	382	CENGİZ TOPEL	KIZILAY	9	5	14	467,7
3	161	383	PEYAMİ SAFA	KIZILAY	9	5	14	402,5
3	162	384	MUTLU ZABITA BLOKLARI	ULUS	1	1	2	77,4
3	163	385	CEBECİ DÖRTYOL - BAKANLIK	LALEGÜL	4	2	6	198,1
3	164	388	CEBECİ DÖRTYOL	Y.AYRANCI	4	2	6	169,5
3	165	391	CEBECİ	GAZİ ORDUEVİ	3	2	5	191,1
TOPLAM					171	85	256	
3. TESİS TOPLAM SERVİS DIŞI MALİYET								8244,9
3. TESİS SABİT MALİYETİ								547,9
3. TESİS TOPLAM MALİYETİ								8792,8
4	4	114	KIRK KONAKLAR	ULUS	9	5	14	255,1
4	5	115	GÖLTEPE	ULUS	7	4	11	212,6
4	9	129	GÜVENPARK	EMSAN SİTESİ	1	1	2	35,8

TESİS	HAT	HAT NO	KALKIŞ YERİ	VARIŞ YERİ	Normal Zamanlar İçin Atanan Otobüs Sayısı	Yoğun Durumlar İçin Atanan Ek Otobüs Sayısı	Toplam Atanan Otobüs Sayısı	Toplam Servis Dışı Maliyet
4	10	130	GÜVENPARK	CEVİZLİDERE	1	1	2	43,9
4	11	131	GÜVENPARK	TURTAŞ SİTESİ	1	1	2	42,1
4	12	132	KARA KUSUNLAR	ULUS	9	5	14	232,5
4	13	134	GÜVENPARK	ÇİĞDEM MAHALLESİ	4	2	6	121,7
4	15	136	GÜVENPARK	İLKER	3	2	5	115,9
4	16	139	GÜVENPARK	KEKLİKPINARI	2	1	3	56,1
4	17	140	GÜVENPARK	SOKULLU	1	1	2	38,9
4	18	141	GÜVENPARK	İLKER MAHALLESİ (SINAN CADDESİ CAMİİ	2	1	3	66,2
4	19	142	KARA KUSUNLAR	KONYA YOLU- ULUS	1	1	2	36,7
4	20	145	ATATÜRK SİTESİ	ULUS	8	4	12	260,2
4	21	148	ATATÜRK SİTESİKONYA YOLU	ULUS	1	1	2	48,8
4	22	150	BEŞEVLER	DİKİMEVİ	3	2	5	51,2
4	23	153	GÜVENPARK	BALGAT	4	2	6	82,4
4	24	154	SOKULLU	ULUS	9	5	14	206,9
4	25	155	AHMET HAŞİM	ULUS	1	1	2	32,7
4	26	156	GÜVENPARK	ÖVEÇLER	2	1	3	51,9
4	27	158	GÜVENPARK	ÖVEÇLER	2	1	3	51,9
4	28	159	ODTÜ	TUNUS CADDESİ	2	1	3	61,5
4	29	160	OPERA	SEYRANBAĞLA RI	1	1	2	26,9
4	30	165	AŞTİ	BALGAT	3	2	5	73,1
4	32	167	EMEK	ÇANKAYA	2	1	3	43,0
4	36	171	OPERA	MUSTAFA KEMAL MAHALLESİ	1	1	2	41,6
4	37	173	OPERA	DİKMEN DERESİ	3	2	5	93,0
4	38	174	OPERA	BEYSUKENT	4	2	6	180,2
4	41	183	İLKER SINAN CADDESİ	ULUS	5	3	8	159,2

TESİS	HAT	HAT NO	KALKIŞ YERİ	VARIŞ YERİ	Normal Zamanlar İçin Atanan Otobüs Sayısı	Yoğun Durumlar İçin Atanan Ek Otobüs Sayısı	Toplam Atanan Otobüs Sayısı	Toplam Servis Dışı Maliyet
4	42	184	GÜVENPARK İLKER SİNAN	İLKER	4	2	6	132,5
4	43	185	ORANSİTESİ	ULUS	7	4	11	248,4
4	44	186	İLKER SİNAN CADDESİ	KIZILAY	5	3	8	142,8
4	45	187	İLKER	ULUS	2	1	3	43,6
4	46	188	ORAN SİTESİ	KEÇİÖREN	4	2	6	173,1
4	47	190	GÜVENPARK	YEŞİLKENT	3	2	5	100,3
4	52	197	ODTÜ	SIHHIYE	1	1	2	37,6
4	53	198	ODTÜ	KIZILAY	2	1	3	58,5
4	31	166	KAVAKLIDERE	TEKNİK OKULLAR	2	1	3	28,6
4	33	168	BAHÇELİ EVLER	ANKARAY	4	2	6	41,8
4	55	202	İVEDİK METRO	YENİMAH	5	3	8	85,3
4	56	203	İNCİRLİ	KIZILAY	6	3	9	143,2
4	57	204	İNCİRLİ-GAR	KIZILAY	6	3	9	143,2
4	66	214	SERHAT SİTESİ	MACUNKÖY METRO	2	1	3	82,4
4	69	223	SUBAYEVLERİ	ODTÜ	1	1	2	70,7
4	170	410	AKTEPE- KUYUBAŞI	ULUS-KIZILAY	6	3	9	236,3
4	171	411	AKTEPE	KIZILAY	6	3	9	288,3
4	172	412	AKTEPE-GAR	KIZILAR	6	3	9	200,5
4	173	413	ALTINPARK	ÇANKAYA	24	12	36	558,6
4	174	414	AKTEPE	OSTİM	6	3	9	123,5
4	175	415	AKTEPE	YEŞİLTEPE	6	3	9	166,5
4	176	416	AKTEPE	KIZILAY	4	2	6	133,7
4	177	418	DUTLUK	KIZILAY	2	1	3	87,1
4	178	420	KEÇİÖREN	KIZILAY	6	3	9	273,9
4	189	470	23 NİSAN MAHALLESİ	KIZILAY	4	2	6	186,2
TOPLAM					216	108	332	
4. TESİS TOPLAM SERVİS DIŞI MALİYET								6508,7
4. TESİS SABİT MALİYETİ								479,4
4. TESİS TOPLAM MALİYETİ								6988,1
5	206	501	AKINCILAR	SEZENLER	10	5	15	322,3
5	207	505	SİNCAN	M.AKSOY SOKAK- SIHHIYE	2	1	3	96,1

TESİS	HAT	HAT NO	KALKIŞ YERİ	VARIŞ YERİ	Normal Zamanlar İçin Atanan Otobüs Sayısı	Yoğun Durumlar İçin Atanan Ek Otobüs Sayısı	Toplam Atanan Otobüs Sayısı	Toplam Servis Dışı Maliyet
5. TESİS TOPLAM MALİYETİ								6249,0
6	3	112	KIZILAY	G.O.P.	9	5	14	280,6
6	59	206	YENİMAHALLE	ODTÜ	1	1	2	36,3
6	71	227	SUBAYEVLERİ	AŞAĞI AYRANCI	13	7	20	568,0
6	72	230	HACETTEPE	BEYTEPE KAMPÜSÜ	4	2	6	148,0
6	73	232	BATIKENT	ODTÜ	1	1	2	86,4
6	74	233	OPERA	İVEDİK METRO	2	1	3	16,7
6	75	234	OSTİM METRO	İVEDİK ORGANİZE SANAYİ	1	1	2	32,2
6	76	238	OSTİM	ŞAŞMAZ SANAYİ SİTESİ	2	1	3	36,4
6	77	240	OSTİM METRO	ÇEŞME İLK YERLEŞİM	2	1	3	22,7
6	78	242	DEMETEVLER METRO	DEMETGÜL- SSK BLOKLARI	2	1	3	40,0
6	79	250	MACUNKÖY METRO	GİMAT	1	1	2	22,4
6	80	251	MACUNKÖY	İVEDİK ORGANİZE SANAYİ	1	1	2	36,7
6	81	253	BATIKENT	SİTELER	3	2	5	74,2
6	82	260	ETLİK YAYLA	KASALAR	1	1	2	43,9
6	83	261	ETLİK - KASALAR	KIZILAY	5	3	8	103,4
6	84	262	ETLİK	ATAKULE	4	2	6	97,9
6	85	263	ETLİK	BALGAT	4	2	6	118,2
6	86	264	ETLİK	KIZILAY - EKSPRESLERİ	4	2	6	75,2
6	87	265	ETLİK	BAKANLIK- ANITTEPE	4	2	6	97,9
6	88	266	YÜKSELTEPE	SİTELER	2	1	3	69,8
6	89	267	ETLİK	BEŞEVLER- BAKANLIKLAR	4	2	6	76,4
6	90	271	ŞENTEPE - ÇİĞDEMTEPE	YENİ MAH.METRO İST	4	2	6	85,9
6	91	272	ŞENTEPE	BEŞEVLER	1	1	2	35,4
6	92	275	KARŞIYAKA	HASTANE	3	2	5	51,2

Model değişen tesis sayılı yaklaşıma göre tekrar çözüldüğünde, model sadece 5 ve 6 tesis için mümkün çözüm vermektedir. Modelde 6 tesisin yer alması durumunda optimal sonuç elde edilmektedir ve Tablo 3.4.’te bu sonuçlar gösterilmiştir. Modelde 5 tesisin yer aldığı durum için sonuçlar ise Tablo 3.5.’te verilmiştir.

Tablo 3.5.: Modelde 5 Tesisin Yer Alması Durumunda Elde Edilen Sonuçlar

TESİSLER	HAT SAYISI	TESİS KAPASİTESİ	ATANAN OTOBÜS SAYISI
TESİS 2	55	400	288
TESİS 3	53	300	260
TESİS 4	53	350	332
TESİS 5	30	200	173
TESİS 6	44	200	190
TOPLAM	235	1525	1246
TOPLAM GÜNLÜK MALİYET			37.463,6 YTL

Model sonucunda elde edilen genel sonuçlar şu şekildedir:

- Günlük 33.482,7 YTL’lik bir kazanç elde edilmiştir.Bu toplam maliyette %48,06’lık bir azalmanın sağlandığı anlamına gelmektedir.
- Her otobüs hattındaki normal zamanlar ve sabah ve akşam yoğun durumlardaki ihtiyaç duyulan otobüslerin hangi tesislere atanacakları belirlenmiştir.
- Sistemde hangi tesislerin kapatılması gerektiği ve hangi yeni tesisin sisteme dahil edilmesi gerektiği belirlenmiştir.
- 1. tesiste yapılan 221 otobüslük kapasite indirimi ile günlük 331,5 YTL’lik bir kazanç elde edilmiştir.
- Sisteme 6. tesisin dahil edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.
- Sistemde 4. ve 6. tesis tam kapasite ile çalışmaktadır. Kapasite artırımının söz konusu olması durumunda, bu tesislere öncelik tanınmalıdır.

- Sistemden bir tesisin çıkarılması istenildiğinde, 1. tesis çıkarılmalıdır.
- Sistemde 5 tesisin yer almasının arzulandığı durumda, 2-6. tesisler sistemde yer almalıdır. Bu durumda 32.191.8 YTL'lik bir kazanç elde edilecektir.

Ek-2 'de

- ❖ $X(I,J)$ ifadesi i. hattan, normal zamanlarda j. tesise atanan otobüs sayısını göstermektedir. $A(I,J)$ ifadesi ise i. hattan, yoğun durumlarda j. tesise atanan otobüs sayısını göstermektedir. Modelde 235 hat, 6 tesis ve 2 servis periyodu bulunduğundan, $235*6*2 = 2820$ adet X karar değişkeni çözümde değer alacaktır.
- ❖ $Y(J)$ j. tesisin açık olup, olmadığını göstermektedir. Değeri 1 ise, j. tesis çözümde yer almakta, 0 ise çözümde yer almamaktadır.

Model çözüldüğünde, toplu taşıma sistemleri için tesis yerleşim problemlerine çözüm bulunmuştur. Böylelikle oluşturulan model, toplu taşıma sistemlerinin planlanması ve çizelgelenmesinde karar verme aracı olarak da kullanılabilir. Sonuç olarak oluşturduğumuz model çözüldüğünde, sistemde hangi hattan hangi tesislere hangi servis periyodunda ne kadar otobüsün atanacağı, sistemde kaç tesisin bulunması gerektiği ve bu tesislerin kapasitelerinin ne kadar olması gerektiği belirlenebilir. Ayrıca, alternatif çözüm önerileri geliştirilerek, optimum sonuca yakın alternatif çözümlerin bulunmasıyla, tesis yerleşim problemi için karar verme sürecinde farklı alternatiflerin değerlendirilmesine de olanak sağlanmaktadır.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, karışık tamsayılı programlama ile tesis yerleşimi uygulaması üzerinde durulmuştur. Toplu taşıma sistemlerinin planlanması ve çizelgelenmesinde, tesis yerleşimi büyük önem taşımaktadır. Tesis yerleşim modeli ile sistemde bulunması gereken tesisler, bu tesislerin kapasiteleri ve sistemde mevcut hatların ihtiyaç duydukları otobüslerin hangi tesislere atanacakları belirlenmektedir.

Tesis yerleşimlerinde toplam maliyetleri etkileyen en önemli unsur servis dışı maliyetlerdir. Daha önce de açıklandığı gibi, toplu taşıma sistemleri içinde yer alan otobüsler, çalışma saatleri dışında atanmış oldukları tesislere gelerek park halinde bu tesislerde beklerler. Otobüsler, servise başlamadan önce, bu tesislerden günlük izleyecekleri hatlarının başlangıç noktasına giderler ve yine servis bittiğinde de günlük izleyecekleri hatlarının bitiş noktasından yine tesislerine dönerler. Servis zamanı dışında, tesislerden başlangıç noktasına gitmek ve yine bitiş noktasından tesislere geri dönmenin oluşturduğu maliyet servis dışı maliyet olarak adlandırılır.

Servis dışı maliyetin yanı sıra, sistemde bulunan mevcut tesislerin sabit maliyetleri de toplam maliyeti etkileyen bir başka önemli unsurdur. Ayrıca, sisteme eklenebilecek yeni tesisler veya sistemden çıkarılacak tesisler ile daha iyi sonuçlara ulaşılabilme, mümkün olabilmektedir. Bazı tesislerin kapasitelerinin azaltılmasıyla toplam maliyetin minimizasyonunu sağlayacak tasarrufların elde edilmesi de söz konusu olabilmektedir.

Tesis yerleşiminin önemli bir yönetim ve işletme problemi olması, yönetimlerin, bir tek en iyi sonucu elde etmek yerine, en iyi sonuca yakın, diğer alternatif çözümleri de göz önünde bulundurmak istemeleri sonucunu doğurmaktadır. Bu nedenle, karışık tamsayılı programlamanın yanı sıra en iyi sonuca yakın, alternatif çözüm önerileri sunan sezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Yine karışık tamsayılı programlama da, değişen tesis sayılı yaklaşım ile, tesis sayısının sonuç üzerindeki etkisi ortaya koyulmaktadır.

Bu çalışmada, Ankara Toplu Taşıma Dairesi Başkanlığı bünyesindeki belediye otobüsleri hizmetleri için, toplam maliyeti minimize eden tesis yerleşim modelinin oluşturulması amaçlanmıştır.

Çalışmada, Willoughby'nin 2002 yılında "The International Journal of Management Science" dergisinde "A Mathematical Programming Analysis of Public Transit Systems" başlıklı makalesinde açıklanan model baz alınmıştır. Bu modele, Ball ve arkadaşlarının 1984 yılında "Transportation Science" dergisinde yayınladıkları "Garage Location For An Urban Mass Transit System" başlıklı makalede açıklanan tesis yerleşim modelinde kullandıkları tesis sabit maliyetleri ve değişen tesis sayılı yaklaşımları ilave edilerek çözüme ulaşılmıştır. Maliyet minimizasyonunu hedefleyen modelde, toplam 235 hat, 6 tesis ve 2 servis periyodu kullanılmıştır.

Çalışmanın sonucunda, toplam maliyeti minimize eden tesis sayısı, tesis kapasiteleri ve sistemde bulunan hatlarda çalışan otobüslerin hangi tesislere atanmaları gerektiği belirlenmiş ve günlük elde edilen iyileşme gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar, aşağıda yer almaktadır;

- Günlük 33.482,7 YTL'lik bir kazanç elde edilmiştir. Bu toplam maliyette %48,06'lık bir azalmanın sağlandığı anlamına gelmektedir.
- Her otobüs hattındaki normal zamanlar ve sabah ve akşam yoğun durumlardaki ihtiyaç duyulan otobüslerin hangi tesislere atanacakları belirlenmiştir.
- Sistemde hangi tesislerin kapatılması gerektiği ve hangi yeni tesisin sisteme dahil edilmesi gerektiği belirlenmiştir.
- 1. tesiste yapılan 221 otobüslük kapasite indirimi ile günlük 331,5 YTL'lik bir kazanç elde edilmiştir.
- Sisteme 6. tesisin dahil edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.
- Sistemde 4. ve 6. tesis tam kapasite ile çalışmaktadır. Kapasite artırımının söz konusu olması durumunda, bu tesislere öncelik tanınmalıdır.
- Sistemden bir tesisin çıkarılması istenildiğinde, 1. tesis çıkarılmalıdır.

Sistemde 5 tesisin yer almasının arzulandığı durumda, 2-6. tesisler sistemde yer almalıdır. Bu durumda 32.191.8 YTL'lik bir kazanç elde edilecektir.

Özellikle büyük şehirlerde artan şehir nüfusuyla beraber, toplu taşımada kullanılan araç sayısının sürekli artış gösterdiği göz önüne alındığında, modelin çözümüyle elde edilen iyileşmenin, belediyeler için ne derece önemli bir kaynak tasarrufu olduğu ve ilerde de olmaya devam edeceği açıkça görülmektedir. Toplu taşımada kullanılan araç sayısının sürekli artış göstermesiyle, toplu taşıma sistemlerinin planlanması ve çizelgelenmesinin sürekliliğinin sağlanması ve modelin değişen koşullara göre geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışma, mevcut durumda önemli bir sonuç elde etmesinin yanında gelecekte bu alanda yapılacak çalışmalara da bir baz teşkil edebilir. Bu çalışmalar şu unsurları da kapsayacak şekilde yapılabilir;

- ❖ Sisteme ilave edilebilecek alternatif tesisler için çeşitli yerler belirlenebilir. Bu durumda arsa maliyetleri ve tesis kurulum maliyetleri modele ilave edilerek alternatif çözümler üzerinde çalışılabilir. Bununla beraber, sistemdeki tesis kapasitelerinin belli bir zaman sonra toplam otobüsler için yeterli olamayacağı ve yeni tesislerin kurulumunun zorunlu hale geleceği düşünülürse, yakın gelecekte bu model üzerinde çalışılmasının gerekliliği ortaya çıkmaktadır.
- ❖ Sisteme ilave edilecek yeni tesislerin yerine, mevcut tesislerin kapasitelerinin artırılması üzerine çalışmalar yapılabilir. Tesislerin kapasite artırımı maliyetleri hesaplanarak modele dahil edilebilir.
- ❖ Servis dışı maliyet hesaplanırken, hatlardaki otobüslerin izledikleri güzergahların trafik yoğunlukları hesap edilerek modele dahil edilebilir. Trafiğin daha yoğun olduğu güzergahlar ve saatlerde, servis dışı maliyetin nasıl bir değişiklik gösterdiği üzerine çalışmalar yapılabilir.
- ❖ Sistemde çalışan otobüslerin daha yüksek yolcu taşıma kapasiteli otobüsler ile değiştirilmesi durumunda sistemdeki servis dışı maliyetteki azalma ile otobüsleri değiştirme maliyetlerini karşılaştıran bir çalışma yapılabilir.

KAYNAKÇA

- Ball M, Assad A, Bodin L, Golden B, Spielberg F. (1984) Garage location for an urban mass transit system. **Transportation Science**;18(1):56-75.
- Bolade T. (1993) Urban Transport in Lagos, **The Urban Age** 2(1): 7.
- Cooper L. (1963) Location-allocation problems, **Operation Research**; 11:331-43.
- Ego Genel Müdürlüğü, Otobüs Daire Başkanlığı, İstatistik Müdürlüğü, 2004 Faaliyet Raporu, Ankara 2004.
- Ego Genel Müdürlüğü, Otobüs Daire Başkanlığı, İstatistik Müdürlüğü, 2005 Eylül Ayı İçtima Raporları, Ankara 2005.
- Ego Genel Müdürlüğü web sitesi, www.ego.gov.tr.
- Elwein, L.B. (1971) Fixed Charged Location Allocation Problems with Capacity and Configuration Constraints, Department of Industrial Engineering, Technical Report No. 70-2.
- Gray P.(1967) Mixed Integer Programming Algorithm for Site Selection and Other Fixed Charged Problems, Department of Operations Research, Standfort University, Technical Report No. 6.
- Henry E, (1993) Latin American MassTransit, **The Urban Age** 2(1): 10-11.
- İç Y.T., (2000). Kredi Talep Eden Endüstri Kuruluşlarını Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Doğrusal Programlama Yöntemleriyle Değerlendiren Bir Karar Destek Sisteminin Oluşturulması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Jandy G. (1967) Approximate Algorithm for the Fixed Charge Capacitated Site Location Problem, Operations Research House, Standfort University, Technical Report No. 67-3.
- Khumawala BM. (1974) An efficient heuristic procedure for the capacitated warehouse location problem. **Naval Research Logistics Quarterly**;21:609-23.
- Losch A. (1954) The economics of location. Connecticut: **Yale University Press**.
- Love RF, Morris JG, Wesolowski GO. (1988) Facilities location: models and methods. New York: North-Holland .
- Mandracıoğlu Aliye, Gövsa Figen , Hancı İ. Hamit, (1997) Dünyada Ve Türkiye'de Kentlerde Otomobil Bağımlılığı, Makina Mühendisleri Odası, **Ulaşım ve Trafik Kongresi Bildiriler Kitabı**; 102-109.
- Maze TH, Khasnabis S, Kutsal MD. (1982) Optimization methodology for bus garage locations. **Transportation Engineering Journal of ASCE**;108 (TE6) : 550-69.
- Maze TH, Khasnabis S, Kutsal Mehmet D. (1983) Application of a bus garage location and sizing optimization. **Transportation Research**;17:65-72.
- Maze TH Khasnabis S, (1985) Bus garage location planning with dynamic vehicle assignments: A methodology, **Transportation Research Part B: Methodological**, Volume 19, 1-13.
- Newman P, (1996) Reducing Automobile Dependence, **Environment and Urbanization** 8 (1): 67-92.
- Orski K, (1993) Auto Dependency in the United States, **The Urban Age** 2(1): 15.
- Renda Y, (1996) Şehir ve Ulaşım, **Bilim ve Teknik**, Tubitak, 349:20-24.
- Rowley J, (1995) Lille: City of the Future, **People and the planet**, 4(1): 25-26.

- Shu Wing Lee E, (1993) Hong Kong Use Escalators as Public Transit System, **The Urban Age** 2(1): 21.
- Stickland R (1993) Bangkok's Urban Transport Crisis, **The Urban Age** 2(1): 4-6.
- Suchorzewski W, (1993) The Effects of Warsaw's Rising Car Travel, **The Urban Age** 2(1): 14.
- Thijin E, (1993) Amsterdam's Bold Approach to Reduce Car Traffic, **The Urban Age** 2(1): 12.
- Waters NM, Wirasinghe SC, Marion KED, Babalola A. (1986) Location of bus garages, **Journal of Advanced Transportation**;20:135-50.
- Willloughby KA, Dean H. Uyeno, (1995) Transit center location\allocation decisions, **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, Volume 29, 263-272.
- Willloughby KA, Dean H. Uyeno, (2001) Resolving splits in location\allocation modeling; a heuristic procedure for transit center decisions, **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, Volume 37, 71-83.
- Willloughby, KA.A Mathematical programming analysis of public transit systems, **The International Journal of Management Science**, Omega 30 (2002) 137-142.
- Winston W.L., (1994). **Operations Research Applications and Algorithms**. Indiana: Duxbury Press.

EK – 1 : LINGO MODELİ

SETS: ! LINGO'da Tesis Yerleşim Modeli;

S ;; ! Kapasite;

I; ! Normal Zamanlar Otobüs Hatları;

J; ! Normal Zamanlar Tesisler;

L; ! Servis Periyodu;

B; ! sabit maliyet;

D; ! Tesislerin Otobüs İhtiyacı;

X(I, J): !Normal Zamanlar Tesise Atanan Otobüs Sayısı;

A(I, J): !Yoğun Durumlar Tesise Atanan Otobüs Sayısı;

C(I,J): ! Normal Zamanlar Birim Servis Dışı Maliyet;

E(I,J): ! Normal Zamanlar Birim Servis Dışı Maliyet;

D(I): !Normal Zamanlar Hattaki Otobüs İhtiyacı;

O(I): !Yoğun Durumlar Hattaki Otobüs İhtiyacı;

ALFA; ! Arıza Oranı;

K; ! Kapasite Azaltımı;

P;! Kapasite Azaltım Maliyet;

V; ! Modifiye Maliyeti;

Y; ! 0-1 Degisken;

T; ! TesisSayısı;

ENDSETS

DATA:

I = 1..235;

J = 1..6;

L=1..2;

B(J) = ! Tesislerin Sabit Maliyeti;

410,9

575,3

547,9

616,4

410,9

205,4;

S(J) = !Tesislerin Kapasiteleri;

275

400

300

350

200

200;

ALFA= ! Arıza Oranı;

0,05;

P= !Kapasite Azaltım Maliyeti;

1,5;

V= !Modifiye Maliyeti;

205,4;

T= ! Tesis Sayısı;

6;

C(I,J)= @FILE('maliyet.TXT'); ! Normal Zamanlar Birim Maliyetler;

E(I,J)= @FILE('maliyet1.TXT'); ! Yoğun Durumlar Birim Maliyetler;

D(I)=@FILE('ihtiyac.TXT'); ! Normal Zamanlar Hatların Otobüs İhtiyaçları;

O(I)=@FILE('ihtiyac1.TXT'); ! Yoğun Durumlar Hatların Otobüs İhtiyaçları;

ENDDATA

! Amaç Fonksiyonu;

$$\begin{aligned} \text{MIN} = & @\text{SUM}(X(I, J) * C(I,J)) + @\text{SUM}(A(I, J) * E(I,J)) + @\text{SUM}(B(J):* Y(J)) \\ & + @\text{SUM}(V(J6)* Y(J6)) - @\text{SUM}(P(J1)* K(J1)); \end{aligned}$$

! Hatların Otobüs İhtiyacının Karşılanması Kısıtı;

$$@SUM(X(I, J))=D(I);$$

$$@SUM(A(I, J))=O(I);$$

! Tesis Kapasitesi Kısıtı;

$$(@SUM(X(I, J)) + @SUM(A(I, J))) <= (S(J)* Y(J)*(1-ALFA));$$

! Kapasite İndiriminin Toplam Kapasiteden Fazla Olmaması Kısıtı;

$$@FOR X(J1):$$

$$K(J1) = (S(J)* Y(J) - (1+ALFA)*(@SUM(X(I, J)+@SUM(A(I,J))));$$

! Tesis Sayısı Kısıtı;

$$@SUM(Y(J)) <= T;$$

! Y 0-1 değerini alabilir;

$$@FOR(Y:@bnd(Y(J)););$$

! Tamsayı Kısıtı;

$$@FOR(X:@bnd(X(I,J););$$

$$@FOR(A:@bnd(A(I,J););$$

END

EK – 2. LINGO ÇIKTISI

LINGO (Solution Report: 0001_yarilcim_AKARA)

File Edit LINGO Window Help

Global optimal solution found.
 Objective value: 36172.700
 Extended solver steps: 0
 Total solver iterations: 1816

Variable	Value	Reduced Cost
X(1,1)	3.000000	0.000000
X(2,1)	5.000000	0.000000
X(6,1)	5.000000	0.000000
X(7,1)	3.000000	0.000000
X(8,1)	1.000000	0.000000
X(14,1)	2.000000	0.000000
X(39,1)	2.000000	0.000000
X(40,1)	1.000000	0.000000
X(48,1)	3.000000	0.000000
X(49,1)	3.000000	0.000000
X(50,1)	3.000000	0.000000
X(51,1)	3.000000	0.000000
X(58,2)	2.000000	0.000000
X(60,2)	1.000000	0.000000
X(61,2)	5.000000	0.000000
X(62,2)	1.000000	0.000000
X(63,2)	2.000000	0.000000
X(64,2)	2.000000	0.000000
X(65,2)	3.000000	0.000000
X(67,2)	2.000000	0.000000
X(68,2)	2.000000	0.000000
X(70,2)	1.000000	0.000000
X(107,2)	4.000000	0.000000
X(108,2)	3.000000	0.000000
X(109,2)	4.000000	0.000000
X(110,2)	4.000000	0.000000
X(111,2)	3.000000	0.000000
X(128,2)	3.000000	0.000000
X(166,2)	10.000000	0.000000
X(167,2)	2.000000	0.000000
X(168,2)	0.000000	0.000000
X(179,2)	4.000000	0.000000
X(180,2)	5.000000	0.000000
X(181,2)	3.000000	0.000000
X(182,2)	2.000000	0.000000

For Help, press F1

MOD Ln 7, Col 56 1:19 am

Başlat

Global optimal solution found.

Objective value: 36172.700
 Extended solver steps: 0
 Total solver iterations: 1816

Variable	Value	Reduced Cost
X(1,1)	3.000000	0.000000
X(2,1)	5.000000	0.000000
X(6,1)	5.000000	0.000000
X(7,1)	3.000000	0.000000
X(8,1)	1.000000	0.000000
X(14,1)	2.000000	0.000000
X(39,1)	2.000000	0.000000
X(40,1)	1.000000	0.000000
X(48,1)	3.000000	0.000000
X(49,1)	3.000000	0.000000
X(50,1)	3.000000	0.000000
X(51,1)	3.000000	0.000000
X(58,2)	2.000000	0.000000
X(60,2)	1.000000	0.000000
X(61,2)	5.000000	0.000000
X(62,2)	1.000000	0.000000
X(63,2)	2.000000	0.000000
X(64,2)	2.000000	0.000000
X(65,2)	3.000000	0.000000

X(67,2)	2.000000	0.000000
X(68,2)	2.000000	0.000000
X(70,2)	1.000000	0.000000
X(107,2)	4.000000	0.000000
X(108,2)	3.000000	0.000000
X(109,2)	4.000000	0.000000
X(110,2)	4.000000	0.000000
X(111,2)	3.000000	0.000000
X(128,2)	3.000000	0.000000
X(166,2)	10.000000	0.000000
X(167,2)	2.000000	0.000000
X(168,2)	8.000000	0.000000
X(179,2)	4.000000	0.000000
X(180,2)	5.000000	0.000000
X(181,2)	3.000000	0.000000
X(182,2)	2.000000	0.000000
X(183,2)	2.000000	0.000000
X(184,2)	9.000000	0.000000
X(186,2)	2.000000	0.000000
X(187,2)	2.000000	0.000000
X(188,2)	4.000000	0.000000
X(192,2)	3.000000	0.000000
X(193,2)	5.000000	0.000000
X(112,3)	7.000000	0.000000
X(113,3)	7.000000	0.000000
X(114,3)	6.000000	0.000000
X(115,3)	4.000000	0.000000
X(116,3)	3.000000	0.000000
X(117,3)	2.000000	0.000000
X(118,3)	1.000000	0.000000
X(119,3)	1.000000	0.000000
X(120,3)	1.000000	0.000000
X(121,3)	1.000000	0.000000
X(122,3)	4.000000	0.000000
X(123,3)	6.000000	0.000000
X(124,3)	4.000000	0.000000
X(125,3)	3.000000	0.000000
X(126,3)	4.000000	0.000000
X(127,3)	5.000000	0.000000
X(129,3)	4.000000	0.000000
X(130,3)	4.000000	0.000000
X(131,3)	2.000000	0.000000
X(132,3)	5.000000	0.000000
X(133,3)	3.000000	0.000000
X(134,3)	4.000000	0.000000
X(136,3)	14.000000	0.000000
X(137,3)	5.000000	0.000000
X(138,3)	1.000000	0.000000
X(139,3)	3.000000	0.000000
X(140,3)	5.000000	0.000000
X(141,3)	1.000000	0.000000
X(142,3)	2.000000	0.000000
X(143,3)	1.000000	0.000000
X(144,3)	1.000000	0.000000
X(145,3)	1.000000	0.000000
X(146,3)	2.000000	0.000000

X(147,3)	1.000000	0.000000
X(148,3)	1.000000	0.000000
X(149,3)	2.000000	0.000000
X(150,3)	2.000000	0.000000
X(151,3)	1.000000	0.000000
X(152,3)	2.000000	0.000000
X(153,3)	3.000000	0.000000
X(154,3)	2.000000	0.000000
X(155,3)	4.000000	0.000000
X(156,3)	1.000000	0.000000
X(157,3)	3.000000	0.000000
X(158,3)	2.000000	0.000000
X(159,3)	3.000000	0.000000
X(160,3)	9.000000	0.000000
X(161,3)	9.000000	0.000000
X(162,3)	1.000000	0.000000
X(163,3)	4.000000	0.000000
X(164,3)	4.000000	0.000000
X(165,3)	3.000000	0.000000
X(4,4)	9.000000	0.000000
X(5,4)	7.000000	0.000000
X(9,4)	1.000000	0.000000
X(10,4)	1.000000	0.000000
X(11,4)	1.000000	0.000000
X(12,4)	9.000000	0.000000
X(13,4)	4.000000	0.000000
X(15,4)	3.000000	0.000000
X(16,4)	2.000000	0.000000
X(17,4)	1.000000	0.000000
X(18,4)	2.000000	0.000000
X(19,4)	1.000000	0.000000
X(20,4)	8.000000	0.000000
X(21,4)	1.000000	0.000000
X(22,4)	3.000000	0.000000
X(10,4)	1.000000	0.000000
X(11,4)	1.000000	0.000000
X(12,4)	9.000000	0.000000
X(13,4)	4.000000	0.000000
X(15,4)	3.000000	0.000000
X(16,4)	2.000000	0.000000
X(17,4)	1.000000	0.000000
X(18,4)	2.000000	0.000000
X(19,4)	1.000000	0.000000
X(20,4)	8.000000	0.000000
X(21,4)	1.000000	0.000000
X(22,4)	3.000000	0.000000
X(23,4)	4.000000	0.000000
X(24,4)	9.000000	0.000000
X(25,4)	1.000000	0.000000
X(26,4)	2.000000	0.000000
X(27,4)	2.000000	0.000000
X(28,4)	2.000000	0.000000
X(29,4)	1.000000	0.000000
X(30,4)	3.000000	0.000000
X(31,4)	2.000000	0.000000
X(32,4)	2.000000	0.000000

X(33,4)	4.000000	0.000000
X(36,4)	1.000000	0.000000
X(37,4)	3.000000	0.000000
X(38,4)	4.000000	0.000000
X(41,4)	5.000000	0.000000
X(42,4)	4.000000	0.000000
X(43,4)	7.000000	0.000000
X(44,4)	5.000000	0.000000
X(45,4)	2.000000	0.000000
X(46,4)	4.000000	0.000000
X(47,4)	3.000000	0.000000
X(52,4)	1.000000	0.000000
X(53,4)	2.000000	0.000000
X(55,4)	5.000000	0.000000
X(56,4)	6.000000	0.000000
X(57,4)	6.000000	0.000000
X(66,4)	2.000000	0.000000
X(69,4)	1.000000	0.000000
X(170,4)	6.000000	0.000000
X(171,4)	6.000000	0.000000
X(172,4)	6.000000	0.000000
X(173,4)	24.000000	0.000000
X(174,4)	6.000000	0.000000
X(175,4)	6.000000	0.000000
X(176,4)	4.000000	0.000000
X(177,4)	2.000000	0.000000
X(178,4)	6.000000	0.000000
X(189,4)	4.000000	0.000000
X(206,5)	10.000000	0.000000
X(207,5)	2.000000	0.000000
X(206,5)	10.000000	0.000000
X(208,5)	8.000000	0.000000
X(209,5)	16.000000	0.000000
X(210,5)	6.000000	0.000000
X(211,5)	1.000000	0.000000
X(212,5)	14.000000	0.000000
X(213,5)	3.000000	0.000000
X(214,5)	3.000000	0.000000
X(215,5)	1.000000	0.000000
X(216,5)	3.000000	0.000000
X(217,5)	3.000000	0.000000
X(218,5)	1.000000	0.000000
X(219,5)	2.000000	0.000000
X(220,5)	5.000000	0.000000
X(221,5)	6.000000	0.000000
X(222,5)	2.000000	0.000000
X(223,5)	1.000000	0.000000
X(224,5)	5.000000	0.000000
X(225,5)	3.000000	0.000000
X(226,5)	2.000000	0.000000
X(227,5)	3.000000	0.000000
X(228,5)	4.000000	0.000000
X(229,5)	4.000000	0.000000
X(230,5)	2.000000	0.000000
X(231,5)	2.000000	0.000000
X(232,5)	2.000000	0.000000

X(233,5)	1.000000	0.000000
X(234,5)	2.000000	0.000000
X(235,5)	2.000000	0.000000
X(3,6)	9.000000	0.000000
X(34,6)	1.000000	0.000000
X(35,6)	1.000000	0.000000
X(54,6)	1.000000	0.000000
X(59,6)	1.000000	0.000000
X(71,6)	13.000000	0.000000
X(72,6)	4.000000	0.000000
X(73,6)	1.000000	0.000000
X(74,6)	2.000000	0.000000
X(75,6)	1.000000	0.000000
X(76,6)	2.000000	0.000000
X(77,6)	2.000000	0.000000
X(78,6)	2.000000	0.000000
X(79,6)	1.000000	0.000000
X(80,6)	1.000000	0.000000
X(81,6)	3.000000	0.000000
X(82,6)	1.000000	0.000000
X(83,6)	5.000000	0.000000
X(84,6)	4.000000	0.000000
X(85,6)	4.000000	0.000000
X(86,6)	4.000000	0.000000
X(87,6)	4.000000	0.000000
X(88,6)	2.000000	0.000000
X(89,6)	4.000000	0.000000
X(90,6)	4.000000	0.000000
X(91,6)	4.000000	0.000000
X(92,6)	3.000000	0.000000
X(93,6)	3.000000	0.000000
X(94,6)	1.000000	0.000000
X(95,6)	5.000000	0.000000
X(96,6)	5.000000	0.000000
X(97,6)	4.000000	0.000000
X(98,6)	1.000000	0.000000
X(99,6)	1.000000	0.000000
X(100,6)	3.000000	0.000000
X(101,6)	1.000000	0.000000
X(102,6)	5.000000	0.000000
X(103,6)	4.000000	0.000000
X(104,6)	5.000000	0.000000
X(105,6)	1.000000	0.000000
X(106,6)	1.000000	0.000000
X(169,6)	2.000000	0.000000
X(197,6)	1.000000	0.000000
X(202,6)	1.000000	0.000000
A(1,1)	2.000000	0.000000
A(2,1)	3.000000	0.000000
A(6,1)	3.000000	0.000000
A(7,1)	2.000000	0.000000
A(8,1)	1.000000	0.000000
A(14,1)	1.000000	0.000000
A(39,1)	1.000000	0.000000
A(40,1)	1.000000	0.000000
A(48,1)	2.000000	0.000000

A(49,1)	2.000000	0.000000
A(50,1)	2.000000	0.000000
A(51,1)	2.000000	0.000000
A(58,2)	1.000000	0.000000
A(60,2)	1.000000	0.000000
A(61,2)	3.000000	0.000000
A(62,2)	1.000000	0.000000
A(63,2)	1.000000	0.000000
A(64,2)	1.000000	0.000000
A(65,2)	2.000000	0.000000
A(67,2)	1.000000	0.000000
A(68,2)	1.000000	0.000000
A(70,2)	1.000000	0.000000
A(107,2)	2.000000	0.000000
A(108,2)	2.000000	0.000000
A(109,2)	2.000000	0.000000
A(110,2)	2.000000	0.000000
A(111,2)	2.000000	0.000000
A(128,2)	2.000000	0.000000
A(166,2)	5.000000	0.000000
A(167,2)	1.000000	0.000000
A(168,2)	4.000000	0.000000
A(179,2)	2.000000	0.000000
A(180,2)	3.000000	0.000000
A(181,2)	2.000000	0.000000
A(182,2)	1.000000	0.000000
A(183,2)	1.000000	0.000000
A(184,2)	5.000000	0.000000
A(186,2)	1.000000	0.000000
A(187,2)	1.000000	0.000000
A(188,2)	2.000000	0.000000
A(192,2)	2.000000	0.000000
A(193,2)	3.000000	0.000000
A(112,3)	4.000000	0.000000
A(113,3)	4.000000	0.000000
A(114,3)	3.000000	0.000000
A(115,3)	2.000000	0.000000
A(116,3)	2.000000	0.000000
A(117,3)	1.000000	0.000000
A(118,3)	1.000000	0.000000
A(119,3)	1.000000	0.000000
A(120,3)	1.000000	0.000000
A(121,3)	1.000000	0.000000
A(122,3)	2.000000	0.000000
A(123,3)	3.000000	0.000000
A(124,3)	2.000000	0.000000
A(125,3)	2.000000	0.000000
A(126,3)	2.000000	0.000000
A(127,3)	3.000000	0.000000
A(129,3)	2.000000	0.000000
A(130,3)	2.000000	0.000000
A(131,3)	1.000000	0.000000
A(132,3)	3.000000	0.000000
A(133,3)	2.000000	0.000000
A(134,3)	2.000000	0.000000
A(136,3)	7.000000	0.000000

A(137,3)	3.000000	0.000000
A(138,3)	1.000000	0.000000
A(139,3)	2.000000	0.000000
A(140,3)	3.000000	0.000000
A(141,3)	1.000000	0.000000
A(142,3)	1.000000	0.000000
A(143,3)	1.000000	0.000000
A(144,3)	1.000000	0.000000
A(145,3)	1.000000	0.000000
A(146,3)	1.000000	0.000000
A(147,3)	1.000000	0.000000
A(148,3)	1.000000	0.000000
A(149,3)	1.000000	0.000000
A(150,3)	1.000000	0.000000
A(151,3)	1.000000	0.000000
A(152,3)	1.000000	0.000000
A(153,3)	2.000000	0.000000
A(154,3)	1.000000	0.000000
A(155,3)	2.000000	0.000000
A(156,3)	1.000000	0.000000
A(157,3)	2.000000	0.000000
A(158,3)	1.000000	0.000000
A(159,3)	2.000000	0.000000
A(160,3)	5.000000	0.000000
A(161,3)	5.000000	0.000000
A(162,3)	1.000000	0.000000
A(163,3)	2.000000	0.000000
A(164,3)	2.000000	0.000000
A(165,3)	2.000000	0.000000
A(4,4)	5.000000	0.000000
A(5,4)	4.000000	0.000000
A(9,4)	1.000000	0.000000
A(10,4)	1.000000	0.000000
A(11,4)	1.000000	0.000000
A(12,4)	5.000000	0.000000
A(13,4)	2.000000	0.000000
A(15,4)	2.000000	0.000000
A(16,4)	1.000000	0.000000
A(17,4)	1.000000	0.000000
A(18,4)	1.000000	0.000000
A(19,4)	1.000000	0.000000
A(20,4)	4.000000	0.000000
A(21,4)	1.000000	0.000000
A(22,4)	2.000000	0.000000
A(10,4)	1.000000	0.000000
A(11,4)	1.000000	0.000000
A(12,4)	5.000000	0.000000
A(13,4)	2.000000	0.000000
A(15,4)	2.000000	0.000000
A(16,4)	1.000000	0.000000
A(17,4)	1.000000	0.000000
A(18,4)	1.000000	0.000000
A(19,4)	1.000000	0.000000
A(20,4)	4.000000	0.000000
A(21,4)	1.000000	0.000000
A(22,4)	2.000000	0.000000

A(23,4)	2.000000	0.000000
A(24,4)	5.000000	0.000000
A(25,4)	1.000000	0.000000
A(26,4)	1.000000	0.000000
A(27,4)	1.000000	0.000000
A(28,4)	1.000000	0.000000
A(29,4)	1.000000	0.000000
A(30,4)	2.000000	0.000000
A(31,4)	1.000000	0.000000
A(32,4)	1.000000	0.000000
A(33,4)	2.000000	0.000000
A(36,4)	1.000000	0.000000
A(37,4)	2.000000	0.000000
A(38,4)	2.000000	0.000000
A(41,4)	3.000000	0.000000
A(42,4)	2.000000	0.000000
A(43,4)	4.000000	0.000000
A(44,4)	3.000000	0.000000
A(45,4)	1.000000	0.000000
A(46,4)	2.000000	0.000000
A(47,4)	2.000000	0.000000
A(52,4)	1.000000	0.000000
A(53,4)	1.000000	0.000000
A(55,4)	3.000000	0.000000
A(56,4)	3.000000	0.000000
A(57,4)	3.000000	0.000000
A(66,4)	1.000000	0.000000
A(69,4)	1.000000	0.000000
A(170,4)	3.000000	0.000000
A(171,4)	3.000000	0.000000
A(172,4)	3.000000	0.000000
A(173,4)	12.000000	0.000000
A(174,4)	3.000000	0.000000
A(175,4)	3.000000	0.000000
A(176,4)	2.000000	0.000000
A(177,4)	1.000000	0.000000
A(178,4)	3.000000	0.000000
A(189,4)	2.000000	0.000000
A(206,5)	5.000000	0.000000
A(207,5)	1.000000	0.000000
A(206,5)	5.000000	0.000000
A(208,5)	4.000000	0.000000
A(209,5)	8.000000	0.000000
A(210,5)	3.000000	0.000000
A(211,5)	1.000000	0.000000
A(212,5)	7.000000	0.000000
A(213,5)	2.000000	0.000000
A(214,5)	2.000000	0.000000
A(215,5)	1.000000	0.000000
A(216,5)	2.000000	0.000000
A(217,5)	2.000000	0.000000
A(218,5)	1.000000	0.000000
A(219,5)	1.000000	0.000000
A(220,5)	3.000000	0.000000
A(221,5)	3.000000	0.000000
A(222,5)	1.000000	0.000000

A(223,5)	1.000000	0.000000
A(224,5)	3.000000	0.000000
A(225,5)	2.000000	0.000000
A(226,5)	1.000000	0.000000
A(227,5)	2.000000	0.000000
A(228,5)	2.000000	0.000000
A(229,5)	2.000000	0.000000
A(230,5)	1.000000	0.000000
A(231,5)	1.000000	0.000000
A(232,5)	1.000000	0.000000
A(233,5)	1.000000	0.000000
A(234,5)	1.000000	0.000000
A(235,5)	1.000000	0.000000
A(3,6)	5.000000	0.000000
A(34,6)	1.000000	0.000000
A(35,6)	1.000000	0.000000
A(54,6)	1.000000	0.000000
A(59,6)	1.000000	0.000000
A(71,6)	7.000000	0.000000
A(72,6)	2.000000	0.000000
A(73,6)	1.000000	0.000000
A(74,6)	1.000000	0.000000
A(75,6)	1.000000	0.000000
A(76,6)	1.000000	0.000000
A(77,6)	1.000000	0.000000
A(78,6)	1.000000	0.000000
A(79,6)	1.000000	0.000000
A(80,6)	1.000000	0.000000
A(81,6)	1.000000	0.000000
A(82,6)	1.000000	0.000000
A(83,6)	3.000000	0.000000
A(84,6)	2.000000	0.000000
A(85,6)	2.000000	0.000000
A(86,6)	2.000000	0.000000
A(87,6)	2.000000	0.000000
A(88,6)	1.000000	0.000000
A(89,6)	2.000000	0.000000
A(90,6)	2.000000	0.000000
A(91,6)	2.000000	0.000000
A(92,6)	2.000000	0.000000
A(93,6)	2.000000	0.000000
A(94,6)	1.000000	0.000000
A(95,6)	3.000000	0.000000
A(96,6)	3.000000	0.000000
A(97,6)	2.000000	0.000000
A(98,6)	1.000000	0.000000
A(99,6)	1.000000	0.000000
A(100,6)	2.000000	0.000000
A(101,6)	1.000000	0.000000
A(102,6)	3.000000	0.000000
A(103,6)	2.000000	0.000000
A(104,6)	3.000000	0.000000
A(105,6)	1.000000	0.000000
A(106,6)	1.000000	0.000000
A(169,6)	1.000000	0.000000
A(197,6)	1.000000	0.000000

A(202,6)	1.000000	0.000000
Y(1)	1.000000	-761.9700
Y(2)	1.000000	-469.9400
Y(3)	1.000000	-521.0000
Y(4)	1.000000	227.9700
Y(5)	1.000000	087.6500
Y(6)	1.000000	543.1400

All other variables are zero



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mehmet Emrah Özkaya

Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara 25.03.1979

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

İş Deneyimi

Stajlar : Dörtel Tekstil ve Sanayi Tic. A.Ş. - 2000
Gersan Plastik ve Kalıp Sanayi A.Ş.- 1999

Çalıştığı Kurumlar : Ankara Patent Bürosu Ltd. Şti.

İletişim

E-Posta Adresi : emrahozkaya@yahoo.com

Tarih : Ocak 2006