



BULANIK OPTİMİZASYON ve DOĞRUSAL HEDEF PROGRAMLAMA YAKLAŞIMLARI İLE OTOBÜS HATLARININ MODELLENMESİ

Nurcan ULUDAĞ

Mayıs, 2010
DENİZLİ

**BULANIK OPTİMİZASYON VE DOĞRUSAL HEDEF
PROGRAMLAMA YAKLAŞIMLARI İLE OTOBÜS HATLARININ
MODELLENMESİ**

**Pamukkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarafından Kabul Edilen
Doktora Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Nurcan ULUDAĞ

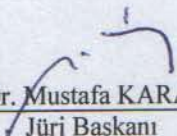
Danışman: Doç. Dr. Y. Şazi MURAT


Mayıs, 2010

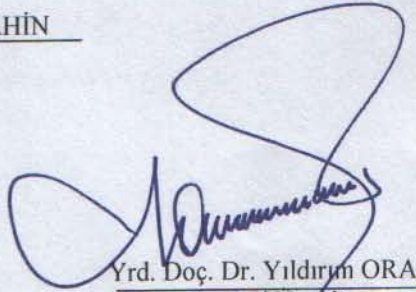
DENİZLİ

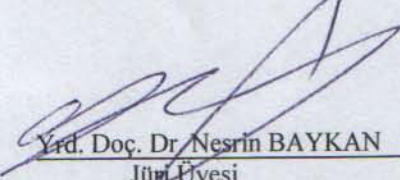
DOKTORA TEZİ ONAY FORMU

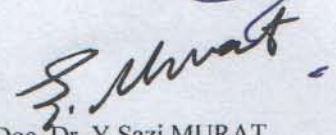
Nurcan ULUDAĞ tarafından Doç. Dr. Y. Şazi MURAT yönetiminde hazırlanan “Bulanık Optimizasyon ve Doğrusal Hedef Programlama Yaklaşımları ile Otobüs Hatlarının Modellenmesi” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Mustafa KARASHAHİN
Jüri Başkanı



Doç. Dr. Serhan TANYEL
Jüri Üyesi


Yrd. Doç. Dr. Yıldırım ORAL
Jüri Üyesi


Yrd. Doç. Dr. Nesrin BAYKAN
Jüri Üyesi


Doç. Dr. Y.Şazi MURAT
Jüri Üyesi (Danışman)

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
26/5/2010 tarih ve 14/1 sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Prof. Dr. Halil KARAHAN
Müdür

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimimin tüm süreçlerinde, yardım, tavsiye ve yönlendirmeleri ile ilerlememe yardımcı olan değerli hocam sayın Doç. Dr. Y. Şazi MURAT' a şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmasının her aşamasında, yapıcı önerileri ile ufkumun genişlemesine büyük katkılar sağlayan değerli hocalarım sayın Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN'e, sayın Doç. Dr. Serhan TANYEL' e, sayın Yrd.Doç. Dr. Yıldırım ORAL a, sayın Yrd. Doç Dr. Nesrin BAYKAN' a ve tezimin veri temininde bana yardımcı olan ESHOT Genel Müdürlüğü' ne teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, doktora eğitimim boyunca, destek ve yardımları ile her zaman yanımda olan Bilg. Müh. Ekrem ULUDAĞ, Bilg. Müh. Semra ÜZÜMCÜ, Doç. Dr. Betül SAF, Yrd. Doç. Dr. Mutlu YAŞAR, İnş. Müh. Alper DERİ, İnş. Müh. Özlem CEYHAN, Mustafa SAĞIM, Burçin SOLMAZ, Ela Azize DOĞRAMACI, Özge SAĞIR ve Gülçin İçlik SAĞIM a teşekkür ederim.

Eğitim hayatım ile çalışma hayatımı birarada sürdürmem konusunda destek ve emeklerini esirgemeyen Yorum İnşaat A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı sayın Osman AĞCA, Genel Müdürü sayın Hasan ARPACI, Genel Koordinatörü sayın H.Tahsin ÖZARSLAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca, hep yanımda ve arkamda olan sevgili aileme yürekten teşekkür ederim.

Nurcan ULUDAĞ
Denizli - 2010

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza : 

Öğrenci Adı Soyadı : Nurcan ULUDAĞ

ÖZET

BULANIK OPTİMİZASYON VE DOĞRUSAL HEDEF PROGRAMLAMA YAKLAŞIMLARI İLE OTOBÜS HATLARININ MODELLENMESİ

ULUDAĞ, Nurcan
Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği ABD
Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Y. Şazi MURAT

Mayıs 2010, 112 Sayfa

Bu çalışmada, İzmir ili kent içi otobüs ağı durak yerleri ve otobüs sefer sıklık değerleri, yolcu ve işletmeler açısından hizmet seviyesinin yükseltilmesi adına incelenmiştir. Temelde bir hizmet sektörü olan ulaştırma sektörünün halkın beklentilerine cevap verecek, yaşam kalitesini arttıracak doğrultuda olması hedeflenirken, işletme koşulları açısından da en uygun çözümlere sahip olması önemlidir. Çalışma kapsamında İzmir ili otobüs ağında yer alan Lozan ve Montrö duraklarında, özellikle sabah saatlerinde otobüs sefer yoğunluğunun fazla olduğu görülmüş, bu iki duraktan geçen toplam 26 adet hat incelenmiştir. Bu hatlara ait yolcu talep değerleri, seyahat süreleri, araç kapasite ve filo parametreleri kullanılarak doğrusal hedef programlama modeli geliştirilmiş, en uygun sefer sıklık değerleri elde edilmeye çalışılmıştır. Daha sonra, bu hatlar üzerinde yer alan durakların aralıkları, önce TSE standartları doğrultusunda incelenmiş, ardından da duraklara erişim süresi ve araç içi seyahat süresi değerlerini en aza indirmeyi hedefleyen bulanık doğrusal programlama ile modellenmiştir. Yolcular için toplu taşıma hizmet kalitesini belirleyici en önemli faktörler olan erişim süresi ve araç içinde geçirilen sürenin, oluşturulan modelin ortaya koyduğu durak aralık değerleri ile azaldığı görülmüştür. Sefer Sıklık modeli ile elde edilen sefer sıklık değerlerindeki azalma ile Bulanık Doğrusal Programlama modeli ile elde edilen durak aralık değerlerine karşılık gelen araç erişim süresi ve araç içi seyahat süresi değerlerindeki iyileşmenin ekonomik faydası, oluşturulan maliyet fonksiyonu ile ortaya konulmuştur. Günümüzde insan hayatının en önemli kavramlarından biri olan zaman ile ilgili faydalar, bireysel ve toplumsal yaşam kalitesini arttıracak ve toplu taşımacılık ile ilgili talebi arttırıcı etkilere yol açacaktır. Toplu taşımacılık düzenlemeleri esnasında, talebin gerektirdiğinden fazla seferlerin olması ve optimal çözümlerin yakalanamaması, özellikle ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerin ekonomileri açısından kaçınılması gereken bir durumdur. Kentsel yaşam kalitesi açısından ve çevresel etkiler bakımından, sefer sayısının talep fazlası değerlerde olması olumsuz etkilere sebep olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Otobüs durak aralıkları, Sefer sıklığı, Bulanık Doğrusal Programlama, Doğrusal Hedef Programlama, Toplu taşımacılık

Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN
Doç. Dr. Serhan TANYEL
Yrd. Doç. Dr. Yıldırım ORAL
Doç. Dr. Y.Şazi MURAT
Yrd. Doç. Dr. Nesrin BAYKAN

ABSTRACT

MODELING of BUS LINES USING FUZZY OPTIMIZATION and LINEAR GOAL PROGRAMMING

ULUDAĞ, Nurcan
PhD. Thesis in Civil Engineering
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Y.Şazi MURAT

May 2010, 112 Pages

This study deals with the public transportation, bus stop locations and bus service frequency in the city of İzmir, Turkey, intending to increase the level of service of public transport system. Basically, the transportation is a public service system which should aim to meet the expectations of public, increase the quality of life, furthermore it should have most convenient solutions for the operational requirements. In the study, it is seen that two bus stops, Lozan and Montrö have congestions and bus trip intensity especially in the morning peak periods and the 26 bus routes passing through them are analysed. The optimal bus service frequency model with Linear Goal Programming is developed by using the passenger demand, travel times, bus passenger capacities and fleet data. The bus stop locations on these 26 bus routes are examined under TSE standards and a fuzzy linear programming model is developed to minimize the vehicle access time and in-vehicle travel time. The value of two essential parameters for the passengers, vehicle access time and in-vehicle travel time is reduced with the proposed model. The reduction of the values of the bus service frequency and time parameters derived by the two proposed models are validated by a cost function. Any saving in one of the most important parameters in life, “the time”, will increase the quality of life for each individual and the community and also will increase the demand level for the public transport. Especially for the developing country economies, the optimal solutions for the transit system is really essential which also affect the quality of social life and environmental impacts.

Keywords: Bus stop spacing, Bus service frequency, Fuzzy Optimization, Linear Goal Programming, Public Transport

Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN
Assoc. Prof. Dr. Serhan TANYEL
Assoc. Prof. Dr. Yıldırım ORAL
Assoc. Prof. Dr. Y. Şazi MURAT
Assist. Prof. Dr. Nesrin BAYKAN

İÇİNDEKİLER

DOKTORA TEZİ ONAY FORMU.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
BİLİMSEL ETİK SAYFASI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
TABLOLAR DİZİNİ	ix
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
1. TOPLU TAŞIMACILIK ve KENT İÇİ OTOBÜS TAŞIMACILIĞI.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Problemin Tanımı	2
1.3. Amaç ve Kapsam.....	2
1.4. Tezin İçeriği.....	3
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	5
2.1. Giriş	5
2.2. Kent İçi Otobüs Durakları	5
2.2.1. Kent içi otobüs durakları ile ilgili kavramlar	5
2.2.2. Kent içi otobüs duraklarının konumu	7
2.2.3. Kent içi otobüs durak yerlerinin belirlenme esasları.....	11
2.2.3.1. Kent içi otobüs durak aralıklarının belirlenme esasları.....	12
2.3. Otobüs Sefer Sıklıklarının Belirlenmesi	16
2.3.1. Sefer sıklığı belirleme yöntemleri	16
2.3.1.1. Maksimum yükleme (Noktasal Kontrol) yöntemleri	17
2.3.1.2. Yükleme profili (Araçta Ölçüm) yöntemi	19
3. KLASİK ve BULANIK DOĞRUSAL PROGRAMLAMA	24
3.1. Klasik Doğrusal Programlama.....	24
3.1.1. Doğrusal programlamanın formülasyonu.....	24
3.1.2. Doğrusal programlamanın dayandığı varsayımlar	25
3.2. Bulanık Doğrusal Programlama	26
3.2.1. Bulanık Mantık Teorisi.....	26
3.2.1.1. Klasik küme teorisi.....	27
3.2.1.2. Bulanık küme teorisi.....	29
3.2.1.3. Bulanık küme işlemleri.....	30
3.2.1.4. Üyelik fonksiyonları.....	31
3.2.2. Bulanık doğrusal programlamanın formülasyonu	34
3.2.3. Bulanık ortamda karar verme	34
3.2.4. Bulanık doğrusal programlama problemlerine ilişkin çözüm yaklaşımları ...	37
3.2.4.1. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi	37
3.2.4.2. Bulanıklık durumuna göre çözüm yaklaşımları	38
3.2.4.2.1. Sağ taraf sabitleri bulanık olan bulanık doğrusal programlama.....	38
3.2.4.2.1.1. Verdegay yaklaşımı	38
3.2.4.2.1.2. Werners yaklaşımı	39
3.2.4.2.2. Sağ taraf sabiti ve amaç fonksiyonu bulanık olan doğrusal programlama.....	40
3.2.4.2.2.1. Zimmermann yaklaşımı.....	41
3.2.4.2.2.2. Chanas yaklaşımı.....	41
3.2.4.2.3. Amaç fonksiyonu parametreleri bulanık olan doğrusal programlama	42

3.2.4.2.4. Sağ taraf sabitleri ve teknolojik katsayıları bulanık olan doğrusal programlama.....	42
3.2.4.2.5. Tüm katsayıları bulanık olan doğrusal programlama.....	43
4. DOĞRUSAL HEDEF PROGRAMLAMA	44
4.1. Çok Amaçlı Karar Verme	44
4.2. Çok Amaçlı Karar Vermenin Tarihsel Gelişimi	45
4.3. Çok Amaçlı Doğrusal Programlamanın Çözüm Yöntemleri.....	45
4.3.1. Hedef programlama	45
4.3.1.1. Hedef programlamanın gelişimi	46
4.3.1.2. Hedef programlamanın uygulama alanları	47
4.3.1.3. Hedef programlamanın kavramları.....	47
4.3.1.4. Hedef programlama modelinin formülasyonu.....	48
4.3.1.5. Doğrusal hedef programlamanın çözüm yöntemleri	52
5. OTOBÜS HAT ANALİZİ MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ	56
5.1. Giriş	56
5.2. Otobüs Sefer Sıklıklarının Doğrusal Hedef Programlama ile Modellenmesi.....	57
5.2.1. Problemin tanımı	57
5.2.2. Veri derlenmesi ve analizleri.....	57
5.2.3. Modelin geliştirilmesi.....	59
5.3. Durak Aralıklarının Bulanık Doğrusal Programlama ile Modellenmesi	62
5.3.1. Problemin tanımı	62
5.3.2. Verilerin derlenmesi ve analizi.....	63
5.3.3. Modelin geliştirilmesi.....	65
5.3.3.1. Duraklara erişim süresi (T_a).....	66
5.3.3.2. Yaya yürüme hızı (V_a).....	66
5.3.3.3. Duraklara gelen ortalama yolcu sayısı	66
5.3.3.4. Araç içi seyahat süresi (T_v).....	67
5.3.3.5. Ortalama otobüs hareket hızı.....	67
5.3.3.6. Duraklardaki kayıp zaman.....	68
6. GELİŞTİRİLEN MODELLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	71
6.1. Giriş	71
6.2. SESMOD Modeli Sonuçları	71
6.3. BOMOD Modeli Sonuçları.....	73
6.4. Sonuç Maliyet Fonksiyonunun Oluşturulması	76
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	78
7.1. Sonuçların Değerlendirilmesi	78
7.2. Öneriler	80
8. KAYNAKLAR	81
EKLER.....	85
ÖZGEÇMİŞ	99

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Otobüs Yükleme Alanı ve Otobüs Durağı.....	6
Şekil 2.2 Otobüs Durakları.....	7
Şekil 2.3 Kavşaklara Göre Durak Yerleri.....	8
Şekil 3.1 Keskin A kümesinin Gösterimi.....	28
Şekil 3.2 Bulanık A kümesinin elemanları ve üyelik dereceleri.....	30
Şekil 3.3 Bulanık Küme İşlemleri.....	30
Şekil 3.4 Üyelik Fonksiyonun Kısımları.....	31
Şekil 3.5 Bulanık Kümeler.....	32
Şekil 3.6 Dış Bükey ve Dış Bükey Olmayan Bulanık Kümeler.....	33
Şekil 3.7 Dış Bükey Bulanık Kümelerin Kesişimi.....	33
Şekil 3.8 Bulanık \tilde{G} , \tilde{C} , \tilde{D} Kümeleri Arasındaki İlişki.....	36
Şekil 4.1 Değiştirilmiş başlangıç simpleks çizelgesi.....	53
Şekil 5.1 70 Numaralı Hat güzergah ve Durak Haritası.....	58
Şekil 5.2 SESMOD modeli WINQSB Çözüm Ekranı.....	62
Şekil 5.3 Duraklara Yolcu Gelişleri.....	66
Şekil 5.4 Yolcu (P) Parametresi Üyelik Fonksiyonu.....	67
Şekil 5.5 Hız (V) Parametresi Üyelik Fonksiyonu.....	68
Şekil 5.6 BOMOD Modeli LINGO Çözüm Ekranı.....	69
Şekil 5.7 Toplam Seyahat Süresi Üyelik Fonksiyonu.....	69
Şekil 6.1 SESMOD Model Sonuçları-Mevcut Durum Sefer Sıklık Değerleri.....	73
Şekil 6.2 BOMOD Modeli Araç İçi Seyahat Süresi (Tv) Model ve Mevcut Durum Değerleri.....	74
Şekil 6.3 Araçlara Erişim Süresi (Ta) Model ve Mevcut Durum Değerleri.....	75
Şekil 6.4 BOMOD Modeli Toplam Seyahat Süresi(Ta+Tv) Model ve Mevcut Durum Değerleri.....	75

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1 Durak Aralıkları (TCRP Report)	13
Tablo 5.1 Modellenen Otobüs Ağı Hatları.....	58
Tablo 5.2 Otobüs Ağı Hatları Otobüs Tipleri-Sefer Sıklığı-Araç Sayısı.....	59
Tablo 5.3 ESHOT' tan alınan Veri Grubu Örneği	63
Tablo 5.4 BOMOD Modelinde Kullanılan Veri Grubu Örneği.....	64
Tablo 5.5 Otobüs Tiplerine Göre İvme Değerleri.....	68
Tablo 6.1 SESMOD Model Sonuçları-Mevcut Durum Sefer Sıklık Değerleri	71
Tablo 6.2 SESMOD Model Sonuçları-Mevcut Durum Sefer Sayıları.....	72
Tablo 6.3 BOMOD Modeli Araçlara Erişim Süreleri (Ta) ve Araç İçi Seyahat Süreleri (Tv) Sonuçları	73
Tablo 6.4 Model Sonuçlarının Maliyet Değeri	76

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

\bar{P}_{mj}	: Maksimum Yolcu Yüklemesi
γ_j	: Yükleme faktörü
d_{oj}	: Araç doluluk oranı
S_{pj}	: Maksimum yolcu yüklemesi standart sapması
F_{mj}	: j zaman aralığı için minimum sefer sıklığı
P_{ij}	: i durağından geçen tüm araçlara binen toplam yolcu sayısı
t_i	: Ardışık duraklar arası mesafe
β_j	: Hizmet seviyesi kriteri
$\mu(x)$: Üyelik Fonksiyonu
b_i	: Sağ taraf sabiti
d_i^+	: Pozitif sapma değişkeni
d_i^-	: Negatif sapma değişkeni
p_k	: k. hedef önceliği
\bar{b}	: Simpleks çizelgesinde Sağ taraf değişken sütunu
$e_{i,s}$: Simpleks çizelgesinde s. temel dışı değişken altındaki, i. satır elemanı
$W_{k,s}$: Simpleks çizelgesinde s. temel dışı değişken ile ilgili, k. öncelik düzeyinin ağırlığı
$U_{i,k}$: Simpleks çizelgesinde i. temel değişken ile ilgili, k. öncelik düzeyinin ağırlığı
$I_{k,s}$: Simpleks çizelgesinde s. temel dışı değişken altındaki, k. öncelik düzeyinin indeks satır değeri
a_k	: Simpleks çizelgesinde k. önceliğin başarı düzeyi
a_{ij}	: j. karar değişkeninin i. kısıttaki katkı katsayısı
B	: Mevcut otobüs sayısı
BDP	: Bulanık Doğrusal Programlama
b_i	: i. sınırlı kaynak miktarı
BOMOD	: Durak Aralığı Bulanık Doğrusal Hedef Programlama Modeli
C	: Araç kapasitesi
c	: Araç kapasite değeri
c_j	: j. karar değişkeninin amaç fonksiyonundaki katkı katsayısı
DHP	: Doğrusal Hedef Programlama
DP	: Doğrusal Programlama
ESHOT	: İzmir Belediyesi Elektrik, Su, Hava Gazı, Otobüs, Tramvay İşletmeleri
GIS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
GPS	: Küresel Yer Belirleme Sistemi
h	: Memnuniyet seviyesi

HP	:	Hedef Programlama
L	:	Otobüs yükleme alanı
LINGO	:	Optimizasyon çözüm Programı
P	:	Birim mesafedeki ortalama yolcu sayısı
S	:	Otobüs durağı
SESMOD	:	Sefer Sıklığı Doğrusal Hedef Programlama Modeli
T	:	Toplam zaman aralığı (180 dk.)
T_a	:	Duraklara erişim süresi
TCM	:	Transit Capacity and Quality of Service Manual
t_i	:	Her bir otobüs hattının sefer süresi
T_l	:	Duraklardaki kayıp zaman süresi
TSE	:	Türk Standartları Enstitüsü
T_v	:	Araç içi seyahat süresi
V	:	Simpleks çizelgesinde temel değişken sütunu
V_a	:	Yaya yürüme hızı
vb	:	Ve benzeri
vd	:	Ve diğerleri
V_{ort}	:	Ortalama hız
WINQSB	:	Doğrusal Hedef Programlama Modeli Çözüm Programı
X_i	:	i hattı için yapılması gereken sefer sayısı
$Z(x)$:	Eniyilenecek amaç fonksiyonu
z^0	:	Minimum amaç fonksiyon değeri
z^1	:	Maksimum amaç fonksiyon değeri

1. TOPLU TAŞIMACILIK ve KENT İÇİ OTOBÜS TAŞIMACILIĞI

1.1. Giriş

Ulaşım, gerek içsel gerek dışsal maliyetleri ile özellikle gelişmekte olan ülkelerde kentlerin en önemli sorunlarından biridir. Bir ülke için ulaşım, her türlü sosyoekonomik faaliyete katkısı olan, alt sistemlerini en verimli şekilde kullanabilen, erişilebilirliği ve hizmet kalitesi yüksek, güvenli ve çevreye duyarlı bir çerçevede geliştirilmelidir.

Ulaşım sorunlarının en büyük çözümü seçeneği olan toplu taşımacılık, dünya çapında hızla gelişmekte olan kentleşme bilinci ve çevresel duyarlılık ile birlikte her geçen gün önemini arttırmaktadır. Dünya üzerindeki pek çok kentte ulaşım ile ilgili sorunların temel nedeni, mevcut ulaşım altyapısının zaman içinde yetersiz kalması, özel araç kullanım oranının yüksek, toplu taşıma talebinin düşük olmasıdır. Toplu taşımacılık, özellikle kaynak kullanımı, trafik güvenliği ve tıkanıklık etkileri, çevre kirliliği gibi kent yaşamının öncelikli sorunlarına getireceği çözümler açısından önemlidir. Toplu taşıma sistemi; altyapı, toplu taşıma araçları, araçları kullananlar, araçları işletenler ve yöneticiler olarak sayılabilecek bileşenlerden oluşmaktadır. Sistemin verimliliği, bu bileşenlerden en iyi şekilde faydalanarak, uyumlu ve entegre bir toplu taşıma sisteminin oluşturulmasıyla sağlanabilir.

Toplu taşıma sisteminde, ülkemizde ve pek çok gelişmekte olan ülkede en büyük pay karayolu taşımacılığı ve otobüs taşımacılığına aittir. Kent içi otobüs taşımacılığı ile ilgili yapılacak doğru düzenlemeler özel araç kullanım oranını azaltarak toplu taşımacılığa olan talebi ve kentsel yaşam kalitesini arttıracaktır. Karayollarındaki özel araç kullanımının yoğunluğu, birçok kentte trafik tıkanıklıklarının ve hava kirliliğinin en önemli nedeni olarak görülmektedir. Özel araçlar taşımacılığı, otobüs taşımacılığına kıyasla, dışsal maliyetleri yüksek, taşıdığı yolcu sayısı düşük buna karşın, havaya saldıkları kükürt dioksit SO₂, karbon monoksit CO, karbon dioksit CO₂, nitrojen oksitler

NO_x gibi gazlarla yoğun bir hava kirliliğine sebep olan bir ulaşım türüdür. Özel araç kullanım talebinin otobüs taşımacılığına kaydırılması, ancak erişim ve hizmet kalitesi yüksek, konforlu bir taşıma sisteminin sunulmasıyla mümkündür. Yolcular ve işletmelerin beklentilerini dengelemeye yönelik olarak en iyilenen bir toplu taşıma sistemi, kentsel yaşam kalitesini ve ülke menfaatlerini destekleyecektir.

1.2. Problemin Tanımı

Bir yol ağında toplu taşıma problemi, yolcular ve işletmeciler açısından ayrı değerlendirmelere sahiptir. Temelde bir hizmet sektörü olan ulaştırma sektörünün halkın beklentilerine cevap verecek, yaşam kalitesini arttıracak doğrultuda olması hedeflenirken, işletme koşulları açısından da en uygun çözümlere sahip olması önemlidir.

Tez kapsamında ele alınan problem, otobüs durak yerleri ve durak aralıkları ile otobüs sefer sıklıklarının en uygun şekilde belirlenebilmesidir. Otobüs durak yerleri ve durak aralıkları, duraklara erişim süresi ve araç içi seyahat süresi parametreleri doğrultusunda; otobüs sefer sıklıkları ise yolcu talep değerleri, seyahat süreleri, araç kapasite ve filo parametreleri doğrultusunda incelenmiştir.

1.3. Amaç ve Kapsam

Tez çalışması kapsamında, İzmir ili kent içi otobüs ağı, durak yerleri ve otobüs seferleri, yolcu ve işletmeler açısından hizmet seviyesinin yükseltilmesi adına incelenmiştir.

Yolcular için, toplu taşıma hizmet seviyesini belirleyen en önemli kıstas, yürüme mesafelerinin kısa, duraklara erişim sürelerinin düşük olmasıdır. Yolcular için araç içinde geçirilen sürenin, yürüme süresine göre daha az önemli olduğu birçok literatür çalışmasında yer almaktadır. Yolcular için otobüs taşımacılığının cazip hale gelmesinde, otobüs durak yerlerinin ve durak aralıklarının en uygun şekilde belirlenmesi oldukça etkilidir. Otobüs duraklarının, yolcular ve işletmeciler açısından en uygun ve optimal şekilde konumlandırılması; durak yeri, sayısı ve aralıklarının bu doğrultuda belirlenmesi, toplu taşımacılık hizmetlerinin performansı ve toplu taşımacılığa olan

talep üzerinde oldukça etkili olacaktır.

İşletme açısından ise en önemli kıstas, sefer sıklıklarının ve buna bağlı olarak tarife düzenlemelerinin en doğru şekilde belirlenmiş olmasıdır. Sefer sıklık değerlerine bağlı olarak yolcuların duraklardaki bekleme süreleri, durak ve araçlardaki yolcu yığılımları, özellikle zirve saatlerde yolcuların konforlu bir seyahat gerçekleştirebilmesi açısından önemli hususlardır. Sefer sıklığının gereksiz yere artırılarak masrafların çoğaltılması işletme açısından yanlış bir yaklaşım olacağı gibi, sefer sıklığının yolcu kapasitesini karşılayamayacak kadar düşük olması da, yolcular için toplu taşımacılıktan uzaklaştırıcı bir etki olacaktır. Tedbirli ve mantıklı bir toplu taşıma işletme sistemi, artan sefer sıklığı ve gerektireceği yatırım arasında dengeyi sağlamalıdır.

Bu düşünceler doğrultusunda, incelenen ağ üzerindeki bazı duraklarda, eş anlı olarak, yolcu talebinin gerektirdiğinden daha sık otobüs seferinin olduğu görülmüştür. Bu durumun en fazla görüldüğü Lozan ve Montrö durakları baz alınarak, bu duraklardan geçen tüm hatların sefer sıklıkları sabah zirve saatleri için toplanan veriler doğrultusunda analiz edilmiştir. Doğrusal hedef programlama yöntemi ile bu hatların uygun sefer sıklıkları, otobüs tür ve kapasiteleri, yolculuk talebi, hatların seyahat süreleri parametreleri kullanılarak modellenmiştir. Aynı hatlar üzerinde yer alan otobüs durak yerleri TSE standartları doğrultusunda incelendikten sonra, bulanık doğrusal programlama yöntemi ile, yolcuların duraklara erişim süresi ve araç içi seyahat süresini minimize edecek optimal durak yeri çözümlerine ulaşılmaya çalışılmıştır. Sefer sıklığı ve durak aralıklarının mevcut durumu ve optimal durumunun, erişim ve seyahat sürelerine olan etkisi incelenmiş, bir maliyet fonksiyonu oluşturularak, yapılan çalışmanın sonuçları gösterilmiştir.

1.4. Tezin İçeriği

Tez çalışmasının ilerleyen bölümleri aşağıdaki biçimde düzenlenmiştir.

İkinci bölümde literatürde yapılan çalışmalar, durak yerlerinin belirlenmesi ve sefer sıklıklarının belirlenmesi başlıkları altında incelenmiştir. Bu çalışma alanları ile ilgili teknik bilgiler, kavramlar, ilgili literatür çalışmaları ile birlikte verilmiştir. Ayrıca tez çalışmasının modellenmesinde kullanılan, Bulanık Doğrusal Programlama ve Doğrusal

Hedef Programlamanın toplu taşımacılık alanında kullanıldığı literatür çalışmaları da incelenerek özetlenmiştir.

Üçüncü bölümde, tezin modellemesinde kullanılan Bulanık Doğrusal Programlama tekniği ile ilgili bilgi ve kavramlar, yaklaşımlar ve çalışmalar anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, tezin modellenmesinde kullanılan diğer bir teknik olan Doğrusal Hedef Programlama tekniği açıklanmıştır.

Beşinci bölümde kurulan sefer sıklığı ve durak aralık modelleri anlatılmıştır. Sefer sıklığının belirlenmesi için Hedef Programlama tekniği kullanılarak oluşturulan sayısal uygulama ile durak aralık değerlerinin belirlenmesi için Bulanık Doğrusal Programlama tekniği ile oluşturulan sayısal uygulama açıklanmıştır.

Altıncı bölümde ise, oluşturulan modellerin sonuçları grafikler ve karşılaştırmalı tablolar ile ortaya konulmuştur.

Yedinci bölümde elde edilen sonuçlar tartışılarak, gelecekte yapılabilecek araştırma çalışmaları için öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Giriş

Bu bölümde yapılan çalışmalar, durak aralıklarının belirlenmesi ve otobüs sefer sıklıklarının belirlenmesi başlığı altında incelenmiştir. Literatürde, durak aralıklarının ve sefer sıklıklarının belirlenmesi problemleri üzerine, farklı teknikler kullanılarak yapılan çalışmalar incelenmiştir. Ayrıca tezin modellenmesi amacıyla kullanılan Bulanık Doğrusal Programlama ve Doğrusal Hedef Programlama tekniklerinin toplu taşıma problemlerine uygulandığı literatür çalışmaları özetlenmiştir.

2.2. Kent İçi Otobüs Durakları

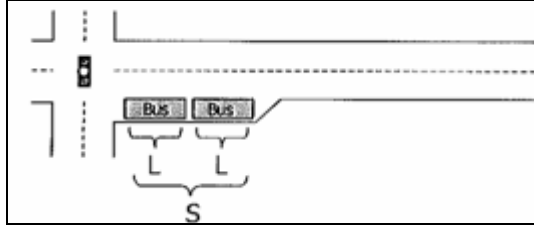
Otobüs durakları, eşzamanlı olarak durağı kullanacak olan otobüslerin sayısına bağlı olarak bir ya da birden fazla otobüs yükleme alanından oluşan, yolcu iniş ve binişlerinin gerçekleştiği alanlardır. Toplu taşımacılık düzenlemelerinin önemli bir bölümünü oluşturan otobüs duraklarının, yolcular ve işletmeciler açısından en uygun şekilde konumlandırılması; durak yeri, sayısı ve aralıklarının bu doğrultuda belirlenmesi, toplu taşımacılık hizmetlerinin performansı ve toplu taşımacılığa olan talep üzerinde oldukça etkili olmaktadır.

Otobüs duraklarına tüm istikametlerden gelen yolcuların, emniyetli olarak doğrudan erişimini sağlamak, araç bekleme sürelerini minimize etmek; rahat, güvenli ve trafiği aksatmayacak bekleme alanları oluşturmak, engelliler için duraklarda, otobüs iniş-binişlerinde engellerin ortadan kaldırılması, durakların tanımlanması kolay algılanacak tarzda yapılması önemli noktalardır

2.2.1. Kent içi otobüs durakları ile ilgili kavramlar

Otobüs durakları, eşzamanlı olarak durağı kullanacak olan otobüslerin sayısına bağlı olarak bir ya da birden fazla otobüs yükleme alanından oluşan, yolcu iniş ve binişlerinin

gerçekleştiği alanlardır. Bir otobüs durağının kapasitesi, genel olarak otobüs durağını oluşturan bindirme-indirme (yükleme) alanlarının kapasitelerine, sayısına, tasarımına ve trafik kontrol koşullarına bağlıdır. Şekil 2.1’ de otobüs yükleme alanı (L) ve otobüs durağı (S) görülmektedir. (Transit Capacity and Quality of Service Manual, 2003)



Şekil 2.1 Otobüs Yükleme Alanı ve Otobüs Durağı

Otobüs Yükleme Alanı, bir otobüsün yolcu iniş-binişlerinin gerçekleştiği alandır. Yükleme alanlarının sayısı, durağı kullanacak tarifeli otobüslerin sayısını karşılayacak yeterlilikte olmalıdır. Otobüs durağının alanını sınırlandıran bir takım bölgesel faktörlerin yanı sıra, üçten fazla yükleme alanından oluşan bir otobüs durağı yolcular için karmaşık ve zor bir durum oluşturabilir. (Transit Capacity and Quality of Service Manual, 2003)

Bir yükleme alanının dolayısıyla bir otobüs durağının kapasitesi, aşağıdaki faktörlere bağlıdır;

- Duruş Süresi: Araç kapılarının açılma-kapanma süreleri de dahil olmak üzere, yolcu iniş-biniş hareketlerinin tümünü de içeren ortalama süredir.
- Boşaltma Süresi: Bir otobüsün ivmelenecek yükleme alanını boşaltması ve bir sonraki otobüsün yükleme alanına girmesi için gerekli olan süredir. Bu süre, trafikteki herhangi bir problemten doğan gecikme süresini de içermektedir.
- Duruş Süresindeki Değişkenlik: Yükleme alanını kullanan otobüslerin duruş süreleri arasındaki yakınlık ve tutarlılık.
- Başarısızlık Oranı: Bir yükleme alanına gelen otobüsün gireceği alanın, bir başka otobüs tarafından işgal ediliyor olması durumudur.

2.2.2. Kent içi otobüs duraklarının konumu

Genel olarak otobüs durakları, mevcut trafik akımından bağımsız olup olmaması kriterine göre 2 türlü tasarlanmaktadır;

- Yol Üstü Otobüs Durakları
- Yol Kenarı Otobüs durakları

Yol kenarı otobüs durakları, trafik akımından bağımsız olarak konumlandırılan otobüs durakları olup; dört ya da daha fazla yükleme alanının sağlanabilmesi durumunda, yol üstü otobüs duraklarına oranla daha yüksek kapasite ile çalışabilmektedir. Yol üstü otobüs durakları ise, bir ya da iki yükleme alanının sağlanabilmesi durumunda, daha yüksek kapasite ile çalışabilmektedir. Yapılan çalışmalar, üç yükleme alanının sağlanması halinde, yol üstü ve bağımsız otobüs durak kapasitelerinin yakın değerlerde olduğunu göstermektedir.

Şekil 2.2' de yol üstü ve yol kenarı otobüs duraklarına ait örnekler verilmiştir.



a) Yol Üstü Otobüs Durağı



b) Yol Kenarı Otobüs Durağı

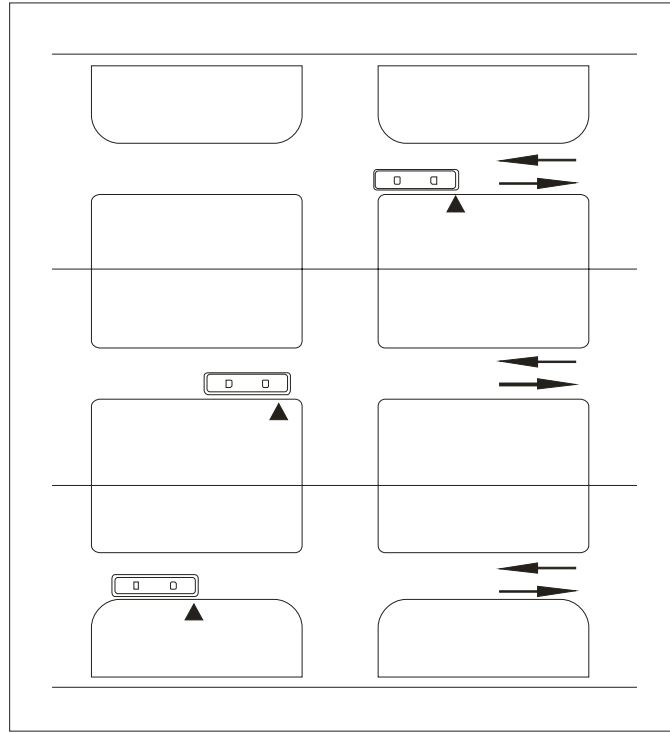
Şekil 2.2 Otobüs Durakları

Otobüs durak yerinin kavşak ve kesişim noktalarına olan konumuna göre de 3 türlü tasarım söz konusudur. (T.C.R.P. Report 19). Şekil 2.3' de bu üç durum gösterilmiştir.

- Kavşak ve kesişim noktalarından hemen önceki duraklar

- Kavşak ve kesişim noktalarından hemen sonraki duraklar
- Blok ortası durakları

Bu tasarım seçimi yapılırken etkili olan faktörler genel olarak, mevcut arazi kullanım durumu ve hareketliliği, otobüsün rotası ve otobüsün kavşaktan dönüş yapıyor olup olmama durumu, otobüs sinyalizasyon önceliği, kavşak işletme koşulları, kesişen transit rotalar, kavşak geometrisi, park yerleri ve park yeri gereksinimleri, yolcu seyahatinin başlangıç ve bitiş noktaları, yaya erişimi, engellilerin erişim durumu, fiziksel yol kenarı engelleri, potansiyel yolcu talebi, otobüs şeridinin varlığı, trafik kontrolleri olarak listelenebilir.



Şekil 2.3 Kavşaklara Göre Durak Yerleri

Literatürdeki çalışmalar ve uygulamalar doğrultusunda, kavşak ve kesişim noktalarına göre bu üç tip durak yerinin avantaj ve dezavantajları aşağıda özetlenmiştir.

1.Kavşak ve kesişim noktalarından hemen önceki duraklar;

Avantajlar:

- Kavşak geçtikten sonraki yol kesimindeki yoğun trafiğin etkilerinden doğabilecek akım aralıklarını minimize eder.

- Yaya geçidine yakın olmasıyla yaya erişimini kolaylaştırır.
- Otobüsün hareket alanını genişletir.
- Çift sıra duruşu engeller.
- Kırmızı ışıktaki duran otobüsten yolcu iniş binişi sağlanabilir.
- Sürücünün yaklaşan trafiği görme imkanı daha yüksektir.

Dezavantajlar:

- Sağa dönen araçlarla arasındaki karmaşayı artırır.
- Trafik kontrol araçları ve karşıdan karşıya geçen yayaların görüşünü kısıtlayabilir.
- Otobüsün sağında karşıya geçecek araçların görüş mesafelerini kısıtlayabilir.
- Pik saatlerde oluşan otobüs kuyruk oluşumları, doğru akımı olumsuz etkileyebilir.
- Yayalar için, karşıdan karşıya geçişte görüş kısıtlamasından doğan problemler oluşturabilir.

2. Kavşak ve kesişim noktalarından hemen sonraki duraklar;

Avantajlar:

- Sağa dönüş yapan otomobil ve otobüsler arasındaki karmaşayı minimize eder.
- Trafiğe daha fazla sağa dönüş kapasitesi sağlar.
- Kavşak yaklaşım kollarında görüş mesafesi problemlerini minimize eder.
- Yayaların otobüs arkası geçişlerini destekleyici etkisi olur.
- Otobüsler için kavşakları da kullanarak daha kısa yavaşlama mesafe gereksinimi yaratır.
- Sinyalize kavşaklarda oluşan trafik akım boşluklarının avantajlarının kullanımına yardımcı olur.

Dezavantajlar:

- Zirve saatlerde otobüslerin durması sonucu kavşakların tıkanmasına sebep olabilir
- Geçen araçların görüş mesafelerini kısıtlayabilir.
- Yaya geçidindeki yayaların görüş mesafesi problemlerini arttırabilir.

- Kırmızı ışıkta durduktan sonra yeniden durması durumu trafikte boşluklar yaratabilir.
- Kırmızı ışıktan sonra yeniden durması sürücüler tarafından beklenmediğinden dolayı, kazalara sebep olabilir.
- Kavşakta tıkanmalara sebep olabilir.

3. Blok ortası duraklar:

Avantajlar:

- Araçlar ve yayalar için görüş problemlerini minimize eder.
- Yolcu bekleme alanlarında daha az yaya oluşumu meydana gelmektedir.

Dezavantajlar:

- Park kısıtlaması olan kesimler için ilave mesafe gereksinimi doğar.
- Yayaların yol ortasından karşıya geçişlerini arttırır.
- Kavşaklardan karşıya geçen yayalar için yürüme mesafesi artar.

Ulaşım sisteminde uluslararası standartlara erişebilmek amacıyla Türk Standardları Enstitüsü (TSE)' nin konu ile ilgili yayınladığı çalışmaya göre de; Duraklar trafik şartları sebebi ile kavşaklara yakın yerleştirilmeli; bu mümkün olmadığında iki kavşak arasındaki yaya geçidine en yakın ve emniyetli mesafede durak yeri seçilmelidir. Kavşağa yaklaşmadan 30–50 metre mesafede durak yeri seçilmeli; kavşakta bekleme yapan araçların durak yerindeki yol kesimine sarkmaları önlenmelidir. Kavşaklardan önceki ve sonraki duraklar kavşak kollarından gelen trafiğin birbirini emniyetli şekilde görüp durmalarını engellememelidir. Işık kontrollü (sinyalize) kavşaklarda otobüs öncelikli sinyalizasyon yoksa, durağın sola dönüş yapacak otobüslere kolaylık sağlayabilmesi için kavşaktan 50 metre – 60 metre önce olması gereklidir. Kavşaktan sağa dönüş yapacak otobüslere ait duraklar kavşaktan en az 30 metre önce olmalıdır. Kavşaktan hem sağa hem de sola dönüş yapacak otobüslerin olması halinde kavşak giriş kolundaki durak kavşağa en az 35 metre mesafede olmalıdır.

Kavşak çıkış kolunda durak oluşturulması, sola dönüş yapan otobüsler için

kavşakta öncelikli sinyalizasyon sistemi yoksa ve sola dönüş yapıldıktan sonra kavşak çıkış kolundaki trafik yoğunluğu az ise uygundur. Karşıdan karşıya geçen yolcuların otobüslerin arkasından geçmelerinin sağlanması için, bu tip duraklar kavşak çıkışından en az 48 metre – 50 metre ileride yapılmalıdır.

Üç kollu kavşaklardaki durak yerleri, kesinlikle kavşaktan sonra, kavşak çıkış kolunda yer almalıdır. Durağa yanaşma mesafesinde diğer araçların duruş ve park etmeleri yasaklanmalı veya mümkünse otobüsler için cepli duraklar yapılmalıdır. (TSE 11783)

2.2.3. Kent içi otobüs durak yerlerinin belirlenme esasları

Yolcu sayısının belirlenmesinden sonra, durak yerleşimi mevcut trafik koşullarında otobüs, araç ve yaya akımları arasında karmaşalar yaratmaktan kaçınarak, güvenlik etkilerini, işletme koşullarını göz önünde bulundurarak yapılması gereken bir çalışmadır. Söz konusu bölgenin ticari bir yerleşim bölgesi, iskan bölgesi, sanayi bölgesi olup olmamasıyla doğrudan ilgilidir. Genel olarak, yolcu talep üretiminin fazla olduğu noktalara yakın durak yerlerinin belirlenmesi, yaygın olarak kullanılan bir yaklaşımdır.

Otobüs durak yerlerinin belirlenmesi, birçok güvenlik faktörü ve işletme faktörünün bölgesel olarak değerlendirilmesiyle verilen bir karardır. Trafik akımından yolcuların korunması, engellilerin erişiminin sağlanması, otobüse binip inerken gerekli her türlü hava koşuluna uygun yüzeyin olması, yaya geçitlerine ve üstgeçitlere yakın olması, yolcu seyahat üretim bölgelerine yakın olması, aktarmalı olarak farklı rotalara gidecek yolcuların erişimini kolaylaştırması, aynı rota üzerinde ters yönde gidecek yolcular için yakın durakların olması, yeterli ışıklandırma, aynı anda durakta olması planlanan otobüsler için yeterli alan bulunması, yol kenarı park durumları ve ağır vasıta dağıtım bölgeleri, otobüs rotalarının durumu, kavşak kesimlerindeki yönler ve yol genişlikleri, trafik hacmi ve dönüş hareketleri, yaya kaldırım genişlikleri, kavşaklardaki yaya hareketleri, çevresel yolların trafik hacimleri ve bu yollara olan mesafeler bu esasların en önemlileri olarak sayılabilir.

Ulaşım sisteminde uluslararası standartlara erişebilmek amacıyla Türk Standartları

Enstitüsü (TSE)' nün konu ile ilgili yayınladığı çalışmaya göre de; Durak yerleri, otobüs güzergahı ile çakışan yaya arterlerine yakın yerlerde seçilmeli böylece yolcular için erişme kolaylığı sağlanmalıdır. Mevcut trafiğin işletme hızının azalmaması için iki durak arası, 400–500 metre olmalıdır. Birinci derecedeki yollarda ise bu mesafe, 600–700 metre olmalıdır. Yolcu yoğunluğunun çok olduğu yol kesimlerinde bu mesafeler 100'er metre azaltılabilir. Bölünmemiş yollarda (orta refüjü olmayan) yol kenarı duraklar yapılması durumunda aynı yöndeki diğer trafiğe en az bir şerit bırakılmalıdır. Bunun sağlanabilmesi için durak yapılacak yolun kaplama genişliği 9–10 metre olmalıdır. Yolun kaplama genişliği 6-7 metre ise ve oradan otobüs hattı geçiyorsa ve durak mecburiyeti var ise bu takdirde yol, tek yön yapılmalıdır. Bölünmemiş yollarda iki ayrı yöndeki duraklar diğer trafiği aksatmamak için karşı karşıya bulunmamalı; duraklar arası mesafe en az 80 metre olmalıdır. (TSE 11783)

2.2.3.1. Kent içi otobüs durak aralıklarının belirlenme esasları

Otobüs taşımacılığının sistem performansı üzerinde etkili olan durak yerlerinin belirlenmesi problemi, durak aralık mesafelerini de beraberinde getirmektedir. Durak aralıkları, yolcuların duraklara erişim süresini ve araç içinde geçirilen seyahat süresini doğrudan etkilemektedir. Daha sık ve fazla sayıda durağın olması durumunda yayaların durağa erişim mesafeleri ve süreleri azalmakta, durak aralıklarının fazla olduğu durumlarda ise, yürüme mesafeleri uzarken daha kısa araç içi seyahat süreleri ortaya çıkmaktadır. Otobüs durak aralıklarının belirlenmesi problemi, yolcular ve işletmecilerin beklentilerini ve isteklerini dengelemeye yönelik bir problem olarak ele alınmalıdır. Yolcuların beklentisi, erişebilirlik toplamını minimize etmek iken (Murray 2003); işletmeler için ise, işletme masrafları, gelirler, güvenilir hizmet ve müşteri memnuniyeti önemlidir. (Van Nes ve Bovy 2000). Yolcuların toplu taşımacılıktan uzaklaşmayacağı yürüme mesafelerinin sağlanabilmesi, ancak işletmeciler ve yine araç içinde seyahat eden yolcular için de çok uzun yolculuk sürelerinin oluşmaması önemlidir. Uluslararası literatürde geçerli durak aralıkları Tablo 2.1' de verilmiştir. (TCRP- Report 19)

Tablo 2.1 Durak Aralıkları (TCRP Report)

	Durak Aralıkları (m)	Genel Uygulama (m)
Ticari Bölgeler	92-305m	183m
Şehir Merkezleri	152-366m	229m
Banliyöler	183-762m	305m
Kırsal Bölgeler	198-805m	381m

Farewall ve Marx (1996) toplu taşımacılık hizmetlerinden yararlanacak olan yolcular için, hizmet seviyesinin yüksek olmasının yürüme mesafelerinin kısa olması ile ilgili olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında toplu taşıma aracına erişim süresinin, araç içinde geçirilen seyahat süresinden daha fazla önemsendiğini ve genel olarak, durağa erişim için kabul edilebilir maksimum yürüme mesafesinin 400 m olduğunu göstermişlerdir.

Ceder vd. (1983) çalışmalarında duraklara erişim süresinin kısaltmasının toplu taşıma hizmet kalitesinin artması ve toplu taşımacılığın daha cazip hale gelmesinde etkili olacağını belirtmişlerdir. Araç içi seyahat süresi ve duraklara erişim süresi oranının Hollanda için 2:0, Chicago için 3:5, San Francisco için 6:2 olduğunu göstermişlerdir. Bir toplu taşıma ağında, talebin rota üzerindeki spesifik lokasyonlarda üretildiği kabulü ile durak sayısının en aza indirgenmesi ile durak yerlerinin belirlenmesi hedeflenir. Burada, yolcuların duraklara erişim mesafelerinin bir önceki belirlenen mesafeden kısa olması ve talep üretim noktaları kadar kabul edilebilir derecede olmaları önemlidir. Bunun için genellikle m-merkez problemi olarak adlandırılan algoritma kullanılmaktadır.

M-merkez problemini ilk olarak Minieka (1970) optimal bir algoritma olarak çalışmıştır. Daha sonra Christofides ve Viola (1971) bağımsız bir çalışma ile iteratif ve optimal bir algoritma geliştirmişlerdir. Handler (1973) Minieka' nın yaklaşımını geliştirerek özellikle problemin büyüklüğünün artması durumu için modelin Christofides ve Viola' nın modeline kıyasla daha tercih edilebilir duruma getirmiştir. Christofides (1975) ve Minieka (1978) çalışmalarında algoritmayı geliştirmişlerdir. Bir çok yol ağ örneği, bu m-merkez probleminin geliştirilmesi adına uyarıcı bir temel teşkil etmektedir çünkü Handler ile Christofides ve Viola' nın çalışmaları çok aşamalı ve

hesabı uzun süren çalışmalardır. Bu çalışmalar, merkezlerin kritik bir mesafe kıstasına göre yerleştirilmesi yerine m-merkezlerin en uygun lokasyonlarının belirlenmesi adına yapılmaktadır.

Furth ve Rahbee (2000) bir otobüs rotası üzerinde, otobüs durak aralıklarının değişiminin etkisi incelemek üzere bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Rota üzerindeki her kesişim noktası durak yeri olarak alınmıştır. Basit bir coğrafi model üzerinden mevcut duraklardaki talep, kesişen ve paralel sokaklara dağıtılmış ve yoğunlaşmış ve dağıtılmış talepleri içeren bir talep dağılımı elde edilmiştir. Yolcular için meydana gelen gecikmeler, gecikmelerden doğan işletme masrafları ve yürüme mesafelerinin etkileri değerlendirilmiştir. Dinamik programlama algoritması oluşturularak, Boston' daki bir otobüs rotası incelenmiş otobüs durak aralıklarının mevcut durum olan 400 m 'den 200 m'ye indirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Saka (2001) otobüs durak aralıklarının optimal şekilde belirlenebilmesine yönelik yaptığı çalışmada, yol kullanıcılarının araç dışı seyahat sürelerini minimize etme, işletmecilerin ise sabit işletme masraflarını minimize etme düşüncesinden yola çıkmıştır. Duyarlılık analizinden yararlanılmış, uygun durak aralıklarının belirlenebilmesi, hizmet kalitesinin artması, seyahat süresinin azalması, aralık ve sefer sayılarının azalması ve dolayısıyla işletme masraflarının azalması amaçlanmıştır. Modelde, hız, ivme ve yer değiştirme gibi temel değişkenler ile ortalama işletme hızı, aralık, gerekli sefer sayısı ve mevcut sistemin kapasitesi gibi değişkenler esas alınmıştır.

R.Sankar vd. (2003) Hindistan için yaptığı otobüs durak yerlerinin belirlenmesi çalışmasında ise, GIS ve GPS teknolojileri kullanmıştır. Burada amaç, yolcular için maksimum konfor ve uygunluğun sağlanabilmesine yönelik bir planlamadır. Otobüs duraklarının yerleri ve bu duraklara olan yürüme mesafeleri problemin esasını oluşturmaktadır. GIS teknolojisi ile ardıl iki lokasyon arasındaki mesafeler, lokasyonun önemi, nüfus yoğunluğu, zaman, altyapı ve finansal durumlar, yürüme isteği, sosyoekonomik durumlar, yol ile ilgili karakteristikler; kavşak durumları parametrelerinin, analizi ile durak aralıklarının belirlenmesine yönelik bir çalışma yapmışlardır.

Chien ve Qin (2004) otobüs hizmetlerine erişilebilirliğin yükseltilmesi amacıyla bir otobüs rotasının belirli bir kesitini alarak matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Bu modelin amaç fonksiyonu, toplam masraf fonksiyonu (kullanıcı ve işletmeci masrafları) olarak oluşturulmuştur. Amaç fonksiyonu, durakların sayısı ve yerleri, sürekli kullanıcıların zaman değeri göz önüne alınarak optimize edilerek minimize edilmiştir. Toplam masrafın, farklı parametrelere (süre, erişim hızı, talep yoğunluğu) olan duyarlılığı ve parametrelerin optimal durak yerlerine olan etkisinin analizi yapılmıştır.

Dell'Olio vd. (2005) çalışmalarında ulaşım sistemi için oluşturulan masraf fonksiyonunun optimizasyonuna dayalı otobüs durak yerleşim modeli oluşturmuştur. Masraf fonksiyonu, kullanıcı masrafları, işletme masrafları, ve otobüs durakları yapım ve yerleştirme masraflarını kapsamaktadır. Karar değişkenleri optimal durak sayısı, aralıkları, hattaki otobüs aralıkları olarak alınmıştır. Burada, literatürde MNLP olarak anılan, Mixed Integer Nonlinear Programlama Problemi, SBB Çözücü kullanılarak ele alınmıştır. Oluşturulan model, uygun durak sayısı ve aralığını vermektedir; ki bu da işletme masrafları için kaynakların doğru olarak değerlendirilmesine yardımcı olacaktır.

Alterkawi (2006) özel araç kullanımının çok yaygın olduğu bir toplum olan, Suudi Arabistan' ın Riyad şehrinde, toplu taşımacılığın geliştirilmesine yönelik bir çalışma yapmıştır. Atterkawi, gerçek verilerden yola çıkarak, bir otobüs hattının bir kesiti için, durak aralıklarının belirlenmesine yönelik olarak, Fortran programı ile bir simülasyon çalışması yapmıştır.

Steven ve Zhaoqiong (2004) çalışmasında otobüs taşımacılığının erişim düzeyinin arttırılmasına yönelik olarak matematiksel bir model geliştirmişlerdir. İncelenen bir otobüs rotasında, optimizasyon modelinin geliştirilmesi için talep giriş noktaları gerçekçi olarak dağıtılmıştır. Kullanıcı ve işletme masraflarının toplamı olan toplam maliyet fonksiyonunun minimize edilebilmesi için durak aralıkları optimize edilmeye çalışılmış, duyarlılık analizi ile toplam maliyetin, yolcu zaman tüketimi, erişim hızı ve talep yoğunluğuna duyarlılığı analiz edilmiştir.

2.3. Otobüs Sefer Sıklıklarının Belirlenmesi

Toplu taşıma ağı içerisinde yer alan her rotanın, saatlere ve günlere göre en uygun sefer sıklıklarının (taşıt/saat) belirlenmesi oldukça önemlidir. Belirlenen bu sefer sıklık değerlerine göre tarife düzenlemeleri en iyi şekilde oluşturulabilir. Sefer sıklıkları, hizmet standartları, deneyim, yolcu sayılarının birlikte değerlendirilmesiyle ortaya çıkmalıdır (Furth ve Wilson 1981). Hizmet standartları, genel bir ifadeyle, kalabalıklık seviyesi, izin verilen ayaktaki maksimum yolcu sayısı, otobüs geliş aralıklarının alt ve üst sınırları ile ifade edilmektedir.

Bu standartlar, tahmini olarak ortaya konulmamalı, belirlenen kriterlere dayanmalıdır. Sefer sıklığının gereksiz yere yükseltilerek masrafların yükseltilmesi yanlış bir yaklaşım olacaktır. Tedbirli ve mantıklı bir toplu taşıma işletme sistemi, artan sefer sıklığı ve gerektireceği yatırım arasında dengeyi sağlamalıdır. Uygun sefer sıklığı sistemi oluşturulurken, sistem üzerinde yapılacak olası değişikliklerinin hassaslık analizinin de yapılması önemlidir.

2.3.1. Sefer sıklığı belirleme yöntemleri

Sefer sıklığı belirlenmesi yöntemleri, sayımlarla elde edilen verilerin, kalabalıklık seviyesi ve minimum sefer sıklığı standartlarıyla analizini içermektedir. Uygun hizmet kalitesine ve en uygun sefer sıklığına ulaşılması sağlanırken, uygun yolcu-yükleme verilerinin toplanması için ayrılacak bütçenin de göz önüne alınması gerekmektedir.

Ceder (2002) çalışmasında, otobüs sefer sıklıklarının ve aralık değerlerinin verimli olarak belirlenebilmesi için uygun veri toplama yaklaşımları tanımlanmış ve analiz edilmiştir. Araçta yapılan ölçüm ve noktasal ölçüm teknikleri incelenmiştir. Alternatif tarife çizelgelerinin minimum otobüs sefer sıklığını sağlayacak şekilde oluşturulması için bu verilerin önemi ortaya konulmuştur. Verilerin toplanması için harcanacak bütçe ve bu tür çalışmaların getirileri incelenerek kullanılacak veri toplama yönteminin belirlenmesi gerektiği belirtilmiştir. Sefer sıklığının belirlenmesi yönündeki metodlar genel olarak, bu verilerin elde edilmesi yönünde yapılan sayımlara göre sınıflandırılmaktadır.

2.3.1.1. Maksimum yükleme (Noktasal Kontrol) yöntemleri

Bu yöntem, noktasal kontrol yöntemi ile toplanan veriler kullanılarak ortaya konulmaktadır. Noktasal kontrol, rota üzerindeki en yüksek yükleme değerinin görüldüğü durakta yapılan sayıdır. Bu sayım sırasında, genellikle, yükleme sayımları, durağa varış ve ayrılış saatleri, araç ve rota tanımları yazılmaktadır.

Toplu taşımacılığın temel hedeflerinden bir tanesi, verilen zaman aralığında, bir rotanın tamamı üzerinde, araçta maksimum yolcu olabilmesi için gerekli uygun alanın sağlanmasıdır. Bu zaman aralığını j ile gösterelim.(genellikle 1 saat olarak alınır). Zirve yükleme faktörü kavramına dayanarak j periyodu için gerekli olan araç sayısı,

$$F_j = \frac{\bar{P}_{mj}}{\gamma_j \cdot C} \quad (2.1)$$

olmaktadır. Burada;

\bar{P}_{mj} :zaman aralığında araçta gözlenen maksimum yolcu sayısı ortalaması (maksimum yükleme)

C :araç kapasitesi (oturma yerlerinin sayısı ve araçta izin verilen yolcu sayısının toplamı)

γ_j :zaman aralığında yükleme faktörü ($0 < \gamma_j \leq 1.0.$)

$\gamma_j \cdot c$ çarpımını, γ_j zaman aralığında araçta istenilen doluluk d_{oj} olarak ifade edelim. γ_j standardı, kapasitenin arzu edilen kısmına eşit olacak şekilde ayarlanabilir.(örneğin d_{oj} =oturma yeri sayısı)

Burada, \bar{P}_{mj} bazı ölçümlere dayanmakta ise, değişkenliği de dikkate alınarak; denklem 2.1' deki ortalama değer $\bar{P}_{mj} + b \cdot S_{pj}$, olarak değiştirilir. Burada, b değeri önceden belirlenmiş sabit, S_{pj} ise \bar{P}_{mj} 'nin standart sapmasını ifade etmektedir.

Maksimum yükleme verileri, eğitimli bir sayımcının maksimum yükleme kesim ya

da kesimlerinde yer alan duraklarda bekleyerek yaptığı sayımlarla elde edilir. Genellikle sayımcılara, farklı yükleme noktalarında gezinmek yerine tek bir durakta sayım yapmaları söylenmektedir. Bu şekilde sayım yapılması, birçok durakta gezinerek sayım yapan bir ekibin olmasından daha az masraflıdır.

Bu şekilde, bir sayımcının rota boyunca en yüksek günlük yükleme değeri olan bir durakta elde ettiği veri ile bu durak ile ilgili sefer sıklığının belirlenmesi Yöntem-1 olarak adlandırılan yöntemle yapılmaktadır.

$$F_{1j} = \max \left(\frac{P_{mdj}}{d_{oj}}, F_{mj} \right), \quad j=1, 2, \dots, q$$

$$P_{md} = \max_{i \in S} \sum_{j=1}^q P_{ij} = \sum_{j=1}^q P_{i^*j} \quad (2.2)$$

$$P_{mdj} = P_{i^*j}$$

Burada F_{mj} : j zaman aralığı için gerekli olan minimum sefer sıklığı, q zaman aralıklarını, S son durak hariç rota üzerindeki tüm durakların kümesini, i^* günlük maksimum yükleme noktasını, P_{ij} zaman aralığında i durağından geçen tüm araçlara binen toplam yolcu sayısını (istatistiksel olarak ortalama ya da ortalama+standart sapma), j zaman aralığında maksimum yükleme noktasındaki gözlemlenen ortalama yükleme değeri, P_{mdj} ve P_{md} zaman aralığında maksimum yükleme noktasındaki gözlemlenen toplam yükleme değerini ifade etmektedir.

İkinci Noktasal kontrol yöntemi olan Yöntem-2, rota üzerindeki tüm duraklarda yapılan sayımlarla oluşturulmaktadır. Her zaman periyodu için farklı duraklarda gözlemlenen yükleme değerleri arasından maksimum yükleme verisinin belirlenmesi esasına dayanmaktadır.

$$F_{2j} = \max \left(\frac{P_{mj}}{d_{oj}}, F_{mj} \right), \quad j=1, 2, \dots, q \quad (2.3)$$

$P_{mj} = \max_{i \in S} P_{ij}$, tüm duraklar arasında, her j zaman aralığı için maksimum gözlem yüküne karşılık gelmektedir.

2.3.1.2. Yükleme profili (Araçta Ölçüm) yöntemi

Araçta ölçüm, bir rota boyunca, araç içinde yapılan sayımdır. Bu sayım, araca binen bir sayımcı tarafından yapılabileceği gibi otomasyon cihazı ile de yapılabilir. Bu sayım, inen binen yolcu sayısı, her durak için varış ve ayrılış saatlerini, ve bazı spesifik ölçümler (araç hareket hızı, ücret kategorilerine göre biniş sayıları, yolcuların cinsiyeti, bagaj durumları vb.) içerebilir. Araçta ölçüm, noktasal-durakta ölçüme kıyasla daha fazla verinin toplanabildiği, maliyeti daha yüksek olan bir sayım yöntemidir.

Araçta ölçüm sayımları ile elde edilen veriler, planlayıcının toplu taşıma duraklarındaki yük değişkenliğini görebileceği yük profili oluşturmasını sağlar. Yüklerdeki dağılımın çok düzensiz ve uygun olmadığı durumlarda, rota tasarımında düzeltme ve düzenlemeler yapılması gerektiği sonucuna ulaşılabilmektedir.

Genel olarak, toplu taşımacılıkla ilgili bu düzenlemelerin, mevcut rota değiştirilmeden sefer sıklığının uygunluğunun sağlanması şeklinde olduğu görülmektedir.

Yük Profili yöntemlerinde, sefer sıklığı belirleme yöntemleri için, maksimum yükleme ölçütü yerine yolcu-km kavramı kullanılmaktadır. Yöntem-3 olarak adlandırılan yük profil yöntemi, mevcut bir araç-kapasite kısıtı için, sefer sıklığı için bir alt sınır ya da aralık için bir üst sınır kabul eder, ve genel ifadesi;

$$F_{3j} = \max \left[\frac{A_j}{d_{oj} \cdot L}, \frac{P_{mj}}{c}, F_{mj} \right] \quad (2.4)$$

$$A_j = \sum_{i \in S} P_{ij} \cdot \ell_i, \quad L = \sum_{i \in S} \ell_i$$

olup; ℓ_i (i) ve (i+1) ardışık durakları arasındaki mesafe; A_j ise L rota uzunluğunda j zaman aralığında yükleme profili altındaki alanı (yolcu-km) ifade etmektedir. A_j/L oranı P_{ij} yükünün ortalama bir gösterevidir ve bu kavrama dayanarak da maksimum yüklü rotadaki araçta yer alan yolcuların, verilen araç kapasite değeri (c)'nin üzerinde bir yoğunluk yaşamayacaklarını garanti etmektedir.

Yöntem 3, planlayıcılara, uygun araç sayısını arttırmadan talep değişiklikleri

durumları, araçların başka bir bölgede kullanılması gerektiği zamanlar, sürücü sayısının azaldığı bazı durumların ele alınması bakımından kolaylıklar sağlamaktadır. Ancak, yükleme değerinin d_{oj} ' den yüksek olduğu durumlar için istenmeyen sonuçlar verebilmektedir.

Bu durumun kontrolü için Yöntem-4 geliştirilmiştir. Bu yöntem, bir rota boyunca, istenilen yoğunluktan daha yüksek olan kesimlerin kısıtlanması yoluyla hizmet seviyesi kabulünü ortaya koymaktadır.

$$F_{4j} = \max \left[\frac{A_j}{d_{oj} \cdot L}, \frac{P_{mj}}{c}, F_{mj} \right] \quad (2.5)$$

$$\sum_{i \in I_j} \ell_i \leq \beta_j \cdot L,$$

$$\text{matematiksel olarak, } I_j = \left\{ i: \frac{P_{ij}}{F_j} > d_{oj} \right\}$$

olup, burada β_j parametresinin kontrolü ile hizmet seviyesi kriteri ortaya çıkmaktadır. β_j parametre değerinin 0' a eşit olması durumunda yöntem Yöntem-2' ye; 1' e eşit olması durumunda ise Yöntem-3' e dönüşmektedir.

Furth ve Wilson (1981) sefer aralığı kavramı ile ilgili olarak 4 yaklaşım geliştirmişlerdir. Bunlar, yolcu talebinden türetilmemiş olan planlı aralık kavramı, zirve yolcu yüklemesi ve araç kapasitesi ile belirlenen aralık, önceden belirlenmiş olan fayda/masraf oranını aşmayacak şekilde belirlenen aralık, istenilen yolcumil/saat veya araçmil/saat değerini sağlayacak aralık değeri olarak sayılabilir. Ele alınan ağ için, doğrusal olmayan bir optimizasyon ve çözüm algoritması geliştirilmiştir. Ücretler, ödenekler, filo büyüklüğü ve bekleme süresine bağlı olarak sefer aralık değerlerine ulaşılmıştır.

Koutsopoulos vd. (1985) gün içinde değişen talep için sefer sıklıklarının belirlenmesi üzerine çalışmıştır. İşletme masrafları ve seyahat süreleri de değişken olarak alınmıştır. Ödenek, filo büyüklüğü ve araç kapasite kısıtları ile doğrusal olmayan optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Modelin çözümündeki karmaşanın azaltılması

için, sefer aralıklarının sabit olduğu alt zaman periyodları oluşturulmuş, doğrusal yöntemle çözülmüştür.

LeBlanc (1988) sefer sıklıklarının belirlenebilmesi için, ayrı rotalar için modal-split atama programı geliştirmiştir. Çalışmada, geleneksel modal-split atama modelleri, bu amaç doğrultusunda incelenmiş, transit yolcu sayısı, belirlenen sefer sıklıklarının etkisi, trafik yoğunluğu gibi parametreler dikkate alınmıştır.

Wirasinghe (2003) Newell tarafından geliştirilen sefer sıklığı belirlenmesi yönteminin geçerliliğini incelemiştir. Bu yöneme göre, sefer sıklığı araçların yeteri kadar geniş olması durumunda, yolcu geliş oranlarının kareköküyle, olmaması durumunda kendisiyle orantılıdır. Ayrıca, optimum sıklık değeri, yolcu bekleme süresi ve araç masrafı oranının kare köküyle orantılıdır. Birçok durum için, bu yöntemin, bazı düzeltmeler ile uygulanabilir olduğu görülmüştür.

Turnquist (1978) çalışmasında bir otobüs durağında, yolcu ve otobüs gelişlerinin modellenmesini hedeflemiştir. Yolcuların gelişleri için, belirlenen bir otobüsü yakalamayı temin edecek şekilde, rasgele ve rasgele olmayan kabuller yapılmıştır. Otobüslerin günlük gelişleri lognormal dağılıma uygun olarak modellenmiştir. Yolcuları rasgele olan ve olmayan gelişleri için sefer sıklığına karşılık gelen bekleme zamanı üzerindeki etkiler belirlenmiştir. Küçük bir ampirik çalışma ile varış zamanını planlayan yolcular için sefer sıklığı ve güvenilirlik etkileri incelenmiştir. Ampirik sonuçlar, modeli destekleyici sonuçlar vermiş, yolcu ve işletmeciler açısından verimli bir çalışma ortaya konulmuştur.

Bowman ve Turnquist (1981) duraklardaki bekleme süresinin sefer sıklığı ve tarife güvenilirliğine olan duyarlılığının belirlenmesine yönelik bir model geliştirmiştir. Bu çalışma yolcu karar verme sürecini de açıkça ortaya koyması bakımından literatürdeki mevcut çalışmaların geliştirilmiş bir halidir. Chicago verileri ile geleneksel modeller kıyaslanmış ve bu modellere göre daha uygun sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu çalışma sonucunda, yolcu bekleme süresinin, düşünülenin aksine, tarife güvenilirliğine daha fazla duyarlı olduğu, sefer sıklığına ise daha az duyarlı olduğu görülmüştür.

Ramadan (1998) hedef programlama ve bulanık programlama tekniklerini, vektör

optimizasyon probleminin çözümü üzerinde karşılaştırmıştır. Hedef Programlama ve Bulanık Programlama tekniklerinin her ikisinin de çok amaçlı problemlerin çözümünde etkili yöntemler olduğunu belirtmiştir. Doğrusal bir bulanık programlama modelinin minimum işlemcisi kullanılarak ve hedef programlamanın sapma değer kavramı kullanılarak klasik programlamaya dönüşmesi anlatılmış, sayısal bir örnek üzerinde bu iki yaklaşım gösterilmiştir.

Waiel ve Sang (2004) bulanık hedef programlama yaklaşımını çok amaçlı ulaştırma problemi için kullanmıştır. Yaklaşımında, her amaç fonksiyonunun bulanık bir hedefi olduğu kabulü ile giriş verilerinin bulanık yapısı minimum operatörü kullanılarak ifade edilmiştir. Yaklaşım, her amaç fonksiyonunun en iyi alt sınırına yaklaşan en kötü üst sınır değerlerinin minimizasyonuna dayanmaktadır. Üyelik fonksiyonları ve memnuniyet seviyelerini kontrol ederek güncelleyen bir çözüm algoritması oluşturulmuştur. Bu çözüm yaklaşımı ile elde edilen sonuçlar literatürdeki 2 modelle kıyaslanmıştır.

Mohapatra ve Dutta (2003) çalışmalarında, özellikle gelişmekte olan ülkelerde hükümetlerin, artan maliyetler nedeniyle son yıllarda, ulaştırma yatırımları ile ilgili kararlar konusuna daha fazla önem verdikleri düşüncesiyle, farklı ulaşım türlerinin yatırımları için ulusal seviyede çok amaçlı bir optimizasyon modeli oluşturularak Hindistan Ulaştırma sektörü için test etmişlerdir. Tek hedefli doğrusal programlama modellerini tek birçok amaçlı hedef programlama modelinde birleştirmişler ve model sonucunda demiryolları ile deniz yollarına ait yatırım oranlarının artırılması gerektiği sonucunu elde etmişlerdir.

Sinclair ve Oudheusden (1998) trafik yoğunluğu fazla olan kentler için otobüs sefer tarife oluşturma problemi için minimum maliyetli ağ akım modeli oluşturmuşlardır. Bangkok şehri için gerçek tarifelenendirme problemleri analiz edilerek hedef programlama ile çözülmüştür. Bilinen prosedürlerle üretilenlere kıyasla daha iyi çözümler elde edilmiştir. Bir otobüs rotasından daha kompleks durumlar ve daha az trafik yoğunluğuna sahip alanlar için modelin kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Mesquitai vd. (2008), araç ve araç filo tarife ve çizelge problemlerini tanımlayacak tamsayı matematiksel formülasyon geliştirmişlerdir. Çok amaçlı bu problemi

özebilmek için hedef programlama yaklaşımı kullanılmıştır. Problemin çözümüne araç-filo tarifesinin birlikte ele alınmasıyla başlanarak, sürücü görev listesi elde edilmiştir. Portekiz otobüs şirketi için bu çalışmanın tarife problemlerinde ne kadar yararlı olabileceği gösterilmiştir.

Lushu ve Lai (1999) alışmasında, çok amaçlı ulaştırma problemlerinin çözümüne yönelik bulanık bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Farklı hedeflerin marjinal değerdendirmeleri ve tüm hedeflerin global değerdendirmesi yapılmıştır. Global hedefin üyelik derecelerini en büyüklecek şekilde bir optimizasyon çalışması yapılmıştır. Modelin verimliliği, sayısal bir örnek üzerinde gösterilmiştir.

Alp (2008) alışmasında, İstanbul ilinde ele alınan bir otobüs yolcu taşıma ağında, otobüs taşımacılığı sefer sayılarını, duraklar arasında yolculuk talep eden yolcu sayıları, mevcut bulunan otobüs hatları, her bir otobüs hattının sefer süresi, her bir hat için sefer sayısı ve kullanılan her bir araç tipinin kapasitelerini dikkate alarak, doğrusal hedef programlama tekniği ile modellemiştir. Çalışmada, hedef kısıtlarının öncelik durumlarındaki farklılıklara göre modeller oluşturularak, bu durumlar için sefer sayı değerdeleri elde edilmiştir.

3. KLASİK ve BULANIK DOĞRUSAL PROGRAMLAMA

3.1. Klasik Doğrusal Programlama

Doğrusal programlama belirli bir amacı eniyilemek maksadıyla sınırlı kaynakların nasıl dağıtılması gerektiğine çözüm arayan bir karar verme aracıdır. Belirli bir amacın gerçekleşme derecesini etkileyen bazı kısıtlayıcı koşulların bulunması ve bunların doğrusal eşitlik veya eşitsizlikler olarak verilmesi durumunda, bu amaca en iyi biçimde ulaşılması için sınırlı kaynakların en etkin şekilde kullanılmasını sağlayan matematiksel bir yöntemdir (Tulunay 1991).

Bir doğrusal programlama problemi genel itibari ile amaç fonksiyonu ve doğrusal sınır/sınırların yer aldığı iki kısımlı bir matematiksel ifadedir. Doğrusal sınırların oluşturduğu kesişim kümesinden yola çıkılarak mümkün çözümler ya da uygun çözüm alanı belirlenir. Belirlenen uygun çözüm alanı ise amaç doğrultusunda eniyilemeye çalışılır.

3.1.1. Doğrusal programlamanın formülasyonu

Değişken sayısı n , eşitlik/eşitsizlik kısıtı sayısı m olan bir doğrusal programlama modelinin genel matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir;

Amaç fonksiyonu;

$$\max (\min) Z(x)=c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (3.1)$$

Kısıtlar;

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &\{ \leq, =, \geq \} b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &\{ \leq, =, \geq \} b_2 \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &\{ \leq, =, \geq \} b_m \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$x_j \geq 0 \quad (3.3)$$

Problem kısaca,

$$\begin{aligned} \max (\min) Z(x) &= \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &\{\leq, =, \geq\} b_i, i = 1, \dots, m \\ x_j &\geq 0, j = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (3.4)$$

biçiminde de formüle edilebilir. Burada,

x_j : karar değişkenlerini,

$Z(x)$: en iyilenecek amaç fonksiyonunu,

c_j : j. karar değişkeninin amaç fonksiyonundaki katkı katsayısını,

a_{ij} : j. karar değişkeninin i. kısıttaki katkı katsayısını (teknolojik katsayıları),

b_i : i. sınırlı kaynak miktarını yani i. kısıtın sağ taraf değerini göstermektedir (Karacabey ve Sarıaslan 2003).

3.1.2. Doğrusal programlamanın dayandığı varsayımlar

DP modeli, ele alınan problem için yapılan bir takım varsayımlara dayanır. Bu varsayımlar aşağıda özetlenmiştir;

Doğrusallık: En iyi değeri araştırılan amaç ve kararı etkileyen kısıtlar her bir değişkene göre doğrusal olarak ifade edilebilmekte; bütün ilişkiler birinci dereceden fonksiyonlarla tanımlanmaktadır. Doğrusallık varsayımı aslında temel olarak, her bir karar değişkeninin gerek amaç fonksiyonuna gerekse de tüm kısıtlara etkisinin, söz konusu değişkenin değeriyle doğru orantılı olması gerektiğini ifade eden orantılı olma özelliği ve kısıtlardaki ve amaç fonksiyonundaki tüm değişkenlerin toplam katkısının bu değişkenlerin tekil (bireysel) katkılarının toplamından oluşması şartını koşan katkı özelliği ile ilgilidir (Taha 2000).

Toplanabilirlik: Bağımsız faaliyetler tarafından birlikte kullanılan toplam kaynak miktarının bu faaliyetlerin ayrı ayrı kullandıkları miktarların toplamına eşitlenmesidir.

Bölünebilirlik: Her bir faaliyetin sonsuz derecede bölünebilir olmasıdır. Bu varsayım çerçevesinde, karar değişkenleri tamsayı değerlerin yanında kesirli

değerlerde alabilmektedir. Bu özellik negatif olmama özelliği olarak da adlandırılır. Karar değişkenlerinin zorunlu olarak tamsayılı değerler almaları istenildiği durumlarda tamsayılı doğrusal programlama kullanılır.

Belirlilik (Kesinlik): DP modelindeki tüm parametrelerin bilinen sabitler olmasıdır. Gerçek hayattaki problemlerin çok azı bu varsayımı sağlamaktadır. Doğrusal programlama genellikle gelecekteki faaliyetlerin seçiminde kullanılır ve parametre değerleri gelecekteki koşullar dikkate alınarak belirlenir. Bu durum için kullanılan çözüm yöntemi, optimal çözüm bulunduktan sonra bu çözümün parametrelere olan duyarlılığını duyarlılık analizi ile test etmektir.

3.2. Bulanık Doğrusal Programlama

Gerçek yaşam karar problemlerinin çoğu, amaç ve kısıt fonksiyonlarının bazı katsayılarının tam olarak belirlenemediği, belirsiz olduğu bir ortamda yer alır. 1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından yapılan “Bulanık Kümeler” çalışmasından beri, stokastik kavramlara başvurmaksızın, belirsiz ve kesin olmayan veriyi modellemek için Bulanık Mantık teorisi etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Bulanık Doğrusal Programlama, Doğrusal Programlama yöntemi kullanılarak çözümlenebilen problemlere birçok karar sürecinde görülen belirsizlik kavramının, Bulanık mantık teorisi kullanılarak dahil edildiği bir yöntemdir. DP’da kısıtlara bağlı kalınmak koşuluyla amaç fonksiyonu en büyüklenmeye (en küçüklenmeye) çalışılmaktadır. Bulanık Doğrusal Programlama ise, amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcıların bu kadar kesin ifade edilemeyeceği düşüncesiyle amaç fonksiyonlarını eniyilemek yerine belirli bir tatmin derecesinde problemi çözmeye çalışılmaktadır.

3.2.1. Bulanık Mantık Teorisi

Temelleri eski Yunan felsefelerine dayanan, uygulamada ise Yapay Zekanın yönlendirici bir unsuru olan Bulanık sistemler (Fuzzy Systems), Aristoteles’ ten günümüze gelişen klasik küme üyeliğine ve mantığına karşı oluşturulmuş bir alternatiftir. Çok eskilere dayanan temellerine karşı göreceli olarak gelişimini sürdürmekte olan yeni bir bilim sahasıdır.

Günlük hayatta yer alan birçok olay klasik mantığın kabul ettiği gibi, birbirinden çok kesin çizgilerle ayrılmamakta, belirsizliklerin söz konusu olduğu karmaşık durumlar söz konusu olmaktadır (Şen 2001). Bu belirsizlikler insanlar tarafından çeşitli kabuller ile giderilmekte veya tahmin edilmektedir.

Genel olarak mühendislikte incelenen olaydaki belirsizlikler için istatistik veya matematik yöntemler kullanılmakta ve çoğunlukla olay ile ilgili kabuller yapılarak model kurulmaktadır. Ancak, rastgele olmayan olan belirsizlik halleri için, istatistik veya matematik yöntemler kullanılması uygun olmamakta; bu tür rastgele olmayan belirsizlikler bulanık (fuzzy) olarak tanımlanmaktadır.

Zadeh (1965) çalışmasında klasik küme teorisinin tanımlayamadığı kümelerden hareket ederek, bu tanımlara ulaşmanın yollarını aramıştır. Ona göre gerçek dünyada bir kümenin (uzayın) elemanları arasındaki ilişkiler kesin olarak tanımlanamamaktadır. Klasik küme teorisinden kaynaklanan bu problem, klasik mantığın kabulü olan var - yok çiftinin ara değerlerini tanımlamakla yok edilebilir. Bulanık mantık ve bulanık küme teorisini anlayabilmek için öncelikle klasik küme teorisinin yapısını incelemek gereklidir.

3.2.1.1. Klasik küme teorisi

Matematiksel olarak küme, kendisine ait olan ve olmayan elemanların kesin olarak bilindiği topluluktur. Kümeyi oluşturan bu topluluğa veya nesnelere bu kümenin elemanları denir.

Örneğin, üç elemanlı bir A kümesinin liste gösterimi;

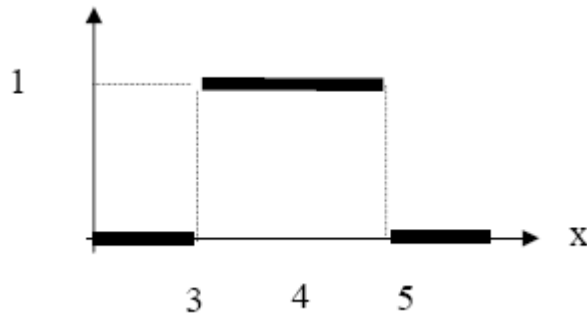
$$A = \{3,4,5\}$$

şartlı bir fonksiyon şeklinde gösterimi;

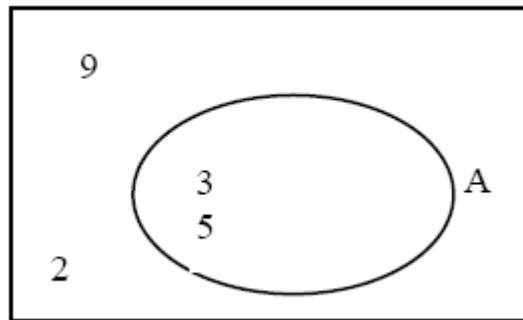
$$A = \{x \mid x \geq 3 \text{ ve } x \leq 5\}$$

şeklindedir. Genel bir ifadeyle, bir A kümesinin elemanı olmak için, bu kümenin karakteristik fonksiyonuna sahip olmak gereklidir. Kural olarak, elemanın kümeye ait

olması 1, olmaması ise 0 ile gösterilir. Bu kuralın grafik olarak gösterimi Şekil 3.1.a' da verilmiştir. Buna göre, 3, 4 ve 5 elemanları, A kümesinin elemanı olup, kümeye ait olma dereceleri 1 iken bunun dışında kalan tamsayılar A kümesinin elemanı değildir ve kümeye ait olma dereceleri 0 olmaktadır.



a) Keskin Küme



b) Venn Şeması

Şekil 3.1 Keskin A kümesinin Gösterimi

Şekil 3.1.b' de, A kümesinin Venn şeması ile gösterimi verilmiştir. Görüldüğü gibi A kümesinin sınırları kesin olarak belirlenmiştir. Burada 3, 4, 5 elemanları 1 üyelik derecesi ile, kesin olarak belirlenmiş olan küme sınırlar içerisinde yer alırken; 2 ve 9 elemanları A kümesinin dışında kalmakta ve 0 üyelik derecesine sahip olmaktadır.

Klasik küme teorisi, elemanların kümeye dahil olup olmaması konusundaki kesin sınırlandırmasıyla, uygulamada esnek olmamaktadır. 1960' lı yıllarda Zadeh tarafından teorisi oluşturulan ve aşağıda açıklanacak olan bulanık küme kuramı tabiattaki uygulamalar için daha esnektir.

3.2.1.2. Bulanık küme teorisi

Bulanık mantığın temelini oluşturan bulanık küme teorisi, klasik küme teorisine alternatif olarak L.A. Zadeh tarafından ortaya atılmıştır (Zadeh 1965).

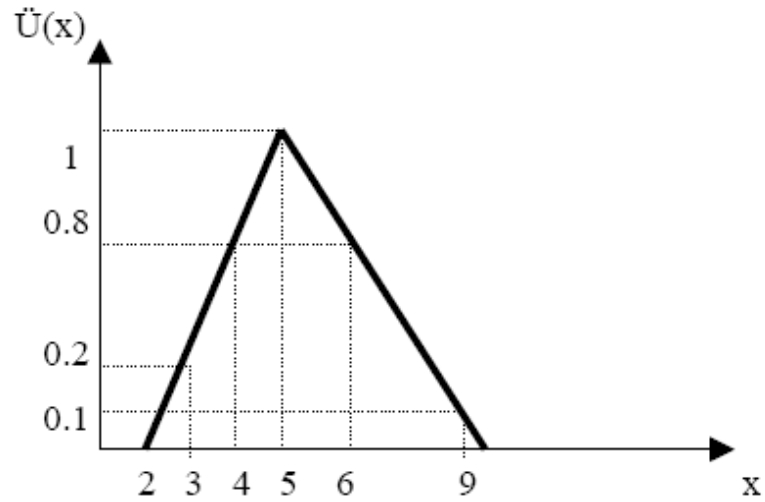
Bulanık küme teorisinde, üyelikten üye olmamaya geçiş dereceli bir şekilde olmaktadır. Bu durum, belirsizliğin ölçülmesinde güçlü ve anlamlı araçlar sunmasının yanı sıra, doğal dilde ifade edilen belirsiz kavramların anlamlı bir şekilde temsil edilebilmesini sağlamaktadır.

Şekil 3.1.a' da gösterilen A kümesi bulanık küme kapsamında değerlendirildiğinde, kümenin elemanı olma veya olmama hali belirli üyelik dereceleri ile ifade edilmektedir. Buna göre A bulanık kümesinin elemanları ve üyelik dereceleri liste gösterimi ile aşağıdaki biçimde tanımlanmaktadır:

$$A = \{ 0.2/3 + 0.8/4 + 1/5 + 0.8/6 + 0.1/9 \}$$

Klasik küme kavramında, kümenin elemanı olarak kabul edilmeyen 2 ve 9 rakamları, bulanık küme kavramında, belirli bir üyelik derecesi ile kümenin elemanı olarak kabul edilmektedir. Şekil 3.2' de bulanık A kümesinin elemanları ve üyelik dereceleri, $\bar{U}(x)$ görülmektedir.

Bulanık küme teorisinin ortaya atılmasından sonra, Zadeh yayınladığı çalışmalarında, bulanık küme teorisinin, en büyük yaklaşıklıkla insanın karar verme sistemini modelleyebilecek yeterlilikte olduğu fikrini ortaya atmıştır (Bellman ve Zadeh 1970).



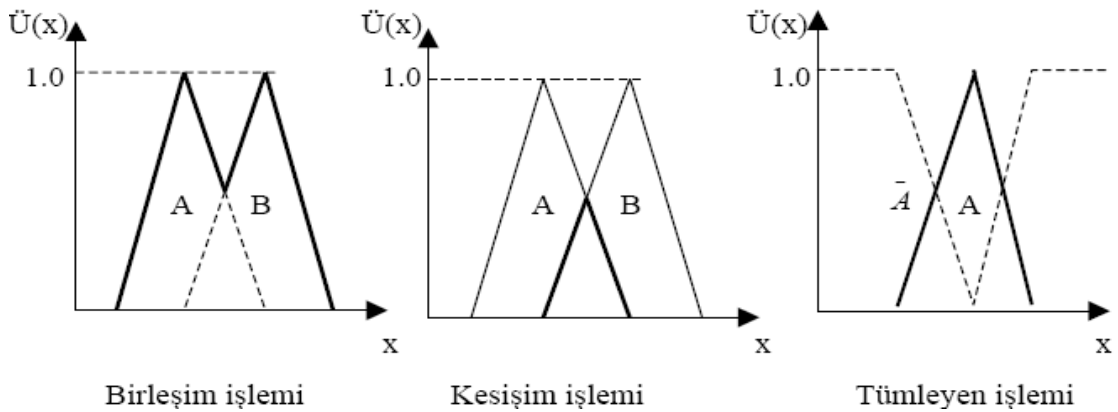
Şekil 3.2 Bulanık A kümesinin elemanları ve üyelik dereceleri

3.2.1.3. Bulanık küme işlemleri

Boş olmayan bir X evreninde A ve B bulanık kümeleri tanımlanmış olsun. A ve B kümeleri için birleşim, kesişim ve tümleyen teorik küme işlemleri sırasıyla aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} \ddot{U}_{A \cup B}(x) &= \ddot{U}_A(x) \vee \ddot{U}_B(x) = \max[\ddot{U}_A(x), \ddot{U}_B(x)] \\ \ddot{U}_{A \cap B}(x) &= \ddot{U}_A(x) \wedge \ddot{U}_B(x) = \min[\ddot{U}_A(x), \ddot{U}_B(x)] \\ \ddot{U}_{\bar{A}}(x) &= 1 - \ddot{U}_A(x) \end{aligned} \quad (3.5)$$

Bu işlemlerin üyelik dereceleri ile ifadesi Şekil 3.3’de görülmektedir.

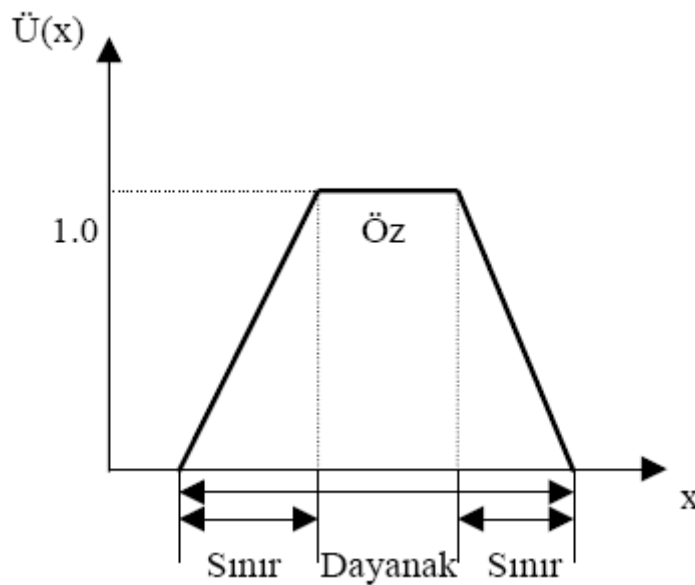


Şekil 3.3 Bulanık Küme İşlemleri

3.2.1.4. Üyelik fonksiyonları

Bulanık mantık işlemleri için gerekli üyelik fonksiyonları, dilsel niteleyicilerden oluşan bir ifade grubudur. Sahip olunan önem derecesine göre 0 ile 1 arasındaki aldığı değerlere üyelik derecesi, bunun bir alt küme içindeki değişimine ise üyelik fonksiyonu adı verilir.

Üyelik fonksiyonları üçgen, yamuk veya çan eğrisi şeklinde gösterilebilir. En genel hali ile yamuk şeklindeki bir üyelik fonksiyonunun kısımları, Şekil 3.4’ de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.4 Üyelik Fonksiyonun Kısımları

Öz (Core): Verilen bir bulanık alt kümede, üyelik dereceleri 1’ e eşit olan öğelerin toplandığı orta kısma, o alt kümenin özü (core) denir. Burada yer alan tüm öğeler için $\tilde{U}(x)=1$ olmaktadır. Üçgen şeklindeki üyelik fonksiyonunda, üyelik derecesi 1’ e eşit olan yalnızca bir öğe olduğundan, üçgen üyelik fonksiyonlarında kümenin öz’ ü bir nokta olarak karşımıza çıkar.

Dayanak (Support): Bir alt kümenin tüm öğelerini içeren aralığa o alt kümenin dayanağı (support) adı verilir. Kümenin dayanak kısmında yer alan her öğe, 0 ile 1 arasında bir üyelik derecesine sahiptir. Bu durum matematiksel olarak $\tilde{U}(x) > 0$ şeklinde ifade edilir.

Sınırlar (Geçiş Bölgeleri): Üyelik derecesi 1'e veya 0'a eşit olmayan öğelerin oluşturduğu kısımlara üyelik fonksiyonunun sınırları veya geçiş bölgeleri adı verilir. Geçiş bölgesine ait öğeler, alt kümenin kısmi öğeleri olup, matematiksel tanımı $0 < \tilde{U}(x) < 1$ şeklindedir. Tüm üyelik fonksiyonlarında, öz' ün sağında ve solunda olmak üzere iki geçiş bölgesi bulunmaktadır.

Geçiş Noktası: Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarında üyelik derecesinin 0.5' e eşit olduğu noktaya geçiş noktası adı verilir.

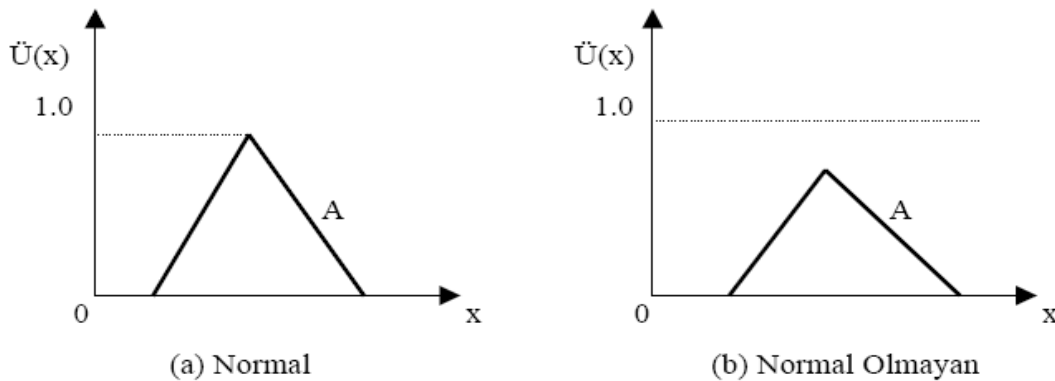
(α -kesiti): X de tanımlı bir A bulanık kümesi ve $\alpha \in [0,1]$ verilsin. α -kesiti, αA , ve güçlü α -kesit, $\alpha+A$, aşağıdaki gibi tanımlanmış keskin kümelerdir:

$$\alpha A = \{ x \mid A(x) \geq \alpha \}$$

$$\alpha+A = \{ x \mid A(x) > \alpha \}$$

Yükseklik: Bulanık kümenin en büyük üyelik derecesine yüksekliği denir. Normal bulanık kümelerde yükseklik değeri 1'e eşittir. Normal olmayan bulanık kümeleri normal hale dönüştürmek için o kümenin her üyelik derecesinin en büyük üyelik derecesine bölünmesi gereklidir.

Üyelik fonksiyonunun bir başka özelliği, bulanık kümenin normal olup olmadığını belirlememize yarayan kavramdır. Normal bulanık küme, en az bir tane üyelik derecesi 1'e eşit olan öğenin bulunduğu kümedir. Şekil 3.5' de normal ve normal olmayan bulanık kümelere ait örnekler verilmiştir.

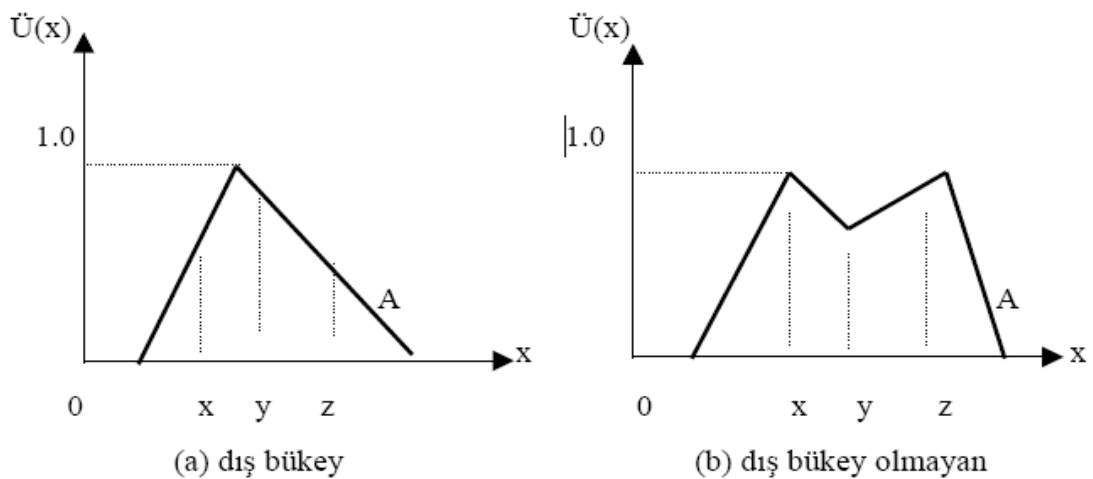


Şekil 3.5 Bulanık Kümeler

Bir diğer özellik ise bulanık kümenin dış bükey (konveks) olmasıdır. Dış bükeyliğin matematik olarak tanımlanmasına göre, aynı bulanık alt kümeye düşen x , y , ve z gibi üç öğenin büyüklük değerleri arasında $x < y < z$ gibi bir sıralama bulunuyor ise, bunlardan ortadakinin üyelik fonksiyonu için;

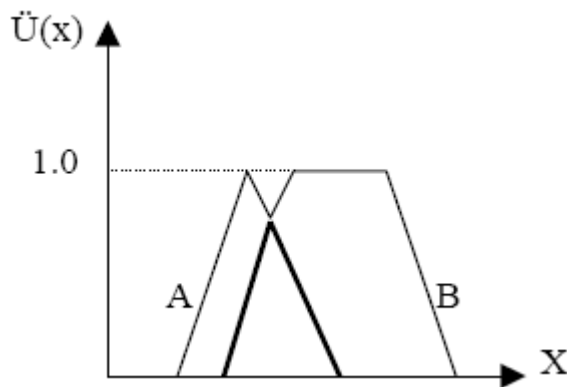
$$\tilde{u}_A(y) \geq EK[\tilde{u}_A(x), \tilde{u}_A(z)] \quad (3.6)$$

bağıntısı daima geçerli olmalıdır. Bu durumda, A kümesine dış bükey bulanık küme adı verilir. Şekil 3.6'da dış bükey olan ve olmayan bulanık alt kümelere ait örnekler görülmektedir.



Şekil 3.6 Dış Bükey ve Dış Bükey Olmayan Bulanık Kümeler

A ve B gibi iki dış bükey bulanık kümenin kesişimi de Şekil 3.7' de görüldüğü gibi dış bükey olacaktır.



Şekil 3.7 Dış Bükey Bulanık Kümelerin Kesişimi

3.2.2. Bulanık doğrusal programlamanın formülasyonu

Bulanık Doğrusal Programlama (BDP), Doğrusal Programlama' nın uzantısı olarak bulanık ortamda karar vermek için geliştirilen bir bulanık küme teorisi uygulamasıdır. BDP yöntemi, hem amaç fonksiyonları hem de kısıtlarda subjektif ihtiyaçların mevcut olduğu mühendislik problemlerine DP'nin uygulanabilmesi için büyük bir esneklik getirmiştir. (Zhao vd. 1992)

Bulanık Doğrusal Programlama modeli, Doğrusal Programlama' nın oransallık, toplanabilirlik ve bölünebilirlik varsayımlarının yanında kesin olmama varsayımını kabul eder. Kesin olmama varsayımının sağlanabilmesi için modelde yer alan parametre ve sağ taraf değerlerinin bir kısmı ya da hepsi kesin olarak bilinmez; olası parametre ve sağ taraf değerleri ile bunların üyelik dereceleri bilinir.

Bir DP modeli parametrelerin, amaç ve kısıtların bulanık olup olmamasına göre farklı modellenir. BDP modelinin genel bir gösterimi yoktur ancak DP modelinden farklı olarak BDP modelinde en belirgin fark bulanık olan kısımlara bulanıklık simgesinin (\sim) konması ve bulanık olan yer için $[0,1]$ aralığında tanımlı olan üyelik fonksiyonunun belirlenmesidir. Genel olarak bir BDP modelinin tüm katsayılarının bulanık olduğu düşünülerek elde edilecek formülasyonun gösterimi en genel haliyle aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\begin{aligned}
 MaxZ &= \sum_{j=1}^n \tilde{c}_j x_j \\
 \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} x_j (\leq, =, \geq) \tilde{b}_i & \quad i = 1, 2, \dots, m \\
 x_j &\geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

3.2.3. Bulanık ortamda karar verme

Doğrusal programlama belirli ve kesin kısıtlar ve amaçlar altında verilen bir karar verme aracıdır. Bulanık Doğrusal programlama ise, belirli olmayan yani bulanık amaçlar ve bulanık kısıtların bulunduğu bir çözüm alanında bulanık karar verme aracıdır.

Bulanık amaç, amaç fonksiyonu ya da amaç fonksiyonu parametrelerindeki bulanıklıktır. BDP' da amaç fonksiyonu ve amaç fonksiyonu katsayısı bulanık hedef olarak adlandırılmaktadır. Bulanık hedef kümesi, X evrensel kümesinin bulanık bir alt kümesi olan bir \tilde{G} kümesi ile tanımlansın.

Bulanık hedef kümesinin üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{G}}(x) \in [0,1]$ ise, belirli bir x vektörünün bulanık hedefe olan üyeliğinin 0 ve 1 reel sayı aralığındaki derecesini göstermektedir.

$\mu_{\tilde{G}}(x)$ üyelik fonksiyonunun 1 değerini alması hedefe tam olarak ulaşıldığını, 0 değerini alması hedefe ulaşamadığını, 0 ile 1 arasında değerler alması ise hedefe kısmen ulaşıldığını ifade etmektedir.

Bulanık kısıtlayıcılar ise, sınır olarak adlandırılan sağ taraf sabitleri için belirli bir erişim düzeyinin belirlenmesi ve bu sınırları ifade etmekte kullanılan eşitlikler ($\leq, \geq, =$) için belirli bir tolerans aralığının tanımlanması için de kullanılabilir.

Bulanık kısıtlayıcı kümesi X evrensel kümesinin bulanık bir alt kümesi olan \tilde{C} kümesi olarak tanımlansın. Bulanık kısıtlayıcı kümesinin üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{C}}(x) \in [0,1]$, belirli bir x vektörünün bulanık kısıtlayıcıya olan üyeliğinin 0 ve 1 reel sayı aralığındaki derecesini göstermektedir. $\mu_{\tilde{C}}(x)$ üyelik fonksiyonunun 1 değerini alması kısıtın tam olarak sağlandığını, 0 değerini alması kısıtın sağlanmadığını, 0 ile 1 arası değer alması ise kısıtın kısmen sağlandığını göstermektedir.

Bellman ve Zadeh (1970) bulanık kararı, hedefler ve kısıtlayıcılar için önerilen bulanık kümelerin uygun bir birleşimi sonucu ortaya çıkan bulanık küme olarak tanımlamıştır.

Buna göre; \tilde{G} bulanık hedefleri, \tilde{C} bulanık sınırları göstermek üzere; oluşacak bulanık karar kümesi \tilde{D} ile gösterilirse ifade;

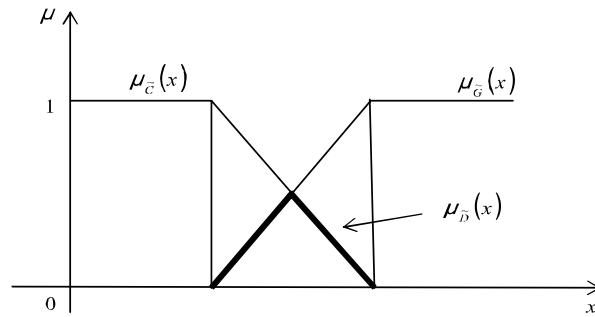
$$\tilde{D} = \tilde{G} \cap \tilde{C} \quad (3.8)$$

şeklinde olur. Üyelik fonksiyonunun ifadesi ise;

$$\mu_{\tilde{D}}(x) = \mu_{\tilde{G}}(x) \cap \mu_{\tilde{C}}(x) = \min[\mu_{\tilde{G}}(x) \cap \mu_{\tilde{C}}(x)] \quad (3.9)$$

olarak gösterilmektedir.(Seçme 2005)

Şekil 3.8' de \tilde{G} , \tilde{C} , \tilde{D} bulanık kümeleri arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 3.8 Bulanık \tilde{G} , \tilde{C} , \tilde{D} Kümeleri Arasındaki İlişki

Daha genel bir ifade ile, n adet hedef $\tilde{G}_1, \dots, \tilde{G}_n$ ve m adet kısıtlayıcı $\tilde{C}_1, \dots, \tilde{C}_m$ için model aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Zimmermann 1991).

$$\tilde{D} = \tilde{G}_1 \cap \tilde{G}_2 \cap \dots \cap \tilde{G}_n \cap \tilde{C}_1 \cap \tilde{C}_2 \cap \dots \cap \tilde{C}_m \quad (3.10)$$

ve üyelik fonksiyonları ile;

$$\mu_{\tilde{D}}(x) = \min\{\mu_{\tilde{G}_1}, \mu_{\tilde{G}_2}, \dots, \mu_{\tilde{G}_n}, \mu_{\tilde{C}_1}, \mu_{\tilde{C}_2}, \dots, \mu_{\tilde{C}_m}\} \quad (3.11)$$

$$\mu_{\tilde{D}}(x) = \min\{\mu_{\tilde{G}_i}, \mu_{\tilde{C}_j}\} = \min\{\mu_i\} \quad (3.12)$$

Oluşan bulanık karar kümesinin durulaştırılarak optimum karar noktasının

bulunabilmesi için bulanık karar kümesindeki en yüksek üyeliğe sahip eleman matematiksel olarak aşağıdaki ifade edildiği gibi belirlenir (Bellman ve Zadeh 1970)

$$\mu_{\tilde{D}}(x^*) = \max_{x \in U} \mu_{\tilde{D}}(x) \quad (3.13)$$

$$\mu_{\tilde{D}}(x^*) = \max_{x \in U} \left\{ \min \left[\mu_{\tilde{G}}(x), \mu_{\tilde{C}}(x) \right] \right\} \quad (3.14)$$

Burada kullanılan Max (Min) işlemcisi, hedef ve kısıtların eşzamanlı doyurulabilmesi için, her iki bulanık kümeyi sağlayacak alternatif üyelik derecesine sahip elemanlar arasından en yüksek üyeliğe sahip olanın (x^*) seçilmesidir. Bulanık karar kümesindeki maksimum üyelik dereceli elemanın tek olması ise, bulanık kümelerin dış büyüklük özelliğinden kaynaklanmaktadır.

3.2.4. Bulanık doğrusal programlama problemlerine ilişkin çözüm yaklaşımları

3.2.4.1. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi

Bulanık Doğrusal Programlamada üyelik fonksiyonu biçiminin doğru olarak belirlenmesi ve problemin yapısına uygunluğu problemin çözümünde son derece etkilidir. Literatürde doğrusal programlamada bulanıklığı nitelemek için kullanılan birçok üyelik fonksiyonu bulunmaktadır. Bunlar; doğrusal, parçalı doğrusal, konkav biçimli üssel, konkav biçimli parçalı doğrusal, s-biçimli parçalı doğrusal, s-biçimli hiperbolik, s-biçimli ters hiperbolik, s-biçimli lojistik ve s-biçimli kübik fonksiyonlar olarak sıralanabilir. (Rommelfanger 1996)

BDP problemlerinin çözümünde en sık kullanılan üyelik fonksiyonu biçimleri doğrusal olanlardır. Bu şekilde oluşturulan model, diğer üyelik fonksiyonlarına kıyasla daha pratik çözümler sunabilmektedir.

Doğrusal programlama ile kurulacak model, maksimizasyon, minimizasyon şeklinde olabileceği gibi (\leq , \geq , $=$) şeklinde sınırlar da söz konusu olabilmektedir. Genel olarak, minimizasyon problemi için azalan, maksimizasyon problemi için artan üyelik fonksiyonu kullanılmaktadır. (\leq) biçiminde kısıtlar için monoton azalan üyelik fonksiyonu, (\geq) biçimindeki kısıtlar için monoton artan üyelik fonksiyonu, ($=$) eşitlik

için üçgensel ve yamuk tipli üyelik fonksiyonu kullanılmaktadır.

3.2.4.2. Bulanıklık durumuna göre çözüm yaklaşımları

Bir Bulanık Doğrusal Programlama modelinde bulanıklık genel olarak üç farklı şekilde görülebilir (Verdegay 1984);

- Karar vericinin amaç fonksiyonunu tam olarak bildiği fakat sınır setinin bulanık olduğu bir durum,
- Karar vericinin sınır setini tam olarak bildiği fakat buna karşılık amacın bulanık olduğu durum,
- Karar vericinin amacı ve sınırları kesin olarak bilmediği, tüm modelin bulanık olduğu durum

3.2.4.2.1. Sağ taraf sabitleri bulanık olan bulanık doğrusal programlama

Sağ taraf sabitleri bulanık olan doğrusal programlama problemine ilişkin iki tür yaklaşım bulunmaktadır. Birinci yaklaşım, Verdegay (1984) tarafından ortaya atılan sadece sağ taraf sabitlerinin bulanıklığına ilişkin yaklaşımdır. Verdegay'ın yaklaşımından hareket eden Werners (1987) tarafından ortaya atılmış ikinci yaklaşım ise, sağ taraf sabitlerinin bulanık olmasından dolayı amaç fonksiyonunun da bulanık olacağı şeklindedir. Bu açıdan Verdegay modeli asimetrik, Werners'in modeli ise simetriktir.

3.2.4.2.1.1. Verdegay yaklaşımı

Sadece sağ taraf sabiti bulanık olan bir bulanık doğrusal programlamanın matematiksel olarak gösterimi aşağıdaki şekildedir:

$$\begin{aligned} \text{Max } z &= c^T x \\ Ax &\leq \tilde{b} \\ x &\geq 0 \end{aligned} \tag{3.15}$$

Verdegay (1984), $\alpha = 1-\Theta$ olarak belirleyerek parametrik programlama haline dönüştürmüştür. Bu durumda oluşacak olan parametrik programlama modeli aşağıdaki

gibi tanımlanmıştır (Lai ve Hwang 1992)

$$\begin{aligned}
 \text{Max } z &= c^T x \\
 (Ax)_i &\leq b_i + \theta p_i \\
 x &\geq 0 \text{ ve } \alpha \in [0,1]
 \end{aligned} \tag{3.16}$$

3.2.4.2.1.2. Werners yaklaşımı

Werners (1987) sınırların bulanık olduğu bir ortamda amaç fonksiyonunun da bulanık olması gerektiğini, sadece sağ taraf sabitlerinin bulanık olmasının yeterli olmadığını öne sürmüştür. Werners' in yöntemi, simetrik bir model olup hem sınırın hem de amaç fonksiyonunun birlikte doyumunu sağlayan en yüksek üyelik dereceli elemanın bulunmasını sağlayan bir BDP modelidir.

Werners (3.15) eşitliğinde verilen modelde sağ taraf sabitinden amaç fonksiyonunun bulanıklığının bulunabilmesi için z^0 (toleransın 0 olduğu yani kullanılmadığı minimum amaç) ve z^1 (toleransın tam olarak kullanıldığı maximum amaç) değerlerini aşağıdaki gibi tanımlamıştır:

$$\begin{aligned}
 \text{Max } z^0 &= c^T x \\
 Ax &\leq b \\
 x &\geq 0
 \end{aligned} \tag{3.17}$$

ve

$$\begin{aligned}
 \text{Max } z^1 &= c^T x \\
 Ax &\leq b + p \\
 x &\geq 0
 \end{aligned} \tag{3.18}$$

Bulanık sağ taraf sabiti kullanılarak elde edilen optimal çözümler arasından minimum amaç fonksiyon değeri (z^0) ile maksimum amaç fonksiyon değeri (z^1) arasındaki bir değere ulaşılmaya çalışılacaktır. Optimal değer z^0 ve z^1 arasında değer alacağından, z^0 ile z^1 aralığında amaç fonksiyonu için yazılacak üyelik fonksiyonu da sürekli artan doğrusal bir üyelik fonksiyonu şeklinde olup aşağıdaki gibi gösterilir. (Lai ve Hwang 1992)

$$\mu(cx) = \begin{cases} 1, & (cx) > z^1 \\ 1 - \frac{[z^1 - (cx)]}{z^1 - z^0}, & z^0 \leq (cx) \leq z^1 \\ 0, & (cx) < z^0 \end{cases} \quad (3.20)$$

Bulanık karar kümesinin en yüksek üyelik dereceli elemanının belirlenmesi problemi ise aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$\mu_D(x^*) = \max_{x \geq 0} \left(\min \left[\left(1 - \frac{z^1 - (cx)}{z^1 - z^0} \right), \left(1 - \frac{(Ax) - b}{p} \right) \right] \right) \quad (3.21)$$

Doğrusal Programlama modelinde amaç fonksiyonunda maksimize edilmesi istenen α olacak ve model aşağıdaki gibi olacaktır;

$$\begin{aligned} & \text{Max } \alpha \\ & \mu(Ax) \geq \alpha \quad 186371(2.44) \\ & \mu(cx) \geq \alpha \\ & x \geq 0 \end{aligned} \quad (3.22)$$

$$\begin{aligned} & \text{Max } \alpha \\ & cx \geq z^1 - (z^1 - z^0)(1 - \alpha) \\ & Ax \leq b + p(1 - \alpha) \\ & x \geq 0 \end{aligned} \quad (3.23)$$

3.2.4.2.2. Sağ taraf sabiti ve amaç fonksiyonu bulanık olan doğrusal programlama

Sınır ve amaç fonksiyonunun başlangıçta bulanık olduğu bilinmektedir. Karar verici tarafından hem sınır için hem de amaç fonksiyonu için istek seviyesi belirlenir. Simetrik olan iki yaklaşım söz konusudur. Zimmermann (1976) tarafından öne sürülen yaklaşıma göre, karar verici hem amaç hem de sınır için erişim düzeylerini başta tanımlamaktadır. Chanas (1983) yaklaşımında ise karar vericinin bu erişim düzeylerini başta tanımlamasının mümkün olmadığı ve model içinde tanımlaması için gerekli bilgilerin verilmesi gerektiği öne sürülmüştür.

3.2.4.2.2.1. Zimmermann yaklaşımı

Zimmermann (1976) karar vericinin başlangıçta hem amacı hem de sınırı bulanık olarak tanımladığı simetrik bir model geliştirmiştir. Zimmermann tarafından belirlenen modelin gösterimi aşağıdaki gibidir;

$$\begin{aligned} c^T x &\tilde{\geq} b_0 \\ (Ax)_i &\tilde{\leq} b_i \quad \forall i \\ x &\geq 0 \end{aligned} \quad (3.24)$$

Hem bulanık amacın hem de bulanık sınırın ortak doyumunu sağlamak için en yüksek üyelik dereceli elemanın bulunması problemi aşağıdaki gibi gösterilebilir;

$$\begin{aligned} \text{Max } &\alpha \\ cx &\geq b_0 - p_0(1-\alpha) \\ (Ax)_i &\leq b_i + p_i(1-\alpha), \forall i \\ x &\geq 0 \\ \alpha &\in [0,1] \end{aligned} \quad (3.25)$$

3.2.4.2.2.2. Chanas yaklaşımı

Chanas (1983) tarafından geliştirilen modelde, karar vericinin başlangıçta amaç fonksiyonu için bulanık erişim düzeyi (b_0) ve erişim düzeyinin maximum toleransının (p_0) bilinemeyeceğini öne sürmüştü ve simetrik bulanık doğrusal programlama problemlerinin çözümünde parametrik programlamayı temel almıştır. Karar vericiye bunların belirlenmesinde yardımcı olan bu yaklaşıma göre aşağıdaki modelin çözülmesi gerekmektedir. (Lai ve Hwang 1992)

$$\begin{aligned} \text{Max } z &= c^T x \\ Ax &\tilde{\leq} b \\ x &\geq 0 \end{aligned} \quad (3.26)$$

Burada bulanık sınır için yazılacak üyelik fonksiyonu azalan doğrusal bir üyelik fonksiyonu şeklinde olup, bulanık sınıra ilişkin üyelik fonksiyonun en az α kadar

doyurulması gerektiği için modelin son hali aşağıda belirtildiği gibi olacaktır;

$$\begin{aligned}
 &Max \ z=c^T x \\
 &(Ax)_i \leq b_i + \theta p_i \\
 &x \geq 0 \text{ ve } \alpha \in [0,1]
 \end{aligned} \tag{3.27}$$

3.2.4.2.3. Amaç fonksiyonu parametreleri bulanık olan doğrusal programlama

Karar değişkenlerine ait belirsizliklerin olması durumunda bir doğrusal programlama probleminde bulanık olan kısımları amaç fonksiyonu parametreleri (katsayıları) oluşturur. Sadece amaç fonksiyonu parametreleri bulanık olan bir BDP modeli Verdegay (1984) tarafından ortaya atılmıştır. Bu modelin bulanık olarak gösterimi aşağıdaki gibi olacaktır;

$$\begin{aligned}
 &Max \ z = \tilde{c}^T x \\
 &(Ax)_i \leq b_i \\
 &x \geq 0
 \end{aligned} \tag{3.28}$$

Modelde doğrusal üyelik fonksiyonun sınıra konulması ile oluşacak parametrik programlama problemi aşağıdaki gibi olacaktır;

$$\begin{aligned}
 &Max \ z=c^T x \\
 &(Ax) \leq b + (1-\alpha)p \\
 &x \geq 0 \\
 &\alpha \in [0,1]
 \end{aligned} \tag{3.29}$$

3.2.4.2.4. Sağ taraf sabitleri ve teknolojik katsayıları bulanık olan doğrusal programlama

Sağ taraf sabiti ve teknolojik katsayıları bulanık olan bir doğrusal programlama modelinin gösterimi aşağıdaki gibidir;

$$\begin{aligned}
Max z &= c^T x \\
\tilde{A}x &\leq \tilde{b} \\
x &\geq 0
\end{aligned} \tag{3.30}$$

Problemde yer alan tüm bulanık sayıların üçgensel olduğu varsayılmaktadır. Herhangi bir üçgensel bulanık sayı $\tilde{A}, \langle s, l, r \rangle$ ve $\tilde{b}, \langle t, u, v \rangle$ olmak üzere üç gerçel sayı ile ifade edilir.

Buna göre $\tilde{A}, \langle s_{ij}, l_{ij}, r_{ij} \rangle$ ve $\tilde{b}, \langle t_{ij}, u_{ij}, v_{ij} \rangle$ bulanık sayıları üzerinde toplama ve çarpma işlemleri kullanılarak problem aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$\begin{aligned}
Max z &= c^T x \\
\sum_{j=1}^n s_{ij} &\leq t_i \\
\sum_{j=1}^n (s_{ij} - l_{ij})x_j &\leq t_i - u_i \quad i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n \\
\sum_{j=1}^n (s_{ij} + r_{ij})x_j &\leq t_i + v_i \\
x &\geq 0 \quad (i,j \in N)
\end{aligned} \tag{3.31}$$

3.2.4.2.5. Tüm katsayıları bulanık olan doğrusal programlama

Bir doğrusal programlama probleminde tüm katsayıların bulanık olması durumunda, BDP modelinin gösterimi aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned}
Max z &= \tilde{c}^T x \\
\tilde{A}x &\leq \tilde{b} \\
x &\geq 0
\end{aligned} \tag{3.32}$$

4. DOĞRUSAL HEDEF PROGRAMLAMA

4.1. Çok Amaçlı Karar Verme

Çevremizde dünyayı tek boyutlu görerek, her şeyi tek kritere göre değerlendirmek giderek zorlaşmaktadır. Değerlendirme süreci, seçim kriterlerine göre amaçların karşılaştırılarak sıralanmasını içermektedir. Yalnızca basit, açık ve alışılmış durumlarda tek bir seçim kriteri tamamıyla geçerli olabilir (Zeleny 1982). Tek amaçlı karar verme metodu, tek bir amaç fonksiyonunun optimizasyonu ile karakterize edilebilir. Doğrusal programlama ve doğrusal olmayan programlama teknikleri, kısıtlayıcı kümesine bağlı olarak yalnızca bir tek amaç fonksiyonunun maksimizasyonu veya minimizasyonuna yöneliktir.

Ancak, gerçek hayatta karar vericiler, birden fazla olan amaçlarını bir anda gerçekleştirmek istemektedirler bu nedenle gerçek hayat problemleri, optimize edilmek istenilen amaç fonksiyonu sayısının genellikle 1'den fazla olduğu çok amaçlı karar verme metodları ile çözülebilmektedir. Amaç fonksiyonu sayısının artırılması, dolayısıyla pratikteki problemlerin daha gerçekçi şekilde ele alınması ve bu problemleri çözümlene çabaları “çok amaçlı karar verme” yönteminin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Çok Amaçlı Karar Verme yöntemi, matematiksel kısıtlar yardımı ile tanımlanan sınırsız sayıdaki alternatifleri içeren amaç problemleri için kullanılır. Bu amaçlar bazen birbiri ile paralel olurken bazen de birbirleriyle çatışma içinde olabilir (Sarımışeli 2004).

Bu yöntem, karar vericilerin, belirli kısıtlar altında ve birbirleriyle çelişen birden fazla amacı tatminkar düzeyde gerçekleştirmek istemeleri halinde çözümler üretmeye çalışan bir karar modelleri kümesi olma niteliğindedir (Sarıkaya 2009). Hedef programlama, amaçların hepsini birer kısıt haline dönüştürür ve önem sırasına göre amaçlardan sapmayı minimize etmeye çalışır.

4.2. Çok Amaçlı Karar Vermenin Tarihsel Gelişimi

Konu ile ilgili bilimsel yayınlara 1950’li yıllardan itibaren rastlanmaktadır. Kaspman’s ilk kez “etkin vektör” kavramını kullanan bilim adamıdır ki bu modern çok amaçlı karar vermede “baskın (etkin) çözüm” kavramıyla eşdeğer anlamda kullanılmaktadır (Evren ve Ülengin 1992). Aynı yıllarda Kuhn-Tucker ikilisi “vektör maksimizasyonu” problemini formüle ederek etkin çözümlerin ortaya konması için gerekli optimallik koşullarını çıkarmışlardır. 1955’li yıllarda Charnes, Cooper ve Ferguson hedef programlama konusunda çalışmalar yapmışlardır. 1960’lı yıllarda, özellikle “çok amaçlı simpleks metot” ile “fayda fonksiyonu” konularında çalışmalar yoğunlaşmıştır. 1970’ li yıllarda ise, çok amaçlı karar verme ile ilgili binlerce makale ve kitap yayınlanmıştır. Zeleny, Charnes, Cooper, Ignazio, Stuer ve Zionts gibi yazarların teorik ve uygulama alanlarındaki katkıları gelişen bilgisayar teknolojisiyle birlikte söz konusu gelişime büyük ölçüde neden olmuşlardır (Zeleny 1982).

4.3. Çok Amaçlı Doğrusal Programlamanın Çözüm Yöntemleri

Çok amaçlı doğrusal programlama modellerinin çözümü için geliştirilmiş birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerin en önemlileri; ardışık optimizasyon yöntemi, çok amaçlı simpleks yöntemi ve hedef programlama olarak sayılabilir. Burada, çalışmanın uygulama bölümünde kullanılan Hedef Programlama yöntemi anlatılacaktır.

4.3.1. Hedef programlama

Günümüzde çok amaçlı karar verme için kullanılan en yaygın yöntemlerden biri olan hedef programlama (HP), doğrusal programlamanın daha fonksiyonel bir şeklidir. Doğrusal programlama ile tek hedef ve tek ölçekle ifade edilen problemlerin çözümü yapılabilmektedir. Hedef programlama ile aynı anda birden fazla ve farklı ölçekli hedefler saptanabilir ve belirlenen kısıtlar altında bu hedeflere ulaşılmasına çalışılır (Levin vd. 1989). Bir anlamda doğrusal programlamanın amaç fonksiyonu tek boyutlu iken Hedef Programlama çok boyut içinde çoklu hedeflere erişmede kullanılabilen bir tekniktir; Hedef Programlamada amaç fonksiyonunun boyutsal bir kısıtlaması yoktur (Öztürk 2007).

Hedef programlama, çok amaçlı karar verme problemlerini çözmek için karar vericilere doyurucu bir çözüm kümesini bulmayı sağlayan önemli bir tekniktir. HP'nin sağladığı en önemli avantajlardan biri, birden çok hedef sisteminin çözümünün aynı anda gerçekleştirilebilmesidir. Hedef Programlama, verilen kısıtlayıcılar altında amaç kriterini doğrudan maksimum veya minimum kılmaktan ziyade hedeflerin kendi içindeki sapmalarını minimum kılmaya odaklanmaktadır (Jones ve Tamiz 1997). Hedeflerden sapmalar, yani bir hedefin aşılması (pozitif sapma), bir hedefin altında kalınması (negatif sapma) değerleri toplamını minimize edilmesi bir tek amaç olarak ortaya konulabilir. HP bu sapmaları en az yaparak çözüm arar (Bal 1995).

4.3.1.1. Hedef programlamanın gelişimi

1952 yılında Charnes ve Cooper görünürde doğrusal programlamayla ilgisi olmayan, yönetimin amaçları ile çatışan bir problemle karşılaşmışlardır.(Ignazio J.P., 1978) Bu problemi çözmek için Charnes ve Cooper doğrusal programlamanın bir değişik versiyonu olan ve "sınırlandırılmış regresyon" olarak adlandırdıkları bir yaklaşım ortaya koymuşlardır. Daha sonra Charnes ve Cooper 1961'de yazdıkları yayında çok amaçlı doğrusal modelleri de içeren "sınırlandırılmış regresyon"un daha geniş bir versiyonunu tanıtmışlardır. Bu yaklaşım Hedef Programlama olarak adlandırılmış ve günümüz çalışmalarında da çok sık kullanılan bir teknik haline gelmiştir (Ignazio 1985) .

1960'ların sonunda, Ignazio tamsayı ve doğrusal olmayan hedef programlama modellerini de içeren algoritmalar ve yazılımlar geliştirmiş olup, Ignazio'nun bu konuda en büyük katkısı doğrusal hedef programlamada dualite kavramıdır. Bu katkı, 1970'lerin başında doğrusal hedef programlama modellerinde duyarlılık analizi ve bununla ilgili algoritmaların yazılımlarının geliştirilmesine yol açmıştır. (Schniederians 1984)

1970'lerden sonra literatürde Hedef Programlama uygulamalarına daha sık rastlanmaktadır. Romeo, Schniederjans ve Tamiz'in yaptığı çalışmalarla HP'nin birçok etkili uygulama alanının olduğu ortaya konulmuştur (Steuer 1986).

4.3.1.2. Hedef programlamanın uygulama alanları

Çok amaçlı karar verme yöntemleri içinde en çok uygulama alanı olan yöntem olan Hedef Programlama yöntemi, gerçek hayata uyarlanabilirliği bakımından çok etkin olup birçok problemin çözümünde kullanılmaktadır. Bu teknikten yararlanılan çeşitli alanları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür; Ulaştırma Problemleri, Üretim Planlaması, Montaj hattı dengeleme, Enerji Planlaması, İşgücü Planlaması, Kaynak Planlaması, Proje Seçimi ve Yönetimi, Toplam Kalite Yönetimi, Portföy Seçimi, Finansal Planlama, Pazarlama, Beslenme Problemleri, Yatırım Planlaması, Performans Değerlendirme, İş Değerlendirme, Tarımsal Üretim ve Yönetim.

4.3.1.3. Hedef programlamanın kavramları

Hedef programlamada kullanılan özel terimler ve kavramlar aşağıda açıklanmıştır.

Amaç: Karar vericinin kontrolünde, kullanıcı tarafından belirlenen niteliği temsil eder. Amaç, karar vericinin arzu ettiği genel ifadenin yansımasıdır (Ignazio 1976). Dervitsiotis (1981) amaç kavramını, “hareket etmek istenilen yön” olarak ifade etmiştir. Amaç fonksiyonu ise herhangi bir amaç için belirlenen hedeflerden olabilecek sapmaları en küçükleyen fonksiyona denir (Kocadağlı 2005).

Hedef: Amaca ulaşmada belirtilen kesin ifadeler olup, istenen bir seviye ile belirlenmiş amaç olarak tanımlanmaktadır.

Karar değişkenleri: Modelde karar verici tarafından değerleri aranan bilinmeyenlere karar değişkenleri adı verilir (Kocadağlı 2005). Kontrol değişkeni olarak da adlandırılan karar değişkenleri, karar vericinin kontrolünde olan ve problemin matematiksel olarak ifade edilmesi için tanımlanan değişkenlerdir.

Sapma Değişkenleri: Hedeflenen başarı ile gerçekleşen başarı arasındaki fark sapma değişkeni olarak tanımlanmaktadır. Sapma değişkeni, hedef kısıtındaki sağ taraf sabitinden değişen miktarı göstermekte olup sapmanın sıfır olması hedefin tam anlamıyla sağlandığını göstermektedir.

Sistem kısıtları: Tam olarak sağlanması gereken ve hiçbir sapmaya izin verilmeyen kısıtlayıcılarıdır (Öztürk 2007). Söz konusu bu kısıtlar, eldeki kıt kaynakları ifade ederler (Ignazio 1985).

Hedef Kısıtları: Karar vericinin ulaşmayı istediği veya gerekli gördüğü hedefler olup, sistem kısıtlayıcılarına göre daha esnek bir yapıya sahiptirler. Hedef kısıtları, karar vericinin istekleri, eldeki kaynaklar ve karar değişkenleri üzerine konulan kısıtlamalar dikkate alınarak belirlenmektedir.

Başarı Fonksiyonları: HP modelinde her bir amaç için belirlenen hedeften olabilecek sapsmaları en küçükleyen fonksiyonlara başarı fonksiyonları adı verilir

4.3.1.4. Hedef programlama modelinin formülasyonu

Hedef programlamada hedef değerlerinin belirlenebilmesi için problem ilk olarak doğrusal programlama modeli şeklinde ifade edilir. Hedef programlamanın matematiksel ifadesi, amaç fonksiyonu, hedef kısıtları ve pozitif kısıtlama olarak üç faktör içermektedir. Çalışma kapsamında, amaç fonksiyonu ve kısıtların tamamının doğrusal olduğu durumlar için kullanılan Doğrusal Hedef Programlama modeli kullanılacaktır. Doğrusal Hedef programlama modelinin doğru olarak kurulması, açık ve net bir ifadeye sahip olması, problemin çözümünü kolaylaştıran önemli bir etmendir. Genel bir doğrusal hedef programlama modeli kurulurken yapılması gereken işlemler aşağıda belirtilmiştir;

- **Karar değişkenlerinin belirlenmesi:** Hedef programlama yöntemine ve uygulama alanına uygun olarak karar değişkenleri belirlenir. Karar değişkenlerinin açık ve doğru şekilde ifade edilmesi, modelin oluşturulmasını kolaylaştırır.
- **Hedef kısıtlarının belirlenmesi:** Karar vericiyi tatmin edecek hedef kısıtlarının belirlenmesi önemlidir. Hedef kısıtları için öncelikle sağ taraf sabitleri tanımlanır. Daha sonra kısıtlardaki uygun teknolojik katsayılar ve karar değişkenleri ve sapma değişkenleri kısıtlara ilave edilir. Hedef kısıtları için üç durum söz konusudur.

$$f_i(x) \geq b_i \quad (4.1)$$

$$f_i(x) \leq b_i \quad (4.2)$$

$$f_i(x) = b_i \quad (4.3)$$

b_i değerini aşma miktarını gösteren d_i^+ ve b_i değerinin altında olma durumunu gösteren d_i^- sapma değişkenlerini ifade eder.

Burada, (4.1) bağıntısı için $f_i(x) \geq b_i$ olduğunda istenen durum $d_i^+ \geq 0$ olmasıdır. d_i^- değişkeninin olabildiğince sifıra yakın olması gerekir; d_i^+ kısıtlanmayan sapmadır. Mümkün sapma d_i^+ ve d_i^- 'dir. Sağ taraf için istenen durum b_i ve daha büyük iken istenmeyen sapma değişkeni d_i^- 'dir. Amaç fonksiyonunda yer alması ve minimize edilmesi gereken sapma değişkeni de d_i^- 'dir.

(4.2) için $f_i(x) \leq b_i$ olduğunda istenen durum $d_i^- \geq 0$ olmasıdır. kısıtlanmayan sapma d_i^- değişkeninin mümkün olduğunca sifıra yakın olması arzulanır. Mümkün sapma d_i^- ve d_i^+ iken sağ taraf sabitinin istenen durumu b_i ve daha azdır. Amaç fonksiyonunda yer alması gereken ve minimize edilmesi gereken sapma değişkeni d_i^+ 'dir.

(4.3) için $f_i(x) = b_i$ olduğunda ise istenen durum d_i^+ ve d_i^- 'nin sifıra eşit olması olup kaynakların tamamının kullanıldığı durumda söz konusudur. Hiçbir sapma değişkeni kısıtlanmamış olup sağ taraf sabitinin b_i 'ye eşit olması istenen durumdur. Amaç fonksiyonunda yer alması gereken ve minimize edilmesi gereken değişkenler d_i^- ve d_i^+ 'dir.

- **Hedeflerin önem derecesine göre sıralanması (öncelikli tanımlama):** Hedefler arasında bir öncelik veya önem sırasının olup olmama durumuna göre kullanılıp kullanılmayacağı kararı karar vericiye aittir.

- **Ağırlıkların tanımlanması:** Modelde hedeflerin önceliklerin belirlenmesine bağlı olarak ağırlıklar tanımlanır. Tamamen subjektif özelliğe sahip olup karar vericinin isteğine göre tanımlanır.
- **Amaç fonksiyonunun belirlenmesi:** Karar vericinin istekleri, kaynakları ve kontrol değişkenleri için oluşturulan kısıtlama koşulları göz önüne alınarak oluşturulur. Modelde hedef kısıtları dikkate alınarak amaç fonksiyonunda gerekli sapma değişkenleri belirlenir ve hedef kısıtlarının öncelik sıralamasına bağlı olarak sapma değişkenleri minimize edilmeye çalışılır. Amaç fonksiyonları karar vericiye göre beş farklı şekilde ifade edilir (Öztürk 2007). Bu durumlar aşağıda belirtilmiştir;

Amaç fonksiyonu,

Tek hedefli bir doğrusal hedef programlama modelinde;

$$\text{Min}Z = d_i^+(p_i) \text{ ya da } \text{Min}Z = d_i^-(n_i) \quad (4.4)$$

Eşit Ağırlıklı (Öncelikli) Ya da Öncelikli Olmayan Çok Hedefli Programlama modelinde;

$$\text{Min}Z = \sum_{i=1}^m (d_i^+ + d_i^-) \quad (4.5)$$

Öncelikli Çok Hedefli Programlama modelinde;

$$\text{Min}Z = \sum_{i=1}^m p_k (d_i^+ + d_i^-), \quad p_1 \gg p_2 \gg p_3 \gg \dots \gg p_k \quad (4.6)$$

şeklinde olup, karar vericinin kendi tercihinine göre m adet hedef, p_k öncelik sırasına göre işleme girer. p_1 hedefi gerçekleştirilmeden p_2 hedefinin gerçekleştirilmesi mümkün değildir.

Ağırlıklı çok hedefli programlama modelinde;

$$MinZ = \sum_{i=1}^m w_{ik} (d_i^+ + d_i^-) \quad (4.7)$$

şeklinde olup, amaç fonksiyonundaki sapma değişkenlerine ağırlık verilen bu yaklaşım, eşit öncelikli çok hedefli problemlerin sapma değişkenlerinin ölçü birimleri farklı olduğunda kullanılır. Burada w_k , i . hedeften oluşan sapmaya ilişkin ağırlığı göstermektedir.

Ağırlıklı – öncelikli çok hedefli programlama modelinde;

$$MinZ = \sum_{i=1}^m w_k p_k (d_i^+ + d_i^-) \quad (4.8)$$

şeklindedir. Birden fazla hedefin aynı öncelik düzeyine sahip olduğu durumlarda sapma değişkenlerini ağırlıklandırma ile farklılaştırarak bir amaç fonksiyonu oluşturulmaya çalışılmaktadır (Öztürk 2004).

- **Pozitif kısıtlama:** Modelde kesin olarak yer alması gereken bu kısıtlama, modeldeki tüm karar ve sapma değişkenlerinin pozitif değer almasını ifade eder.

Bu kavramlar doğrultusunda doğrusal bir hedef programlama modelinin matematiksel olarak gösterimi aşağıdaki gibidir;

$$\text{Birleşik amaç fonksiyonu: } MinS = \{G_1(d_i^-, d_i^+), G_2(d_i^-, d_i^+), \dots, G_n(d_i^-, d_i^+)\}$$

$$\text{Amaç Fonksiyonu: } MinZ = \sum_k \sum_i p_k (w_{ik}^+ d_i^+ + w_{ik}^- d_i^-)$$

$$\text{Hedef Kısıtları: } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + d_i^- - d_i^+ = b_i$$

$$\text{Yapısal Kısıt: } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j (\leq, =, \geq) = b_i$$

$$\text{Negatif Olmama: } x_j, d_i^-, d_i^+ \geq 0 \quad (d_i^-).(d_i^+) = 0$$

p_k : k'ninci hedefin önceliği

w_{ik}^+, w_{ik}^- : p_k önceliğe sahip i'ninci hedef ait sapma değişkenlerinin ağırlığı

d_i^-, d_i^+ : i'ninci hedefe ait negatif ve pozitif sapma değişkenleri

a_{ij} : i'ninci kısıtta x_j değişkeni ile ilgili teknoloji katsayısını

b_i : i'ninci kısıtın sağ taraf sabitini gösterir

4.3.1.5. Doğrusal hedef programlamanın çözüm yöntemleri

Doğrusal Hedef Programlama modelinin çözümünde, grafik yöntem, ardışık doğrusal hedef programlama yöntemi ve değiştirilmiş simpleks yöntemi kullanılmaktadır.

1.Grafik Yöntem:

Grafik yöntem, değişken sayısının 3' den az olduğu durumlar için kullanılmaktadır. Grafik yöntem ile çözümde, öncelikle tüm denklemler grafik üzerinde gösterilir. Birinci önceliğe sahip olan hedeflerden başlanarak çözüm alanları belirlenir; ancak her çözüm alanı kendinden öncelikli çözüme alanına uygun olmalıdır. Çözüm bölgesi tek bir noktaya indirgenince en uygun çözüm bulunmuş olur (Forgianne 1990). Karar verici için tüm hedefler aynı önceliğe sahip ise bu durumda hedeflerle ulaşılmak istenen sonuçlar arasındaki en yakın uzaklığı veren çözüm araştırılır (Lee ve Moore 1975).

2.Ardışık-İteratif Çözüm:

Bu yaklaşım hedef programlamanın önceliklerinin belirli bir sırayla izlenme özelliğine dayanır. Doğrusal Hedef Programlama Probleminin öncelik sıralamasına göre çözüm yapılır. 1.aşamada, sadece en yüksek öncelikli sapma değişkenlerinin minimizasyonunu sağlayacak çözüm yapılır. Çözümde elde edilen minimum sapma değeri ve değişkenleri yeni kısıt olarak probleme ilave edilerek mutlak bir amaç fonksiyonu özelliğini kazanır. Çözüm sırasında, bir sonraki önceliğe sahip sapma değişkenlerinin minimizasyonu sağlamaya çalışılırken, bir önceki aşamada minimize edilmiş sapma değişkenlerinin değerlerinden fedakarlık edilmemiş olunur. (Kuruüzüm 1988). Matematiksel olarak bu çözüm aşamaları aşağıdaki gibi ifade edilir;

1. Aşama;

$$G_{\min}^1 = \{(-d^-, -d^+)\} \quad (4.9)$$

$$g_i(\bar{x}) + d_i^- - d_i^+ = b_i \quad i = 1, 2, \dots, m$$

2. Aşama;

$$G_{\min}^i = \{(-d^-, -d^+)\}$$

$$g_i(\bar{x}) + d_i^- - d_i^+ = b_i \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$G^1(-d^-, -d^+) \leq G^{1,0}$$

$$\vdots$$

$$G^{j-1}(-d^-, -d^+) \leq G^{1,0} \quad (4.10)$$

$$f_i^2(\bar{x}) + d_i^- - d_i^+ = c_i^2 \quad i = 1, 2, \dots, k$$

$$\vdots$$

$$f_i^j(\bar{x}) + d_i^- - d_i^+ = c_i^j \quad i = 1, 2, \dots, l$$

$$\bar{x}, -d^-, -d^+ \geq 0$$

3. Değiştirilmiş Simpleks Yöntemi

Doğrusal hedef programlama problemlerinin çözümünde kullanılan simpleks yöntemi, klasik doğrusal programlama modelinde kullanılan simpleks yönteminde bazı değişiklikler yapılarak elde edilmiş olup değiştirilmiş simpleks yöntemi adıyla bilinir (Schmidt 1993). Değiştirilmiş simpleks yöntemin çözümüne Çizelge 4.1 ile başlanır.

	P_K	$W_{K,1} \cdots W_{K,J}$	$W_{K,J+1} \cdots W_{K,J+m}$	
	\vdots	\vdots	\vdots	
	P_1	$W_{1,1} \cdots W_{1,J}$	$W_{1,J+1} \cdots W_{1,J+m}$	
$P_K \cdots P_1$	V	$x_1 \cdots x_J$	$p_1 \cdots p_m$	\bar{b}
$u_{1,K} \cdots u_{1,1}$	n_1	$e_{1,1} \cdots e_{1,J}$	$e_{1,J+1} \cdots e_{1,J+m}$	b_1
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
$u_{m,K} \cdots u_{m,1}$	n_m	$e_{m,1} \cdots e_{m,J}$	$e_{m,J+1} \cdots e_{m,J+m}$	b_m
	p_1	$I_{1,1} \cdots I_{1,J}$	$I_{1,J+1} \cdots I_{1,J+m}$	a_1
	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
	P_K	$I_{K,1} \cdots I_{K,J}$	$I_{K,J+1} \cdots I_{K,J+m}$	a_K

Şekil 4.1 Değiştirilmiş başlangıç simpleks çizelgesi

Çizelgede yer alan;

V : Temeldeki değişkenlerin bulunduğu sütun

\bar{b} : Sağ taraf değişkenlerinin bulunduğu sütun

$e_{i,s}$: s . temel dışı değişken altındaki, i . satır elemanı

$W_{k,s}$: s . temel dışı değişken ile ilgili, k . öncelik düzeyinin ağırlığı

$U_{i,k}$: i . temel değişken ile ilgili, k . öncelik düzeyinin ağırlığı

$I_{k,s}$: s . temel dışı değişken altındaki, k . öncelik düzeyinin indeks satır değeri

a_k : k . önceliğin başarı düzeyi

şeklinde tanımlanmıştır.

Burada $I_{k,s}$ ve a_k değerleri;

$$I_{ks} = \sum_{i=1}^m (e_{is} u_{ik}) - w_{ks}$$

$$a_k = \sum_{i=1}^m (b_i u_{ik})$$

Değiştirilmiş simpleks yöntemin adımları aşağıda verilmiştir. (Öztürk A., 2004)

Adım1: Başlangıç simpleks çizelgesi oluşturulur. Her bir amaç için ayrı bir ölçüt satırı açılır. Önceliklerin her birinin tam olarak hesaplanabilmesi için ayrı satırlara gerek vardır. simpleks çizelgesinde öncelik satırları, P_1 önceliğine sahip amaç fonksiyonundan başlanarak aşağıdan yukarıya doğru yerleştirilir

Adım2: P_k öncelikli ölçüt satırındaki $I_{k,s}$ değerleri denetlenir. P_k öncelik satırındaki tüm $I_{k,s}$ değerleri sıfırdan küçük veya sıfıra eşit ise $k = k + 1$ önceliğinin çözümü için birinci adıma geçilir. Eğer satırda 0'dan büyük $I_{k,s}$ değerleri varsa üçüncü adıma geçilir.

Adım 3: En yüksek öncelikli amaç olan P_1 'in $I_{k,s}$ değerleri denetlendiğinde pozitif

en büyük değere sahip olan sütuna ait değişken, temele girecek değişken olarak seçilir. Bu değer bulunduğu sütuna pivot sütun denir. Eğer P_1 satırındaki $I_{k,s}$ değerlerinde hiç pozitif sayı yoksa ikinci öncelikli amaç olan P_2 hedefine geçilir.

Adım 4: Temelden ayrılan değişkenin belirlendiği adımdır. Pivot sütunundaki katsayılar aynı satırın sağ taraf sabitlerine bölünür. Elde edilen en küçük değeri veren satır değişkeni, temelden çıkacak değişkendir.

Adım 5: Bilinen pivot işlemleri kullanılarak yeni simpleks çizelgesi oluşturulur. Bundan sonra daha az öncelikli hedefler için ikinci adıma tekrar dönülür ve aynı işlemlere satırda pozitif $I_{k,s}$ değerleri kalmayıncaya kadar devam edilir. Tüm hedefler için $I_{k,s} \leq 0$ sağlandığında altıncı adıma geçilir. $a_1 = a_2 = \dots = a_k = 0$ değerlerine ulaşıldığında tüm hedeflerin sağlandığı söylenebilir. Tüm hedefler sağlandığında ya da temele girecek değişken kendisinden önceki hedefte sapmaya neden oluyorsa ve başka ulaşılmak istenen hedef kalmamış ise bulunan son değerlerin optimal sonucu verdiği kabul edilir.

Adım 6: Tablodan temelde bulunan değişken değerleri, amaç fonksiyonunda yerlerine konularak problemin amaç değeri hesaplanır. Temelde yer almayan tüm değişkenlerin sayısal değeri sıfıra eşittir (Markland ve Sweigart 1987).

5. OTOBÜS HAT ANALİZİ MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

5.1. Giriş

Bu çalışma kapsamında, İzmir ili için seçilen otobüs taşıma ağı iki başlık altında modellenmiştir. Öncelikle İzmir ili otobüs hatları incelenmiş ve özellikle sabah zirve saatlerde Lozan ve Montrö duraklarından geçen otobüs sayısının fazla olması ve bu fazlalığın mevcut trafik üzerindeki olumsuz etkilerinden yola çıkılmış; bu duraklardan geçen 26 hat incelenmiştir. Bu 26 hattın global olarak ele alındığı bir sefer sıklık modeli doğrusal hedef programlama ile oluşturulduktan sonra, bu hatlar için bulanık doğrusal programlama metodu ile durak aralık modeli oluşturulmuştur. Böylece hatların sefer sıklıkları global olarak değerlendirilirken, ağı oluşturan tüm hatların durak yerleri ve aralıkları incelenmiş ve en uygun durak aralıkları belirlenmiştir.

İzmir ili otobüs hatları içerisinde 26 adet hattın geçmekte olduğu Lozan ve Montrö durakları, çekim bölgesinde yer alması nedeniyle gerek toplu taşıma araçları gerekse özel araçların yoğun olarak kullandığı güzergahlar üzerinde yer almaktadır. Bu duraklara gelen yolcu talebinin oldukça yüksek olduğu görülmüş, ancak sefer sıklıklarının yolcu talep değerlerinin gerektirdiğinden de sık olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle sabah zirve saatlerindeki otobüs yoğunluğu ile bu yoğunluğun sebep olduğu karmaşanın çözülebilmesi adına, bu duraklardan geçen otobüs seferleri ile duraklardaki yolcu taleplerinin birlikte değerlendirildiği bir sefer sıklık modeli geliştirilmiştir. Sefer sıklık modelinde Hedef Programlama tekniği kullanılarak, bu duraklardan geçen 26 adet hattın modellenmesi yapılmış, böylece ilgili duraklardan geçen tüm hatlar global olarak değerlendirilmiştir.

Bu modelleme neticesinde, ilgili sefer sıklıklarında bir düzenleme yapılması gerektiği sonucu elde edilmesi ile birlikte, bu hatların ayrı ayrı ele alınarak, durak yerlerinin ve aralıklarının uygunluğu ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bunun için de en önemli yolcu talep kriterleri olan duraklara erişim süresi ve araç içi seyahat süresinin temel parametreler olarak alındığı durak aralık modeli, Bulanık doğrusal programlama tekniği kullanılarak geliştirilmiştir.

Çalışma kapsamında geliştirilen bu iki model ile, bir ulaşım ağının global olarak sefer sıklıkları ile bu ağı oluşturan hatlar üzerindeki durakların konumları ve aralıklarının, yolcu ve işletmeler açısından daha uygun bir noktaya getirilmesi amaçlanmaktadır.

5.2. Otobüs Sefer Sıklıklarının Doğrusal Hedef Programlama ile Modellenmesi

5.2.1. Problemin tanımı

Tezin bu aşamasında, İzmir ili otobüs ağını oluşturan otobüslerin sefer sıklıkları, sefer süreleri ve duraklardaki yolcu talepleri incelenmiş, Lozan ve Montrö duraklarında, özellikle sabah zirve saatlerde, farklı rotalardan eş zamanlı olarak gelen otobüslerin oluşturduğu yoğunluğun trafik üzerinde olumsuz etkiler yaptığı gözlemlenmiştir. Bu olumsuz etkiyi ortadan kaldırmak veya zayıflatmak adına, bu duraklardan geçen toplam 26 adet hattın sefer sıklıkları, otobüs filo büyüklüğü, otobüs kapasiteleri, hat sefer süreleri ve yolcu talepleri doğrultusunda incelenmiş ve doğrusal hedef programlama ile optimal sefer sıklık değerlerinin elde edilmesine yönelik bir uygulama çalışması yapılmıştır.

Otobüs sefer sıklığı modelinde, sabah zirve saati olan 08:00-11:00 arası için, Lozan ve Montrö duraklarından geçen 26 hattın verileri kullanılmıştır.

5.2.2. Veri derlenmesi ve analizleri

İzmir Belediyesi Elektrik, Su, Hava Gazı, Otobüs, Tramvay İşletmeleri (ESHOT)' un toplu taşımacılık ve otobüs taşımacılığı çalışmaları kapsamında topladığı yolcu talep değerleri ve otobüs sefer sürelerine ait veriler ile yine bu kurumdan alınan otobüs filoları ile ilgili bilgiler modellemede kullanılmıştır. Otobüs sefer sıklığı modelinde, Lozan ve Montrö duraklarından geçen 26 hattın verileri derlenmiş, sabah 08:00-11:00 saatleri arasındaki veriler kullanılmıştır. İncelenen 26 hattın listesi Tablo 5.1' de verilmiştir. Söz konusu hatlarda, sabah 08:00-11:00 saatleri arasında kullanılan otobüs tip, kapasite ve sayıları Tablo 5.2' de gösterilmiştir. Şekil 5.1' de hatlara ait güzergah ve durak yerlerini gösteren harita görüntüleri için bir örnek verilmiştir. Çalışmanın ekler bölümünde, tüm hatlara ait haritalar yer almaktadır.



Şekil 5.1 70 Numaralı Hat Güzergah ve Durak Haritası

Tablo 5.1 Modellenen Otobüs Ağı Hatları

NO	HAT NO	İLK DURAK	SON DURAK
1	8	Halkapınar Metro Durağı	Güzelbahçe Son Durak
2	48	5.Sanayi Sitesi Son Durak	Şehit Fethi Bey Durağı
3	50	Otogar Son Durak 2	Şehit Fethi Bey Durağı
4	63	Bornova Metro Durağı	Şehit Fethi Bey Durağı
5	70	Halkapınar Metro	Adatepe Durağı
6	79	Halkapınar Metro Durağı	Yeşilyurt Son Durak
7	85	Halkapınar Metro Durağı	Fahrettin Altay Son Durak
8	86	Halkapınar Metro Durağı	Balçova Son Durak
9	90	Halkapınar Metro Durağı	Sosyal Konutlar Son Durak
10	123	Egekent Son Durak	Halit Ziya Durağı
11	128	Egekent 2 Yeni Son Durak	Halit Ziya Durağı
12	140	Örnekköy Son Durak	Halit Ziya Durağı
13	144	Evka 2 Son Durak	Halit Ziya Durağı
14	148	Onur Mh Son Durak	Halit Ziya Durağı
15	163	Otogar Son Durak	Beyazevler Son Durak
16	198	Doğançay Son Durak	Halit Ziya Durağı
17	246	Evka 5 Durağı	Halit Ziya Durağı

18	247	Evka 6 Durağı	Halit Ziya Durağı
19	250	Otogar Son Durak	Uzundere Son Durak
20	295	Harmandalı Son Durak	Halit Ziya Durağı
21	342	Egekent Son Durak	Halit Ziya Durağı
22	344	Evka 2 Son Durak	Halit Ziya Durağı
23	346	Evka 5 Son Durak	Halit Ziya Durağı
24	361	Bahriye Üçok Durağı	Konak Durağı
25	498	BMC Blokları Durağı	Şehit Fethi Bey Durağı
26	576	Halkapınar Metro Durağı	Tınaztepe Durağı

Tablo 5.2 Otobüs Ağı Hatları Otobüs Tipleri-Sefer Sıklığı-Araç Sayısı

NO	HAT NO	OTOBÜS TİPİ	OTOBÜS KAPASİTESİ	SEFER SIKLIğI(DAK)	ARAÇ SAYISI
1	8	KÖRÜKLÜ	150	20	10
2	48	SOLO	100	35	3
3	50	SOLO	100	45	2
4	63	KÖRÜKLÜ	150	10	10
5	70	KÖRÜKLÜ	150	10	12
6	79	KÖRÜKLÜ	150	10	10
7	85	SOLO	100	15	8
8	86	SOLO	100	8	16
9	90	KÖRÜKLÜ	150	15	10
10	123	SOLO	100	140	1
11	128	KÖRÜKLÜ	150	23	7
12	140	SOLO	100	20	5
13	144	SOLO	100	47	3
14	148	SOLO	100	25	5
15	163	KÖRÜKLÜ	150	16	3
16	198	SOLO	100	60	2
17	246	SOLO	100	50	3
18	247	SOLO	100	35	4
19	250	KÖRÜKLÜ	150	15	12
20	295	KÖRÜKLÜ	150	25	6
21	342	KÖRÜKLÜ	150	28	5
22	344	KÖRÜKLÜ	150	35	4
23	346	KÖRÜKLÜ	150	30	5
24	361	KÖRÜKLÜ	150	20	7
25	498	SOLO	100	70	1
26	576	KÖRÜKLÜ	150	30	5

5.2.3. Modelin geliştirilmesi

İncelenen yol ağına ait en uygun sefer sıklığını veren doğrusal hedef programlama modeli (SESMOD), karar değişkenleri, sistem ve hedef kısıtları, başarı fonksiyonları ve amaç fonksiyonu belirlenerek kurulmuş ve WINQSB programı yardımıyla çözülmüştür.

Modelin karar değişkenleri, Lozan ve Montrö duraklarından geçen toplam 26 otobüs hattına ait, sabah 08:00-11:00 saatleri arasındaki sefer sayıları olarak kabul edilmiştir.

Modelin sistem kısıtları belirlenirken, her hattın otobüs sefer sıklığının ve otobüs taşıma kapasitesinin o hattaki yolcu talebini karşılaması esas alınmıştır. Bir başka ifadeyle, mevcut olarak kullanılan otobüs filosunun belirlenecek olan sefer sıklık değerlerinde çalışarak, o hatlardaki yolcuların tamamına hizmet edebilmesi model sistem kısıtı olarak alınmıştır.

Burada sistem kısıtları;

S_1, S_2, \dots, S_i : Hatlar için sefer sıklık değerlerini,

C_1, C_2, \dots, C_i : Her hatta kullanılan otobüs tipinin kapasite değerlerini

K_1, K_2, \dots, K_i : Her hatta bulunan yolcu talep değerlerini göstermek üzere,

$S_i * C_i \geq K_i$ bağıntısı ile ifade edilebilir.

Modelin hedef kısıtları, süre hedef kısıtı ve kapasite hedef kısıtı olarak belirlenmiştir. Süre hedef kısıtları düzenlenirken, ele alınan 08:00-11:00 saatleri arasındaki zaman aralığı olan 180 dakikalık süreçte filo çalışan otobüs sayısının, her hattın bir seferi için gerekli olan süre ve bu hattaki sefer sıklık değeri ile karşılanabilmesi esas alınmıştır. Literatürde, benzer çalışmalarda bu durum söz konusudur (Alp 2008).

Süre Hedef Kısıtı için kullanılan bağıntı;

$$\sum_{i=1}^{26} t_i X_i + d_1^+ + d_1^- = T * B \quad (5.1)$$

olup, burada

t_i : Her bir otobüs hattının sefer süresi

B : Mevcut otobüs sayısı

X_i : i hattı için yapılması gereken sefer sayısı

T : Toplam zaman aralığı (180 dk.)

ifade etmektedir.

Kapasite Hedef Kısıtı için ise farklı bir yaklaşım geliştirilerek aşağıdaki bağıntı elde edilmiştir;

$$\sum_{i=1}^{26} C_i X_i + d_2^+ + d_2^- = \sum_{i=1}^{26} K_i \quad (5.2)$$

şeklindedir.

Oluşturulan hedef programlama modelinde başarı fonksiyonlarında sadece negatif sapma değişkenleri (d_i^-) kullanılmıştır, çünkü pozitif sapma değişkenleri (d_i^+) ilgili kısıtın kapasite fazlalığını ifade etmektedir. Süre hedef kısıtı için (d_1^+) fazla süre değerini; kapasite hedef kısıtı için (d_2^+) kapasite fazlası değerini göstermektedir. Başarı fonksiyonlarında yer alan (d_1^-) daha ne kadar süre seyahat edilebileceğini (d_2^-) ise daha ne kadar yolcu taşınabileceğini göstermektedir.

Modelde amaç fonksiyonu oluşturulurken, süre ve kapasite hedef kısıtları eşit öncelikli olarak kabul edilmiştir. Oluşturulan amaç fonksiyonu bu iki kısıta ait negatif sapma toplamının minimize edilmesi şeklinde olup aşağıda gösterilmiştir.

$$\min S = d_1^- + d_2^- \quad (5.3)$$

Bu kısıtlar ve amaçlar doğrultusunda oluşturulan hedef programlama modeli WINQSB programı kullanılarak çözülmüştür. Şekil 5.2' de WINQSB programı çözüm ekranı verilmiştir. Elde edilen sonuçlar tez çalışmasının 6. bölümü kapsamında açıklanmıştır.

Variable ->	X22	X23	X24	X25	X26	D1-	D1+	D2-	D2+	Direction	R. H. S.
Min.G1						1		1		=	18921
C1	150	100	100	150	150	1	-1			=	159
C2	77.1	37.33	42.34	48.01	40.39			1	-1	=	1002
C3										>=	904
C4										>=	1214
C5										>=	45
C6										>=	761
C7										>=	1904
C8										>=	752
C9										>=	753
C10										>=	1354
C11										>=	609
C12										>=	603
C13										>=	452
C14										>=	602
C15										>=	1052
C16										>=	202
C17										>=	121
C18										>=	215
C19										>=	401
C20										>=	938
C21										>=	452
C22										>=	256
C23	150									>=	752
C24		100								>=	232
C25			150							>=	1514
C26				150						>=	479
C27					150					>=	1352
Lowerbound	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Upperbound	M	M	M	M	M	M	M	M	M		
Variable Type	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous		

Şekil 5.2 SESMOD modeli WINQSB Çözüm Ekranı

5.3. Durak Aralıklarının Bulanık Doğrusal Programlama ile Modellenmesi

5.3.1. Problemin tanımı

Otobüs taşımacılığının sistem performansı ve hizmet düzeyini doğrudan etkileyen otobüs duraklarının konumu, durak aralık mesafelerinin belirlenmesi ile doğrudan etkilidir. Durak yerlerine bağlı olarak, otobüs kullanıcılarının duraklara erişim süresi ile araç içinde geçirilen süre değişkenlik göstermekte, bu durum yolcuların toplu taşımaya olan talebi üzerinde oldukça etkili olmaktadır. Yolcuların en önemli beklentisi erişilebilirlik toplamını minimize etmektir. Yolcuların toplu taşımacılıktan uzaklaşmayacağı yürüme mesafelerinin sağlanabilmesi, işletmeciler ve yine araç içinde seyahat eden yolcular için de çok uzun yolculuk sürelerinin oluşmaması önemlidir.

Bu düşünceler doğrultusunda, incelenen toplu taşıma ağını oluşturan tüm hatlar ayrı ayrı incelenmiş ve her hat için bulanık doğrusal model oluşturulmuştur. Her hat üzerindeki her bir durak için, durağa erişim ve duraktan binen yolcuların araç geçirecekleri süre toplamı ile; global olarak hat üzerindeki tüm duraklara erişim ve

toplam araç içi seyahat süresi değeri toplamını minimize eden optimal otobüs durak aralık değerlerine ulaşılmıştır.

Elde edilen veriler incelendiği zaman, özellikle yolcu talebi ve aracın hareket hızının oldukça değişken ve belirsiz olduğu görülmüş, bu nedenle klasik mantık kabulü yerine bulanık küme teorisi kullanılarak modellenmiştir.

5.3.2. Verilerin derlenmesi ve analizi

Bulanık Doğrusal Programlama ile durak aralıklarının belirlenmesi modelinde ESHOT tarafından İzmir ili için yapılan araç içi toplu taşıma sayımları kullanılmıştır. Veriler, sabah 08:00-11:00 zaman aralığı için derlenerek, modelde kullanılan mevcut durak yerleri ve aralıkları, duraklardan binen yolcu sayıları, duraklar arası seyahat süreleri, yolcu iniş- binişlerinden kaynaklanan duraklardaki bekleme süreleri ve araç hızları ilgili veriler elde edilmiştir. Tablo 5.3’ de ESHOT’ dan bir hat için alınan veri grubu gösterilmiştir. Tablo 5.4’ de ise, verilerin modelde kullanılmak üzere düzenlenmiş hali yer almaktadır.

Tablo 5.3 ESHOT’ tan alınan Veri Grubu Örneği

Plaka	Durak Id	Durak Adı	Durak Sıra No	Yön	Variş Zamanı	Ayrılış Zamanı	Hız	Binen Yolcu Sayısı
BMN72	50176	Balçova Son Durak	1	Gidiş	07:35:48	07:36:35	10	5
BMN72	50174	Teleferik	2	Gidiş	07:37:05	07:37:11	58	
BMN72	50172	Ekonomi	3	Gidiş	07:37:28	07:37:35	58	
BMN72	50170	Kabaoğlu	4	Gidiş	07:37:42	07:38:01	27	1
BMN72	50168	Çifte Selviler	5	Gidiş	07:38:15	07:38:59	6	1
BMN72	50166	Gümüş	6	Gidiş	07:39:42	07:40:31	8	4
BMN72	50148	Balçova Belediyesi	7	Gidiş	07:41:50	07:42:29	14	
BMN72	50146	Kabristan	8	Gidiş	07:43:15	07:44:38	6	4
BMN72	50142	Balçova Lisesi	9	Gidiş	07:47:15	07:47:53	14	3
BMN72	50140	Barış	10	Gidiş	07:48:40	07:48:56	33	
BMN72	50138	İkiztepe	11	Gidiş	07:49:15	07:50:07	8	
BMN72	50006	Maliye Meslek Lisesi	12	Gidiş	07:50:54	07:52:06	5	9
BMN72	10138	Fahrettin Altay İşletme	13	Gidiş	07:52:43	07:53:20	6	2
BMN72	10292	Göztepe Stadı	14	Gidiş	07:53:49	07:54:34	12	6
BMN72	10290	Denizmen	15	Gidiş	07:55:07	07:55:55	8	7
BMN72	10288	Poligon	16	Gidiş	07:56:51	07:57:30	11	6
BMN72	10286	Hıfıssıha	17	Gidiş	07:57:53	07:58:33	12	4
BMN72	10282	Kolej	18	Gidiş	07:59:23	08:00:19	10	3
BMN72	10278	Susuz Dede	19	Gidiş	08:01:19	08:01:57	13	1
BMN72	10276	Dönmezler	20	Gidiş	08:02:36	08:03:14	15	2
BMN72	10270	Hakimevleri	21	Gidiş	08:03:49	08:04:29	8	2

BMN72	10268	Renkli	22	Gidiş	08:07:17	08:07:47	11	
BMN72	10266	Yeni Çeşme	23	Gidiş	08:11:17	08:12:09	8	3
BMN72	10260	Şoförler Lokali	24	Gidiş	08:13:30	08:14:23	6	2
BMN72	10254	İzmir Spor	25	Gidiş	08:15:39	08:17:07	7	3
BMN72	10252	Üçyol	26	Gidiş	08:17:27	08:19:01	4	3
BMN72	10250	Altıntaş	27	Gidiş	08:19:23	08:20:28	9	3
BMN72	10246	Bayram Yeri	28	Gidiş	08:20:47	08:21:57	8	7
BMN72	10228	Koruluk	29	Gidiş	08:22:31	08:22:45	32	
BMN72	10226	Kestelli	30	Gidiş	08:23:49	08:24:40	12	
BMN72	10224	Mezarlık Başı	31	Gidiş	08:27:30	08:28:54	7	
BMN72	10321	İtfaiye	32	Gidiş	08:31:41	08:33:00	6	2
BMN72	10323	Montrö	33	Gidiş	08:33:55	08:34:24	18	
BMN72	10327	Lozan	34	Gidiş	08:34:51	08:35:27	17	
BMN72	10329	Hocazade Cami	35	Gidiş	08:35:49	08:36:55	5	
BMN72	10333	Tekel	36	Gidiş	08:37:05	08:37:41	14	
BMN72	10415	Alsancak Gar	37	Gidiş	08:38:19	08:38:54	13	
BMN72	10441	Güzel Sanatlar	38	Gidiş	08:39:38	08:39:48	45	
BMN72	10443	Demir	39	Gidiş	08:40:03	08:40:21	29	
BMN72	10445	Umur Bey	40	Gidiş	08:40:47	08:41:07	19	
BMN72	10447	Eğitim sitesi	41	Gidiş	08:41:18	08:41:39	20	
BMN72	10455	Halkapınar Metro	42	Gidiş	08:42:41	08:42:50	58	

Tablo 5.4 BOMOD Modelinde Kullanılan Veri Grubu Örneği

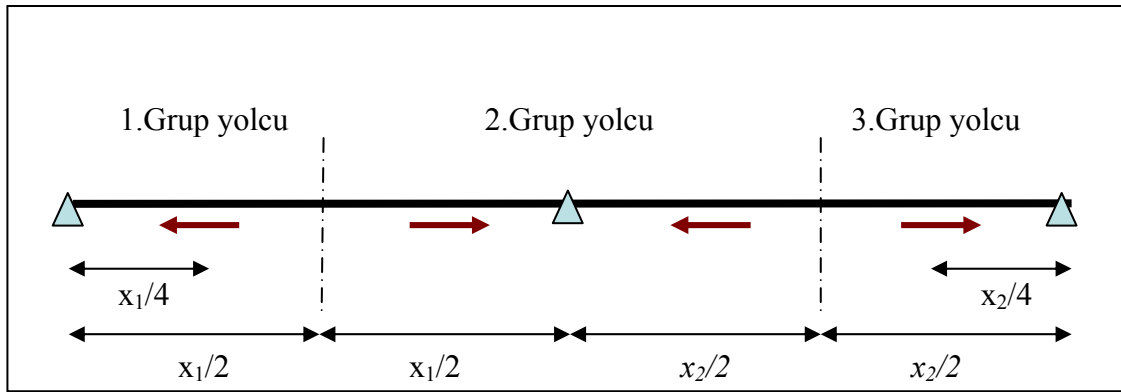
Otobüs Id	Plaka	Durak Id	Durak Adı	Durak Sıra No	Yön	Variş Zamanı	Ayrılış Zamanı	Durakta Bekleme Süresi	Binen Yolcu Sayısı	Durak Aralığı(m)	Duraklar Arası Seyahat Süresi
29434	U6223	10455	Halkapınar Metro	1	Dönüş	10:01:17	10:03:27	00:02:10			
29434	U6223	10430	Yaşar Üniversitesi	2	Dönüş	10:04:33	10:05:01	00:00:28		1500	00:01:06
29434	U6223	10428	Aydibi	3	Dönüş	10:05:08	10:05:18	00:00:10		220	00:00:07
29434	U6223	10426	Umur Bey	4	Dönüş	10:05:25	10:05:32	00:00:07		280	00:00:07
29434	U6223	10416	Alsancak Gar	5	Dönüş	10:07:13	10:09:07	00:01:54	1	1110	00:01:41
29434	U6223	10338	Tekel	6	Dönüş	10:09:41	10:10:42	00:01:01	1	490	00:00:34
29434	U6223	10336	Hocazade Cami	7	Dönüş	10:11:18	10:12:38	00:01:20		340	00:00:36
29434	U6223	10332	Lozan	8	Dönüş	10:12:55	10:13:33	00:00:38		330	00:00:17
29434	U6223	10326	Montrö	9	Dönüş	10:14:01	10:15:15	00:01:14		270	00:00:28
29434	U6223	10322	İtfaiye	10	Dönüş	10:15:53	10:17:20	00:01:27	2	360	00:00:38
29434	U6223	10229	Mezarlık Başı	11	Dönüş	10:19:06	10:21:03	00:01:57	11	630	00:01:46
29434	U6223	10233	Koruluk	12	Dönüş	10:23:15	10:24:44	00:01:29	6	1090	00:02:12
29434	U6223	10249	Bayram Yeri	13	Dönüş	10:25:25	10:26:28	00:01:03	5	680	00:00:41
29434	U6223	10253	Altıntaş	14	Dönüş	10:26:50	10:28:02	00:01:12	4	230	00:00:22
29434	U6223	10257	İzmir Spor	15	Dönüş	10:28:52	10:30:36	00:01:44	9	510	00:00:50
29434	U6223	10259	Şoförler Lokali	16	Dönüş	10:31:05	10:31:55	00:00:50		590	00:00:29
29434	U6223	10261	Askeri Hastane	17	Dönüş	10:32:50	10:33:28	00:00:38	2	550	00:00:55
29434	U6223	10263	Çeşme	18	Dönüş	10:33:48	10:34:44	00:00:56		340	00:00:20
29434	U6223	10265	Nokta	19	Dönüş	10:34:58	10:36:22	00:01:24		270	00:00:14
29434	U6223	10267	Renkli	20	Dönüş	10:37:05	10:37:19	00:00:14	3	370	00:00:43
29434	U6223	10269	Hakimevleri	21	Dönüş	10:37:52	10:38:28	00:00:36		490	00:00:33
29434	U6223	10271	Dönmezler	22	Dönüş	10:39:08	10:39:36	00:00:28		380	00:00:40

29434	U6223	10273	Susuz Dede	23	Dönüş	10:39:45	10:40:25	00:00:40		280	00:00:09
29434	U6223	10275	Amerikan Koleji	24	Dönüş	10:41:08	10:41:47	00:00:39	1	560	00:00:43
29434	U6223	10277	Hıfıssıha	25	Dönüş	10:42:18	10:42:58	00:00:40	5	500	00:00:31
29434	U6223	10279	Poligon	26	Dönüş	10:43:11	10:43:47	00:00:36		280	00:00:13
29434	U6223	10281	Denizmen	27	Dönüş	10:44:14	10:44:55	00:00:41	2	340	00:00:27
29434	U6223	10283	Göztepe Stadı	28	Dönüş	10:45:16	10:46:03	00:00:47	2	450	00:00:21
29434	U6223	10285	Fahrettin Altay Meydan	29	Dönüş	10:46:26	10:47:05	00:00:39		520	00:00:23
29434	U6223	50007	Üçkuyular Pazaryeri	30	Dönüş	10:47:29	10:48:23	00:00:54	2	360	00:00:24
29434	U6223	50009	İkiztepe	31	Dönüş	10:49:03	10:49:32	00:00:29	1	450	00:00:40
29434	U6223	50147	Kahveler	32	Dönüş	10:51:05	10:51:53	00:00:48	1	950	00:01:33
29434	U6223	50149	Balçova Lisesi	33	Dönüş	10:52:31	10:53:09	00:00:38	2	380	00:00:38
29434	U6223	50151	Sevgi Yolu	34	Dönüş	10:53:28	10:54:18	00:00:50		220	00:00:19
29434	U6223	50153	Balçova Belediyesi	35	Dönüş	10:54:26	10:55:03	00:00:37		200	00:00:08
29434	U6223	50167	Aydibi	36	Dönüş	10:55:15	10:55:52	00:00:37	1	180	00:00:12
29434	U6223	50169	Gümüş	37	Dönüş	10:55:59	10:56:08	00:00:09		230	00:00:07
29434	U6223	50171	Çifte Selviler	38	Dönüş	10:56:23	10:56:55	00:00:32		300	00:00:15
29434	U6223	50173	Kabaoğlu	39	Dönüş	10:57:16	10:57:47	00:00:31		520	00:00:21
29434	U6223	50175	Teleferik	40	Dönüş	10:58:36	10:58:47	00:00:11		570	00:00:49
29434	U6223	50177	Turem	41	Dönüş	10:58:52	10:59:00	00:00:08		260	00:00:05
29434	U6223	50176	Balçova Son Durak	42	Dönüş	10:59:22	10:59:54	00:00:32		400	00:00:22

5.3.3. Modelin geliştirilmesi

En uygun sefer sıklık değerleri SESMOD ile belirlenen 26 adet hat üzerinde yer alan durakların en uygun aralık değerlerinin bulunmasını hedefleyen bir Bulanık Doğrusal Programlama modeli (BOMOD) geliştirilmiştir. Geliştirilen model ile, her bir durak için, durağa erişim ve duraktan binen yolcuların araç geçirecekleri süre toplamı ile; global olarak hat üzerindeki tüm duraklara erişim ve toplam araç içi seyahat süresi değeri toplamını minimize eden optimal durak yerleri elde edilmiştir.

İncelenen yol ağını oluşturan 26 adet hat ayrı ayrı modellenmiştir. Yolcuların duraklara geliş davranışı için kullanılan kabul Şekil 5.3' de gösterilmiştir (Kikuchi 2006). İncelenen hat üzerindeki her durak için duraklara erişim süresi (Ta) ve araç içi seyahat süresi (Tv) değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 5.3 Duraklara Yolcu Gelişleri

5.3.3.1. Duraklara erişim süresi (T_a)

Duraklara erişim süresi (T_a) toplu taşımacılık hizmet kalitesinin belirlenmesinde yayalar açısından en önemli kriterlerden biridir. Yolcuları, toplu taşımacılıktan uzaklaştırmayacak yürüme mesafeleri sağlayan, durak yerlerinin belirlenmesi önemlidir.

P : Birim mesafedeki ortalama yolcu sayısı

x_1, x_2, \dots, x_n : durak aralık değerleri

V_a : yaya yürüme hızı

olmak üzere, Duraklara Erişim Süresi (T_a);

$$T_{a_n} = \frac{\left(P \cdot \frac{x_{n-1}}{2}\right) \left(\frac{x_{n-1}}{4}\right)}{V_a} + \frac{\left(P \cdot \frac{x_n}{2}\right) \left(\frac{x_n}{4}\right)}{V_a} \quad (5.4)$$

şeklindedir.

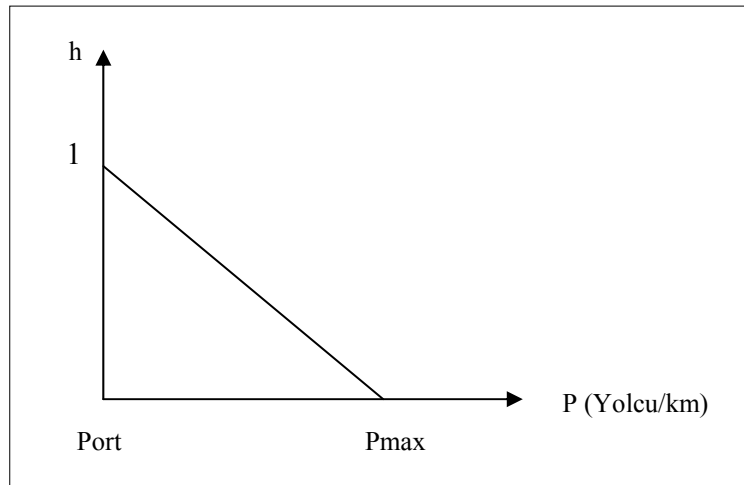
5.3.3.2. Yaya yürüme hızı (V_a)

Yaya yürüme hızı için, literatürde yapılan çalışmalar incelenerek 4,4 km/st değeri kullanılmıştır.

5.3.3.3. Duraklara gelen ortalama yolcu sayısı

Modellenen her hat için ayrı bir ortalama yolcu/km değeri yapılan sayım sonuçları kullanılarak elde edilmiştir. Yolcu değerlerindeki belirsizlik ve rasgelelik özelliğinin modele yansıtılabilmesi için bulanık küme teorisi kullanılmıştır. Her hat için, birim

mesafedeki ortalama yolcu sayısı değeri veriler kullanılarak hesaplanmış ve üçgen üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Şekil 5.4' de Yolcu parametresi için oluşturulan üçgen üyelik fonksiyonu verilmiştir.



Şekil 5.4 Yolcu (P) Parametresi Üyelik Fonksiyonu

5.3.3.4. Araç içi seyahat süresi (Tv)

Toplu taşımacılık hizmetlerinden yararlanan yolcuların, duraklardan araçlara binmeleri ile yine duraklarda inmeleri arasında geçen süreci ifade etmektedir.

P : Birim mesafedeki ortalama yolcu sayısı

x_1, x_2, \dots, x_n : durak aralık değerleri

V : ortalama otobüs hareket hızı

T_l : duraklarda ivmelenme ve yolcu iniş-binişlerinden kaynaklanan kayıp zaman olmak üzere, Araç İçi Seyahat Süresi (T_v);

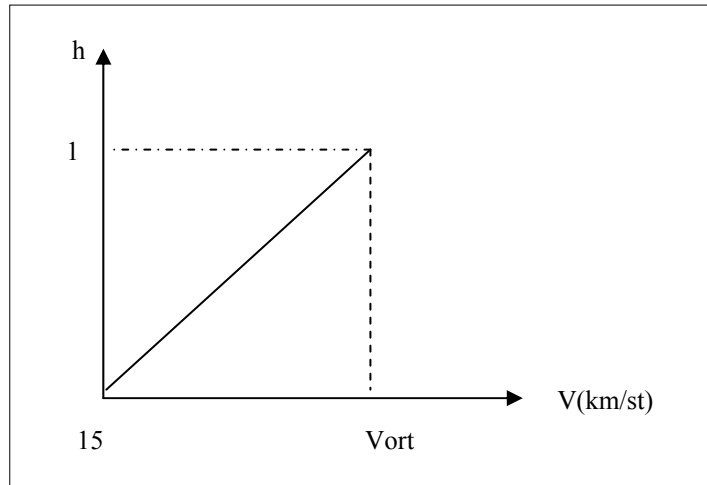
$$T_{V_n} = \left(P \cdot \frac{x_{n-1}}{2} + P \cdot \frac{x_n}{2} \right) \left(\frac{x_n}{V} + T_l \right) \quad (5.5)$$

şeklindedir.

5.3.3.5. Ortalama otobüs hareket hızı

Her hat için ayrı bir ortalama hareket hızı değeri (km/saat) veriler kullanılarak hesaplanmış ve hesaplanan bu değerler kullanılarak, her hat' a ait üçgen üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Şekil 5.5' de hız parametresi için oluşturulan üyelik

fonksiyonu gösterilmiştir.



Şekil 5.5 Hız (V) Parametresi Üyelik Fonksiyonu

5.3.3.6. Duraklardaki kayıp zaman

Duraklardaki kayıp zaman değeri (T_l), aracın yolcu indirme ve bindirme için duraklarda kaybettiği zaman ile aracın duraklara yaklaşma ve uzaklaşma süreçlerindeki ivmelenmeden kaynaklı zaman kayıplarından kaynaklanmaktadır. Aracın yolcu indirme ve bindirme süresi, duraklara ve varış zaman verileri kullanılarak hesaplanmıştır. İvmelenme hareketiyle oluşan zaman kayıpları için, araç hızı 15km/st alınarak yavaşlama ve hızlanma süreleri hesaplanmıştır.

$$T_l = T_{YOLCU İNDİRME-BİNDİRME} + T_{HIZLANMA} + T_{YAVAŞLAMA} \quad (5.6)$$

İncelen otobüs ağında kullanılan otobüs özelliklerine göre otobüslerin hızlanma ve yavaşlama ivme değerleri kullanılmıştır. İzmir ili için kullanılan solo ve körüklü otobüslere ait ivme değerleri Tablo 5.5' de verilmiştir (Çalışkanelli ve Nehir 2009).

Tablo 5.5 Otobüs Tiplerine Göre İvme Değerleri

	Hızlanma İvmesi(m/sn ²)	Yavaşlama İvmesi(m/sn ²)
Solo Otobüs	3,4	3,1
Körüklü Otobüs	3,1	3,0

Tüm bu parametreler kullanılarak toplam seyahat süresini değerini minimize edecek durak aralıklarını belirlemeyi hedefleyen BOMOD modeli, LINGO yazılım programı yardımıyla çözülmüştür. Şekil 5.6' da Bulanık Doğrusal Programlamanın LINGO ile çözüm örneği verilmiştir.

```

LINGO 11.0 - [LINGO Model - 50-20-n29(2)]
File Edit LINGO Window Help
Max = h;
h > 0;
h <= 1;
L = 11.103;
!P = 21;
!V = 31;
Va = 4.4;
T1 = 0.609/60;

25-P <= 4*h;
V-15 <= 16*h;

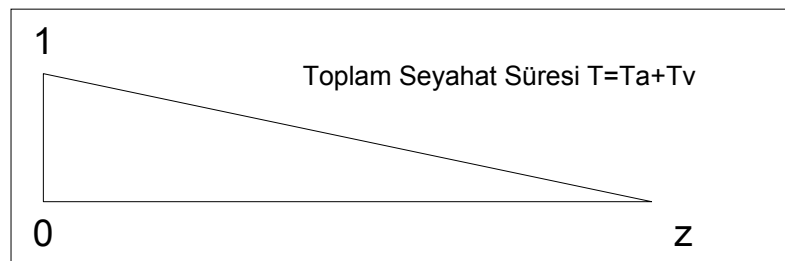
Tv1 = (P*x1/2) * (x1/V+19*T1);
Tv2 = (P*x1/2) * (x2/V+18*T1) + (P*x2/2) * (x2/V+18*T1);
Tv3 = (P*x2/2) * (x3/V+17*T1) + (P*x3/2) * (x3/V+17*T1);
Tv4 = (P*x3/2) * (x4/V+16*T1) + (P*x4/2) * (x4/V+16*T1);
Tv5 = (P*x4/2) * (x5/V+15*T1) + (P*x5/2) * (x5/V+15*T1);
Tv6 = (P*x5/2) * (x6/V+14*T1) + (P*x6/2) * (x6/V+14*T1);
Tv7 = (P*x6/2) * (x7/V+13*T1) + (P*x7/2) * (x7/V+13*T1);
Tv8 = (P*x7/2) * (x8/V+12*T1) + (P*x8/2) * (x8/V+12*T1);
Tv9 = (P*x8/2) * (x9/V+11*T1) + (P*x9/2) * (x9/V+11*T1);
Tv10 = (P*x9/2) * (x10/V+10*T1) + (P*x10/2) * (x10/V+10*T1);
Tv11 = (P*x10/2) * (x11/V+9*T1) + (P*x11/2) * (x11/V+9*T1);
Tv12 = (P*x11/2) * (x12/V+8*T1) + (P*x12/2) * (x12/V+8*T1);
Tv13 = (P*x12/2) * (x13/V+7*T1) + (P*x13/2) * (x13/V+7*T1);
Tv14 = (P*x13/2) * (x14/V+6*T1) + (P*x14/2) * (x14/V+6*T1);
Tv15 = (P*x14/2) * (x15/V+5*T1) + (P*x15/2) * (x15/V+5*T1);
Tv16 = (P*x15/2) * (x16/V+4*T1) + (P*x16/2) * (x16/V+4*T1);
Tv17 = (P*x16/2) * (x17/V+3*T1) + (P*x17/2) * (x17/V+3*T1);
Tv18 = (P*x17/2) * (x18/V+2*T1) + (P*x18/2) * (x18/V+2*T1);
Tv19 = (P*x18/2) * (x19/V+T1) + (P*x19/2) * (x19/V+T1);

z = 10000000;
y1 = 100000;
y2 = 1000000;
y3 = 1000000.

```

Şekil 5.6 BOMOD Modeli LINGO Çözüm Ekranı

Burada bir memnuniyet seviyesi; h belirlenerek, toplam seyahat süresi modellenmiştir. Toplam seyahat süresi için oluşturulan üçgen üyelik fonksiyonu Şekil 5.7' de verilmiştir.



Şekil 5.7 Toplam Seyahat Süresi Üyelik Fonksiyonu

Burada;

$$f(T) = 1 - \frac{T}{z} \geq h \quad (5.7)$$

Max h;

$h > 0$;

$h \leq 1$;

s.t. $x_1 + x_2 = L$

olacak şekilde, memnuniyet seviyesini maksimize ederek, toplam seyahat süresini minimize eden en uygun durak aralık değerlerine ulaşılmıştır. Burada, klasik programlamadan farklı olarak, hem her duraktaki toplam seyahat süresinin minimize edilmesi, hem de tüm durakların toplam seyahat süresinin minimize edilmesine çalışılmıştır. Bunun için, LINGO yazılımı esnasında, genel bir memnuniyet fonksiyonu, tüm durakların toplam seyahat süresi için oluşturulmuş, ayrıca her durak için de ayrı ayrı oluşturulmuştur. Bu durum, bulanık programlamanın kazandırdığı esneklikten kaynaklanmaktadır.

6. GELİŞTİRİLEN MODELLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1. Giriş

Tez çalışması kapsamında kurulan en uygun sefer sıklığının belirlenmesine yönelik doğrusal hedef programlama modeli ile en uygun durak aralıklarının belirlenmesine yönelik bulanık optimizasyon modelinin sonuçları bu bölüm kapsamında anlatılmıştır. Bu iki modelin mevcut sistem üzerine etkileri karşılaştırmalı olarak verilerek, oluşturulan maliyet fonksiyonu ile de yapılan çalışmanın ekonomik getirileri ortaya konulmuştur.

6.2. SESMOD Modeli Sonuçları

İzmir ili otobüs ağı içerisinde yer alan Lozan ve Montrö duraklarından geçen 26 adet hattın, sabah 08:00:11:00 saat aralığında, otobüs filo büyüklüğü, otobüs kapasiteleri, hat sefer süreleri ve yolcu talepleri doğrultusunda incelenerek doğrusal hedef programlama ile optimal sefer sıklık değerlerinin elde edilmesine yönelik geliştirilen SESMOD Modeli ile elde edilen elde edilen sefer sıklık değerleri ile mevcut durumdaki sefer sıklık değerleri karşılaştırmalı olarak Tablo 6.1’ de verilmiştir.

Tablo 6.1 SESMOD Model Sonuçları-Mevcut Durum Sefer Sıklık Değerleri

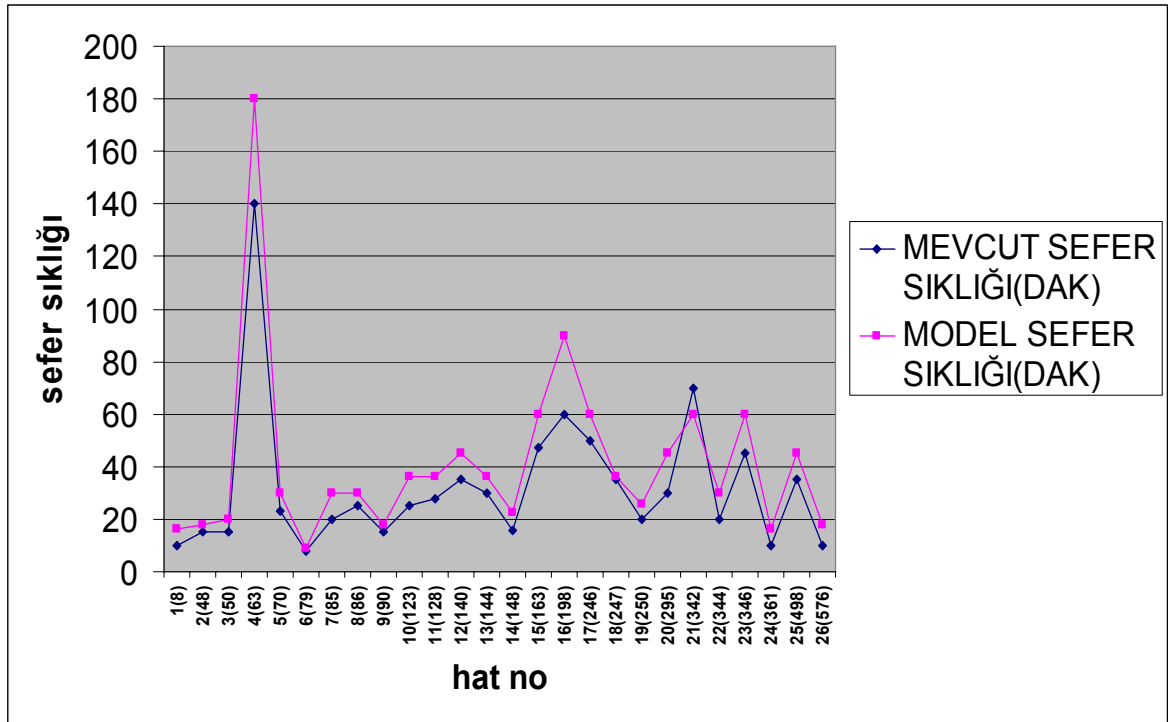
NO	HAT NO	MEVCUT SEFER SIKLIĞI(DAK)	MODEL SEFER SIKLIĞI(DAK)
1	8	10	16
2	48	15	18
3	50	15	20
4	63	140	180
5	70	23	30
6	79	8	9
7	85	20	30
8	86	25	30
9	90	15	18
10	123	25	36
11	128	28	36
12	140	35	45
13	144	30	36

14	148	16	23
15	163	47	60
16	198	60	90
17	246	50	60
18	247	35	36
19	250	20	26
20	295	30	45
21	342	70	60
22	344	20	30
23	346	45	60
24	361	10	16
25	498	35	45
26	576	10	18

SESMOD Modeli ile elde edilen sefer sıklık değerleri kullanılarak hesaplanan, 08:00-11:00 saatleri arası için otobüs sefer aralık değerleri Tablo 6.2' de verilmiştir.

Tablo 6.2 SESMOD Model Sonuçları-Mevcut Durum Sefer Sayıları

NO	HAT NO	MEVCUT SEFER SAYISI	MODEL SEFER SAYISI
1	8	18	11
2	48	12	10
3	50	12	9
4	63	1	1
5	70	8	6
6	79	23	20
7	85	9	6
8	86	7	6
9	90	12	10
10	123	7	5
11	128	6	5
12	140	5	4
13	144	6	5
14	148	11	8
15	163	4	3
16	198	3	2
17	246	4	3
18	247	5	5
19	250	9	7
20	295	6	4
21	342	3	3
22	344	9	6
23	346	4	3
24	361	18	11
25	498	5	4
26	576	18	10
TOPLAM		225	167



Şekil 6.1 SESMOD Model Sonuçları-Mevcut Durum Sefer Sıklık Değerleri

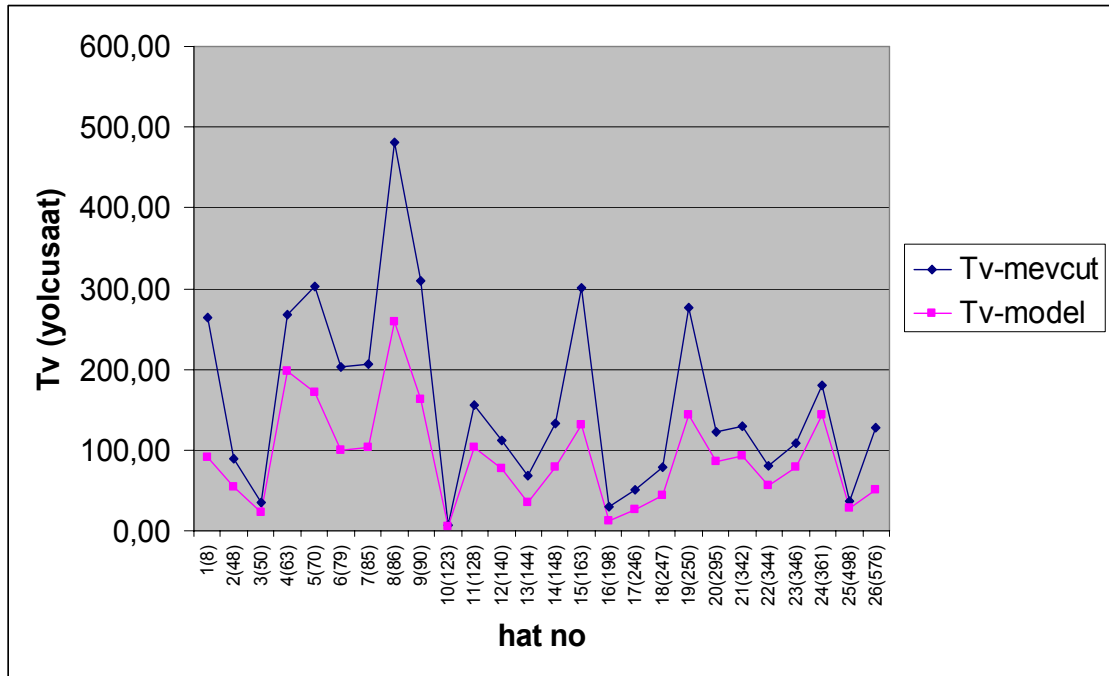
6.3. BOMOD Modeli Sonuçları

Sefer sıklığı incelenen tüm hatların durak aralık değerleri incelenerek, duraklara erişim ve duraktan binen yolcuların araç geçirecekleri süre toplamı ile; global olarak hat üzerindeki tüm duraklara erişim ve toplam araç içi seyahat süresi değeri toplamını minimize eden optimal otobüs durak aralık değerlerine ulaşılmıştır. Araçlara erişim süreleri (T_a) ile araç içinde geçirilen seyahat süreleri (T_v) değerleri, mevcut durumdaki durak yerleri ve bulanık doğrusal modelleme ile elde edilen durak yerleri için Tablo 6.2' de verilmiştir.

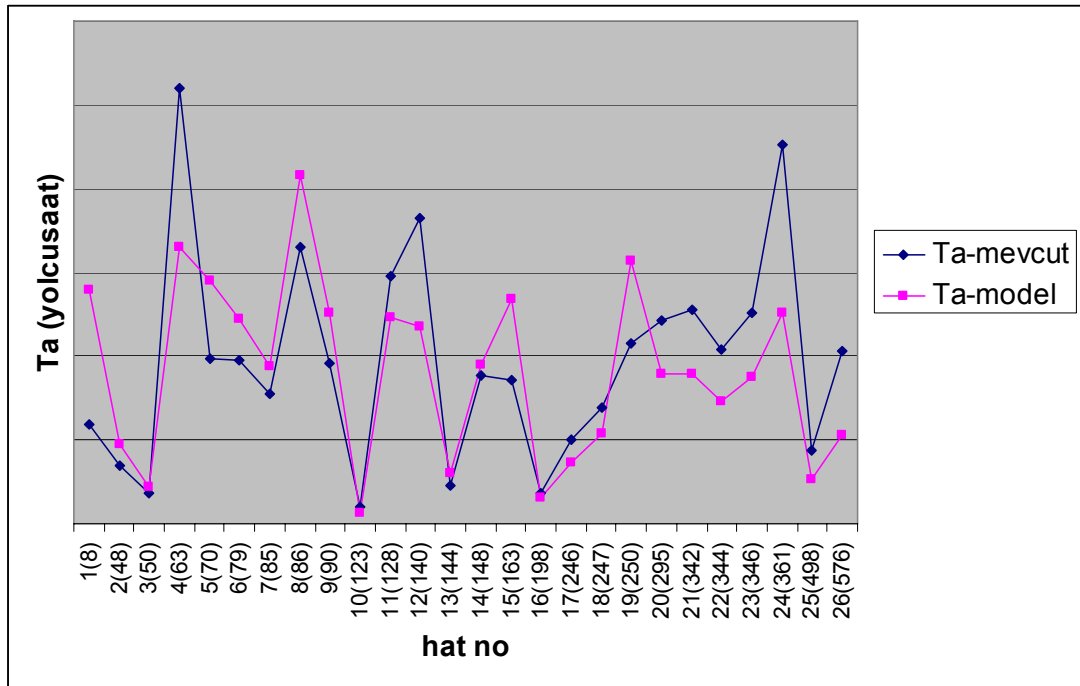
Tablo 6.3 BOMOD Modeli Araçlara Erişim Süreleri (T_a) ve Araç İçi Seyahat Süreleri (T_v) Sonuçları

NO	HAT NO	MEVCUT DEĞERLER (YOLCUSAAT)			MODEL DEĞERLERİ (YOLCUSAAT)		
		T_v	T_a	T_a+T_v	T_v	T_a	T_a+T_v
1	8	264,62	23,84	288,46	91,00	55,86	146,86
2	48	88,51	13,98	102,49	54,80	19,13	73,93
3	50	35,45	7,30	42,75	23,57	8,65	32,22

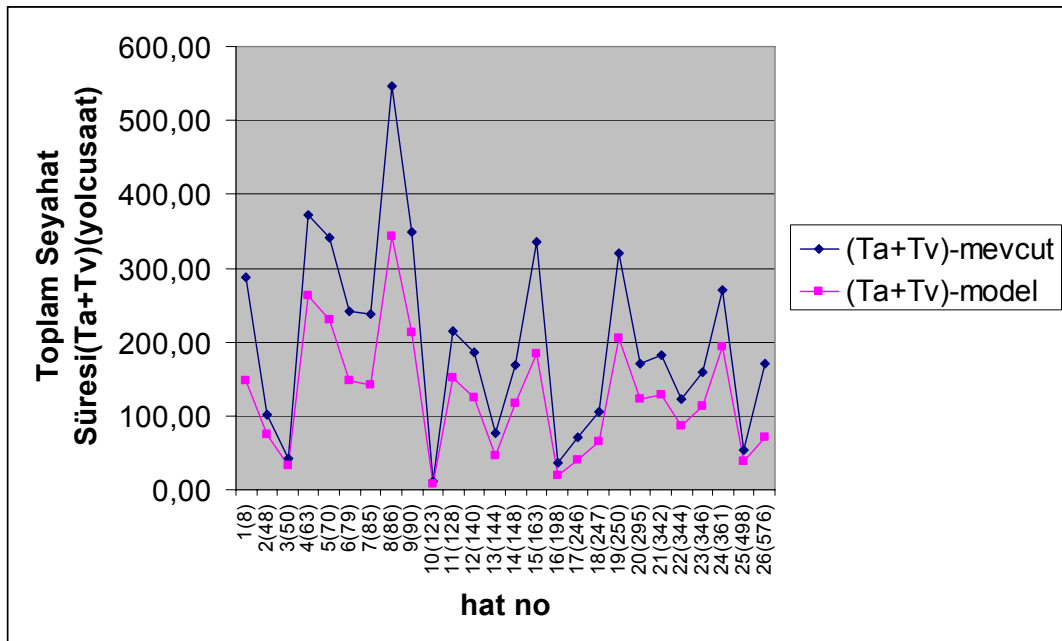
4	63	268,49	103,98	372,47	197,07	66,11	263,18
5	70	302,74	39,34	342,08	171,72	58,05	229,78
6	79	202,19	39,03	241,22	99,75	48,72	148,47
7	85	206,89	30,88	237,76	103,99	37,51	141,51
8	86	480,97	66,18	547,15	258,98	83,27	342,25
9	90	309,50	38,43	347,93	162,23	50,45	212,68
10	123	7,52	3,91	11,44	5,32	2,51	7,82
11	128	156,29	58,98	215,28	103,18	49,09	152,27
12	140	112,69	72,86	185,55	77,76	47,06	124,82
13	144	68,13	9,11	77,25	34,84	11,97	46,81
14	148	132,59	35,50	168,08	79,35	37,92	117,27
15	163	301,10	34,42	335,52	130,96	53,69	184,65
16	198	29,75	7,47	37,23	12,78	6,24	19,02
17	246	51,14	20,06	71,20	26,37	14,51	40,88
18	247	78,02	27,87	105,89	42,90	21,36	64,26
19	250	276,81	42,87	319,68	142,71	62,63	205,34
20	295	122,55	48,44	170,99	86,44	35,61	122,05
21	342	129,96	51,23	181,19	92,49	35,57	128,06
22	344	81,23	41,63	122,87	56,46	29,20	85,66
23	346	108,05	50,46	158,51	78,52	35,18	113,70
24	361	180,80	90,29	271,09	143,11	50,50	193,61
25	498	36,17	17,51	53,68	27,31	10,62	37,94
26	576	128,32	41,35	169,67	50,47	21,10	71,56
TOPLAM		4160,49	1016,92	5177,41	2354,07	952,54	3306,61



Şekil 6.2 BOMOD Modeli Araç İçi Seyahat Süresi (Tv) Model ve Mevcut Durum Değerleri



Şekil 6.3 Araçlara Erişim Süresi (Ta) Model ve Mevcut Durum Değerleri



Şekil 6.4 BOMOD Modeli Toplam Seyahat Süresi(Ta+Tv) Model ve Mevcut Durum Değerleri

6.4. Sonuç Maliyet Fonksiyonunun Oluşturulması

Tez çalışması kapsamında oluşturulan optimal sefer sıklık değeri belirlenmesi ve optimal durak aralık değerlerinin belirlenmesi modellerinin sonuçları aşağıda verilen maliyet fonksiyonu ile birleştirilmiştir.

$$C_{\text{TOPLAM MALİYET}} = C_{\text{YOLCU M.}} + C_{\text{İŞLETME M.}}$$

Burada yolcu maliyet değeri, yolcuların duraklara erişim süreleri ile araç içinde geçirdikleri süreden kaynaklanan toplam zaman maliyet değeri kullanılarak hesaplanmıştır. Bunun için, BOMOD modelinin en uygun durak aralığını veren toplam seyahat süresi değerlerinin mevcut süreler göre azalma miktarı ile birim yolcu maliyet değerleri kullanılmıştır. Birim yolcu maliyet değerleri için, İzmir ili için yapılan zonlama ve anket çalışmaları sonucu elde edilmiş değerler kullanılmıştır (Özuysal 2010). İşletme maliyet değeri ise, sefer sayısındaki azalmadan kaynaklanan maliyet değişimi ve sefer başına işletme maliyet değeri kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 6.3' de toplam maliyet değerindeki değişimler gösterilmiştir.

Tablo 6.4 Model Sonuçlarının Maliyet Değeri

HAT NO	BOMOD MODELİ - YOLCU MALİYETİ			SESMOD MODELİ -İŞLETME MALİYETİ		
	SEYAHAT SÜRESİ DEĞİŞİMİ	TL/saat	Maliyet Farkı (TL)	SEFER SAYISI DEĞİŞİMİ	TL/km	Maliyet Farkı (TL)
8	141,59	2,98	422,10	7	2,212	497,35
48	28,56	2,33	66,51	2	1,517	53,50
50	10,53	2,35	24,73	3	1,517	50,52
63	109,28	2,74	298,97	0	2,212	0,00
70	112,30	2,71	303,90	2	2,212	59,52
79	92,75	2,83	262,28	3	2,212	82,95
85	96,26	2,93	281,85	3	1,517	73,81
86	204,90	3,10	635,45	1	1,517	34,20
90	135,25	2,65	357,76	2	2,212	79,15
123	3,62	2,54	9,17	2	1,517	74,56
128	63,00	2,21	139,05	1	2,212	92,80
140	60,73	2,59	157,37	1	1,517	32,23
144	30,43	2,54	77,16	1	1,517	36,02
148	50,81	2,59	131,67	3	1,517	102,04
163	150,87	2,47	372,45	1	2,212	42,49
198	18,21	2,59	47,18	1	1,517	31,15
246	30,32	2,54	76,87	1	1,517	25,30
247	41,62	2,54	105,53	0	1,517	0,00
250	114,34	2,55	291,11	2	2,212	92,68

295	48,94	2,48	121,18	2	2,212	117,14	
342	53,13	2,54	134,69	0	2,212	0,00	
344	37,20	2,54	94,32	3	2,212	135,18	
346	44,80	2,54	113,58	1	2,212	52,80	
361	77,48	2,68	207,51	7	2,212	286,38	
498	15,74	2,68	42,23	1	1,517	17,01	
576	98,11	2,57	252,17	8	2,212	330,38	
BOMOD MALİYET FARKI			5.026,80 TL	SESMOD MALİYET FARKI		2.399,14 TL	
					TOPLAM MALİYET FARKI		7.425,94 TL

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

7.1. Sonuçların Değerlendirilmesi

Tez çalışması kapsamında, İzmir ili kent içi otobüs ağı, durak yerleri ve otobüs seferleri, yolcu ve işletmeler açısından hizmet seviyesinin yükseltilmesi adına incelenmiştir. Çalışma kapsamında, hem işletmeciler hem de yolcular açısından oldukça önemli olan otobüs sefer sıklık değerlerinin belirlenmesi üzerine bir hedef programlama modeli oluşturulmuştur. Otobüs sefer sıklıklarının ve aralık değerlerinin en uygun şekilde belirlenmesi ve özellikle yolcu talep değerlerine dayanan sağlıklı bir otobüs sefer tarifesinin oluşturulması işletme açısından son derece önemlidir. Sefer sıklığının gereksiz yere artırılarak masrafların çoğaltılması işletme açısından yanlış bir yaklaşım olacağı gibi, sefer sıklığının yolcu kapasitesini karşılayamayacak kadar düşük olması da, yolcuları toplu taşımacılıktan uzaklaştırıcı bir etkiye sebep olacaktır. Bir toplu taşıma işletme sisteminin, artan sefer sıklığı ve gerektireceği yatırım arasında dengeyi sağlaması önemlidir.

Yolcular için, toplu taşıma hizmet seviyesini belirleyen en önemli kıstas, yürüme mesafelerinin kısa, duraklara erişim sürelerinin düşük olmasıdır. Ancak uygulamada durak yerleri ve aralıklarının belirlenmesi, optimal bir problem olarak ele alınmamakta, sezgisel ve gözlemlere dayalı olarak, zaman içerisinde kendiliğinden oluşan bir sonuç olarak ortaya çıkmaktadır. Yolcular için otobüs taşımacılığının cazip hale gelmesinde, otobüs durak yerlerinin ve durak aralıklarının en uygun şekilde belirlenmesi oldukça etkilidir. Yolcuların toplu taşımacılıktan uzaklaşmayacağı yürüme mesafelerinin sağlanabilmesi, ancak işletmeciler ve yine araç içinde seyahat eden yolcular için de çok uzun yolculuk sürelerinin oluşmaması düşüncesiyle, bulanık doğrusal programlama modeli ile durak aralık değerleri belirlenmiştir. Ele alınan problemde, gerçek hayatta da mevcut olan belirsizlikler sebebiyle modellenmenin bulanık küme teorisine dayandırılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. BOMOD Modeli sonucu 26 hattaki duraklara erişim sürelerinin(T_a) toplam değerinde % 7; Araç içi seyahat sürelerinin

toplam değerinde % 43 ve toplam seyahat süresinde % 36 azalma olduğu görölmüştür.

Tez çalışması kapsamında kurulan sefer sıklık modeli ile mevcut durumda yolcu talebinin gerektirdiğinden daha sık sefer değerlerinin olduğu görölmüştür. SESMOD Modeli ile elde edilen sefer sayısı değerlerinin mevcut duruma göre %26 oranında azaldığı görölmüştür. Otobüs sefer sıklığı değerlerindeki bu azalma işletme koşulları açısından bir maliyet faydası sağlayacağı gibi, başta duraklara yakın bölgelerde olmak üzere, trafik yoğunluğu ve olası karmaşalar üzerinde olumlu etkilere sebep olacaktır. Toplu taşımacılık düzenlemeleri esnasında, talebin gerektirdiğinden fazla seferlerin olması, özellikle ölkemiz gibi gelişmekte olan ölkelerin ekonomileri açısından kaçınılması gereken bir durumdur. Ayrıca kentsel yaşam kalitesi açısından ve çevresel etkiler bakımından, sefer sayısının talep fazlası değerlerde olması olumsuz etkilere sebep olmaktadır.

Çalışma kapsamında, sefer sıklık değeri incelenen bu hatlar üzerindeki durak aralıkları TSE standartları doğrultusunda incelendikten sonra, yolcuların duraklara erişim süresi ile araç içinde geçirilen seyahat sürelerinin minimizasyonuna dayanarak durak aralıklarının belirlenmesi modeli oluşturulmuştur. Yolcular için toplu taşıma hizmet kalitesini belirleyici en önemli faktörler olan erişim süresi ve araç içinde geçirilen sürenin, oluşturulan modelin ortaya koyduğu durak aralık değerleri ile azaldığı görölmüştür. Oluşturulan maliyet fonksiyonu ile zamanın maliyet değeri üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Günümüzde insan hayatının en önemli kavramlarından biri olan zaman ile ilgili faydalar, bireysel ve toplumsal yaşam kalitesini arttıracak ve toplu taşımacılık ile ilgili talebi arttırıcı etkilere yol açacaktır.

Sefer sıklık değerindeki değişim ile yolcuların araçlara erişim ve araç içi seyahat süresi değerlerindeki değişimlerin ortaya çıkaracağı fayda değeri, oluşturulan maliyet fonksiyonu ile de hesaplanarak gösterilmiştir. Toplam maliyet değerinde, 3 saatlik zaman dilimi için (08:00-11:00) günlük 7.425,94 TL değerinde bir azalma olacağı belirlenmiştir.

7.2. Öneriler

Tez çalışmasında, İzmir ili otobüs ağına ait 26 adet hat incelenerek, sefer sıklık değerleri ve bu hatlar üzerinde yer alan durakların aralıkları için en uygun değerlerin bulunması yönünde modeller oluşturulmuş, literatürdeki çalışmalar incelenmiştir.

Model sonucu bulunan durak aralık değerleri ve durak yerlerinin Coğrafi Bilgi Sistemi teknolojisi ile birleştirilerek ulaşım ağı üzerinde konumlandırılması, toplu taşıma sistemini geliştirecektir. 26 adet hat tüm ulaşım ağından bağımsız olarak incelenmiştir. Tüm ulaşım ağındaki hatların birlikte değerlendirildiği global bir modelleme ile kent çapındaki ulaşım ağı sefer sıklık değerlerine ulaşılabilir. Özellikle yoğunluk ve karmaşa görülen otobüs duraklarından yola çıkılarak, sefer sıklık değerlerinin talebin gerektirdiğinden fazla olup olmaması durumunun kontrol edilmesi faydalı olacaktır. Ayrıca sefer sıklığı belirlenirken doğrusal hedef programlama modelinde yer alan hedef kısıtlarının önceliklerinde değişiklikler yapılarak farklı durumlar için çözümler geliştirilebilir.

Duraklar bazında belirli zaman dilimleri için yolcu talep değerlerinin alınması ile, otomatik olarak sefer sayısını belirleyebilen sistemler geliştirilebilir.

Durak aralıklarının belirlenmesine yönelik oluşturulan Bulanık Doğrusal Programlama modelinde, yolcuların duraklara geliş davranışı, durakların çekim bölgesinde yer alıp almama durumuna göre geliştirilebilir. Ayrıca, bulanık olarak kabul edilen yolcu sayısı ve hız parametrelerine ilave olarak, diğer parametreler de bulanık hale dönüştürülebilir.

8. KAYNAKLAR

- Alp, S. (2008) Doğrusal Hedef Programlama Yönteminin Otobüsle Kent İçi Toplu Taşıma Sisteminde Kullanılması. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1: 13 s. 73-91.
- Alterkawi, M. (2006) A Computer Simulation Analysis For Optimizing Bus Stops Spacing: The case of Riyadh. *Habitat International*, 30: 3, s. 500-508
- Bal, H. (1995) Optimizasyon Teknikleri. *Gazi Üniversitesi Matbaası*, Ankara, s.1-22, 178-200.
- Bellman, R. E., and Zadeh, L. A. (1970) Decision Making in a Fuzzy Environment. *Management Science*, 17: s. 141-164.
- Ceder, A. (2002) Urban transit scheduling: framework, review, and examples. *ASCE Journal of Urban Planning and Development*, 128: 4, s. 225–244.
- Ceder, A. (2007) Public Transit Planning and Operation. Theory, Modelling and Practice., *Butterworth-Heinemann*, UK, 640s.
- Chanas, S. (1983) The Use Of Parametric Programming İn Fuzzy Linear Programming., *Fuzzy Sets and Systems*, 11: s. 243-251.
- Chanas, S., Kolodziejczyk, W., and Machaj, A. (1984) A Fuzzy Approach to the Transportation Problem., *Fuzzy Sets and Systems*, 13: s. 211-221.
- Chien, S., and Qin, Z. (2004) Optimization of Bus Stop Locations For Improving Transit Accessibility. *Transportation Planning and Technology*, 27: 3, s. 211-227.
- Çalışkanelli, S. P., ve Nehir, Y. (2009) İzmir'deki Otobüs Duraklarının Trafik Akımı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi., *İzmir Ulaşım Sempozyumu*, İzmir, s. 577-593.
- Dell'Olio, L., vd., (2005) A model of Cost Optimization for the Location of Bus-stop. *16th Mini - EURO Conference and 10th Meeting of EWGT*.
- Dervitsiotis, K. N. (1981) Operations Management. *McGraw-Hill Co*, New York, 771s.
- Evren, R., ve Ülengin, F. (1992) Yönetimde Çok Amaçlı Karar Verme. *İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası*, İstanbul, 1490s.
- Forgianne, A. G. (1990), Quantitative Management, *Dryden Press*, USA, 561s.

- Furth, P. G., and Wilson, W. H. M. (1981) Setting frequencies on bus routes: Theory and practice. *Transportation Research Record*, 818s., 1-7.
- Furth, P., and Rahbee, A. (2000) Optimal Bus Stop Spacing Through Dynamic Programming and Geographic Modeling. *Transportation Research Record*, 1731s., 15-22.
- Ignazio, J. P. (1976) Goal Programming And Extensions. *Lexington Book: co*, London, s. 4.
- Ignazio, J. P. (1978) A Review of Goal Programming: A Ttool for Multiobjective Analysis. *The Journal of Opratin Research Society*, 29: 11, s.1109.
- Ignazio, J. P. (1985) Introduction to Linear Goal Programming. *Sage Publications*, California, s. 11-12.
- Jones, D. F., and Tamiz, M. (1992) Goal Programming in The Period 1990-2000. *in Multiple Criteria Optimization State of the Art Annotated Bibliografic Surveys*, Kluwer, s. 129.
- Kikuchi, S. (2006) Treatment of Uncertainty in Transportation Analysis., *Lecture Notes*.
- Kocadağlı, O. (2005) Doğrusal Hedef Programlama ile Bütçeleme. *Ekonometri Derneği*, <http://www.ekonometriderneği.org7bildiriler/o18s2.pdf> (01.04.2010)
- Koutsopoulos, H. N., Amedeo, R. O., and Wilson, N. H. M. (1985) Determination of headways as a function of time varying characteristics on a transit network, In Computer Scheduling of Public Transport. *Elsevier Science*, Amsterdam, the Netherlands, s. 391–413.
- Kuruüzüm, O. (1986) Proses Endüstrisinde Proses Kontrolü Problemine Hedef Programlama ile Yaklaşım ve Alternatif Bir Hedef Programlama Algoritması Önerisinin Bir Uygulama Üzerinde Değerlendirilmesi., Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi*, İstanbul, s. 54.
- LeBlanc, L. J. (1988) Transit System Network Design. *Transportation Research*, 22: s. 383–390.
- Lee, S. M., and Moore, L. J. (1975) Introduction To Decision Science., *First Edition*, New York, 275s.
- Levin, I. R., vd., (1989) Quantiative Approaches To Management., *McGraw_Hill Publishing Company*, New York, 848s.
- Markland, R. E., Sweigart, J. R. (1987) Quantitative Methods: Application To Managerial Decision Making., *John Wiley And Sons*, New York, 560s.

- Murat, Y.Ş. Kikuchi S., “The Fuzzy Optimization Approach:A Comparison with the Classical Optimization Approach using the Problem of Timing a Traffic Signal”. Transportation Research Record No 2024, pp 82-91, Washington D.C., USA, 2007.
- Murray, A. (2003) A Coverage Model For İmproving Public Transit System Accessibility and Expanding Access., *Annals of Operations Research*, 123: 1, s. 143-156.
- Öztürk, A. (2007) Yöneylem Araştırması., *Ekin Kitabevi*, Bursa, 9: 490s.
- Özuysal M. (2010), Şehirsel Yerleşimlerde Erişilebilirlik Ölçütünün Modellenmesi ve Kullanımı: Ulaşım Türü Seçimi Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. Anabilimdalı, Ağustos 2010, İzmir
- Rommelfanger, H., Randolf, H., and Jochen, W. (1989) Linear Programming With Fuzzy Objectives., *Fuzzy Sets and Systems*, North-Holland, 29: s.31-48.
- Saka, A. A. (2001) Model for Determining Optimum Bus-Stop Spacing in Urban Areas., *Journal of Transportation Engineering*, 127: 3, s. 195-199.
- Sankar, R., vd., (2003) Optimization of Bus Stop Locations Using GIS as a Tool For Chennai City-A Case Study., *Map India Conference*, India, s. 276.
- Sariaslan, H., ve Karacabey, A. A. (2003) İşletmelerde Sayısal Analizler. *Turhan Kitabevi*, Ankara, 493s.
- Sarimeşeli, M. (2004) İktisadi Modeller Teori & Uygulama., *Gazi Büro Kitapevi*, Ankara, 204s.
- Schmidt, E. G. (1993) Introductory Management Science., *Prentice- Hall*, USA.
- Schniederians, M. J. (1984) The Life Cycle Ofgoal Programming Research As., *Recorded in Journal Articles*, s. 4.
- Steuer, R. E. (1986) Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation and Application, *John Wiley & Sons Inc.*, Canada.
- Şehir İçi Yollar - Otobüs Durakları Yer Seçimi Kuralları., (1995) *TSE, Standart No : TS 11783*, Ankara.
- Şen, Z. (2001) Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri., *Bilge Kültür Sanat Yayınevi*, İstanbul, 176s.
- Taha, H. A. (2000) Yöneylem Araştırması, *Literatür Yayıncılık*, İstanbul, 385s.
- Transit Capacity and Quality of Service Manual. (2003) *Transit Cooperative Research Program*, 19: 2, Part-4, 110s.

- Tulunay, Y. (1991) Matematik Programlama ve İşletme Uygulamaları, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Yayını*, İstanbul, 167s.
- Van Nes, R., and Bovy, P. H. (2000) Importance of Objectives in Urban Transit-Network Design., *Transportation Research Record*, 1735: s. 25-34.
- Verdegay, J. L. (1984) Application of Fuzzy Optimization in Operational Research., *Control and Cybernetics*, 13: s. 229-239.
- Verdegay, Jose Luis; “A Dual Approach to Solve the Fuzzy Linear Programming Problem”, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol .14, 1984, pp.131-141.
- Werners, B. (1987) An Interactive Fuzzy Programming System., *Fuzzy Sets and Systems*, North-Holland, 23: s. 131-147.
- Wirasinghe, S. C. (2003) Initial Planning For Urban Transit Systems. In *Advanced Modeling for Transit Operations and Service Planning*, *Elsevier Science*, Oxford, UK, s. 1–29.
- Young J. L., and Ching L. H. (1992) Fuzzy Mathematical Programming; Methods and Applications, *Heidelberg: Springer-Verlag*, Berlin, 301s.
- Zadeh, L. A. (1965) Information and Control., *Fuzzy Sets and Systems*, 8: s. 338-353.
- Zeleny, M. (1982) Multiple Criteria Decision Making., *McGraw-Hill*, New York, USA, s. 215-280.
- Zhao, R., vd. (1992) The Complete Decision Set of the Generalized Symmetrical Fuzzy Linear Programming., *Fuzzy Sets and Systems*, North-Holland, 51: 1, s. 53-65.
- Zimmermann, H. J. (1976) Description and optimization of Fuzzy Systems., *International Journal of General Systems*, 2: s. 209-216.

EKLER

Ek-1 İzmir ili 8 nolu hat güzergah ve durak haritası



Ek-2 İzmir ili 48 nolu hat güzergah ve durak haritası



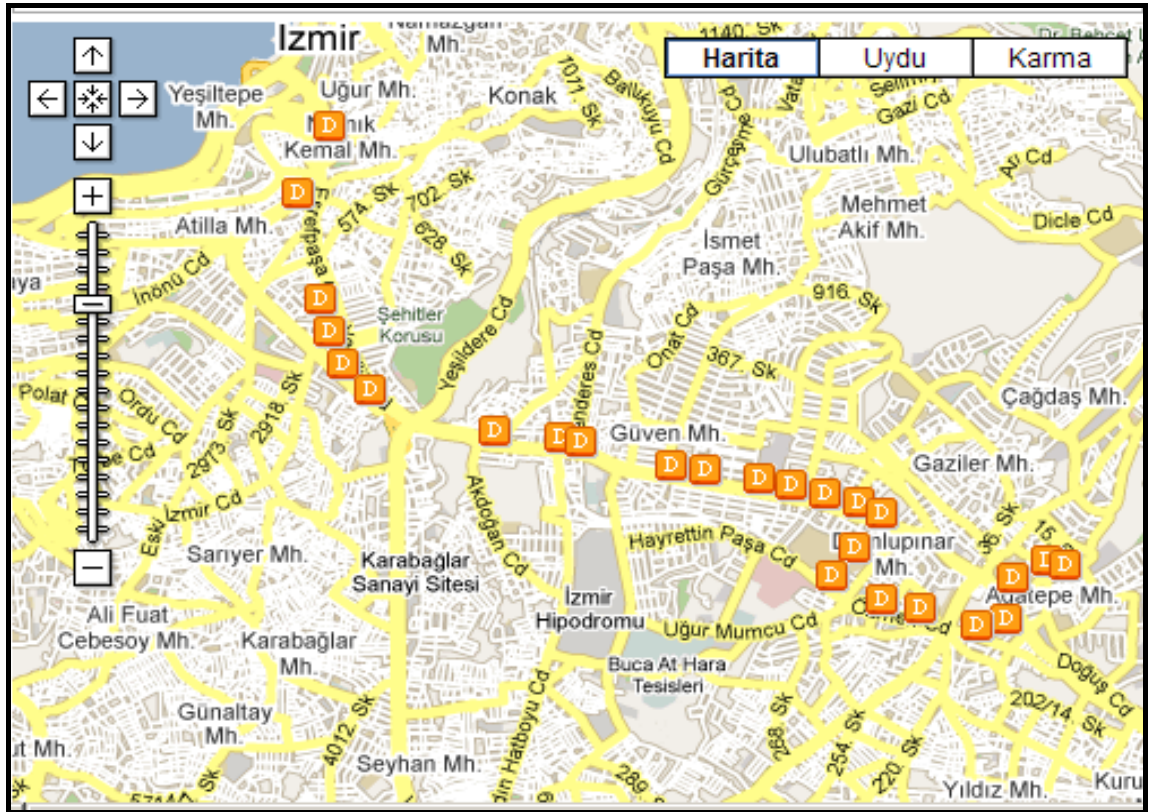
Ek-3 İzmir ili 50 nolu hat güzergah ve durak haritası



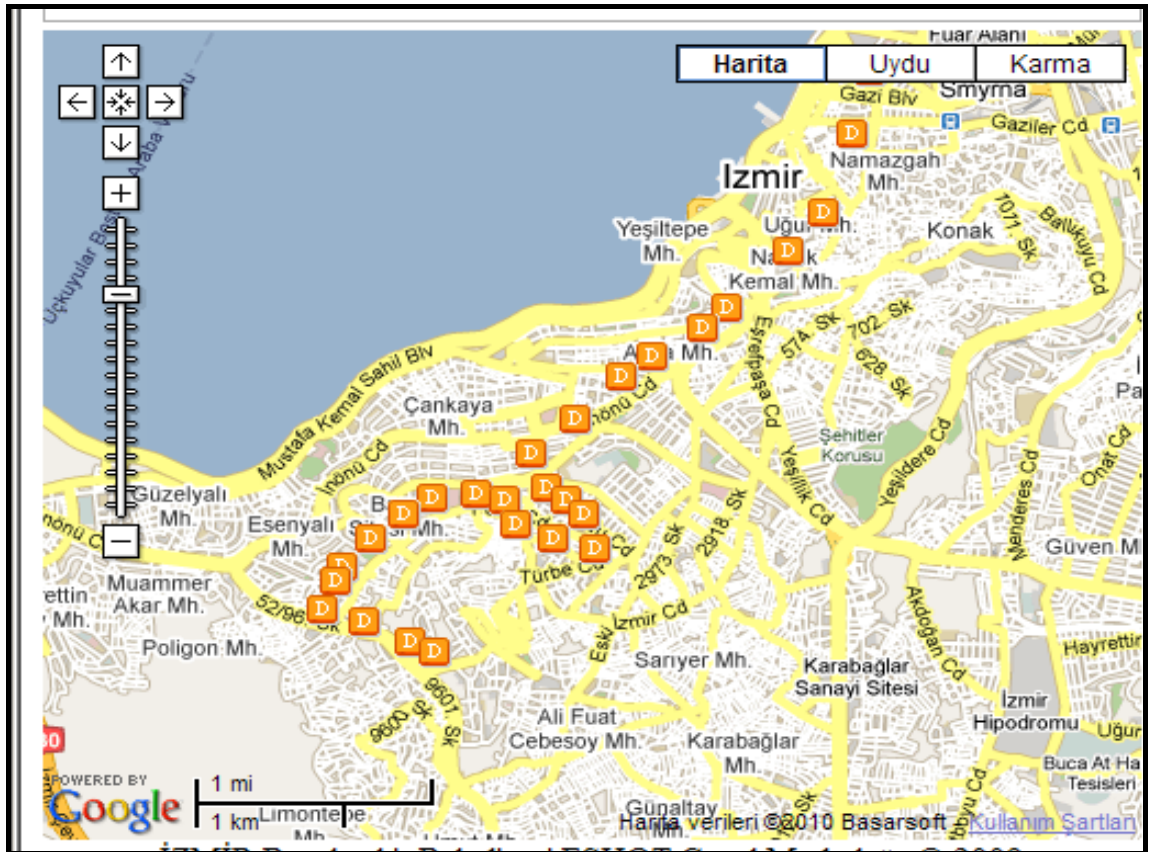
Ek-4 İzmir ili 63 nolu hat güzergah ve durak haritası



Ek-5 İzmir ili 70 nolu hat güzergah ve durak haritası



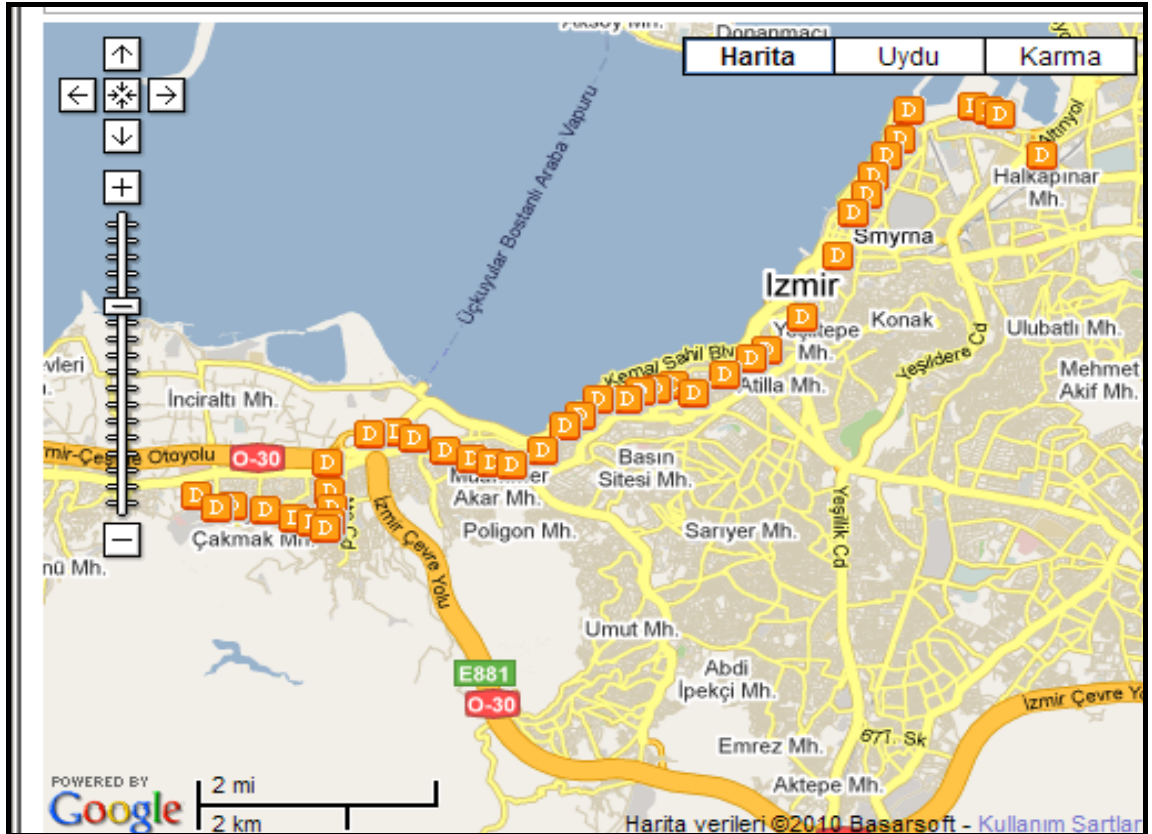
Ek-6 İzmir ili 79 nolu hat güzergah ve durak haritası



Ek-7 İzmir ili 85 nolu hat güzergah ve durak haritası



Ek-8 İzmir ili 86 nolu hat güzergah ve durak haritası



Ek-9 İzmir ili 90 nolu hat güzergah ve durak haritası



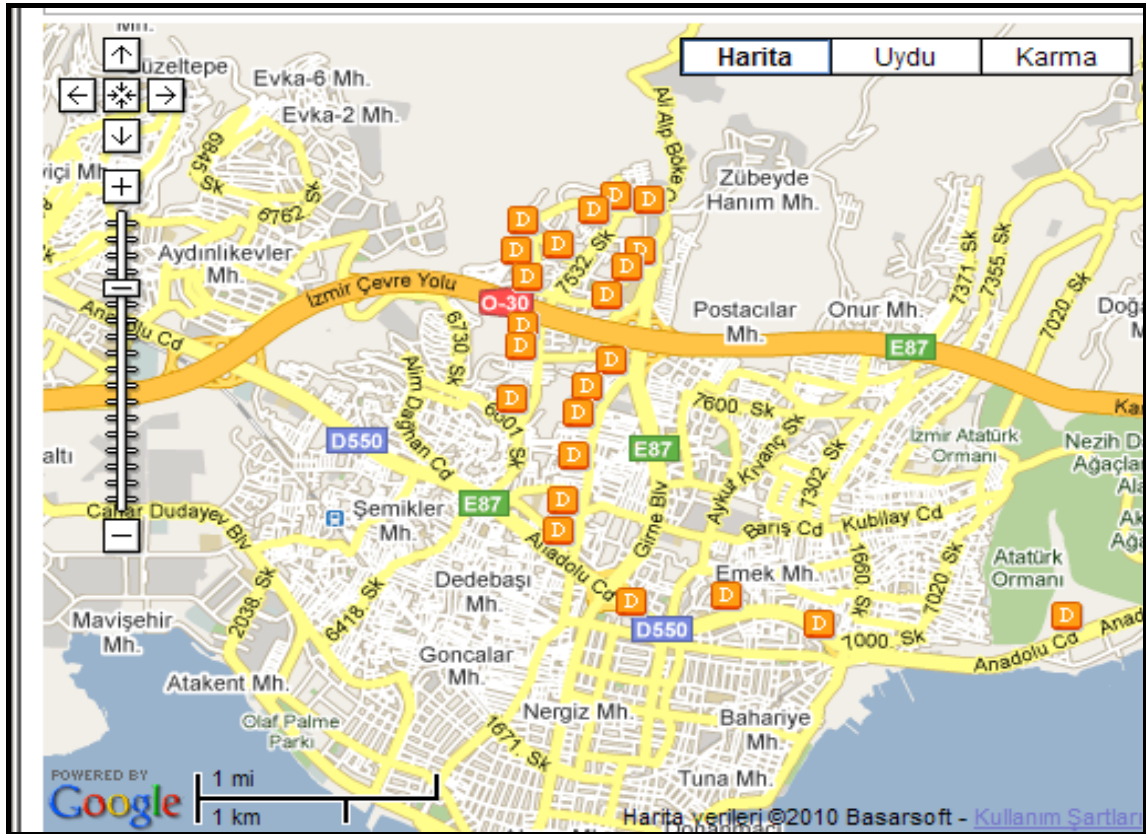
Ek-10 İzmir ili 123 nolu hat güzergah ve durak haritası



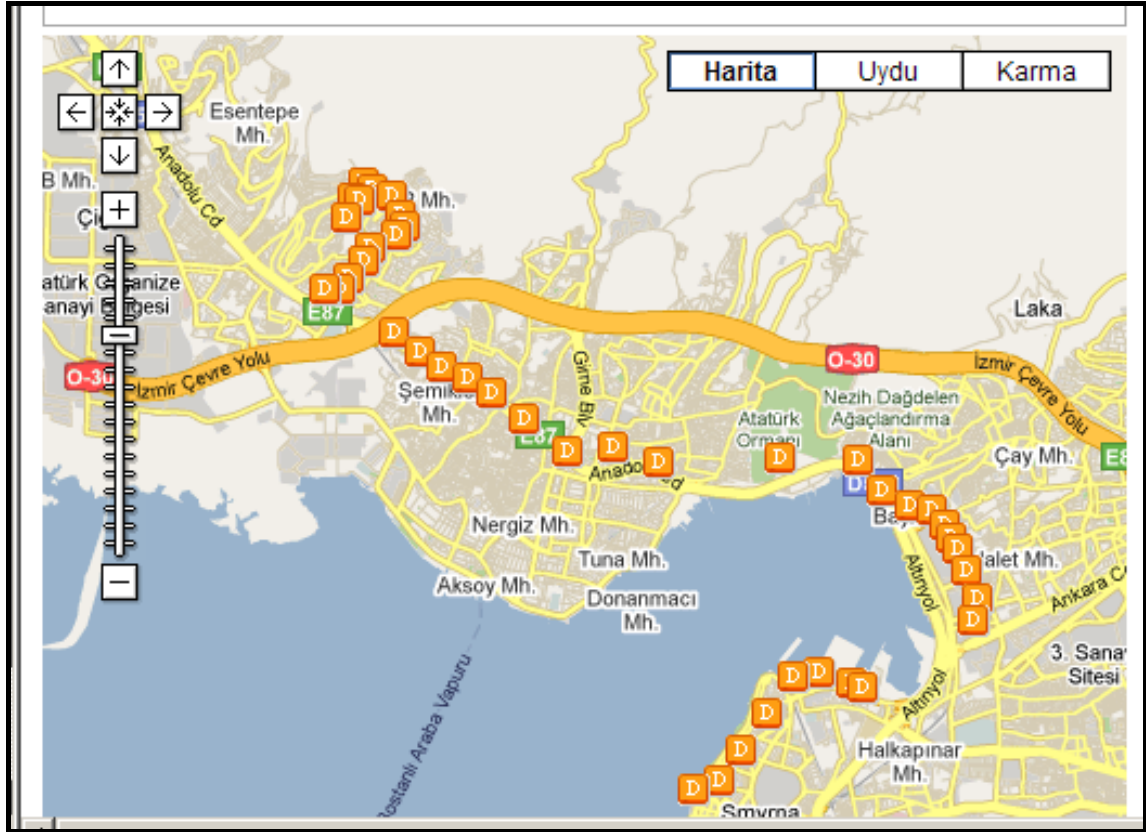
Ek-11 İzmir ili 128 nolu hat güzergah ve durak haritası



Ek-12 İzmir ili 140 nolu hat güzergah ve durak haritası



Ek-13 İzmir ili 144 nolu hat güzergah ve durak haritası



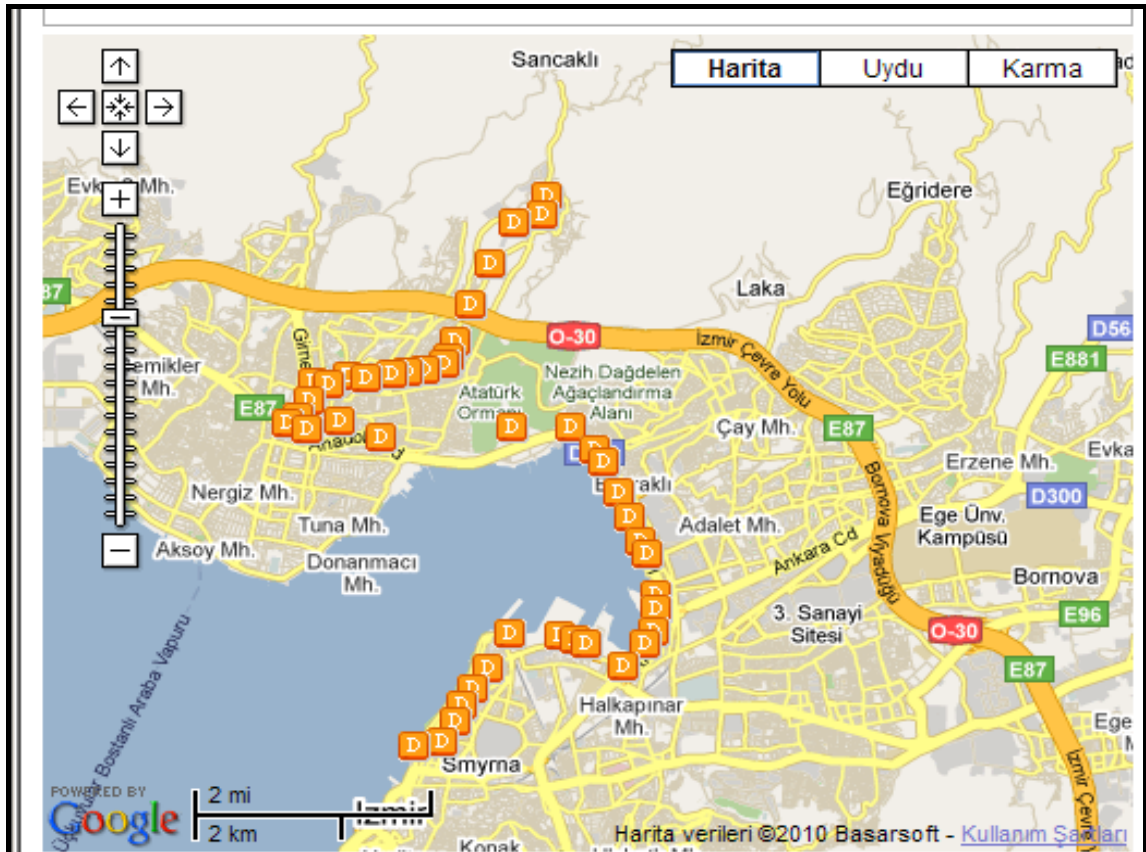
Ek-14 İzmir ili 148 nolu hat güzergah ve durak haritası



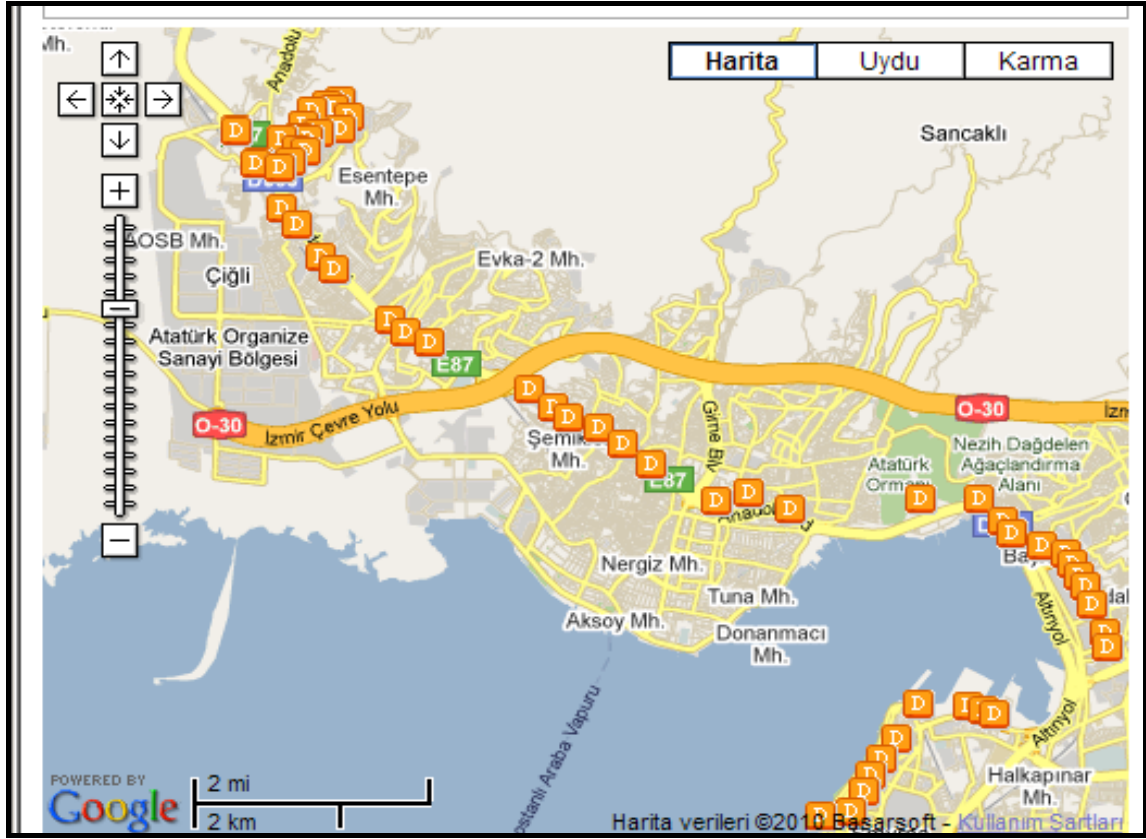
Ek-15 İzmir ili 163 nolu hat güzergah ve durak haritası



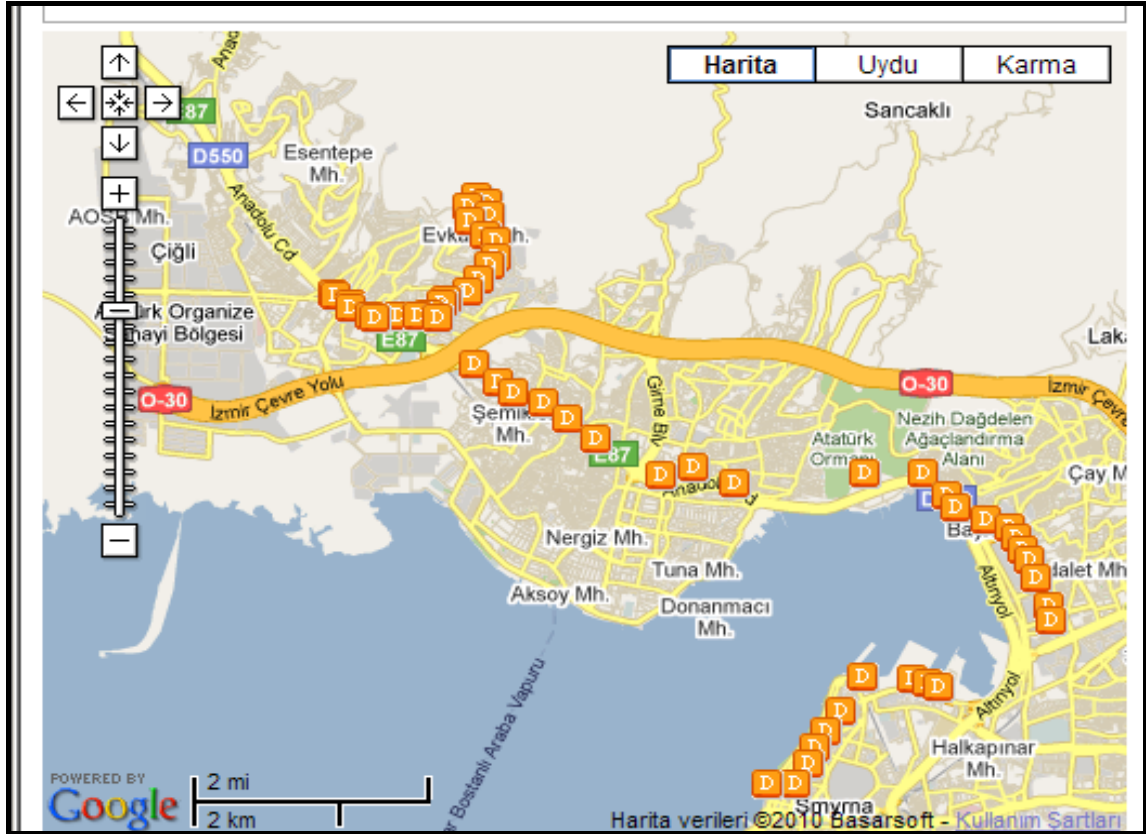
Ek-16 İzmir ili 198 nolu hat güzergah ve durak haritası



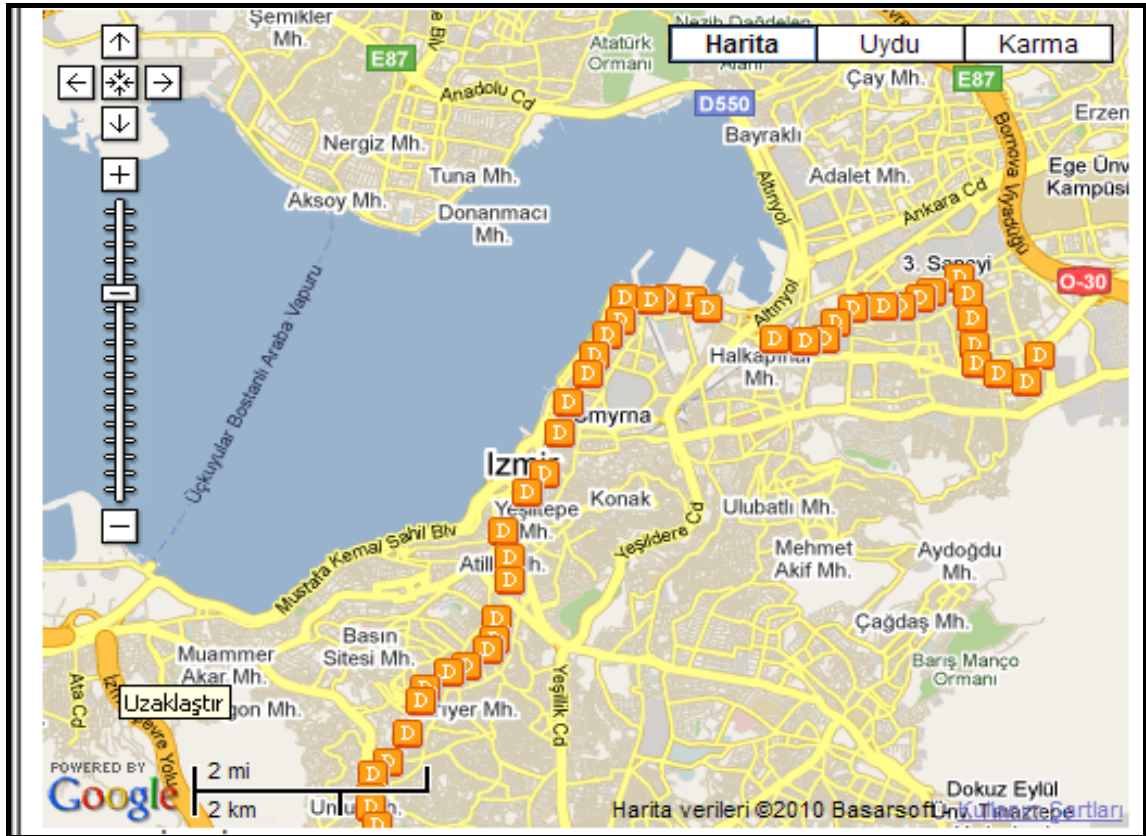
Ek-17 İzmir ili 246 nolu hat güzergah ve durak haritası



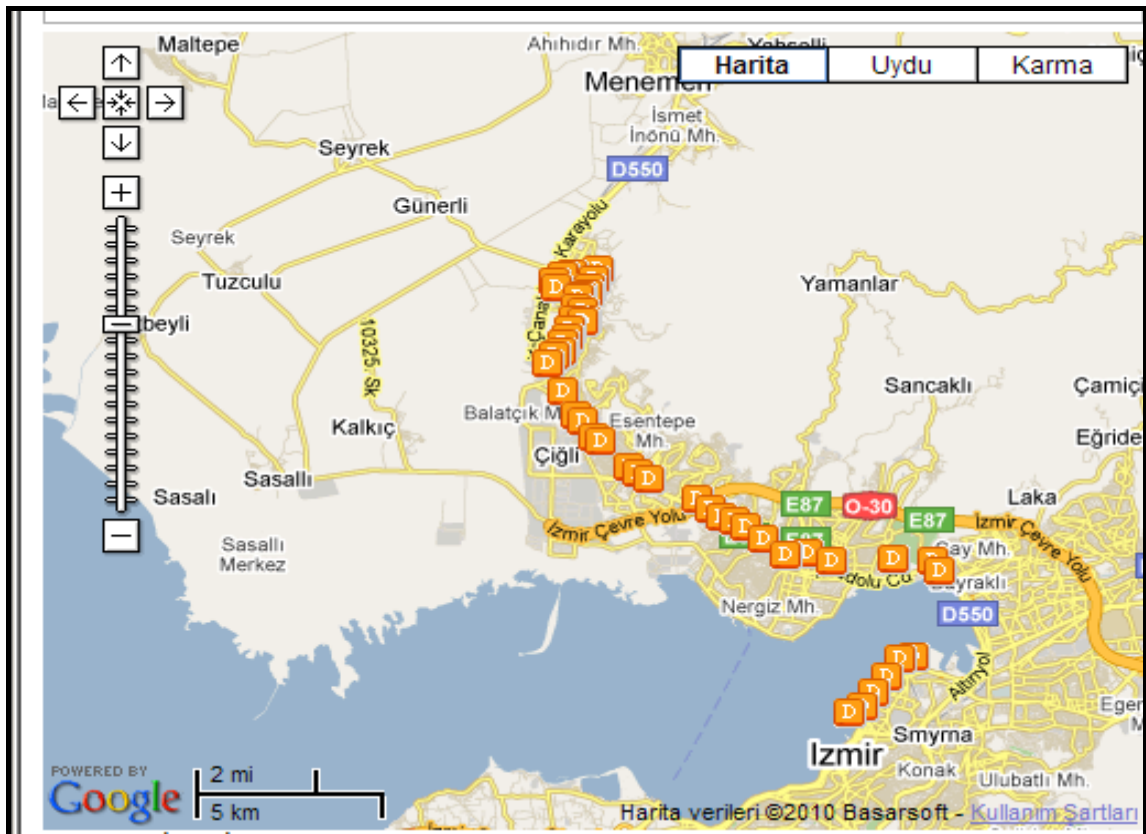
Ek-18 İzmir ili 247 nolu hat güzergah ve durak haritası



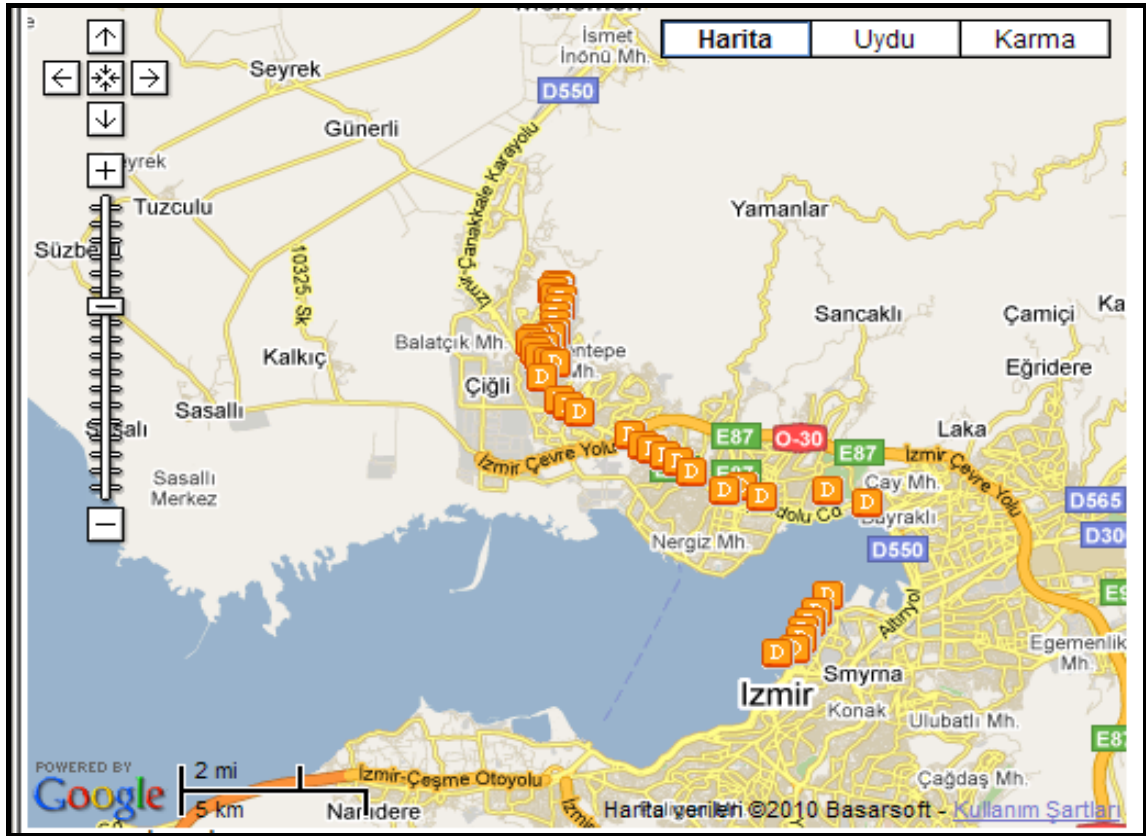
Ek-19 İzmir ili 250 nolu hat güzergah ve durak haritası



Ek-20 İzmir ili 295 nolu hat güzergah ve durak haritası



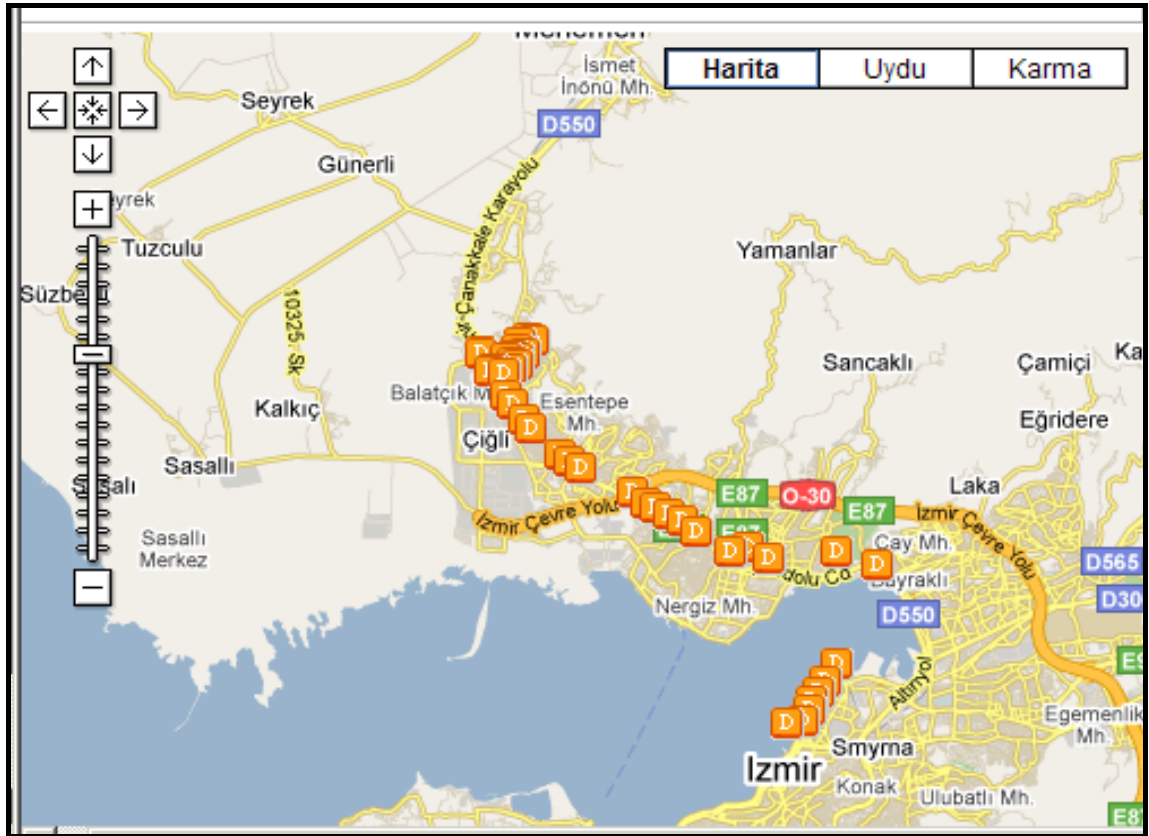
Ek-21 İzmir ili 342 nolu hat güzergah ve durak haritası



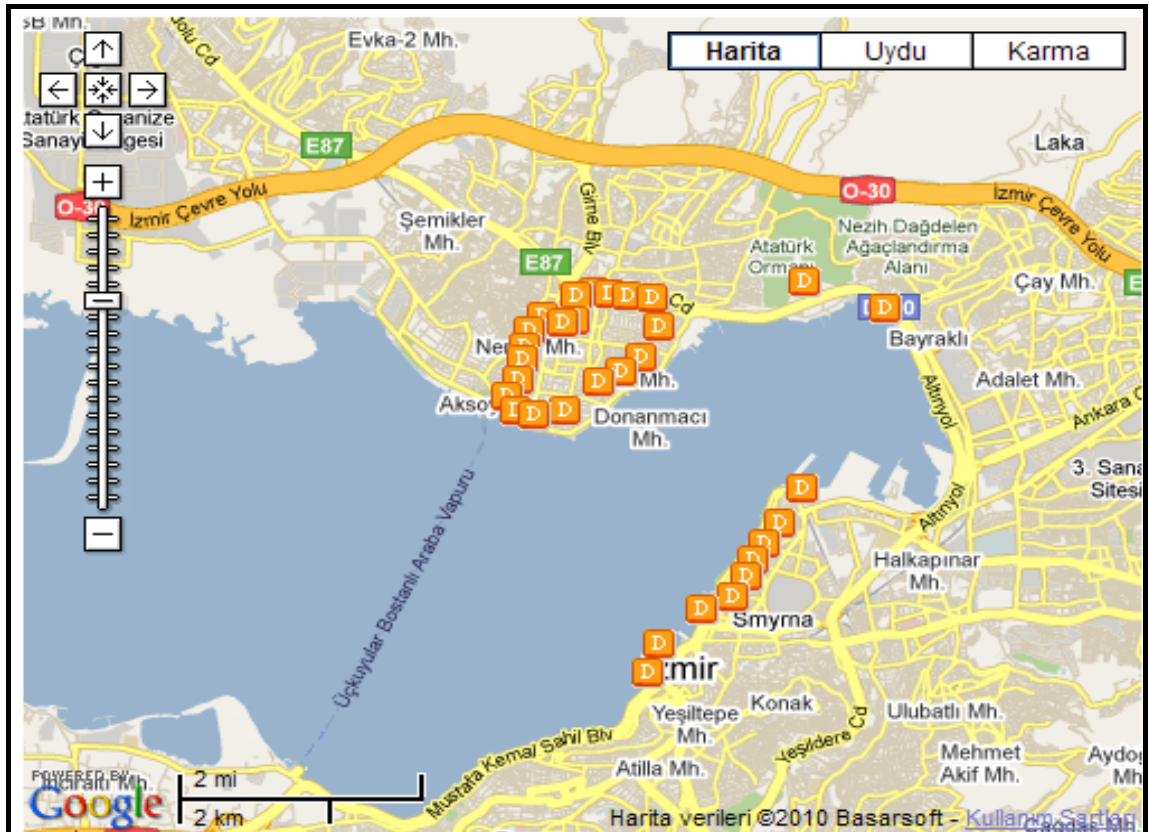
Ek-22 İzmir ili 344 nolu hat güzergah ve durak haritası



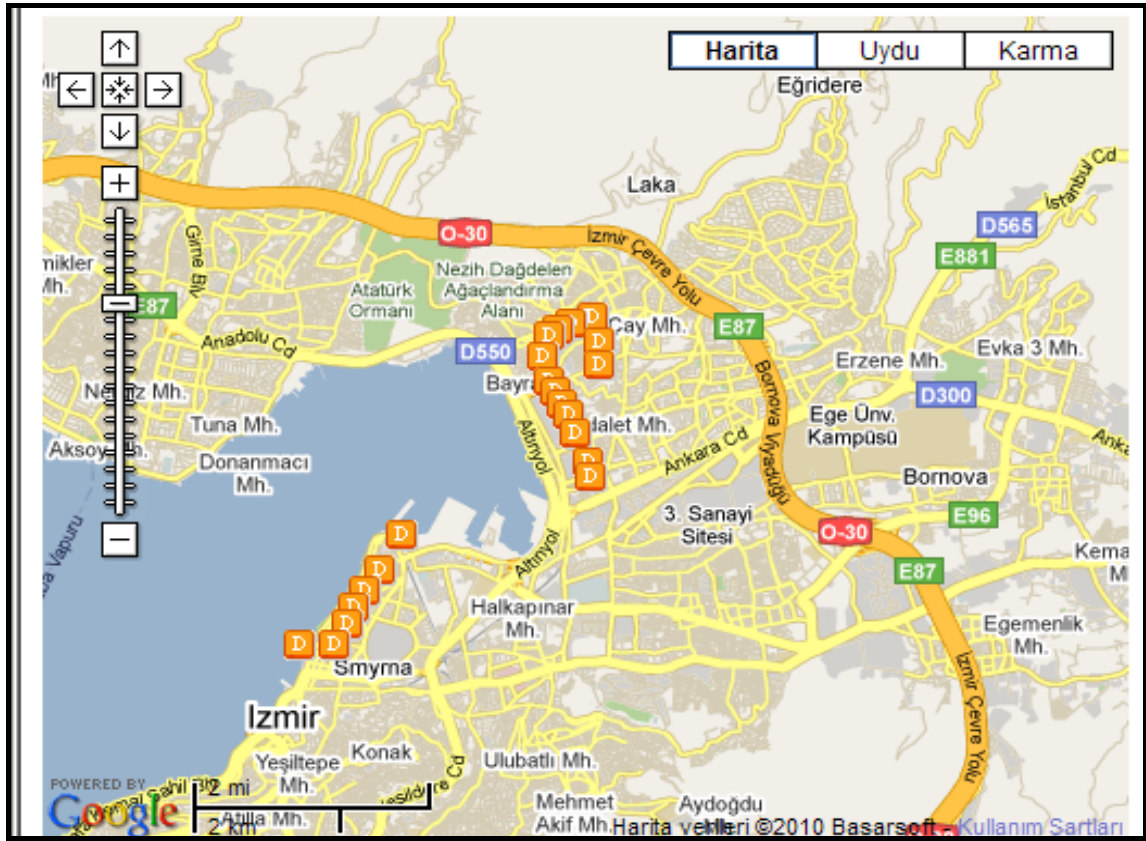
Ek-23 İzmir ili 346 nolu hat güzergah ve durak haritası



Ek-24 İzmir ili 361 nolu hat güzergah ve durak haritası



Ek-25 İzmir ili 498 nolu hat güzergah ve durak haritası



Ek-26 İzmir ili 576 nolu hat güzergah ve durak haritası



ÖZGEÇMİŞ

Nurcan ULUDAĞ, 7 Haziran 1979 tarihinde Urfa' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Antalya'da tamamladı. 2001 yılında Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2005 yılında Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Ulaştırma alanında yüksek lisans eğitimini tamamladı. Aralık 2002-Mayıs 2005 tarihleri arasında Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde görev yaptı. Halen özel bir şirkette İnşaat Mühendisi olarak görev yapmaktadır.