

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

**KENT İÇİ ULAŞIM AĞLARINDA OTOBÜS ÖNCELİKLİ
ŞERİTLERİN ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜLAY ÇALIŞKAN

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2022

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



**KENT İÇİ ULAŞIM AĞLARINDA OTOBÜS ÖNCELİKLİ
ŞERİTLERİN ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜLAY ÇALIŞKAN

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2022

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.

GÜLAY ÇALIŞKAN

ÖZET

KENT İÇİ ULAŞIM AĞLARINDA OTOBÜS ÖNCELİKLİ ŞERİTLERİN ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜLAY ÇALIŞKAN

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. ÖZGÜR BAŞKAN)

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2022

Trafik sıkışıklığının günümüzde birçok ülkenin başlıca sorunu haline gelmesi ile birlikte toplu taşıma sistemlerine olan talebin artması ve bu sistemlerin verimliliğini arttırmak için uygulanabilecek düzenlemelerin getirilmesi ile ilgili çalışmalar oldukça çoğalmıştır.

Bu tez çalışmasında, kent içi ulaşım ağlarındaki toplu taşıma sistemlerinden biri olan otobüsler için uygulanabilecek öncelikli şeritlerin belirlenmesi ve toplu taşıma seyahat sürelerinin iyileştirilmesi için iki adet iki seviyeli programlama modeli olan MODEL 1 ve MODEL 2 uygulamaları önerilmiştir. Çözümde otobüs öncelikli şerit adaylarını belirlemek için VISUM yazılımı ile özel taşıt ataması gerçekleştirilmiştir.

Geliştirilen modellerin uygulaması literatürde sıklıkla ele alınan test ağı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçları otobüs öncelikli şeritlerin seyahat süresini azalttığını ve kullanıcıların azalan seyahat sürelerine göre tercihlerinin değiştiğini göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Otobüs öncelikli şerit, toplu taşıma ataması, özel taşıt ataması, diferansiyel gelişim algoritması

ABSTRACT

INVESTIGATION OF EFFECTIVENESS OF BUS PRIORITY LANES IN URBAN ROAD TRANSPORTATION NETWORKS

MSC THESIS

GÜLAY ÇALIŞKAN

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CIVIL ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. ÖZGÜR BAŞKAN)

DENİZLİ, AUGUST 2022

With traffic congestion becoming the main problem of many countries today, the increase in the demand for public transportation systems and the efforts to introduce regulations that can be applied to increase the efficiency of these systems have increased considerably.

In this study, bi-level programming models, MODEL 1 and MODEL 2, have been proposed to determine the priority lanes that can be applied for buses, which is one of the public transportation systems in urban transportation networks, and to improve public transportation travel times. In the solution, private car assignment was carried out with the VISUM software to determine the bus priority lane candidates.

The application of the developed models was carried out on the test network, which is frequently discussed in the literature. The results of the study showed that bus priority lanes reduce the travel time and the preferences of the users change according to the decreasing travel times.

KEYWORDS: Bus priority lane, public transport assignment, private car assignment, differential evolution algorithm

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ	vi
SEMBOL VE KISALTMALAR LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Giriş	1
1.2 Problemin Tanımı.....	2
1.3 Amaç ve Kapsam.....	2
1.4 Tezin İçeriği	3
2. LİTERATÜR TARAMASI	4
2.1 Giriş	4
2.2 Otobüs Öncelikli Şeritler ve Harici Otobüs Şeritleri.....	4
2.3 Toplu Taşıma Ataması ve Sefer Sıklığı Optimizasyonu	8
2.4 Diferansiyel Gelişim Algoritması Optimizasyon Tekniği.....	10
2.5 Sonuçlar	11
3. PROBLEM FORMÜLASYONU VE MODEL GELİŞİMİ	12
3.1 Giriş	12
3.2 MODEL 1 Üst Seviye Problemi: Optimum Sıklık Süreleri ile Toplu Taşıma Seyahat Süresi Minimizasyonu	12
3.3 MODEL 2 Üst Seviye Problemi: Otobüs Öncelikli Şeritler ile Toplu Taşıma Seyahat Süresi Minimizasyonu	14
3.4 Diferansiyel Gelişim Algoritması	15
3.4.1 Başlangıç Popülasyonu	16
3.4.2 Mutasyon	16
3.4.3 Çaprazlama	17
3.4.4 Seçim	17
3.4.5 Durma Koşulu.....	18
3.5 MODEL 1 ve MODEL 2 Alt Seviye Problemi: Toplu Taşıma Ataması	18
3.5.1 Aktarmasız Yolcu Ataması.....	19
3.5.2 Tek Aktarmalı Yolcu Ataması.....	21
3.6 Özel Taşıt Ataması	24
3.6.1 VISUM Programı.....	24
3.6.2 VISUM ile Özel Taşıt Ataması.....	29
3.7 Model Gelişimi.....	31
3.7.1 MODEL 1 İki Seviyeli Programlama ile Çözümü.....	31
3.7.1 MODEL 2 İki Seviyeli Programlama ile Çözümü.....	33
3.8 Sonuçlar	36
4. SAYISAL UYGULAMALAR	37
4.1 Giriş	37
4.2 Mandl Test Ağı.....	37
4.3 Özel Taşıt Ataması	39
4.3.1 Senaryo 1 Özel Taşıt Ataması	39

4.3.2 Senaryo 2 Özel Taşıt Ataması	41
4.3.3 Senaryo 3 Özel Taşıt Ataması	42
4.3.4 Sonuçlar	44
4.4 MODEL 1 Sayısal Uygulama.....	44
4.4.1 Senaryo 1 Optimum Sıklık Değerlerinin Belirlenmesi.....	46
4.4.2 Senaryo 2 Optimum Sıklık Değerlerinin Belirlenmesi.....	49
4.4.3 Senaryo 3 Optimum Sıklık Değerlerinin Belirlenmesi.....	52
4.4.4 Sonuçlar	54
4.5 MODEL 2 Sayısal Uygulama.....	54
4.5.1 Senaryo 1 Otobüs Öncelikli Şeritlerin Belirlenmesi	55
4.5.2 Senaryo 2 Otobüs Öncelikli Şeritlerin Belirlenmesi	62
4.5.3 Senaryo 3 Otobüs Öncelikli Şeritlerin Belirlenmesi	68
4.5.4 Sonuçlar	74
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	75
6. KAYNAKLAR.....	79
7. EKLER.....	85
8. ÖZGEÇMİŞ	87

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: DGA temel işlem adımları	15
Şekil 3.2: A-B başlangıç varış noktaları arasında seyahat eden yolcular için örnek otobüs güzergahları (Teodorović 2014)	19
Şekil 3.3: A-B başlangıç varış noktaları arasında seyahat eden yolcular için tek aktarmalı örnek otobüs güzergahları (Teodorović 2014).....	21
Şekil 3.4: VISUM yazılımı başlangıç ekranı	25
Şekil 3.5: Mandl test ağı düğüm noktaları VISUM görseli	26
Şekil 3.6: Mandl test ağı bağlar VISUM görseli.....	27
Şekil 3.7: Mandl test ağı trafik analiz bölgeleri VISUM görseli	28
Şekil 3.8: Mandl test ağı bağlayıcılarının VISUM görseli.....	29
Şekil 3.9: MODEL 1 çözümü şematik gösterimi	33
Şekil 3.10: MODEL 2 çözümü şematik gösterimi	35
Şekil 4.1: Mandl (1979) test ağı	37
Şekil 4.2: Mumford tarafından önerilen güzergahlar	45
Şekil 4.3: Senaryo 1 otobüs öncelikli şerit amaç fonksiyonu değişim grafiği	57
Şekil 4.4: Senaryo 1 otobüs öncelikli şeritlerin genel ağ üzerinde gösterimi	58
Şekil 4.5: Senaryo 1 otobüs öncelikli şeritlerin her bir güzergah için gösterimi ...	59
Şekil 4.6: Senaryo 2 otobüs öncelikli şerit amaç fonksiyonu değişim grafiği	64
Şekil 4.7: Senaryo 2 otobüs öncelikli şeritlerin genel ağ üzerinde gösterimi	65
Şekil 4.8: Senaryo 2 otobüs öncelikli şeritlerin her bir güzergah için gösterimi ...	66
Şekil 4.9: Senaryo 3 otobüs öncelikli şerit amaç fonksiyonu değişim grafiği	70
Şekil 4.10: Senaryo 3 otobüs öncelikli şeritlerin genel ağ üzerinde gösterimi	71
Şekil 4.11: Senaryo 3 otobüs öncelikli şeritlerin her bir güzergah için gösterimi ..	72

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1: Test ağına ait düğüm noktaları koordinatları.....	38
Tablo 4.2: Test ağı bağ uzunlukları (km).....	38
Tablo 4.3: Test ağı serbest akım bağ seyahat süreleri (dk).....	38
Tablo 4.4: Senaryo 1 özel taşıt ataması sonrası bağ seyahat süreleri (dk).....	39
Tablo 4.5: Senaryo 1 için belirlenen otobüs öncelikli şerit adayları.....	40
Tablo 4.6: Senaryo 2 özel taşıt ataması sonrası bağ seyahat süreleri (dk).....	41
Tablo 4.7: Senaryo 2 için belirlenen otobüs öncelikli şerit adayları.....	42
Tablo 4.8: Senaryo 3 özel taşıt ataması sonrası bağ seyahat süreleri (dk).....	43
Tablo 4.9: Senaryo 3 için belirlenen otobüs öncelikli şerit adayları.....	43
Tablo 4.10: Güzergahlara ait durak sıralamaları.....	45
Tablo 4.11: Optimum sıklıkları belirlemek için kullanılan DGA çözüm parametre değerleri.....	46
Tablo 4.12: Senaryo 1 model sonuçları	47
Tablo 4.13: Senaryo 1 B-V talep matrisinin güzergahlara dağılımı	48
Tablo 4.14: Senaryo 1 talebin güzergahlardaki 2 durak arası dağılımı.....	48
Tablo 4.15: Senaryo 1 talebin güzergahlardaki 2 durak arası dağılımı (devam) ...	49
Tablo 4.16: Senaryo 1 ağ geneli seyahat süreleri (sa).....	49
Tablo 4.17: Senaryo 2 model sonuçları	50
Tablo 4.18: Senaryo 2 B-V talep matrisinin güzergahlara dağılımı	51
Tablo 4.19: Senaryo 2 talebin güzergahlardaki 2 durak arası dağılımı.....	51
Tablo 4.20: Senaryo 2 talebin güzergahlardaki 2 durak arası dağılımı (devam) ...	51
Tablo 4.21: Senaryo 2 ağ geneli seyahat süreleri (sa).....	52
Tablo 4.22: Senaryo 3 model sonuçları	52
Tablo 4.23: Senaryo 3 B-V talep matrisinin güzergahlara dağılımı	53
Tablo 4.24: Senaryo 3 talebin güzergahlardaki 2 durak arası dağılımı.....	53
Tablo 4.25: Senaryo 3 talebin güzergahlardaki 2 durak arası dağılımı (devam) ...	54
Tablo 4.26: Senaryo 3 ağ geneli seyahat süreleri (sa).....	54
Tablo 4.27: Senaryo 1 otobüs öncelikli şeritlerin belirlenmesi için DGA çözüm parametre değerleri.....	55
Tablo 4.28: Senaryo 1 otobüs öncelikli şeritler	56
Tablo 4.29: Senaryo 1 otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrası B-V talep matrisinin güzergahlara dağılımı.....	60
Tablo 4.30: Senaryo 1 otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrası yolcu talebinin güzergahlardaki 2 durak arası dağılımı	61
Tablo 4.31: Senaryo 1 otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrası yolcu talebinin güzergahlardaki 2 durak arası dağılımı (devam).....	61
Tablo 4.32: Senaryo 1 otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrası ağ geneli seyahat süreleri (sa).....	61
Tablo 4.33: Senaryo 2 otobüs öncelikli şeritlerin belirlenmesi için DGA çözüm parametre değerleri.....	62
Tablo 4.34: Senaryo 2 otobüs öncelikli şeritler	63
Tablo 4.35: Senaryo 2 otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrası B-V talep matrisinin güzergahlara dağılımı.....	67
Tablo 4.36: Senaryo 2 otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrası yolcu talebinin güzergahlardaki 2 durak arası dağılımı	67

Tablo 4.37: Senaryo 2 otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrası yolcu talebinin güzergahlardaki 2 durak arası dağılımı (devam).....	68
Tablo 4.38: Senaryo 2 otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrası ağ geneli seyahat süreleri (sa).....	68
Tablo 4.39: Senaryo 3 otobüs öncelikli şeritlerin belirlenmesi için DGA çözüm parametre değerleri.....	68
Tablo 4.40: Senaryo 3 otobüs öncelikli şeritler	69
Tablo 4.41: Senaryo 3 otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrası B-V talep matrisinin güzergahlara dağılımı.....	73
Tablo 4.42: Senaryo 3 otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrası yolcu talebinin güzergahlardaki 2 durak arası dağılımı	73
Tablo 4.43: Senaryo 3 otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrası yolcu talebinin güzergahlardaki 2 durak arası dağılımı (devam).....	74
Tablo 4.44: Senaryo 3 otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrası ağ geneli seyahat süreleri (sa).....	74
Tablo 5.1: Senaryo sonuçlarının karşılaştırılması	76
Tablo 7.1: Senaryo 1 için talep matrisi	85
Tablo 7.2: Senaryo 2 için talep matrisi	85
Tablo 7.3: Senaryo 3 için talep matrisi	86
Tablo 7.4: Mandl test ağı B-V yolcu talep matrisi (yolcu/saat).....	86

SEMBOL VE KISALTMALAR LİSTESİ

$büt$: Bütçe
BV	: Başlangıç-Variş
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
c_{ij}	: Herhangi $i-j$ B-V çifti arasında bulunan bağlantı sayısı
CORSIM	: Trafik simülasyon yazılım paketi
C_r	: Çaprazlama olasılığı
D	: Çekim bölgesi sayısı
d_{AB}	: A-B başlangıç varış noktaları arasında seyahat eden toplam yolcu sayısı
DGA	: Diferansiyel Gelişim Algoritması
F	: Ölçeklendirme katsayısı
$f_{AB,i}$: A-B başlangıç varış noktaları arasında ki i güzergahının sıklığı
f_k^{rs}	: Herhangi r-s B-V çiftini bağlayan k güzergahının akımı
g	: Jenerasyon sayısı
GA	: Genetik Algoritma
G_i	: Ceza fonksiyonu değeri
ha	: Hacim
j_r	: $[1,n]$ aralığında rastgele olarak üretilen tamsayı
k	: Güzergah sayısı
kap	: Kapasite
ma	: Maliyet
n	: Karar değişkeni sayısı
O	: Üretim merkezi sayısı
p	: Popülasyon sayısı
$P_{AB,i}$: A-B başlangıç varış noktaları arasında ki i güzergahına atanan yolcu sayısı
q	: Hacim
q_{max}	: Kapasite
$r_{i,k}$: i değerinden farklı olacak şekilde $[1, p]$ aralığında üretilmiş olan rastgele tamsayılar
t_0	: Serbest akım seyahat süresi
t_a	: a başına ait seyahat süresi
t_{AB}	: A-B başlangıç varış noktaları arasındaki toplam seyahat süresi
t_{acs}	: Aktarma ceza süresi
t_{dbs}	: Durakta bekleme süresi
$t_{tiçi,AB/gzh0}$: A-B başlangıç varış noktaları arasında yolcu atanan güzergahın veya güzergahların toplam taşıt içi seyahat süresi
TRANSYT-7F	: Trafik simülasyon ve sinyal süresi optimizasyon programı
TRUST	: Transit Routes Analyst
TSS	: Toplam Seyahat Süresi
$u_{i,g}^j$: Çaprazlama sonrası üretilen vektör
VBA	: Visual Basic for Applications
$v_{i,g}$: Mutant vektör
x_a	: a başına ait denge akımı

$x_{i,g}^j$: Çözüm vektörü
x_{max}	: Diferansiyel gelişim algoritması üst sınır değeri
x_{min}	: Diferansiyel gelişim algoritması alt sınır değeri
λ	: Herhangi i - j B-V çifti arasında bulunan k bağlantısında geçen taşıt içi ve taşıt dışı seyahat süreleri
γ	: Boolean değişkeni

ÖNSÖZ

Lisansüstü eğitimim boyunca bilgi, beceri ve tecrübelerini paylaşan, beni her alanda cesaretlendirip destek veren, ihtiyaç duyduğum her an sabrını esirgmeden yanımda olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Özgür BAŞKAN'a şükranlarımı sunarım. Ayrıca çalışmam boyunca bilgi ve tecrübesiyle fikirler veren ve yardımcı olan değerli hocam Prof. Dr. Hüseyin CEYLAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca arkamda olan, her koşulda beni destekleyen ve bütün imkanları sağlayan canım aileme, moral ve desteklerini her zaman yanımda hissettiğim sevgili arkadaşlarıma teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş

Günümüzde birçok kent trafik sıkışıklığı ve yarattığı olumsuz etkileri ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu durum hareketliliği ve sürdürülebilirliği kısıtlayan bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Kentlerdeki bu sorunları çözmek, olumsuz etkilerini en aza indirmek ve yaşam kalitesini arttırmak için toplu taşıma sistemlerinin kullanımının artırılması yönünde çaba sarf edilmesi gerektiği açıktır (Vukan R.V., 2007). Toplu taşıma sistemlerinin kullanımının az olduğu kentlerde özel otomobil sahipliği ve kullanım oranı da artmaktadır. Özel otomobil kullanımının artması ulaşım ağlarındaki tıkanıklığı artırmakla beraber otopark sorunları, çevre kirliliği ve trafik kazaları gibi birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Kentlerdeki trafik sıkışıklığı problemini çözmek için birçok alternatif çözüm önerisi literatürde geliştirilmiştir. Özel taşıtlar ile yapılan yolculukların sayısının azaltılması ve toplu taşımanın toplam yolculuk sayısı içindeki payının artırılması, trafik sıkışıklığının azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Birçok şehirde yerel yönetimler toplu taşıma kullanımını artırmak için bu konuda önemli adımlar atmaktadır (Nikolic M., Teodorovic D., 2014). Toplu taşıma kullanımını azaltan en önemli faktörler olarak doğrudan ulaşım eksikliği, uzun seyahat süreleri, birden fazla yolculuk ihtiyacı ve yetersiz sıklık değerleri sıralanabilir (Beirão ve Cabral, 2007).

Toplu taşıma kullanımını artırmak için geliştirilen çözümlerden bir tanesi olan otobüsler için öncelikli şeritler uzun yıllardır araştırmacıların ele aldığı ve literatürde de sıklıkla çalışılan bir konudur. Gerekli hesaplamalar ve doğru tasarım ile seyahat sürelerini önemli şekilde azaltması toplu taşıma sistemini daha cazip hale getirebilmektedir. Ayrıca kullanıcılar açısından iyileşen seyahat süresi ile özel otomobil kullanımının azaltılabilmesi ve trafik sıkışıklığının azalması da bu sayede mümkün olabilmektedir.

1.2 Problemin Tanımı

Ekonomik iyileşme ve kentsel büyüme ile birlikte hızlı ve konforlu ulaşım ihtiyacı yıldan yıla artmaktadır. Ulaşım talebinin fazla olduğu kentlerde özel otomobil kullanımının da buna paralel olarak artması neticesinde otobüs sistemleri gerekli hız ve konforu sağlayamadıkları için kullanıcıların bu sistemlere olan talepleri azalmaktadır. Özel otomobil kullanımının artması ile karma trafik içinde otobüslerin ortalama hız ve konforu giderek düşmekte ve bu durum bu sistemlerin tercih edilebilirliğini de olumsuz etkilemektedir. Doğru bir şekilde organize edilen ve uygulanan sistemler ile birlikte otobüslere olan talebin artması sağlanabilmektedir.

Bu problemler doğrultusunda otobüsler için ayrılan özel şeritler literatürde de sıklıkla incelenmekte olup farklı şekillerde çözümlenmektedir. Ele alınan çözümlerden bir tanesi de otobüs öncelikli şeritlerdir. Çözüm sürecinde dikkat edilmesi gereken en önemli nokta otobüs öncelikli şerit uygulamasında var olan özel taşıt trafiğinin bu noktada en az etkilenmesini sağlayabilmektir. Bu durum uygun aday şeritler üzerinde yapılan seçimlerde göz önünde durulması gereken önemli bir husustur. Aynı zamanda yapılması uygun görülen otobüs öncelikli şeritlerin uygulaması sırasında toplu taşıma seyahat süresinin minimize edilmesi ve talep kaymasını da göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

1.3 Amaç ve Kapsam

Bu tez çalışmasında, kent içi ulaşım ağlarındaki lastik tekerlekli toplu taşıma sistemlerinden biri olan otobüsler için tam zamanlı ya da belirli saatler için kullanılacak öncelikli şeritlerin belirlenmesi amacıyla modeller geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Uygun otobüs şeritlerinin belirlenmesi ile toplu taşımaya olan talebin artması ve özel taşıt kullanımının azalması sayesinde sağlanabilecek faydaların belirlenmesi ve karşılaştırmalı analizlerin yapılması çalışmanın bir diğer önemli amacıdır. Geliştirilecek olan modelin alt seviyesinde her bir kullanıcının güzergah seçimini belirleyen toplu taşıma yolcu ataması ve otobüs öncelikli şerit adaylarını belirlemek için yapılan özel taşıt ataması ele alınırken, üst seviyede toplu taşıma maliyet fonksiyonunun en küçüklenmesi amaçlanmaktadır.

1.4 Tezin İçeriği

Tez alışması beş bölümden oluşmaktadır;

İkinci bölümde, çalışılan konu ile ilgili daha önceden yapılmış olan çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Otobüs ncelikli şeritler ile harici otobüs şeritleri konularını ele alan çalışmalar, toplu taşıma ataması ve sefer sıklığı optimizasyonunu ele alan çalışmalar ve ilgili alanda yapılmış olan ve Diferansiyel Gelişim Algoritması ile zlmş çalışmalar incelenmiştir.

nc bölümde, özel taşıt ataması, toplu taşıma ataması ve toplu taşıma seyahat süresi minimizasyonu problemleri için kullanılan formülasyonlar ve üzüm yöntemleri için tercih edilen VISUM yazılımı, DGA algoritması ve toplu taşıma ataması için kullanılan sıklık paylaşım modeli anlatılmış, işlem adımları verilmiş ve model gelişimi açıklanarak iki seviyeli modelin adımları incelenmiştir.

Dördüncü bölümde, geliştirilen modellerin uygulanacağı test ağı üzerinde sayısal uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Farklı senaryolar altında problem zlmş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Beşinci bölümde, tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar ve gelecekte yapılması düşünülen çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Giriş

Bu bölümde, tez çalışmasının amacı olan ulaşım ağlarında otobüs öncelikli şeritler ve harici otobüs şeritleri ile ilgili daha önceden yapılmış olan çalışmalar, toplu taşıma ataması ile sefer sıklığı ile ilgili çalışmalar, özel taşıt atamasını konu alan çalışmalar ve DGA optimizasyon tekniği ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar incelenerek bilgiler verilmiştir.

2.2 Otobüs Öncelikli Şeritler ve Harici Otobüs Şeritleri

Lastik tekerlekli toplu taşıma sistemlerinden olan otobüslerin daha cazip hale gelmesi için özellikle seyahat sürelerinin özel otomobil ile rekabet edilebilir seviyede olması gerekmektedir. Bu amaçla uygulanan yöntemlerden bir tanesi de otobüsler için ayrılan özel şeritlerdir. İki şekilde uygulanabilen otobüs şeritleri yol ağına harici bir şerit yapılarak uygulanan durumlar veya var olan şeritler üzerinde otobüsler için tüm gün veya belirli saatlerde özel taşıt trafiğinden ayıran öncelikli şeritlerdir. Yapım maliyetinin oldukça az olduğu otobüs öncelikli şeritler ile azalan seyahat süresi sayesinde toplu taşıma sistemleri daha cazip hale getirebilmektedir.

Cox (1975) yapmış olduğu çalışmada ABD'nin Texas eyaletinde bulunan Dallas şehrinde özel otobüs şeritlerini incelemiştir. İncelemeleri sonucunda özel otobüs şeritlerinin özel taşıt trafiğinin hizmet seviyesinde olumsuz etkisi olmadığını ve şerit uygulaması sonucunda otobüslerin hızlarının arttığını tespit etmiştir. Ayrıca bu iyileşmeden dolayı otobüse olan talebin arttığı sonucuna varılmıştır. Tanaboriboon ve Toonim (1983) Bangkok şehir merkezinde, belirlenen 17 güzergâhta iki ve üç şeritli anayollarda otobüs öncelikli şeritlerin etkisini belirlemeyi amaçlamışlardır. Otobüs öncelikli şeritler sadece zirve saatler için modellenerek sonuçları analiz edilmiştir. Seyahat süreleri araştırılmak üzere sabah zirve saati için kent merkezi giriş yönünde, akşam zirve saat için ise kent merkezi çıkış yönünde

olacak şekilde ulaşım ağında bulunan taşıtları 4 ana gruba ayırarak anket yapmışlardır. Sınıflandırmalarını üç ve dört tekerlekli taşıtlar, otobüsler, minibüsler ve 6 veya daha fazla tekerleğe sahip taşıtlar olarak ayırmışlardır. Seyahat süresi araştırması için senkronize kronometreli plaka tekniğini kullanmışlardır. Yapılan sınıflandırma ve seyahat süresi ölçümü sonrası istatistiksel olarak otobüs öncelikli şeritlerin otobüslerin hizmet seviyesini artırdığı diğer taşıtların bu uygulamadan etkilenmedikleri sonucuna varmışlardır.

Rouphail (1984) yapmış olduğu çalışmada özel otobüs şeritleri ve sinyal önceliğini analiz etmişlerdir. Çalışmalarında kullanıcıların seyahat sürelerinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Otobüs sisteminin performansını test etmek ve otobüslere sinyal önceliği tanımlaması için TRANSYT-7F modeli kullanmışlardır. Sonuç olarak yapılan uygulamanın otobüs hızlarında olumlu etkisi olduğu gösterilmiştir. Benzer şekilde Shalaby ve Soberman (1994) özel otobüs şeritleri üzerindeki otobüs seyahat sürelerini incelemişlerdir. Çalışmalarında özel otobüs şeritlerini aynı zamanda özel otomobillerin kullanıp kullanamayacağını araştırmışlardır. Yapılan çalışmaların sonucunda özel otobüs şeritlerinin talebin az olduğu zamanlarda olumlu etkisinin az olduğuna ve seyahat süresinde iyileşme olmasa bile şerit artırımından dolayı yolcu sayısının arttığını gözlemlemişlerdir.

Choi ve Choi (1995) Güney Kore’de özel otobüs şeritlerinin etkisini gözlemek için bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında özel otobüs şeritleri sayesinde otobüs seyahat sürelerinin önemli ölçüde azaldığını, özel otomobillerden otobüse kayan talebin %12’den fazla olduğunu ve kaza oranlarının da düştüğü sonucuna varmışlardır. Shalaby (1999) Kanada’nın Toronto kentinin merkezindeki bir arterde özel otobüs şeritlerini özel taşıtlar ile birlikte TRANSYT-7F programını kullanarak incelemiştir. Simülasyonda kullanmak için gerekli olan taşıt doluluk oranları, taşıt hızları, taşıtların hareket saatleri, otobüs gecikmeleri ve duraklardaki otobüs bekleme sürelerini farklı kaynaklardan elde etmiştir. Elde edilen verileri düzenlemek ve uygulamak için C programlama dili kullanarak bir program geliştirmiştir. Kurduğu model ve simülasyon sonuçları sonrasında özel otobüs şeridinin otobüs performansını iyileştirdiğini ve özel taşıtlardan otobüse talep kaymasının olduğu sonucuna varmıştır.

Gan ve diğ. (2003) arterlerde özel otobüs şeridi tahsisinin önemini belirtmek için bir karar destek modeli geliştirmişlerdir. Modeli doğrulamak için CORSIM programını kullanmışlardır. Geliştirdikleri model ile özel otobüs şeridi olan ve olmayan arterlerde karşılaştırma yapmışlardır. Geliştirilen karar destek modeli ve farklı tasarım alternatifleri ile otobüs ve özel otomobil kullanıcılarının seyahat sürelerini en aza indirmeyi amaçlamışlardır. Yue ve diğ. (2003) bir otoyolda özel otobüs şeridinin gerçekleştirilebilirliğini CORSIM simülasyon modeli ile test etmişlerdir. Çalışma ile özel otobüs şeritleri sayesinde otobüslerin seyahat sürelerinin kısaldığını belirlemişlerdir. Currie ve diğ. (2004) çalışmalarında alternatif özel otobüs şeritlerinin etkilerini anlamak için mikro simülasyon modeli kullanmışlardır. Kullanılan model sonrası bulunan sonuçlara göre otobüs öncelikli şeritler sayesinde kullanıcıların seyahat sürelerinde azalma olduğu görülmüştür.

Seo ve diğ. (2005) Seoul’de otobüs öncelikli şeritlerin gerekliliğini göstermek için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Kullandıkları yöntem ile otobüs öncelikli şeritlerin toplam trafik hacmini azalttığı sonucuna varmışlardır. Ayrıca ulaşım ağında otobüsler için en az 5 ayrı güzergâh varsa ve otobüs hacmi 20-400 taşıt/saat ise otobüs öncelikli şeritlerin yapılmasını gerektiğini belirlemişlerdir. Arasan ve Vedagiri (2010) Hindistan’ın Chennai şehrinde özel otobüs şeritlerinin heterojen trafik koşulları altında etkilerini incelemişlerdir. Bunun için önce trafik akışını gözlemleyerek bilgi toplamışlardır. Çalışmalarında kullanıcıların faydalarını maksimize eden simülasyon modeli kullanmışlardır. Özel otomobillerden otobüse geçme olasılığı logit model yardımı ile belirlenirken otobüs öncelikli şeritlerin fayda olasılığı da belirlenmiştir. Sonuç olarak otobüs öncelikli şeritler sayesinde diğer tüm taşıtları içeren heterojen trafiğin hizmet seviyesinin kabul edilebilir seviyede olduğu belirlenmiştir. Khoo ve diğ. (2013) güzergah ve şeritlerin otobüs şeridi seçimine uygunluğunu belirlemek ve otobüslerin zaman çizelgelerini ayarlamak üzerine çalışma yapmışlardır. İki aşamalı optimizasyon modeli kullanılarak otobüs ve otobüs dışı trafiğin seyahat sürelerini minimum yapmayı amaçlamışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda otobüs öncelikli şeritlerin sabah zirve saat için uygun olduğu sonucuna varmışlardır. Benzer bir çalışmada Ma ve diğ. (2014) otobüsler ve özel otomobiller olarak iki ulaşım modunu ele alarak izole kavşaklar için şerit işaretlerinin, özel otobüs şeritlerinin ve pasif otobüs öncelikli sinyal süre tasarımı için bir optimizasyon yöntemi geliştirmişlerdir. Geliştirilen modeli dal ve sınır

algoritması tabanlı İkili Tamsayı Programlama ile formüle etmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda özel otobüs şeritleri belirlendiğinde kavşak kapasitesinin sinyal süre optimizasyonu ile artırılabilirliğini belirlemişlerdir.

Chen Q. (2015) çalışmasında erişilebilirlik ve bütçe kısıtlarını dikkate alarak otobüs öncelikli şeritler için iki seviyeli bir programlama modeli geliştirmiştir. Alt seviye modelinde transfer sayılarının ve buna bağlı olarak transfer sürelerinin öncelikli olduğu kapasite kısıtlı toplu taşıma ataması yapmıştır. Üst seviye modelde ise asıl amacı olan toplam seyahat süresini erişilebilirlik ve bütçe kısıtına bağlı olarak minimize etmeyi amaçlamıştır. Önerdiği iki seviyeli programlama modelini genetik algoritma yardımı ile çözümlenmiştir. Önerdiği model kullanılarak öncelikle otobüs öncelikli şeritler için adaylar belirlenmiş ve daha sonra genetik algoritma yardımı ile bu aday şeritlerin içerisinde iki seviyeli programlama modeli ile otobüs öncelikli şeritlerin yerleri belirlenmiştir. Önerdiği çözüm yönteminin etkinliğini göstermek için iki adet sayısal örnek üzerinde analizler yapmıştır. Diğer taraftan sinyalizasyon kavşaklarının otobüs gecikmelerinin temelini oluşturduğunu bu yüzden özel taşıt ile otobüsler arasındaki etkileşimi azaltmak için ek sinyal gerektiğini vurgulayan Guler ve diğ. (2016) özel taşıt etkilerini en aza indirerek sinyalizasyon kavşaklarında otobüse öncelik verecek bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kavşakların doymuş akım değerine ulaşmamış olduğu durumlarda yani hacim/kapasite oranı 0.85 ve altında bir değer olduğunda öncelikli sinyal çalışmasının sonucunda otobüslerin gecikme değerlerinin azalacağı ve yolcu seyahat sürelerinin kısaldığı sonucuna varmışlardır.

Bingfeng ve diğ. (2017) toplam seyahat maliyeti optimizasyonunu amaçlayarak çok modlu ulaşım ağı için özel otobüs şeridi modeli önermişlerdir. Çalışmada özel otobüs şeritlerinin otobüslerin ve özel otomobillerin kapasiteleri üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Problemi tanımlamak için iki seviyeli programlama modeli kullanılmış ve problemin çözümü için dal sınır algoritması kullanılmıştır. Sonuç olarak seyahat talebinin az olduğu yerlerde özel otobüs şeritlerinin etkisinin az olduğu, seyahat talebinin belirli değerlerin üstünde olması durumunda tüm yollara özel otobüs şeridi yapıldığı zaman otobüse olan talebin artacağı ve özel otobüs şeritlerinin seyahat süresini kısalttığı belirlenmiştir. Saade ve diğ. (2018) ulaşım ağındaki belirli şeritlerin belirli aralıklarla otobüsler için ayrılmasının sonuçlarını araştırmışlardır. Zirve saatlerde, seçilen şeritler otobüsler

için kapatıldığında hem özel taşıt trafiği hem de otobüs seyahatleri olumsuz etkilenirken zirve saat bitiminde özel otobüs şeritlerine dönüştürülen ve sadece 30 dakika uygulanan öncelikli şeritler otobüs seyahat sürelerini olumlu yönde etkilemiştir. Ayrıca kısalan seyahat süresi ile özel taşıttan otobüse kademeli olarak yolcu talebinin kaydığı sonucuna ulaşmışlardır.

2.3 Toplu Taşıma Ataması ve Sefer Sıklığı Optimizasyonu

Toplu taşıma sistemlerinin cazibesinin artırılması noktasında önemli bir yere sahip olan sefer sıklığı optimizasyonu ile yüksek yatırım maliyetleri olmadan yapılan çalışma ile sefer sıklıkları düzenlenerek toplu taşıma sistemlerinin kullanım oranlarının artırılması mümkün olabilmektedir.

Silman ve diğ. (1974) İsrail'in Hayfa şehrinde yaptıkları çalışmada ayakta giden yolcu sayılarını dikkate alarak toplu taşıma seyahat süresini minimize etmeyi amaçlamışlardır. İki seviyeli bir model geliştirilerek alt seviyesinde önceden belirlenmiş olan güzergahlardan seçimler yapılarak yeni bir genişletilmiş güzergah kümesi oluşturulurken, üst seviyede ise güzergahlara ait optimum sefer aralıkları belirlenmiş ve toplam seyahat süresi hesaplanmıştır. Furth ve Wilson (1981) otobüslerin güzergahlara dağılımı üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Mevcut uygulanan güzergah dağılımı ile uyguladıkları yeni güzergah dağılımı sonrasındaki değişiklikleri araştırmışlardır. Yeni güzergah seçimlerini belirlemek için filo büyüklüğü ve kapasite kısıtlarına bağlı olarak, sosyal faydanın maksimize edilmesini amaçlamışlardır. Çalışmaları sonucunda toplu taşıma kullanıcılarının belirli bir konfor içerisinde en kısa seyahat süresi ile yolculuklarını tamamlaması gerektiği, işletmecilerin ise maliyeti düşürecek şekilde sefer aralıkları ve sefer sayılarını otobüs doluluk oranı en yüksek olacak şekilde belirlemiş olması gerektiği sonucuna varmışlardır.

Baaj ve Mahmassani (1990) toplu taşıma güzergahları için sıklık analizi yapmışlardır. Çalışmalarında TRUST (Transit Routes Analyst) yönteminin işleyiş şekli hakkında bilgi vermişler ve ABD'nin Texas eyaletine bağlı olan Austin şehrindeki bir alan üzerinde modelleme yapmışlardır. Toplamda 46 farklı rota için çalıştırılan program sonrasında başlangıç sıklıkları ile belirlenen sıklıklar üzerinde

karşılaştırmalar yapılarak sonuçlarını incelemişlerdir. Yapılan karşılaştırma sonucunda belirlenen sıklıklar ile toplam seyahat süresinin azaldığı ve otobüslere olan talebin arttığı sonucuna varmışlardır. Bir diğer çalışmada Baaj ve Mahmassani (1995) toplu taşıma ağlarında rota oluşturma sezgisel algoritması üzerinde çalışmışlardır. Austin şehrinde test edilen çalışmada otobüslerin kapasiteleri, güzergahlara uygulanabilecek maksimum sefer sıklığı değerleri ve maksimum doluluk değerleri ele alınmıştır. Amaç fonksiyonunda ise toplam seyahat süresi, filo büyüklüğü ve kullanıcı memnuniyetine bağlı aktarma sayıları göz önüne alınmıştır. Sonuç olarak artan talep doğrultusunda filo büyüklüğü de artmaktadır. Bu yüzden eklenen yeni otobüsler için yeni güzergahlar belirlenmiştir. Yeni belirlenen güzergahlar talep doğrultusunda şekilleneceği için daha az durak sayısı ile minimum seyahat süresi sağlanmıştır.

Tom ve Mohan (2003) çalışmalarında iki seviyeli bir model geliştirerek kısıtlara bağlı olarak güzergahların ve sıklıkların belirlenmesini amaçlamışlardır. Alt seviyede güzergahları oluşturma algoritması kullanarak aday güzergahlar kümesi oluşturmuşlardır. Üst seviyede ise genetik algoritma yardımı ile uygun güzergahlarını seçerek, otobüs işletme maliyeti ve toplam yolcu seyahat süresini minimize edecek olan amaç fonksiyonunu çözümlenmişlerdir. Her güzergahın sıklığını değişken olarak kabul eden model, orta ölçekli bir ağa uygulanmıştır.

Mumford (2013) çalışmasında probleme özgü geliştirdiği algoritmaları test etmek ve karşılaştırmak amacı ile basit bir model kurmuştur. Modelde toplam yolcu seyahat süresini minimize etmeyi ve tüm güzergahların toplam uzunluklarını belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışmalarını Mandl test ağı üzerinde ve farklı gerçek şehirler üzerinde yapmıştır. Nikolic ve Teodorovic (2014) toplu taşıma ağı tasarım problemini ele almışlardır. Toplu taşıma ataması yaparken sıklık paylaşım modelinden yararlanmışlardır. Arı kolonisi optimizasyon tekniği kullanılarak hem yolcular için hem de işletmeci için optimum güzergahlar elde edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Her bir çözüm için aktarmasız ve aktarmalı yolcu sayıları ile seyahat süreleri hesaplanarak karşılaştırmalar yapmışlardır. Ceylan ve Özcan (2018) çalışmalarında iki seviyeli bir model geliştirerek test ağı üzerinde otobüs ağları sefer sıklıklarını armoni araştırması algoritmasını kullanarak optimize etmişlerdir. Geliştirdikleri modelin alt seviyesinde VISUM yazılımını kullanarak toplu taşıma

atamasını yapmışlardır. Üst seviyede ise kullanıcı ve işletmeci faydalarını içeren bir amaç fonksiyonunu armoni araştırması tekniği ile çözmüşlerdir. Sonuç olarak kullandıkları test ağı üzerinde belirledikleri otobüs güzergahları için sefer sıklıklarını belirleyerek optimum çözüme ulaşmışlardır.

2.4 Diferansiyel Gelişim Algoritması Optimizasyon Tekniği

Price ve Storn (1995) tarafından geliştirilmiş olan DGA optimizasyon yöntemi, işleyiş ve operatörleri açısından GA tabanlı bir sezgisel optimizasyon yöntemidir. İkilik sayı yerine onluk sayı ile kodlanarak çözülebilmesi DGA yöntemini GA yöntemine göre daha kolay uygulanabilir yapmaktadır. Ayrıca diğer optimizasyon teknikleri ile karşılaştırıldığında lokal çözümlere yakalanma olasılığının düşük olması daha kolay çözüme ulaşılabilmesi ve kolay kodlanması en büyük avantajları olarak sıralanabilmektedir (Michalewicz, 1992, Storn ve Price, 1995, Storn, 2001, Hrstka ve Kucerova, 2004, Mayer v diğ., 2005).

Koh (2007) ulaşım planlaması alanında yaptığı çalışmada kullandığı iki seviyeli modelin çözümünde DGA optimizasyon tekniğini kullanmıştır. İki seviyeli modelde DGA yöntemi ile trafik atama tekniklerini birleştirerek sonuca ulaşmıştır. Yaptığı hesaplamalar sonucunda DGA optimizasyon tekniği ile elde ettiği sonuçları mevcut durum sonuçları ile karşılaştırarak algoritmanın bu tür problemleri çözmek için uygun olduğunu belirlemiştir. Jha ve diğ. (2011) farklı ürünler üreten bir dizi tedarikçi ve perakendeciler arasındaki talep problemini ele almaktadır. Karışık tam sayılı bir model olarak formüle edilen problem DGA ile çözümlenmiştir. Elde ettikleri sonuçları genetik algoritma ile karşılaştırmışlardır ve optimuma yakın sonuçlar elde ettiklerini görmüşlerdir.

Trafik sinyallerinin optimizasyonunu gerçekleştiren ve trafik sıkışıklığını en aza indirmeyi amaçlayan Ceylan (2013) modeli kurmak için TRANSYT trafik simülasyon yazılımını DGA ile birleştirmiştir. İki seviyeli bir model kurarak sinyal kontrolü bir test ağı üzerinde çalışmasını gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmanın sonuçları genetik algoritma ve armoni araştırması tekniği sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Hesaplamalar sonucunda diferansiyel gelişim algoritması performansının daha iyi olduğunu göstermiştir. Başkan ve Ceylan (2014) ulaşım ağı

tasarım problemleri çözümünde ve yol içi park yerlerinin belirlenebilmesi için DGA optimizasyon tekniği ile iki seviyeli bir model geliştirerek çözüm aramışlardır. Sioux-Falls test ağı üzerinde yapılan çalışma ile literatürdeki değerler karşılaştırılarak DGA optimizasyon tekniğinin ulaşım ağı tasarımı problemlerinde kullanılabilirliğini ortaya koymuşlardır.

Pitakaso ve diğ. (2019) heterojen filo kapasiteli taşıtların toplam seyahat maliyetlerini ve toplam kiralama maliyetlerini minimize etmek için DGA optimizasyon tekniğini uygulamışlardır. Problemler için farklı mutasyon stratejileri kullanarak farklı çözümler elde etmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda DGA tekniğini ulaştırma problemlerinin çözümünde kullanılacak uygun bir optimizasyon yöntemi olduğunu belirtmişlerdir.

2.5 Sonuçlar

Bu bölümde daha önceden çalışılmış olan ve literatürde yer alan otobüs öncelikli şeritler ve harici otobüs şeritleri, toplu taşıma ataması ve sefer sıklığı optimizasyonu ve DGA tekniği ile yapılmış çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir. Çalışmalardan anlaşılacağı üzere özel otobüs şeritleri ile ilgili iki farklı yaklaşımın uygulandığı görülmektedir. Otobüs öncelikli şeritlerin harici otobüs şeritlerine göre maliyeti daha az bir uygulama olduğu söylenebilmektedir.

Toplu taşıma atamalarında ise birçok farklı yöntem bulunmakta olup genel amacın seyahat süresini en küçükleme olduğu görülmektedir. Ayrıca literatürde geçen birçok ulaştırma probleminin çözümü için kullanılan yöntemlerde DGA optimizasyon tekniğinin kullanılabilirliği ortaya koyulmuştur.

3. PROBLEM FORMÜLASYONU VE MODEL GELİŞİMİ

3.1 Giriş

Bu çalışmada, kent içi ulaşım ağlarındaki lastik tekerlekli toplu taşıma sistemleri olan otobüsler için kullanılabilir öncelikli şeritlerin belirlenmesi ve toplu taşıma seyahat süresinin iyileştirilmesi için iki adet iki seviyeli model geliştirilmiştir. Sefer sıklığı optimizasyonu için geliştirilmiş olan iki seviyeli modelin (MODEL 1) alt seviyesinde toplu taşıma ataması gerçekleştirilmiş ve üst seviyesinde ise toplu taşıma seyahat süresini minimize edecek optimum sıklıklar bulunmuştur. Otobüs öncelikli şeritleri belirlemek için geliştirilen iki seviyeli modelde (MODEL 2) ise alt seviyede MODEL 1’de belirlenmiş optimum sıklıklar kullanılarak toplu taşıma ataması gerçekleştirilmiş ve üst seviyesinde ise önceden belirlenmiş olan otobüs öncelikli şerit adayları arasından toplu taşıma seyahat süresini minimize eden otobüs öncelikli şeritler belirlenmiştir. Her iki modelin üst seviye çözümü için DGA optimizasyon tekniği kullanılmıştır. Programlama dili olarak Excel VBA’dan yararlanılmıştır. Her iki modelin alt seviyesinde yer alan toplu taşıma ataması için ise sıklık paylaşımı yöntemi kullanılmıştır. MODEL 2 üst seviyesinde kullanılmak üzere aday şeritlerin belirlenmesi için yapılan özel taşıt ataması için VISUM programı kullanılmıştır.

3.2 MODEL 1 Üst Seviye Problemi: Optimum Sıklık Süreleri ile Toplu Taşıma Seyahat Süresi Minimizasyonu

Kent içi ulaşım ağlarında bir başlangıç noktasından varış noktasına seyahat ederken kullanılabilir en kısa ve konforlu yol tercih edilmektedir. Toplu taşıma sistemlerinin seyahat süreleri minimize edilerek hem toplu taşıma sistemlerine olan talebin artması hem de trafik sıkışıklığının azaltılması sağlanabilmektedir. Toplu taşıma sistemlerinde seyahat süresi iki kısımdan oluşmaktadır. Herhangi bir başlangıç noktasından varış noktasına seyahat ederken kullanılacak olan taşıtın içerisinde ve dışarısında geçen süreler toplam seyahat süresini belirlemektedir. Taşıt

içi seyahat süresi kullanıcıların başlangıç ve varış durakları arasında toplu taşımada geçirdikleri süreye eşittir. Taşıt dışındaki seyahat süresi ise kullanıcıların başlangıç duraklarına gelmeleri için geçen zaman, durakta bekleme süresi, aktarma kullanılacak ise aktarmada gerçekleşen bekleme süresi ve varış durağından hedef noktasına ulaşma sürelerinin toplamı olarak ifade edilebilmektedir. Her bir otobüs güzergahı için uygun sefer sıklığı ile seyahat süresini azaltabilmek mümkün olabilmektedir. Optimum sefer sıklıklarının belirlenmesi amacıyla kullanılan amaç fonksiyonu Denklem (3.1)'de verilmiştir.

$$TSS = \sum_{i=1}^O \sum_{j=1}^D \sum_{k=1}^{c_{ij}} \lambda_k^{ij} + w \sum_{i=1}^{OG} G_i (kap_i, ha_i) \quad (3.1)$$

Toplu taşıma ağının toplam seyahat süresi (TSS) taşıt içinde geçen süre, taşıt dışında geçen süre ve ceza fonksiyonu değeri toplamı şeklindedir. Burada O üretim merkezi sayısını ve D çekim bölgesi sayısını temsil edilmektedir. c_{ij} i - j B-V çifti arasında bulunan bağlantı sayısını, λ ise i - j B-V çifti arasında bulunan k bağlantısında geçen taşıt içi ve taşıt dışı seyahat sürelerini ifade etmektedir. Taşıt içi ve taşıt dışında (aktarmada) geçen süre alt seviye probleminde çözümlenen toplu taşıma ataması sonucunda her bir güzergaha atanan yolcu sayısına bağlı olarak değişmektedir.

Denklem 3.1'de yer alan G_i ceza fonksiyonunda, OG toplu taşıma ağında bulunan otobüs güzergahlarının sayısını temsil etmektedir. Denklemde yer alan kap_i i güzergahının toplam kapasitesini, ha_i ise i güzergahında seyahat eden yolcu sayısını, w ise ceza fonksiyonu katsayısını temsil etmektedir. Ceza fonksiyonu değeri Denklem (3.2)'de verilmiştir.

$$G_i = \begin{cases} (ha_i - kap_i) & \text{eğer } ha_i > kap_i \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.2)$$

3.3 MODEL 2 Üst Seviye Problemi: Otobüs Öncelikli Şeritler ile Toplu Taşıma Seyahat Süresi Minimizasyonu

Toplu taşıma sistemi toplam seyahat süresi hesaplanırken ele alınan taşıt içi seyahat süresi, en etkili faktörlerden biridir. Özellikle taşıt içinde geçen zaman sıkışık trafik koşullarında önemli ölçüde artabilmektedir. Ulaşım ağındaki toplu taşıma güzergahları ve durak noktalarında değişiklik yapılmadan toplu taşıma seyahat süresini azaltabilecek olan yöntemlerden bir tanesi olan otobüs öncelikli şeritler ile özel taşıt trafiğini de olumsuz etkilemeden seyahat süresini azaltabilmek mümkün olabilmektedir. VISUM programı ile özel taşıt ataması sonrasında belirlenen aday şeritler içerisinde en uygun otobüs öncelikli şeritlerin belirlenmesi amacıyla kullanılan amaç fonksiyonu Denklem (3.3)'te verilmiştir.

$$TSS = \sum_{i=1}^O \sum_{j=1}^D \sum_{k=1}^{C_{ij}} \lambda_k^{ij} + t \sum_{i=1}^{AS} C_i (büt, ma) \quad (3.3)$$

Denklem iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda yer alan gösterim Denklem 3.1 ile aynı şekilde hesaplanmaktadır. İkinci kısımda yer alan C_i ceza fonksiyonunda ise, özel taşıt ataması sonucu elde edilen adet aday şerit sayısını AS temsil etmektedir. Denklemde yer alan $büt$ toplam bütçeyi temsil ederken ma ise toplam maliyeti ($\mu * \gamma$, burada μ km başına düşen işletme maliyeti, γ Boolean değişkeni (otobüs öncelikli şerit gerekiyor ise =1, aksi halde =0)), t ise ceza fonksiyonu katsayısını temsil etmektedir. Ceza fonksiyonu değeri Denklem (3.4)'te verilmiştir.

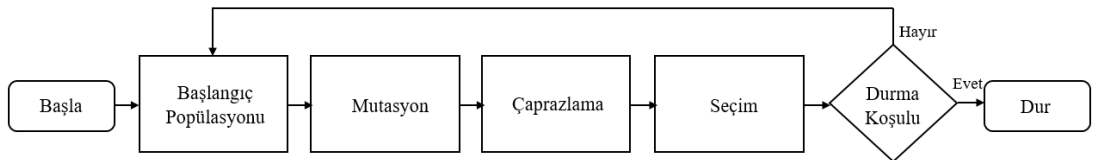
$$G_i = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{(ma-büt)}{d_{ma}} & \text{eğer } ma > büt \\ 0 & \text{aksi halde} \end{array} \right\} \quad (3.4)$$

Ceza fonksiyonunda yer alan d_{ma} maliyetin süre cinsine çevrilmesi ile bulunan değer olarak ifade edilmektedir.

3.4 Diferansiyel Gelişim Algoritması

Price ve Storn tarafından 1995 yılında geliştirilmiş olan DGA, genel olarak sürekli verilerin kullanıldığı problemlerde daha doğru sonuçlar verebilen, işleyişi ve operatörleri açısından genetik algoritmaya benzeyen popülasyon tabanlı sezgisel optimizasyon tekniklerinden bir tanesidir. Genel olarak işleyiş biçimi ve çözüm mantığına bakıldığında GA ile birçok benzerliği olmasına rağmen DGA ile GA'nın arasındaki en büyük fark çözümlenecek olan problemin ikilik sayı dizimi ile değil onluk sayı dizimi ile kodlanarak çözüme ulaşılmasıdır. GA'da kullanılan operatörler (mutasyon, çaprazlama ve seçim) DGA'da da kullanılmasına rağmen, popülasyonda bulunan tüm bireyler (çözüm vektörleri) GA'dan farklı olarak operatörler tarafından genetik değişime tabi tutulmaktadırlar.

Bu amaç doğrultusunda her bir çözüm vektörü tek tek ele alınarak rastgele şekilde seçilmiş olan farklı üç kromozoma sırası ile mutasyon ve çaprazlama operatörleri uygulanır ve elde edilen yeni kromozom ile karşılaştırılır. Bunların sonucunda amaç fonksiyonu değerleri incelendiğinde daha iyi sonuca götüren kromozom seçim operatörü kullanılarak bir sonraki jenerasyona aktarılır. Daha önceden belirlenmiş olan durma koşulu sağlanıncaya kadar bütün bu işlemlerin devamlı olarak tekrarlanması ile optimum yada yakın optimum sonuçlara ulaşılabilir. Yöntemin bir diğer önemli özelliği ise birçok sezgisel optimizasyon tekniğine göre oldukça kolay kodlanabilmesidir. Diferansiyel gelişim algoritmasının temel özellikleri güçlü, basit, hesaplama süresi düşük ve türeve ihtiyaç duymaması olarak sıralanabilir. DGA'nın temel işlem adımları Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1: DGA temel işlem adımları

3.4.1 Başlangıç Popülasyonu

DGA'da popülasyon içindeki karar değişkenlerinin başlangıç değerleri Denklem (3.5)'e bağlı olarak üretilmektedir.

$$x_{i,g}^j = x_{min}^j + r(0,1) * (x_{max}^j - x_{min}^j) \quad \begin{matrix} i=1,2,\dots,p \\ j=1,2,\dots,n \end{matrix} \quad (3.5)$$

Burada; p , popülasyondaki çözüm vektörü sayısını, n , karar değişkeni sayısını, g , jenerasyon sayısını belirtmektedir. $x_{i,g}^j$, model ile belirlenecek n boyutlu çözüm vektörünü, x_{min} ve x_{max} sırasıyla karar değişkenlerinin alt ve üst sınır değerlerini ifade etmektedir.

3.4.2 Mutasyon

İkinci aşama olan mutasyon aşamasında, mutasyon operatörü kullanılarak $x_{i,g}$ vektöründen yeni bir mutant vektör oluşturulmaktadır. Bu aşamada literatürde önerilmiş olan pek çok farklı mutasyon stratejisi bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında Denklem (3.6)'da verilmiş olan "DE/rand/1" mutasyon stratejisi kullanılmıştır.

$$v_{i,g} = x_{r_1,g}^i + F (x_{r_2,g}^i - x_{r_3,g}^i) \quad (3.6)$$

Burada F değeri 0 ile 1 arasında değişen ve mutasyon işleminin ağırlığının kontrol edilmesinde kullanılan ölçek katsayısını, $r_{k,g}^i$ ($k=1,2,3$) ise i değerinden farklı olacak şekilde $[1, p]$ aralığında üretilmiş olan rastgele tamsayıları göstermektedir.

3.4.3 Çaprazlama

Bu aşamadan sonra yeni çözüm vektörü $x_{i,g}$ ve $v_{i,g}$ vektörlerinden çaprazlama operatörü kullanılarak Denklemde (3.7)'deki gibi üretilmektedir.

$$u_{i,g}^j = \begin{cases} v_{i,g}^j & \text{eğer } r(0,1) \leq C_r \text{ veya } j = j_r \text{ ise} \\ x_{i,g}^j & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.7)$$

Burada C_r çaprazlama olasılığı ve j_r ise $[1,n]$ aralığında rastgele olarak üretilen tamsayıyı göstermektedir. $j = j_r$ koşulu en az bir tane değer, üretilen yeni kromozomdan seçilmesini garanti etmek amacıyla konulmuştur.

3.4.4 Seçim

Bu aşamadan sonra bir sonraki jenerasyona hangi vektörün aktarılacağına karar verilmesi gerekmektedir. Bu işlem seçim operatörü ile amaç fonksiyonu değerlerine bağlı olarak Denklem (3.8)'deki gibi yapılmaktadır.

$$x_{i,g+1} = \begin{cases} u_{i,g} & \text{eğer } f(u_{i,g}) \leq f(x_{i,g}) \text{ ise} \\ x_{i,g} & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.8)$$

Denklemde $f(u_{i,g})$ ve $f(x_{i,g})$ sırasıyla $u_{i,g}$ ve $x_{i,g}$ çözüm vektörleri için hesaplanan amaç fonksiyonu değerlerini göstermektedir. Görüldüğü gibi, amaç fonksiyonu değeri bakımından daha iyi olan birey sonraki jenerasyona aktarılmaktadır ve bu şekilde en iyi çözüme ulaşılmaya çalışılmaktadır.

3.4.5 Durma Koşulu

Yöntemde iteratif çözüm maksimum jenerasyon sayısına ulaşıncaya kadar yada öncede belirlenen durma kriteri sağlanıncaya kadar devam ettirilmektedir. Algoritmanın durma kriteri olarak, popülasyondaki en iyi ve en kötü fonksiyon değerleri arasındaki hatanın tanımlanan bir tolerans değerine yaklaşması kullanılabilir.

3.5 MODEL 1 ve MODEL 2 Alt Seviye Problemi: Toplu Taşıma Ataması

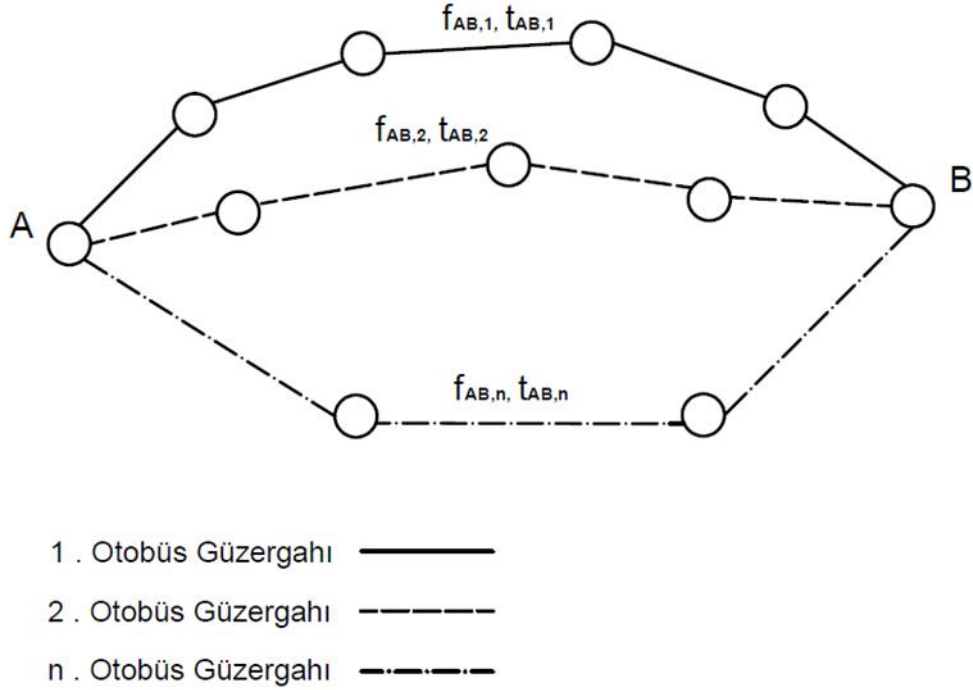
Toplu taşıma yolcu güzergah atamaları, toplu taşıma ağının tasarımına bağlıdır. Başka bir deyişle, toplu taşıma ağı tasarımı yapılırken oluşturulan her bir güzergahtaki yolcu talebi belirlenmelidir. Toplu taşıma ağlarına yönelik tasarımlara ilişkin yapılmış olan birçok çalışmada, bu durum yolcuların en kısa güzergahı tercih ettiği kabulüne bağlı olarak ele alınmaktadır. (Baaj ve Mahmassani 1990, Shih, Mahmassani ve Baaj 1997, Mumford 2013, Nikolic ve Teodorovic 2014).

Toplu taşıma kullanan yolcuların sistemden beklediği parametreler farklılıklar göstermektedir. Seyahat süresi, aktarma sayısı, aktarma sırasında ki bekleme süreleri, otobüslerin doluluk oranları gibi birçok farklı beklenti parametreleri bulunmaktadır. Bundan dolayı yolcuların algıladıkları seyahat maliyetleri de farklılık göstermektedir. Sonuç olarak aynı başlangıç noktasından bitiş noktasına seyahat eden kişiler, farklı güzergahları kullanabilmektedir. Bu nedenle toplu taşıma yolcu atamasında her bir otobüs güzergahına göre belirlenen sefer sayısı ve doğru aktarma bilgisi önem taşımaktadır.

Bu çalışmada toplu taşıma kullanan yolcuların otobüs güzergahlarına dağılımını belirlemek için Baaj ve Mahmassani (1990) tarafından aktarma sayısını ve farklı alternatif seçeneklerde gerçekleşen seyahat sürelerini dikkate alan sıklık paylaşımı metodundan yararlanılmıştır. Bu metotta yolculuk yapan kişinin her zaman mümkün olan en az sayıda aktarmayı içeren yolu izleyerek varış noktasına ulaşmaya çalıştığı varsayılmaktadır. En az sayıda ve aynı aktarma sayısına sahip birden fazla seçenek olduğunda seyahat süreleri dikkate alınarak karar verilmektedir.

3.5.1 Aktarmasız Yolcu Ataması

Herhangi iki nokta arasında aktarmaya gerek duymadan yapılabilecek yolculuklar aktarmasız yolculuk olarak adlandırılmaktadır. Şekil 3.2’de A-B başlangıç ve varış noktaları arasında seyahat eden yolcular için örnek otobüs güzergahları gösterilmektedir.



Şekil 3.2: A-B başlangıç varış noktaları arasında seyahat eden yolcular için örnek otobüs güzergahları (Teodorović 2014)

Her bir B-V çifti için aktarmasız gidilebilecek olan bütün güzergahlar belirlenerek taşıt içi seyahat süreleri hesaplanmaktadır. Hesaplanan süreler içerisinde minimum seyahat süresine sahip güzergah belirlenmekte ve diğer güzergahların seyahat süreleri için bir filtreleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla taşıt içi seyahat süresi minimum olan değere bir eşik değer koyulmakta ve bu değeri aşan tüm güzergahlar iptal edilmektedir. Bunun nedeni minimum seyahat süresini önemli ölçüde aşan güzergahları yolcuların seçenek olarak görmemesini sağlayabilmektedir. Kalan güzergahlar arasında dağılım yapılması için sıklık paylaşım yöntemi

uygulanmaktadır. Şekil 3.2’de verilen örnek göz önüne alındığında A noktasından B noktasına giden ve eşik değerin altına kalan n adet güzergah olduğunu varsayarsak bu güzergahların sırasıyla sıklıkları f_1 , f_2 ve f_n şeklindedir. Her bir güzergah için beklenen yolcu sayısı Denklem (3.9)’daki gibi hesaplanabilmektedir.

$$P_{AB,i} = \frac{f_{AB,i}}{f_{AB,1} + \dots + f_{AB,n}} d_{AB} \quad (3.9)$$

Burada, d_{AB} A-B başlangıç varış noktaları arasında seyahat eden toplam yolcu sayısı, $f_{AB,i}$ A-B başlangıç varış noktaları arasında bulunan i güzergahının sıklığını, $P_{AB,i}$ ise A-B başlangıç varış noktaları arasında bulunan i güzergahına atanan yolcu sayısını ve n ise güzergah sayısını ifade etmektedir.

A ve B noktaları arasında belirlenen tüm güzergahlar için ortalama durakta bekleme süresi ise Denklem (3.10)’daki gibi hesaplanmaktadır.

$$t_{dbs} = \frac{60}{2(f_1 + f_2 + \dots + f_n)} \quad (3.10)$$

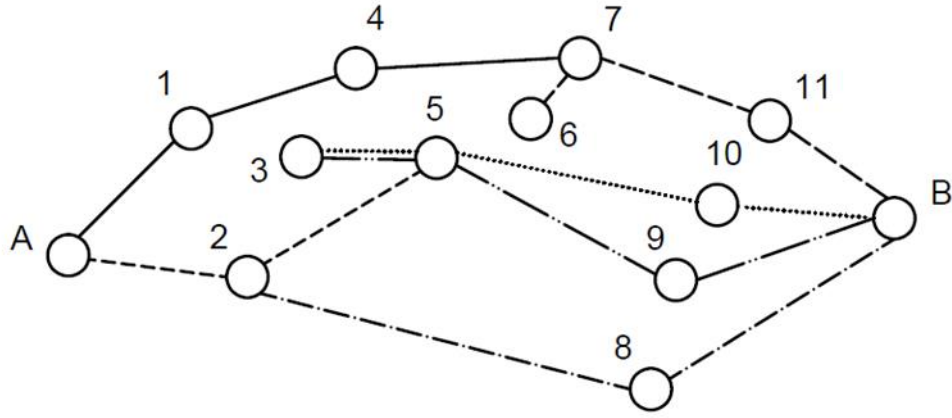
Denklemde durakta bekleme süresi değerinin belirlenebilmesi için kullanılan 60 dk’lık zaman periyodu 120 dk olarak da kullanılabilir. Aktarmasız yolculuklar için toplam seyahat süresi Denklem (3.11)’de verildiği gibi her bir güzergah için taşıt içi seyahat süresi ile durakta bekleme süresi toplamına eşittir.

$$t_{AB} = t_{tiçi,AB/gzh0} + t_{dbs,A} \quad (3.11)$$

Burada t_{AB} , A-B başlangıç varış noktaları arasındaki toplam seyahat süresi, $t_{tiçi,AB/gzh0}$ A-B başlangıç varış noktaları arasında yolcu atanan herhangi güzergahın veya güzergahların toplam taşıt içi seyahat süresi, $t_{dbs,A}$ ise yolculuğun başladığı A noktasındaki durakta bekleme süresini ifade etmektedir.

3.5.2 Tek Aktarmalı Yolcu Ataması

Eğer başlangıç noktasından varış noktasına tek bir otobüs güzergahı ile aktarmasız olarak gidilemiyor ise B-V çiftini tek aktarma ile bağlayan güzergahlar tespit edilmektedir. Şekil 3.3'te A-B başlangıç varış noktaları arasındaki farklı otobüs güzergahları verilmiştir.



- | | | | |
|----------------------|-----------|----------------------|-----------|
| 1 . Otobüs Güzergahı | ————— | 4 . Otobüs Güzergahı | ----- |
| 2 . Otobüs Güzergahı | - - - - - | 5 . Otobüs Güzergahı | |
| 3 . Otobüs Güzergahı | - . - . - | 6 . Otobüs Güzergahı | - . . . - |

Şekil 3.3: A-B başlangıç varış noktaları arasında seyahat eden yolcular için tek aktarmalı örnek otobüs güzergahları (Teodorović 2014)

Aktarmalı güzergahların belirlenebilmesi için başlangıç noktasından geçen her bir otobüs güzergahı ile varış noktasından geçen otobüs güzergahlarının kombinasyonları incelenmekte ve bu kombinasyonların durak listelerinin kesişim kümesi belirlenmektedir. Belirlenen kesişim kümesi boş değil ise her bir kesişen durak olası aktarma merkezi olarak belirlenir.

Şekilde incelendiğinde A noktasından B noktasına gidecek olan yolcular için olası güzergahlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Güzergah 1 : A $\xrightarrow{\text{hat1}}$ 1 $\xrightarrow{\text{hat1}}$ 4 $\xrightarrow{\text{hat1}}$ 7(aktarma noktası) $\xrightarrow{\text{hat4}}$ 11 $\xrightarrow{\text{hat4}}$ B
Güzergah 2 : A $\xrightarrow{\text{hat2}}$ 2 $\xrightarrow{\text{hat2}}$ 5(aktarma noktası) $\xrightarrow{\text{hat5}}$ 10 $\xrightarrow{\text{hat5}}$ B
Güzergah 3 : A $\xrightarrow{\text{hat2}}$ 2 $\xrightarrow{\text{hat2}}$ 5(aktarma noktası) $\xrightarrow{\text{hat6}}$ 9 $\xrightarrow{\text{hat6}}$ B
Güzergah 4 : A $\xrightarrow{\text{hat2}}$ 2(aktarma noktası) $\xrightarrow{\text{hat3}}$ 8 $\xrightarrow{\text{hat3}}$ B

Aktarmalı güzergahların seyahat süreleri aktarmasızlara göre farklı şekilde hesaplanmaktadır. Aktarmalılarda iki hat birleştirildiği için bu süre içerisinde gerçekleşen bekleme süreleri ve aktarma ceza süresi de taşıt içi seyahat süresine eklenmektedir. Yukarıda verilen seçeneklerden güzergah 1 için örnek seyahat süresi Denklem (3.12)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$t_{AB} = t_{ti\check{c}i,A an/hat1} + t_{ti\check{c}i,an B/hat4} + t_{dbs,hat1} + t_{dbs,hat4} + t_{acs} \quad (3.12)$$

Burada $t_{ti\check{c}i,A an/hat1}$ A noktasından aktarma noktasına (an) kadar hat 1 için taşıt içi seyahat süresini, $t_{ti\check{c}i,an B/hat4}$ an ' den B noktasına hat 2 için taşıt içi seyahat süresini ve t_{acs} ise aktarma ceza süresini ifade etmektedir. Her bir güzergah için durakta bekleme süreleri zaman periyodunun güzergaha ait sıklığın 2 katına bölünmesi ile bulunabilmektedir (Baaj ve Mahmassani 1990). Denklemde yer alan aktarma ceza süresi ise 5 dk olarak alınabilmektedir (Shih ve diğ, 1997).

Hesaplanan süreler içerisinde minimum seyahat süresine sahip güzergah seçeneği belirlenmekte ve diğer güzergahların seyahat süreleri için bir filtreleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Şekil 3'te verilen örnek göz önüne alındığında A noktasından B noktasına giden 4 farklı güzergah seçeneği bulunmaktadır. A başlangıç noktasındaki bir yolcunun hat 1 ve hat 2 olmak üzere iki seçeneği bulunmaktadır. Bu nedenle çıkış güzergahlarına ait yolcu atamaları Denklem (3.13a) ve Denklem (3.13b)'de verildiği gibi belirlenmektedir.

$$P_{AB,hat1} = \frac{f_1}{f_1 + f_2} d_{AB} \quad (3.13a)$$

ve

$$P_{AB,hat2} = \frac{f_2}{f_1 + f_2} d_{AB} \quad (3.13b)$$

Burada hat 1'i kullanan tek bir güzergah seçeneği bulunmaktadır. Bu nedenle hat 1'e ait tüm yolcular bu güzergaha atanmaktadır. Diğer taraftan hat 2'yi kullanan 3 güzergah seçeneği bulunmaktadır. Bu durumda 2. hattaki yolcular bu güzergahlar arasında eşit şekilde Denklem (3.14)'te gösterildiği gibi paylaştırılmaktadır.

$$P_{AB,hat2/gzh2} = P_{AB,hat2/gzh3} = P_{AB,hat2/gzh4} = \frac{P_{AB,hat2}}{3} \quad (3.14)$$

Aynı başlangıç hattı ve aynı aktarma noktasına sahip güzergahlar bir grup oluşturmaktadırlar. Şekil 3'te gösterilen durumda 3 farklı grup bulunmaktadır. Birinci grup sadece güzergah 1' den, ikinci grup güzergah 2 ve güzergah 3'ten, üçüncü grup ise yalnızca güzergah 4'ten oluşmaktadır. Grup 1 ve grup 3 için yolcu atamaları yukarıda verilen Denklem (3.13a) ve Denklem (3.13b) şeklindedir. Burada dikkat edilmesi gereken grup 3 için atama yapılırken aynı başlangıç hattına sahip farklı güzergahlar yer aldığından dolayı Denklem (3.14) uygulanmaktadır. Grup 2 için ise aktarma noktası sonrası devam eden hatlar üzerinden atama yapılmaktadır. Buradaki atama yapılacak toplam yolcu sayısı Denklem (3.14)'ten yola çıkılarak Denklem (3.15)'teki gibi ifade edilmektedir.

$$P_{AB,hat2,5} = P_{AB,hat2/gzh2} + P_{AB,hat2/gzh3} = 2 \frac{P_{AB,hat2}}{3} \quad (3.15)$$

Burada $P_{AB,hat2,5}$ başlangıç noktasından hat 2 ile aktarma noktası olan 5'e kadar seyahat eden toplam yolcu sayısını ifade etmektedir. Grup 2 için sıklık paylaşım metodu ile güzergahlara atanan yolcu sayıları Denklem (3.16a) ve Denklem (3.16b)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$P_{AB,hat2,5,hat5} = \frac{f_5}{f_5 + f_6} P_{AB,hat2,5} \quad (3.16a)$$

ve

$$P_{AB,hat2,5,hat6} = \frac{f_6}{f_5 + f_6} P_{AB,hat2,5} \quad (3.16b)$$

Sıklık paylaşımı yönteminde atama yapılabilmesi için her bir otobüs hattı için önceden birer sıklık belirlenmesi gerekmektedir. Güzergahlara ait sefer aralığı formülü ise Denklem (3.17)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$h = \frac{60}{f_k} \quad (3.17)$$

Atama sonucunda toplu taşıma ağına ait toplam seyahat süresi ise Denklem (3.18)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$T_{SS} = T_{tiçi} + T_{dbs} + T_{acs} \quad (3.18)$$

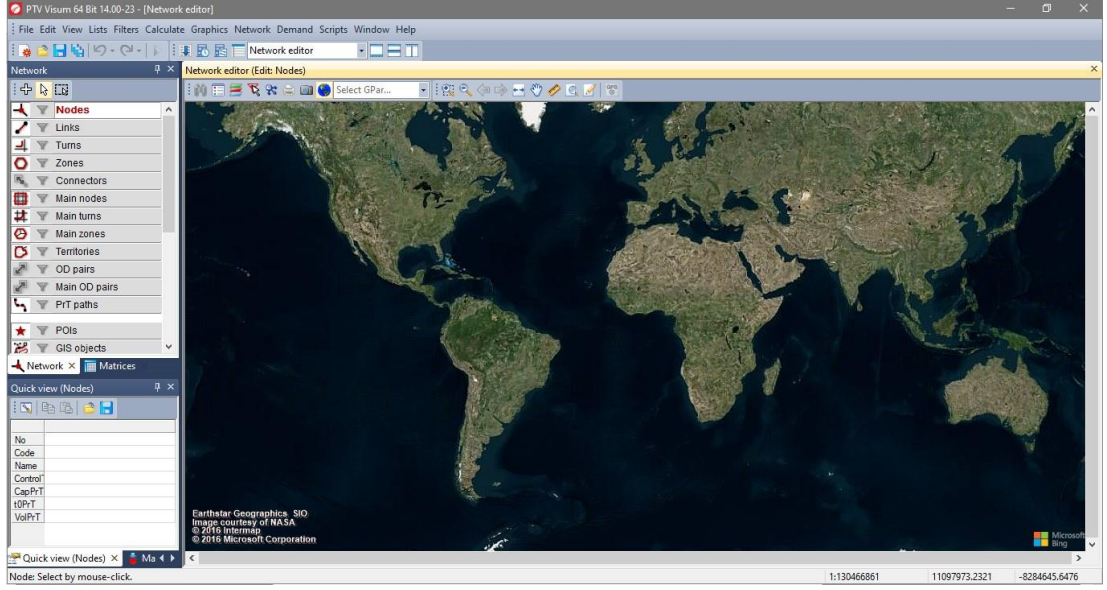
Burada, T_{SS} toplam seyahat süresi, T_{dbs} toplam durakta bekleme süresi ve T_{acs} toplam aktarma ceza süresi olarak ifade edilmektedir.

3.6 Özel Taşıt Ataması

Tez çalışmasında otobüs öncelikli şerit adaylarının belirlenebilmesi için özel taşıt ataması yapılmıştır. Aday şeritlerin belirlenebilmesi için hafif (Senaryo 1), orta (Senaryo 2) ve ağır (Senaryo 3) trafik koşullarında 3 farklı senaryo için özel taşıt ataması yapılmıştır. Sonuçlara göre bağlardaki seyahat süresi ve serbest akım seyahat süreleri karşılaştırılarak otobüs öncelikli şeritler için aday listesi oluşturulmaktadır. Atama sonucunda seyahat süresi değişiminin minimum olduğu şeritler belirlenerek otobüs öncelikli şerit uygulaması için aday şeritler belirlenebilmektedir. Özel taşıt atamasında kullanılan VISUM programı hakkında bilgiler bu bölümde yer almaktadır.

3.6.1 VISUM Programı

PTV AG tarafından geliştirilen VISUM yazılımı, şehir, bölge veya ulusal düzeyde trafik analizleri yapabilen Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı bir yazılımdır. VISUM yazılımı farklı trafik ve ulaşım problemlerinin aynı anda analiz edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca programın Vision Trafik paketi ile olan entegrasyonu, Python ve VBA (Visual Basic for Applications) gibi programlama dilleri ile birlikte kullanılabilmesi ve oldukça kullanışlı bir kullanıcı ara yüzüne sahip olması büyük avantajları arasında sayılabilir. Şekil 3.4'te VISUM yazılımının başlangıç ekranı verilmiştir.

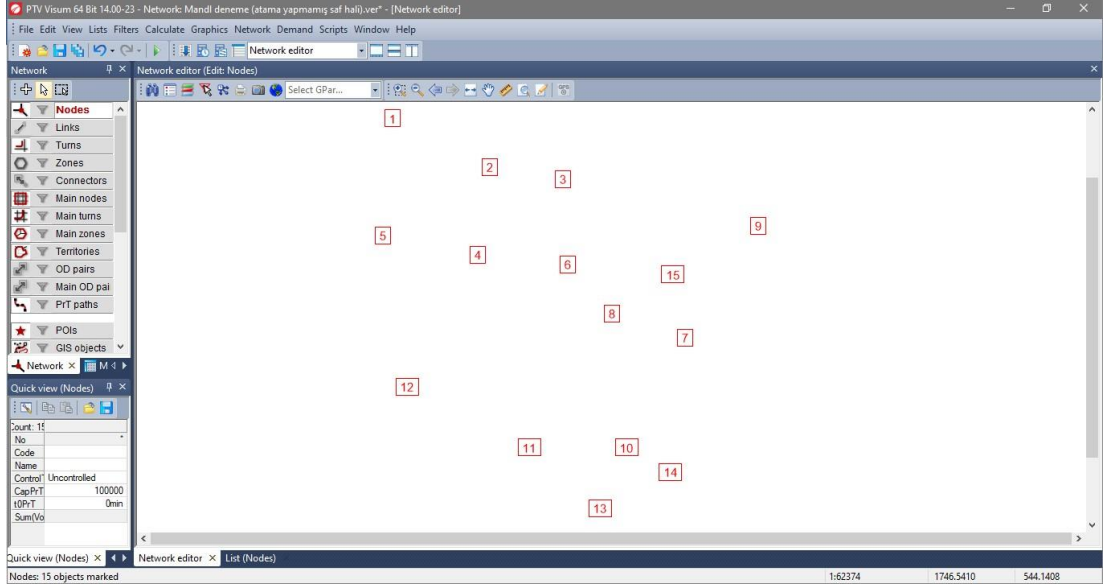


Şekil 3.4: VISUM yazılımı başlangıç ekranı

Şekilde görüldüğü gibi başlangıç ekranı bir dünya haritası ile açılmaktadır. Yapılan analiz çalışmaları haritada bulunan gerçek ağlar ile yapılabileceği gibi harita modu kapatılarak istenilen koordinatlarda da yapılabilmektedir. Eğer harita kullanılmıyor ise ulaşım ağının oluşturulabilmesi için sırası ile yapılması gereken işlemler vardır. Bunlar koordinatları bilinen düğümlerin (node) yerleştirilmesi, düğümlerin bağlar ile birleştirilmesi (link), trafik analiz bölgelerinin (zone) yerleştirilmesi, düğümler ile trafik analiz bölgelerinin bağlanması (connector) ve başlangıç-varış matrisinin oluşturulması şeklinde sıralanabilir. İşlem adımları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

İşlem 1: Düğüm Noktalarının (nodes) Yerleştirilmesi

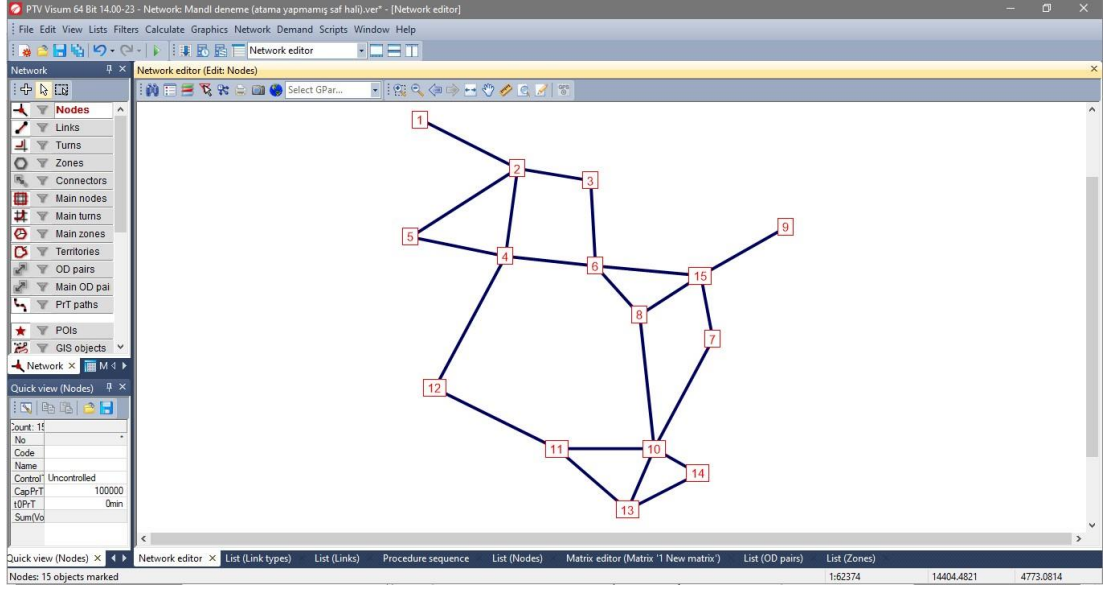
Düğümler karayolu ve demiryolu ağındaki kavşakların, bağlantıların veya noktaların birleşme yerini belirtmektedir. Şekil 3.5'te çalışmada kullanılan Mandl test ağına ait düğüm noktalarının VISUM yazılımında modellenmiş şekli görülmektedir.



Şekil 3.5: Mandl test ağı düğüm noktaları VISUM görseli

İşlem 2: Bağların (link) Yerleştirilmesi

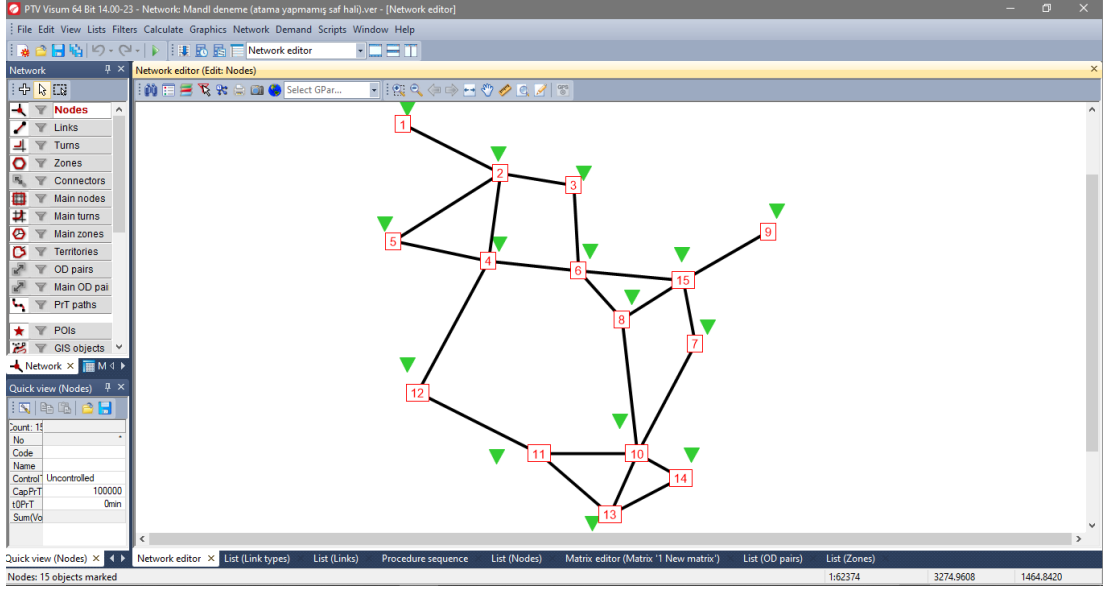
Bağlar ulaşım ağındaki karayolu ve demiryollarını tanımlamakta ve düğüm noktalarını birbirine bağlamaktadır. Bağlar başlangıç düğümünden bitiş düğümüne yönlendirme bağlantıları olarak tanımlanmaktadır. Bu bir bağlantının her iki yönünde farklı şekilde bağlanabileceği anlamına gelmektedir. Her bir bağlantının özellikler farklı olabilmekte ve değiştirilebilmektedir. Bağların kullanıcı tarafından belirlenen bazı özellikleri, farklı ulaşım sistemlerinin tanımlanması, yaya, özel taşıt trafiği veya toplu taşıma sistemlerini açıp kapama yapılabilmesi, tek yön - çift yön şeklinde ayarlanabilmesi ve her yön için farklı şerit sayısı belirlenebilmesi, değişken kapasite değeri girilebilmesi, trafik hızı ve seyahat sürelerinde değişim yapılabilmesi olarak sıralanabilmektedir. Bu özellikler değiştirilerek ulaşım ağının gerçek ulaşım ağı ile uyumu olabildiğince sağlanabilmektedir. Şekil 3.6'da Mandl test ağına ait düğüm noktalarının bağlar ile bağlanması durumu verilmiştir.



Şekil 3.6: Mandl test ağı bağlar VISUM görseli

İşlem 3: Trafik Analiz Bölgelerinin (zone) Yerleştirilmesi

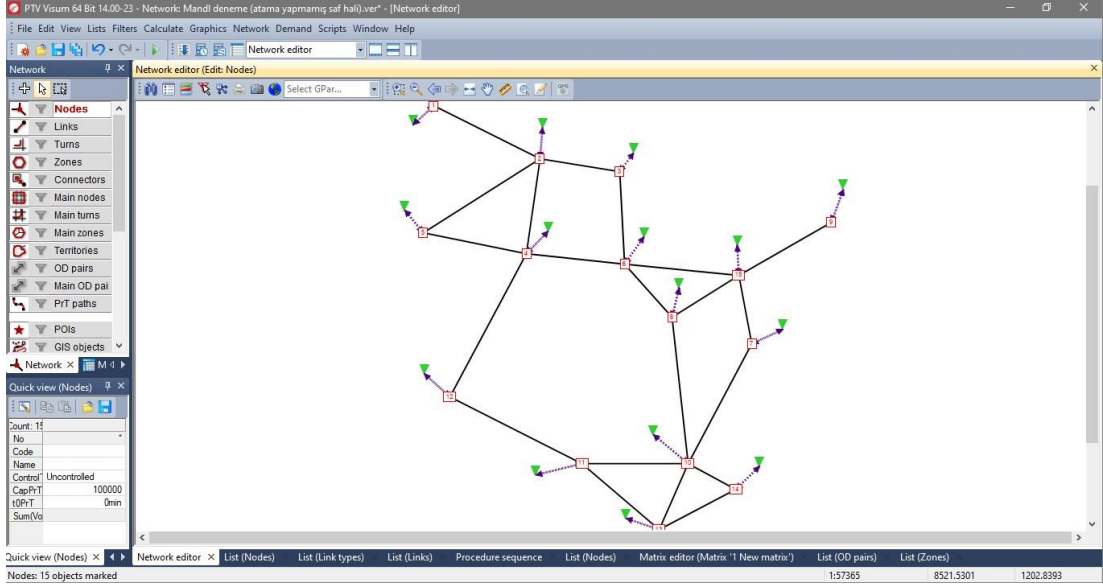
Trafik analiz bölgeleri taleplerin başlangıç ve varış noktaları olarak ifade edilmektedir. Bu her yolculuğun bir bölgede başlayıp başka bir bölgede bittiği anlamına gelmektedir. B-V matrisleri ile sayısallaştırılan seyahat başlangıç ve varışlarının, programda “centroids” olarak adlandırılan trafik analiz bölgelerinde gerçekleştiği öngörülmektedir. Şekil 3.7’de Mandl test ağına ait düğümlerin trafik analiz bölgeleri verilmiştir.



Şekil 3.7: Mandl test ağı trafik analiz bölgeleri VISUM görseli

İşlem 4: Düğümler ile Trafik Analiz Bölgelerinin Bağlanması (connector)

Bağlayıcılar trafik analiz bölgeleri ile düğümlerin birbirine bağlanmasıdır. Amaç üretilen ve çekilen seyahat talebinin bölgeler ile bağlar arasında akışı oluşturmaktır. Herhangi bir trafik analiz bölgesi birden çok bağlayıcı sayesinde çok sayıda düğüm noktalarına bağlanabilmektedir. Şekil 3.8’de Mandl test ağına ait örnek bağlayıcılar verilmiştir.



Şekil 3.8: Mandl test ağı bağlayıcılarının VISUM görseli

İşlem 5: Başlangıç-Variş Matrisinin Oluşturulması

B-V matrisleri oluşturulan bölgeler sonrasında boyutu belirlenmektedir. B-V çiftleri ulaşım ağının tüm bölgeleri arasında bulunmaktadır. Oluşturulan boş matris kullanıcının tercih ettiği değerler girilmekte ve işlemler gerçekleştirilmektedir.

3.6.2 VISUM ile Özel Taşıt Ataması

Kent içi ulaşım ağlarında otobüs öncelikli şerit etkinliğinin araştırılması için geliştirilen MODEL 2’de yapılacak çözümde kullanılmak üzere otobüs öncelikli şerit adaylarını belirlemek için VISUM yazılımından yararlanılmıştır.

VISUM yazılımı özel taşıt ataması için çeşitli atama prosedürleri içermektedir. Bu çalışmada özel taşıt ataması için kullanılan yöntem denge atama yöntemidir. Denge ataması yöntemi, tıkanıklık durumuna maruz kalan ulaşım ağlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Denge ataması Wardrop’un ilk ilkesi olan “kullanılan tüm güzergahlardaki seyahat sürelerinin, kullanılmayan herhangi bir güzergahtaki seyahat süresine eşit ya da daha az olduğu” hipotezine dayanmaktadır. Denge ataması yönteminde bazı varsayımlar yapılmaktadır. Bunlar, kullanıcı yol

hakkında bütün bilgilere sahiptir, belirli bir bağlantıdaki seyahat süresi, yalnızca o bağlantıdaki akımın fonksiyonudur ve seyahat süresi fonksiyonu artan ve pozitifdir.

Denge ataması Denklem 3.19'da verilen amaç fonksiyonunun Denklem (3.20-3.23) arasında verilen kısıtların dikkate alınması ile belirlenmektedir.

$$\min Z = \sum_a \int_0^{x_a} t_a(x_a) dx \quad (3.19)$$

Kısıtlar;

$$\sum_k f_k^{rs} = q_{rs} / \forall_{r,s} \quad (3.20)$$

$$x_a = \sum_r \sum_s \sum_k \delta_{a,k}^{rs} f_k^{rs} / \forall_a \quad (3.21)$$

$$f_k^{rs} \geq 0 / \forall_{k,r,s} \quad (3.22)$$

$$x_a \geq 0 / \forall_a \in A \quad (3.23)$$

Burada k güzergahı, x_a a bağına ait denge akımını, t_a a bağına ait seyahat süresini, f_k^{rs} r-s B-V çiftini bağlayan k güzergahının akımını ve q_{rs} ise r-s arasındaki talebi temsil etmektedir. Ayrıca denge ataması yönteminde link maliyet fonksiyonu olarak Bureau of Public Roads (BPR) formülü kullanılmaktadır. BPR formülü Denklem (3.24)'te verilmiştir.

$$t_a = t_0 \left(1 + 0.15 \left(\frac{q}{q_{max}} \right)^4 \right) \quad (3.24)$$

Burada; t_0 serbest akım seyahat süresini, q trafik hacmini ve q_{max} kapasiteyi temsil etmektedir.

3.7 Model Gelişimi

Otobüs öncelikli şeritlerin belirlenebilmesi için geliştirilen iki seviyeli programlama tekniği, alt seviye ve üst seviye olmak üzere iki adet optimizasyon tekniği probleminden oluşan bir programlama tekniği olarak nitelendirilmektedir (Başkan 2009). Aşağıda iki seviyeli programlama algoritmasının geliştirilen modellere uygulama adımları verilmiştir.

3.7.1 MODEL 1 İki Seviyeli Programlama ile Çözümü

Optimum sıklıkları belirlemek amacıyla Denklem (3.1)'de verilen toplam seyahat süresi MODEL 1 kullanılarak minimize edilmiştir. Bu modelde hesaplanan optimum sıklık değerleri MODEL 2'de girdi olarak kullanılmıştır. Geliştirilen MODEL 1'in çözüm adımları aşağıda verilmiştir.

Adım 0: Üst seviye problemi çözümü için belirlenen DGA parametrelerini (p, n, F, C_r, g) ve karar değişkenlerinin alt ve üst sınır değerlerini gir.

Adım 1: Karar değişkenleri için alt ve üst sınır değeri arasında rastgele değerler oluştur.

Adım 2: Başlangıç, $g = 0$.

Adım 3: Alt seviye problemi olan toplu taşıma atamasının sıklık paylaşım modeli ile çöz.

Adım 3.1: $d \times d$ talep matrisini oluştur.

Adım 3.2: i üretim merkezi sayısı 1'den d 'e kadar belirle.

Adım 3.3: j çekim merkezi sayısı 1 den d 'e kadar belirle.

Adım 3.4: $i=1$ iken;

Adım 3.5: Eğer i . noktadan j . noktaya giden yolcu sayısı 0'dan büyükse devam et.

Adım 3.6: i . noktadan j . noktaya giden en düşük transfer sayılarını belirle.

Adım 3.7: Eğer i noktasından j noktasına aktarmasız gidilebiliyor ise talebi Denklem 3.10'a göre ata.

Adım 3.8: Eğer i noktasından j noktasına aktarmasız gidilemiyor ise tek aktarma seçeneklerini belirle ve talebi Denklem (3.13) ile Denklem (3.16) arasında uygun olan seçeneğe göre ata.

Adım 3.9: Adım 3.5 ile Adım 3.8 arasını tüm j noktaları için tekrarla.

Adım 3.10: $i = i + 1$ ve Adım 3.5'e git.

Adım 3.11: Bütün talep güzergahlara atandı ise atamayı bitir.

Adım 3.12: Atama sonuçlarına göre Denklem (3.1) amaç fonksiyonu değerini hesapla.

Adım 4: Mutasyon. Denklem (3.6) kullanılarak mutasyona uğramış vektörü belirle.

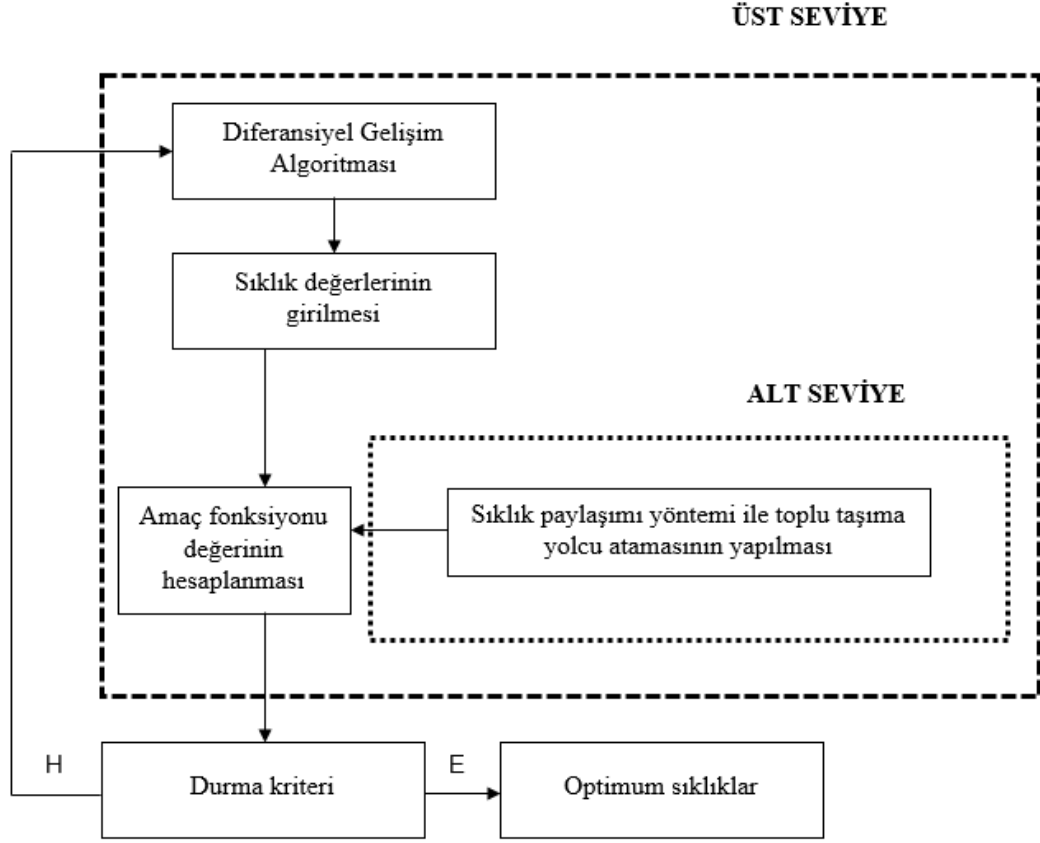
Adım 5: Çaprazlama. Başlangıç vektörü ve mutasyona uğramış vektörü kullanarak r vektörünü belirle.

Adım 6: Seçim. Başlangıç vektörü ve çaprazlama sonucu oluşan vektörlerin amaç fonksiyonu değerlerini karşılaştır.

Adım 7: $g = g + 1$ yap ve Adım 3'e git.

Adım 8: Durma kriteri kontrolü. İteratif çözüm için maksimum jenerasyon sayısına ulaşıldı ise elde edilen optimum sıklıkları ve amaç fonksiyonu değerlerini kaydet.

Algoritma adımları incelendiğinde Adım 3' te yer alan toplu taşıma ataması sıklık paylaşım yöntemi ile çözülmektedir. Şekil 3.9'da MODEL 1 çözümü için akış şeması verilmiştir.



Şekil 3.9: MODEL 1 çözümü şematik gösterimi

3.7.1 MODEL 2 İki Seviyeli Programlama ile Çözümü

Otobüs öncelikli şeritlerin belirlenmesi amacıyla MODEL 2 geliştirilmiştir. Modelde Denklem (3.3)'de verilen toplam seyahat süresi DGA kullanılarak minimize edilmeye çalışılmıştır. MODEL 1'de elde edilen optimum sıklıklar, MODEL 2 alt seviye çözümünde kullanılmaktadır. Geliştirilen MODEL 2'nin çözüm adımları aşağıda verilmiştir.

Adım 0: Üst seviye problemi çözümü için belirlenen DGA parametrelerini (p, n, F, C_r, g) ve karar değişkenlerinin alt ve üst sınır değerlerini gir.

Adım 1: Karar değişkenleri için alt ve üst sınır değeri arasında rastgele değerler oluştur.

Adım 2: Başlangıç, $g = 0$.

Adım 3: Alt seviye problemi olan toplu taşıma atamasının sıklık paylaşım modeli ile çözümü. Toplu taşıma ataması;

Adım 3.1: $d \times d$ talep matrisini oluştur.

Adım 3.2: i üretim merkezi sayısı 1'den d 'e kadar belirle.

Adım 3.3: j çekim merkezi sayısı 1 den d 'e kadar belirle.

Adım 3.4: MODEL 1' de belirlenen optimum sıklıkları gir.

Adım 3.5: $i=1$ iken;

Adım 3.6: Eğer i . noktadan j . noktaya giden yolcu sayısı 0'dan büyükse devam et.

Adım 3.7: i . noktadan j . noktaya giden en düşük transfer sayılarını belirle.

Adım 3.8: Eğer i noktasından j noktasına aktarmasız gidilebiliyor ise talebi Denklem 3.10'a göre ata.

Adım 3.9: Eğer i noktasından j noktasına aktarmasız gidilemiyor ise tek aktarma seçeneklerini belirle ve talebi Denklem (3.13) ile Denklem (3.16) arasında uygun olan seçeneğe göre ata.

Adım 3.10: Adım 3.6 ile Adım 3.9 arasını tüm j noktaları için tekrarla.

Adım 3.11: $i = i + 1$ ve Adım 3.6'ya git.

Adım 3.12: Bütün talep güzergahlara atandı ise atamayı bitir.

Adım 3.13: Atama sonuçlarına göre Denklem (3.3) amaç fonksiyonu değerini hesapla.

Adım 4: Mutasyon. Denklem (3.6) kullanılarak mutasyona uğramış vektörü belirle.

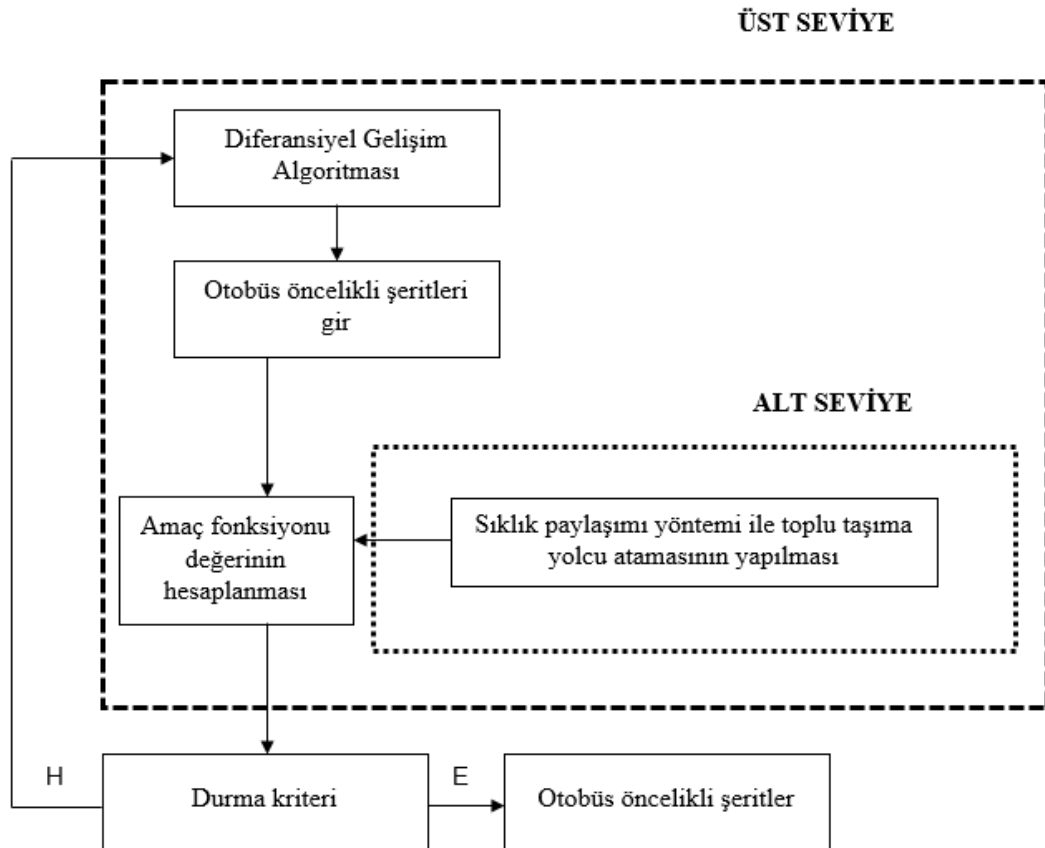
Adım 5: Çaprazlama. Başlangıç vektörü ve mutasyona uğramış vektörü kullanarak r vektörünü belirle.

Adım 6: Seçim. Başlangıç vektörü ve çaprazlama sonucu oluşan vektörlerin amaç fonksiyonu değerlerini karşılaştır.

Adım 7: $g = g + 1$ yap ve Adım 3'e git.

Adım 8: Durma kriteri kontrolü. İteratif çözüm için maksimum jenerasyon sayısına ulaşıldı ise elde edilen otobüs öncelikli şeritleri ve amaç fonksiyonu değerlerini kaydet.

Algoritma adımları incelendiğinde Adım 3' te yer alan toplu taşıma ataması MODEL 1'de bulunan optimum sıklıklar ile sıklık paylaşım yöntemi kullanılarak çözülmektedir. Şekil 3.10'da MODEL 2 çözümü için akış şeması verilmiştir.



Şekil 3.10: MODEL 2 çözümü şematik gösterimi

3.8 Sonuçlar

Çalışmanın bu bölümünde problemin üzümünde kullanılacak olan modeller ve uygulanma adımları verilmiştir. Her iki modelin alt seviye üzümünde yer alan toplu taşıma atamaları sıklık paylaşım yöntemi ile yapılırken, st seviye zmlerinde DGA optimizasyon tekniği kullanılmıştır. Bir sonraki bölümde MODEL 1 ve MODEL 2 için sayısal uygulamalara yer verilmiştir.

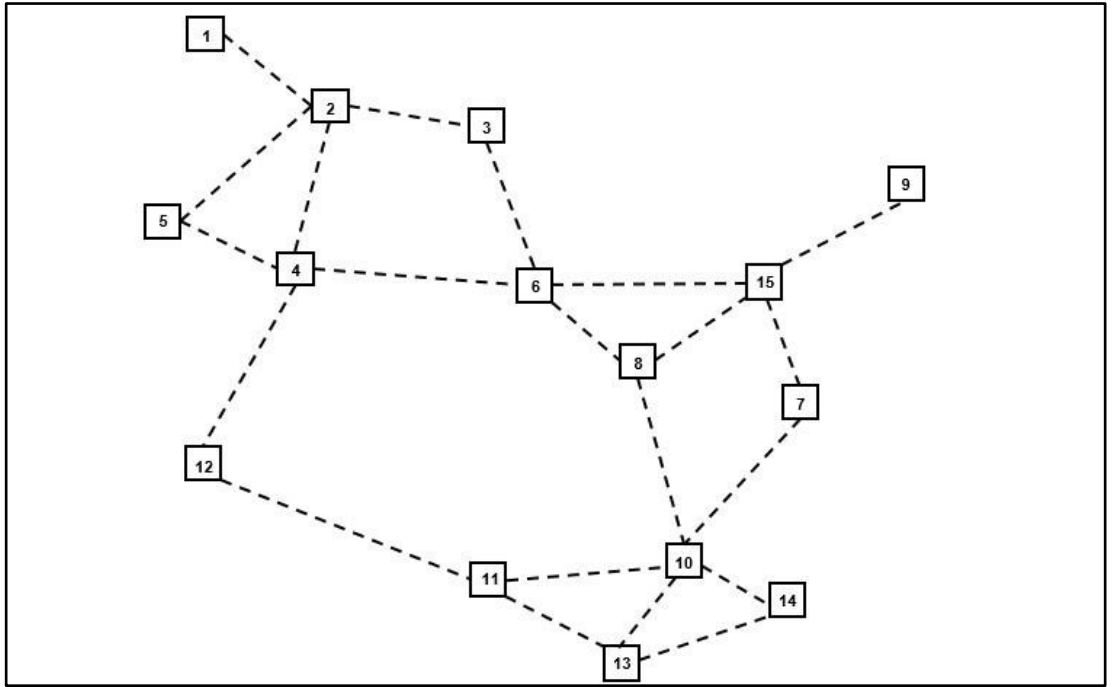
4. SAYISAL UYGULAMALAR

4.1 Giriş

Bu bölümde, kent içi ulaşım ağlarındaki lastik tekerlekli toplu taşıma sistemi olan otobüsler için kullanılabilecek öncelikli şeritlerin belirlenmesi amacıyla geliştirilen MODEL 1 ve MODEL 2 örnek bir ulaşım ağına uygulanmıştır. Uygulama Mandl (1979) tarafından geliştirilmiş olan test ağı üzerinde yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

4.2 Mandl Test Ağı

Tez çalışmasında Mandl (1979) tarafından geliştirilmiş olan 15 düğüm noktası ile 21 bağlantısı bulunan test ağı kullanılmıştır. Test ağına ait görsel Şekil 4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1: Mandl (1979) test ağı

Tablo 4.1’de test ağına ait düğüm noktalarının koordinatları verilmiştir.

Tablo 4.1: Test ağına ait düğüm noktaları koordinatları

Düğüm No	X	Y	Düğüm No	X	Y	Düğüm No	X	Y
1	1.00	9.00	6	4.60	6.00	11	3.80	2.25
2	3.00	8.00	7	7.00	4.50	12	1.30	3.50
3	4.50	7.75	8	5.50	5.00	13	5.25	1.00
4	2.75	6.20	9	8.50	6.80	14	6.70	1.75
5	0.80	6.60	10	5.80	2.25	15	6.75	5.80

Tabloda verilen koordinatlar yardımı ile hesaplanan bağ uzunlukları Tablo 4.2’de verilmiştir. Bulunan uzunluklar sonrası bağ seyahat süreleri ise Tablo 4.3’te verilmiştir. Tabloda verilen düğümler arası bağ seyahat süreleri 50 km/sa sabit hız kabulü altında elde edilen değerlerdir.

Tablo 4.2: Test ağı bağ uzunlukları (km)

Başlangıç Düğümü	Variş Düğümü	Bağ Uzunluğu	Başlangıç Düğümü	Variş Düğümü	Bağ Uzunluğu	Başlangıç Düğümü	Variş Düğümü	Bağ Uzunluğu
1	2	2.24	4	12	3.06	9	15	2.02
2	3	1.52	6	8	1.35	10	11	2.00
2	4	1.82	6	15	2.16	10	13	1.37
2	5	2.61	7	10	2.55	10	14	1.03
3	6	1.75	7	15	1.32	11	12	2.80
4	5	1.99	8	10	2.77	11	13	1.91
4	6	1.86	8	15	1.48	13	14	1.63

Tablo 4.3: Test ağı serbest akım bağ seyahat süreleri (dk)

Başlangıç Düğümü	Variş Düğümü	Bağ Seyahat Süresi	Başlangıç Düğümü	Variş Düğümü	Bağ Seyahat Süresi	Başlangıç Düğümü	Variş Düğümü	Bağ Seyahat Süresi
1	2	2.41	4	12	3.40	9	15	2.25
2	3	1.50	6	8	1.37	10	11	2.24
2	4	2.10	6	15	2.36	10	13	1.38
2	5	3.08	7	10	3.03	10	14	1.14
3	6	2.06	7	15	1.35	11	12	3.21
4	5	2.23	8	10	3.18	11	13	2.18
4	6	2.14	8	15	1.47	13	14	1.58

4.3 Özel Taşıt Ataması

Geliştirilen MODEL 1 ve MODEL 2'nin toplu taşıma atamaları yapılırken gerekli olan bağ seyahat sürelerinin hesaplanması ve MODEL 2'de amaçlanan otobüs öncelikli şerit uygulamasında kullanılan aday şeritlerin belirlenmesi için özel taşıt ataması yapılmıştır. Atama hafif (Senaryo 1), orta (Senaryo 2) ve ağır (Senaryo 3) trafik koşulları için yapılmıştır.

4.3.1 Senaryo 1 Özel Taşıt Ataması

Senaryo 1 için özel taşıt atamasında kullanılan talep matrisi Tablo Ek.1'de verilmiştir. Yapılan atama sonrasında bağ seyahat süreleri hesaplanmıştır. Bağlar her iki düğüm arasında 2x2 olarak şerit başına 1600 taşıt kapasitesi ile hesaplanmıştır. Atama sonrasında bağların her iki yönü için de değişen yeni seyahat süreleri Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4: Senaryo 1 özel taşıt ataması sonrası bağ seyahat süreleri (dk)

Başlangıç Düğümü	Varış Düğümü	Bağ Seyahat Süresi	Başlangıç Düğümü	Varış Düğümü	Bağ Seyahat Süresi	Başlangıç Düğümü	Varış Düğümü	Bağ Seyahat Süresi
1	2	3.50	6	4	4.58	11	10	2.37
2	1	3.49	6	8	3.24	11	12	6.29
2	3	2.24	6	15	4.55	11	13	2.18
2	4	2.15	7	10	4.20	12	4	7.46
2	5	3.08	7	15	4.17	12	11	4.41
3	2	3.70	8	6	4.37	13	10	1.42
3	6	3.31	8	10	5.52	13	11	2.25
4	2	2.50	8	15	1.47	13	14	1.58
4	5	3.20	9	15	3.21	14	10	1.33
4	6	3.39	10	7	4.45	14	13	1.57
4	12	5.37	10	8	7.29	15	6	6.24
5	2	3.08	10	11	2.51	15	7	2.56
5	4	2.37	10	13	1.40	15	8	1.47
6	3	4.40	10	14	1.26	15	9	3.10

Senaryo 1 için hesaplanan bağ seyahat süreleri ile Tablo 4.3' te verilen serbest akım seyahat süreleri karşılaştırılmıştır. Geliş-gidiş toplamda 42 bağ için yapılan karşılaştırma, özel taşıt ataması sonrasında hesaplanan bağ seyahat süresi serbest akım seyahat süresinin maksimum 3 katı ise aday şerit olarak kullanılabilir kabulü yapılmıştır. Belirlenen aday şeritler Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5: Senaryo 1 için belirlenen otobüs öncelikli şerit adayları

Aday Şeritler	t_0 (dk)	t_a (dk)
1-2	2.41	3.5
2-1	2.41	3.49
2-3	1.5	2.24
2-4	2.1	2.15
2-5	3.8	3.8
3-2	1.5	3.7
3-6	2.6	3.31
4-2	2.1	2.5
4-5	2.23	3.2
4-6	2.14	3.39
4-12	3.4	5.37
5-2	3.8	3.8
5-4	2.23	2.37
6-3	2.6	4.4
6-4	2.14	4.58
6-8	1.37	3.24
6-15	2.36	4.55
7-10	3.3	4.2
7-15	1.35	4.17
8-6	1.37	4.37
8-10	3.18	5.52
8-15	1.47	1.47
9-15	2.25	3.21
10-7	3.3	4.45
10-8	3.18	7.29
10-11	2.24	2.51
10-13	1.38	1.4
10-14	1.14	1.26
11-10	2.24	2.37
11-12	3.21	6.29
11-13	2.18	2.18
12-4	3.4	7.46
12-11	3.21	4.41
13-10	1.38	1.42
13-11	2.18	2.25
13-14	1.58	1.58
14-10	1.14	1.33
14-13	1.58	1.57
15-6	2.36	6.24
15-7	1.35	2.56
15-8	1.47	1.47
15-9	2.25	3.1

Tablo 4.5 aday şerit belirleme amacıyla yapılan kabul dikkate alındığında ulaşım ağında bulunan bütün bağların aday şerit olarak kullanılabilceği görülmektedir.

4.3.2 Senaryo 2 Özel Taşıt Ataması

Senaryo 2 için özel taşıt atamasında kullanılan talep matrisi Tablo Ek.2’de verilmiştir. Atama sonrasında bağların her iki yönü için de değişen yeni seyahat süreleri Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6: Senaryo 2 özel taşıt ataması sonrası bağ seyahat süreleri (dk)

Başlangıç Düzümü	Varış Düzümü	Bağ Seyahat Süresi	Başlangıç Düzümü	Varış Düzümü	Bağ Seyahat Süresi	Başlangıç Düzümü	Varış Düzümü	Bağ Seyahat Süresi
1	2	3.4	6	4	8.08	11	10	2.52
2	1	5.28	6	8	5.33	11	12	13.12
2	3	2.53	6	15	7.1	11	13	2.22
2	4	2.3	7	10	5.27	12	4	13.5
2	5	3.08	7	15	8.07	12	11	8.08
3	2	4.34	8	6	8.36	13	10	1.49
3	6	4.52	8	10	9.5	13	11	2.53
4	2	4.5	8	15	1.47	13	14	1.58
4	5	4.41	9	15	4.42	14	10	1.41
4	6	5.15	10	7	7.09	14	13	1.59
4	12	8.52	10	8	13.3	15	6	10.23
5	2	3.08	10	11	3.18	15	7	4.54
5	4	2.57	10	13	1.44	15	8	1.48
6	3	7.39	10	14	1.28	15	9	4.16

Senaryo 2 için hesaplanan bağ seyahat süreleri ile Tablo 4.3’ te verilen serbest akım seyahat süreleri karşılaştırılmıştır. Yapılan kabule göre belirlenen aday şeritler Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7: Senaryo 2 için belirlenen otobüs öncelikli şerit adayları

Aday Şeritler	t _o (dk)	t _a (dk)
1-2	2.41	3.4
2-1	2.41	5.28
2-3	1.5	2.53
2-4	2.1	2.3
2-5	3.8	3.8
3-2	1.5	4.34
3-6	2.6	4.52
4-2	2.1	4.5
4-5	2.23	4.41
4-6	2.14	5.15
4-12	3.4	8.52
5-2	3.8	3.8
5-4	2.23	2.57
6-15	2.36	7.1
7-10	3.3	5.27
8-10	3.18	9.5
8-15	1.47	1.47
9-15	2.25	4.42
10-7	3.3	7.9
10-11	2.24	3.18
10-13	1.38	1.44
10-14	1.14	1.28
11-10	2.24	2.52
11-13	2.18	2.22
12-11	3.21	8.8
13-10	1.38	1.49
13-11	2.18	2.53
13-14	1.58	1.58
14-10	1.14	1.41
14-13	1.58	1.59
15-8	1.47	1.48
15-9	2.25	4.16

Tablo incelendiğinde karşılaştırılan bağların 32 adedinin aday şerit olarak kullanılabilceği görülmektedir. Kalan 10 adet bağın seyahat süreleri yapılan kabulün dışında kaldığı için aday şerit olarak kullanılamayacağı görülmüştür.

4.3.3 Senaryo 3 Özel Taşıt Ataması

Senaryo 3 için özel taşıt atamasında kullanılan talep matrisi Tablo Ek.3'te verilmiştir. Atama sonrasında bağların her iki yönü için de değişen yeni seyahat süreleri Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.8: Senaryo 3 özel taşıt ataması sonrası bağ seyahat süreleri (dk)

Başlangıç Düğümü	Variş Düğümü	Bağ Seyahat Süresi	Başlangıç Düğümü	Variş Düğümü	Bağ Seyahat Süresi	Başlangıç Düğümü	Variş Düğümü	Bağ Seyahat Süresi
1	2	4.42	6	4	13.56	11	10	3.08
2	1	8.29	6	8	9.37	11	12	25.38
2	3	3.48	6	15	11.08	11	13	2.38
2	4	2.58	7	10	8.02	12	4	24.58
2	5	3.08	7	15	14.59	12	11	14.4
3	2	7.13	8	6	15.52	13	10	2.01
3	6	7.21	8	10	14.51	13	11	3.46
4	2	6.24	8	15	1.48	13	14	1.58
4	5	7.08	9	15	7.28	14	10	2
4	6	8.12	10	7	11.24	14	13	2.02
4	12	14.55	10	8	24.35	15	6	17.41
5	2	3.08	10	11	4.14	15	7	8.28
5	4	3.33	10	13	1.51	15	8	1.49
6	3	13.07	10	14	1.31	15	9	7.42

Senaryo 3 için hesaplanan bağ seyahat süreleri ile Tablo 4.3' te verilen serbest akım seyahat süreleri karşılaştırılmıştır. Yapılan kabule göre belirlenen aday şeritler Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.9: Senaryo 3 için belirlenen otobüs öncelikli şerit adayları

Aday Şeritler	t_0 (dk)	t_a (dk)
1-2	2.41	4.42
2-3	1.5	3.48
2-4	2.1	2.58
2-5	3.8	3.8
4-2	2.1	6.24
4-5	2.23	7.8
5-2	3.8	3.8
5-4	2.23	3.33
7-10	3.3	8.2
8-15	1.47	1.48
10-11	2.24	4.14
10-13	1.38	1.51
10-14	1.14	1.31
11-10	2.24	3.8
11-13	2.18	2.38
13-10	1.38	2.1
13-11	2.18	3.46
13-14	1.58	1.58
14-10	1.14	2
14-13	1.58	2.2
15-8	1.47	1.49

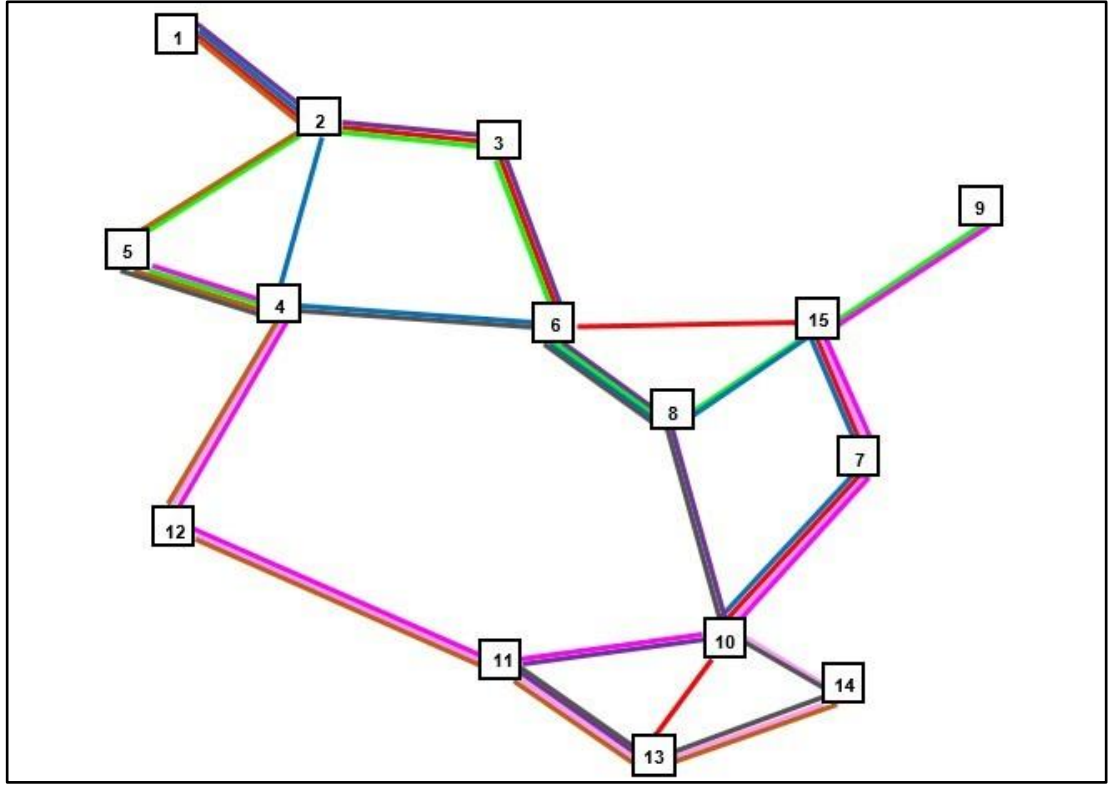
Tablo incelendiğinde karşılaştırılan bağların 21 adedinin aday şerit olarak kullanılabilceği görülmektedir. Yapılan kabulün dışında kalan diğer 21 adet bağın trafik koşullarından dolayı seyahat sürelerinin yüksek olması aday şerit için uygun olmadığı anlamına gelmektedir.

4.3.4 Sonuçlar

Gerçekleştirilen özel taşıt ataması sonrası bağ seyahat süreleri incelendiğinde Senaryo 1'deki değerlerin serbest akım seyahat sürelerine en yakın olduğu görülmektedir. Senaryo 3'te ise trafik hacminin fazla olmasından dolayı bağları kullanan taşıt sayısı arttıkça hız düşmekte ve seyahat sürelerinde önemli ölçüde artışlar görülmektedir. Bu nedenle Senaryo 3 için aday şerit sayısı en az iken Senaryo 1 için aday şerit sayısı ağdaki toplam bağ sayısına eşit olmaktadır.

4.4 MODEL 1 Sayısal Uygulama

MODEL 1 sayısal uygulamasında üç senaryo için toplu taşıma ataması yapılarak optimum sıklıklar elde edilmiştir. Kullanılan Mandl test ağı için Mumford tarafından önerilen 8 güzergah, bu çalışmada geliş-gidiş olmak üzere çift yönlü şekilde dikkate alınarak toplam 16 güzergah için toplu taşıma ataması yapılmıştır. Şekil 4.2'de güzergahların gösterimi ve Tablo 4.10'da güzergahların durak sıralamaları verilmiştir.



Şekil 4.2: Mumford tarafından önerilen güzergahlar

Tablo 4.10: Güzergahlara ait durak sıralamaları

Güzergah Adı	Durak Sıralaması
Güzergah 1	1-2-3-6-15-7-10-13
Güzergah 2	9-15-8-6-3-2-5-4
Güzergah 3	15-7-10-14-13-11-12-4
Güzergah 4	1-2-4-6-8-15-7-10
Güzergah 5	13-11-10-8-6-3-2-1
Güzergah 6	1-2-5-4-12-11-13-14
Güzergah 7	11-13-14-10-8-6-4-5
Güzergah 8	9-15-7-10-11-12-4-5
Güzergah 1 Ters	13-10-7-15-6-3-2-1
Güzergah 2 Ters	4-5-2-3-6-8-15-9
Güzergah 3 Ters	4-12-11-13-14-10-7-15
Güzergah 4 Ters	10-7-15-8-6-4-2-1
Güzergah 5 Ters	1-2-3-6-8-10-11-13
Güzergah 6 Ters	14-13-11-12-4-5-2-1
Güzergah 7 Ters	5-4-6-8-10-14-13-11
Güzergah 8 Ters	5-4-12-11-10-7-15-9

4.4.1 Senaryo 1 Optimum Sıklık Değerlerinin Belirlenmesi

Senaryo 1 için Tablo 4.4'te verilen özel taşıt ataması sonrasında elde edilen bağ seyahat süreleri kullanılarak sıklık paylaşım yöntemi ile toplu taşıma ataması gerçekleştirilmiştir. Uygulamada kullanılan Mandl test ağına ağıt B-V talep matrisi Tablo Ek.4' te verilmiştir.

Bölüm 3'te açıklandığı gibi sıklık paylaşım yöntemi ile toplu taşıma ataması yapılabilmesi için rastgele sıklıklar belirlenerek atama algoritması oluşturulmuştur ve optimum sıklıklar DGA tekniği ile hesaplanmıştır. DGA'da kullanılan parametre değerleri Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.11: Optimum sıklıkları belirlemek için kullanılan DGA çözüm parametre değerleri

p	50
n	8
F	0.8
C_r	0.8
g	500

Tabloda verilen p popülasyon sayısını, n karar değişkeni sayısını, F mutasyon faktörünü, C_r çaprazlama oranını, g ise jenerasyon sayısını ifade etmektedir. Algoritmada karar değişkeni olarak sefer aralıkları kullanılmıştır ve değişkenlerin alt ve üst sınır değerleri 5 ile 60 dk olarak seçilmiştir. Belirlenen sefer aralıklarına göre optimum sıklıklar Denklem 3.18'de verildiği şekilde hesaplanmıştır. n karar değişkeni sayısının 8 kullanılmasının sebebi güzergahların gidiş duraklarını aynı sıra ile geri dönmesi ve B-V talep matrisinin simetrik olmasından dolayı hesaplanan her bir güzergahın sefer aralığı değeri kendi ters güzergahı ile aynı olmasından kaynaklanmaktadır. Parametre değerleri tüm senaryolarda aynı şekilde kullanılmıştır.

Yapılan çözüm sonrasında hesaplanan değerler Tablo 4.12'de verilmiştir.

Tablo 4.12: Senaryo 1 model sonuçları

Güzergah Adı	Sefer Aralığı (dk)	Sefer Sayısı (Sıklık)	Durakta Bekleme Süresi (dbs) (dk)	Kapasite
Güzergah 1 / Güzergah 1 Ters	9	8	3.8	560
Güzergah 2 / Güzergah 2 Ters	15	5	6.0	350
Güzergah 3 / Güzergah 3 Ters	16	5	6.0	350
Güzergah 4 / Güzergah 4 Ters	5	13	2.3	910
Güzergah 5 / Güzergah 5 Ters	5	13	2.3	910
Güzergah 6 / Güzergah 6 Ters	12	6	5.0	420
Güzergah 7 / Güzergah 7 Ters	8	9	3.3	630
Güzergah 8 / Güzergah 8 Ters	7	10	3.0	700

Tablo incelendiğinde elde edilen sefer aralıkları kısıtlara uygun bir şekilde elde edilmiştir. 1 saatlik analiz periyodu için sefer aralığına göre hesaplanan sefer sayısı ve durakta bekleme süreleri de tabloda gösterilmiştir. Her güzergah için kapasite değeri 70 yolcu kabul edilerek sefer sayısı ile çarpımı sonucunda saatlik kapasite değerleri hesaplanmıştır.

Hesaplanan optimum sıklıklara göre yapılan sıklık paylaşım metodu ile çözümlenen toplu taşıma ataması sonucunda aktarmasız ve tek aktarma ile bütün B-V matrisi değerleri herhangi bir güzergaha atanmış olup toplam yolcu sayısının güzergahlara göre dağılımı Tablo 4.13'te verilmiştir. Ataması sırasında aktarmasız yolcu ataması için eşik değer %50 kullanılırken, aktarmalı yolculuklar için eşik değer %10 olarak alınmıştır.

Tablo 4.13: Senaryo 1 B-V talep matrisinin güzergahlara dağılımı

	Aktarmasız Talep	Tek Aktarmalı Talep
Güzergah 1	1364	9
Güzergah 2	329	12
Güzergah 3	370	0
Güzergah 4	1671	11
Güzergah 5	1754	5
Güzergah 6	360	2
Güzergah 7	838	12
Güzergah 8	1052	38
Güzergah 1 Ters	1357	3
Güzergah 2 Ters	336	1
Güzergah 3 Ters	370	0
Güzergah 4 Ters	1657	13
Güzergah 5 Ters	1754	18
Güzergah 6 Ters	357	11
Güzergah 7 Ters	831	1
Güzergah 8 Ters	1028	4

Toplamda 15570 adet yolcu sayısının aktarmasız ve tek aktarmalı olacak şekilde güzergahlara dağılımı belirlenmiştir. Tablo 4.13 incelendiğinde toplam talebin %99'u aktarmasız şekilde yolculuklarını gerçekleştirebiliyor iken %1'lik kısım ise tek aktarma yaparak yolculuklarını tamamlayabilmektedirler. Bu durumda bütün talep dağıldığı için güzergah dışında kalan bir yolcu bulunmamaktadır. Her bir güzergahtaki 2 durak arasına dağıtılan talep ise Tablo 4.14 ve Tablo 4.15'te verilmiştir.

Tablo 4.14: Senaryo 1 talebin güzergahlardaki 2 durak arası dağılımı

Güzergah 1		Güzergah 2		Güzergah 3		Güzergah 4		Güzergah 5		Güzergah 6		Güzergah 7		Güzergah 8	
1-2	275	9-15	93	15-7	0	1-2	404	13-11	78	1-2	182	11-13	79	9-15	217
2-3	314	15-8	92	7-10	85	2-4	594	11-10	490	2-5	157	13-14	89	15-7	197
3-6	388	8-6	135	10-14	211	4-6	587	10-8	719	5-4	91	14-10	213	7-10	381
6-15	463	6-3	147	14-13	151	6-8	818	8-6	702	4-12	104	10-8	495	10-11	674
15-7	461	3-2	183	13-11	184	8-15	892	6-3	568	12-11	118	8-6	417	11-12	433
7-10	374	2-5	128	11-12	182	15-7	889	3-2	518	11-13	81	6-4	276	12-4	257
10-13	527	5-4	54	12-4	52	7-10	784	2-1	447	13-14	25	4-5	148	4-5	132

Tablo 4.15: Senaryo 1 talebin güzergahlardaki 2 durak arası dağılımı (devam)

Güzergah 1 Ters		Güzergah 2 Ters		Güzergah 3 Ters		Güzergah 4 Ters		Güzergah 5 Ters		Güzergah 6 Ters		Güzergah 7 Ters		Güzergah 8 Ters	
13-10	527	4-5	53	4-12	52	10-7	784	1-2	459	14-13	25	5-4	141	5-4	127
10-7	374	5-2	133	12-11	182	7-15	874	2-3	517	13-11	78	4-6	252	4-12	216
7-15	454	2-3	186	11-13	184	15-8	874	3-6	577	11-12	113	6-8	407	12-11	413
15-6	454	3-6	152	13-14	151	8-6	802	6-8	706	12-4	113	8-10	486	11-10	648
6-3	376	6-8	136	14-10	211	6-4	618	8-10	723	4-5	91	10-14	201	10-7	352
3-2	304	8-15	90	10-7	85	4-2	593	10-11	492	5-2	159	14-13	82	7-15	190
2-1	268	15-9	90	7-15	0	2-1	392	11-13	78	2-1	182	13-11	72	15-9	190

Yolcu talep dağılımı sonrasında hesaplanan taşıt içi seyahat süresi, durakta bekleme süresi, aktarmada oluşan ceza süresi ve toplam ağ seyahat süresi Tablo 4.16’da verilmiştir.

Tablo 4.16: Senaryo 1 ağ geneli seyahat süreleri (sa)

Taşıt içi Seyahat Süresi + Durakta Bekleme Süresi	Ceza Süresi	Toplam Seyahat Süresi
2531.16	4.6	2535.76

Senaryo 1 için yapılan toplu taşıma ataması sonucunda test ağı için hesaplanan toplam seyahat süresi 2535.76 sa olarak belirlenmiştir.

4.4.2 Senaryo 2 Optimum Sıklık Değerlerinin Belirlenmesi

Senaryo 2 için Tablo 4.6’da verilen özel taşıt ataması sonrasında elde edilen bağ seyahat süreleri kullanılarak sıklık paylaşım yöntemi ile toplu taşıma ataması gerçekleştirilmiştir. Optimum sıklıkları hesaplamak için kullanılan DGA parametreleri Tablo 4.11’de verilmiştir. Buna bağlı olarak yapılan çözüm sonrasında belirlenen değerler Tablo 4.17’de verilmiştir.

Tablo 4.17: Senaryo 2 model sonuçları

Güzergah Adı	Sefer Aralığı (dk)	Sefer Sayısı (Sıklık)	Durakta Bekleme Süresi (dbs) (dk)	Kapasite
Güzergah 1 / Güzergah 1 Ters	7	10	3.0	700
Güzergah 2 / Güzergah 2 Ters	10	7	4.3	490
Güzergah 3 / Güzergah 3 Ters	20	4	7.5	280
Güzergah 4 / Güzergah 4 Ters	5	13	2.3	910
Güzergah 5 / Güzergah 5 Ters	8	9	3.3	630
Güzergah 6 / Güzergah 6 Ters	12	6	5.0	420
Güzergah 7 / Güzergah 7 Ters	7	10	3.0	700
Güzergah 8 / Güzergah 8 Ters	6	11	2.7	770

Tablo incelendiğinde elde edilen sefer aralıkları kısıtlara uygun bir şekilde elde edilmiştir. 1 saatlik analiz periyodu için sefer aralığına göre hesaplanan sefer sayısı ve durakta bekleme süreleri de tabloda gösterilmiştir.

Hesaplanan optimum sıklıklara göre yapılan sıklık paylaşım metodu ile çözümlenen toplu taşıma ataması sonucunda aktarmasız ve tek aktarma ile bütün B-V matrisi değerleri herhangi bir güzergaha atanmış olup toplam yolcu sayısının güzergahlara göre dağılımı Tablo 4.18’de verilmiştir.

Tablo 4.18: Senaryo 2 B-V talep matrisinin güzergahlara dağılımı

	Aktarmasız Talep	Tek Aktarmalı Talep
Güzergah 1	1572	11
Güzergah 2	416	14
Güzergah 3	303	0
Güzergah 4	1692	15
Güzergah 5	1325	3
Güzergah 6	364	0
Güzergah 7	929	12
Güzergah 8	1140	37
Güzergah 1 Ters	1554	4
Güzergah 2 Ters	425	3
Güzergah 3 Ters	296	0
Güzergah 4 Ters	1664	9
Güzergah 5 Ters	1325	12
Güzergah 6 Ters	383	12
Güzergah 7 Ters	929	2
Güzergah 8 Ters	1112	4

Her bir güzergahtaki 2 durak arasına dağıtılan talep ise Tablo 4.19 ve Tablo 4.20'de verilmiştir.

Tablo 4.19: Senaryo 2 talebin güzergahlardaki 2 durak arası dağılımı

Güzergah 1	Güzergah 2	Güzergah 3	Güzergah 4	Güzergah 5	Güzergah 6	Güzergah 7	Güzergah 8								
1-2	363	9-15	103	15-7	0	1-2	422	13-11	60	1-2	189	11-13	111	9-15	208
2-3	405	15-8	100	7-10	73	2-4	606	11-10	395	2-5	160	13-14	119	15-7	189
3-6	468	8-6	171	10-14	176	4-6	590	10-8	541	5-4	91	14-10	254	7-10	379
6-15	561	6-3	222	14-13	127	6-8	824	8-6	528	4-12	102	10-8	577	10-11	757
15-7	558	3-2	233	13-11	158	8-15	906	6-3	429	12-11	118	8-6	472	11-12	443
7-10	476	2-5	159	11-12	152	15-7	902	3-2	386	11-13	88	6-4	268	12-4	250
10-13	536	5-4	57	12-4	45	7-10	802	2-1	338	13-14	25	4-5	126	4-5	125

Tablo 4.20: Senaryo 2 talebin güzergahlardaki 2 durak arası dağılımı (devam)

Güzergah 1 Ters	Güzergah 2 Ters	Güzergah 3 Ters	Güzergah 4 Ters	Güzergah 5 Ters	Güzergah 6 Ters	Güzergah 7 Ters	Güzergah 8 Ters								
13-10	536	4-5	65	4-12	38	10-7	802	1-2	346	14-13	25	5-4	126	5-4	122
10-7	475	5-2	167	12-11	145	7-15	892	2-3	388	13-11	85	4-6	261	4-12	202
7-15	539	2-3	238	11-13	151	15-8	892	3-6	435	11-12	118	6-8	470	12-11	419
15-6	539	3-6	229	13-14	120	8-6	811	6-8	531	12-4	114	8-10	575	11-10	731
6-3	443	6-8	175	14-10	169	6-4	634	8-10	543	4-5	113	10-14	250	10-7	350
3-2	383	8-15	102	10-7	66	4-2	596	10-11	396	5-2	181	14-13	120	7-15	180
2-1	354	15-9	100	7-15	0	2-1	391	11-13	60	2-1	208	13-11	111	15-9	180

Yolcu talep dağılımı sonrasında hesaplanan taşıt içi seyahat süresi, durakta bekleme süresi, aktarmada yaşanan ceza süresi ve toplam ağ seyahat süresi Tablo 4.21’de verilmiştir.

Tablo 4.21: Senaryo 2 ağ geneli seyahat süreleri (sa)

Taşıt içi Seyahat Süresi + Durakta Bekleme Süresi	Ceza Süresi	Toplam Seyahat Süresi
3746.16	5.01	3751.17

Senaryo 2 için yapılan toplu taşıma ataması sonucunda test ağı için hesaplanan toplam seyahat süresi 3751.17 sa olarak belirlenmiştir.

4.4.3 Senaryo 3 Optimum Sıklık Değerlerinin Belirlenmesi

Senaryo 3 için Tablo 4.8’de verilen özel taşıt ataması sonrasında elde edilen bağ seyahat süreleri kullanılarak sıklık paylaşım yöntemi ile toplu taşıma ataması gerçekleştirilmiştir. Optimum sıklıkları hesaplamak için kullanılan DGA parametreleri Tablo 4.11’de verilmiştir. Buna bağlı olarak yapılan çözüm sonrasında belirlenen değerler Tablo 4.22’de verilmiştir.

Tablo 4.22: Senaryo 3 model sonuçları

Güzergah Adı	Sefer Aralığı (dk)	Sefer Sayısı (Sıklık)	Durakta Bekleme Süresi (dbs) (dk)	Kapasite
Güzergah 1 / Güzergah 1 Ters	7	10	3.0	700
Güzergah 2 / Güzergah 2 Ters	10	7	4.3	490
Güzergah 3 / Güzergah 3 Ters	14	5	6.0	350
Güzergah 4 / Güzergah 4 Ters	5	13	2.3	910
Güzergah 5 / Güzergah 5 Ters	6	11	2.7	770
Güzergah 6 / Güzergah 6 Ters	11	6	5.0	420
Güzergah 7 / Güzergah 7 Ters	9	8	3.8	560
Güzergah 8 / Güzergah 8 Ters	6	11	2.7	770

Tablo incelendiğinde elde edilen sefer aralıkları kısıtlara uygun bir şekilde elde edilmiştir. 1 saatlik analiz periyodu için sefer aralığına göre hesaplanan sefer sayısı ve durakta bekleme süreleri de tabloda gösterilmiştir.

Hesaplanan optimum sıklıklara göre yapılan sıklık paylaşım metodu ile çözümlenen toplu taşıma ataması sonucunda aktarmasız ve tek aktarma ile bütün B-V matrisi değerleri herhangi bir güzergaha atanmış olup toplam yolcu sayısının güzergahlara göre dağılımı Tablo 4.23'te verilmiştir.

Tablo 4.23: Senaryo 3 B-V talep matrisinin güzergahlara dağılımı

	Aktarmasız Talep	Tek Aktarmalı Talep
Güzergah 1	1533	9
Güzergah 2	422	14
Güzergah 3	372	7
Güzergah 4	1672	13
Güzergah 5	1528	4
Güzergah 6	355	6
Güzergah 7	769	9
Güzergah 8	1101	32
Güzergah 1 Ters	1508	4
Güzergah 2 Ters	418	1
Güzergah 3 Ters	363	3
Güzergah 4 Ters	1642	10
Güzergah 5 Ters	1528	14
Güzergah 6 Ters	374	8
Güzergah 7 Ters	773	2
Güzergah 8 Ters	1073	4

Her bir güzergahtaki 2 durak arasına dağıtılan talep ise Tablo 4.24 ve Tablo 4.25'te verilmiştir.

Tablo 4.24: Senaryo 3 talebin güzergahlardaki 2 durak arası dağılımı

Güzergah 1	Güzergah 2	Güzergah 3	Güzergah 4	Güzergah 5	Güzergah 6	Güzergah 7	Güzergah 8
1-2 339	9-15 103	15-7 0	1-2 401	13-11 70	1-2 188	11-13 89	9-15 208
2-3 380	15-8 100	7-10 87	2-4 584	11-10 442	2-5 157	13-14 98	15-7 189
3-6 448	8-6 179	10-14 218	4-6 582	10-8 642	5-4 89	14-10 215	7-10 373
6-15 550	6-3 227	14-13 154	6-8 815	8-6 614	4-12 99	10-8 471	10-11 722
15-7 548	3-2 246	13-11 189	8-15 902	6-3 482	12-11 112	8-6 385	11-12 439
7-10 462	2-5 176	11-12 182	15-7 898	3-2 436	11-13 84	6-4 228	12-4 253
10-13 533	5-4 70	12-4 64	7-10 794	2-1 383	13-14 26	4-5 112	4-5 133

Tablo 4.25: Senaryo 3 talebin güzergahlardaki 2 durak arası dağılımı (devam)

Güzergah 1 Ters	Güzergah 2 Ters	Güzergah 3 Ters	Güzergah 4 Ters	Güzergah 5 Ters	Güzergah 6 Ters	Güzergah 7 Ters	Güzergah 8 Ters								
13-10	533	4-5	66	4-12	49	10-7	793	1-2	391	14-13	26	5-4	112	5-4	130
10-7	462	5-2	171	12-11	174	7-15	893	2-3	438	13-11	81	4-6	226	4-12	211
7-15	523	2-3	239	11-13	180	15-8	893	3-6	488	11-12	111	6-8	389	12-11	411
15-6	523	3-6	222	13-14	145	8-6	800	6-8	617	12-4	108	8-10	471	11-10	694
6-3	417	6-8	171	14-10	212	6-4	624	8-10	646	4-5	110	10-14	213	10-7	345
3-2	354	8-15	100	10-7	79	4-2	583	10-11	444	5-2	177	14-13	99	7-15	180
2-1	332	15-9	100	7-15	0	2-1	373	11-13	70	2-1	202	13-11	90	15-9	180

Yolcu talep dağılımı sonrasında hesaplanan taşıt içi seyahat süresi, durakta bekleme süresi, aktarmada yaşanan ceza süresi ve toplam ağ seyahat süresi Tablo 4.26’da verilmiştir.

Tablo 4.26: Senaryo 3 ağ geneli seyahat süreleri (sa)

Taşıt içi Seyahat Süresi + Durakta Bekleme Süresi	Ceza Süresi	Toplam Seyahat Süresi
5850.56	8.7	5859.26

Senaryo 3 için yapılan toplu taşıma ataması sonucunda test ağı için hesaplanan toplam seyahat süresi 5859.26 sa olarak belirlenmiştir.

4.4.4 Sonuçlar

3 senaryo için sıklık paylaşım yöntemi kullanılarak yapılan toplu taşıma ataması sonrasında Senaryo 1’in toplam seyahat süresi en düşük iken Senaryo 3 en yüksek toplam seyahat süresine sahiptir. Hesaplanan optimum sıklık değerlerine bakıldığında ise her senaryo için en çok kullanılan güzergahın sıklık değeri en yüksek değerdedir.

4.5 MODEL 2 Sayısal Uygulama

MODEL 2 sayısal uygulamasında üç senaryo için özel taşıt atamasında elde edilen aday şeritler içerisinde toplam seyahat süresini minimize edecek olan otobüs öncelikli şerit yerleri belirlenmeye çalışılmıştır.

4.5.1 Senaryo 1 Otobüs Öncelikli Şeritlerin Belirlenmesi

Senaryo 1 için toplam seyahat süresini minimize edecek olan otobüs öncelikli şeritlerin belirlenebilmesi için özel taşıt ataması sonucunda elde edilen Tablo 4.5'te verilen aday şeritler içerisinde bütçe kısıtı dahilinde seçim yapılmıştır. Seçimlerin yapılabilmesi için DGA tekniği kullanılmıştır ve algoritma çözümünde kullanılan parametre değerleri Tablo 4.27'de verilmiştir.

Tablo 4.27: Senaryo 1 otobüs öncelikli şeritlerin belirlenmesi için DGA çözüm parametre değerleri

p	400
n	42
F	0.8
C_r	0.8
g	1000

Tablo 4.5'te verilen 42 aday şerit için toplam popülasyon sayısı karar değişkeni sayısının yaklaşık olarak 10 katı olacak şekilde seçilmiştir. F ve C_r kombinasyonları F [0.5 , 0.9] arasında ve C_r [0.5 , 0.9] arasında olacak şekilde seçilerek 0.8 - 0.8 değerleri kullanılmıştır.

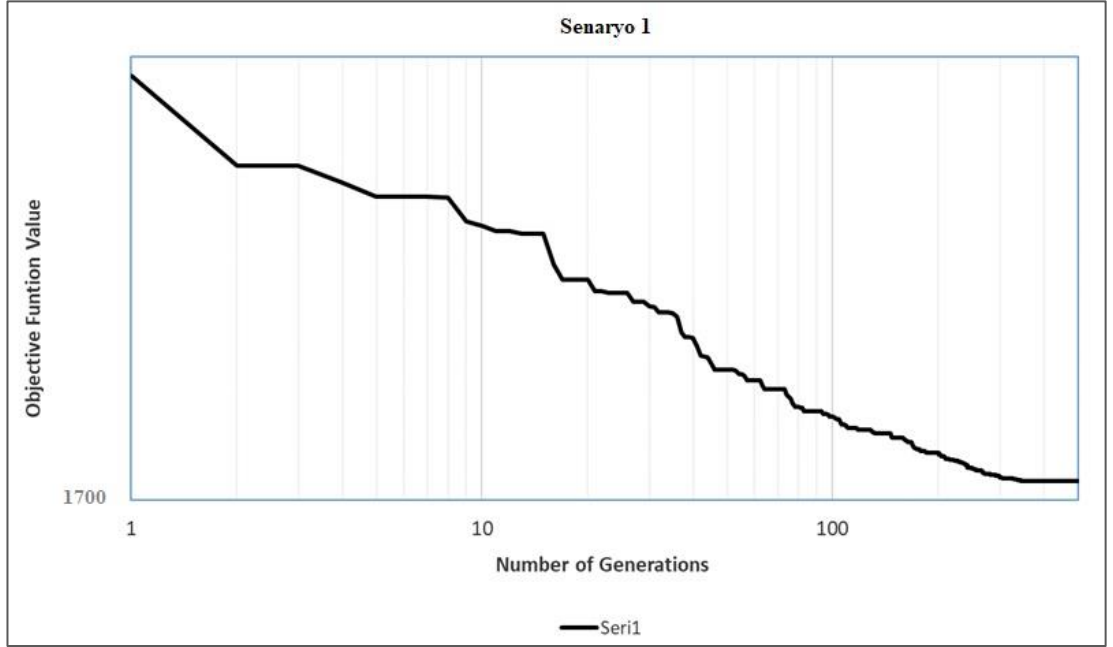
DGA tekniği çözümü sonucunda elde edilen öncelikli şeritler Tablo 4.28'de verilmiştir.

Tablo 4.28: Senaryo 1 otobüs öncelikli şeritler

Aday Şeritler	km	Öncelik	km Maliyeti (milyon dolar)	İşletme Maliyeti (milyon dolar)
1-2	2.24	1	22.36	22.36
2-1	2.24	1	22.36	22.36
2-3	1.52	1	15.21	15.21
2-4	1.82	0	18.17	0.00
2-5	2.61	0	26.08	0.00
3-2	1.52	1	15.21	15.21
3-6	1.75	1	17.53	17.53
4-2	1.82	0	18.17	0.00
4-5	1.99	1	19.91	19.91
4-6	1.86	1	18.61	18.61
4-12	3.06	0	30.65	0.00
5-2	2.61	0	26.08	0.00
5-4	1.99	0	19.91	0.00
6-3	1.75	1	17.53	17.53
6-4	1.86	1	18.61	18.61
6-8	1.35	1	13.45	13.45
6-15	2.16	0	21.59	0.00
7-10	2.55	0	25.50	0.00
7-15	1.32	0	13.24	0.00
8-6	1.35	1	13.45	13.45
8-10	2.77	1	27.66	27.66
8-15	1.48	0	14.84	0.00
9-15	2.02	1	20.16	20.16
10-7	2.55	0	25.50	0.00
10-8	2.77	1	27.66	27.66
10-11	2.00	0	20.00	0.00
10-13	1.37	0	13.66	0.00
10-14	1.03	0	10.30	0.00
11-10	2.00	0	20.00	0.00
11-12	2.80	0	27.95	0.00
11-13	1.91	0	19.14	0.00
12-4	3.06	0	30.65	0.00
12-11	2.80	0	27.95	0.00
13-10	1.37	0	13.66	0.00
13-11	1.91	0	19.14	0.00
13-14	1.63	0	16.32	0.00
14-10	1.03	1	10.30	10.30
14-13	1.63	0	16.32	0.00
15-6	2.16	0	21.59	0.00
15-7	1.32	0	13.24	0.00
15-8	1.48	0	14.84	0.00
15-9	2.02	1	20.16	20.16

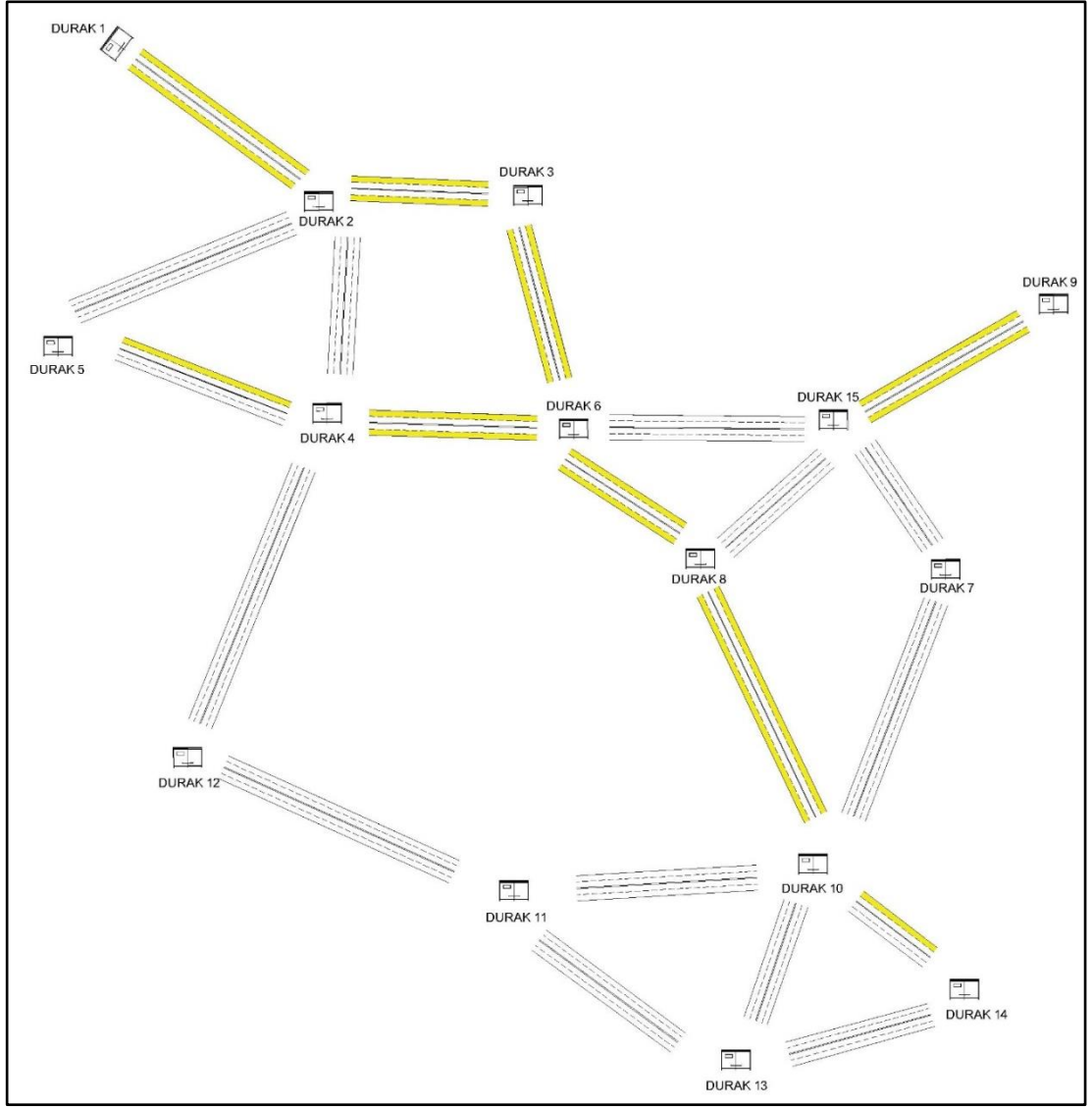
Tablo incelendiğinde otobüs öncelikli şerit için uygun olan yerler 1 ile gösterilirken uygun olmayan yerler 0 ile gösterilmiştir. Km başına 10 milyon dolarlık maliyet kabulü ile her bir aday şeridin maliyeti çıkarılmış ve otobüs önceliği olan yerler için hesap yapılmıştır. Yapılan çözümde toplam işletme maliyeti 300.15 milyon dolar olarak hesaplanarak belirlenen 300 milyon dolarlık bütçenin üzerinde olmuştur. Fakat yapılan hesaplarda bütçe kısıtının altında kaldığı zamanlardaki amaç

fonksiyonu değeri, bütçe kısıtı aşıldığında ceza fonksiyonu eklenmiş şekilde olan amaç fonksiyonu değerinden daha yüksek olduğu için aşılan bütçe ile en uygun sonuç elde edilmiştir. Amaç fonksiyonu için elde edilen değişim grafiği aşığıdaki Şekil 4.3'te verilmiştir.



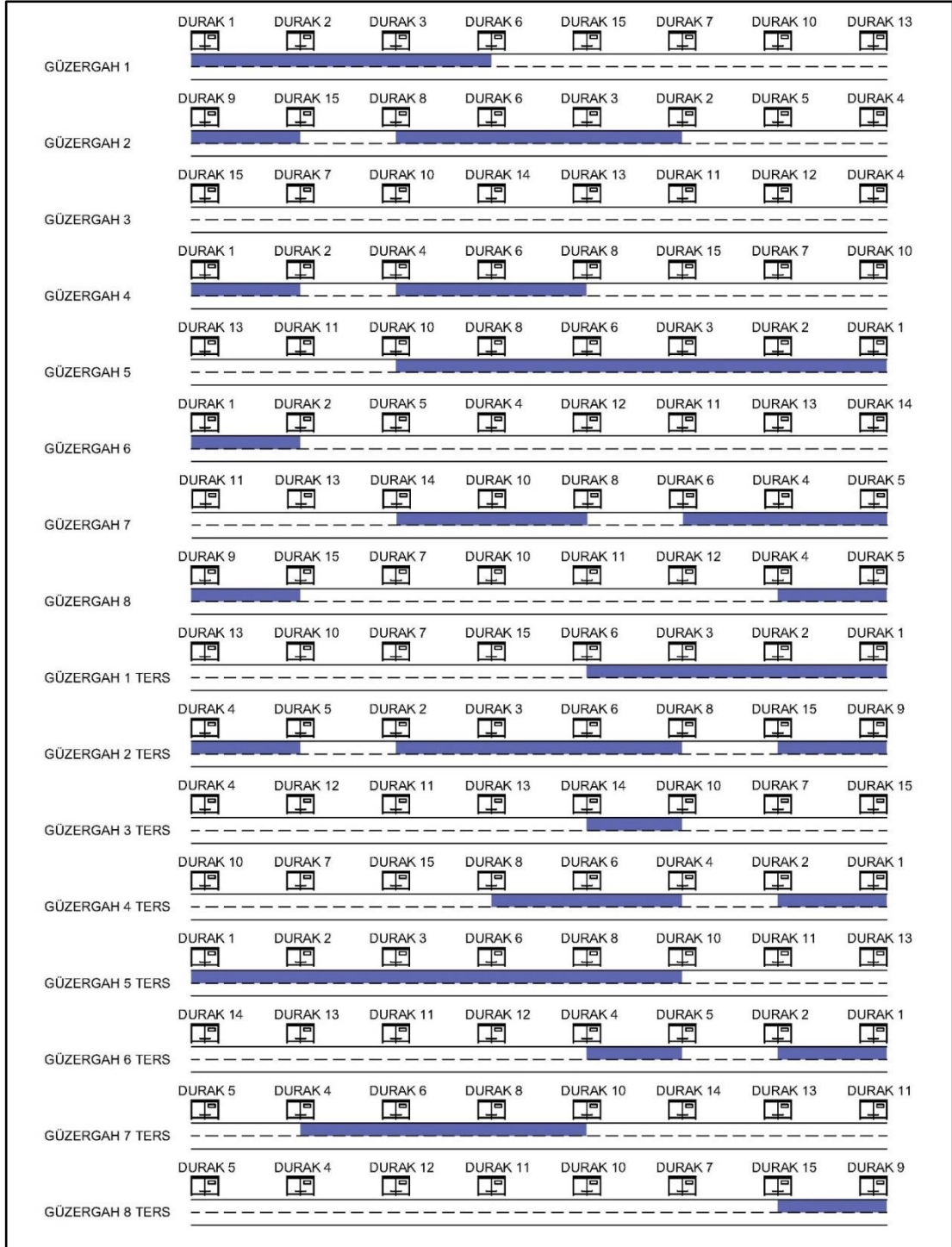
Şekil 4.3: Senaryo 1 otobüs öncelikli şerit amaç fonksiyonu değişim grafiği

Belirlenen otobüs öncelikli şeritlerin test ağı üzerindeki genel gösterimi Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4: Senaryo 1 otobüs öncelikli şeritlerin genel ağ üzerinde gösterimi

Şekil incelendiğinde otobüs önceliğine aday olan tüm bağlar içinden belirlenen otobüs öncelikli şeritlere bakıldığında ağın genel olarak merkez kısmında en çok kullanılan şeritler olduğu görülmektedir. Belirlenen otobüs öncelikli şeritlerin her bir güzergah içindeki gösterimi ise Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5: Senaryo 1 otobüs öncelikli şeritlerin her bir güzergah için gösterimi

Şekil incelendiğinde güzergah 3 üzerinde herhangi bir otobüs öncelikli şerit olmadığı görülmektedir. Toplu taşıma ataması sonucunda da güzergah 3 ve güzergah 3 ters yönünde ki yolcu sayılarının diğer güzergahlara göre daha az olduğu için bu güzergahlara şerit uygulaması gerek görülmemiştir. Uygun görülen aday şeritler

içerisinde güzergah 5 yönünde ve güzergah 5 ters yönünde art arda olacak şekilde özel şeritler yapılmış ve sonuç olarak güzergah kullanımı artmıştır.

Yapılan otobüs öncelikli şeritler sonrasında belirlenen şeritlerin bağ seyahat süreleri serbest akım seyahat süresine eşit olacağı için toplu taşıma ataması değişmekte ve yolcuların otobüs önceliği olan şeritlere daha çok ilgi gösterdiği görülmektedir. Uygulama sonrası aktarmasız ve tek aktarmalı için güzergahlardaki talep sayıları Tablo 4.29’da verilmiştir.

Tablo 4.29: Senaryo 1 otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrası B-V talep matrisinin güzergahlara dağılımı

	Aktarmasız Talep	Tek Aktarmalı Talep
Güzergah 1	1111	9
Güzergah 2	337	12
Güzergah 3	331	0
Güzergah 4	1127	11
Güzergah 5	2333	5
Güzergah 6	352	2
Güzergah 7	1359	12
Güzergah 8	880	38
Güzergah 1 Ters	1107	3
Güzergah 2 Ters	337	1
Güzergah 3 Ters	334	0
Güzergah 4 Ters	1047	13
Güzergah 5 Ters	2223	18
Güzergah 6 Ters	321	11
Güzergah 7 Ters	1351	1
Güzergah 8 Ters	880	4

Tablo incelendiğinde otobüs öncelikli şeritlerin yoğunlukta olduğu güzergahlardaki yolcu sayılarının fark edilir şekilde arttığı görülmektedir. Dağılan talebin her bir güzergah içindeki 2 durak arası yolcu değerleri Tablo 4.30 ve Tablo 4.31’de verilmiştir.

Tablo 4.30: Senaryo 1 otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrası yolcu talebinin güzergahlardaki 2 durak arası dağılımı

Güzergah 1	Güzergah 2	Güzergah 3	Güzergah 4	Güzergah 5	Güzergah 6	Güzergah 7	Güzergah 8								
1-2	237	9-15	110	15-7	0	1-2	423	13-11	94	1-2	182	11-13	91	9-15	200
2-3	245	15-8	109	7-10	85	2-4	563	11-10	522	2-5	157	13-14	110	15-7	180
3-6	303	8-6	143	10-14	179	4-6	522	10-8	1298	5-4	88	14-10	237	7-10	342
6-15	210	6-3	155	14-13	117	6-8	437	8-6	1184	4-12	96	10-8	1007	10-11	508
15-7	208	3-2	191	13-11	148	8-15	347	6-3	794	12-11	110	8-6	871	11-12	260
7-10	121	2-5	135	11-12	143	15-7	344	3-2	723	11-13	80	6-4	552	12-4	85
10-13	523	5-4	64	12-4	13	7-10	239	2-1	560	13-14	23	4-5	222	4-5	62

Tablo 4.31: Senaryo 1 otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrası yolcu talebinin güzergahlardaki 2 durak arası dağılımı (devam)

Güzergah 1 Ters	Güzergah 2 Ters	Güzergah 3 Ters	Güzergah 4 Ters	Güzergah 5 Ters	Güzergah 6 Ters	Güzergah 7 Ters	Güzergah 8 Ters								
13-10	519	4-5	63	4-12	15	10-7	159	1-2	478	14-13	23	5-4	220	5-4	59
10-7	117	5-2	134	12-11	146	7-15	264	2-3	616	13-11	65	4-6	528	4-12	68
7-15	204	2-3	187	11-13	151	15-8	264	3-6	693	11-12	77	6-8	860	12-11	265
15-6	204	3-6	153	13-14	117	8-6	355	6-8	1079	12-4	77	8-10	997	11-10	510
6-3	294	6-8	137	14-10	179	6-4	437	8-10	1193	4-5	63	10-14	224	10-7	342
3-2	243	8-15	100	10-7	85	4-2	475	10-11	494	5-2	133	14-13	103	7-15	180
2-1	233	15-9	100	7-15	0	2-1	331	11-13	80	2-1	165	13-11	91	15-9	180

Talep dağılımı sonrasında hesaplanan taşıt içi seyahat süresi, durakta bekleme süreleri, aktarmada yaşanan ceza süresi ve toplam ağ seyahat süresi Tablo 4.32'de verilmiştir.

Tablo 4.32: Senaryo 1 otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrası ağ geneli seyahat süreleri (sa)

Taşıt içi Seyahat Süresi + Durakta Bekleme Süresi	Ceza Süresi	Toplam Seyahat Süresi
1843.33	4.75	1848.08

Senaryo 1 için otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrasında yapılan toplu taşıma talep dağılımı sonucunda hesaplanan toplam seyahat süresi 1848.08 olarak belirlenmiştir.

4.5.2 Senaryo 2 Otobüs Öncelikli Şeritlerin Belirlenmesi

Senaryo 2 için toplam seyahat süresini minimize edecek olan otobüs öncelikli şeritlerin belirlenebilmesi için özel taşıt ataması sonucunda elde edilen Tablo 4.7’de verilen aday şeritler içerisinde bütçe kısıtı dahilinde seçim yapılmıştır. Seçimlerin yapılabilmesi için DGA tekniği kullanılmıştır ve algoritma çözümünde kullanılan parametre değerleri Tablo 4.33’te verilmiştir.

Tablo 4.33: Senaryo 2 otobüs öncelikli şeritlerin belirlenmesi için DGA çözüm parametre değerleri

p	300
n	32
F	0.8
C_r	0.8
g	750

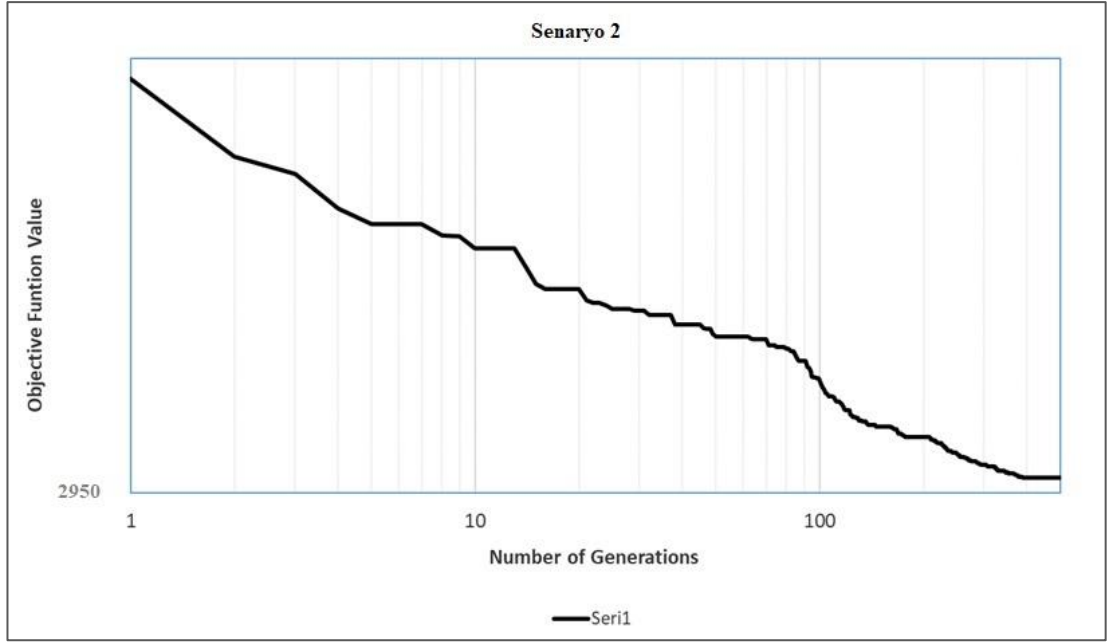
Tablo 4.7’de verilen 32 aday şerit için toplam popülasyon sayısı karar değişkeni sayısının yaklaşık olarak 10 katı olacak şekilde seçilmiştir. F ve C_r kombinasyonları F [0.5 , 0.9] arasında ve C_r [0.5 , 0.9] arasında olacak şekilde seçilerek 0.8 - 0.8 değerleri kullanılmıştır.

DGA tekniği çözümü sonucunda elde edilen öncelikli şeritler Tablo 4.34’te verilmiştir.

Tablo 4.34: Senaryo 2 otobüs öncelikli şeritler

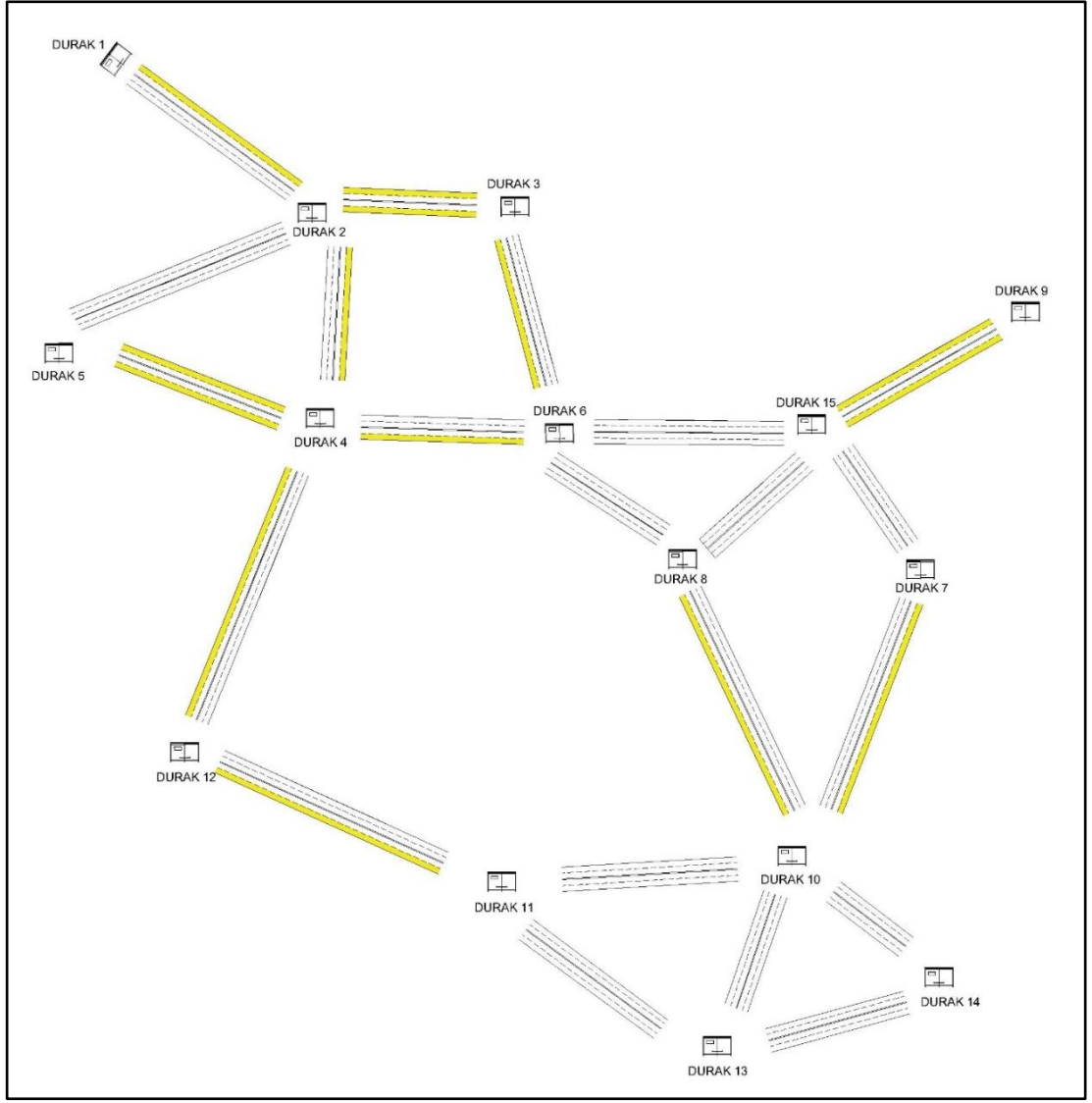
Aday Şeritler	km	Öncelik	km Maliyeti (milyon dolar)	İşletme Maliyeti (milyon dolar)
1-2	2.24	0	22.36	0.00
2-1	2.24	1	22.36	22.36
2-3	1.52	1	15.21	15.21
2-4	1.82	0	18.17	0.00
2-5	2.61	0	26.08	0.00
3-2	1.52	1	15.21	15.21
3-6	1.75	1	17.53	17.53
4-2	1.82	1	18.17	18.17
4-5	1.99	1	19.91	19.91
4-6	1.86	1	18.61	18.61
4-12	3.06	1	30.65	30.65
5-2	2.61	0	26.08	0.00
5-4	1.99	1	19.91	19.91
6-15	2.16	0	21.59	0.00
7-10	2.55	0	25.50	0.00
8-10	2.77	1	27.66	27.66
8-15	1.48	0	14.84	0.00
9-15	2.02	1	20.16	20.16
10-7	2.55	1	25.50	25.50
10-11	2.00	0	20.00	0.00
10-13	1.37	0	13.66	0.00
10-14	1.03	0	10.30	0.00
11-10	2.00	0	20.00	0.00
11-13	1.91	0	19.14	0.00
12-11	2.80	1	27.95	27.95
13-10	1.37	0	13.66	0.00
13-11	1.91	0	19.14	0.00
13-14	1.63	0	16.32	0.00
14-10	1.03	0	10.30	0.00
14-13	1.63	0	16.32	0.00
15-8	1.48	0	14.84	0.00
15-9	2.02	1	20.16	20.16

Tablo incelendiğinde toplam işletme maliyeti 298.16 milyon dolar olarak hesaplanarak belirlenen 300 milyon dolarlık bütçenin altında kalmıştır. Amaç fonksiyonu için elde edilen değişim grafiği aşağıdaki Şekil 4.6’da verilmiştir.



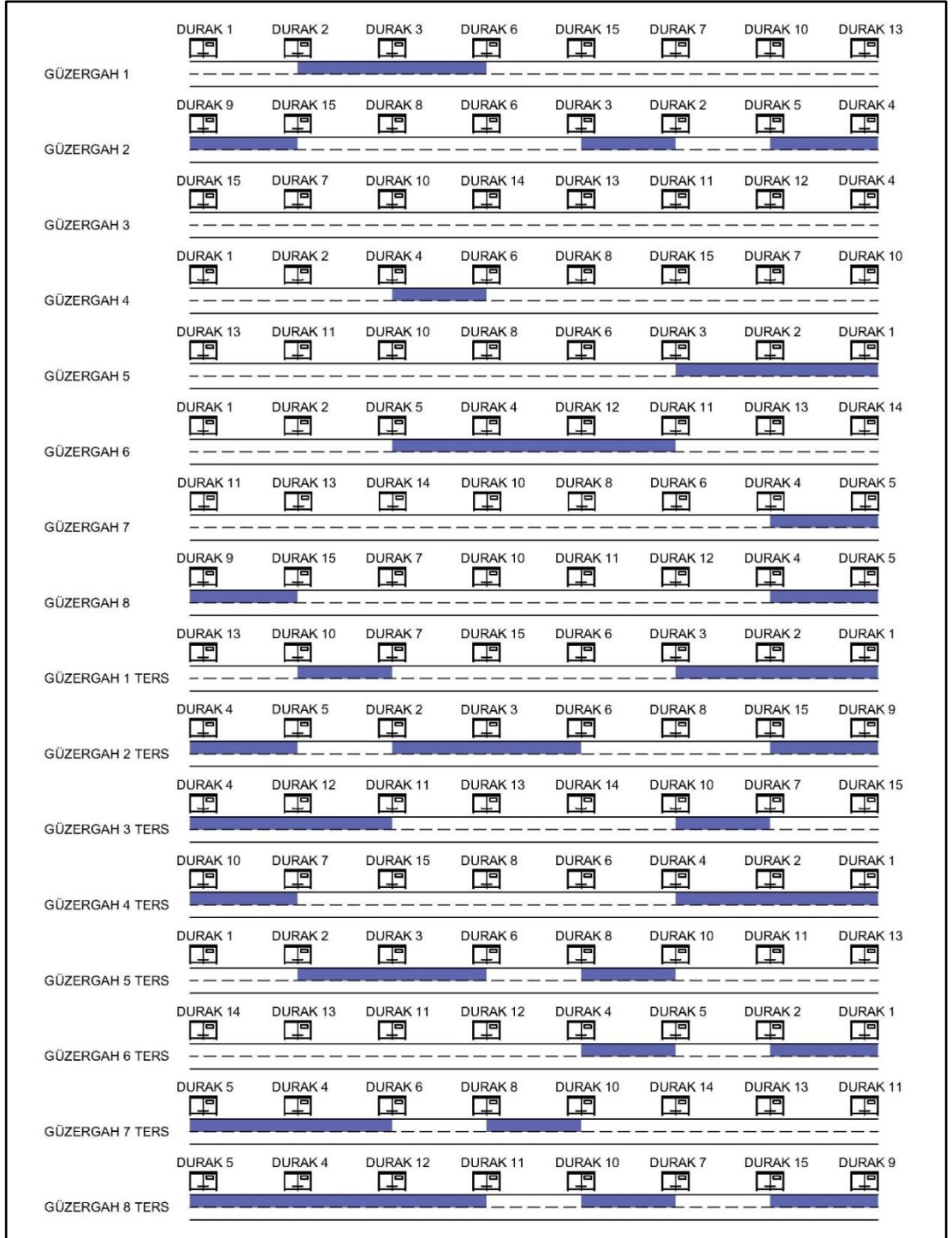
Şekil 4.6: Senaryo 2 otobüs öncelikli şerit amaç fonksiyonu değişim grafiği

Belirlenen otobüs öncelikli şeritlerin test ağı üzerindeki genel gösterimi Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7: Senaryo 2 otobüs öncelikli şeritlerin genel ağ üzerinde gösterimi

Şekil incelendiğinde otobüs önceliğine aday olan şeritler içerisinde belirlenen otobüs öncelikli şeritlere bakıldığında ağın genel olarak sol merkez kısmında en çok kullanılan şeritler olduğu görülmektedir. Belirlenen otobüs öncelikli şeritlerin her bir güzergah içindeki gösterimi ise Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8: Senaryo 2 otobüs öncelikli şeritlerin her bir güzergah için gösterimi

Şekil incelendiğinde güzergah 3 üzerinde herhangi bir otobüs öncelikli şerit olmadığı görülmüştür. Toplu taşıma ataması sonucunda da güzergah 3'ü kullanan yolcu sayısı diğer güzergahlara göre daha az olduğu için bu güzergaha şerit uygulaması gerek görülmemiştir.

Yapılan otobüs öncelikli şeritler sonrasında belirlenen şeritlerin bağ seyahat süreleri serbest akım seyahat süresine eşit olacağı için toplu taşıma ataması değişmekte ve yolcuların otobüs önceliği olan şeritlere daha çok ilgi gösterdiği görülmektedir. Uygulama sonrası aktarmasız ve tek aktarmalı için güzergahlardaki talep sayıları Tablo 4.35’te verilmiştir.

Tablo 4.35: Senaryo 2 otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrası B-V talep matrisinin güzergahlara dağılımı

	Aktarmasız Talep	Tek Aktarmalı Talep
Güzergah 1	1239	11
Güzergah 2	437	14
Güzergah 3	303	0
Güzergah 4	1014	15
Güzergah 5	1325	3
Güzergah 6	375	0
Güzergah 7	924	12
Güzergah 8	1131	37
Güzergah 1 Ters	1555	4
Güzergah 2 Ters	395	3
Güzergah 3 Ters	320	0
Güzergah 4 Ters	1676	9
Güzergah 5 Ters	1875	12
Güzergah 6 Ters	364	12
Güzergah 7 Ters	1308	2
Güzergah 8 Ters	1188	4

Tablo incelendiğinde otobüs öncelikli şeritlerin yoğunlukta olduğu güzergahlardaki yolcu sayılarının fark edilir şekilde arttığı görülmektedir. Dağılan talebin her bir güzergah içindeki 2 durak arası yolcu değerleri Tablo 4.36 ve Tablo 4.37’de verilmiştir.

Tablo 4.36: Senaryo 2 otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrası yolcu talebinin güzergahlardaki 2 durak arası dağılımı

Güzergah 1	Güzergah 2	Güzergah 3	Güzergah 4	Güzergah 5	Güzergah 6	Güzergah 7	Güzergah 8
1-2 313	9-15 112	15-7 0	1-2 357	13-11 60	1-2 189	11-13 111	9-15 198
2-3 310	15-8 109	7-10 73	2-4 488	11-10 395	2-5 162	13-14 119	15-7 180
3-6 350	8-6 192	10-14 176	4-6 416	10-8 541	5-4 95	14-10 254	7-10 370
6-15 228	6-3 242	14-13 127	6-8 325	8-6 528	4-12 113	10-8 577	10-11 748
15-7 225	3-2 254	13-11 158	8-15 229	6-3 429	12-11 129	8-6 467	11-12 434
7-10 143	2-5 180	11-12 152	15-7 225	3-2 386	11-13 93	6-4 263	12-4 240
10-13 526	5-4 78	12-4 45	7-10 151	2-1 338	13-14 25	4-5 126	4-5 125

Tablo 4.37: Senaryo 2 otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrası yolcu talebinin güzergahlardaki 2 durak arası dağılımı (devam)

Güzergah 1 Ters	Güzergah 2 Ters	Güzergah 3 Ters	Güzergah 4 Ters	Güzergah 5 Ters	Güzergah 6 Ters	Güzergah 7 Ters	Güzergah 8 Ters								
13-10	536	4-5	56	4-12	63	10-7	802	1-2	461	14-13	25	5-4	140	5-4	127
10-7	475	5-2	137	12-11	170	7-15	891	2-3	599	13-11	85	4-6	289	4-12	279
7-15	540	2-3	209	11-13	173	15-8	891	3-6	670	11-12	118	6-8	733	12-11	495
15-6	540	3-6	199	13-14	140	8-6	803	6-8	996	12-4	114	8-10	933	11-10	796
6-3	445	6-8	166	14-10	189	6-4	627	8-10	1093	4-5	94	10-14	227	10-7	379
3-2	385	8-15	93	10-7	73	4-2	614	10-11	401	5-2	162	14-13	97	7-15	189
2-1	354	15-9	91	7-15	0	2-1	409	11-13	65	2-1	189	13-11	91	15-9	189

Talep dağılımı sonrasında hesaplanan taşıt içi seyahat süresi, durakta bekleme süresi, aktarmada yaşanan ceza süresi ve toplam ağ seyahat süresi Tablo 4.38’de verilmiştir.

Tablo 4.38: Senaryo 2 otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrası ağ geneli seyahat süreleri (sa)

Taşıt içi Seyahat Süresi + Durakta Bekleme Süresi	Ceza Süresi	Toplam Seyahat Süresi
3027.93	5.33	3033.26

Senaryo 2 için otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrasında yapılan toplu taşıma talep dağılımı sonucunda hesaplanan toplam seyahat süresi 3033.26 sa olarak belirlenmiştir.

4.5.3 Senaryo 3 Otobüs Öncelikli Şeritlerin Belirlenmesi

Senaryo 3 için toplam seyahat süresini minimize edecek olan otobüs öncelikli şeritlerin belirlenebilmesi için özel taşıt ataması sonucunda elde edilen Tablo 4.9’da verilen aday şeritler içerisinde bütçe kısıtı dahilinde seçim yapılmıştır. Seçimlerin yapılabilmesi için DGA tekniği kullanılmıştır ve algoritma çözümünde kullanılan parametre değerleri Tablo 4.39’da verilmiştir.

Tablo 4.39: Senaryo 3 otobüs öncelikli şeritlerin belirlenmesi için DGA çözüm parametre değerleri

p	200
n	21
F	0.8
C_r	0.8
g	750

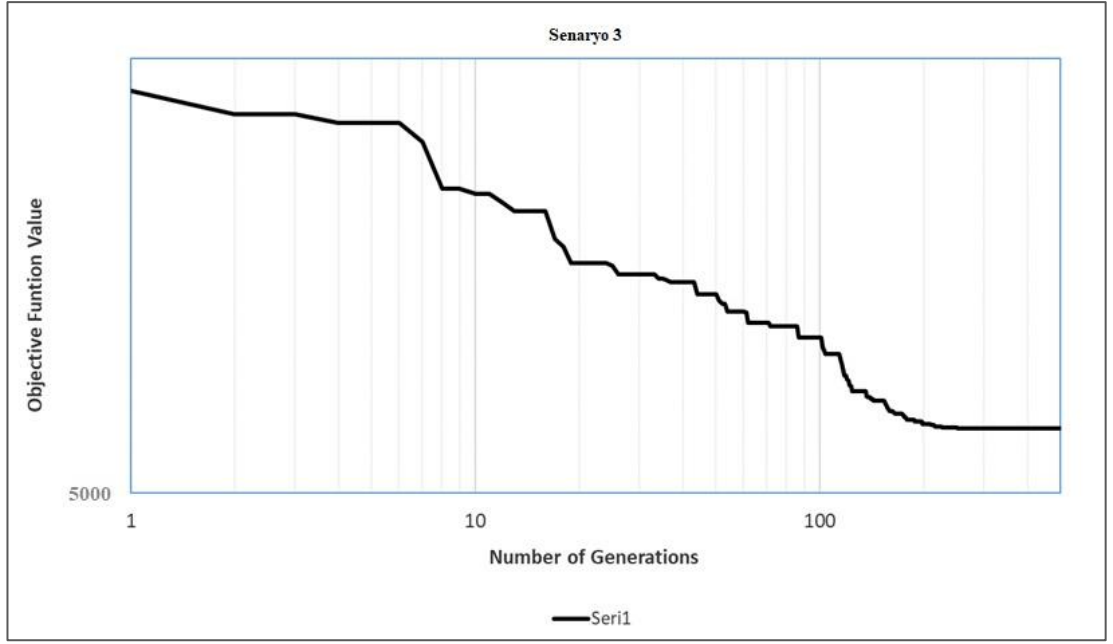
Tablo 4.9’da verilen 21 aday şerit için toplam popülasyon sayısı karar değişkeni sayısının yaklaşık olarak 10 katı olacak şekilde seçilmiştir. F ve C_r kombinasyonları F [0.5 , 0.9] arasında ve C_r [0.5 , 0.9] arasında olacak şekilde seçilerek 0.8 - 0.8 değerleri kullanılmıştır.

DGA tekniği çözümü sonucunda elde edilen öncelikli şeritler Tablo 4.40’da verilmiştir.

Tablo 4.40: Senaryo 3 otobüs öncelikli şeritler

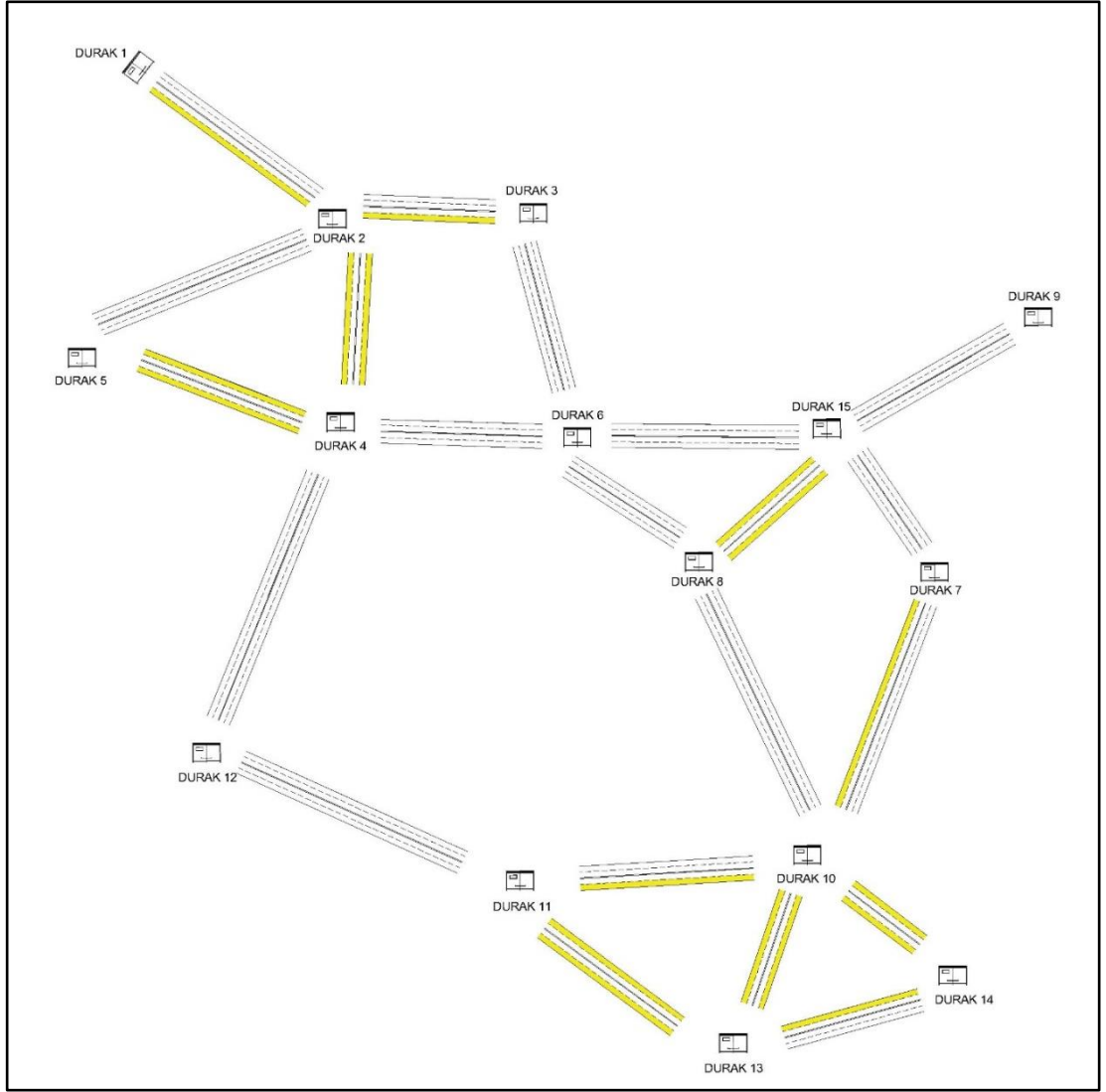
Aday Şeritler	km	Öncelik	km Maliyeti (milyon dolar)	İşletme Maliyeti (milyon dolar)
1-2	2.24	1	22.36	22.36
2-3	1.52	1	15.21	15.21
2-4	1.82	1	18.17	18.17
2-5	2.61	0	26.08	0.00
4-2	1.82	1	18.17	18.17
4-5	1.99	1	19.91	19.91
5-2	2.61	0	26.08	0.00
5-4	1.99	1	19.91	19.91
7-10	2.55	1	25.50	25.50
8-15	1.48	1	14.84	14.84
10-11	2.00	0	20.00	0.00
10-13	1.37	1	13.66	13.66
10-14	1.03	1	10.30	10.30
11-10	2.00	1	20.00	20.00
11-13	1.91	1	19.14	19.14
13-10	1.37	1	13.66	13.66
13-11	1.91	1	19.14	19.14
13-14	1.63	0	16.32	0.00
14-10	1.03	1	10.30	10.30
14-13	1.63	1	16.32	16.32
15-8	1.48	1	14.84	14.84

Tablo incelendiğinde toplam işletme maliyeti 291.42 milyon dolar olarak hesaplanarak belirlenen 300 milyon dolarlık bütçenin altında kalmıştır. Amaç fonksiyonu için elde edilen değişim grafiği aşağıdaki Şekil 4.9’da verilmiştir.



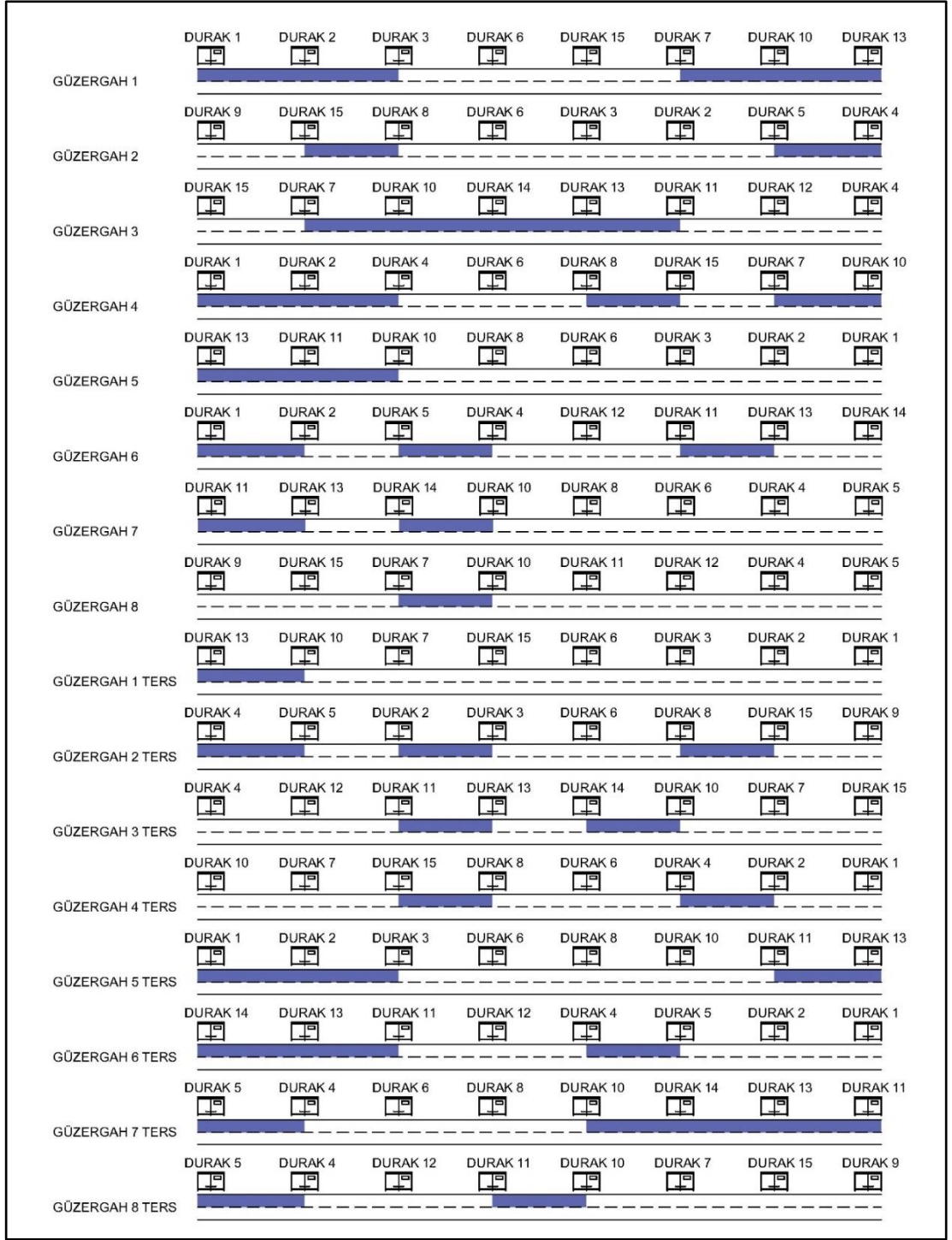
Şekil 4.9: Senaryo 3 otobüs öncelikli şerit amaç fonksiyonu değişim grafiği

Belirlenen otobüs öncelikli şeritlerin test ağı üzerindeki genel gösterimi Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10: Senaryo 3 otobüs öncelikli şeritlerin genel ağ üzerinde gösterimi

Şekil incelendiğinde otobüs önceliğine aday olan şeritler içerisinde belirlenen otobüs öncelikli şeritlere bakıldığında ağın genel olarak dış kısımlarında olduğu görülmektedir. Belirlenen otobüs öncelikli şeritlerin her bir güzergah içindeki gösterimi ise Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11: Senaryo 3 otobüs öncelikli şeritlerin her bir güzergah için gösterimi

Şekil incelendiğinde diğer senaryoların aksine güzergah 3 üzerinde ihtiyaç duyulan otobüs öncelikli şerit sayısının en fazla olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi özel taşıt ataması sonrasında diğer güzergahlardaki bağ seyahat süreleri fazla olduğu için aday şerit olarak kullanılmamalarıdır. Bu nedenle uygulanabilecek en uygun şeritlerin güzergah 3'e ait olduğu görülmektedir.

Yapılan otobüs öncelikli şeritler sonrasında belirlenen şeritlerin bağ seyahat süreleri serbest akım seyahat süresine eşit olacağı için toplu taşıma ataması değişmekte ve yolcuların otobüs önceliği olan şeritlere daha çok ilgi gösterdiği görülmektedir. Uygulama sonrası aktarmasız ve tek aktarmalı için güzergahlardaki talep sayıları Tablo 4.41’de verilmiştir.

Tablo 4.41: Senaryo 3 otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrası B-V talep matrisinin güzergahlara dağılımı

	Aktarmasız Talep	Tek Aktarmalı Talep
Güzerghah 1	1533	9
Güzerghah 2	398	14
Güzerghah 3	457	7
Güzerghah 4	1664	13
Güzerghah 5	1528	4
Güzerghah 6	355	6
Güzerghah 7	792	9
Güzerghah 8	990	32
Güzerghah 1 Ters	1509	4
Güzerghah 2 Ters	431	1
Güzerghah 3 Ters	363	3
Güzerghah 4 Ters	1641	10
Güzerghah 5 Ters	1416	14
Güzerghah 6 Ters	374	8
Güzerghah 7 Ters	906	2
Güzerghah 8 Ters	1073	4

Tablo incelendiğinde otobüs öncelikli şeritlerin yoğunlukta olduğu güzergahlardaki yolcu sayılarının arttığı görülmektedir. Dağılan talebin her bir güzergah içindeki 2 durak arası yolcu değerleri Tablo 4.42 ve Tablo 4.43’te verilmiştir.

Tablo 4.42: Senaryo 3 otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrası yolcu talebinin güzergahlardaki 2 durak arası dağılımı

Güzerghah 1	Güzerghah 2	Güzerghah 3	Güzerghah 4	Güzerghah 5	Güzerghah 6	Güzerghah 7	Güzerghah 8
1-2 339	9-15 103	15-7 0	1-2 401	13-11 70	1-2 188	11-13 89	9-15 208
2-3 380	15-8 100	7-10 87	2-4 584	11-10 442	2-5 157	13-14 98	15-7 189
3-6 448	8-6 179	10-14 304	4-6 574	10-8 642	5-4 89	14-10 215	7-10 373
6-15 550	6-3 204	14-13 239	6-8 807	8-6 614	4-12 99	10-8 471	10-11 610
15-7 548	3-2 223	13-11 275	8-15 902	6-3 482	12-11 112	8-6 385	11-12 439
7-10 462	2-5 152	11-12 182	15-7 898	3-2 436	11-13 84	6-4 251	12-4 253
10-13 533	5-4 70	12-4 64	7-10 794	2-1 383	13-14 26	4-5 136	4-5 133

Tablo 4.43: Senaryo 3 otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrası yolcu talebinin güzergahlardaki 2 durak arası dağılımı (devam)

Güzergah 1 Ters	Güzergah 2 Ters	Güzergah 3 Ters	Güzergah 4 Ters	Güzergah 5 Ters	Güzergah 6 Ters	Güzergah 7 Ters	Güzergah 8 Ters								
13-10	533	4-5	78	4-12	49	10-7	793	1-2	391	14-13	26	5-4	112	5-4	130
10-7	462	5-2	183	12-11	174	7-15	892	2-3	438	13-11	81	4-6	221	4-12	211
7-15	524	2-3	251	11-13	180	15-8	892	3-6	488	11-12	111	6-8	384	12-11	411
15-6	524	3-6	235	13-14	145	8-6	799	6-8	617	12-4	108	8-10	471	11-10	694
6-3	418	6-8	183	14-10	212	6-4	623	8-10	646	4-5	110	10-14	351	10-7	345
3-2	355	8-15	100	10-7	79	4-2	582	10-11	333	5-2	177	14-13	236	7-15	180
2-1	332	15-9	100	7-15	0	2-1	373	11-13	70	2-1	202	13-11	227	15-9	180

Talep dağılımı sonrasında hesaplanan taşıt içi seyahat süresi, durakta bekleme süresi, aktarmada yaşanan ceza süresi ve toplam ağ seyahat süresi Tablo 4.44'te verilmiştir.

Tablo 4.44: Senaryo 3 otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrası ağ geneli seyahat süreleri (sa)

Taşıt içi Seyahat Süresi + Durakta Bekleme Süresi	Ceza Süresi	Toplam Seyahat Süresi
5265.86	5.83	5271.69

Senaryo 3 için otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrasında yapılan toplu taşıma talep dağılımı sonucunda hesaplanan toplam seyahat süresi 5271.69 sa olarak belirlenmiştir.

4.5.4 Sonuçlar

Otobüs öncelikli şeritleri belirlemek ve toplam seyahat süresini minimize etmek için geliştirilen MODEL 2'de her senaryo için farklı sonuçlar elde edilmiştir. Belirli bir bütçe kısıtı altında çözülen problem sonrasında her bir senaryo için toplam seyahat süreleri bulunmuş ve uygulama yapılmadan önceki seyahat süreleri ile karşılaştırıldığında azaldığı görülmüştür. Toplam seyahat sürelerindeki değişim yüzdeleri sonuçlar bölümünde verilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, kent içi ulaşım ağlarındaki lastik tekerlekli toplu taşıma sistemlerinden biri olan otobüsler için öncelikli şeritleri belirlemek amacıyla iki adet iki seviyeli programlama modeli geliştirilmiştir. Öncelikle VISUM programı ile özel taşıt ataması gerçekleştirilerek bağların serbest akım seyahat süreleri ile atama sonrası oluşan bağ seyahat süreleri karşılaştırılıp otobüs öncelikli şerit adayları belirlenmiştir. MODEL 1 alt seviye problemi çözümünde toplu taşıma ataması yapılmış ve üst seviye probleminde toplam seyahat süresini minimize edecek optimum sıklıklar belirlenmiştir. MODEL 2’de ise optimum sıklıklar kullanılarak alt seviye probleminde toplu taşıma ataması gerçekleştirilmiş ve üst seviye probleminde önceden belirlenen otobüs öncelikli şerit adayları içerisinde toplam seyahat süresini minimize edecek öncelikli şeritler belirlenmiştir. Her iki modelin alt seviye çözümünde sıklık paylaşım yöntemi kullanılırken üst seviye çözümlerinde DGA optimizasyon tekniği kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında, ilk olarak literatürde var olan otobüs öncelikli şeritler ve harici otobüs şeritleri problemlerini kapsayan çalışmalar incelenmiştir. İncelemeler sonucunda, otobüs öncelikli şerit ile harici otobüs şeritleri arasında ki farklar belirlenmiştir. Otobüs öncelikli şeritlerde özel taşıt trafiği için kapasite azaldığından dolayı trafik sıkışıklığının oluşma olasılığı artarken bu yöntemde yapım maliyeti daha az olduğundan dolayı daha az bütçe gereksinimi duyulmaktadır. Harici otobüs şeritlerinde ise özel taşıt trafiği için kullanılan şeritlerde bir değişiklik olmamasından dolayı özel taşıt trafiği etkilenmemektedir. Ancak yapım maliyeti fark edilebilir şekilde artmaktadır. Bu tez çalışmasında otobüs öncelikli şeritler için araştırma yapılarak sadece işletme maliyetleri kapsamında bir değerlendirme yapılmıştır. Yapılan otobüs öncelikli şeritlerin etkisinin daha doğru sonuç verebilmesi için özel taşıt ataması gerçekleştirilmiştir. Özel taşıt atamasının çözümü için VISUM programı ile gerçekleştirilen denge atama yöntemi yaklaşımı kullanılmıştır. Toplu taşıma yolcu ataması için ise literatürde yaygın olarak karşımıza çıkan sıklık paylaşım yöntemi kullanılmıştır. Sıklık paylaşım yöntemi kapsamında aktarmada meydana gelen ceza süresi literatürde yaygın olarak kullanılan değer belirlenmiştir.

Test ağı üzerinde üç farklı senaryo için analizler yapılmıştır. Yapılan senaryoların karşılaştırılması Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1: Senaryo sonuçlarının karşılaştırılması

	Aday Şerit Sayısı	Uygulama Yapılacak Şerit Sayısı	Otobüs Öncelikli Şerit Uygulama Uzunluğu (km)	Uygulama Öncesi Toplam Seyahat Süresi (sa)	Uygulama Sonrası Toplam Seyahat Süresi (sa)	İyileşme Miktarı (yüzde)
Senaryo 1	42	16	30.02	2535.76	1848.08	27
Senaryo 2	32	14	29.90	3751.17	3033.26	19
Senaryo 3	21	17	29.14	5859.26	5271.69	10

Tablo incelendiğinde ilk olarak Senaryo 1 için rastgele oluşturulan B-V matrisi değerleri ile özel taşıt ataması yapılarak bağların seyahat süreleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bağ seyahat süreleri değerleri ile Mandl test ağına ait talep matrisi kullanılarak toplu taşıma yolcu ataması gerçekleştirilmiştir. Sıklık paylaşım modeli kullanılan toplu taşıma atamasında 8 farklı güzergah için optimum sıklıklar DGA ile hesaplanmış ve ağa ait toplam yolcu seyahat süresi 2535.76 sa bulunmuştur. Özel taşıt ataması sonucunda elde edilen bağ seyahat süreleri ile serbest akım seyahat süreleri karşılaştırılarak otobüs öncelikli şeritler için adaylar belirlenmiştir. Bağ seyahat süreleri serbest akım seyahat sürelerinin maksimum 3 katı varsayımı ile belirlenen aday şeritlerde ağdaki bütün bağların, toplamda 42 bağın aday şerit olduğu görülmüştür. Bütçe kısıtı altında yapılan ve aday şeritler içerisinde belirlenen, DGA ile çözümlenen problem sonucundan 16 adet bağlantıya otobüs öncelikli şerit uygulaması yapılması uygun görülmüştür. Otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrasında ağa ait toplam seyahat süresi 1848.08 sa olarak hesaplanmıştır. İki durumdaki seyahat süreleri karşılaştırıldığında uygulama sonrası toplam seyahat süresinin %27 oranında iyileşme sağladığı görülmüştür. Her bir güzergahtaki belirlenen otobüs öncelikli şerit konumları incelendiğinde süreklilik sağlanacak şekilde belirlenen güzergahlardaki yolcu sayılarının arttığı gözlemlenmiştir.

Senaryo 2 için özel taşıt ataması yapılmış ve bağ seyahat süreleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bağ seyahat süreleri ile test ağı üzerinde toplu taşıma yolcu ataması gerçekleştirilmiş ve güzergahlara ait optimum sıklıklar bulunmuştur. Yapılan işlemler sonucunda ağa ait toplam seyahat süresi 3751.17 sa olarak hesaplanmıştır. Daha sonra seyahat süreleri karşılaştırması ile toplam 42 bağ arasından seçilen 32 adet otobüs önceliğine aday şerit belirlenmiştir. Bütçe kısıtı altında DGA ile çözümlenen problem sonucunda 14 adet bağlantıya otobüs öncelikli şerit uygulaması uygun görülmüştür. Otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrasında ağa ait toplam seyahat süresi 3033.26 sa olarak hesaplanmıştır. İki durumdaki seyahat süreleri karşılaştırıldığında uygulama sonrası toplam seyahat süresinin %19 oranında iyileşme sağladığı görülmüştür. Her bir güzergahtaki belirlenen otobüs öncelikli şerit konumları incelendiğinde süreklilik sağlanacak şekilde belirlenen güzergahlardaki yolcu sayılarının arttığı gözlemlenmiştir.

Son olarak Senaryo 3 için özel taşıt ataması yapılmış ve bağ seyahat süreleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bağ seyahat süreleri ile test ağı üzerinde toplu taşıma yolcu ataması gerçekleştirilmiş ve güzergahlara ait optimum sıklıklar bulunmuştur. Yapılan işlemler sonucunda ağa ait toplam seyahat süresi 5859.26 sa olarak hesaplanmıştır. Daha sonra seyahat süreleri karşılaştırması ile toplam 42 bağ arasından seçilen 21 adet otobüs önceliğine aday şerit belirlenmiştir. Bütçe kısıtı altında DGA ile çözümlenen problem sonucunda 17 adet bağlantıya otobüs öncelikli şerit uygulaması uygun görülmüştür. Otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrasında ağa ait toplam seyahat süresi 5271.69 sa olarak hesaplanmıştır. İki durumdaki seyahat süreleri karşılaştırıldığında uygulama sonrası toplam yolcu seyahat süresinin %10 oranında iyileşme sağladığı görülmüştür. Her bir güzergahtaki belirlenen otobüs öncelikli şerit konumları incelendiğinde süreklilik sağlanacak şekilde belirlenen güzergahlardaki yolcu sayılarının arttığı gözlemlenmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde Senaryo 1 için en fazla iyileşme olduğu görülürken Senaryo 3 için en az iyileşme olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni belirlenen aday şerit sayısının daha fazla olması ve bu durumda alternatif seçeneklerin artmasıdır. Sonuç olarak tez çalışması kapsamında geliştirilmiş olan modelin, kent içi toplu taşıma sistemlerinden biri olan otobüsler için uygulanabilir fayda sağlayan bir yöntem olduğu ortaya koyulmuştur.

Gelecek çalışmalarda otobüs öncelikli şerit uygulaması sonrasında özel taşıttan toplu taşımaya kayabilecek olan talep ve buna bağlı olarak özel taşıt sayısındaki azalma ile otobüs filo boyutlarındaki değişimin araştırılması ve otobüs öncelikli şerit konumları için süreklilik sağlanması düşünölebilir.

6. KAYNAKLAR

Arasan, V.T. ve Vedagiri, P., “Study of the impact of exclusive bus lane under highly heterogeneous traffic condition”, *Public Transport*, 2(1-2), 135-155, (2010).

Baaj, M.H. ve Mahmassani, H.S., “TRUST: A LISP Program for the Analysis of Transit Route Configurations”, *Transportation research record*, No:1283, (1990).

Baaj, M.H. ve Mahmassani, H.S., “Hybrid route generation heuristic algorithm for the design of transit networks”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 3(1), 31-50, (1995).

Başkan, Ö., “Karınca Kolonisi Optimizasyonu ile Ulaşım Ağ Tasarımı”, *Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Denizli, (2009).

Başkan, Ö. ve Ceylan, H., “Ulaşım Ağ Tasarım Problemlerinin Çözümünde Diferansiyel Gelişim Algoritması Tabanlı Çözüm Yaklaşımları”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(9), 324-331, (2014).

Bingfeng, S., Ming, Z., Xiaobao, Y. ve Ziyong, G., “Bi-level Programming Model for Exclusive Bus Lanes Configuration in Multimodal Traffic Network”, *Transportation Research Procedia*, 25, 652-663, (2017).

Ceylan, H., “Optimal Design of Signal Controlled Road Networks Using Differential Evolution Optimization Algorithm”, *Mathematical Problems in Engineering*, 1-11, (2013).

Ceylan, H. ve Özcan, T., “Otobüs ağlarındaki sefer sıklıklarının armoni araştırması algoritması ile optimizasyonu: Mandl test ağı üzerine bir uygulama”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(6), 1107-1116, (2018).

Chen, X., Cai, P., Zhu, L. ve Yu, L., “Micro-simulation study of the effect of median bus lanes with midblock stop on capacity of urban signalized intersection”,

13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Madeira Island, Portugal, 1033-1038, (2010).

Chen, Q., “An Optimization Model for the Selection of Bus-Only Lanes in a City”, *PLOS ONE*, 10(7), e0133951, (2015).

Choi, D. ve Choi, W., “Effects of an exclusive bus lane for the over saturated freeway in Korea” *In 1995 Compendium of Technical Papers. Institute of Transportation Engineers 65th Annual Meeting, Institute of Transportation Engineers (ITE)*, 314-317, (1995).

Cox, A.M., “Reserved bus lanes in Dallas, Texas”, *Transportation Engineering Journal*, 101(4), 691-705, (1975).

Currie, G., Sarvi, M. ve Young, W., “A comprehensive approach to balanced road space allocation in relation to transit priority: report on a project to develop a framework and guidelines for road space allocation in relation to transit priority in Melbourne, Australia”, *In 83rd Transportation Research Board Annual Meeting*, Washington, DC, USA, (2004).

Farahani, R.Z., Miandoabchi, E., Szeto, W.Y. ve Rashidi, H., “A review of urban transportation network design problems”, *European Journal of Operational Research*, 229(2), 281-302, (2013).

Furth, P.G. ve Wilson, N.H.M., “Setting Frequencies on Bus Routes: Theory and Practice”, *Transportation Research Record*, 818, 1-7, (1981).

Gan, A., Yue, H., Ubaka, I. ve Zhao, F., “Development of operational performance and decision models for arterial bus lanes”, *Transportation research record*, 1858(1), 18-30. (2003).

Guler, S.I., Gayah, V.V. ve Menendez, M., “Bus priority at signalized intersections with single-lane approaches: A novel pre-signal strategy”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 63, 51–70, (2016).

Hrstka, O. ve Kucerova, A., “Improvements of Real Coded Genetic Algorithms Based on Differential Operators Preventing Premature Convergence”, *Advances in Engineering Software*, 35, 237-246, (2004).

Hwan, J., “A Study on Setting-up a Methodology and Criterion of Exclusive Bus Lane in Urban Area”, *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5, 339-351, (2005).

Jha, A., Somani, K., Tiwari, M.K., Chan, F.T.S. ve Fernandes, K.J., “Minimizing transportation cost of a joint inventory location model using modified adaptive differential evolution algorithm”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 60(1-4), 329-341, (2011).

Keskintürk, T., “Diferansiyel Gelişim Algoritması”, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9, 85-99, (2006).

Khoo, H.L., Teoh, L.E. ve Meng Q., “A bi-objective optimization approach for exclusive bus lane selection and scheduling design”, (eds: Taylor ve Francis), *Engineering Optimization*, 46(7), 987-1007, (2013).

Khwais, M. ve Haddad, J., “Optimal pre-signal control for buses and cars at isolated signalized intersections”, *IFAC-Papers OnLine*, 50(1), 9706-9711, (2017).

Koh, A., “Solving transportation bi-level programs with Differential Evolution”, *2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, 2243-2250, (2007).

Ma, W., Head, K.L. ve Feng, Y., “Integrated optimization of transit priority operation at isolated intersections: A person-capacity-based approach”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 40, 49-62, (2014).

Mallipeddi, R., Suganthan, P.N., Pan, Q.K. ve Tasgetiren, M.F., “Differential evolution algorithm with ensemble of parameters and mutation strategies”, *Applied Soft Computing*, 11(2), 1679-1696, (2011).

Mayer, D.G. ve diğ., “Differential Evolution-An Easy and Efficient Evolutionary Algorithm for Model Optimisation”, *Agricultural Systems*, 83, 315-328, (2005).

Michalewicz, Z., “Genetic Algorithms + Data Structure = Evolution Programs”, *Springer & Verlag*, (1992).

Mumford, C.L., “New heuristic and evolutionary operators for the multi-objective urban transit routing problem”, *2013 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, (2013).

Nikolić, M. ve Teodorović, D., “A simultaneous transit network design and frequency setting: Computing with bees”, *Expert Systems with Applications*, 41(16), 7200-7209, (2014).

Özcan, T., “Kent içi Toplu Taşıma Sistemlerinde Sefer Sıklığı Optimizasyonu”, *Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Denizli, (2018).

Pitakaso, R., Sethanan, K. ve Srijaroon, N., “Modified differential evolution algorithms for multi-vehicle allocation and route optimization for employee transportation”, *Engineering Optimization*, 1-19, (2019).

PTV, A., *VISUM-Fundamentals*, Karlsruhe, Germany: PTV Traffic Mobility Logistics, (2011).

PTV, A., *PTV Visum Manual*, Karlsruhe, Germany: PTV Traffic Mobility Logistics, (2015).

Roughail, N.M., “Operational evaluation of bus priority strategies”, *In transportation research record, 994, Transportation Research Board*, Washington, DC, 30-34, (1984).

Saade, N., Doig, J. ve Cassidy, M.J., “Scheduling lane conversions for bus use on city-wide scales and in time-varying congested traffic”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 95, 248-260, (2018).

Shalaby, S.A. ve Soberman, R.M., “Effect of with flow bus lanes on bus travel times”, *Transportation research record, 1433, Transportation Research Board*, Washington, DC, 25-30, (1994).

Shalaby, S.A., “Simulating performance impacts of bus lanes and supporting measures”, *Journal of Transportation Engineering*, 125(5), 390-397, (1999).

Sheffi, Y., “Urban transport networks: Equilibrium analysis with mathematical programming methods”, *Transportation Research Part A: General*, 20(1), 76-77, (1986).

Shi, W., Yu, C., Ma, W., Wang, L. ve Nie, L., “Simultaneous optimization of passive transit priority signals and lane allocation”, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 24(2), 624-634, (2019).

Shih, M.-C., Mahmassani, H. ve Baaj, M., “Trip Assignment Model for Timed-Transfer Transit Systems”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1571, 24-30, (1997).

Silman, L.A., Barzily, Z. ve Passy, U., “Planning the Route System for Urban Busses”, *Computers & Operations Research*, 1(2), 201-211, (1974).

Storn, [02.02.2006], <http://www.icsi.berkeley.edu/~storn/code.html>, (2001).

Storn, R. ve Price, K., “Differential Evolution: A Simple and Efficient Adaptive Scheme for Global Optimization over Continuous Spaces”, *Technical Report TR-95-012, International Computer Science Institute, Berkeley*, (1995).

Tan, E., Sadak, D. ve Ayvaz, M.T., “Kanalizasyon Sistemlerinin Diferansiyel Evrim Algoritması Kullanılarak Optimum Tasarımı”, *Teknik Dergi*, 31(5), 10229-10250, (2020).

Tanaboriboon, Y. ve Toonim, S., “Impact Study of Bus Lanes in Bangkok”, *Journal of Transportation Engineering*, 109(2), 247-256, (1983).

Tom, V.M. ve Mohan, S., “Transit Route Network Design Using Frequency Coded Genetic Algorithm”, *Journal of Transportation Engineering*, 129(2), 186-195, (2003).

Vukan, R.V., *Urban transit system and technology*, Canada: John Willey and Sons, (2007).

Wardrop J.G., "Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research", *Proceedings of the Institute of Civil Engineers*, Part II, 1(2), 325-378, (1952).

Yao, J., Shi, F., Zhou, Z. ve Qin, J., "Combinatorial Optimization of Exclusive Bus Lanes and Bus Frequencies in Multi-Modal Transportation Network", *Journal of Transportation Engineering*, 138(12), 1422-1429, (2012).

Yue, H., Albert, G. ve Ike, U., "A decision model for bus-only and HOV lanes on freeways", *In CD ROM proceedings of the 82nd annual meeting of transportation research board*, Washington, DC, (2003).

Zhao, J., Yu, J., Xia, X., Ye, J. ve Yuan, Y., "Exclusive Bus Lane Network Design: A Perspective from Intersection Operational Dynamics", *Networks and Spatial Economics*, 19, 1143-1171, (2019).

7. EKLER

Senaryo 1 için 50 ile 500 taşıt arasında rastgele üretilen talep matrisi Tablo Ek.1’de verilmiştir

Tablo 7.1: Senaryo 1 için talep matrisi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	60	464	119	206	450	391	106	418	70	206	321	80	218	83
2	381	0	290	128	158	122	280	213	116	91	113	85	290	345	77
3	377	189	0	88	379	67	221	240	356	71	388	353	359	176	337
4	373	226	236	0	370	356	247	445	272	176	456	471	241	490	390
5	319	468	85	324	0	190	69	183	339	423	472	98	223	381	157
6	165	145	71	142	269	0	394	461	247	125	408	334	126	335	220
7	333	462	181	249	418	419	0	425	491	341	123	490	282	194	259
8	354	300	391	244	98	365	296	0	107	246	469	84	432	65	197
9	252	458	226	310	261	263	347	242	0	418	192	118	289	364	311
10	345	285	241	236	463	118	470	381	61	0	88	322	437	270	396
11	179	262	50	433	464	72	100	126	213	137	0	121	233	51	337
12	443	304	322	314	487	94	282	63	486	248	58	0	203	155	352
13	130	366	351	396	437	156	479	430	164	434	89	445	0	110	367
14	409	219	355	283	385	351	470	407	410	203	171	342	324	0	245
15	92	492	221	478	416	241	260	197	164	153	296	300	129	186	0

Tablo Ek.1’de verilen değerlerin 1.25 katı alınarak üretilen Senaryo 2 için talep matrisi Tablo Ek.2’de verilmiştir.

Tablo 7.2: Senaryo 2 için talep matrisi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	75	580	149	258	563	489	133	523	88	258	401	100	273	104
2	476	0	363	160	198	153	350	266	145	114	141	106	363	431	96
3	471	236	0	110	474	84	276	300	445	89	485	441	449	220	421
4	466	283	295	0	463	445	309	556	340	220	570	589	301	613	488
5	399	585	106	405	0	238	86	229	424	529	590	123	279	476	196
6	206	181	89	178	336	0	493	576	309	156	510	418	158	419	275
7	416	578	226	311	523	524	0	531	614	426	154	613	353	243	324
8	443	375	489	305	123	456	370	0	134	308	586	105	540	81	246
9	315	573	283	388	326	329	434	303	0	523	240	148	361	455	389
10	431	356	301	295	579	148	588	476	76	0	110	403	546	338	495
11	224	328	63	541	580	90	125	158	266	171	0	151	291	64	421
12	554	380	403	393	609	118	353	79	608	310	73	0	254	194	440
13	163	458	439	495	546	195	599	538	205	543	111	556	0	138	459
14	511	274	444	354	481	439	588	509	513	254	214	428	405	0	306
15	115	615	276	598	520	301	325	246	205	191	370	375	161	233	0

Tablo Ek.1’de verilen değerlerin 1.5 katı alınarak üretilen Senaryo 3 için talep matrisi Tablo Ek.3’te verilmiştir.

Tablo 7.3: Senaryo 3 için talep matrisi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	90	696	179	309	675	587	159	627	105	309	482	120	327	125
2	572	0	435	192	237	183	420	320	174	137	170	128	435	518	116
3	566	284	0	132	569	101	332	360	534	107	582	530	539	264	506
4	560	339	354	0	555	534	371	668	408	264	684	707	362	735	585
5	479	702	128	486	0	285	104	275	509	635	708	147	335	572	236
6	248	218	107	213	404	0	591	692	371	188	612	501	189	503	330
7	500	693	272	374	627	629	0	638	737	512	185	735	423	291	389
8	531	450	587	366	147	548	444	0	161	369	704	126	648	98	296
9	378	687	339	465	392	395	521	363	0	627	288	177	434	546	467
10	518	428	362	354	695	177	705	572	92	0	132	483	656	405	594
11	269	393	75	650	696	108	150	189	320	206	0	182	350	77	506
12	665	456	483	471	731	141	423	95	729	372	87	0	305	233	528
13	195	549	527	594	656	234	719	645	246	651	134	668	0	165	551
14	614	329	533	425	578	527	705	611	615	305	257	513	486	0	368
15	138	738	332	717	624	362	390	296	246	230	444	450	194	279	0

Mandl test ağına ait B-V talep matrisi Tablo Ek.4’te verilmiştir.

Tablo 7.4: Mandl test ağı B-V yolcu talep matrisi (yolcu/saat)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	400	200	60	80	150	75	75	30	160	30	25	35	0	0
2	400	0	50	120	20	180	90	90	15	130	20	10	10	5	0
3	200	50	0	40	60	180	90	90	15	45	20	10	10	5	0
4	60	120	40	0	50	100	50	50	15	240	40	25	10	5	0
5	80	20	60	50	0	50	25	25	10	120	20	15	5	0	0
6	150	180	180	100	50	0	100	100	30	880	60	15	15	10	0
7	75	90	90	50	25	100	0	50	15	440	35	10	10	5	0
8	75	90	90	50	25	100	50	0	15	440	35	10	10	5	0
9	30	15	15	15	10	30	15	15	0	140	20	5	0	0	0
10	160	130	45	240	120	880	440	440	140	0	600	250	500	200	0
11	30	20	20	40	20	60	35	35	20	600	0	75	95	15	0
12	25	10	10	25	15	15	10	10	5	250	75	0	70	0	0
13	35	10	10	10	5	15	10	10	0	500	95	70	0	45	0
14	0	5	5	5	0	10	5	5	0	200	15	0	45	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0