

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ULAŞTIRMA BİLİM DALI**

**HEDEF PROGRAMLAMA YÖNETİMİ İLE OTOBÜS SEFER
SAYILARININ TESPİT EDİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUHAMMED DEMİRKOLLU

DENİZLİ, MAYIS - 2017

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ULAŞTIRMA BİLİM DALI



**HEDEF PROGRAMLAMA YÖNTEMİ İLE OTOBÜS SEFER
SAYILARININ TESPİT EDİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUHAMMED DEMİRKOLLU

DENİZLİ, MAYIS - 2017

KABUL VE ONAY SAYFASI

Muhammed DEMİRKOLLU tarafından hazırlanan “HEDEF PROGRAMLAMA YÖNTEMİ İLE OTOBÜS SEFER SAYILARININ TESPİT EDİLMESİ” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 10.05.2017 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Yetiş Şazi MURAT (PAÜ)

Üye
Doç. Dr. Özcan MUTLU (PAÜ)

Üye
Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÖZUYSAL (DEÜ)

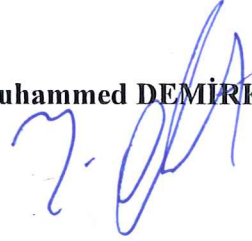
Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
07/106/2017 tarih ve ... 22/30 ... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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 atfedildiğine beyan ederim.

Muhammed DEMİRKOLLU



ÖZET

**HEDEF PROGRAMLAMA YÖNTEMİ İLE OTOBÜS SEFER
SAYILARININ TESPİT EDİLMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MUHAMMED DEMİRKOLLU
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ULAŞTIRMA BİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. YETİŞ ŞAZİ MURAT)
DENİZLİ, MAYIS - 2017**

Bu tez çalışmasında kent içi toplu ulaşım sistemlerini ele alınarak ve bu sistemlerden en yaygın olarak kullanılan karma trafikte otobüs işletmeciliği hedef programlama ile incelenmektedir.

Ülkemizde ve dünyada sürekli artan nüfusla birlikte toplu ulaşım sistemlerinin önemi gün geçtikçe daha da ön plana çıkmaktadır. Artan nüfusla birlikte kişisel araçların da artması trafik sorunlarına yol açmakta ve çözümler aranmaktadır.

Toplu ulaşım sistemlerinin sürdürülebilirliği ve planlanması bu çözümlerin başında gelmektedir. Toplu ulaşım yapılacak yatırımların ekonomik maliyetlerinin fazla olması, yönetimleri karar almakta zor durumda bırakmaktadır. Bununla birlikte yapılan yatırımların iyi işletilmesi ve planlı hareket edilmesi işletme maliyetlerini düşürebilmektedir.

Sürdürülebilir bir toplu ulaşım için günlük sefer sıklıkları yüksek önem arz etmekte özellikle gün içerisinde zirve saatlerde yapılması gereken seferlerin yolcu taleplerine göre hesaplanması gerekmektedir. Bu gereklilik tezimizde doğrusal en iyileme mantığına göre hesaplanmış ve günlük sefer sayıları veriler göre yeniden tespit edilmiştir. Tezin içeriğinde, Denizli ilinde otobüs işletmesinin günlük seferleri incelenmekte ve günlük seferlerin sıklıkları ile ilgili önerilerde bulunmaktadır.

ANAHTAR KELİMELER: Toplu Ulaşım, Doğrusal Programlama, Karar Destek Analizleri, Sefer Sıklığı, Toplumsal Fayda, Otobüs

ABSTRACT

DETERMINATION OF AN IDEAL FREQUENCY OF DAILY BUS TRIPS WITH GOAL PROGRAMMING METHOD

MSC THESIS

MUHAMMED DEMIRKOLLU

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CIVIL ENGINEERING

TRANSPORTATION DEPARTMENT

(SUPERVISOR:PROF. DR. YETIS SAZI MURAT)

DENİZLİ, MAY 2017

In this thesis study, urban public transportation systems in Turkey are examined and specifically, bus operations in the mixed traffic. This system is researched by the method of goal programming.

With the ever-increasing population in our country and in the world, the importance of public transportation systems is getting more and more important. Increasing populations in personal private car use causes traffic problems and therefore, solutions are sought.

Sustainability and planning of public transport systems are at the forefront of these solutions. As economic costs of public transportation investments are high, these decisions are especially difficult to manage. In addition to this, it is possible to decrease the operating cost by operating the planned investments constructively.

The frequency of daily service frequency is of high importance for sustainable public transport. Therefore, especially at peak times during the day, passenger demand must be calculated. This requirement has been calculated according to the linear function and the number of daily service frequency has been re-determined according to the data. In the content of dissertation, daily service frequency of bus operation system in Denizli Turkey province are examined and suggestions about the frequency of daily trips are offered.

KEYWORDS: Public Transportation, Linear Integer Programming, Decision Support Analysis, Voyage Frequency, Social Benefit, Bus

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
1. GİRİŞ	10
1.1 Toplu Ulaşım	10
1.2 Amaç	13
1.3 Kapsam	15
2. LİTERATÜR TARAMASI	17
2.1 Giriş	17
2.2 Sefer Sıklıklarının Belirlenmesi	17
3. TOPLU ULAŞIMDA OTOBÜS SİSTEMLERİ	29
3.1 Karma Trafik Otobüs Sistemleri	29
3.2 Metrobüs (RBS, BRT, Hızlı Otobüs) Sistemleri	32
3.3 Denizli Toplu Ulaşımında Otobüs Sistemi.....	36
3.3.1 Denizli.....	36
3.3.2 Denizli Ulaşım A.Ş.	36
3.3.3 Güzergah Yapısı	37
3.3.4 Denizli İli 2015 Yılı'nın Toplu Ulaşım Verileri	39
4. DOĞRUSAL HEDEF PROGRAMLAMA	43
4.1 Çok Amaçlı Karar Verme.....	43
4.2 Çok Amaçlı Karar Vermenin Tarihsel Gelişimi.....	44
4.3 Hedef Programlama.....	45
4.3.1 Hedef Programlamanın Gelişimi	45
4.3.2 Hedef Programlamanın Uygulama Alanları	46
4.3.3 Hedef Programlamanın Kavramları.....	47
4.3.4 Hedef Programlama Modelinin Oluşturulması.....	48
4.4 Doğrusal Hedef Programlama Çözüm Yöntemleri	52
4.4.1 Grafik Yöntem:	53
4.4.2 Ardışık-İteratif Problem Çözüm Yöntemi:	53
4.4.3 Değiştirilmiş Simpleks Yöntemi.....	54
5. OTOBÜS HAT ANALİZ MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ	57
5.1 Giriş	57
5.2 Otobüslerin Günlük Sefer Sayılarının Doğrusal Hedef Programlama ile Modellenmesi	57
5.2.1 Problemin Tanımı	57
5.2.2 Verilerin Derlenmesi ve Analizleri	58
5.2.3 Günlük Sefer Sayısı Modelinin Geliştirilmesi.....	62
5.2.4 WinQSB Programı	65
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	68
6.1 Günlük Sefer Modelinin Sonuçları.....	68
6.2 Arttırılmış Seferlerin Saatlik Dağıtımı	78

6.3	Model Sefer Dağılımının Sağlanması	80
6.4	Model Sonuçlarının Maliyet İncelenmesi	83
6.5	Tartışma ve Öneriler.....	87
7.	KAYNAKÇA	89
8.	EKLER.....	93
	EK A Denizli İli Otobüs Hatları	93
	EK A.1. 1 Numaralı Otobüs Hattı	93
	EK A.2. 2 Numaralı Otobüs Hattı	93
	EK A.3. 3 Numaralı Otobüs Hattı	94
	EK A.4. 4 Numaralı Otobüs Hattı	94
	EK A.5. 5 Numaralı Otobüs Hattı	95
	EK A.6. 6 Numaralı Otobüs Hattı	95
	EK A.7. 6/1 Numaralı Otobüs Hattı	96
	EK A.8. 7 Numaralı Otobüs Hattı	96
	EK A.9. 7/1 Numaralı Otobüs Hattı	97
	EK A.10. 7/2 Numaralı Otobüs Hattı	97
	EK A.11. 7/3 Numaralı Otobüs Hattı	98
	EK A.12. 8 Numaralı Otobüs Hattı	98
	EK A.13. 9 Numaralı Otobüs Hattı	99
	EK A.14. 9/2 Numaralı Otobüs Hattı	99
	EK A.15. 10 Numaralı Otobüs Hattı	100
	EK A.16. 11 Numaralı Otobüs Hattı	100
	EK A.17. 11/3 Numaralı Otobüs Hattı	101
	EK A.18. 12 Numaralı Otobüs Hattı	101
	EK A.19. 13 Numaralı Otobüs Hattı	102
	EK A.20. 14 Numaralı Otobüs Hattı	102
	EK A.21. 14/1 Numaralı Otobüs Hattı	103
	EK A.22. 15 Numaralı Otobüs Hattı	103
	EK A.23. 17 Numaralı Otobüs Hattı	104
	EK A.24. 18 Numaralı Otobüs Hattı	104
	EK A.25. 19 Numaralı Otobüs Hattı	105
	EK A.26. 20 Numaralı Otobüs Hattı	105
	EK A.27. 21 Numaralı Otobüs Hattı	106
	EK A.28. 22 Numaralı Otobüs Hattı	106
	EK A.29. 23 Numaralı Otobüs Hattı	107
	EK A.30. 24 Numaralı Otobüs Hattı	107
	EK A.31. 25 Numaralı Otobüs Hattı	108
	EK A.32. 26 Numaralı Otobüs Hattı	108
	EK A.33. 27 Numaralı Otobüs Hattı	109
	EK A.34. 28 Numaralı Otobüs Hattı	109
	EK A.34. 28 Numaralı Otobüs Hattı*	110
	EK A.35. 28/1 Numaralı Otobüs Hattı	110
	EK A.36. 29 Numaralı Otobüs Hattı	111
	EK A.37. 30 Numaralı Otobüs Hattı	111
	EK A.38. 31 Numaralı Otobüs Hattı	112
	EK A.39. 32 Numaralı Otobüs Hattı	112
	EK A.40. 33 Numaralı Otobüs Hattı	113
	EK A.41. 34 Numaralı Otobüs Hattı	113
	EK A.42. 35 Numaralı Otobüs Hattı	114
	EK A.43. 36 Numaralı Otobüs Hattı	114

9. ÖZGEÇMİŞ	115
--------------------------	------------

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Bir hattaki yolcu sayısının saatlik değişimi.	19
Şekil 3.2: Denizli Ulaşım A.Ş Otobüsleri.	29
Şekil 3.3: Chicago Metrobüsü 1937.....	33
Şekil 3.4: Denizli Ulaşım A.Ş. otobüs güzergahları ağı.	37
Şekil 3.5: Güzergah etkin alan haritası 1.	38
Şekil 3.6: Güzergah etkin alan haritası 2.	38
Şekil 3.7: Denizli etkin alan haritası durak yoğunluğu.	39
Şekil 3.8: 2015 yılı en yoğun gün grafiği.....	39
Şekil 3.9: 2015 yılı nisan en yoğun ay grafiği.	40
Şekil 3.10: 2015 yılı aylık yolcu binişleri grafiği.	40
Şekil 3.11: 2015 yılı saatlik biniş verileri grafiği.....	41
Şekil 3.12: 2015 yılında en yoğun kullanılan 10 otobüs durağı.....	42
Şekil 3.13: Binişlerin en yoğun olduğu durakların harita üzerinde gösterimi. .	42
Şekil 4.1: Değiştirilmiş başlangıç simpleks çizelgesi.	54
Şekil 5.1: Denizli Ulaşım A.Ş. Güzergah Ağı.	60
Şekil 5.2: Gidiş yönü doğrultusunda veri girdisi program ekranı alıntısı.	66
Şekil 5.3: Dönüş yönü verilerine göre elde edilen sonuçların ekran alıntısı.....	67
Şekil 5.4: Gidiş ve Dönüş yönü verileri GSMOD WinQSB çözüm ekranı.	67
Şekil 6.1: 27.04.2015 Sistem ve Model Sefer Sıklıkları Grafiği.	69
Şekil 6.2: 18.09.2015 Sistem ve Model Sefer Sıklığı Grafiği.....	71
Şekil 6.3: 19.04.2015 Sistem ve Model Seferleri Grafiği.	72
Şekil 6.4: 27.04.2015 Kış Sezonu Toplumsal fayda oranlarında arttırılmış sefer sayıları grafiği.	75
Şekil 6.5: 18.09.2015 Yaz sezonu toplumsal fayda oranlarında arttırılmış sefer sayıları grafiği.	77
Şekil 6.6: 19.04.2015 Hafta sonu pazar toplumsal fayda oranlarında arttırılmış sefer sayıları grafiği.	78
Şekil 6.7: 27.04.2015 Kış sezonu saatlik yolcu binişi grafiği.....	79
Şekil 6.8: 18.09.2015 Yaz sezonu saatlik yolcu binişi grafiği.	79
Şekil 6.9: 19.04.2015 Hafta sonu pazar saatlik yolcu binişi grafiği.	80
Şekil 6.10: 19.04.2015 Hafta sonu pazar saatlik yolcu binişi grafiği.	81
Şekil 6.11: 19.04.2015 Hafta sonu pazar saatlik yolcu binişi grafiği.	81
Şekil 6.12: 20 Numaralı hat yüzdeler sefer dağılımı grafiği.....	81

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1: Seçilmiş Metrobüs ve Raylı Sistem Proje ve Maliyetleri (Cirit 2014).	34
Tablo 3.2: Metrobüs Sistemlerinin Faydaları.	35
Tablo 5.1: Denizli Ulaşım A.Ş. Güzergah Hat Numaraları ve İsimleri.	58
Tablo 5.2: Modelin geliştirilmesinde kullanılan hat ve araç verileri.	61
Tablo 6.1: 27.04.2015 Kış Sezonu Mevcut Durum Sefer Sıklık Değerleri – GSMOD Model Sonuçları.....	68
Tablo 6.2: 18.09.2015 Yaz Sezonu Mevcut Durum Sefer Sıklık Değerleri – GSMOD Model Sonuçları.....	70
Tablo 6.3: 19.04.2015 Pazar Günü Mevcut Durum Sefer Sıklık Değerleri – GSMOD Model Sonuçları.....	71
Tablo 6.4: Ayakta seyahat eden yolcuların sahip oldukları alanlara göre değerlendirilmesi.	73
Tablo 6.5: Mevcut Durum Sefer Sıklık Değeri – GSMOD + %30 ve +%50 Toplumsal Fayda Artırmalı Sefer Sıklıkları 27.04.2015 Kış Sezonu.	74
Tablo 6.6: Mevcut Durum Sefer Sıklık Değeri – GSMOD + %30 ve +%50 Toplumsal Fayda Artırmalı Sefer Sıklıkları 18.09.2015 Yaz Sezonu.	75
Tablo 6.7: Mevcut Durum Sefer Sıklık Değeri – GSMOD + %30 ve +%50 Toplumsal Fayda Artırmalı Sefer Sıklıkları 19.04.2015 Hafta Sonu Pazar.	77
Tablo 6.8: 2015 Yılı ve 2015 Nisan ayı zaman dilimlerine göre sefer katsayısına göre sefer dağılımları.	82
Tablo 6.9: Kış sezonu 27.04.2015 GSMOD sonuçlarının maliyet değeri.	83
Tablo 6.10: Yaz sezonu 18.09.2015 GSMOD sonuçlarının maliyet değeri.....	84
Tablo 6.11: Pazar hafta sonu 19.04.2015 GSMOD sonuçlarının maliyet değeri..	85
Tablo 6.12: İncelenen günlerin toplumsal faydaya göre değişen maliyetleri tablosu.	86

SEMBOL LİSTESİ

AB	:	Avrupa Birliği
ABD	:	Amerika Birleşik Devletleri
ABYS	:	Akıllı bilet yönetim sistemi
a_i	:	Yükleme parametresi
a_{ij}	:	Teknoloji katsayısını
a_k	:	Önceliğin başarı düzeyi
B	:	Mevcut otobüs sayısı
b_i	:	Sağ taraf değişkenleri
BRT	:	Bus Rapid Transit (Metrobüs-Hızlı Otobüs Sistemi)
C_i	:	Otobüs kapasitesi
C_{v_i}	:	Kullanılan aracın kapasitesi
CNG	:	Compressed Natural Gas (Sıkıştırılmış Doğal Gaz)
DHP	:	Doğrusal hedef programla
d_i^-	:	Negatif sapma değişkeni
d_i^+	:	Pozitif sapma değişkeni
e_{is}	:	Temel dışı değişken satır elemanı
GSMOD	:	Günlük Sefer Modeli
HP	:	Hedef programlama
HRS	:	Hafif Raylı Sistem
I_{ks}	:	Temel dışı değişken indeks değeri
K_i	:	Yolcu talep değeri
LPG	:	Liquefied Petroleum Gas (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı)
M_T	:	Günlük sistem sefer mesafesi
n_j	:	Tek sefer için kullanılan araçtaki bağımsız parça sayısı
P_{di}	:	Hatta ait tasarım yolcu hacmi
P_{max}	:	Maksimum yolcu yükünün bulunduğu yolcu hacmi
PHC	:	Zirve saat katsayısı
P_k	:	Hedefin önceliği
RBS	:	Rapid Bus System (Metrobüs-Hızlı Otobüs Sistemi)
T	:	Toplam zaman aralığı
t_i	:	Otobüs hattı sefer süresi
TORA	:	Bilgisayar destekli çözüm programı
U_{ik}	:	Temel değişken düzeyi ağırlığı
V	:	Temelde ki değişkenler
w_{ik}	:	Sapma değişkenleri
WinQSB	:	Bilgisayar destekli çözüm programı
W_{ks}	:	Temel dışı değişken düzey ağırlığı
X_i	:	Yapılması gereken sefer sayısı
Z(x)	:	Amaç fonksiyonu
m_i	:	Hat mesafesi
z^0	:	En düşük amaç fonksiyonu değeri
z^1	:	En yüksek amaç fonksiyonu değeri

ÖNSÖZ

Tez çalışmamda ve hayatımın her anında bana desteğini hiçbir zaman desteğini esirgemeyen annem Ümmü DEMİRKOLLU'a, babam Bilal DEMİRKOLLU'a ve ailemin geri kalanına ayrı ayrı teşekkür ederim.

Tezin yazımında bana sağladığı destekten dolayı, bilgi ve birikimine hayran olduğum, çok değerli hocam Prof. Dr. Yetiş Şazi MURAT'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, tezimin yazılmasında bana gösterdiği sabır ve destek için Denizli Ulaşım A.Ş. Genel Müdürü Mak. Müh.Turgut ÖZKAN, Yönetim Kurulu Başkanı Av. Mustafa GONCA ve Denizli Ulaşım A.Ş. Bilgi İşlem Müdürlüğü çalışanları başta olmak üzere tüm mesai arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

1.1 Toplu Ulaşım

Ulaştırma, insanların, bir yerden bir yere belirli bir amaç için yer değiştirmesi, eşyanın bir yerden bir yere taşınması işidir. Medeniyetlerin gelişmesinde ve birbirine etki yapmasında ulaşımın büyük rolü görülür. Ulaşım araçları geliştikçe insanlar birbirine daha çok yaklaşmış, karşılıklı ilişkileri günden güne artmıştır. İlk insanlar, bir yerden başka bir yere gitmek için, önceleri yaya yürürler, yüklerini de ya sırtlarında taşırlar, ya da çok ağırsa peşlerinde sürüklemişlerdir. Ulaşımında en önemli adım atın evcilleştirilmesi olmuştur. Atın evcilleştirilmesi ile birlikte insanlar hem kendilerini hem de yüklerini bineklere taşımaya başlamışlar ve yürüyerek başlayan ulaşım serüveni yeni bir hal almıştır. Ulaşımında ikinci önemli adım ise tekerleğin icadı olmuştur. Ağır yüklerin altına zamanla at arabaları ile ulaştırma toplulaşmaya ve çoğula hitap etmeye başlamıştır. Bu bakımdan toplu ulaşımın atası at arabaları sayılabilir.

Öte yandan, deniz ve su yolları üzerinde ulaşımında tarih boyunca insanlığın A'dan B'ye yolculuğunda yardımcı olmuştur. İçi oyulan bir ağaç kütüğü deniz taşıtlarının doğmasına yol açmış ve yelken, kürek ve dümenin icadıyla birlikte su taşıtları gelişmiştir.

Bütün bu gelişmelerin insanların günlük hayatında büyük etkisi olmuştur. Endüstri alanında, tarım alanında, kültür ve sanat alanlarında ulaşımın faydası çok büyük olmuştur. Yeni icatlar ulaşımın yardımı ile uzaklara götürülebilmemiş, çeşitli tarım ürünleri bir yerden başka bir yere gönderilebilmiştir. İnsanlar seyahat ederek görgü ve bilgilerini artırmış, böylece başka ülkeler hakkında yeni fikirlerle geri dönmüş bu da gelişmeyi hızlandırmıştır.

19. yüzyılda teknik alandaki gelişmelerin ulaşım araçlarına uygulanması sonucu medeniyet alanında büyük ilerlemeler kaydedildi. Buhar makinasının icadı lokomotifin, daha sonra da vapurların icadına yol açtı. Arkasından içten yanmalı

motorlarla, elektrik motorlarının bulunması otomobil ve benzeri çeşitli kara taşıtlarının yapılmasını mümkün kıldı.

Ulaşımında en önemli gelişme hava taşıtlarının icadı ile oldu. 20. yüzyılın başlarında icat edilen uçaklar kısa bir zamanda gelişerek ulaşımın hızlanmasını sağladı. Aynı zamanda önemli bir savaş aracı olan uçak, günümüzün başta gelen taşıma araçlarından oldu. Tüm bu gelişmelerden sonra meydana gelen 1. ve 2. Dünya Savaşları'nın ardından, Dünya nüfusu hızla artmaya başlamış ve artan nüfusla birlikte ulaşım ihtiyacı da nüfusa oranla artış göstermiştir. Ulaşım isteğindeki artışı ile birlikte Dünya'da ulaşım araçlarının da sayıları giderek artmaya başlamış ve beraberinde yeni birçok problemi doğurmuştur. Trafik kazaları, meydana gelen manevi ve maddi kayıplar, egzoz emisyonundan dolayı çevreye verilen zararlar, trafik sıkışıklığı ve trafikte kaybedilen zaman, taşıtların sebep olduğu gürültü kirlilikleri ve karbona dayalı yakıtlara duyulan ihtiyacın artması vb. durumlar söz konusu problemlerden yalnızca birkaçıdır.

Problemlerin yanı sıra gezegenler arası ulaşım konusunda son hız çalışan insanlık bu defa uzay mekikleri ve uzayda yolcu taşıyacak cihazların gelişimi için şu an çok başta olmasına rağmen çalışmalarına hızla devam ettirmektedir.

Toplu taşımacılık, kişisel araç kullanılmadan yapılan yolculuklar için kullanılan tüm ulaşım sistemlerine verilen genel addir. Bu taşıma sisteminde birden fazla yolcu taşınmakla, enerji tasarrufu yapılır. Toplu taşımacılık, şehir içi ve şehirlerarası olabilir. Genel olarak raylı sistemler ve otobüsler ile yapılırsa da, havayolları, feribotlar ve dolmuşları da kapsamakta, halkın bir yerden başka bir yere ulaşımını sağlaması amaçlamaktadır. Çalışanların ve öğrencilerin taşımacılığında Türkiye'de toplu taşımacılığa özel sektörün katkılarının olduğu bilinmektedir.

İnsanlar toplu taşıma araçlarını daha çok kullanmalıdır, çünkü şu anda etkisini gösteren küresel ısınmanın nedenlerinden biri de araçlardan çıkan egzoz dumanlarıdır. Toplu taşıma araçlarında daha çok insan taşındığı için kişi başına egzoz gazı üretimi azalacak ve egzoz gazı kaynaklı kirliliğin azalması sağlanacaktır (Wikipedia 2016).

Toplu taşıma araçları kullanımları esnasında uyulması gereken kurallar, yukarıda da belirtildiği gibi küresel ısınma faktörünü azaltacak, kişi başına düşen egzoz emisyonunu minimum seviyeye indirecektir. Bununla birlikte toplu ulaşımda hem özel sektörün hem de devletin optimum maliyet ve maksimum faydayı elde etmesi gerekmektedir. Bu nedenle günümüzde birçok çalışma yapılmaktadır.

Ülkemizde özellikle büyük şehirlerde artan nüfusla birlikte yerleşim ve işyeri bölgelerinin geniş bir alana yayılması yolculuk talebinde önemli artışlara yol açmıştır. Bu koşullar altında artan yolculuk talebi, bir yandan sınırlı toplu taşımacılık olanaklarını zorlarken öte yandan özel araç kullanımında artışa neden olmaktadır. Bunların sonucunda, büyük şehirlerimizde önemli bir sorun haline gelen ve ileride daha da artacağı beklenen kenti içi ulaşımı; hava kirliliği, gürültü kirliliği, stres, trafik sıkışıklığı, zaman kaybı, serbest yaya hareketlerinin kısıtlanması gibi nedenlerle yaşam kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle ulaşım imkânlarının özellikle toplu ulaşımının; kolaylık, zaman, fiyat ve konfor bakımından kalitesinin artırılması kentlerimiz için hem sosyal hem de ekonomik gelişmeyi hızlandırmaktadır.

Ulaşım stratejilerini oluşturan kararların, ekonomik gelişmeyi destekleyici, yaşam kalitesini yükseltici, kent güvenliğini ve ulaşım sistemlerinin güvenilirliğini artırıcı, hava kirliliği ve iklim değişikliğine en az zarar verecek şekilde hazırlanmasına dikkat edilmekte, bununla kentin ulaşım kaynaklı diğer sorunlarına çözüm üretilmesi amaçlanmaktadır. Kentlerimizin gelecekte yaşanabilir ve sağlıklı bir şehir olabilmesi amacıyla, insan öncelikli, sağlıklı ve sürdürülebilir ulaşım modelleri uygulanması amacıyla, bireysel araç kullanımının azaltılması, toplu taşımanın geliştirilmesi ile yaya ve bisiklet kullanımının artırılması konusunda planlama çalışmaları yapılmaktadır.

Kent içi yolcu taşımacılığında en çok kullanılan toplu taşıma aracı otobüslerdir. Otobüs hizmetleri kentin tüm yerleşik alanını çeşitli ringlerle bir ağ gibi sarar. Otobüsler diğer toplu taşıma araçlarına göre daha az altyapı yatırımları gerektirmekte ve tek bir hat üzerinde yolcu taşıma zorunluluğu olmadığından, yollarda daha rahat hareket olanağı bulabilmektedir. Kent içi ulaşımda özellikle büyük kentlerde otobüs arzı disipline edilmemiş, benzer bir sorun talebin yapısında da ortaya çıkmıştır (Abbasgil 1994).

Bu çalışmanın temel amacı ülkemizde ve dünyada toplu ulaşım sistemlerinin günlük seferlerinin ve sefer sıklıklarının incelenmesidir. Tezin kapsamı, toplu ulaşım sistemi alt yapısından elde edilen verilerin doğrusal hedef programlama ile analiz edilmesine dayanarak en uygun günlük otobüs toplu ulaşım seferlerinin belirlenmesi ve toplu ulaşım sistemlerinin sürdürülebilir bir şekilde tesisi için gereken adımların tespit edilmesi olarak özetlenebilir. Bu kapsamda, tez çalışmasında Denizli Büyükşehir Belediyesi Ulaşım A.Ş.'ye ait verilere yer verilmekte ve bu veriler ışığında mevcut günlük seferlerin yeniden incelenmesiyle sistem veriminin artırılması düşünülmüştür.

1.2 Amaç

Bir ulaştırma sisteminin amacı, kullanıcıya gereksinimin en güvenli, en kısa, en ucuz ve konforlu olarak sağlanmasıdır. İşletmeci açısından ise ulaştırma maliyeti en küçükleyen ve kârı en büyüklenen biçimde talebi karşılayacak bir hizmet üretmektir. Asıl önemli olan ise, dışsal etkileri de kapsamak üzere, kamu yararının gözetilmesidir.

Hangi açıdan bakılırsa bakılsın ulaştırma sisteminin bir bütün olarak görülmesi gerekir. Yani, alt sistemlerin ayrıık olarak en iyi çözümlerinin bulunması yerine alt sistemlerinin dahil olduğu sistemin bir bütün olarak en uygun çözüm olması amaçlanmalıdır.

Günümüzde büyük kentlerin ulaştırma sorunlarının çözümünün toplu taşımanın etkin işletilmesine bağlı bulunduğu genel kabul gören bir ilkedir.

İnsanların toplu taşımadan beklentiler ise, güzergah yapısı, zaman, yolcu kapasiteleri, doluluk oranları vb. gibi kullanıcı tercihlerini etkileyen etmenlerdir.

Sürdürülebilirlik günümüzün önemli ve gündemde olan kavramlarından biridir. Bu kavrama ilişkin genel kabul gören bir tanımlama yoktur. Başlangıçta enerji ve çevreyle ilgili kaygılardan kaynaklanan bir yaklaşımla tanımlanan kavramın kapsamı zaman içinde genişlemiştir. Ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan ulaştırmanın sürdürülebilirlik amaçlarına olumsuz etkileri şöyle özetlenebilir:

Ekonomik açıdan:

- Trafik tıkanıklığının maliyeti
- Kaza maliyetleri
- Ulaştırma altyapı maliyetleri
- Kullanıcının ulaşım maliyetleri
- Yenilenemeyen kaynakların tükenmesi

Sosyal açıdan:

- Etkilerin eşitsizliği
- Hareketliliğin zarar görmesi
- İnsan sağlığına etki
- Toplumsal uyum
- Yaşana bilirlilik
- Estetik

Çevresel açıdan:

- Hava kirlenmesi
- İklim değişikliği
- Doğal yaşam alan kaybı
- Su kirliliği
- Hidrolojik etkiler
- Gürültü kirliliği

Ulaştırma etkinliklerinin, sürdürülebilirliğe çok yönlü ve birbirleri ile çelişen etkileri olduğu için, bir sorunu çözerken diğerlerini ağırlaştırıcı stratejilerden sakınmak, çok amaçlılık niteliğine uygun stratejiler belirlemek ve kapsamlı planlama yapmak önem taşımaktadır. Aksi halde sürdürülebilir çözümler oluşturulamaz.

Geleneksel planlamada, örneğin otomobillerin yarattığı tıkanıklığının toplu taşımaya ve yayalara zararı önemsizmiş gibi otomobillere öncelik verilirken,

sürdürülebilirlik doğrultusundaki stratejilerde yaya ve bir yandan bisiklet kullanımı ve toplu taşımaya destek verilirken, öte yandan otomobillerin kısıtlanması söz konusu olabilmektedir.

Sürdürülebilir ulaşım açısından, ekonomik göstergeler yanında, doğrudan ölçülmesinin güçlüğüne karşın, hava ve gürültü kirliliği, düşük gelirli durumlarının iyileştirilmesi, engellilere sağlanan hareketlilik olanakları, yürüme ve bisiklet kullanabilme koşullarının iyileştirilmesi, nitelikli doğal yaşam alanlarının korunması, estetik çevre görünümü gibi göstergelere de özel önem verilmektedir.

Kısacası sürdürülebilir toplu ulaştırma yaklaşımı, geleneksel değer tanımlamalarına ve yaklaşımına göre köklü denilebilecek bir anlayış değişimini gerektirmektedir. Bunun sonucu olarak dolaylı ve dolaysız olası tüm etkilerin kapsamlı analizi, bu bağlamda talep analizi yönteminin yeniden geliştirilmesi konularını gündeme getirmektedir (Transist 2010).

Toplu ulaştırma sistemlerine yönelik olarak birçok strateji geliştirilmekte ve analizler yapılmaktadır. Mühendisliğin önemli ilkelerinden olan ekonomik verimlilik ve kaynakların korunması, çevreye ve topluma uyum açısından etkin stratejinin ulaştırma talep yönetimi olduğu konusunda görüş birliği bulunmaktadır.

Bu nedenle çalışmamızda en verimli toplu ulaşım sistemi için incelemeler ile toplumun A noktasından B noktasına en iyi şekilde ulaştırılması amaçlanmıştır. Karar aşamasında doğrusal hedef programlama ile en uygun sefer sayısında ve bu seferlerin gün içerisinde talebe göre dağıtılması konusunda önerilerde bulunmaktadır.

1.3 Kapsam

Bu çalışma 6 bölümden oluşmaktadır.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde literatür taraması ile daha önce sefer sıklıkları ve günlük sefer çizelgeleri üzerinde yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Üçüncü bölümde, toplu ulaşımda otobüs sistemleri ve metrobüs sistemleri hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca Denizli Büyükşehir Belediyesi'nin kuruluşu olan Ulaşım A.Ş. verilerinin değerlendirilmesi ve genel bilgiler bulunmaktadır.

Dördüncü bölümde tez çalışmasında kullanılan çok amaçlı karar verme yöntemlerinden doğrusal hedef programlama hakkında bilgiler verilmektedir.

Beşinci bölümde Denizli ili için oluşturulan günlük sefer sayısı modeli (GSMOD) bulunmakta, sefer sayılarının analizini yapmak için belirlenen kısıtlardan, amaç fonksiyonunun ne olduğundan ve bu modelin çözümü yapılan paket program Win QSB'den ve bu program açıklanmaktadır.

Altıncı bölümde geliştirilen modelden elde edilen çıktılar ve bu çıktıların sonuçlarının değerlendirilmesi, otobüs hatlarına günlük sefer dağıtımı, maliyet analizleri ve öneriler bulunmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Giriş

Bu bölümde geçmişte otobüs sefer sıklıklarının belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir. Literatürde bulunan sefer sıklıklarının belirlenmesi üzerine çalışmalar detaylıca incelenmiş ve çözümümüze yol göstermesi düşünülmüştür. Ayrıca tezin modellenmesinde kullanılan hedef programlama tekniklerinin toplu taşıma problemlerine uygulandığı literatür çalışmaları da özetlenmiştir.

2.2 Sefer Sıklıklarının Belirlenmesi

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. Bu noktada ülkemizde ve dünya genelinde konu ile ilgili birçok çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar doğrultusunda sefer sayıları yeniden bulunmuş ve sefer çizelgeleri oluşturulmuştur.

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). Bu çalışmanın içerisinde otobüs rotalarına göre teorik hesaplamalar ve gerçek hayatta karşılaşılan yolcu davranışları ile yolculara sunulan hizmetlerin karşılığı olarak hesaba katılmıştır. Hizmet standartları olarak, kalabalıklık seviyesi, izin verilen ayaktaki maksimum yolcu sayısı, otobüs geliş aralıklarının alt ve üst sınırları ile ifade edilmektedir.

Belirtilen bu hizmet standartları, tahmini olarak ortaya konulmamalı, belirlenen kriterlere dayandırılarak pekiştirilmelidir. Sefer sıklığının koşullara ve kapasiteye göre gereksiz yere yükseltilmesi masrafların artmasına neden oluşturacak yanlış bir yaklaşım olacaktır. Tedbirli ve mantıklı bir toplu taşıma işletme sistemi, artan sefer sıklığı ve gerektireceği yatırım arasında optimum dengeyi sağlamalıdır. Uygun sefer sıklığı sistemi oluşturulurken, sistem üzerinde yapılacak olası değişikliklerinin hassaslık analizinin de yapılması oldukça önemlidir (Uludağ, 2010).

Sefer sayılarının, sıklıklarının ve çizelgelerinin belirlenmesine yönelik birçok toplu ulaşım analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde en uygun sefer sayısı, bu sefer sayılarına göre belirli zaman aralıklarında sıklıkların belirlenmesi ve oluşturulabilecek çizelgeler ile ilgili çalışmalardan bazıları şu şekildedir.

Vuchic (2005), geliştirmiş olduğu ampirik bağıntıların kullanıldığı yöntemde her hattın zirve saat içerisinde maksimum yolcu yükünün bulunduğu kesim belirlenmekte, bu kesimdeki yolcu sayısı ve otobüs kapasitesinden yararlanılarak her hat için en ideal sefer sıklığı aşağıdaki denklem yardımı ile bulunmaktadır.

$$f_i = \frac{P_{di}}{a_i \cdot C_{vi} \cdot n_i}, \quad P_{di} = P_{max\ i} \cdot PHC_i \quad (2.1)$$

Denklemlerdeki

P_{di} : ‘i’nci hatta ait tasarım yolcu hacmi,

a_i : Yükleme parametresi,

C_{vi} : Kullanılan aracın kapasitesi,

n_j : Tek sefer için kullanılan araçtaki bağımsız parça sayısını,

$P_{max\ i}$: Maksimum yolcu yükünün bulunduğu kesimdeki yolcu hacmi,

PHC_i : Zirve saat katsayısı,

olmaktadır.

Zirve saat katsayısı (PHC), zirve saat içerisindeki yolcu hacmi değişimini yani yolcu hacmi dalgalanmasını ifade etmektedir. Aşağıdaki Şekil 2.1’de bu

değişim gösterilmektedir. PHC katsayısı dikkate alınarak aynı saat içerisinde hareket eden fakat aşırı yolcu yüküne sahip olan otobüslerin önüne geçilmesi amaçlanmaktadır.

Zirve saat katsayısı PHC şu denklem ile elde edilmektedir,

$$PHC = \frac{4P_{15}}{P_{max}}, \quad (2.2)$$

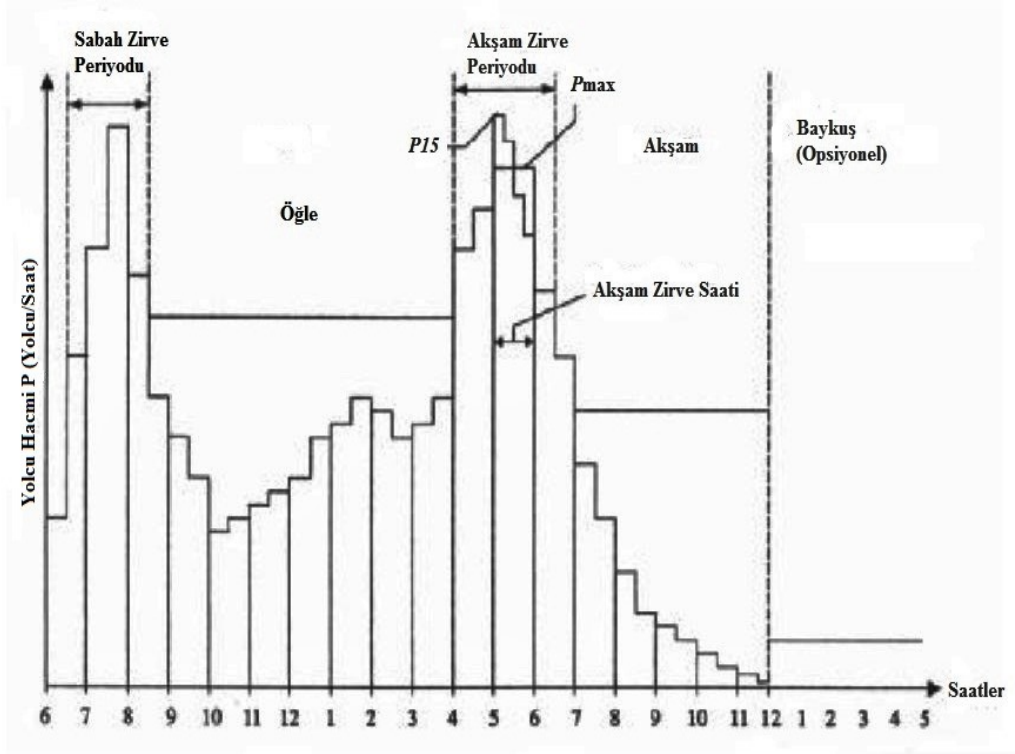
Denklemden,

P_{15} : 15 dakikalık en yüksek yolcu sayısı,

P_{max} : Maksimum yolcu yükünün bulunduğu kesimdeki yolcu hacmi,

olarak ifade edilmektedir.

Zirve saat katsayısı istenirse 15 dakikadan daha küçük zaman dilimleri için de hesaplanarak kullanılabilir. Zirve saat katsayısı teorik olarak 1 ile 4 arasında değerler alabilmektedir.



Şekil 2.1: Bir hattaki yolcu sayısının saatlik değişimi.

Chakroborty (2017) henüz devam eden toplu ulaşım sistemleri üzerine yaptığı araştırmada, otobüs rotalarını ve sefer sıklıklarını genetik algoritma ile optimizasyonu hakkında çözümler ortaya sunmuştur. Bu araştırmada, otobüs sistemlerinin planlanmasında sefer sıklıklarının birkaç güzergah üzerinde denenerek, tüm duraklar ve yolcu bekleme süreleri göz önünde bulundurularak bu sürenin en aza indirilmesi gerektiği düşüncesi üzerinde durulmuştur. Yolcuların durakta bekleme süreleri ve yolculuk süresince harcadıkları süre, toplam yolculuk süresi olarak sefer sıklığı hesaplamasında kriter olarak ele alınmıştır. Bu kriterin yani yolculuk süresinin belirlenmesinde, otobüs filosu, otobüslerin kapasiteleri, otobüslerin durma zamanı, otobüslerin rota üzerindeki en hızlı ve en yavaş sefer sıklıkları ile çalışılmıştır.

Ceder (2002) derlediği çalışmasında konu ile ilgili, 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.

Ceder (2007) başka bir çalışmasında, maliyet açısından verimli ve rasyonel bir sefer çizelgeleme sistemi, yolcu konforu ile servis maliyeti arasında bir denge kurmaktadır. Yolcu talebi ile araç arzı arasında uygun eşleşme yapıldığında, kullanılan araç sayısını minimize edecek ve mevcut yolcu talebine cevap verebilecek bir sefer çizelgeleme yapılmış olacaktır. Bu yaklaşım toplam işletme maliyetinin minimize edilmesine yardımcı olmaktadır.

Maliyet açısından verimli bir sefer çizelgeleme yaklaşımı 5 temel hedefi gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır;

1. Gerekli kaynaklara bağlı olarak opsiyonel sefer çizelgeleri geliştirmek,
2. Yolcu talebi ile araçların kalkış süreleri arasındaki uygunluğu mevcut kaynakları minimize edecek şekilde arttırmak,

3. Bazı istisnai durumlar için (planlamacının/çizelgecinin bildiği) yolcu talep verisi dikkate alınmadan sefer çizelgelerinde değişikliğe izin vermek,
4. Birbirini takip eden zaman aralıkları için düz bir sefer çizelgeleme sistemi yapılmasına izin vermek,
5. Değişik sefer sıklığı belirleme ve sefer çizelgeleme yöntemlerini bir arada değerlendirmek, mümkünse entegre etmek.

Ayrıca Ceder (2007), servis kalitesini sağlayacak ve araç sayısını minimize edecek şekilde bir sefer çizelgeleme yöntemi geliştirmiştir. Bu yöntemde kullanılan temel yolculuk sayısı verileri, "noktasal ölçüm" ve "araçta ölçüm" yöntemleriyle toplanarak elde edilmektedir. Sabit bir durakta bekleyen kişi tarafından yapılan ölçüm ve sayımlar genellikle "noktasal ölçüm" olarak adlandırılmaktadır. Ölçüm; seçilen hatta ait duraklar arasındaki kesimlerde en yüksek yolcu sayısının elde edileceği durakta yapılmaktadır. Ölçümün yapılacağı durak ya daha önceden yapılmış sayımlar incelenerek ya da güzergahın daha önceden etüt edilmesi ile belirlenmektedir. Ölçüm formu duraktan geçen her araç için doldurulmaktadır. Ölçüm formunda ölçümün yapıldığı nokta, yolcu yükü sayımları, aracın durağa varış ve ayrılış zamanları, araç ve hat bilgileri yer almaktadır. Ayrıca noktasal ölçümler birden çok durakta da yapılabilmektedir. Ölçümler, stratejik öneme sahip olan son duraklarda, aktarma noktalarında, merkezi iş alanları ve eğitim ve sağlık tesislerinin bulunduğu duraklarda hatların ayrılma birleşme noktalarındaki duraklarda ve yolcu talebinin büyük ölçüde değişim gösterdiği diğer noktalardaki duraklarda da yapılabilmektedir.

Noktasal Ölçüm Yöntemleri

Bu yöntem, noktasal kontrol yöntemi ile toplanan veriler kullanılarak ortaya konulmaktadır. Noktasal kontrol, rota üzerindeki en yüksek yükleme değerinin görüldüğü durakta yapılan sayımdır. 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 alınmaktadır). Zirve yükleme faktörü kavramına dayanarak j periyodu için gerekli olan araç sayısı,

$$F_j = \frac{\bar{P}_{mj}}{\gamma_j \cdot C} \quad (2.3)$$

olmaktadır. Burada;

\bar{P}_{mj} : Belirlenen zaman aralığında araç içerisinde gözlenen en yüksek yolcu sayısı ortalaması (Maksimum Yükleme),

C : Araçların toplam kapasitesi,

γ_j : Belirlenen zaman aralığı yükleme faktörü ($0 < \gamma_j \leq 1$).

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

Burada, \bar{P}_{mj} bazı ölçümlere dayanmakta ise, değişkenliği de dikkate alınarak; Denklem 2.3'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 sapması olarak ifade edilmektedir.

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.

Yöntem-1;

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

$$P_{md} = \max_{i \in S} \sum_{j=1}^q P_{ij} = \sum_{j=1}^q P_{i^*j} \quad (2.4)$$

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

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 istatistiksel olarak ortalama ya da ortalama ile standart sapmalı toplam yolcu sayısını, j zaman aralığında maksimum yükleme noktasındaki gözlemlenen ortalama yükleme değerini, P_{mdj} ve P_{md} zaman aralığında maksimum yükleme noktasındaki gözlemlenen toplam yükleme değerini ifade etmektedir.

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

$$F_{2j} = \max\left(\frac{P_{mdj}}{d_{oj}}, F_{mj}\right), \quad j = 1, 2, \dots, q \quad (2.5)$$

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

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;

$$F_{3j} = \max \left[\frac{A_j}{d_{oj} \cdot L}, \frac{P_{mj}}{C}, F_{mj} \right] \quad (2.6)$$

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

olup; t_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 göstergesidir. 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, plancılara, uygun araç sayısını arttırmadan talep değişiklikleri durumlarında, araçların başka bir bölgede kullanılması gerektiği zamanlar, sürücü sayısının azaldığı bazı durumların ele alınmasını bakımından da kolaylıklar sağlamaktadır. Ancak, yükleme değerinin d_{oj} 'den yüksek olduğu durumlar için istenmeyen sonuçlar verebilmektedir.

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

$$F_{3j} = \max \left[\frac{A_j}{d_{oj} \cdot L}, \frac{P_{mj}}{C}, F_{mj} \right] \quad (2.7)$$

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

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-2'ye; 1'e eşit olması durumunda ise Yöntem-3'e dönüşmektedir.

Furth ve Wilson (1985) yaptıkları çalışmada toplu taşıma sistemlerine ait hatların sefer aralıklarını belirlemek için kullanılan dört farklı yaklaşımdan bahsetmiştir.

Bu yaklaşımlar:

- Yolcu talebinden doğrudan türetilmeyen işletmenin belirlediği sefer aralığı
- Zirve saatteki yolcu yükü ve araç kapasitesine bağlı olarak belirlenen sefer aralığı
- Gelir/maliyet oranının belirli sınırı aşmayacağı şekilde düzenlenen sefer aralıkları
- Yolcu-km ya da yolcu-km/saat değerlerini istenilen bir seviyede tutacak şekilde düzenlenen sefer aralıkları yaklaşımlarıdır.

Koutsopoulos, Amedeo ve Wilson (1985) birlikte yürüttükleri çalışmalarında, toplu ulaşım ağı içerisindeki araçların sıklık değerlerini belirlemek için gün içerisindeki zaman dilimlerinde değişen talebi dikkate alan bir programlama modeli geliştirmişlerdir. Ayrıca işletme maliyetlerinin ve seyahat sürelerinin zamana bağlı olarak değiştiğini varsaymışlardır. Modelde sübvansiyon miktarı, filo boyutu ve araç kapasitesi kısıtları dikkate alınarak bir optimizasyon yapılmıştır. Modelde diğer çalışmalarda sıkça kullanılan ortalama bekleme süresi değeri(sefer aralığı süresinin yarısı) yerine daha detaylı bir bekleme süresi değeri kullanılmıştır. Bu işlem için geliştirilen alt modelde örneğin durağa gelen ilk otobüsün kalabalık olması nedeniyle yolcuların otobüse binemeyip diğer otobüsü beklemesi durumu da göz önüne alınmıştır. Başka bir alt modelde ise, modelde minimize edilmek istenen toplam maliyet değeri içine yolcuların rahatsızlıkları eklenerek, yolcu rahatsızlık değerleri de ölçülmüştür. Lineer olmayan problem olarak çözülen modelin fazla karmaşık olması nedeniyle araştırmacılar modelin daha basit bir versiyonunu geliştirmişlerdir. Böylece model lineer programlama yöntemiyle çözülebilir hale gelmiştir. Bu modelde ise günlük periyotlar kendi içlerinde sabit sefer aralıklarının uygulandığı alt periyotlara ayrılmıştır.

LeBlanc (1988) çalışmasında, sefer sıklık değerlerini belirlemek için farklı hatlar için türel ayırım atama modeli kullanmıştır. Yazar amaçlanan metroloji içinde türel ayırım modellerinin nasıl kullanılacağını göstermiştir. Toplu ulaşım kullanım

oranlarının ve belirlenen sefer sıklık değerlerinin trafik tıkanıkları üzerindeki etkisi de modelde dikkate alınmıştır.

James H. Banks (1990), toplu ulaşım sistemlerinde sefer sıklıklarının düzenlenmesi için bir model önerisi sunmuştur. Çalışmada yolcu talebinin sefer sıklığı ile değiştiği ve yolcu talebinin sabit olduğu durumları karşılaştırmıştır. Kısıtsız, filo boyutu ve kapasite kısıtları için optimum çözümler elde edilmiştir. Kısıtsız durum için elde edilen analitik sonuç, optimum sefer aralığı değerinin, işletme maliyetinin ve seyahat süresinin karekökü ile bekleme süresi, maliyet ve yolcu sayısının kareköklerinin tersi ile doğru orantılı olduğunu göstermiştir. Kısıtlı durum için ise herhangi analitik bir çözüm elde edilememiştir.

Khasnabis ve Rudraraju (1997), sinyalize arterleri kullanan otobüs hatlarını simülasyonda test etmişler ve sinyalize kavşakların sefer sıklıklarının belirlenmesinde göz önüne alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

Yua, ve diğ. (2011) ortak hazırladıkları algoritma ile verilen talep matrisi ile işletme maliyeti ve yolcu maliyeti arasında kabul edilebilir bir denge kuracak şekilde otobüs hatlarının sefer sıklıklarının düzenlemeyi amaçlamışlardır. Model, en iyi servis kalitesini minimum işletme maliyeti ile sağlamaya çalışmaktadır. Tabu araştırmasına dayalı paralel genetik algoritma yöntemi ile oluşturulan sefer aralığı optimizasyon modeli çözülmüş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Haghani, Banihashemi ve Chiang (2003), yapmış oldukları çalışmada sefer çizelgelemede garaj sayısının etkisini inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada üç farklı sefer çizelgeme modelini karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Modeller, bir tek garajlı ve iki adet çok garajlı sefer çizelgeme modelini içermektedir. Modeller Baltimore kentinde test edilmiş ve sonuçlar mevcut sefer çizelgeleme ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda ölü kilometre hızının sefer çizelgelemede dikkate alınması gereken önemli bir parametre olduğu ortaya çıkmıştır.

Sun, Zhou ve Wang (2008) ortak gerçekleştirdikleri çalışmalarında, sefer çizelgeleme optimizasyonu ile metrobüs (BRT) hatlarının işletme kalitesini arttırmayı amaçlamışlardır. Yolcu seyahat ve işletme maliyetlerini minimize eden bir amaç fonksiyonu ile yolcu sayısı, süre ve sıklık değerlerini içeren kısıtlar altında

model oluşturmuşlardır. Sefer sıklıkları üç ana kombinasyondan oluşmaktadır: normal çizelgeleme, zon çizelgelemesi ve ekspres çizelgeme. Model genetik algoritma ile çözülmüş ve elde edilen sonuçlar yapılan optimizasyonla toplam maliyetlerin % 62 oranında azaltılabileceğini göstermiştir. Yapılan duyarlılık analizleri ise yüksek trafik hacmi altında ve düşük hızlarda seyahat süresinin maliyeti akılcı sefer çizelgeleme kombinasyonu ile azaltılabileceğini göstermiştir.

Mesquitai, ve diğ. (2008) ortak gerçekleştirdikleri çalışmalarında, araç ve araç filo, tarife ve çizelge problemlerini tanımlayacak tamsayı matematiksel formülasyon geliştirmişlerdir. Çok amaçlı bu problemi çözebilmek 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.

Alp (2008), yapmış olduğu çalışmada önce çok amaçlı karar verme kavramını açıklanmış, sonra çeşitli hedef programlama modelleri ile İETT'ye bağlı Kağıthane garajı verilerini kullanarak yolcu talebini, filodaki araç sayısını, araç tiplerini ve sefer sürelerini dikkate alarak otobüs hatları için optimum sefer sıklık değerlerini belirlemiştir. Bu çalışma ile dağıtım problemleri için DHP yöntemi ile etkin çözüm elde edilebileceği gösterilmiştir. Kullanılan hedef kısıtları, farklı öncelik ve ağırlıklar kullanarak bir araya getirilip farklı modeller elde edilebileceği, sistemi etkileyen diğer faktörler dikkate alınarak oluşturulan farklı modellerle daha etkin sonuçlar elde edilebileceği ortaya konmuştur.

Uludağ (2010), doktora çalışmasında İzmir ili kent içi otobüs ağı durak yerleri ve otobüs sıklık değerleri yolcu ve işletmeler açısından hizmet seviyesinin yükseltilmesi adına incelenmiştir. Çalışma kapsamında İzmir İli otobüs ağına yer alan Lozan ve Montrö duraklarını kullanan toplam 26 adet hatta 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.

Deri (2012), İzmir ilinin toplu ulaşım verilerini derleyip, gün içerisinde değişen yolcu talebini dikkate alan optimum sefer sıklığının belirlemeye çalışmıştır. Yapılan çalışmada, İzmir güney-batı bölgesi ile Konak-Halkapınar arasında hizmet

veren otobüs hatları örneği üzerinde durulmuştur. Sabah zirve saati içerisinde kent merkezine gidiş yönündeki talebe cevap verecek en uygun otobüs sefer sıklıkları, hafta ortası bir güne ait yolculuk verileri kullanılarak Doğrusal Hedef Programlama (DHP) yöntemi ve ampirik bağıntılar yardımıyla hesaplanmış ve elde edilen sefer sayıları işletmenin yaptığı sefer sayılarıyla karşılaştırılmıştır.

3. TOPLU ULAŞIMDA OTOBÜS SİSTEMLERİ

3.1 Karma Trafik Otobüs Sistemleri

Kent içi toplu ulaşım politikaları kapsamında dünya üzerinde en çok bilinen ve kullanılan toplu ulaşım türü otobüs sistemleridir. Otobüs sistemleri, belirli hatlarda belirli zaman aralıklarıyla işletilen, esnek, konforlu ve yüksek kapasiteye sahip toplu ulaşım sistemleri olmakla birlikte, özellikle gelişmemiş ya da gelişmekte olan ülkelerde ulaşım alt yapısını oluşturmaktadır. Ulaşım alt yapısının geliştirilmesi toplu ulaşım verilerinin incelenip yeni çözümlerin ortaya konması adına en uygun sistemdir.



Şekil 3.2: Denizli Ulaşım A.Ş Otobüsleri.

Küçük kentlerde ana ulaşım türü olarak kullanılan otobüsler orta ve büyük ölçekli kentlerde ana ulaşım türü olmasının yanı sıra raylı sistemleri besleyen tür olarak da kullanılmaktadır. Otomobil ya da düşük kapasiteli minibüs gibi araçların kapladığı alan, tükettiği enerji ve taşıdığı yolcu sayısı göz önüne alındığında, otobüs sistemleri, lastik tekerli ve motorlu karayolu taşıma sistemleri arasında en hesaplı, en çevre dostu, maliyet ve ihtiyaç duyulan alan bakımından en etkin ulaşım sistemidir. Her ne kadar raylı kapasite ve çevresel etki bakımından raylı sistemler daha avantajlı olsa da otobüsler özellikle ilk yatırım maliyeti ve esneklik bakımından raylı sistemlerin önüne geçmektedir.

Otobüslerin hareket ve manevra kabiliyeti ile güzergah üzeri bütün cadde ve sokaklarda işletilebilmekte, hatlar ve durak yerleri talebe göre değiştirilebilir. Otobüs sistemleri ilk yatırım maliyeti bakımından diğer sistemlere göre oldukça

ekonomiktir. Ancak sınırlı yolcu kapasitesinden dolayı yolculuk talebinin fazla olduğu yerler ve güzergahlarda ekonomikliğini yitirmektedir. Bu nedenle otobüs sistemlerinin yeterli olmadığı durumlarda raylı sistemlere geçiş yapmak ekonomik anlamda daha doğru bir tercihtir.

Otobüsler 20-35 yolcu kapasiteli küçük otobüslerden başlayıp 150 yolcu kapasiteli körüklü otobüslere kadar uzanan geniş bir yelpazeye sahiptir. Çoğu otobüsün çift dingilli ve 6 tekerli solo tip otobüs (tek gövdeli) olmasının yanı sıra, 3 akslı 10 tekerli körüklü otobüsler ile 4 akslı 14 tekerlekli çift körüklü otobüslerde kullanılmaktadır. Solo tip otobüslerin kapasitesi ortalama 85 yolcu iken, çift dingilli körüklü otobüsler 140-150 yolcu kapasitesine ulaşabilmektedir. Dünya genelindeki otobüslerin çoğunluğu dizel yakıtla çalışan motorlara sahiptir. Özellikle ülkemizde ve ilimiz Denizli toplu taşımada da çevre duyarlılığı yüksek emülsiyon değeri düşük dizel motorlu otobüsler bulunmaktadır. Bununla birlikte günümüzde alternatif yakıt teknolojilerine sahip otobüsler de mevcuttur. Ancak bunların payı dizel otobüslerin yanında oldukça düşük kalmaktadır. Örneğin Amerika'da ve Avrupa'da otobüs filolarının yaklaşık yüzde 90'ını dizel yakıt teknolojilerine sahip otobüsler oluşturmaktadır.

Dizel yakıt teknolojisi çevresel anlamda kirli bir yakıt teknolojisidir. Ancak ilerleyen teknoloji ile dizel otobüslerin emisyonlarının azaltılmasını sağlayan sistemler geliştirilmiş ve bu sayede ciddi kazanımlar sağlanmıştır. Öte yandan CNG, LPG, elektrikli hibrid araç teknolojilerinde de gelişmeler başlamış olup özellikle CNG yakıtlı araçların sayısında önemli artışlar yaşanmıştır.

Ülkeden ülkeye değişiklik göstermekle birlikte otobüs işletmeciliği temel olarak 3 farklı türde yapılmaktadır.

1. Normal trafik ile karışık olarak ve herhangi bir önceliğe sahip olmayan otobüs işletmeciliği,
2. Trafik sinyalizasyonu ve otobüs şeridi gibi uygulamalar ile trafikte önceliğe sahip otobüs işletmeciliği,
3. Trafikten tamamen izole edilmiş kendine özel yolda yapılan otobüs işletmeciliği.

İlk işletme türünde, otobüsler trafikte herhangi bir önceliğe sahip olmadıklarından dolayı ortalama işletme hızı oldukça düşüktür. Denizli’de uygulanan otobüs işletmeciliği de buna bir örnektir. Bu tarz işletme türlerinde performans, güvenilirlik ve etkinlik bakımından diğer ulaşım türleriyle rekabette oldukça eksik kalmaktadır. Bu nedenle, günlük yolculuklarda kişisel otomobil ve minibüs/dolmuş gibi daha hızlı sistemler tercih sebebi olmakta ve kaliteli bir toplu ulaşım sistemi oluşturulamamaktadır. Öte yandan işletme hızının ve yolcu sayısının beklenen kapasiteden az olması işletmenin ekonomik olarak zarar eden bir işletme olmasına sebebiyet vermektedir.

İkinci işletme türünde ise tahsisli otobüs şeridi ve kavşaklarda sinyalizasyon önceliği sayesinde özellikle yoğun saatlerde trafiğin olumsuz etkilerinden nispeten arındırılmış bir işletme sağlanabilmektedir. Otobüs şeritleri genelde mevcut yolun bir şeridinin günün belirli saatlerinde ya da tamamında otobüslerin kullanımına ayrılmasıyla oluşturulmaktadır. Yeterli alanın olmadığı durumlarda mevcut yolun genişletilmesiyle ya da orta refüjün kullanımıyla da otobüs şeridi oluşturulabilir. Sinyalizasyon önceliği ise otobüslerde yer alan elektronik sistemler ve kavşaklarda yer alan uzaktan algılama sistemleri vasıtasıyla yaklaşan otobüsün algılanması ve kavşakta yer alan sinyalizasyon sisteminin otobüs lehine değiştirilmesi prensibine dayanmaktadır. Önceliğe sahip otobüs işletmeciliğinde ortalama işletme hızları daha yüksek olduğundan hizmet standardı, dakiklik ve müşteri memnuniyeti bakımından olumlu sonuçlar alınabilmekte, böylece ekonomik anlamda daha kârlı bir işletmecilik yapılabilmektedir. Denizli Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı’nın bu konuda bir çalışma başlattığı ve Denizli’de uygulanması düşünülmektedir.

Otobüs sistemlerinin sonuncusu ise günümüzde oldukça popüler bir sistem olan ve İstanbul, Malatya gibi şehirlerde kullanılan, tam tahsisli yolda yapılan otobüs işletmeciliğidir. Literatürde hızlı otobüs sistemleri (Bus Rapid Transit) olarak anılan bu sistem ülkemizde metrobüs adıyla tanınmaktadır. Bu Denizli’de 20 Numaralı Otobüs Hattında uygulamaya alınmıştı, ancak kişisel otomobil kullanıcıları ve minibüslerin muhalefeti sonucu karma trafikte hizmetine devam etmiş ve etmektedir.

Otobüs işletmeciliğinin karma trafikte ve düşük hızlarda yapıldığı şehirlerimizde sistemin finansal anlamda zarar ettiği görülmektedir. Otobüs işletmeciliğinin kârlı hale gelebilmesi için bilet fiyatlarının, doluluk oranının, işletme hızının ve kat edilen mesafenin azaltılması ve reklam gibi yan gelirlerin artırılması gibi dört şekilde yaklaşım bulunmaktadır. Bu yöntemlerden en kolay bilet fiyatlarının artırılması yaklaşımıdır. Ancak bu tercih sonucu yolcular alternatif ulaşım türlerine yönelebilmekte ve kişisel otomobil kullanımında artış meydana gelmektedir. Bu da zaten mevcutta bulunan trafik problemini büyütme ve toplam fayda da düşüş meydana getirmektedir. Karma trafik otobüs işletmelerinin kârlı olabilmesi için en etkin yöntem; işletme hızının, servis sıklığının ve kapasitenin artırılması ile mümkün olabilmektedir. Denizli toplu ulaşımı da karma trafik işletmesine bir örnektir.

Bu anlamda, otobüs şeridi ve kavşak sinyalizasyonu gibi uygulamalar kârlı bir otobüs işletmeciliğinin yapılabilmesi adına önem arz etmektedir. Geleneksel otobüs sistemlerinden daha modern, hızlı ve güvenilir otobüs sistemlerine geçiş çok hızlı bir biçimde ve düşük maliyetler ile sağlanabilmektedir. Her bir kavşakta yalnızca birkaç bin dolarlık yatırım ile otobüslere sinyalizasyon önceliği sağlanabilmekte ve bu sayede hızlı ve güvenilir bir işletmeciliğe geçilebilmektedir. Örneğin çok daha karmaşık bir uygulamanın yapıldığı Los Angeles'ta 222 kavşağı kapsayan ve 18 ayda uygulamaya konulan sinyalizasyon sisteminde fayda/maliyet oranı 6/1 olarak hesaplanmıştır (Cirit 2014).

3.2 Metrobüs (RBS, BRT, Hızlı Otobüs) Sistemleri

Metrobüs sistemlerinin temeli genel olarak otobüs şeritlerine dayanmaktadır. İlk olarak 1937 yılında Chicago'da faaliyete geçen otobüs yolu metrobüsün atası olarak kabul edilebilmekle birlikte günümüzde kabul edilen metrobüs tanımına uygun olan ilk sistem Brezilya'nın Curitiba şehrinde 1974 yılında faaliyete geçen sistemdir.



Şekil 3.3: Chicago Metrobüsü 1937.

Metrobüs sistemi, yer altı metro sistemlerinde olduğu gibi trafikten ayrılmış yalnızca kendine tahsisli özel bir hatta yüksek kapasiteli ve düşük tabanlı otobüsler ile sık sefer aralıklarıyla işletilen dakik, konforlu, hızlı, kaliteli ve maliyet-etkin bir toplu taşıma sistemidir. Sistemin özelliği metro gibi yüksek yolcu kapasitesini otobüs sisteminin esnekliği ve maliyet avantajlarıyla sağlamasıdır.

Metrobüs sistemlerini diğer otobüs sistemlerinden veya raylı sistemlerden ayıran kendilerine has özellikleri mevcuttur. Bunlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir:

1. Metro sistemlerinde olduğu gibi yalnızca kendisine ait tahsisli bir yol, düzenli, dakik ve sık seferler,
2. Kapı sayısı fazla olan otobüsler sayesinde hızlı yolcu indirme/bindirme kapasitesi,
3. Normal otobüslerden farklı olarak istasyonlarda yer alan ücret toplama sistemi ile yolculuk öncesi ücret ödeme,
4. Ortalama 500 metre aralıklı kapalı ve korunaklı, güvenli ve konforlu istasyonlar,
5. Gerçek zamanlı sinyalize yolcu bilgi sistemi,
6. İstasyon ve terminallerde diğer ulaşım türleri ile güçlü bir uyum
7. Genelde körüklü, yüksek kapasiteli, konforlu, enerji etkin ve temiz araçlar.

8. Tipik bir otobüs sisteminde ortalama işletme hızı 5-15 km/sa, günlük kat edilen mesafe 100-300 km ve bekleme süresi ise 20 dakika civarında iken metrobüs sistemlerinde işletme hızı 20-25 km/sa, kat edilen mesafe 500 km ve bekleme süresi ise 1-10 dakika civarındadır.

Metrobüs hattı mevcut karayolundan ayrılan belirli bir alanın ya da şeridin sisteme uygun hale getirilmesiyle oluşturulmaktadır. Standart bir metrobüs şeridinin genişliği 3,5 metre, istasyonların genişliği 2,5-5 metre, sistem için ayrılması gereken toplam yol genişliği ise 10-13 metre düzeyindedir. Yolculuk talebinin daha fazla olması ve alanın da yeterli olması durumunda gidiş-dönüş toplam dört şeritli bir metrobüs hattı yapmak da mümkündür. Ancak bu durumda ihtiyaç duyulacak yol genişliği 20 metreye ulaşmaktadır.

Metrobüs sistemlerinin altyapı yatırım maliyeti tramvay ve hafif raylı sistem maliyetinin dört ila yirmide biri, metro maliyetinin ise on ila yüzde biri nispetindedir. Dünyanın belirli kentlerinde gerçekleştirilen toplu ulaşım sistemlerinin karakteristik ve maliyetleri Tablo 3.1’de yer almaktadır.

Tablo 3.1: Seçilmiş Metrobüs ve Raylı Sistem Proje ve Maliyetleri (Cirit 2014).

ŞEHİR	SİSTEM	HAT UZUNLUĞU (Km)	MALİYET (Milyon ABD Doları/Km)
Taipei	Metrobüs	57,0	0,5
Porto Alegre	Metrobüs	27,0	1
Quito	Metrobüs	10,0	1,2
Las Vegas	Metrobüs	11,2	1,7
Curitiba	Metrobüs	57,0	2,5
Sao Paulo	Metrobüs	114,0	3
Bogoto	Metrobüs	40,0	5,3
Tunis	HRS	30,0	13,3
San Diego	HRS	75,0	17,2
Lyon	HRS	18,0	18,9
Bordo	HRS	23,0	20,5
Portland	HRS	28,0	35,2
Los Angeles	HRS	23,0	37,8
Mexico City	Metro	24,0	40,9
Madrid	Metro	38,0	42,8
Karakas	Metro	12,0	90,3
Hong Kong	Metro	82,0	220
Londra	Metro	16,0	350

Benzer kapasiteli raylı sistemlere kıyasla düşük yatırım tutarına sahip olan metrobüs sistemleri doğru seçilmiş bir güzergahta kaliteli bir işletmecilik ile yüksek yolcu kapasitesine ulaşabilmesi bakımından ekonomik anlamda sürdürülebilir bir ulaşım sistemidir. Şerit sayısına bağlı olarak metrobüs sistemi ile saatte tek yönde 20.000–45.000 yolcu kapasitesine ulaşabilmek mümkündür. Örneğin Dünya’da uygulanan başarılı metrobüs sistemlerinin başında yer alan Kolombiya’daki Bogota TransMilenio metrobüs sistemi çift şerit olarak işletilmekte olup saatte tek yönde 45.000 düzeyinde yolcu taşımaktadır.

Gerek sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin kurulması, gerekse daha yaşanabilir ve insan odaklı kentlerin oluşturulabilmesi adına, önemli bir ulaşım türü olan metrobüs sistemlerinin birçok faydası bulunmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıdaki Tablo 3.2’de sunulmaktadır (Cirit 2014).

Tablo 3.2: Metrobüs Sistemlerinin Faydaları.

Kategori	Fayda
Ekonomik	Seyahat sürelerinde düşüş
	Ekonomik üretkenlikte artış
	İstihdamda artış
	İş ortamının gelişmesi
Sosyal	Şehir genelinde daha adil/dengeli bir erişim ortamı
	Kazalarda azalma
	Kentte ve toplumda algısal gelişim
Çevresel	İnsan sağlığına zararlı emisyonlarda azalma
	Daha düşük gürültü düzeyi
Kentsel Form	Daha sürdürülebilir kent yapısı
Politik	Kısa seçim döneminde faaliyete geçebilmesi
	Tüm seçmenlerin eşit olarak yararlanabileceği yüksek kaliteli bir hizmetin sağlanması

3.3 Denizli Toplu Ulaşımında Otobüs Sistemi

3.3.1 Denizli

Denizli`de ilk Belediye teşkilatı 1876`da kurulmuştur. Bu tarihlerde Denizli, mülki bölünmede Aydın Livasına bağlı bir kaza merkezidir. 1883`te Sarayköy, Buldan ve Tavas İlçelerinin bağlanmasıyla "Sancak" haline getirilen Denizli, 1884`te Çal 1888`de Acıpayam ilçelerinin katılımıyla Aydın`a bağlı mutasarrıflık, Türkiye Cumhuriyeti`nin kuruluşuyla da il olmuştur. 1927 yılında yapılan ilk nüfus sayımına göre, il merkezinde 15.704 kişi sayılmıştır.

Ege kıyılarından iç kesimlere sokulan doğal bir yol üzerinde bulunan Denizli, özellikle 1950'li yıllarda karayollarının düzelmesinden sonra, bu konumunun ve çevresindeki tarım etkinliklerinin gelişmesi sonucu hızla kalabalıklaşmış ve 1950'de 22.000 olan nüfusu, aradan geçen 60 yıl içinde yaklaşık 25 kat artmıştır.

Denizli, Türkiye'nin en kalabalık yirmi birinci şehridir ve 2015 itibarıyla 993.442 nüfusa ulaşmıştır. İl sınırlarının yüzölçümü toplam 12.134 km², denizden yüksekliği ise 354 m'dir. Bir sanayi, ihracat ve ticaret merkezi olan Denizli, aynı zamanda 65 bine yaklaşan üniversite öğrencisine ev sahipliği yapmaktadır. Bir yılda milyonlarca yerli ve yabancı turisti ağırlayan il, bir turizm kenti olmasının yanı sıra düzenlenen yerel, ulusal ve uluslararası etkinliklere ev sahipliği yapmaktadır. Bu organizasyonlarda otobüs işletmesi toplu ulaşımı sorunsuz sağlayabilmektedir (Wikipedia 2016).

3.3.2 Denizli Ulaşım A.Ş.

1881`de kurulan Denizli 12 Kasım 2012 tarihi itibarıyla Büyükşehir yasa tasarısının kabulü ile Denizli Büyükşehir Belediyesi olmuştur. Büyükşehir belediyelerine tanınan hak ile Denizli Büyükşehir Belediyesi Ulaşım A.Ş. 16.01.2014 Tarihinde kurulmuş ve otobüs işletmesini 01.08.2014 tarihinde resmen devir almıştır. Sadece kent merkezine hizmet veren işletmede 60 Adet 9 m, 62 adet

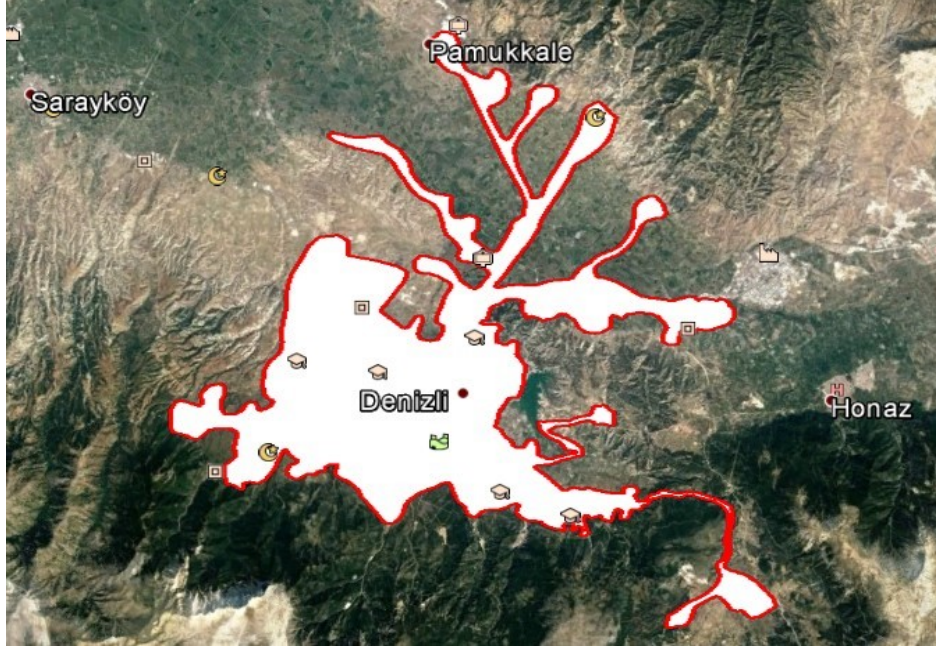
12 m ve 28 adet 18 m körüklü araçla birlikte toplam 150 araçla, 42 güzergahta günde 1.367 gidiş, 1.375 dönüş seferi olmak üzere toplam 2.742 sefer ile Denizli ulaşım sektöründe hizmet vermektedir. Şirket 2015 yılında hafta içi sabit 121 ve 13 takviye araçla toplamda 134 araçla hafta sonu ise 116 araç ile toplam 26.948.866 kişi taşımıştır. Yine 2015 yılı içerisinde toplam 13.049.959 km yol kat edilmiştir. Bunun anlamı günlük ortalama 35.750 km kadar yol kat edilmektedir. Hatların 1 turunu ortalama tamamlama süreleri ve tek seferde kat ettikleri Km incelendiğinde sistemin ortalama işletim hızının 18,75 km/sa olduğu tespit edilmiştir. Sistemde gidiş güzergahlarında tek seferde hatlar toplam 1.572 durağa uğramakta, dönüş seferlerinde ise 1.600 durak bulunmaktadır. Bunlar ile birlikte tek seferde hatların tümü gidiş yönünde 516 trafik lambalı sinyalizasyon görmekte, bu rakam dönüş seferleri için ise 567 trafik lambalı sinyalizasyon olarak bulunmaktadır.

3.3.3 Güzergah Yapısı

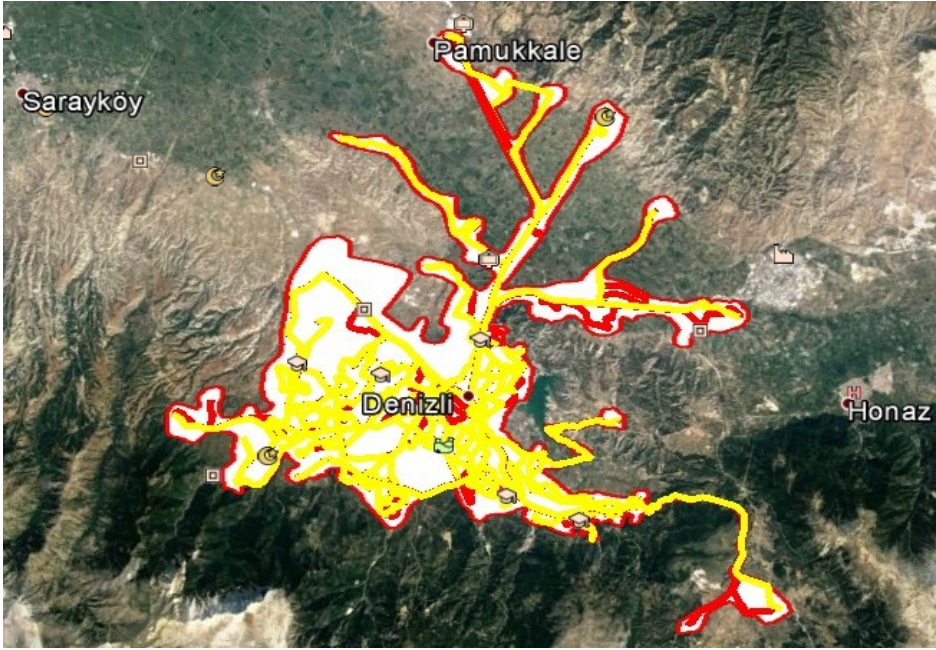
Denizli Ulaşım A.Ş. otobüslerinin sefer güzergahlarına ait haritaya göre, güzergah ağını oluşturan toplam 42 hattın uzunluğu 1245,5 Km olduğu gözlemlenmiştir. Bu ağın 621,5 Km gidiş ve 624 Km dönüş güzergahı olduğu tespit edilmiştir. Güzergahlar şehrin coğrafi yapısına göre bir çok noktaya ulaşmaktadır.



Şekil 3.4: Denizli Ulaşım A.Ş. otobüs güzergahları ağı.

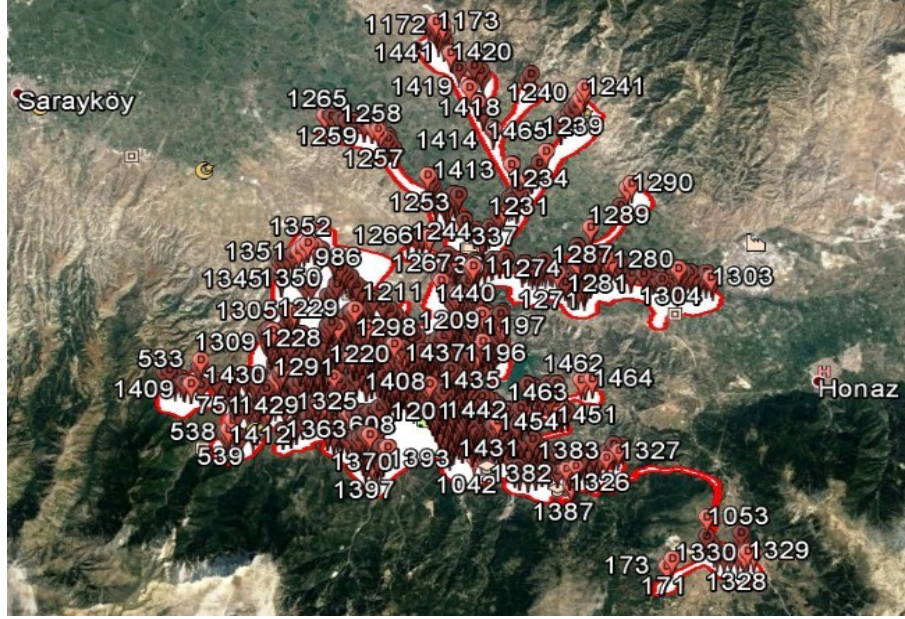


Şekil 3.5: Güzergah etkin alan haritası 1.



Şekil 3.6: Güzergah etkin alan haritası 2.

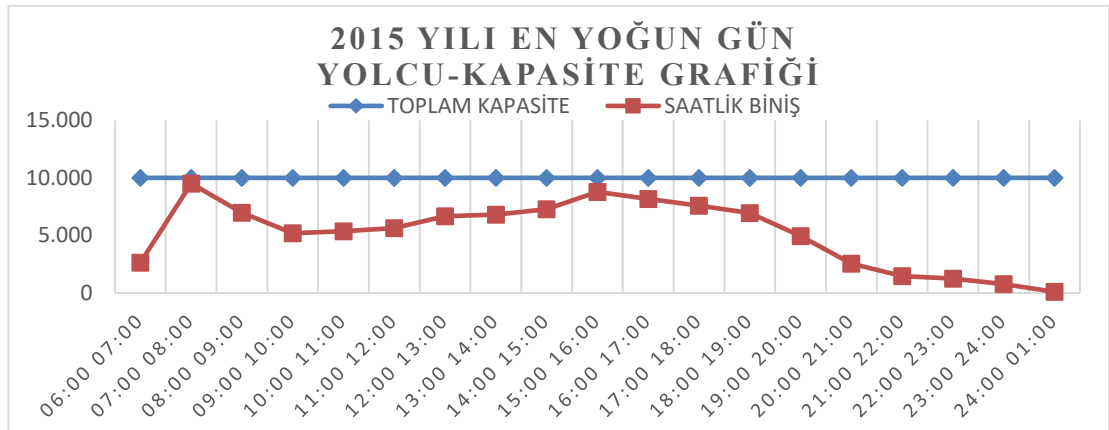
Şekil 3.2 ve Şekil 3.3 de görüldüğü gibi Denizli'nin otobüs ağı toplam 1.245,5 km olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte şehirde ulaşılan halka sunulan hizmet alanı yaklaşık olarak 151.102 m² olarak görülmektedir. Bu rakam yaklaşık olarak merkez ilçeler Pamukkale ve Merkezefendi'nin kapladığı toplam alana eşittir.



Şekil 3.7: Denizli etkin alan haritası durak yoğunluğu.

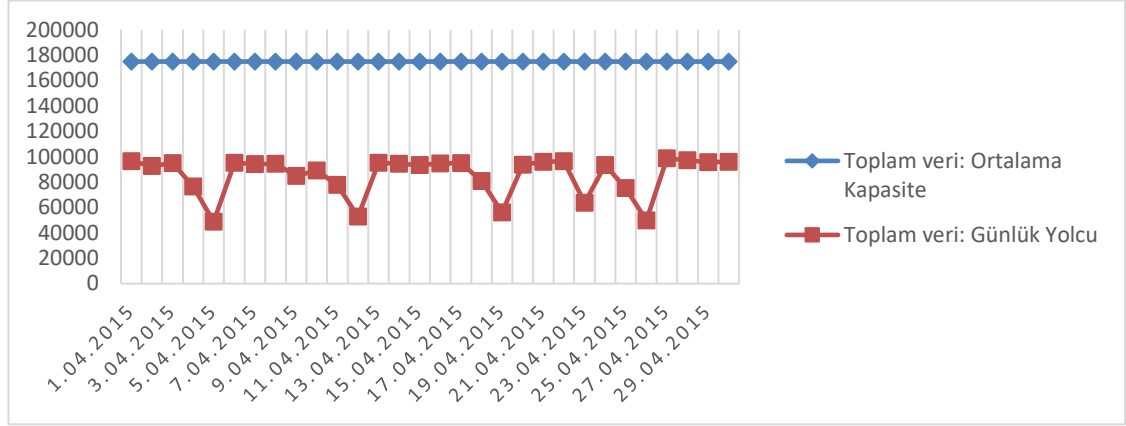
Denizli’de otobüslerin işletilmesi için 151.102 m² alan içerisinde 1.470 durak bulunmaktadır. Şehir içinde hizmet olarak 1 Km² alana ortalama 9,73 durak düşmektedir. Bununla birlikte seferlerin hat bazlı toplam uzunluğunun durak sayısına bölümü ile ortalama durak mesafesi 375 m olarak bulunmaktadır. Duraklar uluslararası standartlara göre şehir içinde oldukça yakın mesafelerde bulunmaktadır. Duraklar arası mesafenin oldukça yakın olması hem yolculuk süresini hem de maliyetini etkilemektedir.

3.3.4 Denizli İli 2015 Yılıın Toplu Ulaşım Verileri



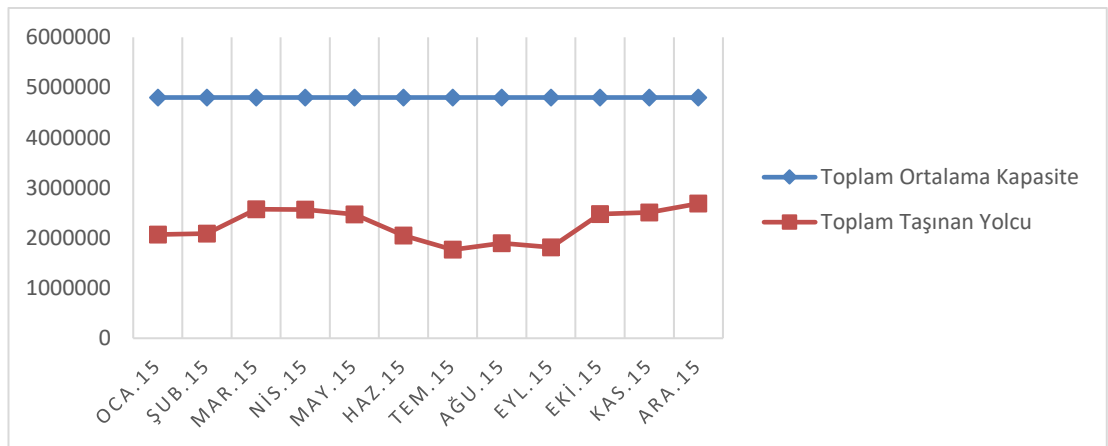
Şekil 3.8: 2015 yılı en yoğun gün grafiği.

27 Nisan 2015 gününde yıl içinde taşınan en yoğun yolcu sayısına ulaşılmıştır. Ortalama saatlik kapasite 10.000 kişi olarak hesaplar doğrultusunda ortalama kabul edilmiştir. Gün içerisinde toplam taşınan yolcu sayısı 98.653 kişi olarak kayıtlara geçmiştir. Gün içerisinde taşınan yolcunun toplam kapasiteye oranı 0,52 olarak tespit edilmiştir.



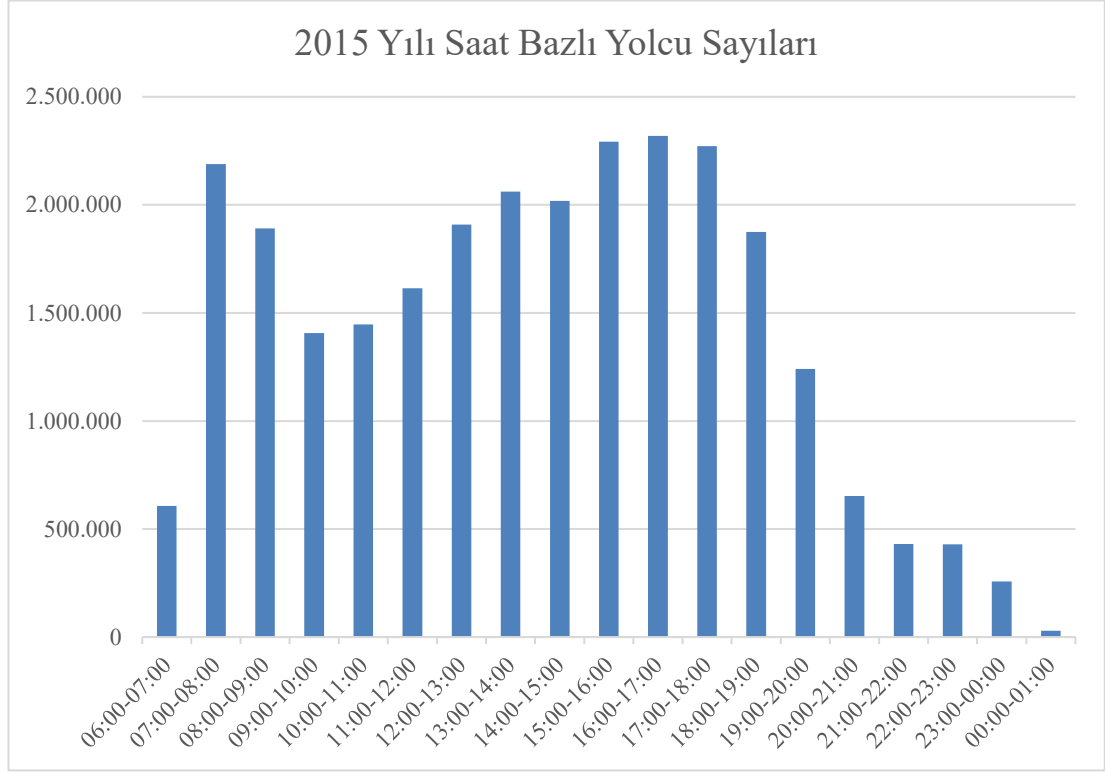
Şekil 3.9: 2015 yılı nisan en yoğun ay grafiği.

2015 Yılı içerisinde en çok yolcunun taşındığı ay 2.563.187 kişinin taşındığı Nisan ayı olmuştur. Bu ay içerisinde taşınan yolcu grafiğine bakıldığında hafta sonu Cumartesi ve Pazar günlerinde taşınan yolcu sayısının düştüğü görülmüş. Bununla birlikte ay içerisinde bulunan resmi tatil 23 Nisan'da da aynı düşüş eğilimi göze çarpmıştır. Ortalama kapasiteye bakılarak ay içerisinde taşınan yolcunun, toplam taşınabilir yolcu kapasitesine oranınının 0,49 olduğu bulunmaktadır.



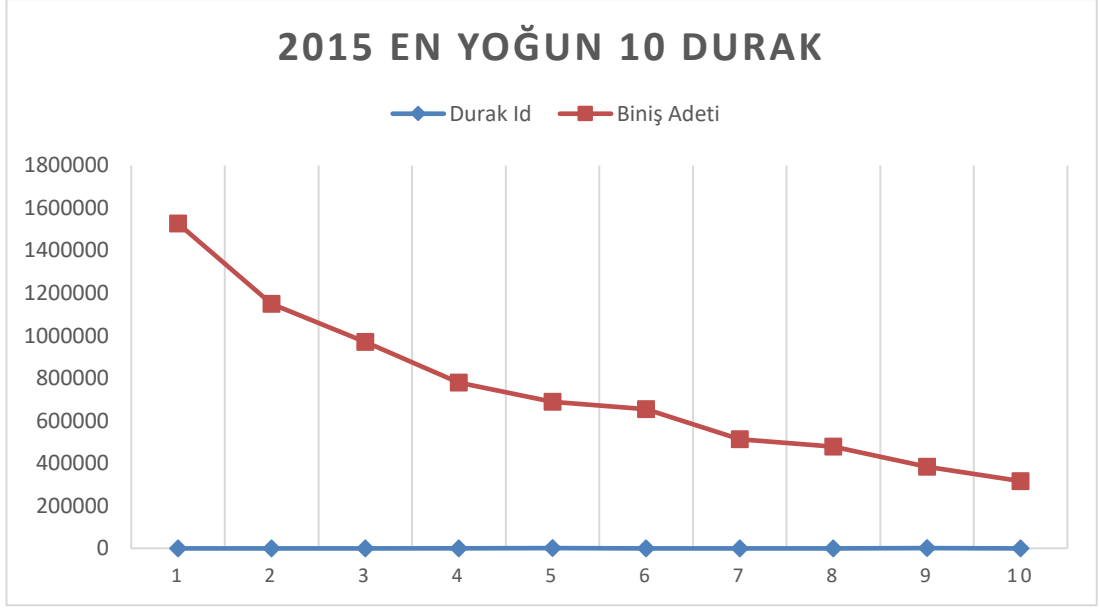
Şekil 3.10: 2015 yılı aylık yolcu binişleri grafiği.

2015 Yılında toplamda taşınan yolcu 26.948.866 kişidir. Kış ve Yaz sezonu olmak üzere sefer sayıları ve kapasitede değişiklikler görülmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda ortalama yıllık kapasiteye, taşınan yolcu oranı 0,47 olarak bulunmaktadır. Yıl içerisinde okulların tatil olduğu zaman diliminde yolcu sayılarında belirgin düşüşler gözlemlenmektedir.



Şekil 3.11: 2015 yılı saatlik biniş verileri grafiği.

Yukarıdaki grafikten de anlaşılacağı gibi gün içerisinde en yoğun zaman aralıkları işe gidiş saatleri ve iş çıkış saatleri olarak bildiğimiz saatler olarak görülmektedir. Pik saatler olarak tanımladığımız bu saatlerde toplu ulaşım talebi en üst seviyeye ulaşmakta ve kapasite kullanımının en verimli olduğu zaman aralıkları olarak görülmektedir. Bununla birlikte sabah seferlere başlandığı saat 6:00 ila 7:00 arasında ve gece iş çıkışı tamamlandıktan sonraki saatlerde 20:00 ila 24:00 arasında kapasite verimli olarak kullanılamamakta ve genel manada toplumsal fayda mantığı ile zaruri çalışma yapılmaktadır. Bu zaruret ise toplu ulaşımın maddi anlamda zarar etmesine sebep olmakta gibi görünse de toplumsal fayda bakımından devlet tarafından sübvansede edilmektedir.



Şekil 3.12: 2015 yılında en yoğun kullanılan 10 otobüs durağı.



Şekil 3.13: Binişlerin en yoğun olduğu durakların harita üzerinde gösterimi.

Şekil 3.10'den anlaşılacağı gibi yolculukların çoğu şehir merkezinden yapılmaktadır. Bununla birlikte şehrin diğer cazibe merkezlerinden birinin üniversite kampüsü olduğu görülmekte ve en yoğun binişlerin bu iki alandan yapıldığı görülmektedir.

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, amaç fonksiyonu sayısının genellikle 1'den fazla olduğu çok amaçlı karar verme metotları ile çözülebilmektedir. Amaç fonksiyonu sayısının artırılması, dolayısıyla pratikteki problemlerin daha gerçekçi şekilde ele alınması ve bu problemleri çözümleme 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).

Çok amaçlı karar verme, karar vericilerin, belirli kısıtlar altında ve birbirleriyle çelişen birden fazla amacı tatminkar düzeyde gerçekleştirmek istemeleri halinde çözümler üretmeye çalışır. Hedef programlama, amaçların hepsini birer kısıt haline dönüştürür ve önem sırasına göre amaçlardan sapmayı minimize etmeye çalışan çok amaçlı karar vermede bir çözüme yönelik bir model tipidir.

Çok amaçlı karar verme sürecinde, önce gerekli bilgiler toplanır, probleme ait bir model kurulur ve daha sonra bu modelin çözümleri bilgisayar destekli yazılım paketleri ile bulunur. Bu tarz problemlerin çözümü için bilgisayar ortamında çözümü için LINDO, WinQSB, DEAP, TORA gibi çeşitli programlar geliştirilmiştir.

4.2 Çok Amaçlı Karar Vermenin Tarihsel Gelişimi

Konu ile ilgili bilimsel yayınlara 1950’li yıllardan itibaren rastlanmaktadır. Kaspmans 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 Zions gibi yazarların teorik ve uygulama alanlarındaki katkıları gelişen bilgisayar teknolojisiyle birlikte söz konusu gelişime büyük ölçüde neden olmuşlardır (Uludağ 2010).

Günümüzde çok amaçlı karar vermede kesin yöntemlerin dışında artık sezgisel yöntemlerde kullanılmaya başlanmıştır. Sezgisel yöntemler biyolojik tabanlı, fizik tabanlı, sosyal tabanlı ve benzeri doğal yansımalar üzerinden kurulmaktadır. Sezgisel yöntemlerden bazıları;

1. Genetik Algoritma,
 2. Karınca Kolonisi Optimizasyonu,
 3. Yapay Arı Kolonisi,
 4. Benzetim Tavlama,
 5. Yasak(Tabu) Arama Yöntemi,
- gibi yöntemlerdir.

4.3 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. Hedef programlama'nın 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. Hedef programlama bu sapmaları en az yaparak çözüm arar (Bal 1995).

4.3.1 Hedef Programlamanın Gelişimi

1952 yılında Charnes ve Cooper görünürde doğrusal programlamayla ilgisi olmayan, yönetimin amaçları ile çatışan bir problemle karşılaşmışlardır. 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 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 uygulamaları daha sık görülmektedir. Romeo, Schniederjans ve Tamiz'in yaptığı çalışmalarla hedef programlamanın birçok etkili uygulama alanının olduğu gözlemlenmiştir (Steuer 1986).

4.3.2 Hedef Programlamanın Uygulama Alanları

Çok amaçlı karar verme problemleri içinde en çok uygulama alanı olan hedef programlama, gerçek hayata uyarlanabilirliği bakımından çok etkin olup birçok problemin çözümünde kullanılmaktadır.

Bu teknikten yararlanılan çeşitli alanları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür;

1. *Ulaştırma Problemleri,*
2. *Üretim Planlaması,*
3. *Montaj hattı dengeleme,*
4. *Enerji Planlaması,*
5. *İşgücü Planlaması,*
6. *Kaynak Planlaması,*
7. *Proje Seçimi ve Yönetimi,*
8. *Toplam Kalite Yönetimi,*
9. *Portföy Seçimi,*
10. *Finansal Planlama,*

11. Pazarlama,
12. Beslenme Problemleri,
13. Yatırım Planlaması,
14. Performans Değerlendirme,
15. İş Değerlendirme,
16. Tarımsal Üretim ve Yönetim,

gibi bir çok alan sayılabilir.

4.3.3 Hedef Programlamamın 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. Dervitsiotis, amaç kavramını, “hareket etmek istenilen yön” olarak ifade etmiştir. Amaç fonksiyonu ise herhangi bir amaç için belirlenen hedeflerden olabilecek sapmaları en küçükleyen fonksiyona denir.

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. 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.

Amaç Fonksiyonları: Hedef programlama modelinde her bir amaç için belirlenen hedeften olabilecek sapmaları en küçükleyen fonksiyonlara başarı fonksiyonları adı verilir (Uludağ 2010).

4.3.4 Hedef Programlama Modelinin Oluşturulması

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 olan sapma değerleri d_i^+ ve d_i^- dir. Sağ taraf için istenen durum b_i ve daha büyük iken istenen 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 olan sapma değerleri d_i^- ve d_i^+ iken sağ taraf sabitinin istenen durumu b_i ve daha azıdır. 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.

1) Hedeflerin önem derecesine göre sıralanması (öncelikli tanımlama):

Hedefler arasında bir öncelik veya önem sırasının olup olmama durumuna göre kullanılıp kullanılmayacağı kararı karar vericiye aittir.

2) Ağırlıkların tanımlanması:

Modelde hedeflerin önceliklerin belirlenmesine bağlı olarak ağırlıklar tanımlanır. Tamamen subjektif özelliğe sahip olup karar vericinin isteğine göre tanımlanır.

3) 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;

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

p_i : Pozitif sapma değeri için i hedefine ait değişken amaç fonksiyonu katsayısı.

n_i : Negatif sapma değeri için i hedefine ait değişken amaç fonksiyonu katsayısı.

Eşit ağırlıklı (öncelikli) ya da öncelikli olmayan çok hedefli programlama modelinde;

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

Öncelikli Çok Hedefli Programlama modelinde;

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

şeklinde olup, karar vericinin kendi tercihine 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;

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

şeklindedir.

Birden fazla hedefin aynı öncelik düzeyine sahip olduğu durumlarda sapma değişkenlerini ağırlıklandırma ile farklılaştırarak bir amaç fonksiyonu oluşturulmaya çalışılmaktadır (Öztürk 2007).

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;

Birleşik amaç fonksiyonu:

$$MinS = \{G_1 (d_1^-, d_1^+), G_2 (d_2^-, d_2^+), \dots, G_n (d_n^-, d_n^+)\}$$

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min}Z = \sum_k \sum_i p_k (w_{ik}^+ d_i^+ + w_{ik}^- d_i^-)$$

Hedef Kısıtları:

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

Yapısal Kısıt:

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

Negatif Olmama:

$$x_j, d_i^-, d_i^+ \geq 0 \quad (d_i^-) \cdot (d_i^+) = 0$$

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.

4.4 Doğrusal Hedef Programlama Çözüm Yöntemleri

Doğrusal Hedef Programlama modelinin çözümünde,

- 1) Grafik yöntem,
- 2) Ardışık - İteratif problem çözüm yöntemi
- 3) Değiştirilmiş simpleks yöntemi

kullanılmaktadır.

4.4.1 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 çözüm alanına uygun olmalıdır. Çözüm bölgesi tek bir noktaya indirgenince en uygun çözüm bulunmuş olur. Karar verici için tüm hedefler aynı önceliğe sahip ise bu durumda hedeflerle ulaşılmak istenen sonuçlar arasındaki en yakın uzaklığı veren çözüm araştırılır (Uludağ 2010).

4.4.2 Ardışık-İteratif Problem Çözüm Yöntemi:

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. Çözümünden 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 1986). Matematiksel olarak bu çözüm aşamaları aşağıdaki gibi ifade edilir.

1.Aşama;

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

$$g_i(\bar{x}) + d_i^- - d_i^+ = b_i \quad i = 1,2,3, \dots, m \quad (4.9)$$

2.Aşama;

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

$$g_i(\bar{x}) + d_i^- - d_i^+ = b_i \quad i = 1,2,3, \dots, m$$

$$\begin{aligned}
G_{min}^1 &= (-d^-, -d^+) \leq G^{1,0} \\
&\vdots \\
G_{min}^{j-1} &= (-d^-, -d^+) \leq G^{1,0} \\
f_i^2(\bar{x}) + d_i^- - d_i^+ &= c_i^2 \quad i = 1, 2, 3, \dots, k \\
&\vdots \\
f_i^j(\bar{x}) + d_i^- - d_i^+ &= c_i^j \quad i = 1, 2, 3, \dots, l \quad (4.10) \\
\bar{x}, -d^-, -d^+ &\geq 0
\end{aligned}$$

4.4.3 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 Şekil 4.1 ile başlanır.

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

Şekil 4.1: Değiştirilmiş başlangıç simpleks çizelgesi.

Çizelgede yer alanlar,

V : Temeldeki değişkenlerin bulunduğu satır

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 tanımlanır.

Burada $I_{k,s}$ ve a_k değerleri;

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

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

Değiştirilmiş simpleks yöntemin adımları aşağıda verilmiştir (Öztürk 2007).

Adım 1: 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.

Adım 2: 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 bulduğu 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 kalmayınca 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 ANALİZ MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

5.1 Giriş

Çalışma kapsamında, 2015 yılında Denizli Büyükşehir Belediyesi bünyesinde bulunan 42 otobüs hattının yıl içerisinde kış sezonu çalışma diliminde, yaz sezonu çalışma diliminde ve pazar günleri arasında yolcu taşımacılığına bakıldığında en yoğun günlerde 150 otobüsle taşıdığı yolcu sayıları ve yapılan sefer sayılarının incelenmesi üzerine gerçekleştirilmiştir. Otobüs hatlarının sefer sayılarının doğrusal hedef programlama tekniği yardımıyla hesaplanması ile en yoğun yolcu taşınan günlerde hangi sıklıkla ve hangi sayıda sefer yapılabileceği bulunmuştur. Böylece hatların hali hazırda yaptığı fazladan seferler bulunmuş ve maksimum fayda göz önünde bulundurularak yeni sefer sayıları tespit edilmiştir.

Bu tespitler doğrultusunda azalacak sefer sayıları ile hem yapılacak olan sefer sayıları optimize edilmiş hem de kar maksimizasyonu sağlanması düşünülmüştür. Model oluşturulurken toplumsal fayda göz önünde bulundurulmadan sistemin en yüksek karlılıkla çalışması gerektiği düşünülmüştür. Oluşturduğumuz sistem gidiş yönünde, dönüş yönünde ve her iki yönde birlikte olmak üzere üç farklı şekilde değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede yolculuk kapasiteleri, hat güzergah süreleri ve hat güzergahlarının uzunlukları temel parametreler olarak ele alınmıştır.

5.2 Otobüslerin Günlük Sefer Sayılarının Doğrusal Hedef Programlama ile Modellenmesi

5.2.1 Problemin Tanımı

Denizli ili merkezinde toplu ulaşımda kullanılan 150 araçlık filo ile kent içi otobüs talebinin karşılanması düşünülmektedir. Bu talep için hali hazırda 43 otobüs hattının verileri kullanılmıştır. Veriler doğrultusunda günlük, aylık ve yıllık kapasiteler

hesaplanmıştır. 2015 yılı içerisinde en çok yolcunun taşındığı gün olan 27 Nisan 2015, yaz sezonu içerisinde en çok yolcunun taşındığı 18.09.2015 ve Pazar günleri arasında en çok yolcunun taşındığı 19.04.2015'te taşınan toplam yolcu verileri baz alınarak, otobüs filo büyüklüğü, otobüslerin kapasiteleri, hatların sefer süreleri, hatların güzergah uzunlukları göz önünde bulundurularak ve güzergah yönlerinde oluşan yolculuk taleplerine göre hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplar yapılırken WinQSB bilgisayar programından yararlanılarak, doğrusal hedef programla ilkelerine göre yolculuk taleplerinin yönlerine göre toplam değerlendirmeleri yapılmış, bununla birlikte talebe karşılamak için gerekli sefer sefer bulunmuştur.

5.2.2 Verilerin Derlenmesi ve Analizleri

Denizli Büyükşehir Belediyesine ait olan ve 2014 yılında kurulan Ulaşım A.Ş., Denizli ili merkezi içerisinde otobüs toplu taşımacılığı işletmesini gerçekleştirmektedir. Bu bağlamda araçlarda bulunan cihazlar ile biniş verileri ana bilgisayarlarda toplanmaktadır. Veriler anlık olarak ana bilgisayara gönderilmekte ve belirli zaman dilimine ait veriler bu sistemden detaylı olarak alınabilmektedir. Bununla birlikte sistemde çalışan hatların güzergahları, harita alt yapılı program google earth yardımıyla takip edilmekte ve güzergah uzunlukları bu programlar yardımı ile bulunabilmektedir.

Tablo 5.1: Denizli Ulaşım A.Ş. Güzergah Hat Numaraları ve İsimleri.

NO	HAT NO	ÇALIŞILAN HAT
1	1	B.YERİ - A.MEZARLIK - TOKİ
2	2	B.YERİ - KİREMİTÇİ - YENİŞEHİR
3	3	B.YERİ - KIBRISŞEHİTLER - KAMPÜS
4	4	VALİLİK - PELİTLİBAĞ - KAMPÜS
5	5	B.YERİ - ESKİHİSAR-BOZBURUN
6	6	VALİLİK - FATİH - KAYHAN
7	6/1	GARAJ -ÇINAR -KAYIHAN- KARAKURT
8	7	B.YERİ - DOKUZKAVAKLAR - IRLIGANLI
9	7/1	VALİLİK – GONCALI - KARAKOVA
10	7/2	AKKAN -GÜZELKÖY- KOCADERE
11	7/3	VALİLİK - KARAKOVA- SALİHAĞA - ÇELTİKÇİ
12	8	B.YERİ - ANAFARTALAR - K.YAKA
13	9	B.YERİ - BAKIRLI - ŞİRİNEVLER - ALBAYRAK
14	9/2	B.YERİ - SEMİKLER - KAYALAR

NO	HAT NO	ÇALIŞILAN HAT
15	10	PINARKENT - B.YERİ - KAMPÜS
16	11	B.YERİ - ALBAYRAK - ÜÇLER
17	11/3	B.YERİ - ELİFEVLER- ÜÇLER
18	12	B.YERİ - ÇAMLIK - KAMPÜS
19	13	B.YERİ - MESKA –SERVERGAZİ D.HAS.
20	14	B.YERİ - YENİYOL - BAĞBAŞI
21	14/1	GARAJ - CANKURTARAN
22	15	B.YERİ - YENİŞEHİR - ŞİRİNKÖY
23	17	GARAJ - H.EYÜPLÜ - ÜÇLER
24	18	B.YERİ - 1200 EVLER
25	19	B.YERİ - ESKİ YOL - BAĞBAŞI
26	20	KAMPÜS – İSTİKLAL - B.YERİ - ÜÇLER
27	21	B.YERİ – LİSE – GEZEKYATAGI -YENİŞEHİR
28	22	B.YERİ - KERVANSARAY - BAĞBAŞI
29	23	GARAJ - KIBRISŞEHİTLER - KAMPÜS
30	24	B.YERİ - YEŞİLKÖY
31	25	1200EVLER - ALBAYRAK - GERZELE - KAMPÜS
32	26	GARAJ - DOLUNAY - ÜÇLER
33	27	B.YERİ - ÇINAR - MESKA
34	28	BAŞKARCI -AKKONAK - GARAJ-GÖVEÇLİK
34	28/1	BAŞKARCI - AKKONAK - GARAJ
35	29	B.YERİ - Y.MAHALLE - 1200 EVLER
36	30	YENİŞEHİR - B.YERİ - ÇINAR
37	31	B.YERİ - TOKAT CAD. - KAMPÜS
38	32	GÜMÜŞLER – ALBAYRAK – AKKONAK - KAMPÜS
39	33	B.YERİ - ÇINAR - ÜÇLER
40	34	ÜÇLER - KAMPÜS
41	35	PAMUKKALE – ÇINAR - B.YERİ
42	36	KARŞIYAKA - KAYIHAN- KAMPÜS

Yukarıdaki Tablo 5.1’de Denizli Ulaşım A.Ş.’ye ait hatların güzergah isim ve numaraları bulunmaktadır. Hatlar isimlerinden de anlaşılacağı üzere genelde belli başlı noktalardan hat başı ve sonu yapmaktadır. Bunlardan bazıları Çınar, Bayramyeri, Kampüs ve Üçler mevki olarak göze çarpmaktadır. Buradan anlaşılacağı üzere yolculukların çoğunluğu bu mevkilerden gerçekleşmektedir. Güzergahların genel olarak yapısı Şekil 5.1’de detaylı olarak harita tabanlı program google earth üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5.1: Denizli Ulaşım A.Ş. Güzergah Ağı.

Her hattın detaylı haritası Ekler bölümünde detaylı harita olarak verilmiştir.

Güzergah yapısı toplamda 1.245,5 km uzunluğa sahiptir ve üzerinde 1.470 adet durak bulunmaktadır. Günde otobüsler ortalama 36.000 Km yol kat edilmekte ve günde toplam 2.500'ün üzerinde sefer yapılmaktadır. Bu seferlerde Otokar Doruk ve Kent araçlar ile Mercedes Solo ve Körüklü araçlar kullanılmaktadır. Şirket bünyesinde 60 Doruk, 57 Kent, 5 Solo Conecto ve 28 Körüklü Conecto otobüs bulunmaktadır. Otobüslerin uzunluklarına göre kapasiteleri de değişmektedir. Buna göre Doruklar 65 kişi, Kentler ve Solo Conectolar 100 kişi, Körüklü Conectolar ise toplam 150 kişiyi aynı anda taşıyabilme kapasitesine sahipler.

Tablo 5.2'de, sıra 34 2 adet bulunmaktadır çünkü kış sezonu incelemesinde 7/3 hattı bulunmakta ancak Yaz sezonu analizinde bu hat kaldırılmış olup 28 nolu hat 2 ye bölünerek 28 ve 28/1 olarak sisteme dahil edilmiştir.

Tablo 5.2: Modelin geliştirilmesinde kullanılan hat ve araç verileri.

HAT NO	ÇALIŞILAN HAT	KAPASİTE (Kişi)	HAT SEFER SÜRESİ (Dakika)	GİDİŞ SEFER SAYISI	DÖNÜŞ SEFER SAYISI
1	B.YERİ-TOKİ	100	30	31	31
2	B.YERİ-YENİŞEHİR	65	30	14	14
3	B.YERİ-KAMPÜS	100	40	73	73
4	VALİLİK-KAMPÜS	65	30	12	12
5	B.YERİ-ESKİHİSAR	65	30	19	22
6	VALİLİK-KAYHAN	65	40	23	23
6/1	GARAJ-KARAKURT	65	60	5	5
7	B.YERİ-IRLIGANLI	100	45	33	33
7/1	VALİLİK-KARAKOVA	65	60	31	33
7/2	AKKAN-KOCADERE	65	45	29	31
7/3	SALİHA-ÇELTİKÇİ	65	60	5	6
8	B.YERİ-K.YAKA	100	30	49	49
9	B.YERİ-T.HALİ	100	60	46	46
9/2	B.YERİ-KAYALAR	65	30	12	12
10	PINARKENT-KAMPÜS	65	60	15	16
11	B.YERİ-ÜÇLER	100	45	30	29
11/3	B.YERİ-ELİFEVLER	100	30	31	31
12	B.YERİ-KAMPÜS	65	30	48	47
13	B.YERİ-SVG.DEV.HST.	65	45	33	33
14	B.YERİ-YENİYOL	100	50	69	69
14/1	GARAJ-CANKURTARAN	65	60	5	5
15	B.YERİ-ŞİRİNKÖY	65	30	14	15
17	GARAJ-H.EYÜPLÜ	65	60	8	7
18	B.YERİ-1200 EVLER	100	40	51	50
19	B.YERİ-ESKİ YOL	100	45	70	66
20	KAMPÜS-ÜÇLER	150	75	64	64
21	B.YERİ-YENİŞEHİR	100	40	50	50
22	B.YERİ-K.SARAY	65	45	30	31
23	T.HALİ-KAMPÜS	65	45	36	36
24	B.YERİ - YEŞİLKÖY	100	40	48	51
25	1200EVLER-KAMPÜS	100	60	14	14
26	GARAJ-ÜÇLER	100	50	51	52
27	B.YERİ-MESKA	65	30	32	33
28	GARAJ-GÖVEÇLİK	65	60	9	10
28/1	BAŞKARCI-GARAJ	65	60	19	20
29	B.YERİ-1200 EVLER	100	40	50	52
30	YENİŞEHİR-ÇINAR	100	40	51	51
31	B.YERİ-KAMPÜS	65	30	15	15
32	GÜMÜŞLER-KAMPÜS	150	60	14	14
33	B.YERİ-ÜÇLER	100	60	37	37
34	ÜÇLER-KAMPÜS	150	75	66	66
35	PAMUKKALE-VALİLİK	65	60	5	5
36	KARŞIYAKA-KAMPÜS	65	40	8	7

5.2.3 Günlük Sefer Sayısı Modelinin Geliştirilmesi

Veriler ışığında hatların gün içerisinde yapacakları en uygun sefer sayısına ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada en ideal sefer sayısını veren doğrusal hedef programlama modeli, Günlük Sefer Sayısı Modeli (GSMOD) oluşturulmuştur. Karar değişkenleri, sistem ve hedef kısıtları, amaç fonksiyonu belirlenerek oluşturulan sistem windows tabanlı WinQSB programı yardımıyla çözülmüştür. Çözümler öncelikle hatların her iki yönünde, yani hem gidiş hem de dönüş yönünde yapılmıştır. Son olarak her iki yön birlikte değerlendirilerek sistem çözümü gerçekleştirilerek en uygun çözüm bulunmaya çalışılmıştır.

Modelimizin karar değişkenleri, Denizli ilinde bulunan toplam 42 otobüs hattına aittir. Bu veriler doğrultusunda 2015 yılında kış sezonu, yaz sezonu ve pazar günleri içerisinde en çok yolcunun taşındığı günler ele alınmıştır. Kısacası kış sezonunun en yoğun günü 27 Nisan 2015, yaz sezonunun en yoğun günü 18.09.2015 ve pazar günleri içerisinde en yoğun gün olan 19.04.2015 tarihlerine ait sefer sayıları ve yolcu adetleri doğru olarak kabul edilmiştir.

Modelin sistem kısıtları belirlenirken, her hattın otobüs sefer sürelerini, her otobüs hattının aldığı yol uzunluğunu ve otobüs taşıma kapasitesinin o hattaki yolcu talebini karşılaması düşünülerek hazırlanmıştır. Bir başka ifadeyle, mevcut olarak kullanılan otobüs filosunun belirlenecek olan sefer sayısı 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, alınan yol hedef kısıtı ve kapasite hedef kısıtı olarak belirlenmiştir. Süre hedef kısıtları düzenlenirken, ele alınan tarihteki 1 günlük süreçte filo çalışan otobüs sayısının, her hattın bir seferi için gerekli olan süre, her hattın her iki yönde (Gidiş ve Dönüş) ve toplam aldığı mesafe ve bu hattaki sefer sayısı değeri ile karşılanabilmesi esas alınmıştır. Literatürde, buna benzer çalışmalarda sefer sıklık değerleri günün yoğun saatlerine göre incelenmiştir. Bulunan değerlere göre sefer sayılarının yolcu talebine göre azaldığı gözlemlenmiş ve bu değişimin maliyet üzerindeki etkisi ortaya konmuştur. Ancak daha önce yapılan otobüs sefer sıklıkları ile ilgili çalışmalar sadece günün belirli zaman dilimlerine göre hesaplanmıştır (Örneğin 180 dakikalık sabah pik saatleri) (Alp 2008).

Süre Hedef Kısıtı için kullanılan bağıntı;

$$\sum_{i=1}^{42} t_i X_i - d_1^+ + d_1^- = T * B \quad (5.1)$$

olup, burada;

t_i : Her bir otobüs hattının sefer süresi

B : Mevcut otobüs sayısı

X_i : i hattı için yapılması gereken sefer sayısı

T : Zaman aralığı (1 Gün)

d_t : Sapma değişkenleri, + pozitif, - negatif

ifade etmektedir.

Kapasite Hedef Kısıtı için kullanılan bağıntı;

$$\sum_{i=1}^{42} C_i X_i - d_2^+ + d_2^- = \sum_{i=1}^{42} K_i \quad (5.2)$$

şeklindedir. Burada;

C_i : Her hatta kullanılan otobüs tipinin kapasite değeri

K_i : Her hatta bulunan yolcu talep değeri

X_i : i hattı için yapılması gereken sefer sayısı

d_i : Sapma değişkenleri, + pozitif, - negatif

olmaktadır.

Mesafe Hedef Kısıtı için kullanılan bağıntı;

$$\sum_{i=1}^{42} m_i X_i - d_3^+ + d_3^- = M_T \quad (5.3)$$

şeklindedir.

Burada ise;

m_i : Her hattın kat ettiği mesafe

M_T : Sistemin günlük kat ettiği mesafe

X_i : i hattı için yapılması gereken sefer sayısı

d_i : Sapma değişkenleri, + pozitif, - negatif

olmaktadır.

Oluşturduğumuz hedef programlama modelimizde başarı fonksiyonlarında sadece negatif sapma değişkenleri (d_t^-) kullanılmıştır, çünkü pozitif sapma değişkenleri (d_t^+) konu ile ilgili kısıtlarımızın kapasite fazlalığını ifade etmektedir. Süre hedef kısıtı için (d_1^+) fazla süre değerini; kapasite hedef kısıtı için (d_2^+) kapasite fazlası değerini; mesafe hedef kısıtı için (d_3^+) mesafe fazlası değerini göstermektedir. Başarı fonksiyonlarında yer alan (d_1^-) daha ne kadar süre seyahat edilebileceğini (d_2^-) ise daha ne kadar yolcu taşınabileceğini (d_3^-) ise daha ne kadar mesafe yol alınabileceğini göstermektedir.

Bu bilgiler doğrultusunda modelde amaç fonksiyonu oluşturulurken, süre, kapasite ve mesafe hedef kısıtları eşit öncelikli olarak kabul edilmiştir. Oluşturulan amaç fonksiyonu bu üç kısıta ait negatif sapma toplamının minimize edilmesi şeklinde oluşmuştur aşağıda gösterilmiştir.

$$\min S = d_1^- + d_2^- + d_3^- \quad (5.3)$$

Amaç fonksiyonumuz doğrultusunda ve belirlediğimiz kısıtlarımızla birlikte belirlemiş olduğumuz hedef programlama modelimizi hatların her iki yönünde ve genel olarak windows tabanlı WinQSB programı yardımı ile çözülmüştür.

5.2.4 WinQSB Programı

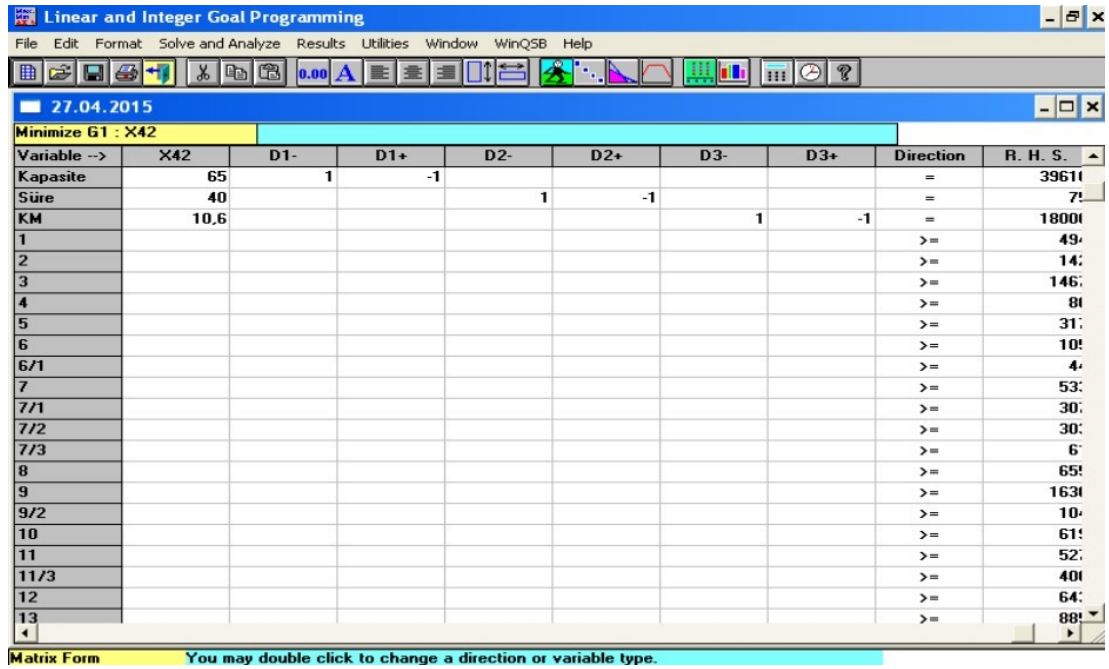
WinQSB daha çok Yöneylem literatürünü barındıran windows tabanlı ve excel mantığı ile çalışan bir paket programdır. İş ve işin işleyişi konusunda karar almada yardımcı olmak amacı ile tasarlanmış bir programdır. Genellikle endüstri mühendisliğinde kullanılan bu program kendi içerisinde çözüm algoritmalarını excel tabanına aktarmış ve çözümü kolaylaştırmak için yazılmıştır. Her bir modülü kendi içerisinde literatürdeki algoritma ve çözüm yöntemlerini içerir. Kullanıcıya çok basit ara yüzü ve kullanım kolaylığı sunmaktadır.

WinQSB programının içerdiği çözüm modüller şunlardır;

- Toplu Üretim Planı
- Kabul Örnekleme
- Karar Analizi

- Dinamik Programlama
- Tahmin
- Tesis Yerleştirme ve Planlama
- Hedef Programlama
- Stok Teorisi
- İş Çizelgeleme
- Doğrusal ve Tamsayı Programlama
- Markov Süreçleri
- Şebeke Modelleri
- Doğrusal Olmayan Programlama
- Kuyruk Analizi
- Kalite Kontrol Çizelgeleri
- Quadratic Programlama
- Kuyruk Sistemleri Simülasyonu

Aşağıdaki şekillerde WinQSB programı çözümü ekran alıntıları gösterilmiştir.



Variable ->	X42	D1-	D1+	D2-	D2+	D3-	D3+	Direction	R. H. S.
Kapasite	65	1	-1					=	39611
Süre	40			1	-1			=	71
KM	10,6					1	-1	=	18001
1								>=	49
2								>=	14
3								>=	146
4								>=	81
5								>=	31
6								>=	10
6/1								>=	4
7								>=	53
7/1								>=	30
7/2								>=	30
7/3								>=	6
8								>=	65
9								>=	163
9/2								>=	10
10								>=	61
11								>=	52
11/3								>=	40
12								>=	64
13								>=	88
4								>=	

Şekil 5.2: Gidiş yönü doğrultusunda veri girdisi program ekranı alıntısı.

Yukarıda ki Şekil 5.2’de gidiş yönü doğrultusunda ki hatların her birinin sistem kısıtları girilmiş ve bu kısıtlara göre analizi sağlanmıştır.

	16:21:38		Monday	January	23	2017
16	G1	X16	17,00	0	0	158,00
17	G1	X17	16,00	0	0	10,00
18	G1	X18	29,00	0	0	77,00
19	G1	X19	21,00	0	0	148,00
20	G1	X20	24,00	0	0	107,00
21	G1	X21	5,00	0	0	227,00
22	G1	X22	7,00	0	0	102,00
23	G1	X23	2,00	0	0	212,00
24	G1	X24	21,00	0	0	136,00
25	G1	X25	25,00	0	0	13,00
26	G1	X26	47,00	0	0	18,00
27	G1	X27	26,00	0	0	118,00
28	G1	X28	17,00	0	0	13,00
29	G1	X29	17,00	0	0	12,00
30	G1	X30	19,00	0	0	78,00
31	G1	X31	5,00	0	0	20,00
32	G1	X32	21,00	0	0	156,00
33	G1	X33	16,00	0	0	98,00
34	G1	X34	4,00	0	0	153,00
35	G1	X35	21,00	0	0	124,00
36	G1	X36	24,00	0	0	85,00
37	G1	X37	5,00	0	0	78,00
38	G1	X38	5,00	0	0	163,00
39	G1	X39	17,00	0	0	187,00

Şekil 5.3: Dönüş yönü verilerine göre elde edilen sonuçların ekran alıntısı.

Şekil 5.3’de dönüş yönünde ki hat verileri sistem kısıtları olarak girildikten sonra verilerin analizine geçilmiş ve analiz sonuç ekranının görüntüsü kaydedilmiştir.

Variable ->	X42	D1-	D1+	D2-	D2+	D3-	D3+	Direction	R. H. S.
Min:G1		1		1			1		
Kapasite	65	1	-1					=	9861
Süre	40			1	-1			=	13
KM	21,3					1	-1	=	3578
1								>=	189
2								>=	52
3								>=	453
4								>=	17
5								>=	156
6								>=	74
6/1								>=	16
7								>=	245
7/1								>=	155
7/2								>=	157
7/3								>=	29
8								>=	266
9								>=	358
9/2								>=	49
10								>=	132
11								>=	221
11/3								>=	198
12								>=	252

Şekil 5.4: Gidiş ve Dönüş yönü verileri GSMOD WinQSB çözüm ekranı.

Modelimizin her iki yönde de yaptığı seferlerin tümünü incelediğimiz analizimiz Şekil 5.4’de ki ekran görüntüsünde yer almaktadır.

Modelimizin analizleri sonucunda elde ettiğimiz veriler bir sonraki bölümümüz sonuç ve öneriler bölümünde detaylı olarak işlenmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1 Günlük Sefer Modelinin Sonuçları

Tez çalışması kapsamında kurduğumuz doğrusal hedef programlama modeli olan Günlük Sefer Sayısı (GSMOD) ile 1 gün içerisinde yapılması gereken en uygun sefer sayısının bulunmasına çalışıldı. Bu sefer sayıları bulunurken hatların başlangıçtan bitişe, bitişten başlangıç noktasına yani gidiş ve dönüş istikametinde yaptıkları sefer sayılarına göre model uygulandı ve en uygun sefer sayıları her iki yönde de bulundu. Bununla birlikte sistemin bir bütün olarak toplam incelemesi yapıp her iki yönde ortaya çıkan veriler ile toplam veri karşılaştırıldı. Hatların tek yönde yapacakları seferlerin genel olarak tam tersi seferler yaparak bir bütünü oluşturduğu göz önünde bulundurularak, gidiş ve dönüş yönlerinde bulunan verilerin iki katı ile sistemin genel incelemesi ile bulunan sefer sayıları karşılaştırıldı. Bu sayede yapılabilecek en uygun sefer sayıları tespit edilmeye çalışıldı.

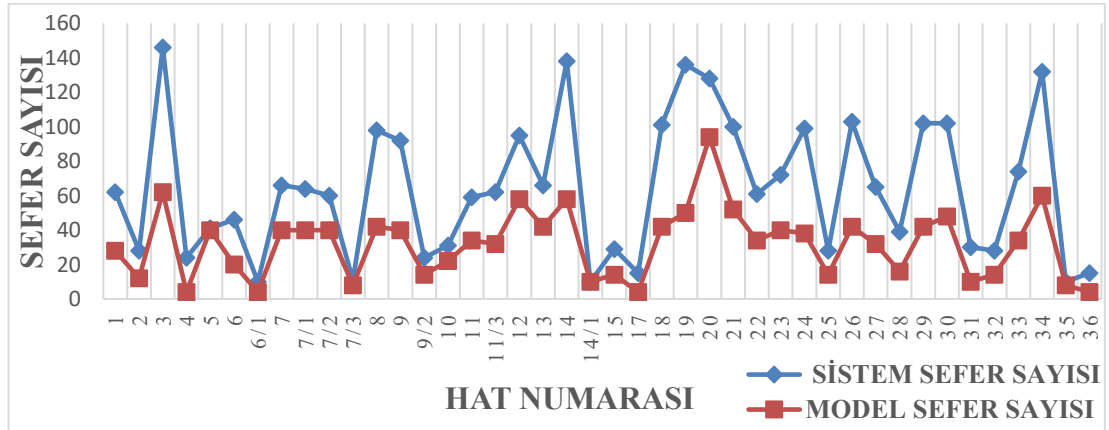
Denizli ili otobüs ağı içerisinde yer alan 42 adet hattın, 1 gün içerisinde, otobüs filo büyüklüğü, otobüs kapasiteleri, hat sefer süreleri ve yolcu talepleri doğrultusunda incelenerek doğrusal hedef programlama ile en uygun sefer sayısı değerlerinin elde edilmesine yönelik geliştirilen GSMOD Modeli ile elde edilen sefer sayıları değerleri ile mevcut durumdaki sefer sayıları değerleri karşılaştırmalı olarak Tablo 6.1, Tablo 6.2 ve Tablo 6.3’de verilmiştir.

Tablo 6.1: 27.04.2015 Kış Sezonu Mevcut Durum Sefer Sıklık Değerleri – GSMOD Model Sonuçları.

HAT NO	SİSTEM SEFER SAYISI	MODEL SEFER SAYISI
1	62	28
2	28	12
3	146	62
4	24	4
5	41	40
6	46	20
6/1	10	4
7	66	40
7/1	64	40
7/2	60	40
7/3	11	8
8	98	42
9	92	40

HAT NO	SİSTEM SEFER SAYISI	MODEL SEFER SAYISI
9/2	24	14
10	31	22
11	59	34
11/3	62	32
12	95	58
13	66	42
14	138	58
14/1	10	10
15	29	14
17	15	4
18	101	42
19	136	50
20	128	94
21	100	52
22	61	34
23	72	40
24	99	38
25	28	14
26	103	42
27	65	32
28	39	16
29	102	42
30	102	48
31	30	10
32	28	14
33	74	34
34	132	60
35	10	8
36	15	4

Kış sezonu yani okul sezonunda yapılan taşımalarda en çok yolcu sayısına ulaşılan günün incelenmesi ile ortaya çıkan veriler yukarıdaki Tablo 6.1 görülmektedir. Görüldüğü gibi gerçek kapasitenin oldukça altında bir taşıma gerçekleştiği aşikardır.

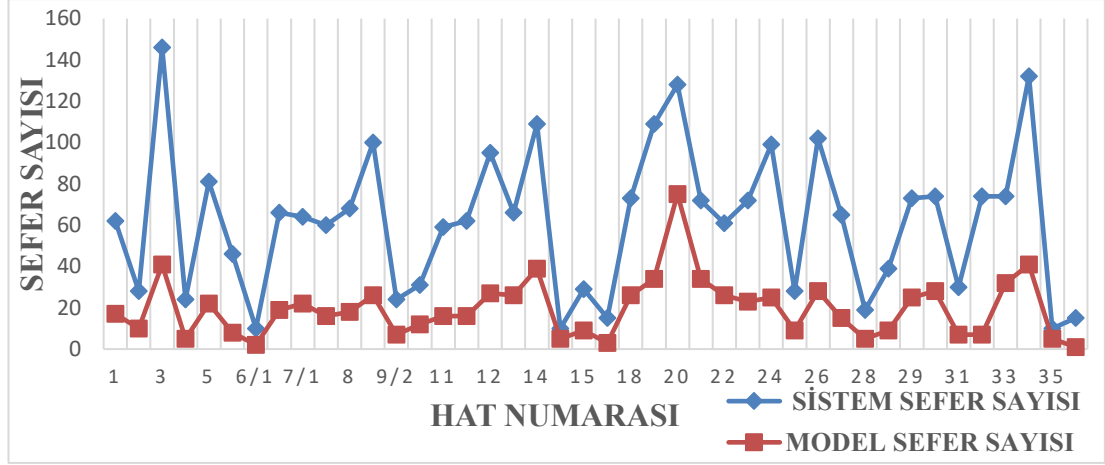


Şekil 6.1: 27.04.2015 Sistem ve Model Sefer Sıklıkları Grafiği.

Tablo 6.2: 18.09.2015 Yaz Sezonu Mevcut Durum Sefer Sıklık Değerleri – GSMOD Model Sonuçları.

HAT NO	SİSTEM SEFER SAYISI	MODEL SEFER SAYISI
1	62	17
2	28	10
3	146	41
4	24	5
5	81	22
6	46	8
6/1	10	2
7	66	19
7/2	64	22
7/3	60	16
8	68	18
9	100	26
9/2	24	7
10	31	12
11	59	16
11/3	62	16
12	95	27
13	66	26
14	109	39
14/1	10	5
15	29	9
17	15	3
18	73	26
19	109	34
20	128	75
21	72	34
22	61	26
23	72	23
24	99	25
25	28	9
26	102	28
27	65	15
28	19	5
28/1	39	9
29	73	25
30	74	28
31	30	7
32	74	7
33	74	32
34	132	41
35	10	5
36	15	1

Yaz sezonunu incelediğimiz Tablo 6.2’de aynı şekilde kış sezonunda görüldüğü gibi mevcut seferlerin sayısının taşınan yolcuya bakıldığında oldukça fazla olduğu görülmektedir.



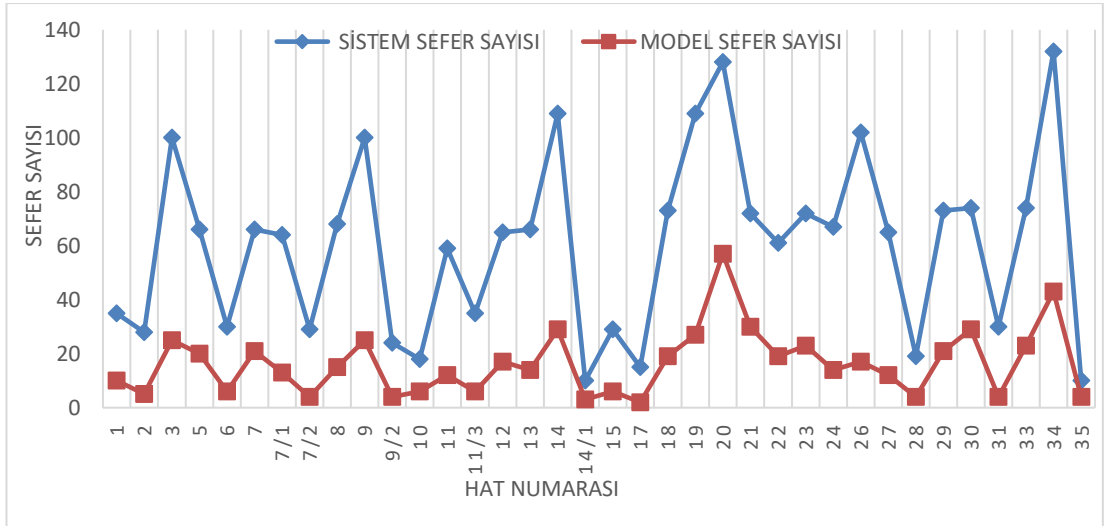
Şekil 6.2: 18.09.2015 Sistem ve Model Sefer Sıklığı Grafiği.

Tablo 6.3: 19.04.2015 Pazar Günü Mevcut Durum Sefer Sıklık Değerleri – GSMOD Model Sonuçları.

HAT NO	SİSTEM SEFER SAYISI	MODEL SEFER SAYISI
1	35	10
2	28	5
3	100	25
5	66	20
6	30	6
7	66	21
7/1	64	13
7/2	29	4
8	68	15
9	100	25
9/2	24	4
10	18	6
11	59	12
11/3	35	6
12	65	17
13	66	14
14	109	29
14/1	10	3
15	29	6
17	15	2
18	73	19
19	109	27
20	128	57
21	72	30
22	61	19
23	72	23

HAT NO	SİSTEM SEFER SAYISI	MODEL SEFER SAYISI
24	67	14
26	102	17
27	65	12
28	19	4
29	73	21
30	74	29
31	30	4
33	74	23
34	132	43
35	10	4

Yukarıdaki Tablo 6.3 de görüldüğü gibi hafta sonu pazar günleri yapılan seferler de diğer incelemelerimizde olduğu gibi oldukça fazla görünmektedir. Taşınan yolcuya göre yapılan en çok sefer pazar günleri gerçekleşmekte ve en büyük kayıp pazar günlerinde görülmektedir.



Şekil 6.3: 19.04.2015 Sistem ve Model Seferleri Grafiği.

Verilerimiz yıl içerisinde taşınan yolcu sayılarının en çok olduğu günlerden alındığı için yıl içerisindeki diğer tarihlerde bulunan sefer rakamları daha da düşük olacaktır.

Bununla birlikte 3. bölümde de bahsettiğimiz gibi sisteminin yıl içindeki verimi toplam taşınan yolcunun kapasiteye oranlanması ile 0,47 olduğunu belirtmiştik. Bu işletme koşullarının pik saatler ve birkaç yoğun hattın dışında oldukça verimsiz olduğunu göstermektedir.

Aşağıdaki Tablo 6.4’de ayakta seyahat eden yolcuların araç içindeki sahip oldukları alana göre yolcu ve işletme kalite kriterlerinden bahsedilmektedir.

Tablo 6.4: Ayakta seyahat eden yolcuların sahip oldukları alanlara göre değerlendirilmesi.

Ayakta Duran Yolcu Alanı	Yolcuların Konforu	İşletmelerin Koşulları
>1.00 m ² /Yolcu	1) Yolcular istedikleri gibi hareket edebilirler. 2) Yolcuların oturma oranı yüksektir. Örnek: Raylı sistemler	1) Zirve yüklemelere göre bakıldığında toplu ulaşım işletmesinin verimsiz hizmet sunumu. 2) Belli bir yöndeki hizmete göre dönüşü düştüğünde daha verimsiz olabilir.
0.50-1.0 m ² /Yolcu	1) Yolcular arası rahatlık alanı yüksek bir yolcu taşıma yüklemesi	1) Yeni tasarlanan raylı sistemler için yüksek kalitede hizmet sunulur. 2) Araç içinde kolay hareket sağlanmış olur.
0.40-0.49 m ² /Yolcu	1) Yolcuların ayakta birbirine temas etmeden yolculuk edebilir. 2) Ayaktakilerin ve oturanların kapladıkları alan eşittir.	1) Kapasite ve konfor açısından dengeli bir işletme koşulu. 2) Kapılara hareket zorlaşmaya başlar bekleme sürelerini arttırır.
0.30-0.39 m ² /Yolcu	1) Yolcular ara ara birbirlerine temas eder. 2) Ayaktaki yolcular oturanlardan daha az alana sahiptir.	1) Araç içinde yeterli hareket alanı sağlanmış olur.
0.20-0.29 m ² /Yolcu	1) İnsanlar arası rahatsızlık verecek yakınlık. 2) Sık sık vücut teması olur ve insanlar çantaları ile ilerleyemez.	1) Hesaplamalar için kullanılan en yüksek taşıma kapasitesi. 2) Kapılara arası hareket oldukça zor ve durakta bekleme süreleri artar. 3) Yolcular binmek için araçtaki yolcuların boşluklara hareketini bekler.
<0.20 m ² /Yolcu	1) İnsanların aşırı derecede sıkışık yolculuk etmesi.	1) Araç içinde hareket etmek neredeyse imkansızlaşır. 2) İnsanlar binmek için araç içindeki yolcuların boşluk bulup hareket etmesini bekler. 3) İnsanlar araca binmek yerine bir sonraki aracı beklerler.

Not: Toplu ulaşım araçları genellikle ayaktaki yolcuların %50 daha fazla olmasına yönelik hesaplanır. Bu hesaplama özellikle hafif raylı sistemler, metro ve monoray sistemler bu şekilde hesaplanmaktadır.

Kaynak: (TCRP 2013)

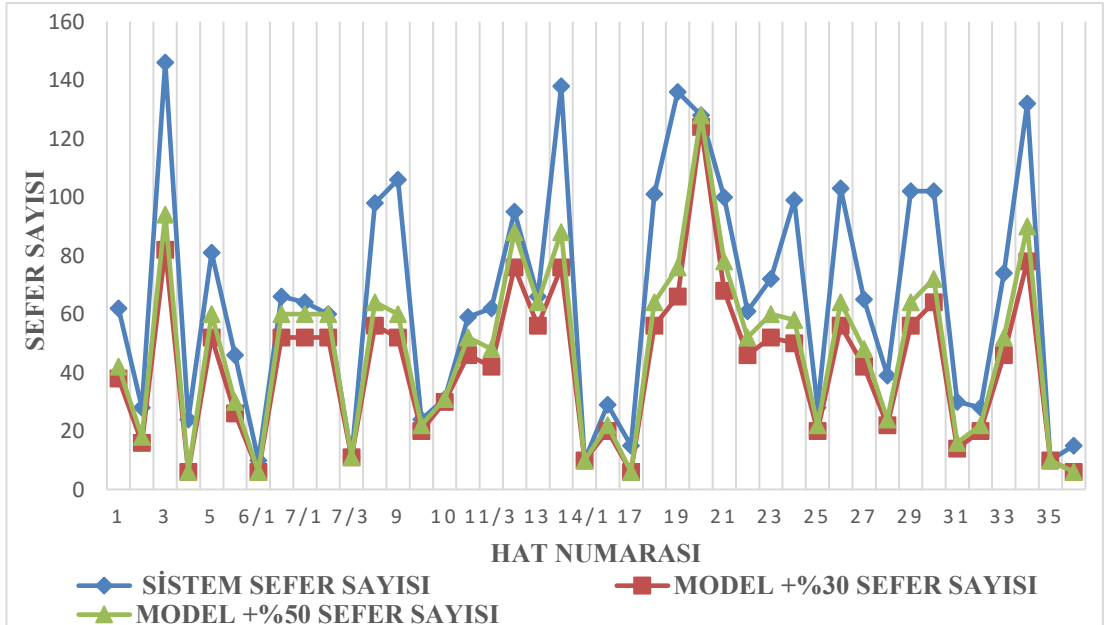
Denizli Ulaşım A.Ş.'ye ait olan otobüslerin ise ayakta seyahat edecek yolculara göre incelemesi yapıldığında, 18 metre uzunluğundaki 150 kişi kapasiteli otobüslerin 115 ayakta yolcu taşıyabileceği, her bir yolcunun tam dolulukta 0,29 m² alan sahip olacağı, 12 metre uzunluğundaki 100 kişi kapasiteli otobüslerin 73 ayakta yolcu alabileceği, her bir yolcunun tam dolulukta 0,27 m² alana sahip olacağı ve 9 metre uzunluğundaki 65 kişi kapasiteli otobüslerin ayakta 40 yolcu alabileceği ve her bir yolcunun 0,30 m² alana sahip olacağı hesaplamalarla tespit edilmiştir. Buna göre sistem tam kapasite ile çalıştığında 0,25 m² ila 0,30 m² aralığında bir ayakta taşınabilen yolcu konforu sunabilmektedir.

Bu veriler ile birlikte GSMOD ile hesaplanan sefer sayıları, sistem olarak %100 tam dolu taşımacılık yapılacağı düşünülerek hesaplanmış *Fayda/Maliyet* üzerinden hareket edilerek maksimum fayda göz önünde bulundurulmuştur. Bu nedenle konforun ve kaliteli taşımacılığın sağlanması için Toplumsal Faydanın da hesaba katılması gerekmektedir. Bu nedenle modelimizde bulunan GSMOD sefer sayıları %30luk ve %50lik toplumsal faydalar oranında arttırılmıştır. Yine de toplumsal fayda arttırımına rağmen mevcut sefer sayılarının hesaplanandan daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Tablo 6.5, Tablo 6.6 ve Tablo 6.7'de %30 ve %50 Toplumsal Fayda paylarının dahil edilmesiyle oluşan yeni sefer sayıları bulunmaktadır.

Tablo 6.5: Mevcut Durum Sefer Sıklık Değeri – GSMOD + %30 ve +%50 Toplumsal Fayda Arttırımlı Sefer Sıklıkları 27.04.2015 Kış Sezonu.

HAT NO	SİSTEM SEFER SAYISI	MODEL +%30 SEFER SAYISI	MODEL +%50 SEFER SAYISI
1	62	38	42
2	28	16	18
3	146	82	94
4	24	6	6
5	81	52	60
6	46	26	30
6/1	10	6	6
7	66	52	60
7/1	64	52	60
7/2	60	52	60
7/3	11	11	11
8	98	56	64
9	106	52	60
9/2	24	20	22
10	31	30	31
11	59	46	52

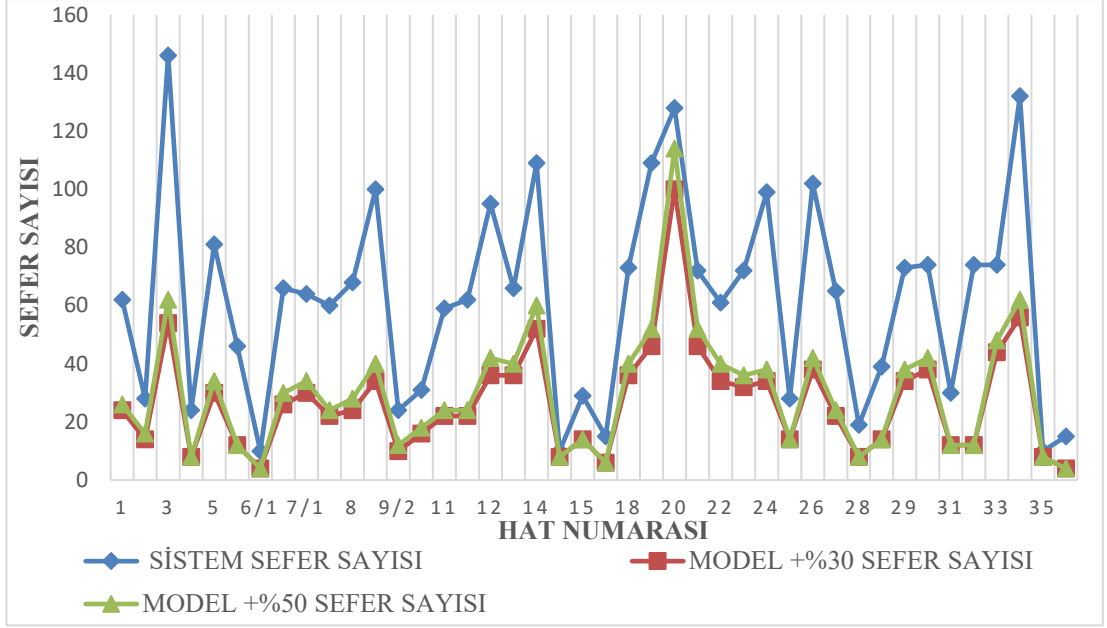
HAT NO	SİSTEM SEFER SAYISI	MODEL +%30 SEFER SAYISI	MODEL +%50 SEFER SAYISI
11/3	62	42	48
12	95	76	88
13	66	56	64
14	138	76	88
14/1	10	10	10
15	29	20	22
17	15	6	6
18	101	56	64
19	136	66	76
20	128	124	128
21	100	68	78
22	61	46	52
23	72	52	60
24	99	50	58
25	28	20	22
26	103	56	64
27	65	42	48
28	39	22	24
29	102	56	64
30	102	64	72
31	30	14	16
32	28	20	22
33	74	46	52
34	132	78	90
35	10	10	10
36	15	6	6



Şekil 6.4: 27.04.2015 Kış Sezonu Toplumsal fayda oranlarında arttırılmış sefer sayıları grafiği.

Tablo 6.6: Mevcut Durum Sefer Sıklık Değeri – GSMOD + %30 ve +%50 Toplumsal Fayda Arttırılmış Sefer Sıklıkları 18.09.2015 Yaz Sezonu.

HAT NO	SİSTEM SEFER SAYISI	MODEL +%30 SEFER SAYISI	MODEL +%50 SEFER SAYISI
1	62	24	26
2	28	14	16
3	146	54	62
4	24	8	8
5	81	30	34
6	46	12	12
6/1	10	4	4
7	66	26	30
7/1	64	30	34
7/2	60	22	24
8	68	24	28
9	100	34	40
9/2	24	10	12
10	31	16	18
11	59	22	24
11/3	62	22	24
12	95	36	42
13	66	36	40
14	109	52	60
14/1	10	8	8
15	29	14	14
17	15	6	6
18	73	36	40
19	109	46	52
20	128	100	114
21	72	46	52
22	61	34	40
23	72	32	36
24	99	34	38
25	28	14	14
26	102	38	42
27	65	22	24
28	19	8	8
28/1	39	14	14
29	73	34	38
30	74	38	42
31	30	12	12
32	74	12	12
33	74	44	48
34	132	56	62
35	10	8	8
36	15	4	4

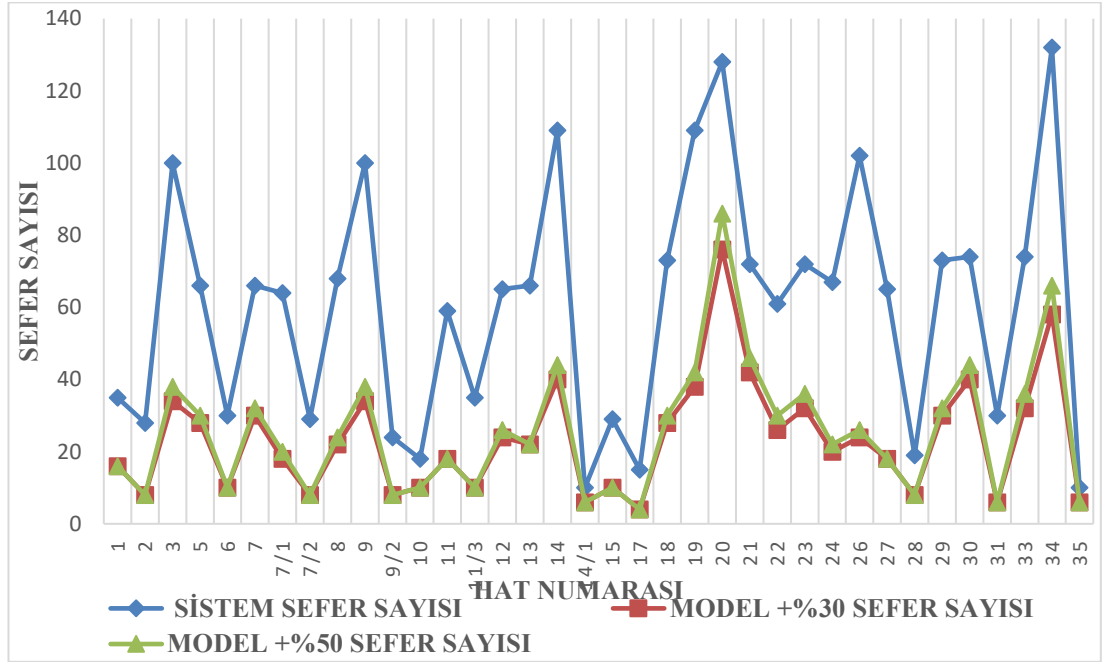


Şekil 6.5: 18.09.2015 Yaz sezonu toplumsal fayda oranlarında arttırılmış sefer sayıları grafiği.

Tablo 6.7: Mevcut Durum Sefer Sıklık Değeri – GSMOD + %30 ve +%50 Toplumsal Fayda Arttırımlı Sefer Sıklıkları 19.04.2015 Hafta Sonu Pazar.

HAT NO	SİSTEM SEFER SAYISI	MODEL +%30 SEFER SAYISI	MODEL +%50 SEFER SAYISI
1	35	16	16
2	28	8	8
3	100	34	38
5	66	28	30
6	30	10	10
7	66	30	32
7/1	64	18	20
7/2	29	8	8
8	68	22	24
9	100	34	38
9/2	24	8	8
10	18	10	10
11	59	18	18
11/3	35	10	10
12	65	24	26
13	66	22	22
14	109	40	44
14/1	10	6	6
15	29	10	10
17	15	4	4
18	73	28	30
19	109	38	42
20	128	76	86
21	72	42	46
22	61	26	30

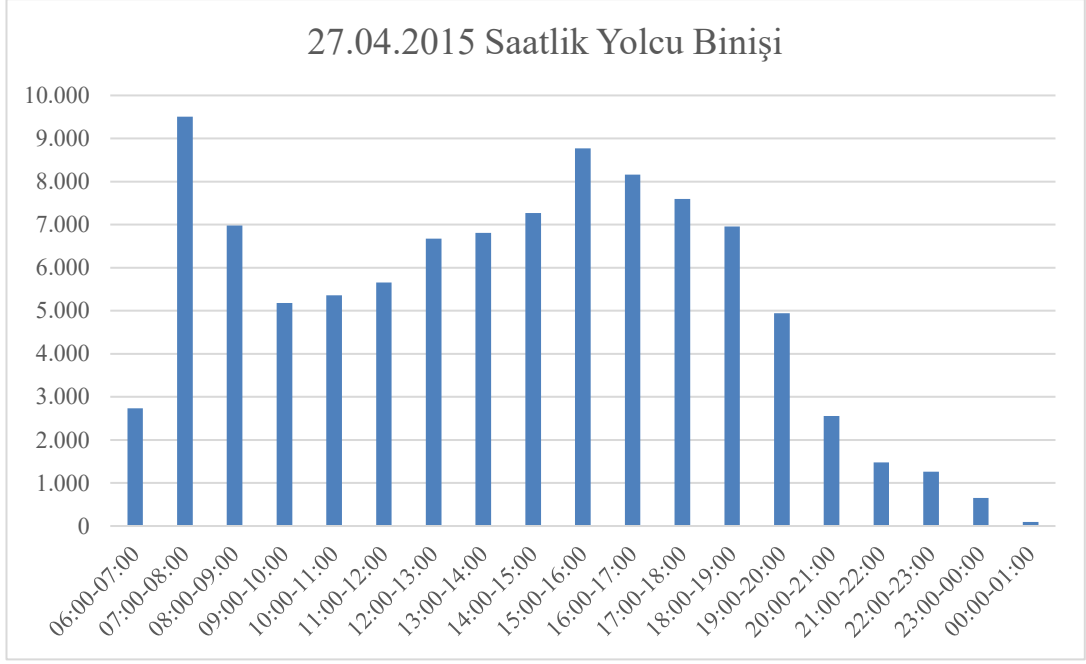
HAT NO	SİSTEM SEFER SAYISI	MODEL +%30 SEFER SAYISI	MODEL +%50 SEFER SAYISI
23	72	32	36
24	67	20	22
26	102	24	26
27	65	18	18
28	19	8	8
29	73	30	32
30	74	40	44
31	30	6	6
33	74	32	36
34	132	58	66
35	10	6	6



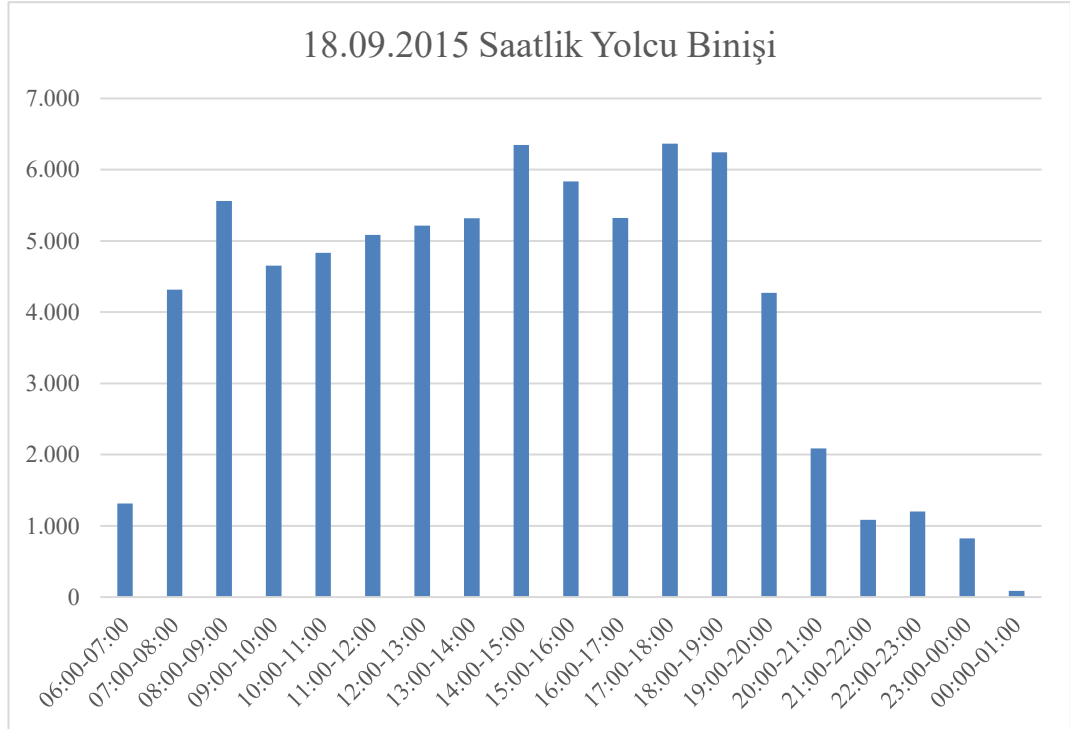
Şekil 6.6: 19.04.2015 Hafta sonu pazar toplumsal fayda oranlarında arttırılmış sefer sayıları grafiği.

6.2 Arttırılmış Seferlerin Saatlik Dağıtımı

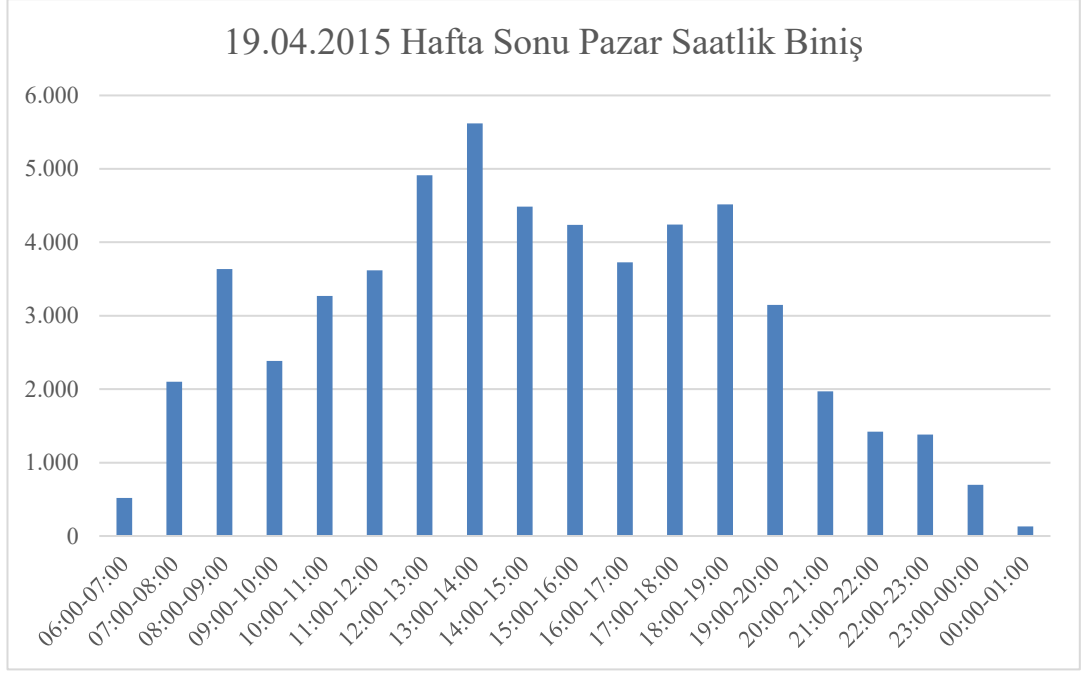
Modelimizi oluştururken kullandığımız günlük yolcu binış verilerini 1'er saatlik dilimler halinde incelediğimizde bize saatlik yolcu binışlerini ve o saatin yolcu yoğunluğunu vermektedir. Bu veriler 3.bölümde 2015 yılının toplamını kapsayacak şekilde incelenmiştir. Yine Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da sırasıyla 27.04.2015 Kış Sezonu, 18.09.2015 Yaz Sezonu ve 19.04.2015 hafta sonu pazar incelemelerimizin saatlik yolcu grafikleri bulunmaktadır.



Şekil 6.7: 27.04.2015 Kış sezonu saatlik yolcu binişi grafiği.



Şekil 6.8: 18.09.2015 Yaz sezonu saatlik yolcu binişi grafiği.



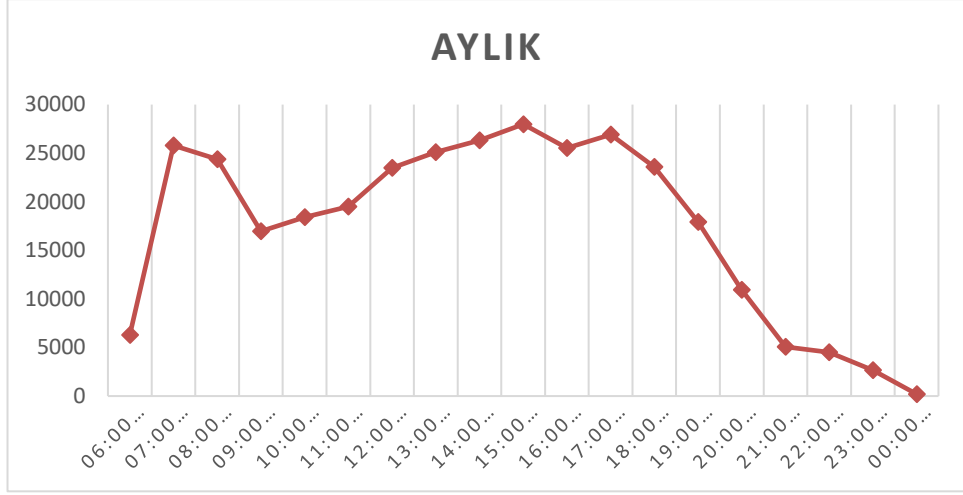
Şekil 6.9: 19.04.2015 Hafta sonu pazar saatlik yolcu binişi grafiği.

Yukarıdaki grafiklerde de görüldüğü gibi kış sezonu, yaz sezonu ve hafta sonu pazar günleri saatlik biniş dağılımlarında farklılıklar görülmektedir. Seferler hat bazında dönemsel ve haftanın günlerine göre incelenmeli ve düzenlenmelidir.

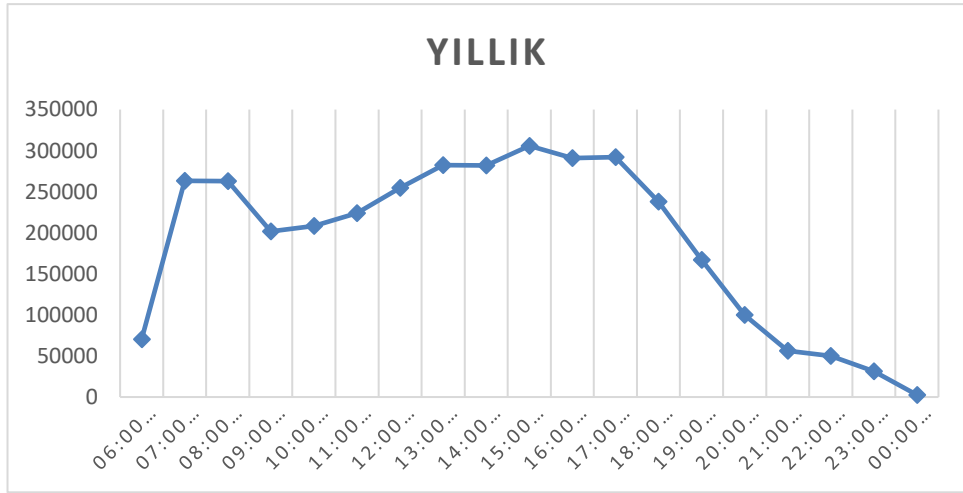
6.3 Model Sefer Dağılımının Sağlanması

GSMOD Modelimizde bulduğumuz sefer sayılarını toplumsal fayda göz önünde bulundurularak arttırmıştık. +%50 Artırımını sağladığımız yeni sefer sayılarımızdan 20 Numaralı hatta ait bulunan yeni sefer sayısının dağılımını yapmak için hattın, 2015 yılı toplamı ve en yoğun ay olan nisan ayına ait saatlik binişlerini kullanacağız. Aşağıdaki şekil 6.10 ve şekil 6.11’de 20 Numaralı hatta ait 2015 yılı toplamı ve Nisan ayının saatlik yolcu binişleri grafikleri bulunmaktadır.

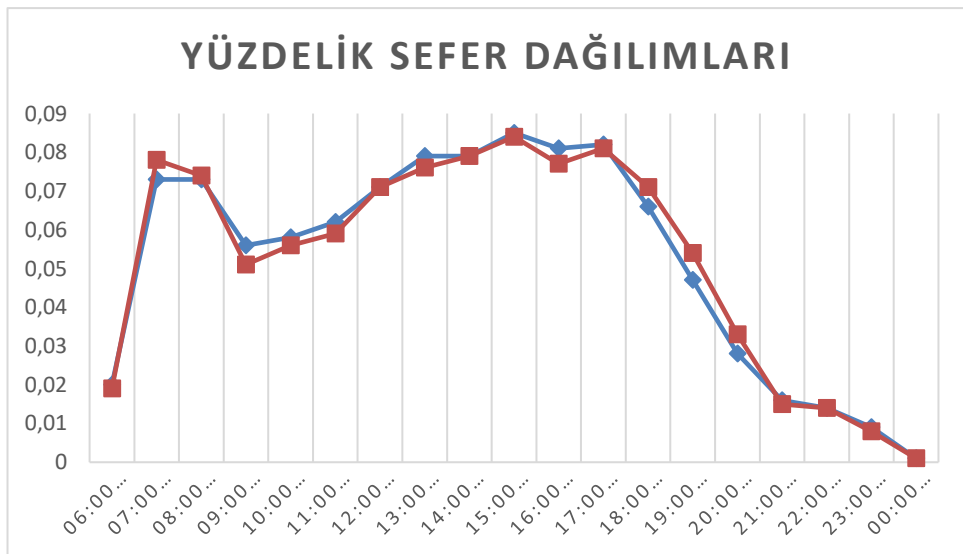
Grafiklerden de anlaşılacağı gibi saatlik yolcu binişi tercihleri 2015 yılı genelinde ve nisan ayında hemen hemen aynıdır. Bu veriler bölüm 3’te bulunan Şekil 3.9 ile de örtüşmektedir. Buna göre biniş dağılımları Tablo 6.8’de verilmiş ve bu oranların yüzdelerik dağılımları da aşağıdaki Şekil 6.12’de gösterilmektedir.



Şekil 6.10: 19.04.2015 Hafta sonu pazar saatlik yolcu binişi grafiği.



Şekil 6.11: 19.04.2015 Hafta sonu pazar saatlik yolcu binişi grafiği.



Şekil 6.12: 20 Numaralı hat yüzdelik sefer dağılımı grafiği.

Tablo 6.8: 2015 Yılı ve 2015 Nisan ayı zaman dilimlerine göre sefer katsayısına göre sefer dağılımları.

Zaman	2015 Yılı Kat Sayıları	2015 Nisan Ayı Kat Sayıları	Mevcut Sistem Seferleri	GSMOD %50+ 128 Sefer	
06:00 06:59	0,02	0,019	8	2,56	3
07:00 07:59	0,073	0,078	8	10,24	10
08:00 08:59	0,073	0,074	8	8,96	9
09:00 09:59	0,056	0,051	8	6,4	6
10:00 10:59	0,058	0,056	8	7,68	8
11:00 11:59	0,062	0,059	8	7,68	8
12:00 12:59	0,071	0,071	8	8,96	9
13:00 13:59	0,079	0,076	8	10,24	10
14:00 14:59	0,079	0,079	8	10,24	10
15:00 15:59	0,085	0,084	8	10,24	10
16:00 16:59	0,081	0,077	8	10,24	10
17:00 17:59	0,082	0,081	8	10,24	10
18:00 18:59	0,066	0,071	8	8,96	9
19:00 19:59	0,047	0,054	8	6,4	6
20:00 20:59	0,028	0,033	4	3,84	4
21:00 21:59	0,016	0,015	4	2,56	3
22:00 22:59	0,014	0,014	4	1,28	1
23:00 23:59	0,009	0,008	4	1,28	1

Toblo 6.8’de Mevcut sistem ve GSMOD +%50 sefer sayıları eşit ve 128 sefer olarak tespit edilmiştir ve sadece 20 Numaralı hattın sefer sayılarının dağılımı 27.04.2015 tarihinde bulunan +%50 arttırılmış sefer sayılarına göre bulunmuştur. Bu inceleme, sefer dağılımlarında saat dilimlerine göre hatların incelenmesinin daha doğru olacağını göstermektedir.

6.4 Model Sonuçlarının Maliyet İncelenmesi

Tez çalışması kapsamında oluşturulan model ile en uygun sefer sayılarının toplumsal fayda dahil edilerek bulunması ile mevcut sefer sayıları ile bulunan sefer sayıları arasında bir fark göze çarpmaktadır. Bu farkın getirisi ise daha az yakıt tüketimi, daha az şoför maliyeti, trafikte rahatlama ile birlikte çevreye verilen zararın minimuma indirilmesi bunlarla birlikte şirketin kasasından daha az para çıkışı olarak söylenebilir. Sefer sayısındaki azalmadan kaynaklanan maliyet değişimi ve sefer başına işletme maliyet değeri kullanılarak hesaplanmıştır. Modelin sonucunda oluşan değişimler Tablo 6.9, Tablo 6.10 ve Tablo 6.11’da toplam maliyet değerlerindeki oluşabilecek farklar ile gösterilmiştir.

Tablo 6.9: Kış sezonu 27.04.2015 GSMOD sonuçlarının maliyet değeri.

HAT NO	% 30 TOPLUMSAL FAYDA			% 50 TOPLUMSAL FAYDA		
	EKSİLEN SEFER SAYISI	TL / Km MALİYET	FARK TL	EKSİLEN SEFER SAYISI	TL / Km MALİYET	FARK TL
1	24	1,81	410,51 ₺	20	1,81	342,09 ₺
2	12	1,41	157,36 ₺	10	1,41	131,13 ₺
3	64	1,81	822,46 ₺	52	1,81	668,25 ₺
4	18	1,41	233,50 ₺	18	1,41	233,50 ₺
5	29	1,41	383,34 ₺	21	1,41	277,59 ₺
6	20	1,41	279,18 ₺	16	1,41	223,34 ₺
6/1	4	1,41	79,24 ₺	4	1,41	79,24 ₺
7	14	1,81	430,78 ₺	6	1,81	184,62 ₺
7/1	12	1,41	223,34 ₺	4	1,41	74,45 ₺
7/2	8	1,41	218,27 ₺	0	1,41	0,00 ₺
7/3	0	1,41	0,00 ₺	0	1,41	0,00 ₺
8	42	1,81	585,35 ₺	34	1,81	473,86 ₺
9	54	1,81	1.786,20 ₺	46	1,81	1.521,58 ₺
9/2	4	1,41	50,76 ₺	2	1,41	25,38 ₺
10	1	1,41	31,73 ₺	0	1,41	0,00 ₺
11	13	1,81	374,13 ₺	7	1,81	201,45 ₺
11/3	20	1,81	367,43 ₺	14	1,81	257,20 ₺
12	19	1,41	214,32 ₺	7	1,41	78,96 ₺
13	10	1,41	206,57 ₺	2	1,41	41,31 ₺
14	62	1,81	1.329,81 ₺	50	1,81	1.072,43 ₺
14/1	0	1,41	0,00 ₺	0	1,41	0,00 ₺
15	9	1,41	131,34 ₺	7	1,41	102,15 ₺
17	9	1,41	267,76 ₺	9	1,41	267,76 ₺
18	45	1,81	1.079,21 ₺	37	1,81	887,35 ₺
19	70	1,81	1.501,40 ₺	60	1,81	1.286,91 ₺

HAT NO	% 30 TOPLUMSAL FAYDA			% 50 TOPLUMSAL FAYDA		
	EKSİLEN SEFER SAYISI	TL / Km MALİYET	FARK TL	EKSİLEN SEFER SAYISI	TL / Km MALİYET	FARK TL
21	32	1,81	637,12 ₺	22	1,81	438,02 ₺
22	15	1,41	266,49 ₺	9	1,41	159,89 ₺
23	20	1,41	342,63 ₺	12	1,41	205,58 ₺
24	49	1,81	753,87 ₺	41	1,81	630,79 ₺
25	8	1,81	305,53 ₺	6	1,81	229,15 ₺
26	47	1,81	1.288,81 ₺	39	1,81	1.069,44 ₺
27	23	1,41	256,20 ₺	17	1,41	189,36 ₺
28	17	1,41	360,75 ₺	15	1,41	318,31 ₺
29	46	1,81	1.049,08 ₺	38	1,81	866,63 ₺
30	38	1,81	594,95 ₺	30	1,81	469,70 ₺
31	16	1,41	166,94 ₺	14	1,41	146,08 ₺
32	8	2,47	309,24 ₺	6	2,47	231,93 ₺
33	28	1,81	990,79 ₺	22	1,81	778,48 ₺
34	54	2,47	3.081,08 ₺	42	2,47	2.396,39 ₺
35	0	1,41	0,00 ₺	0	1,41	0,00 ₺
36	9	1,41	135,15 ₺	9	1,41	135,15 ₺
	TOPLAM MALİYET FARKI		21.877,50 ₺	TOPLAM MALİYET FARKI		16.695,45 ₺

Tablo 6.10: Yaz sezonu 18.09.2015 GSMOD sonuçlarının maliyet değeri.

HAT NO	% 30 TOPLUMSAL FAYDA			% 50 TOPLUMSAL FAYDA		
	EKSİLEN SEFER SAYISI	TL / Km MALİYET	FARK TL	EKSİLEN SEFER SAYISI	TL / Km MALİYET	FARK TL
1	38	1,88	675,11 ₺	36	1,88	639,58 ₺
2	14	1,48	192,70 ₺	12	1,48	165,17 ₺
3	92	1,48	966,74 ₺	84	1,48	882,67 ₺
4	16	1,48	217,86 ₺	16	1,48	217,86 ₺
5	51	1,48	707,63 ₺	47	1,48	652,13 ₺
6	34	1,48	498,17 ₺	34	1,48	498,17 ₺
6/1	6	1,48	124,76 ₺	6	1,48	124,76 ₺
7	40	1,88	1.278,40 ₺	36	1,88	1.150,56 ₺
7/1	34	1,48	664,22 ₺	30	1,48	586,08 ₺
7/2	38	1,48	1.088,24 ₺	36	1,48	1.030,97 ₺
8	44	1,88	636,94 ₺	40	1,88	579,04 ₺
9	66	1,88	2.267,56 ₺	60	1,88	2.061,42 ₺
9/2	14	1,48	186,48 ₺	12	1,48	159,84 ₺
10	15	1,88	634,50 ₺	13	1,88	549,90 ₺
11	37	1,88	1.106,00 ₺	35	1,88	1.046,22 ₺
11/3	40	1,48	600,88 ₺	38	1,48	570,84 ₺
12	59	1,48	698,56 ₺	53	1,48	627,52 ₺
13	30	1,48	650,46 ₺	26	1,48	563,73 ₺
14	57	1,88	1.269,85 ₺	49	1,88	1.091,62 ₺

HAT NO	% 30 TOPLUMSAL FAYDA			% 50 TOPLUMSAL FAYDA		
	EKSİLEN SEFER SAYISI	TL / Km MALİYET	FARK TL	EKSİLEN SEFER SAYISI	TL / Km MALİYET	FARK TL
15	15	1,48	229,77 ₺	15	1,48	229,77 ₺
17	9	1,48	281,05 ₺	9	1,48	281,05 ₺
18	37	1,88	921,67 ₺	33	1,88	822,03 ₺
19	63	1,88	1.403,51 ₺	57	1,88	1.269,85 ₺
20	28	2,59	1.283,60 ₺	14	2,59	641,80 ₺
21	26	1,88	537,68 ₺	20	1,88	413,60 ₺
22	27	1,48	503,50 ₺	21	1,48	391,61 ₺
23	40	1,48	719,28 ₺	36	1,48	647,35 ₺
24	65	1,88	1.038,70 ₺	61	1,88	974,78 ₺
25	14	1,88	555,35 ₺	14	1,88	555,35 ₺
26	64	1,88	1.822,85 ₺	60	1,88	1.708,92 ₺
27	43	1,48	502,76 ₺	41	1,48	479,37 ₺
28	11	1,48	260,48 ₺	11	1,48	260,48 ₺
28/1	25	1,48	580,90 ₺	25	1,48	580,90 ₺
29	39	1,88	923,83 ₺	35	1,88	829,08 ₺
30	36	1,88	585,43 ₺	32	1,88	520,38 ₺
31	18	1,48	197,14 ₺	18	1,48	197,14 ₺
32	62	1,88	1.824,16 ₺	62	1,88	1.824,16 ₺
33	30	1,88	1.102,62 ₺	26	1,88	955,60 ₺
34	76	2,59	4.547,00 ₺	70	2,59	4.188,03 ₺
35	2	1,48	68,82 ₺	2	1,48	68,82 ₺
36	13	1,48	204,91 ₺	13	1,48	204,91 ₺
	TOPLAM MALİYET FARKI		34.636,29 ₺	TOPLAM MALİYET FARKI		31.319,28 ₺

Tablo 6.11: Pazar hafta sonu 19.04.2015 GSMOD sonuçlarının maliyet değeri.

HAT NO	% 30 TOPLUMSAL FAYDA			% 50 TOPLUMSAL FAYDA		
	EKSİLEN SEFER SAYISI	TL / Km MALİYET	FARK TL	EKSİLEN SEFER SAYISI	TL / Km MALİYET	FARK TL
1	19	1,81	324,99 ₺	19	1,81	324,99 ₺
2	20	1,41	262,26 ₺	20	1,41	262,26 ₺
3	66	1,81	848,17 ₺	62	1,81	796,76 ₺
5	38	1,41	502,31 ₺	36	1,41	475,88 ₺
6	20	1,41	279,18 ₺	20	1,41	279,18 ₺
7	36	1,81	1.107,72 ₺	34	1,81	1.046,18 ₺
7/1	46	1,41	856,15 ₺	44	1,41	818,93 ₺
7/2	23	1,41	627,52 ₺	23	1,41	627,52 ₺
8	46	1,81	641,10 ₺	44	1,81	613,23 ₺
9	66	1,81	2.183,13 ₺	62	1,81	2.050,82 ₺
9/2	18	1,41	228,42 ₺	18	1,41	228,42 ₺
10	8	1,41	253,80 ₺	9	1,41	253,80 ₺
11	41	1,81	1.179,94 ₺	41	1,81	1.179,94 ₺
11/3	25	1,81	459,29 ₺	25	1,81	459,29 ₺

HAT NO	% 30 TOPLUMSAL FAYDA			% 50 TOPLUMSAL FAYDA		
	EKSİLEN SEFER SAYISI	TL / Km MALİYET	FARK TL	EKSİLEN SEFER SAYISI	TL / Km MALİYET	FARK TL
13	44	1,41	908,89 ₺	44	1,41	908,89 ₺
14	69	1,81	1.479,95 ₺	65	1,81	1.394,15 ₺
14/1	6	1,41	217,85 ₺	6	1,41	217,85 ₺
15	19	1,41	277,28 ₺	19	1,41	277,28 ₺
17	11	1,41	327,26 ₺	11	1,41	327,26 ₺
18	45	1,81	1.079,21 ₺	43	1,81	1.031,25 ₺
19	71	1,81	1.522,84 ₺	67	1,81	1.437,05 ₺
20	52	2,47	2.273,39 ₺	42	2,47	1.836,20 ₺
21	30	1,81	597,30 ₺	26	1,81	517,66 ₺
22	35	1,41	621,81 ₺	31	1,41	550,75 ₺
23	40	1,41	685,26 ₺	36	1,41	616,73 ₺
24	47	1,81	723,10 ₺	45	1,81	692,33 ₺
26	78	1,81	2.138,88 ₺	76	1,81	2.084,03 ₺
27	47	1,41	523,53 ₺	47	1,41	523,53 ₺
28	13	1,41	275,87 ₺	13	1,41	275,87 ₺
29	43	1,81	980,66 ₺	41	1,81	935,05 ₺
30	34	1,81	532,32 ₺	30	1,81	469,70 ₺
31	24	1,41	250,42 ₺	24	1,41	250,42 ₺
33	42	1,81	1.486,19 ₺	38	1,81	1.344,65 ₺
34	74	2,47	4.222,22 ₺	66	2,47	3.765,76 ₺
35	4	1,41	131,13 ₺	4	1,41	131,13 ₺
	TOPLAM MALİYET FARKI		31.471,82 ₺	TOPLAM MALİYET FARKI		29.444,66 ₺

Yukarıda da görüldüğü gibi günlük yapılan fazla seferlerden yüksek maliyetler ortaya çıkmaktadır. Bu maliyetler hesaplanırken araçların kapasitelerine göre Km maliyetleri göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Günlük Km maliyetleri mevsime göre ortalama değişmekte ve yaz mevsiminde klima kullanımından dolayı daha yüksek olmaktadır. İncelememizin maliyet detayları Tablo 6.10'da özetle gösterilmiştir.

Tablo 6.12: İncelenen günlerin toplumsal faydaya göre değişen maliyetleri tablosu.

GÜNE GÖRE MALİYET		%30 MALİYET FARKI	%50 MALİYET FARKI
27.04.2015	TOPLAM MALİYET FARKI	21.877,50 ₺	16.695,45 ₺
18.09.2015	TOPLAM MALİYET FARKI	34.636,29 ₺	31.319,28 ₺
19.04.2015	TOPLAM MALİYET FARKI	31.471,82 ₺	29.444,66 ₺

Görüldüğü üzere seferlerin değişmesi üzerine oluşabilecek maliyet farkları oldukça yüksek rakamlar olarak göze çarpıyor. Gün içerisinde yapılan boş seferler sonucu büyük bir maliyet oluşuyor ve bu da sistemin veriminin az olduğunu gösteriyor. Bunlarla birlikte personel ihtiyacı, hava kirliliği ve özellikle trafik yoğunluğuna araçların yaptığı seferlerin direk yada dolaylı olarak etkilemesi bakımından seferlerin optimum seviyede yapılması bir çok fayda sağlayacaktır.

6.5 Tartışma ve Öneriler

Tezin içerisinde Denizli iline ait toplu ulaşımda kullanılan 150 adet otobüsün kullanıldığı 42 adet hattın, kış sezonu yani okul sezonu, yaz sezonu yani tatil sezonu ve hafta sonu pazar günlerinin en yoğun yolcu taleplerinin bulunduğu günler incelenmiştir. Yolcu taleplerine göre hatların sefer sayıları üzerinden bir model oluşturulmuştur. Oluşturduğumuz Günlük Sefer Modeli (GSMOD) ile gün içerisinde yapılan seferlerin incelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Modele göre yaptığımız incelemeler ile sefer sıklıkları belirlenmiş, bu sefer sıklıkları toplumsal fayda göz önünde tutularak tekrar düzenlenmiştir. Buna rağmen mevcut sefer sıklıklarının oldukça fazla olduğu görülmüştür.

Sefer sıklıkları saatlik, durak bazında biniş iniş, gün içerisinde yoğunluk taleplerine göre hat hat incelenerek tekrar belirlenmesi gerekmektedir. Özellikle hafta sonu ve tatil günleri ile günün geç saatlerinde düşen yolcu taleplerine karşın sefer sayıları günlere ve saatlere özel olarak belirlenmeli ve gereksiz maliyetlerin önüne geçilmelidir. Bununla birlikte incelemelerde 150 araçlık otobüs filosu kapasite değerlerine göre en verimli şekilde kullanılmalıdır. Ancak bu konuda araçların duraklaması ve değişen sefer sıklıkları ile hareket saatlerinin beklenmesi gerekmektedir. Bu konuda Denizli ili tek merkezli garaj sistemi ile çalışmakta ve bu boşa alınan yolu arttırmaktadır. İncelemeler doğrultusunda şehirde araçların parklanabileceği yeni garajların yapılması ve boşa gidilen mesafenin en aza indirilmesi ve kapasitenin en verimli kullanılması bu yeni garajlarda araç değişimi ile sağlanmalıdır.

Geliřtirdiđimiz GSMOD bilgisayar tabanlı bir programa dđnüştürülebilir. Bu program doğrusal mantıkla veya sistem parametrelerine göre bulanık mantık tabanlı çözümler üretebilmesi durumunda sadece Denizli değil dünya genelinde kullanım sağlayabilir. Yolcu verileri ile doğa verilerinin kullanımı ile toplu ulaşım sistemleri en verimli şekilde planlanabilir ve daha kullanışlı hale getirilebilir.

7. KAYNAKÇA

Abbasgil, E., ‘‘İstanbul’daki Toplu Taşımacılık Kapsamında Raylı Sistemlerin Değerlendirilmesi (Esenler-Aksaray Hızlı Tramvay Örneği)’’ Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İktisat Anabilim Dalı, s. 11, (1994)

Alp, S., ‘‘Doęrusl Hedef Programlama Yönteminin Otobüsle Kent İçi Toplu Taşıma Sisteminde Kullanılması.’’, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 1:13, s. 73-91, İstanbul, (2008)

Asis, Abys., ‘‘Akıllı Bilet Yönetim Sistemi Denizli.’’ [Çevrimiçi] (2015).

Bal, H., Optimizasyon Teknikleri, 178-200, Ankara: Gazi Üniversitesi Matbaası, 1-22, (1995)

Banks, J. H., Optimal headways for multi-route transit systems: *Journal of Advanced Transportation*, 24, (1990)

Ceder, A., ‘‘Urban transit scheduling: framework, review, and examples.’’ *ASCE Journal of Urban Planning and Development*, 128: 4, s. 225–244, Haifa (2002)

Ceder, A., ‘‘Public Transit Planning and Operation. Theory, Modelling and Practice’’, s. 640, Butterworth-Heinemann, UK (2007)

Chakroborty, P., ‘‘Optimal Routing and Scheduling in Transportation: Using Genetic Algorithm to Solve Difficult Optimization Problems [Çevrimiçi]’’, *Indian Institute of Technology Transportation Engineering*, (02 Şubat 2017) <http://www.iitk.ac.in/directions/directsept04/partha~neww.pdf>, s33, Kanpur, (2017)

Cirit, F., ‘‘Sürdürülebilir Kent İçi Ulaşım Politikaları ve Toplu Ulaşım Sistemlerinin Karşılaştırılması’’ Uzmanlık Tezi, *T.C. Kalkınma Bakanlığı*, Ankara, (2014)

Deri, A., ‘‘Akıllı Kart Verileri Kullanılarak Toplu Ulaşım Yolculuk Talebinin Belirlenmesi ve Sefer Çizelgeleme Optimizasyonu’’, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, (2012)

Evren, R., ve Ülengin, F., ‘‘Yönetimde Çok Amaçlı Karar Verme’’ İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 1490, (1992)

Furth, P. G. ve Wilson, W. H. M., ‘‘Setting frequencies on bus routes: Theory and practice.’’ *Transportation Research Record*, 1–7, (1981)

Furth, P.G., J.P. Attanucci, I. Burns, ve N.H. Wilson, ‘‘Transit Data Collection Design Manual’’, Department of Transportation report, DOT: I-85-38, U.S., (1985)

Haghani A., Banihashemi M. ve Chiang K., ‘‘A comparative analysis of bus transit vehicle scheduling models.’’, *Transportation Research Part B*, 301–322, s 37, (2003)

- Ignazio, J. P., "Introduction to Linear Goal Programming.", *Sage Publications*, California, s. 11-12, (1985)
- İett, "Ulusal Toplu Ulaşım Sempozyumu ve Sergisi", *Transist* 2010, s.19-22, İstanbul, (2010)
- Jones, D. F., ve Tamiz, M., *Goal Programming in The Period 1990-2000 in Multiple Criteria Optimization State of the Art Annotated Bibliografic Surveys*, Kluwer, s. 129, (1992)
- Khasnabis, S. ve Rudraraju, R. K., *Optimum bus headway for preemption: A simulation approach.*, *Transportation Research Record*, (1603), s 128–136, (1997)
- Koutsopoulos, H. N., Amedeo, R. O. ve Wilson, N. H. M., "Determination of headways as a function of time varying characteristics on a transit network." *Computer Scheduling of Public Transport* 2, 391–413, (1985)
- Kuruüzüm, O., "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*, s. 54, İstanbul, (1986)
- LeBlanc, L. J., *Transit system network design*, *Transportation Research*, (22B), 383–390, (1988)
- Levin, I. R., vd., "Quantitative Approaches To Management.", *McGraw Hill Publishing Company*, s.848, New York, (1989)
- Markland, R. E., Sweigart, J. R., *Quantitative Methods: Application To Managerial Decision Making.*, *John Wiley And Sons*, s. 560, New York, (1987)
- Mesquita, M., vd., "Solving Public Transit Scheduling Problems", *Universidade de Lisboa*, Lizbon, (2008)
- Öztürk, A., *Yöneylem Araştırması: Ekin Kitabevi*, 9: s. 490, Bursa, (2007)
- Sarımışeli, M., *İktisadi Modeller Teori & Uygulama: Gazi Büro Kitabevi*, s. 204, Ankara, (2004)
- Schniederians, M.J., "The Life Cycle Of Goal Programming Research As", *Recorded in Journal Articles*, s. 4, (1984)
- Steuer, R.E., *John Wiley & Sons Inc.*, "Multiple Criteira Optimization: Theory, Computation and Application", Canada, (1986)
- Sun C., Zhou W. ve Wang Y., "Scheduling combination and headway optimization of bus rapid transit.", *Systems Engineering And Information Technology*, 8(5), s 61-67, (2008)

Kittelsohn ve Assoc, Inc., Parsons Brinckerhoff, Inc., KFH Group, Inc., Texas A&M Transportation Institute, ve Arup, Transit Capacity and Quality of Service Manual. Third Edition, Transit Cooperative Highway Research Program (TCRP) Report 165, published by Transportation Research Board, Washington, (2013)

Uludağ, N., “Bulanık Optimizasyon ve Doğrusal Hedef Programlama Yaklaşımları ile Otobüs Hatlarının Modellenmesi”, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2010)

Vuchic, R.V., “Urban Transit: Operations, Planning and Economics.”, John Wiley and Sons Inc., New Jersey, (2005),

Wikipedia, “Denizli [Çevrimiçi]”, (7 Haziran 2016),
<https://tr.wikipedia.org/wiki/Denizli>, (2016)

Wikipedia, “Toplu Ulaşım [Çevrimiçi]”, (7 Haziran 2016),
https://tr.wikipedia.org/wiki/Toplu_ulaşım, (2016)

Yua B., Zhongzhen Y., Suna X., Yaob B., Zenga Q. ve Jeppesenc E., “Parallel genetic algorithm in bus route headway optimization.” *Applied Soft Computing*, 11(8), s. 5081-5091, (2011)

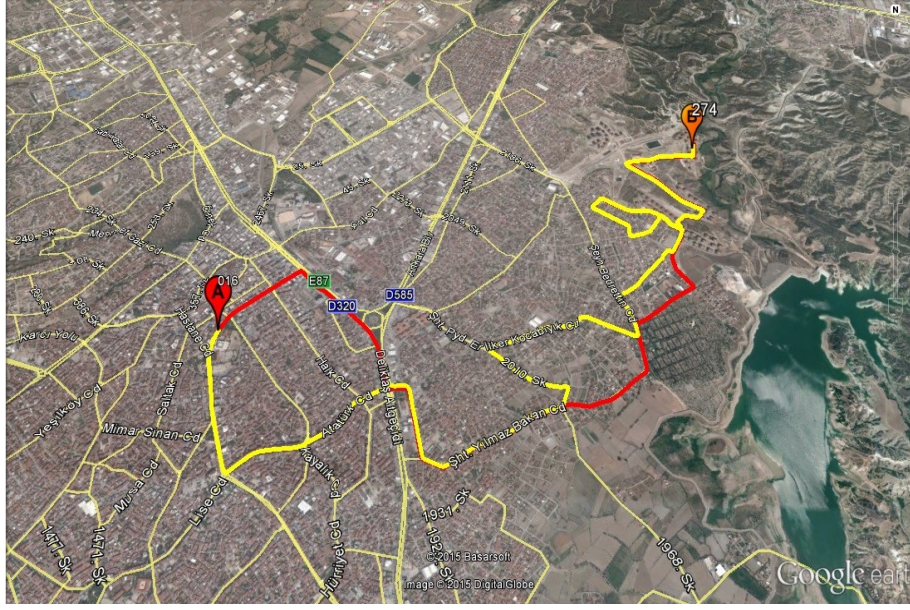
Zeleny, M., “Multiple Criteria Decision Making.”, *McGraw-Hill*, s. 215-280, USA, New York, (1982)

EKLER

8. EKLER

EK A Denizli İli Otobüs Hatları

EK A.1. 1 Numaralı Otobüs Hattı



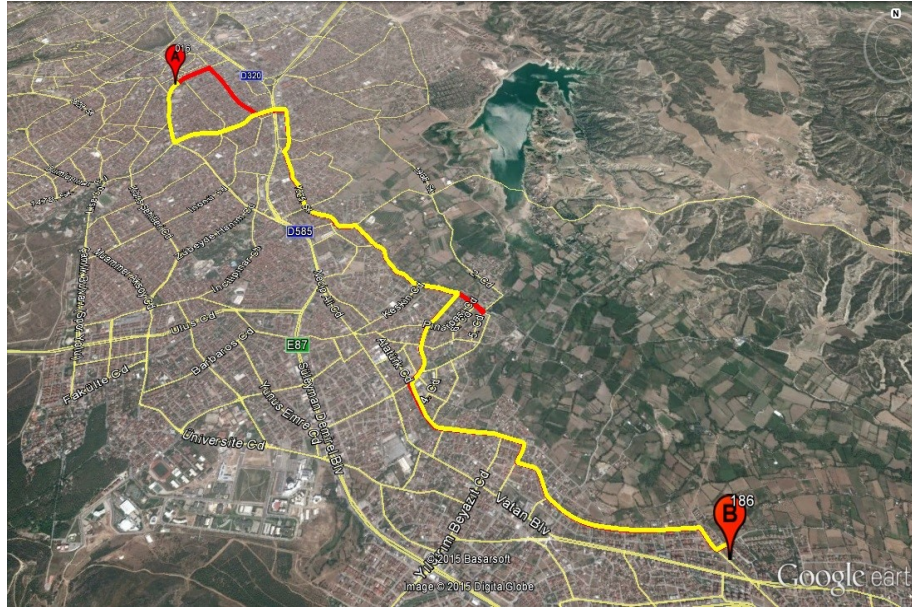
EK A.2. 2 Numaralı Otobüs Hattı



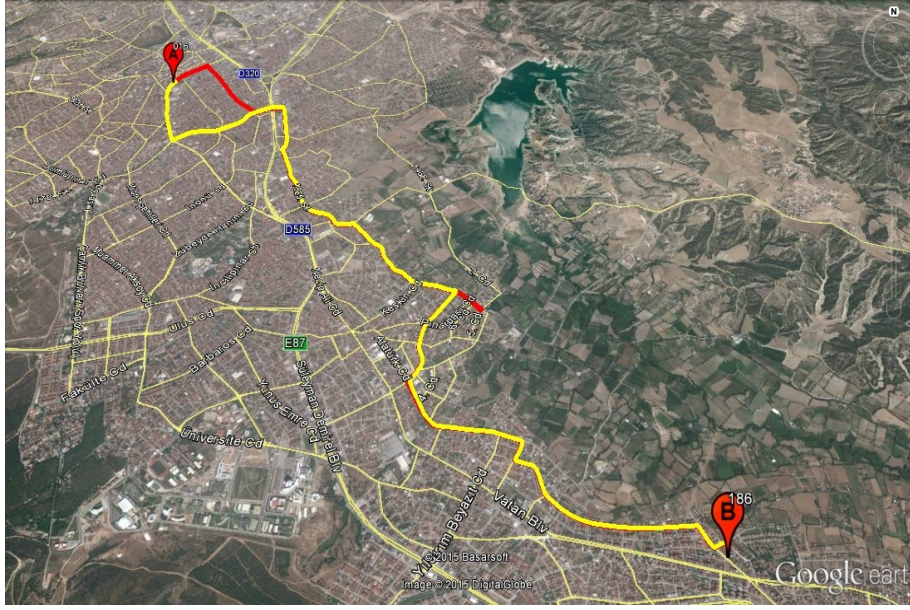
EK A.5. 5 Numaralı Otobüs Hattı



EK A.6. 6 Numaralı Otobüs Hattı



EK A.7. 6/1 Numaralı Otobüs Hattı



EK A.8. 7 Numaralı Otobüs Hattı



EK A.9. 7/1 Numaralı Otobüs Hattı



EK A.10. 7/2 Numaralı Otobüs Hattı



EK A.13. 9 Numaralı Otobüs Hattı



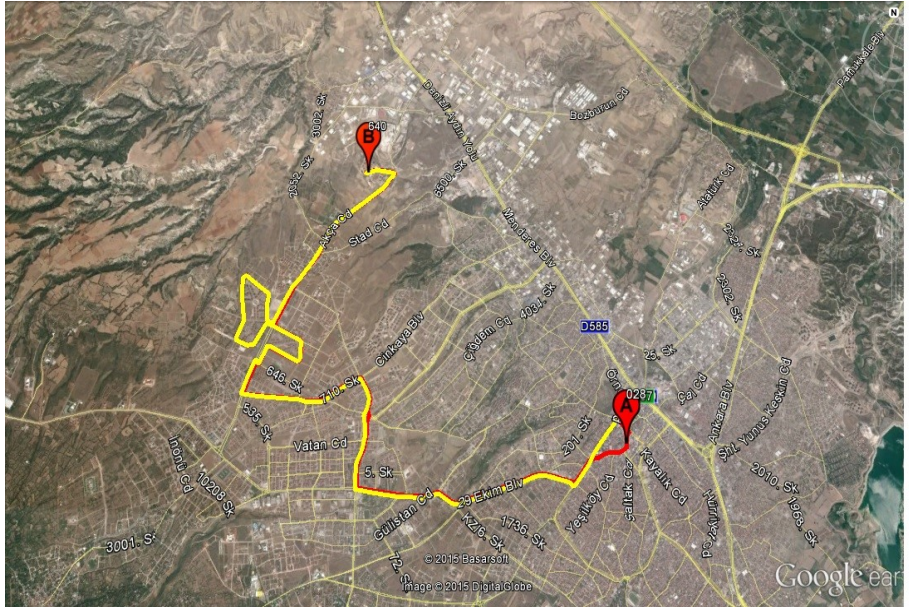
EK A.14. 9/2 Numaralı Otobüs Hattı



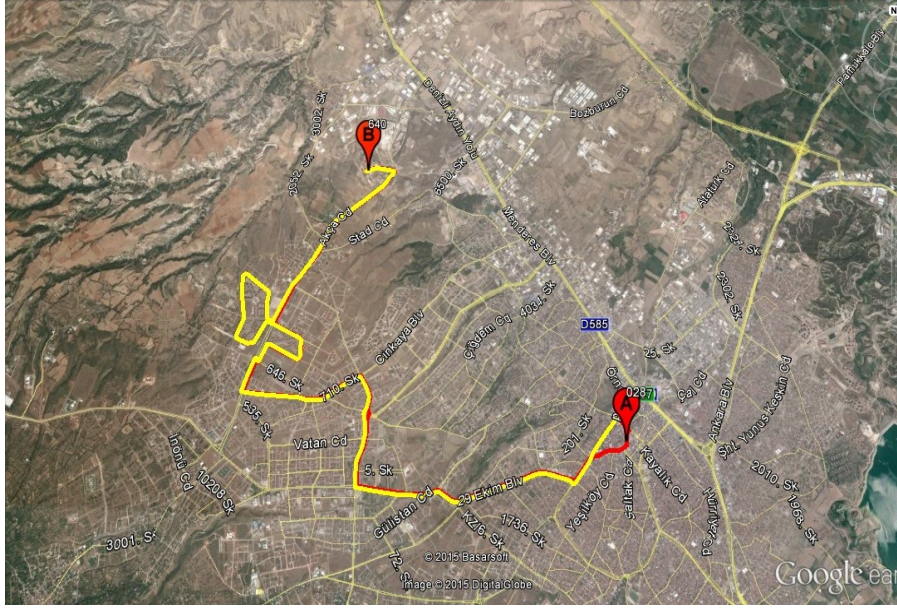
EK A.15. 10 Numaralı Otobüs Hattı



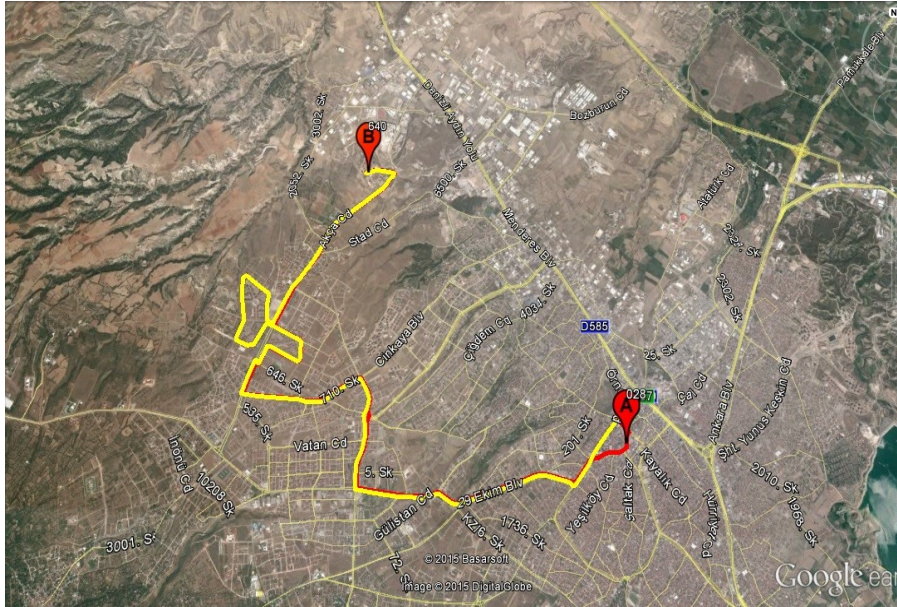
EK A.16. 11 Numaralı Otobüs Hattı



EK A.17. 11/3 Numaralı Otobüs Hattı



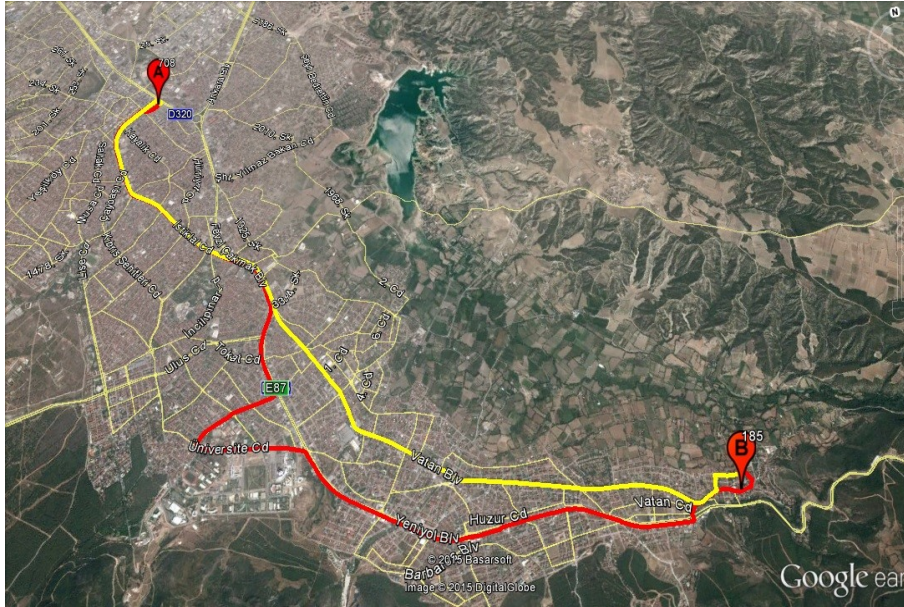
EK A.18. 12 Numaralı Otobüs Hattı



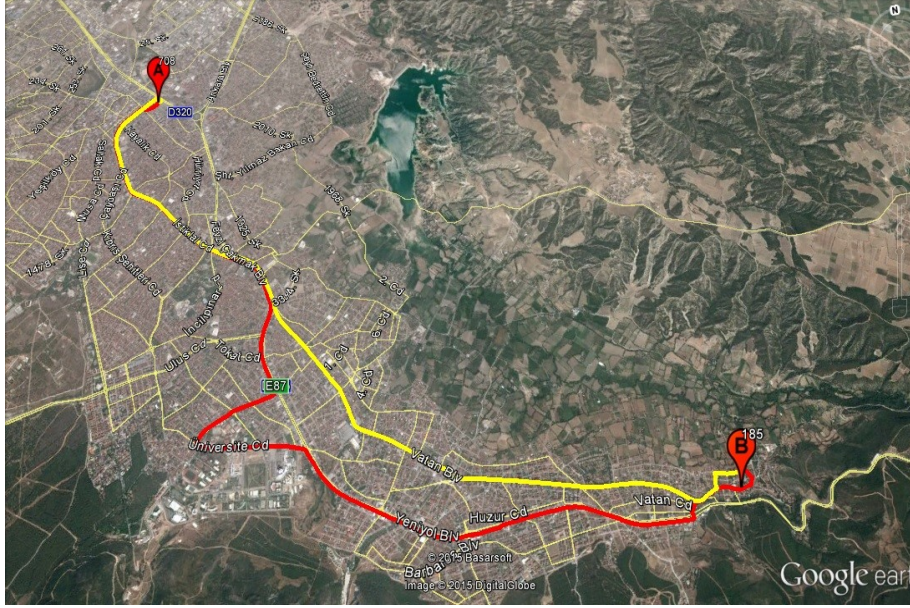
EK A.19. 13 Numaralı Otobüs Hattı



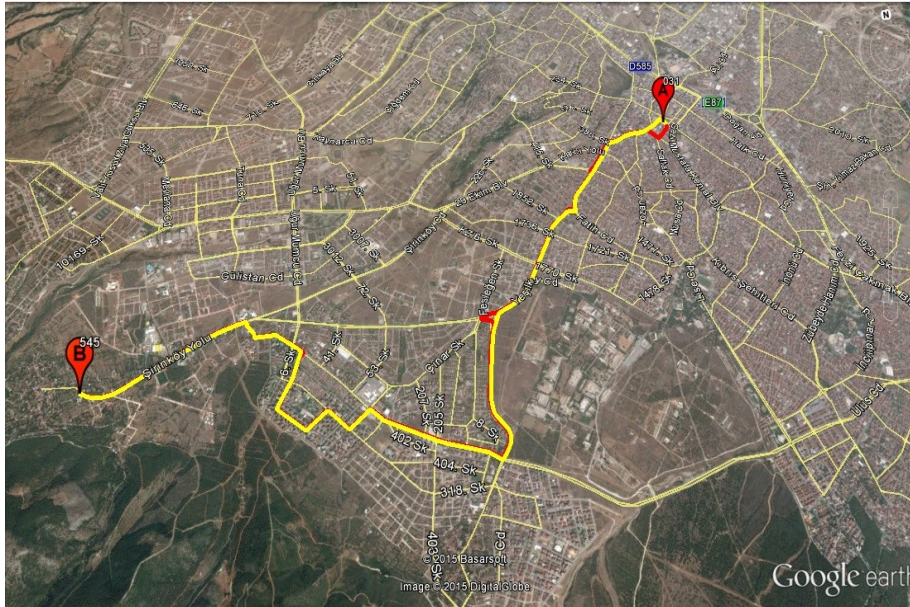
EK A.20. 14 Numaralı Otobüs Hattı



EK A.21. 14/1 Numaralı Otobüs Hattı



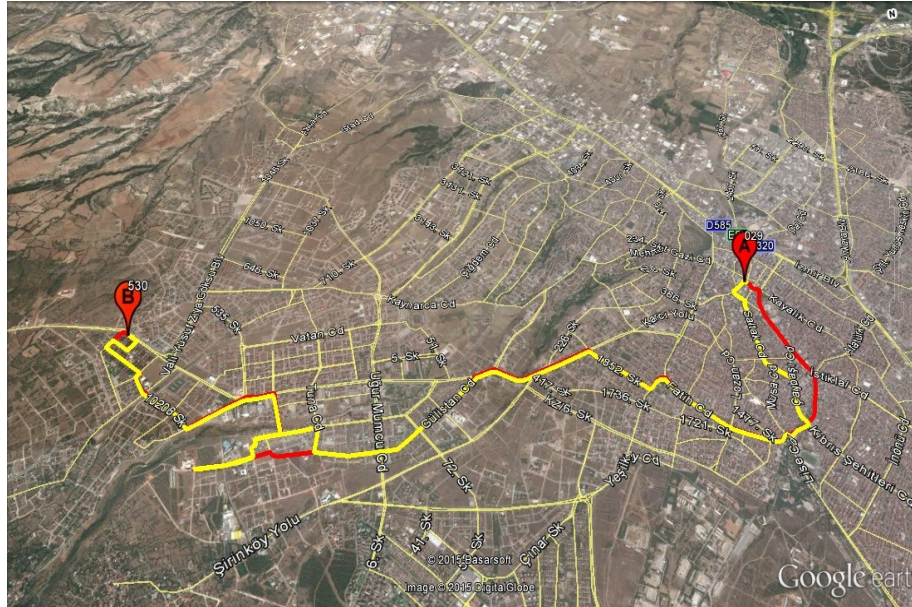
EK A.22. 15 Numaralı Otobüs Hattı



EK A.23. 17 Numaralı Otobüs Hattı



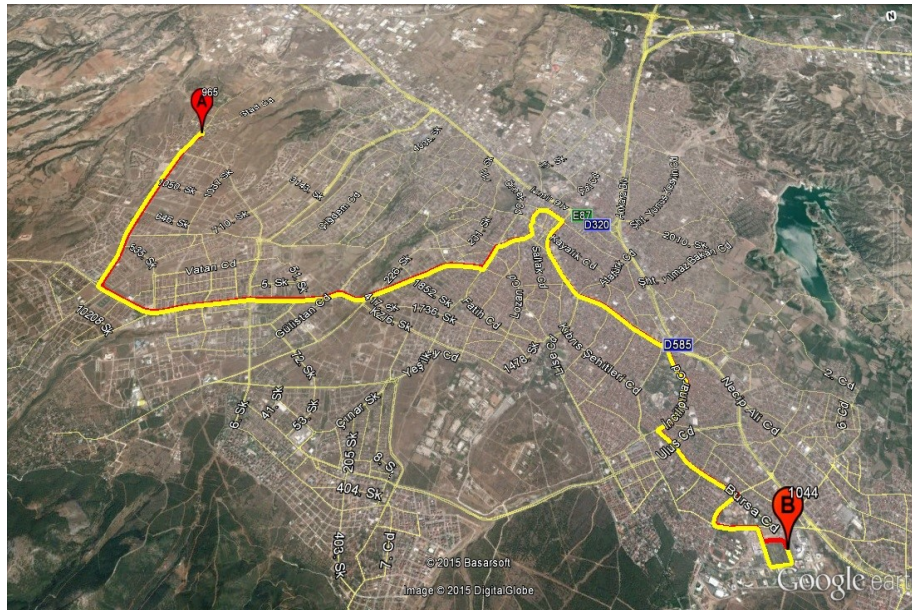
EK A.24. 18 Numaralı Otobüs Hattı



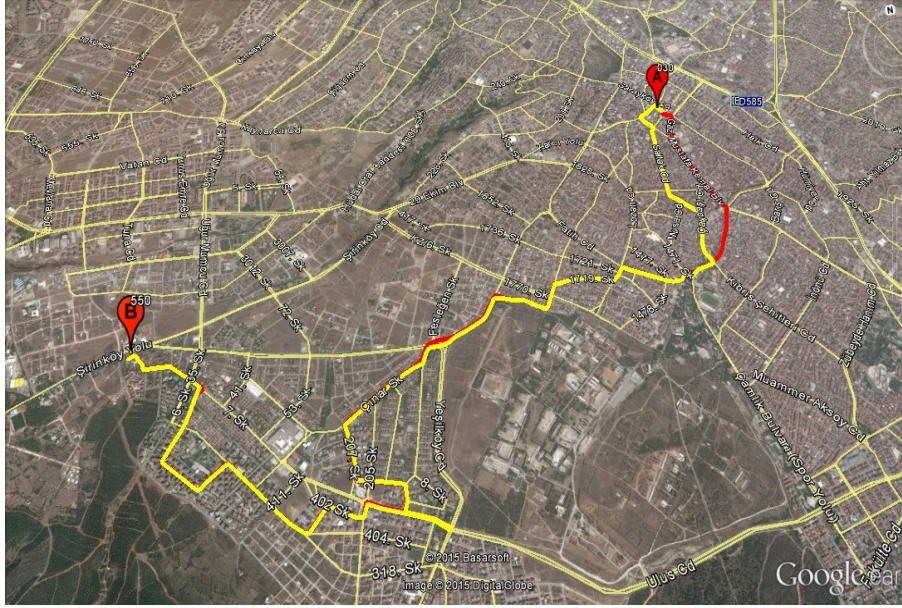
EK A.25. 19 Numaralı Otobüs Hattı



EK A.26. 20 Numaralı Otobüs Hattı



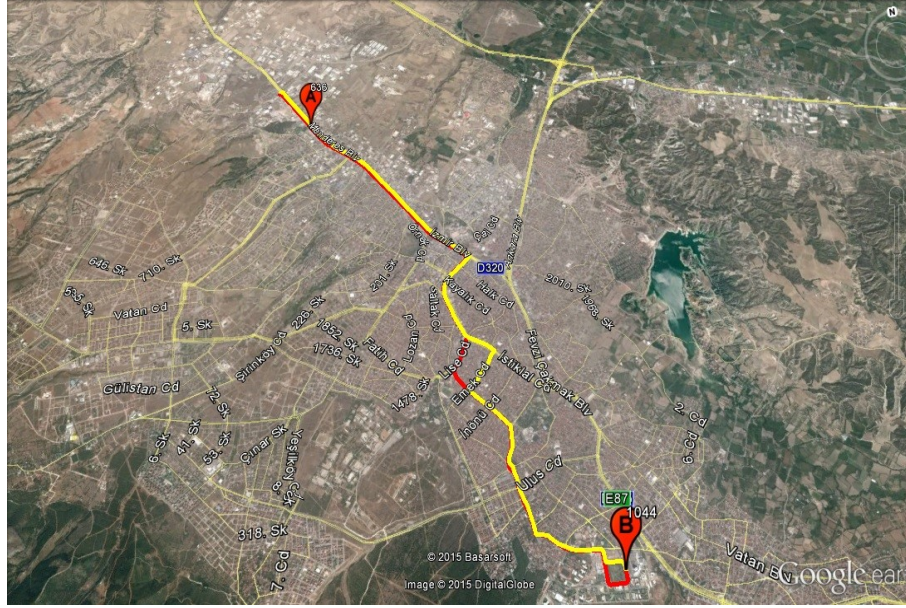
EK A.27. 21 Numaralı Otobüs Hattı



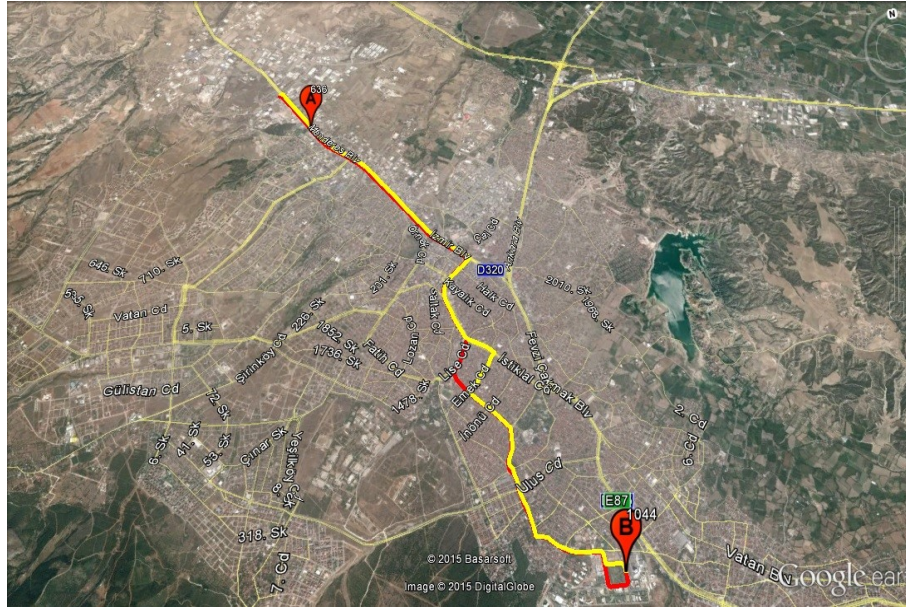
EK A.28. 22 Numaralı Otobüs Hattı



EK A.29. 23 Numaralı Otobüs Hattı



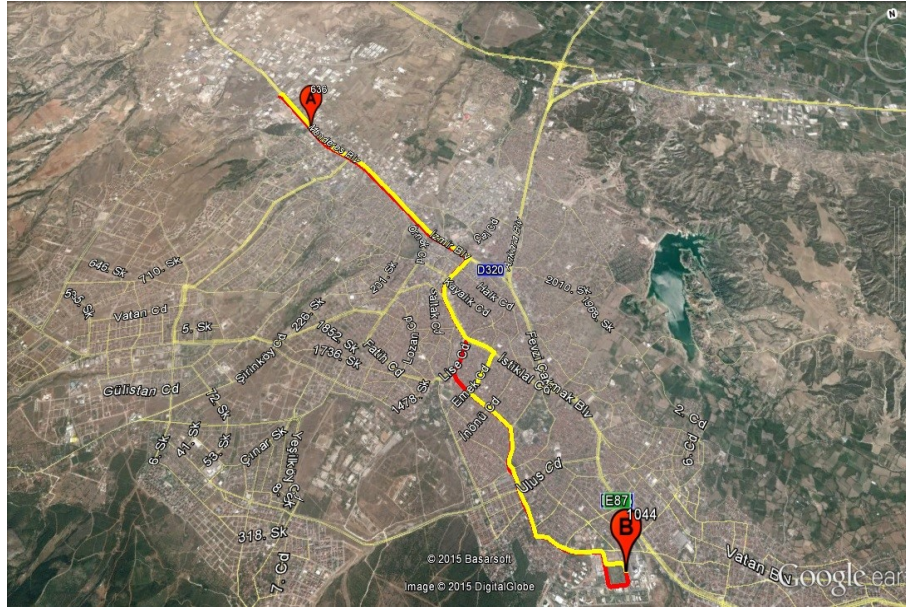
EK A.30. 24 Numaralı Otobüs Hattı



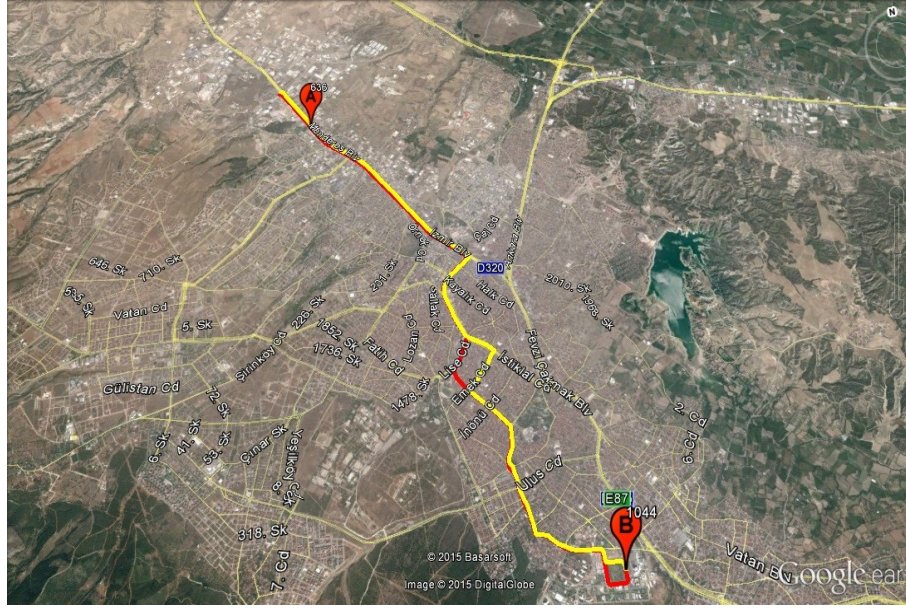
EK A.31. 25 Numaralı Otobüs Hattı



EK A.32. 26 Numaralı Otobüs Hattı



EK A.33. 27 Numaralı Otobüs Hattı



EK A.34. 28 Numaralı Otobüs Hattı



EK A.34. 28 Numaralı Otobüs Hattı*



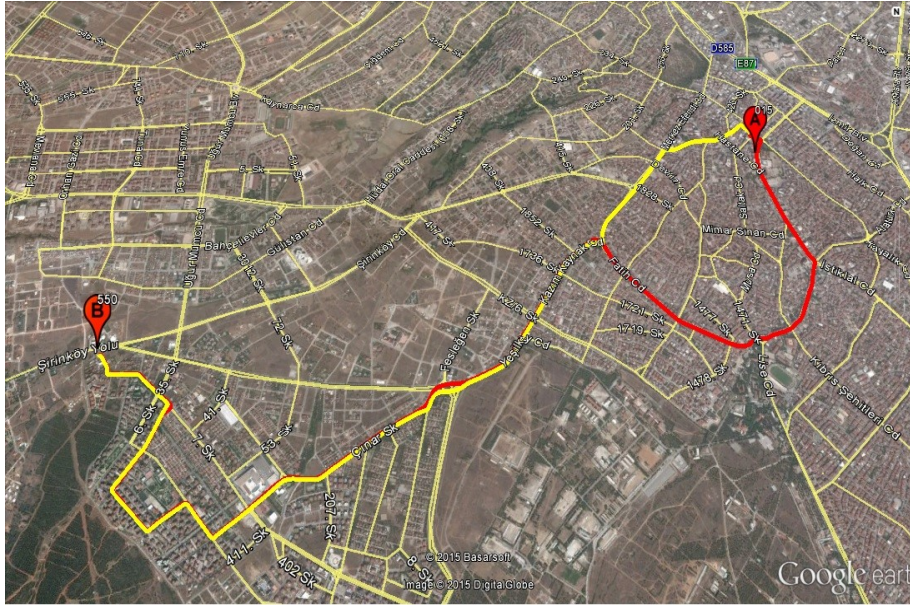
EK A.35. 28/1 Numaralı Otobüs Hattı



EK A.36. 29 Numaralı Otobüs Hattı



EK A.37. 30 Numaralı Otobüs Hattı



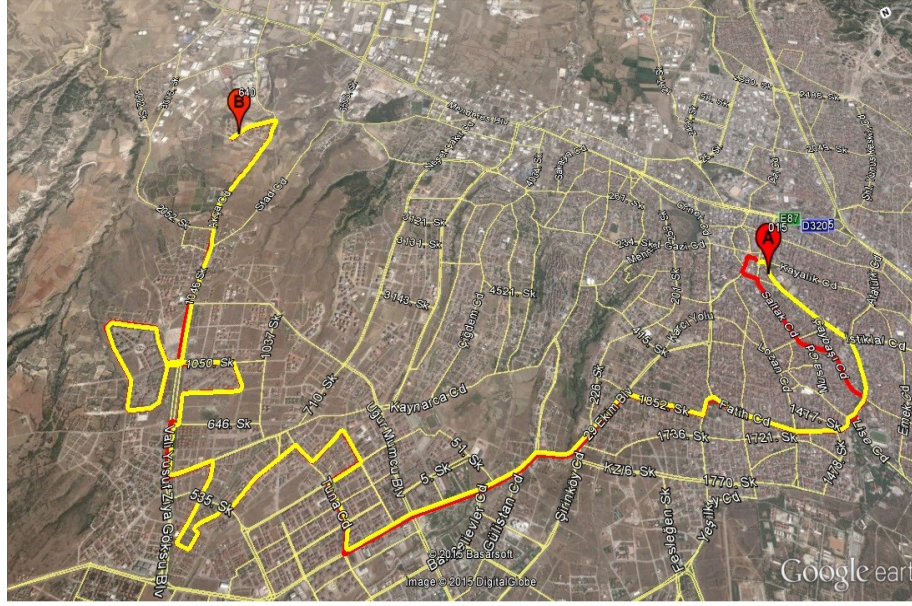
EK A.38. 31 Numaralı Otobüs Hattı



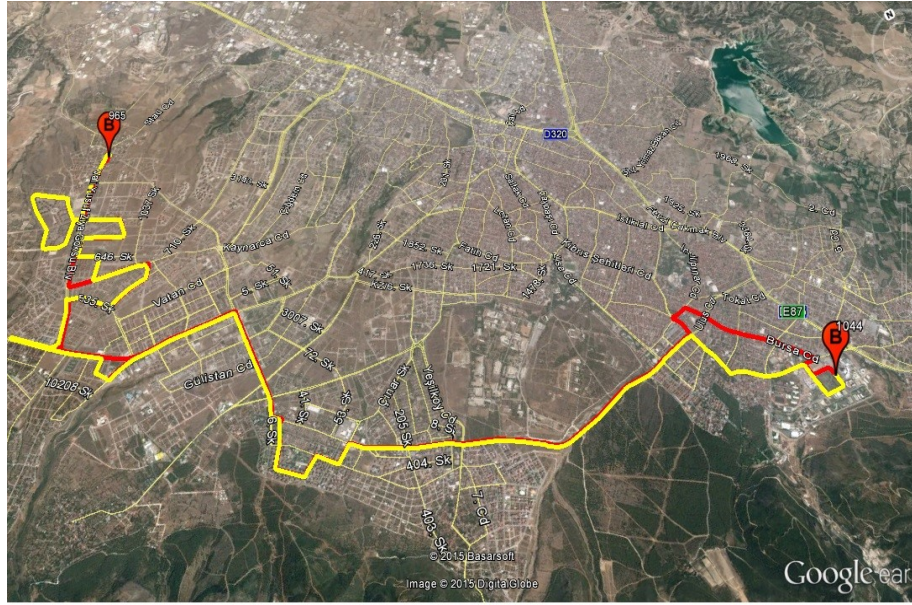
EK A.39. 32 Numaralı Otobüs Hattı



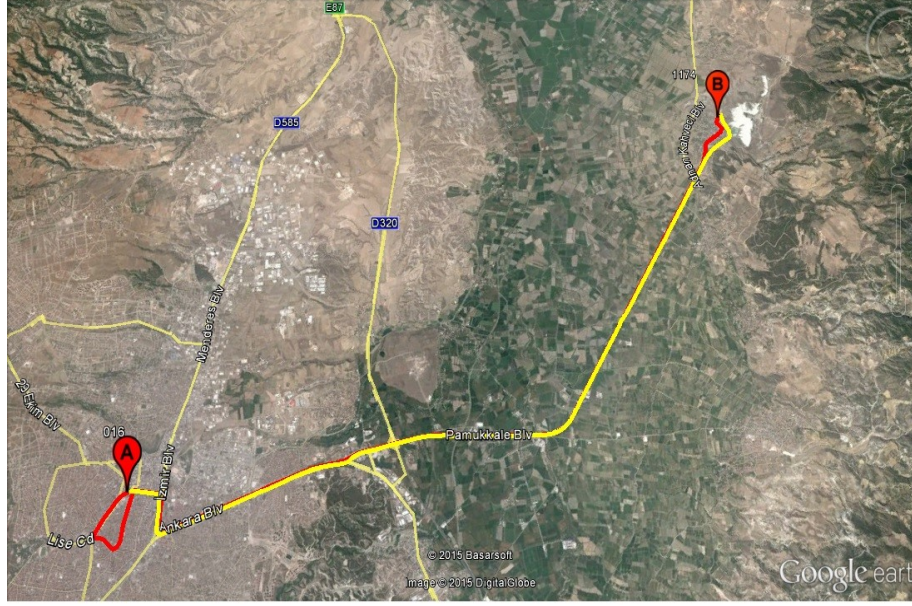
EK A.40. 33 Numaralı Otobüs Hattı



EK A.41. 34 Numaralı Otobüs Hattı



EK A.42. 35 Numaralı Otobüs Hattı



EK A.43. 36 Numaralı Otobüs Hattı



9. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Muhammed DEMİRKOLLU

Doğum Yeri ve Tarihi : Denizli 01.02.1988

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : m_demirkollu@hotmail.com

İletişim Adresi : Siteler Mah. 6256 Sok. No:14 Denizli