

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
EKONOMETRİ ANABİLİM DALI
YÖNEYLEM ARAŞTIRMASI BİLİM DALI

**HAT ÇİZELGELEME PROBLEMİNE GENETİK ALGORİTMA YAKLAŞIMI:
İETT ÖRNEĞİ**

Yüksek Lisans Tezi

ZEHRA ERPİK

İSTANBUL, 2019

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
EKONOMETRİ ANABİLİM DALI
YÖNEYLEM ARAŞTIRMASI BİLİM DALI

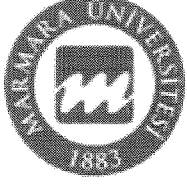
**HAT ÇİZELGELEME PROBLEMİNE GENETİK ALGORİTMA YAKLAŞIMI:
İETT ÖRNEĞİ**

Yüksek Lisans Tezi

ZEHRA ERPİK

Danışmanı: Doç. Dr. Habip Koçak

İSTANBUL, 2019



T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

TEZ ONAY BELGESİ

EKONOMETRİ Anabilim Dalı YÖNEYLEM ARAŞTIRMASI Bilim Dalı TEZLİ YÜKSEK LİSANS öğrencisi ZEHRA ERPİK'in HAT ÇİZELGELEME PROBLEMİNE GENETİK ALGORİTMA YAKLAŞIMI: İETT ÖRNEĞİ adlı tez çalışması, Enstitümüz Yönetim Kurulunun 18.04.2019 tarih ve 2019-10/23 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi ...29.../...04.../...2019...

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Öğretim Üyesi Adı Soyadı	İmzası
1. Tez Danışmanı Doç. Dr. HABİP KOÇAK	
2. Jüri Üyesi Prof. Dr. TUNCAY CAN	
3. Jüri Üyesi Prof. Dr. İBRAHİM DOĞAN	

GENEL BİLGİLER

İsim ve Soy isim	: Zehra Erpik
Anabilim Dalı	: Ekonometri
Bilim Dalı	: Yöneylem Araştırması
Tez Danışmanı	: Doç. Dr. Habip Koçak
Tez Türü ve Tarihi	: Yüksek Lisans – Mart 2019
Anahtar Kelimeler	: Genetik Algoritma, Toplu Ulaşım Planlaması, Optimizasyon, Çizelgeleme, Hat Çizelgeleme, Hat Planlama, Ulaşım Planlaması, BRT

ÖZ

Dünyada kentleşme ve buna bağlı olarak kent nüfusu hızla artmaktadır. Kentlerdeki artan bu nüfus yoğunluğu ile birlikte toplu ulaşım modellerinin de gelişmesi zorunluluğu doğmuştur. Bu artışla birlikte doğan ulaşım sorunlarını çözmek için kabul görmüş ilk çözüm halkı kent içi toplu ulaşımına yönlendirmektir. Halkın kent içi toplu taşıma sistemlerine yönlenebilmesi için yüksek kapasiteye sahip konforlu ve güvenli bir toplu taşıma sistemi oluşturarak artan nüfusun ulaşım taleplerini karşılamak gereklidir. Bunun için eldeki kaynakları verimli kullanmak ve etkin bir planlama yapmak gerekir.

Günümüzde bireyler veya işletmeler eşzamanlı olarak birden fazla amacı optimum düzeye getirmeye çalışarak zaman ve maliyet değerlerini minimize etmeyi ya da gelir veya kârlarını maksimize ederek sistemlerini iyileştirmeyi hedeflemektedirler. Kent içi toplu ulaşım hizmetleri konusunda; işletmecilerin önceliği işgücü ve kurum kaynaklarının verimliliğini arttırmak ve buna bağlı olarak maliyetleri minimize etmek iken, yolcular ise hizmet kalitesini ve kendileri için düşük yolculuk maliyetini öncelemektedir.

Çalışmanın birinci bölümünde optimizasyon kavramı ana hatlarıyla incelenmiştir. İkinci bölümde ise Genetik Algoritmanın tanımı, varsayımları, yapısı, sınıflandırması, uygulama alanları, avantaj ve dezavantajlarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde ise İstanbul'un ilk metrobüs hattı olan Beylikdüzü-Söğütlüçeşme hattı detaylı olarak incelenmiştir. Üçüncü bölümde ayrıca 2017 yılı İETT Metrobüs Müşteri Memnuniyeti Anketi sonuçlarına yer verilmiştir. Dördüncü ve son bölümde ise Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme metrobüs hattının verileri kullanılarak MATLAB Paket programında modeller oluşturulmuş ve Genetik Algoritma Toolbox'ı ile elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.



GENERAL KNOWLEDGE

Name and Surname : Zehra Erpik

Field : Econometrics

Programme : Operations Research

Supervisor : Doç. Dr. Habip Koçak

Degree Awarded and Date : Master's Degree – March 2019

Keywords : Genetic Algorithm, Public Transportation Planning, Optimization, Scheduling, Line Scheduling, Line Planning, Transportation Planning, BRT

ABSTRACT

The urbanization in the world and the urban population are increasing rapidly. With the increasing population density in cities, public transportation models have to be developed. The first solution to solve the transportation problems arising with this increase is to direct the public to the urban mass transportation. In order for the public to be directed to public transportation systems, it is necessary to meet the transportation demands of the increasing population by creating a comfortable and safe public transportation system with high capacity. This requires efficient use of resources and make effective planning.

Nowadays, individuals or operators aim is while minimizing the time and cost value, trying to maximize their incomes and profits. In terms of public transport services; The priority of the operators is to increase the efficiency of labor and institution resources and thus to minimize costs, while the passengers prioritize the quality of service and the low cost of travel for themselves.

In the first part of the study, the concept of optimization is outlined. In the second part, the definition, assumptions, structure, classification, application areas, advantages and disadvantages of Genetic Algorithm are given. In the third section, Beylikdüzü-Söğütlüçeşme metrobus line, the first metrobus line of İstanbul, has been examined in detail. In the third section, the results of IETT Metrobus Customer Satisfaction Survey of 2017 are included. In the fourth and last chapter, using the data of Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme metrobus line, models were created in MATLAB Package program and the results obtained with Genetic Algorithm Toolbox were evaluated.



ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca değerli bilgi, görüş, destek ve önerilerini benden esirgemeyen, danışman hocam Doç. Dr. Habip KOÇAK'a, çalışmanın uygulama bölümündeki MATLAB paket programında algoritmanın kodlarını yazarak bilgi ve tecrübesi ile desteğini eksik etmeyen İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde görevli Arş. Gör. Osman Hürol TÜRKAKIN'a, çalıştığım kurum olan İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü'nde bu çalışmaya katkı sunan tüm mesai arkadaşlarıma ve yöneticilerime teşekkürü bir borç bilir, beni koruyup kollayan ve bugünlere getiren anne-babama, varlık ve sevgisi ile bana güç veren desteğini benden bir an olsun esirgemeyen eşime ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Hamd ancak Alemlerin Rabbi olan Allah (c.c.)'adır. Gayret bizden tevfik Allah'tandır.

Zehra ERPİK

Mart, 2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa No.

ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
TABLO LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiv
KISALTMALAR	xvii
1. GİRİŞ	1
2. OPTİMİZASYON TEKNİKLERİ	3
2.1 OPTİMİZASYON KAVRAMLARI.....	4
2.1.1 Proses Optimizasyonu.....	5
2.1.2 Bilgisayar Optimizasyonu.....	5
2.1.3 Maliyet Optimizasyonu.....	5
2.1.4 Çok Değişkenli Optimizasyon	6
2.1.5 Arama Motoru Optimizasyonu	6
2.2 OPTİMİZASYONUN TEMEL UNSURLARI.....	6
2.2.1 Değişkenler	6
2.2.2 Amaç Fonksiyonu	6
2.2.3 Kısıtlar	6
2.3 OPTİMİZASYON MODELLERİ.....	7
2.3.1 Klasik Optimizasyon.....	7
2.3.1.1 Kısıtlı Optimizasyon Teknikleri	7
2.3.1.2 Kısıtsız Optimizasyon Teknikleri	8

2.3.2 Akıllı Optimizasyon Modelleri	8
2.3.2.1 Karınca Algoritması.....	9
2.3.2.2 Tavlama Benzetimi Algoritması.....	9
2.3.2.3 Tabu Arama Algoritması	9
2.3.2.4 Yapay Sinir Ağları	10
2.3.2.5 Genetik Algoritma	10
2.3.2.6 Bulanık Mantık	10
3. GENETİK ALGORİTMA	11
3.1 GENETİK ALGORİTMA TANIMI VE TARİHÇESİ.....	11
3.2 GENETİK ALGORİTMA İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR	12
3.2.1 Gen.....	12
3.2.2 Kromozom (Birey).....	12
3.2.3 Popülasyon.....	12
3.2.4 Kodlama.....	13
3.2.5 Uygunluk Fonksiyonu.....	14
3.3 GENETİK OPERATÖRLER	14
3.3.1 Seçim/Yeniden Üretim (Selection/Reproduction)	14
3.3.2 Çaprazlama (Crossover)	14
3.3.3 Mutasyon	15
3.3.4 Durdurma Kriteri	16
3.4 GENETİK ALGORİTMALARDA KONTROL PARAMETRELERİ.....	16
3.4.1 Popülasyon Büyüklüğü	17
3.4.2 Çaprazlama Oranı	17
3.4.3 Mutasyon Oranı	17
3.5 GENETİK ALGORİTMALARIN ÇALIŞMA PRENSİBİ.....	18

3.6 GELENEKSEL METOTLAR İLE GENETİK ALGORİTMALAR ARASINDAKİ FARKLAR	21
3.7 GENETİK ALGORİTMA UYGULAMA ALANLARI.....	21
3.7.1 Eniyileme “Optimizasyon”	21
3.7.2 Otomatik Programlama ve Bilgi Sistemleri.....	22
3.7.3 Mekanik Öğrenme	22
3.7.4 Finans ve Pazarlama	23
3.7.5 Rotalama Problemleri	23
3.7.6 Gezgin Satıcı Problemi	23
3.7.7 Çizelgeleme Problemleri.....	23
3.7.8 Hücresel Üretim Problemleri.....	24
3.7.9 Taşıma Problemleri.....	24
4. İSTANBUL METROBÜS (BRT) SİSTEMİNİN İNCELENMESİ.....	25
4.1 METROBÜS (BRT) NEDİR?.....	25
4.2 METROBÜS (BRT) TARİHÇESİ?	26
4.3 İSTANBUL METROBÜS (BRT) SİSTEMİNİN İNCELENMESİ.....	27
4.3.1 İstanbul Metrobüs Hattının Tarihçesi	27
4.3.2 İstanbul Metrobüs Hattının Sistem Elemanları.....	28
4.3.2.1 İstasyonlar	28
4.3.2.2 Garajlar, Bakım ve Dolum İstasyonları.....	33
4.3.3 İstanbul Metrobüs İşletme Modeli	33
4.3.3.1 Araçlar	34
4.3.3.2 Ücretlendirme sistemi	35
4.3.3.3 Şoförler	36
4.3.3.4 Komuta Kontrol Merkezi.....	36
4.4 İSTANBUL METROBÜS YOLCULUK ANALİZİ	37

4.5 İSTANBUL METROBÜS 2017 MÜŞTERİ MEMNUNİYETİ ANKETİ (MMA) ANALİZİ	40
4.5.1 Amaç ve Kapsam	40
4.5.2 2017 Müşteri Memnuniyet Anketi Analizi Sonuçları.....	43
4.5.2.1 Demografik Yapı	43
4.5.2.2 Seyahat Bilgileri ve Kullanım Alışkanlıkları	47
4.5.2.3 Memnuniyet Seviyeleri.....	50
5. HAT ÇİZELGELEME PROBLEMİNE GENETİK ALGORİTMA YAKLAŞIMI: İETT ÖRNEĞİ.....	57
5.1 SİSTEMİN MODELLENMESİ, VARSAYIM VE PARAMETRELERİ	57
5.2 MATLAB PAKET PROGRAMINDA MEVCUT SİSTEM SİMÜLASYONUNUN ÇALIŞTIRILMASI	64
5.3 MATLAB GENETİK ALGORİTMA TOOL'U ÇALIŞMA PRENSİBİ	73
5.4 GENETİK ALGORİTMA UYGULAMA SONUÇLARI	79
6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	86
EKLER	88
KAYNAKÇA.....	98

TABLO LİSTESİ

Sayfa No.

Tablo 3.2 Kontrol Parametreleriyle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	18
Tablo 4.1 Metrobüs Hat Uzunlukları Ve İstasyon Sayıları	30
Tablo 4.2 İstasyonlar Arası Mesafeler	32
Tablo 4.3 Metrobüs İşletme Bilgileri.....	34
Tablo 4.4 Metrobüste Çalışan Araç Bilgileri.....	35
Tablo 4.5 Metrobüs Araçları Yakıt Bilgileri	35
Tablo 4.6 Mesafe Bazlı Ücretler (Nisan,2018).....	36
Tablo 4.7 2017 MMA Kapsamında Görüşülen Kişi Sayısı	41
Tablo 5.1 İstasyonların Dakikalık Ortalama Yolculukları.....	61
Tablo 5.2 İstasyonlara Gelen Yolcuların Standart Sapma Değerleri	61
Tablo 5.3 Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme Etabı OD Matris	62
Tablo 5.4 Araç İçi Anlık Boşaltma Oranları.....	63
Tablo 5.5 İstasyon Araç Kapasiteleri.....	63
Tablo 5.6 Uygulama İçin Kullanılan GA Parametreleri Ve Değerleri	81
Tablo 5.7 GA'da İterasyon Sayıları Ve Ulaşılan Optimum Değerler	82
Tablo 5.8 Optimum Çözümlerin Karşılaştırılması.....	83
Tablo 6.1 Mevcut Sistem İle Optimum Çözümler Arası Kıyaslama.....	83

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No.
Şekil 2.1: Optimizasyon Eğrisi.....	4
Şekil 3.1: Popülasyon Yapısı.....	13
Şekil 3.2: Mutasyon İşlemi.....	15
Şekil 3.3: Genetik Algoritma Akış Diyagramı	20
Şekil 4.1: Curitiba Metrobüs Örneği (http://curitibainenglish.com.br , 2018).....	26
Şekil 4.2: Bogota Metrobüs Örneği (thecitypaperbogota.com , 2018)	27
Şekil 4.3: İstanbul Metrobüs Haritası (İETT, 2018)	28
Şekil 4.4: İstanbul Metrobüs Hattı İstasyonları.....	29
Şekil 4.5: Yıllara Göre Metrobüs Yolculuk Sayıları (İETT, 2018).....	38
Şekil 4.6: 2017 Yılı'nın Saat Bazlı Metrobüs Yolculuk Ortalamaları (günlük).....	38
Şekil 4.7: 2017 Yılı Metrobüs İstasyonları Toplam Yolculuk	39
Şekil 4.8: Yıllara Göre Metrobüs MMA Oranları	42
Şekil 4.9: Metrobüs Hattında Memnuniyetsizliğe Sebep Olan Unsurlar	42
Şekil 4.10: İETT MMA Cinsiyete Göre Dağılım.....	43
Şekil 4.11: İETT MMA Yaşa Göre Dağılım	44
Şekil 4.12: İETT MMA Çalışma Durumuna Göre Dağılım.....	44
Şekil 4.13: İETT MMA Özel Araç Sahiplik Durumu	45
Şekil 4.14: İETT MMA Eğitim Durumu	45
Şekil 4.15: İETT MMA Aylık Hane Geliri	46
Şekil 4.16: İETT MMA Aylık Ulaşım Gideri	47
Şekil 4.17: İETT MMA Metrobüs Kullanım Sıklığı	47
Şekil 4.18: İETT MMA Yolculuk Amacı	48
Şekil 4.19: İETT MMA Ortalama Seyahat Süresi	49
Şekil 4.20: İETT MMA Aktarma Oranı	49
Şekil 4.21: İETT MMA Tercih Edilme	50
Şekil 4.22: İETT MMA Kriterlerin Önem Düzeyleri.....	50
Şekil 4.23: İETT MMA Kriterlerin Genel Memnuniyet Puanı	51

Şekil 4.24: İETT MMA Araç Sefer Sıklığı Memnuniyeti.....	52
Şekil 4.25: İETT MMA İstasyonda Bekleme Süresi Memnuniyeti	52
Şekil 4.26: İETT MMA Araç İçi Yolculuk Süresinden Memnuniyet	53
Şekil 4.27: İETT MMA İstasyon Doluluk Oranından Memnuniyet	53
Şekil 4.28: İETT MMA Araç İçi Doluluk Oranından Memnuniyet.....	54
Şekil 4.29: İETT MMA Ulaşım Ücretinden Memnuniyet	54
Şekil 4.30: İETT MMA Metrobüs Genel Değerlendirme	55
Şekil 4.31: İETT MMA İstasyonda Bekleme Süresine Göre Memnuniyet	55
Şekil 4.32: İETT MMA Araç İçi Yolculuk Süresine Göre Memnuniyet.....	56
Şekil 5.1: MATLAB Mevcut Sistem Simülasyonu Araç Yönünün Negatiflenmesi.....	59
Şekil 5.2: MATLAB Paket Programında Araç Sayısı, Kapasite Ve Hız Verilerinin Tanımlanması.....	60
Şekil 5.3: MATLAB Paket Programı İstasyon Kapasitelerinin Tanımlanması	64
Şekil 5.4: MATLAB Paket Programında Tanımlanan Parametreler.....	64
Şekil 5.5: MATLAB Simülasyonu Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme İstasyonlar Ve Sistem Akışı.....	65
Şekil 5.6: MATLAB Simülasyonu İstasyona Araç Atama Akış Diyagramı.....	66
Şekil 5.7: MATLAB Kodlama Sistemi İle Araçların Sistemde İlerlemesi	67
Şekil 5.8: MATLAB Kodlama Sistemi İle Araçların Sanal Bekleme Alanına Alınması	67
Şekil 5.9: MATLAB Kodlama Sistemi İle Araçları İstasyonlara Yerleştirme.....	67
Şekil 5.10: MATLAB Simülasyonu Sanal Bekleme Alanından İstasyona Araç Atanması Akış Diyagramı.....	68
Şekil 5.11: MATLAB Simülasyonu Yolcunun İstasyona Gelişi Ve Araca Biniş Akış Diyagramı	69
Şekil 5.12: Araç Kapasite Belirleme (E. Pekel, 2015)	70
Şekil 5.13: MATLAB Kodlama Sisteminde Sisteme Gelen Yolcu Sayılarının Arttırılması	70
Şekil 5.14: 70 Araçlık Sistem Simülasyonu Grafik Çıktıları	71
Şekil 5.15: MATLAB GA Akış Diyagramı	73
Şekil 5.16: GA MATLAB Kodu	73
Şekil 5.17: MATLAB (R2018a) GA Tool'u Optimizasyon Ekranı.....	76

Şekil 5.18: Uygulama İçin GA Uygunluk Fonksiyonu	76
Şekil 5.19: Fitness Function İçin Modelde Tahmin Edilecek Uygulama Parametreleri	77
Şekil 5.20: GA Tool Seçim Fonksiyonu	78
Şekil 5.21: GA Tool Mutasyon ve Çaprazlama Operatörleri.....	78
Şekil 5.22: GA Tool Durdurma Kriteri Ve Grafik Seçenekleri	79
Şekil 5.23: Fval-Ödünleşim Grafiği	81
Şekil 5.24: Çözüm No.1 Zincirlikuyu Yönü Söğütlüleşme ve Zincirlikuyu İstasyonu Bekleyen Yolcu Grafiği	84
Şekil 5.25: Çözüm No.2 için Zincirlikuyu Yönü Söğütlüleşme ve Zincirlikuyu İstasyonu Bekleyen Yolcu Grafiği	84
Şekil 5.26: Çözüm No.15 için Zincirlikuyu Yönü Söğütlüleşme ve Zincirlikuyu İstasyonu Bekleyen Yolcu Grafiği.....	85

KISALTMALAR

BRT	: Bus Rapid Transit
CAP	: Capacity
DK	: Dakika
FIFO	: First In First Out
GA	: Genetik Algoritma
KM	: Kilometre
LT	: Litre
MATLAB	: Matrix Laboratory
MAX	: Maximum
MIN	: Minimum
MMA	: Müşteri Memnuniyeti Anketi
OD	: Origin Destinatination
ÖHO	: İstanbul Özel Halk Otobüsleri
SN	: Saniye
TL	: Türk Lirası
UKOME	: Ulaşım Koordinasyon Merkezi
İETT	: İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri Genel Müdürlüğü
İOAŞ	: İstanbul Otobüs Anonim Şir

1. GİRİŞ

İstanbul, her geçen yıl artan nüfusu ve gelişen ekonomisiyle yolcu ve yük hareketliliğinin sadece ülkemizde değil dünyada da en fazla olduğu şehirlerin arasında ilk sıralardadır. Nüfus yoğunluğunun yıllar içerisinde artış göstermesinin temel sebepleri coğrafi konumunun elverişli olmasının yanı sıra sosyal, kültürel, ekonomik, ticari ve turizm açısından da şehrin gelişmişlik göstermesidir. Bu sebeple kent içinde planlı ve verimli bir toplu ulaşım sisteminin kurulması kaçınılmazdır. İstanbul'daki nüfus yoğunluğunun ve otomobil sahipliğinin hızla artması toplu ulaşım problemlerinin ortaya çıkmasındaki temel etkenlerin başında gelmektedir. Bu artan hareketliliğe en hızlı şekilde toplu taşıma olanakları sunarak cevap verilmelidir. Bunun için de kent içi toplu taşıma sistemlerinde hızlı, konforlu, çevreci ve yüksek kapasite sunan çözümler üretilmelidir. Hızlı çözüm ihtiyacı iki farklı yöntemle ortaya çıkmaktadır. Birincisi; sistemin kurulmasının hızlı olması ve ikincisi de; kurulan sistemin hızlı işletilmesi.

Lastik tekerlekli sistemlerin hız problemine çözüm olarak kent içi toplu ulaşım tahsis edilmiş yollar veya bazı yollarda toplu ulaşım öncelikli şeritler şeklinde farklı politikalar uygulanabilir. Toplu ulaşım tahsis edilmiş bu yollarda yüksek frekanslarla otobüs taşımacılığının yapıldığı sistemler literatürde "Hızlı Otobüs Taşımacılığı"(Bus Rapid Transit – BRT) olarak adlandırılmaktadır. Nitekim bunun güzel bir uygulaması İstanbul'da doğu-batı ana aksında D-100 karayolu üzerinde Beylikdüzü-Söğütluçeşme güzergahında mevcuttur. Metrobüs olarak adlandırılan bu sisteme D-100 karayolu üzerinde 2 şerit tahsis edilmiştir. Metrobüs 'ün sunmuş olduğu yüksek hız, erişilebilirlik ve ilk zamanlardaki konfor bu sisteme olan talebin hızla artmasına neden olmuştur. Sisteme olan talebin artmasıyla birlikte zaman içerisinde istasyonlarda yolcuların bekleme süreleri artmakta, araç içi yoğunluk konfor seviyesinin altına düşmektedir. Bu sorun beraberinde alternatif işletim planlarının ve yeni hat varyasyonlarının uygulanması ihtiyacını doğurmuştur.

Bu tez çalışması yukarıda bahsedilen gerçeklerden yola çıkarak karayolu üstyapısını kullanan kent içi toplu ulaşım sistemlerinde, İstanbul Beylikdüzü-Söğütluçeşme metrobüs sistemine alternatif bir planlama oluşturmak amacı ile genetik

algoritma ile optimizasyon yöntemini ele almıştır. Bu çalışmayı mevcut bir toplu ulaşım sistemi ve yolculuk verilerini kullanarak gerçekleştirmek için metrobüs hattının Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme etabı örnek olarak seçilmiştir. Türkiye’de ilk düzenli ve işletme açısından karma toplu ulaşım sistemine sahip olan İstanbul ili, 2007 yılından bu yana metrobüs sistemi etkin olarak kullanılmaktadır. Bu özelliği ile de tez çalışması için ideal bir örnek sistemdir.

Genetik algoritma yöntemini kullanarak toplu ulaşım sistemi içindeki metrobüs hattının Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme etabının istasyonda bekleme sürelerini ve araç sayılarını optimize etmek amacı ile başladığım bu çalışmada mevcut yolcu sayısı, hat güzergahı, araç sayısı, araç kapasitesi ve ticari hızı, istasyon bazlı yolculuk talepleri gibi veriler ortaya konulan yöntemin en önemli girdilerini oluşturmaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde optimizasyon kavramı ana hatlarıyla incelenmiştir. İkinci bölümde ise akıllı optimizasyon tekniklerinden biri olan Genetik Algoritmanın tanımı, varsayımları, yapısı, sınıflandırması, uygulama alanları, avantaj ve dezavantajlarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde ise örnek uygulama sistemi olarak seçilen Beylikdüzü-Söğütlüçeşme metrobüs sistemi tanıtılmış, sistem içinde yer alan toplam yolculuk değerleri ve bu yolculukların hatlara ve yıllara dağılımları ise yine bu bölüm içinde sunulmuştur. İETT tarafından yaptırılan 2017 Metrobüs müşteri memnuniyet anketine ve sonuçlarının değerlendirilmesine de bu bölüm içerisinde yer verilmiştir.

İstanbul kent içi toplu ulaşım sistemi içinde yer alan Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme metrobüs hattı üzerinde örnek bir uygulama yapılarak bu uygulamaya ait çalışma yöntemi, modelin oluşturulması, algoritmanın çalıştırılması gibi detaylar dördüncü bölümün içinde yer almaktadır. Belli maliyetler ve memnuniyet açısından bir ulaştırma değerlendirmesi yapılmış, sonuçlar detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.

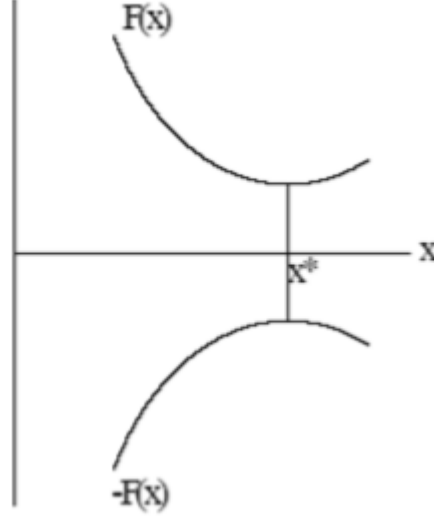
Çalışmanın sonuç bölümünde ise analiz sonuçları kullanılarak modelin değerlendirilmesi yapılmış, genetik algoritmaların toplu ulaşım sistemi problemlerinde kullanımına ilişkin değerlendirme yapılmıştır.

2. OPTİMİZASYON TEKNİKLERİ

Latince kökenli bir kelime olan optimum, nihai ideal anlamına gelmektedir. Bir problemin olası çözümleri arasından en iyisinin belirlenmesi işlemine ise Optimizasyon denir. Optimizasyon problemlerinin çözümü belirli sınırlamaları sağlayacak şekilde matematiksel ifadelere veya kurallara dayanan algoritmalarla mümkün olmaktadır. Optimizasyon problemlerinin çözümünde tek bir yöntem bulunmamaktadır ve kullanılan yöntemler gerçek çözümü bulmayı garanti etmemektedir, ancak makul bir çözüm bulmaya çalışmaktadır. (Kaya, 2012).

Matematiksel olarak ifade etmek gerekirse optimizasyonu, sayısal bir fonksiyonu maksimize veya minimize etme probleminin çözümlenmesi için bir küme dahilindeki izin verilen değerlerini sistematik bir şekilde kullanarak arama işlemi olarak da tanımlayabiliriz. Bir denklemin kök belirleme işlemi veya optimizasyonu, birbirleriyle karıştırılabilecek kavramlardır. Kök belirleme işlemi, bir fonksiyonun veya fonksiyonların sıfır olduğu noktaların belirlenmesi olarak tanımlanırken optimizasyonda ise minimum veya maksimum noktaların aranması durumu söz konusudur.

Çoğu optimizasyon metotları, kök veya sıfır araştırma işlemi kullanır. Optimizasyon için türevin sıfır olduğu yerleri araştırmak gerekmektedir. Teknik problemlerin birçoğu köklerini bulmak üzere formülize edilebilir. Fakat bir kısım optimizasyon yöntemleri bu kökleri bulmada yetersiz kalmaktadır (Pierre, 1992). Şekil 2.1' de görülen x^* noktası $F(x)$ fonksiyonun minimum noktası ise $-F(x)$ fonksiyonunun maksimum noktasıdır.



Şekil 2.1: Optimizasyon Eğrisi

Kaynak: (Kaya, 2012)

Bir problemin birden fazla çözümü varsa en iyi çözümü bulmak gerekir. Bazı problemlerin tam cevabı bulunurken, bazıları optimal noktalar olarak bilinen değişik minimum ve maksimum noktalarına sahiptir. Optimizasyon ile bu noktalar bulunabilir (Kaya, 2012).

Farklı optimizasyon problemleri için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları; Stokastik, İstatistiksel, Deterministik, Matematiksel, Sezgisel gibi optimizasyon çözüm yöntemleridir. Sezgisel yöntemlerden karmaşık ve zaman alan bir problemin çözümünde en çok tercih edilen ve son zamanlarda yaygın olarak genetik algoritmalar kullanılmaktadır. Son yıllarda bilgisayarların hızlarındaki artış bu algoritmaların uygulama sahasında sıkça görülmesine olanak sağlamaktadır. Genetik Algoritmalar, özellikle kombinasyonel optimizasyon problemlerinde yaklaşık iyi sonuçlar bulmayı hedefleyen arama yöntemleri sunmaktadır. (Kaya, 2012)

2.1 OPTİMİZASYON KAVRAMLARI

Bir problemin matematiksel modeli, bir eşitlikler sistemi ve problemin temelini açıklayan matematiksel ifadelerden oluşmaktadır. Bu matematiksel ifadede eğer hedeflenen n tane karar varsa, bunlar karar değişkenleri ($x_1, x_2 \dots x_n$) olarak temsil

edilir. Elde edilmek istenen sonuca uygun bir şekilde hazırlanmış karar değişkenleri fonksiyonuna amaç fonksiyonu denir. Karar değişkenlerinin alabileceği değerlere ilişkin sınırlamalar var ise bu sınırlamalar eşitsizlik ya da eşitliklerle kısıt fonksiyonu olarak tanımlanır. Bu aşamalardan sonra amaç, tüm kısıt fonksiyonlarını sağlayan amaç fonksiyonundaki karar değişkenlerinin en iyi değerlerini belirlemektir (Ruhul, 2007).

Tüm kısıtları sağlayan çözüm uygun çözüm olarak adlandırılır. Tüm uygun çözümlerin kümesine uygun bölge denir. Amaç fonksiyonunu maksimum yapan uygun bölgedeki bir çözüm ise optimal çözüm olarak adlandırılır. Başka optimizasyon modelleri amaç fonksiyonunu minimize etmeyi amaçlayabilir (maliyetin minimize edilmesi). Ayrıca modeller karışık kısıtlamalara sahip olabilir, eşitlik ve eşitsizliklerden oluşabilir veya hiçbir kısıtlama olmayabilir (Doğan, 1995)

Farklı sektör ve uzmanlık alanlarına yönelik farklı optimizasyon teknikleri bulunmaktadır.

2.1.1 Proses Optimizasyonu

Maliyet düşürme, yüksek kar ya da üretim sağlama gibi temel hedefleri baz almaktadır. Kısıtlar dahilinde problemde etkin olan parametreler kümesi optimize edilmektedir (Engin, 2013).

2.1.2 Bilgisayar Optimizasyonu

Sistem yaklaşımı ile problemlere çözüm arama yöntemidir. Sistemin verimli çalışmasını sağlar iken kaynak tüketimini de en az seviyeye düşürmeye çalışan bir işlemi tanımlamaktadır. Bilgisayarlarda kullanılan yazılımlar bunun için iyi birer örnek oluşturmaktadır. Yazılımlar bir yandan kendilerini yeni özellikler ile geliştirir iken bir yandan da bilgisayar sisteminde en hızlı çalışacak şekilde kendilerini optimize etmektedirler (Engin, 2013).

2.1.3 Maliyet Optimizasyonu

İşletmenin elde ettiği karın artırılması ya da maliyetlerin azaltılması için kullanılmaktadır. Kısıtlar dahilinde en yüksek kar ve en düşük maliyeti hedeflemektedir (Engin, 2013).

2.1.4 Çok Değişkenli Optimizasyon

Birden fazla değişkenin eş zamanlı etkin olduğu problemlere yönelik en iyileştirme yöntemidir. Oldukça yaygın kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Akıllı optimizasyon teknikleri bu kategori içinde yer almaktadır (Engin, 2013).

2.1.5 Arama Motoru Optimizasyonu

Web sitelerinin internet okyanusunda kolayca aranıp bulunması ve yapılan aramalarda ön sıralarda yer alması oldukça yaygın bir arzudur. Bu kavram internet arama motorlarının çalışma şeklini analiz ederek insanların ne için arama yaptıklarını araştırmaktadır. Web sitesinin içeriği, anahtar kelimeleri ve arama parametreleri ile en uygun şekilde eşleştirilmesini hedef alan bu optimizasyon kavramı arama motorlarının indeksleme faaliyetlerini yönetmeyi hedeflemektedir (Engin, 2013).

2.2 OPTİMİZASYONUN TEMEL UNSURLARI

Optimizasyon problemleri de diğer problem türleri gibi belirli temel öğelerden oluşmaktadır. Bir optimizasyon problemi için üç farklı unsurdan bahsedilebilir.

2.2.1 Değişkenler

Tüm karar verme süreçlerinde değeri belirlenecek değişkenlerin tanımlanması ve değişkenlerin uygun matematik semboller ile gösterimi gerekmektedir. Bu değişkenlere karar değişkenleri de denilmektedir. Üretim tipi problemlerinde herhangi bir işlem için kullanılan zaman, değişken olarak tanımlanabilir. Değişken sayısı problemin çözüm zamanını da etkileyen bir faktördür. Değişken sayısının fazla olması çözüm sürecini uzatmaktadır (Engin, 2013).

2.2.2 Amaç Fonksiyonu

Karar vericinin amacını yansıtan fonksiyona denilmektedir. Maksimum ya da minimum yapılmak istenen fonksiyon olarak da tanımlanmaktadır. Problemin hedeflerini içeren amaç fonksiyonu matematiksel modelin de kendisidir (Engin, 2013).

2.2.3 Kısıtlar

Değişkenlerin alacağı değer aralığını belirleyen faktörlerdir. Karar değişkenlerinin değerlerini sınırlandıran kısıtları yansıtan bu fonksiyonlara kısıtlayıcı fonksiyonlar veya kısaca kısıtlayıcılar denir (Engin, 2013).

2.3 OPTİMİZASYON MODELLERİ

Bir optimizasyon problemi ele alındığında öncelikle, amaç fonksiyonun özellikleri, kısıt fonksiyonları ve karar değişkenlerinin durumu incelenmelidir. Örneğin amaç fonksiyonu için; doğrusal veya doğrusal olmayan, ayrık veya ayrık olmayan, içbükey veya dışbükey tanımlamaları yapılabilir. Karar değişkenleri için ise; sürekli veya ayrık, içbükey veya dışbükey olma durumu söz konusudur. Bu farklı durumlar çözümü ve çözüm yöntemini doğrudan etkilemektedir (Engin, 2013)

Bir fonksiyon, c_i değerleri sabit olmak koşulu ile;

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1x_1, c_2x_2, \dots, c_nx_n$$

şeklinde ifade edilebilmekte ise doğrusaldır. Eğer amaç fonksiyonu ve tüm kısıt fonksiyonları, doğrusal fonksiyonlardan oluşmakta ise modele doğrusal programlama modeli denir.

Amaç fonksiyonu veya kısıt fonksiyonlarından herhangi biri doğrusal değil ise bu tip modellere doğrusal olmayan programlama modeli denilmektedir. Doğrusal olmayan programlama problemleri de kendi içinde pek çok farklı şekilde olabilir. Tek bir algoritma ile tüm bu farklı problem türlerini çözmek imkânsızdır. Bu gerçekten hareket ile farklı optimizasyon algoritmaları, değişik doğrusal olmayan programlama problemlerini çözmek için geliştirilmiştir.

2.3.1 Klasik Optimizasyon

Verilen sürekli bir fonksiyonun matematik kuralları içerisinde maksimum ya da minimum değerlerinin araştırılmasına klasik optimizasyon problemi denilmektedir. Klasik optimizasyon problemleri kısıtlı ve kısıtsız optimizasyon adı altında ikiye ayrılmaktadır.

2.3.1.1 Kısıtlı Optimizasyon Teknikleri

Kısıtlı optimizasyon teknikleri de doğrusal programlamada olduğu gibi sınırlılık varsayımı ile hareket etmektedir. Bu optimizasyon teknikleri sınırlı kaynakları en uygun şekilde kullanmak için tasarlanmış modelleme yöntemleridir. Bilinen kısıtlı optimizasyon teknikleri şu şekilde listelenebilir:

- Doğrusal optimizasyon
- Şebeke (network) optimizasyonu
- Tamsayılı optimizasyon
- Dinamik optimizasyon
- Stokastik optimizasyon
- Kuadratik (karesel) optimizasyon

2.3.1.2 Kısıtsız Optimizasyon Teknikleri

Doğrusal olmayan optimizasyon teknikleri olarak da tanımlanan kısıtsız optimizasyon teknikleri problem tipi olarak basit problemlerdir. Kısıtların olmaması problemi basit gösterir iken çözüm sürecini zorlaştırmaktadır. Bilinen kısıtsız optimizasyon yöntemlerinin isimleri aşağıda verilmiştir:

- Golden section (Altın Oran) metodu
- Newton metodu
- Sabit kesen (Regula Falsi) yöntemi
- Gradient arama
- Lagrange çarpanı
- Newton benzeri algoritması (Quasi Newton)

2.3.2 Akıllı Optimizasyon Modelleri

Bir sistemin planlanmasında ya da bir problemin çözümünde belirlenen hedef, istenen karı ya da üretimi en yüksek seviyeye taşımak ya da gerekli çabayı, maliyeti en aza indirmektir. Arzulanan sonuç her zaman karar değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak ifade edilirken optimizasyon sürecinde bu fonksiyonun en küçük ya da en büyük değerini veren koşullar bulunur. Akıllı optimizasyon tekniklerinin sık kullanılanlarının arasında;

- Karınca algoritması ,
- Tavlama benzetimi,
- Tabu arama,
- Yapay sinir ağları,
- Genetik algoritma,

- Bulanık mantık vb. teknikler yer almaktadır.

Problemin türü ve hedeflenen amaca göre bu tekniklerden en uygun olan ya da olanları ile çözüme ulaşmaya çalışılır. Bu çalışmada Metrobüs hatlarının çizelgelenmesinde optimizasyon için genetik algoritma tekniği kullanılarak en iyi çözüme ulaşmaya çalışılmıştır.

2.3.2.1 Karınca Algoritması

Karınca ların görme yetileri gelişmemiş olmasına karşın yuvaları ile besin kaynakları arasındaki en kısa yolu bulma özelliğine sahiptirler. Bu önemli özellik ilk kez 1992 yılında Marco Dorigo tarafından en kısa yol problemlerinde kullanılmak üzere kullanılmıştır. Daha sonraları geliştirilen algoritmalar pek çok farklı optimizasyon probleminin çözümünde kullanılmaya başlamıştır.

2.3.2.2 Tavlama Benzetimi Algoritması

Vecchi, Kirkpatrick ve Gerlatt tarafından ortaya konulan tavlama benzetimi stokastik bir arama algoritmasıdır. Son yıllarda çok bilinmeyenli optimizasyon problemleri için kullanılmaktadır.

Tavlama benzetimi algoritması, rassal olarak seçilen bir başlangıç çözümü ile arama yapmaya başlar. Fonksiyonda meydana gelen değişim hesaplanarak eğer değişim istenilen yönde ise bu çözüm mevcut çözüm olarak kabul edilir. Eğer değişim istenilen yönde değil ise Metropolis algoritması denilen bir algoritma ile olasılık sürecinden geçirilir. Bu olasılık süreci sonunda elde edilen “T” sıcaklık değeri yüksek olduğunda kabul edilme oranı artmaktadır.

2.3.2.3 Tabu Arama Algoritması

Akıllı optimizasyon tekniklerinden biri olan Tabu arama tekniği, diğer tekniklere nazaran daha sınırlı çözümler sunabilmektedir.

Tabu arama algoritması yinelemeli bir yöntemdir. Her bir yinelemede aramayı mevcut çözümden daha iyi bir komşu çözüme taşıyarak, yerel optimumlara takılmadan çalışmaktadır. Dolayısı ile yerel optimumun yerine çözüm uzayını araştırmak için kullanılan bir tekniktir. Yerel çözümleri ve uygun olmayan çözümleri hafızaya alma özelliği olması nedeni ile daha esnek bir arama yapısı sunmaktadır.

2.3.2.4 Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları insan beyin sisteminin en önemli özelliği olan öğrenme fonksiyonunu gerçekleştiren bir optimizasyon tekniğidir. Biyolojik sinir sisteminden esinlenerek hazırlanmış bir mekanizmadır.

Yapay sinir ağları beş ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, transfer fonksiyonu ve çıktılardan oluşmaktadır. Sistemin genel çalışma prensibi örnek bir girdi yapısını çıktıya çevirmek olarak açıklanabilir. Bunun için öncelikle sistemin eğitilmesi gerekmektedir. Örneklerin ağa tanıtılabilmesi için örnekler öncelikle vektör haline getirilir. Bu vektör ağa tanıtılır ve ağ bu vektöre ulaşmak için gerekli olan çıktı vektörünü üretir. Girdi ve çıktı vektörlerinin tasarımı ağı geliştiren tarafından belirlenir.

2.3.2.5 Genetik Algoritma

Genetik algoritmalar doğal seleksiyon mekanizmasını ve doğal genetiği temel alan araştırma algoritmalarıdır. Çözüm tekniğinde doğal evrim prensiplerini temel almaktadır.

Genetik algoritmalar gelişigüzel araştırma (random search) tekniklerinin bir formu olup seçilen karakterler tamamen rastlantısal bir süreç ile birleştirilir. Genetik algoritmalar rasgele arama tekniklerini kullanarak çözüm bulmaya çalışan, parametre kodlama esasına dayanan bir arama tekniğidir. Bu yaklaşım geleneksel algoritmalarından oldukça farklıdır. Geleneksel algoritmalar deterministik olup çözüm aşamasında eğitim veya grafik yaklaşımını kullanırlar iken genetik algoritmalarda ana fikir en uygun yaşayan bireyi bulmaktır. Genetik Algoritma, uygunluk fonksiyonu olarak isimlendirilen kavramı kullanarak en iyi bireyi seçerek yeni bireyler veya popülasyon karakterlerini ortaya çıkarırlar. Bu iş için önemli olan bu uygunluk fonksiyonunu seçim mekanizmalarını kullanarak en iyi olanı seçmeye çalışmaktır. Bu terimin geleneksel yöntemlerdeki adı amaç fonksiyonudur.

2.3.2.6 Bulanık Mantık

Günlük hayatta pek çok farklı durum için kesin çizgiler ile ayrılan yorumlarda bulunmak zordur. Bu farklılıklar gerçek hayat problemlerinin de belirsizlikler içerdiği sonucuna ulaşmamızı sağlamaktadır. Bulanık mantık algoritmaları da model kurar iken bu belirsizliklerin modele yansıtıldığı olasılıksal çözüm yöntemleridir.

3. GENETİK ALGORİTMA

3.1 GENETİK ALGORİTMA TANIMI VE TARİHÇESİ

Genetik algoritmalar (GA), sezgisel yöntemlerle çözümü karmaşık olan problemlere çözüm bulmakta ve çok farklı alanlarda uygulanma imkanı sunmaktadır.

GA yaklaşımı, herhangi bir veri grubu içerisinde özel bir veriyi bulmak için kullanılan bir optimizasyon algoritmasıdır. Çözüm uzayındaki her nokta kromozom adı verilen genetik parametre ile kodlanır ve çaprazlama, mutasyon gibi genetik operatörler kullanılarak yeni popülasyon oluşturulur. Her yeniden üretim işlemi sonunda, popülasyon daha önceki nesilden daha iyi uygunluk değerine sahip olan üyeleri içerir.

Genetik Algoritmaların temel ilkeleri ilk kez Michigan Üniversitesinde psikoloji ve bilgisayar bilimi uzmanı olan John Holland tarafından ortaya atılmıştır.

Genetik Algoritmalar doğadaki canlıların geçirdiği süreci örnek alır ve iyi nesillerin kendi yaşamlarını korurken, kötü nesillerin yok olması ilkesine dayanır (Balin, 2010). Holland, çalışmalarının sonucunu 1975'te "Adaptation in Natural and Artificial Systems" ismiyle yayınladığı kitapta açıklamaktadır. Holland'ın geliştirdiği teknik Genetik Algoritmalar (GA) olarak yerleşti. Genetik Algoritma ilk ismini biyoloji, ikinci ismini ise bilgisayar biliminden almaktadır (Holland, 1992).

Genetik algoritmalar doğada geçerli olan en iyinin yaşaması kuralına dayanarak sürekli iyileşen çözümler üretir. Bunun için "iyi"nin ne olduğunu belirleyen bir uygunluk (fitness) fonksiyonu ve yeni çözümler üretmek için yeniden kopyalama (recombination), değiştirme (mutation) gibi operatörleri kullanır. Genetik algoritmaların bir diğer önemli özelliği de bir grup çözümlerle uğraşmasıdır. Bu sayede çok sayıda çözümün içinden iyileri seçilip kötülerini elenebilir (Şeker, 2007).

1985 yılında Holland'ın öğrencisi olarak doktorasını veren David E. Goldberg adlı inşaat mühendisi 'Gaz Borularının Genetik Algoritma ile Optimizasyonu' adlı doktora tezi ile genetik algoritmaların pratik kullanımının da olabildiğini kanıtladı (Goldberg, Genetic and evolutionary algorithms come of age, 1994).

1992 yılında John Koza genetik algoritmayı kullanarak genetik programlamayı geliştirmiştir (Koza, 1992).

3.2 GENETİK ALGORİTMA İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR

GA'da; çözüme ulaşmak için algoritma yapısının oluşturulması ve parametrelerin belirlenmesi için kullanılan kavramların ve değerlerinin iyi belirlenmesi gerekir. Aşağıda bu kavramlar konusuna değinilmiştir.

3.2.1 Gen

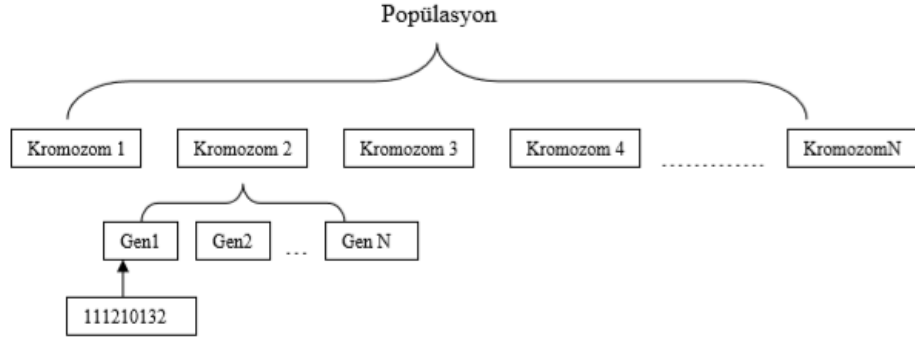
Kromozom yapısında kendi başına birer genetik bilgi taşıyan en ufak yapı taşına gen denir (Balin, 2010). Gen, bir canlının (bireyin) kalıtsal özelliklerinden herhangi birini taşıyan parçaya verilen addır. Ya da başka bir anlatımla genetik algoritmalar sayı sisteminde karar değişkeni sayılarının her bir rakamının bir dizi halinde bir araya gelmesi ile oluşan yapıya gen adı verilmektedir. Yani her bir karar değişkeninin sayısal değeri geni teşkil eder. Bir sorunda kaç tane karar değeri varsa o kadar gen vardır denilebilir (Soyaslan, 2010).

3.2.2 Kromozom (Birey)

Bir ya da birden fazla gen yapısının bir araya gelerek problemin çözümüne ait tüm bilgiyi içeren dizilere kromozom denir (Balin, 2010).

3.2.3 Popülasyon

Kromozomlardan oluşan topluluğa denir. Popülasyon, geçerli alternatif çözüm kümesidir. Popülasyondaki birey sayısı (kromozom) genelde sabit tutulur. GA'da popülasyondaki birey sayısı ile ilgili genel bir kural yoktur. Popülasyondaki kromozom sayısı arttıkça çözüme ulaşma süresi (iterasyon sayısı) azalır (Şeker, 2007). Şekil 3.1'de GA popülasyon yapısı verilmiştir.



Şekil 3.1: Popülasyon Yapısı

Kaynak: (Soyaslan, 2010)

3.2.4 Kodlama

Probleme GA uygulanmadan önce, verinin uygun şekilde kodlanması gerekmektedir. İyi bir genetik yapının oluşturulması iyi bir kodlamayla sağlanır ve kodlamanın nasıl olacağı da problemin yapısına göre değişmektedir.

Kromozomların kodlanması aşamasında dikkat edilmesi gereken üç önemli nokta vardır (Çeyrekoğlu, 2017). Bunlar;

- Kromozomların uygunluğu (Feasibility) kontrol edilir.
- Kromozomun belirtilen şartları (Constraints) sağlayıp sağlamadığı (Legality) kontrol edilir.
- Kodlama haritasında, kromozomun tek olduğu kontrol edilir.

Aşağıda çeşitli kodlama teknikleri sıralanmıştır:

- İkili Kodlama (Binary Encoding)
- Permütasyonlu Kodlama (Permutation Encoding)
- Değer Kodlama
- Ağaç Kodlama

3.2.5 Uygunluk Fonksiyonu

Uygunluk fonksiyonu Amaç fonksiyonu (değerleme fonksiyonu) olarak da tanımlayabileceğimiz optimize etmeye çalıştığımız fonksiyondur. Uygunluk fonksiyonu ile her kromozom mevcut hali ile değerlendirilir. Bu şekilde GA ile incelenen sistem arasında bağlantı kurulmaktadır.

3.3 GENETİK OPERATÖRLER

Kullanılan genetik operatörler, var olan popülasyon üzerine uygulanan işlemlerdir. Bu işlemlerin amacı daha iyi özelliğe sahip yeni nesiller üretmek ve arama algoritmasının alanını genişletmektir. Farklı uygulamalarda farklı operatörler kullanılmakla birlikte genetik algorithmada 3 standart operatör kullanılır. Bu operatörler (İşçi & Korukoğlu, 2003)

- Seçim/Yeniden Üretim
- Çaprazlama
- Mutasyon

3.3.1 Seçim/Yeniden Üretim (Selection/Reproduction)

Seçim operatörü farklı özelliklere sahip bireylerden hayatta kalabilecek özelliklere sahip olanların sonraki nesillere taşınması için önemli bir operatördür. Seçim operatörünün uygulanmasında kullanılan farklı yöntemler vardır. Bu teknikler içinden daha sık kullanılanlar aşağıda sıralanmıştır.

- Rulet Tekerı Seçimi
- Sıralama Seçimi
- Sabit Durum Seçimi
- Turnuva Seçimi

3.3.2 Çaprazlama (Crossover)

Çaprazlama operatörü, genetik algoritmanın performansını etkileyen önemli parametrelerinden biri olarak karşımıza gelmektedir. Çaprazlama, ana bireyde seçili

genler üzerinde işlem yaparak yeni yavrular oluşturur. Bunun en basit şekli, rasgele bir kesme noktası (çaprazlama noktası) seçip, bu noktadan önceki her şeyi ilk atadan, sonraki her şeyi ikinci atadan alıp birleştirerek yavruyu oluşturmaktır (Çalışkan, Yüksel, & Dayık, 2016).

Çaprazlama yöntemi, genlerin mevcut potansiyellerini incelemek için kullanılır. Fakat kodlanmış bütün bilgiyi popülasyon içermez ise, çaprazlama yöntemi beklenen çözümü üretemez. Bundan dolayı, mevcut kromozom ailesinden yeni kromozomlar üretme imkânına sahip bir operatör gerekmektedir. Bu olayı mutasyon gerçekleştirir. Mutasyon operatörü, çözümün kaybına karşı koruma sağlamaktadır (Goldberg, Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning Reading, 1989).

3.3.3 Mutasyon

Nesildeki kromozomların çeşitliliğini artırmak için kromozomlardan bazıları mutasyona uğratılır. Bu işlemin amacı popülasyonun içindeki değişimi tanımlamaktır. Mutasyon işlemi esnasında kromozomdaki gen sayısı sabit kalır.

Çoğunlukla önerilen mutasyon oranı 0.005/bit-nesildir. Bu işlem, çaprazlama işleminden sonra gelir. Mutasyona ihtiyaç olup olmadığı bir olasılık testi ile bulunur (Engin, 2013).

Mutasyon kromozomun bir hanesindeki 0 değerini 1 veya 1 değerini 0 yapma işlemidir. Bu işlem kromozomun bir hanesinde yapılabileceği gibi birden fazla hanede de yapılabilir. Böylece ortaya bir rakamın bile değişmesi ile çok farklı bir sayı çıkar. Rakam değişimleri ile GA'lar ikinci türden hedef fonksiyonu yüzeyini araştırır. Böylece başlangıçta bulunmayan yeni kromozom türleri elde edilir (Balın, 2010).

Mevcut Birey	110 1 11100
Mutasyon Sonucunda Oluşan Birey	110 0 11100

Şekil 3.2: Mutasyon İşlemi

Kaynak: (Çalışkan, Yüksel, & Dayık, 2016)

Mutasyonun amacı optimum çözümü bulurken, popülasyondaki kromozom çeşitliliğini arttırarak arama uzayını genişletmektir.

3.3.4 Durdurma Kriteri

Üreme, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinden sonra yeni bir nesil oluşmaktadır. Tüm bu işlemler sonsuz döngü içerisinde yapılır. Eğer bir durdurma kriteri belirlenmez ise bu süreç sonsuza kadar devam eder. Durdurma kriteri olarak şu yöntemler kullanılabilir (Küçük, 2016)

- a. Hesaplama zamanı kriteri: bu yöntemde önceden bir hesaplama zamanı veya döngü sayısı belirlenmekte, bu zaman veya döngü sayısına ulaşıldığında durdurulmaktadır. Bu yöntemde belirlenen döngü sayısı gerektiğinden fazla ya da eksik olabilir.
- b. Optimizasyon hedefi kriteri: önceden ulaşılmaması istenen amaç fonksiyonu değeri bilinmektedir. Uyum değeri bu değere ulaştığında algoritma durdurulmaktadır.
- c. Minimum iyileşme kriteri: genetik algoritma problemlerinde bulunan en iyi çözümler önce hızlı daha sonra yavaş yavaş artış göstermektedir. Bulunan değerlerdeki iyileşme hızının giderek azalması ve sifıra yaklaşması, artık daha fazla iyileşme beklenmemesi gerektiğini gösterebilir. Çözüme harcanacak zaman ile çözümden beklenecek kalite arasında bir denge kurularak durdurma gerçekleştirilir.

3.4 GENETİK ALGORİTMALARDA KONTROL PARAMETRELERİ

Genetik algoritmaların kontrol parametrelerinin değerinin seçimi de algoritmaların performansı üzerinde oldukça etkilidir. Basit bir genetik algoritmanın kontrol parametreleri (Soyaslan, 2010);

- Popülasyon büyüklüğü
- Maksimum jenerasyon sayısı
- Çaprazlama oranı
- Mutasyon oranıdır.

3.4.1 Popülasyon Büyüklüğü

Popülasyon büyüklüğü, popülasyonda kaç tane birey olacağını gösterir. Popülasyon büyüklüğünün de yüksek ya da düşük olması algoritmanın performansını etkilemektedir. Eğer popülasyondaki birey sayısı az ise arama uzayında bulunan çözümler yeterli gelmeyecek ve birey yerel minimumlara takılacaktır (Soyaslan, 2010).

3.4.2 Çaprazlama Oranı

Çaprazlamanın hangi sıklıkta yapılacağını çaprazlama oranı belirtmektedir. Çaprazlama işlemi hiç yapılmazsa yeni bireylerin eski bireylerin aynısı olmak sorunu ortaya çıkacaktır. Bu durum yeni jenerasyonun eskisi ile aynı olduğu anlamına gelmemektedir. Eğer tüm bireyler çaprazlama işlemine tabi tutulursa yeni bireyler tamamıyla çaprazlama ile elde edilmiş olur. Çaprazlama işlemi, eski bireylerden iyi taraflar alınarak elde edilen yeni bireylerin daha iyi olması umuduyla yapılmaktadır. Çaprazlama olmadığı durumda seçilen iki kromozom aynen gelecek jenerasyon için kopyalanır (Soyaslan, 2010).

3.4.3 Mutasyon Oranı

Bu oran mutasyonun hangi sıklıkla yapılacağını belirler. Yeni birey mutasyona uğrar ise bireyin bir kısmı değiştirilmiş olur aksi halde eğer mutasyona tabi tutulmazsa bu birey çaprazlama veya kopyalama sonrasında olduğu gibi kalır. Eğer bu oran %100 olursa kuşak içindeki bireyler tamamen değişir, %0 olursa hiç değişmeden kalır. Etkili bir genetik algoritma tasarlamak için mutasyon oranının frekansı çok iyi kontrol edilmelidir. Araştırmayı iraksatmamak için mutasyon oranının yüksek tutulmaması gerekmektedir. Başka bir deyişle tahribatına neden olabilecektir. Çok düşük bir mutasyon oranının kullanılması durumunda ise iraksamayı aşırı düşürecek ve araştırma uzayının tamamen araştırılmasını engelleyecektir (Soyaslan, 2010).

De Jong genetik algoritmaların performansı üzerinde kontrol parametrelerinin etkisini incelemek amacıyla çeşitli test problemleri kullanarak çalışmalar yapmış ve bu çalışmalar sonucunda iyi bir gerçek zaman ve gerçek olmayan zaman performansı elde etmek için kontrol parametrelerine uygun değerler önermiştir. Bu değerler aşağıdaki tabloda yer almaktadır (Soyaslan, 2010).

Tablo 3.1
Kontrol Parametreleriyle İlgili Yapılan Çalışmalar

Kontrol Parametreleri	De Jong	Shaffer	Grenstette
Popülasyon Büyüklüğü	50-100	20-30	30
Çaprazlama Oranı	0,60	0.75-0.95	0.95
Mutasyon Oranı	0.001	0.005-0.01	0.01

Kaynak: (Soyaslan, 2010)

3.5 GENETİK ALGORİTMALARIN ÇALIŞMA PRENSİBİ

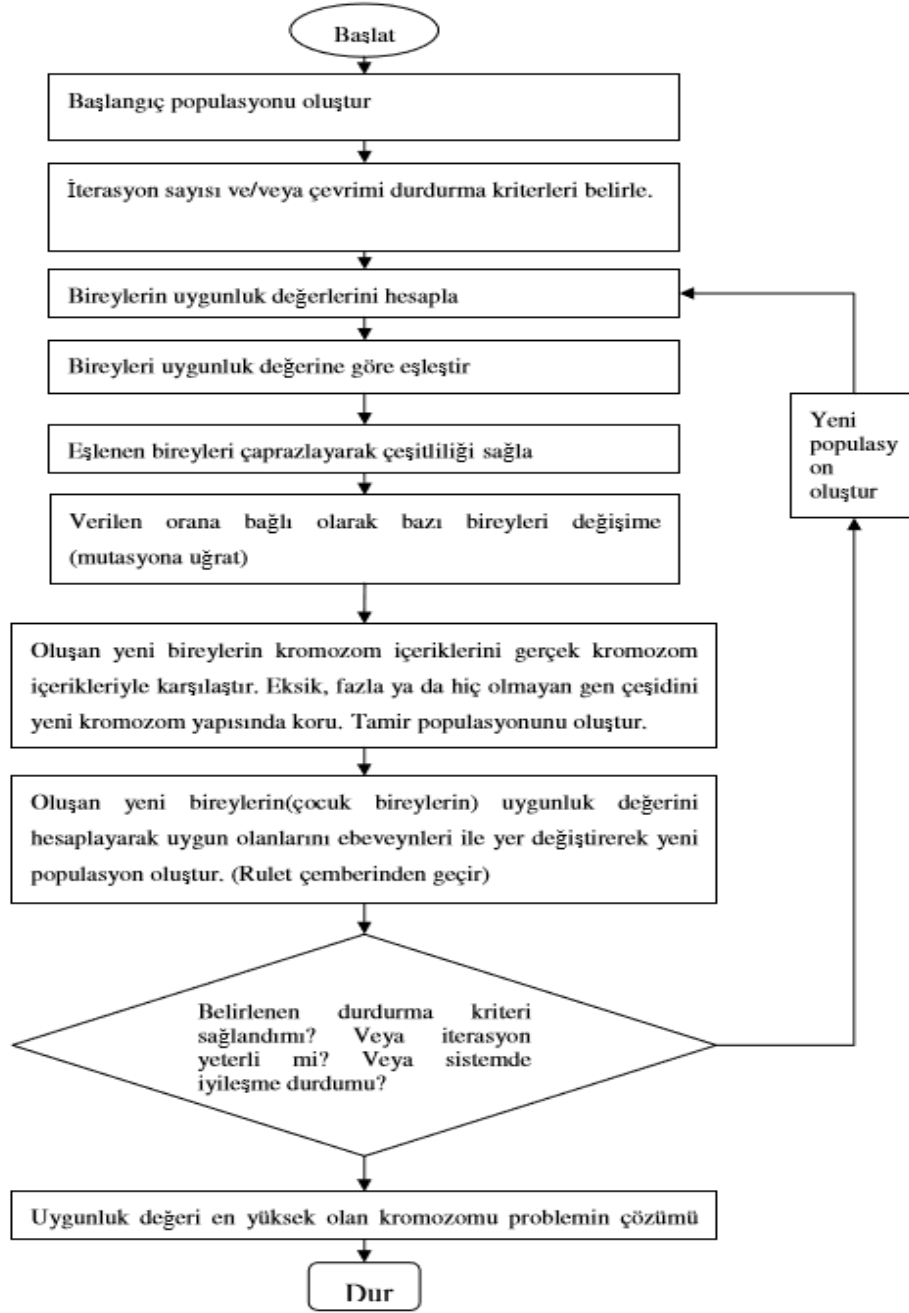
Goldberg; genetik algoritma, soyut temsiller olarak adlandırılan kromozomları en iyileme problemlerinde kullanan bir bilgisayar simülasyonu olarak kabul edilebileceğini belirtmiştir. Geleneksel olarak çözümlenmeler 0' lar ve 1' lerden oluşan zincirlerden meydana gelmektedir. Neyin iyi olduğunu genetik algoritmaya bildirmek için bir uygunluk (amaç) fonksiyonu oluşturulması ve problemin değişkenlerinin kodlanmasıyla, her çeşit karmaşık problem genetik algoritmalar sayesinde çözüme ulaşabilmektedir (Goldberg, Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning Reading, 1989).

Klasik bir genetik algoritmanın çalışma adımları aşağıda anlatılmıştır (Çeyrekoğlu, 2017);

1. Çözüm grubu oluşturmak için olası çözümler kodlanır (Çözüm grubuna popülasyon, çözüm kodlarına da kromozom denir). Popülasyon büyüklüğü 100 ila 300 arasında önerilir. Popülasyon büyüklüğü belirlendikten sonra kromozomların kodlar ile ifade edilmesi gerekebilir.
2. Çözüm grubu (Popülasyon) içindeki tüm kromozomların ne kadar iyi olduğu hesaplanır. Bu hesap için kullanılacak fonksiyon "Uygunluk Fonksiyonu" olarak adlandırılır. Bu kromozomların uygunluk fonksiyonu sayesinde uygunluk oranlarının tespit edilmesine de "Evrimleşme" ismi verilir. Genetik Algoritmanın beynini uygunluk fonksiyonu oluşturur. Probleme özel olarak çalışacak tek bileşen, Genetik Algoritmalarda bu fonksiyondur. Bu fonksiyon kromozomların probleme

ait parametrelere dönüştürülmesini sağlayarak başka bir deyişle onların şifrelerini çözmektedir. Bu nedenle uygunluk fonksiyonunun hassas ve verimli oluşturulması çoğunlukla Genetik Algoritmanın başarısını belirler.

3. Uygunluk değerine göre popülasyon içindeki kromozomlar (Çözümler) olasılıksal olarak seçilerek eşleştirilir ve çaprazlama, mutasyon operatörleri uygulanır. Bunun sonucunda farklı bir toplum oluşturulmuş olur. Seçime karar vermek için bazı yöntemler kullanılabilir. Bunlar, turnuva seçimi ve rulet tekeri seçimi gibi metotlardır. Çaprazlama işlemi kromozomların içinden sıralı olarak seçilen bazı genlerin diğer kromozoma aktarılmasıdır. Böylece toplumda çeşitlilik sağlanır. Yerel optimum noktalara takılıp kalmayı engellemek için sadece tek kromozom üzerinde gen değişimi yapan Mutasyon işlemi kullanılır.
4. Eski kromozomlar popülasyon içinden silinerek yerlerine yeni oluşturulan kromozomlar yerleştirilir ve bu sayede popülasyon birey sayısı sabit tutulur.
5. Yeni oluşturulan bu nesildeki tüm kromozomlara ait uygunluk oranları yeniden hesaplanır ve neslin başarısı elde edilir.
6. Bu işlemler art arda tekrar edilerek nesil sayısı süresince yeni popülasyonlar oluşturulur ve bu popülasyonların daha iyiye ulaşması sağlanır.
7. Sonuç olarak popülasyon içindeki kromozomların uygunluk oranlarının hesaplanması aşamasında en iyi bireylere ulaşıldığında çözüm de bulunmuş olur.



Şekil 3.3: Genetik Algoritma Akış Diyagramı

Kaynak: (Şeker, 2007)

3.6 GELENEKSEL METOTLAR İLE GENETİK ALGORİTMALAR ARASINDAKİ FARKLAR

Optimizasyondaki temel amaç optimal bir noktaya ulaşabilmek, daha doğrusu mümkün oldukça yaklaşımdır. Bunu gerçekleştirmek için bilinen pek çok klasik yöntem vardır. Bu yöntemlerin başarısı optimal noktaya ulaşip ulaşmadıkları veya ne kadar ulaşabildikleri ile ölçülür. Genetik algoritmalar, klasik optimizasyon algoritmalarından dört temel noktada ayrılır (İşçi & Korukoğlu, 2003);

- GA parametrelerin kendileri ile değil, parametre takımının kodlanmış değerleri ile ilgilenir.
- Genetik algoritmanın arama alanı, yığının veya popülasyonun tamamıdır; tek nokta veya noktalarda arama yapmaz, Dolayısıyla yerel bir optimuma takılmadan çalışabilirler.
- GA amaç fonksiyonunun (objective function) türevlerini ve bir takım ek bilgileri değil, doğrudan amaç fonksiyonunun kendisini kullanırlar.
- GA da deterministik değil rastlantısal geçiş kuralları kullanılır.
- GA'lar doğal olarak paralel arama yapan tekniklerdir. Bu paralellik çözüm aşamasına birçok noktaya aynı anda bakılmasından kaynaklıdır. Bu sayede çözüme de daha hızlı ulaşılabilir. Bu sayede çözüme de daha hızlı ulaşılabilir.

3.7 GENETİK ALGORİTMA UYGULAMA ALANLARI

3.7.1 Eniyileme “Optimizasyon”

Bir arama yöntemi olan genetik algoritmalar, farklı bilim dallarındaki optimizasyon problemlerini çözmeye kullanılmaktadır. Genetik algoritmaların uygulandığı optimizasyon problemleri, fonksiyon optimizasyonu ve birleşim (combinatorial) optimizasyonu altında toplanabilir (Taşkın & Emel, 2009).

Genetik Algoritma araştırmalarının önemli bir bölümü fonksiyon en iyilemesi ile ilgilidir. GA, geleneksel en iyileme yöntemlerine göre zor, süreksiz ve gürültü içeren fonksiyonları çözmeye daha etkindirler (Balin, 2010).

GA'nın uygulandığı diğer bir en iyileme problemi, istenen amaçlara ulaşmak üzere, sınırlı kaynakların daha verimli tahsis edilmesi ile ilgili birleşik en iyileme problemleridir. Gezgin satıcı problemleri, araç yön bulma problemi, iş atölyesi çizelgeleme problemi, yerleşim tasarımı problemi, birleşim optimizasyon problemlerine örnek verilebilir.

3.7.2 Otomatik Programlama ve Bilgi Sistemleri

Genetik algoritmanın yaygın olarak kullanıldığı alanlardan biri, belirli ve özel görevler için gerekli olan bilgisayar programlarını geliştirmedir. Ayrıca, diğer hesaplama gerektiren yapıların tasarımı için de kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak bilgisayar çipleri tasarımı, ders programı hazırlanması ve ağların çizelgelenmesi verilebilir (Çetin, 2007).

Genetik algoritmalar kullanılarak dağıtılmış bilgisayar ağlarının tasarımı da gerçekleştirilmektedir. Bu problem tipinde ağ güvenilirlik parametrelerini (çap, ortalama uzaklık ve bilgisayar ağ güvenilirliği gibi) optimize etmek için birden fazla amaç fonksiyonu kullanılmaktadır. Genetik algoritmalar ile 100 düğüme kadar olan ağlar başarıyla tasarlanmıştır. Ağ tasarımında genetik algoritmaların kullanılması, tasarım sürelerinin ve maliyetlerinin azalmasında önemli bir katkı sağlamıştır (Balin, 2010).

3.7.3 Mekanik Öğrenme

Sınıflama sistemi GA'nın mekanik öğrenme konusunda bir uygulamasıdır. Basit dizi kurallarını öğrenen bir mekanik öğrenme sistemi olan sınıflama sisteminin kural ve mesaj sistemi, özel bir üretim sistemi olarak adlandırılabilir. Bir üretim sistemi “eğer-sonra” kural yapısını kullanır. Bir üretim kuralı, “eğer” yapısından sonra belirtilen durum için “sonra” yapısından sonra gelen faaliyetin gerçekleştirilmesini içerir. GA, sınıflama sistemlerinde kural-bulma mekanizması olarak kullanılmaktadır (Çetin, 2007).

Mekanik öğrenme; ilki, gözlenmiş bir veri takımını anlamak ve yorumlamak, ikincisi de görülmemiş objelerin özelliklerini tahmin etmek olan iki temel amaç için model kurmayı amaçlar. (Balin, 2010).

3.7.4 Finans ve Pazarlama

Genetik algoritma finansal modelleme uygulama alanları için son derece uygundur. Özellikle hisse senedi fiyatlarındaki değişim kalıplarını tahmin etmede ve bulmada, kaynak tahsisi ve uluslararası sermaye tahsisi stratejilerini belirlemede GA kullanılabilir. Veri madenciliğinde kullanılan tekniklerden biride GA'dır. GA tabanlı yaklaşım kullanılarak veri yığınlarından modeller elde edilmektedir (Balin, 2010).

Finans problemlerinde genel olarak, uygunluk fonksiyonları tahmin etme gücüne veya bir karşılaştırma sonucuna bağlı getirilerdeki gelişmeleri içerir. Genetik algoritmalar hisse senedi fiyatlarındaki değişim kalıplarını tahmin etmede ve bulmada, kaynak tahsisi ve uluslararası sermaye tahsisi stratejilerini belirlemede kullanılabilir.

3.7.5 Rotalama Problemleri

Birleşik optimizasyon problemlerinin örneklerinden biri de araç rotalama problemidir. Temel araç rotalama problemi, talebi belirli olan müşterileri kapsar. Tek bir depodan araçlar ayrılmakta ve müşteri taleplerini karşılayarak tekrar depoya dönmektedir. Her aracın kapasite kısıtı vardır. Bu temel probleme ayrıca, her aracın alacağı yol da mesafe kısıtı olarak eklenebilir. Her bir müşterinin talebini yalnızca bir araç karşılamaktadır. Problem, bu kısıtlar altında minimum toplam maliyeti veren rotaları bulmaktır (Taşkın & Emel, 2009).

3.7.6 Gezgin Satıcı Problemi

Herhangi bir problem için kullanılan algoritmanın en yaygın performans ölçütü, algoritmanın çözüme ulaşma süresidir. Gezgin satıcı gibi değişken sayısı arttıkça çözüm zamanı üstel olarak artan problemlerde bu daha da önemlidir. Genetik algoritmalar birleşik optimizasyon problemlerini klasik yöntemlere göre çok daha kısa sürede çözmektedir. Sonuçta optimale yakın ve kabul edilebilir bir çözüm bulunmaktadır (Holland, 1992).

3.7.7 Çizelgeleme Problemleri

Genetik algoritmaların çizelgeleme problemine ilk uygulama çalışması, Davis tarafından 1985 yılında yapılmıştır. İlerleyen zamanlarda ise araştırmacılar; belirli teslim tarihleri ve işlem süreleri olan işlerin çizelgelenmesi problemlerini, akış zamanını

minimize etme amacını taşıyan tek makine modelli problemleri, gecikme ve sarkma cezalarını da içeren problemleri, özdeş paralel makinalar problemlerini çalışmalarına konu edinmişlerdir (Taşkın & Emel, 2009).

Genel olarak genetik algoritmalar, çizelgeleme problemlerine diğer çözüm yöntemlerine göre daha hızlı sürede optimale yakın çözüm bulmuşlardır.

3.7.8 Hücresel Üretim Problemleri

Hücresel üretim, parça ailelerini belirledikten sonra, her parça ailesini ayrı bir üretim hücresinde imal ederek hücreler arası taşımaları minimum seviyeye indirmeyi amaçlamaktadır. Genetik algoritmalar ile birden fazla çözüm aynı anda ele alınmakta ve bu sayede farklı bölgeler eş zamanlı olarak taranmaktadır. Bunun sonucunda da daha kısa zamanda daha uygun sonuçlar elde edilmektedir (Holland, 1992).

3.7.9 Taşıma Problemleri

Taşıma problemi; tedarikçilerden tüketicilere, talebi karşılamak üzere, minimum maliyetle tek tipte mamul gönderilmesini içermektedir. M tane tedarikçi ve n tane de tüketici mevcuttur. Tek tedarikçiden her bir tüketiciye bir birim mamul ulaştırma maliyeti bilinmektedir. Problem, tüm talebin karşılanması ve maliyet minimizasyonu şartıyla mamulün arz yerinden talep yerine optimum tahsisini sağlamaktır (Balin, 2010).

4. İSTANBUL METROBÜS (BRT) SİSTEMİNİN İNCELENMESİ

4.1 METROBÜS (BRT) NEDİR?

Türkiye'deki adı ile Metrobüs, dünyada yaygın olarak kullanılan adı ile Bus Rapid Transit (BRT) yüksek standartlı bir toplu taşıma sistemidir. Hızlı, rahat, konforlu ve altyapı maliyeti düşük bir toplu taşıma sistemi olması en önemli özelliğidir. Ayrılmış yol veya ayrılmış şerit uygulamalı bu sistem aynı sayıda araçla daha fazla yolcuya toplu taşıma hizmeti sunma imkanı sağlamaktadır.

Metrobüs; özel otobüslerden oluşan ve diğer araç trafiğinden ayrı altyapıya sahip olan ve otobüsle toplu ulaşım sisteminden daha yüksek hız, güvenilirlik ve emniyet sunan bütünleşik bir sistem olarak tasarlanmıştır. (Vuchic, Kent İçi Toplu Ulaşım ve Yaşanabilir Şehirler I, 2015)

Şeritlerin kısmi ayrımı, yeni otobüsler veya özel hat ayrıştırılmasına sahip herhangi bir otobüs hattı için metrobüs terimini kullanma eğilimi vardır. Metrobüs aşağıdaki özelliklerden bazısına veya çoğuna sahip olmalıdır: (Vuchic, Kent İçi Toplu Ulaşım ve Yaşanabilir Şehirler II, 2015)

- İki veya daha fazla otobüsün eş zamanlı durmasına, birbirlerini geçebilmesine veya kısa sefer aralıklarıyla (iki dakikadan az) peş peşe hareket edebilmesine müsaade eden ve saatte 3000-5000 yolcudan daha fazla bir hat kapasitesine imkan tanıyan istasyonlar ve duraklar,
- Düşük hava kirliliği veya sessiz motorlar,
- Diğer otobüs veya raylı sistem hatlarına kolay aktarma,
- Araç lokasyonlarını ve hareketlerini, yolcu bilgilerini ve ücret toplamayı izleyen akıllı ulaşım sistem tekniklerinin kullanımı,
- Sık, güvenilir hizmet ve düzenli sefer aralıklarıyla günlük tüm saatlerde özel hatlar.

4.2 METROBÜS (BRT) TARİHÇESİ?

Amerika Birleşik Devletleri'nde ve diğer ülkelerde 1930'larda ve daha sonra 1950-1970 yılları arasındaki dönemde tramvayların yerine daha büyük çapta otobüslerin ulaşım hizmeti vermeye başladığı görülmektedir. (Vuchic, Kent İçi Toplu Ulaşım ve Yaşanabilir Şehirler I, 2015)

Kuzey Amerika'daki Ottawa şehri, şehir merkezindeki caddelerde ve otoyolların bazı kesimlerindeki ayrılmış şeritlerden özel olarak yapılmış otobüs yollarına kadar çeşitli unsurları bir araya getirerek tahsisli yol kullanım hakkının mükemmel bir bileşimine sahip olan ilk metrobüs sistemlerinden birini geliştirmiştir. Ulaşım ağı, özel otobüs tesislerindeki ana hatlardan ve trafik sıkışıklığının problem olmadığı caddelerde kılçık hatlara yapılan uzatmalardan oluşmaktadır. (Vuchic, Kent İçi Toplu Ulaşım ve Yaşanabilir Şehirler I, 2015)

Brezilya'daki Curitiba şehri, dünyada en iyi bilinen metrobüs sistemlerinden birini kurmuştur. Bu sistem; ulaşım planlaması ile entegre olan, uzun ve ileri görüşlü şehir planlama çalışmalarının sonucunda kurulmuştur. Böylelikle Curitiba metrobüsü, hizmet etmek üzere tasarlandığı etkinlikler ve nüfus yoğunlukları ile koordineli bir toplu ulaşım ağı kurmak üzere yapılan kapsamlı planlamaların sonucu ortaya çıkmıştır. (Vuchic, Kent İçi Toplu Ulaşım ve Yaşanabilir Şehirler I, 2015)



Şekil 4.1: Curitiba Metrobüs Örneği (<http://curitibainenglish.com.br>, 2018)

Sao Paulo, ilk yüksek kapasiteli metrobüs sistemlerinden birini geliştirmiştir. Burada uygulanan Comonor Projesi 1970'lerde başlamış bu projeyi başka benzer otobüs sistemleri izlemiştir. Bu sistemlerin geliştirildiği dönemde henüz otobüslerin yanaştığı ve yatay binişlere izin veren yüksek peronlar gündemde olmadığı için çok yüksek hat

kapasitelerine erişmek için başka bazı konseptler kullanılmıştır. (Vuchic, Kent İçi Toplu Ulaşım ve Yaşanabilir Şehirler I, 2015)

Kolombiya, Bogota'daki TransMilenio metrobüs sistemi, Curitiba ve Sao Paulo'daki deneyimler de dikkate alınarak tasarlanmıştır. Bu sistem, çok geniş bir koridorda, bazı kısımlarında servis yolları da olan, bölünmüş bir ana caddenin ortasında yer alır. Metrobüs tesisinin bazı bölümleri, kapasiteyi en üst düzeye çıkarmak ve istasyonlarda duran otobüslerin sollama yapmasına imkân sağlamak için dört şeride çıkartılmıştır. Otobüsler yüksek tabanlıdır ve yüksek peronlu istasyonlarda perona kenetlenir. (Vuchic, Kent İçi Toplu Ulaşım ve Yaşanabilir Şehirler I, 2015)



Şekil 4.2: Bogota Metrobüs Örneği (thecitypaperbogota.com, 2018)

4.3 İSTANBUL METROBÜS (BRT) SİSTEMİNİN İNCELENMESİ

4.3.1 İstanbul Metrobüs Hattının Tarihçesi

İETT'nin İstanbul'un ana koridorlarındaki trafik yoğunluğunu azaltmak, hızlı ve konforlu toplu ulaşım hizmeti sağlamak amacıyla işletmeye aldığı Metrobüs sistemi ilk olarak Topkapı-Avcılar hattında toplu ulaşım hizmeti vermeye başlamıştır. Yapımına 2007 yılı başında başlanan 18,3 kilometrelik hat, sekiz ayda tamamlanarak 17 Eylül 2007'de toplu ulaşım hizmetine açılmıştır. Metrobüs hattının ikinci etabı olan Zincirlikuyu etabı 77 günde tamamlanarak 8 Eylül 2008 tarihinde toplu ulaşım hizmetine başlamıştır ve toplam istasyon sayısı 25'e çıkmıştır. Şekil 4.3'de etapların açılış tarihleri ve metrobüs haritası verilmiştir.



Şekil 4.3: İstanbul Metrobüs Haritası (İETT, 2018)

Metrobüs hattının üçüncü etabı olan Söğütlüçeşme, 3 Mart 2009 tarihinde hizmete alınmıştır. Hattın Avçılar-Beylikdüzü güzergâhının açılışı 19 Temmuz 2012 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Toplam uzunluğu 52 kilometreyi bulan 44 istasyonlu Beylikdüzü-Söğütlüçeşme metrobüs hattında yolculuk süresi 100 dakika ve günlük ortalama 870 bin yolcuya toplu ulaşım hizmeti verilmektedir.

Diğer ekspres yollara göre yüksek gelişme potansiyeli sergileyen, yatırım ve işletme maliyeti diğer raylı sistemlere oranla oldukça düşük olan ve kurulumu çok daha kısa sürede tamamlanan Metrobüs sistemi seyahat süresini kısaltarak yolculara zamandan tasarruf sağlamaktadır. Sistemde çalışan düşük emisyonlu, yüksek teknolojiye sahip araçlar, güvenlik ve konforu artırırken durağa sıfır yavaşlama özelliği, engelli yolcuların seyahatlerini kolaylaştırmaktadır.

4.3.2 İstanbul Metrobüs Hattının Sistem Elemanları

4.3.2.1 İstasyonlar

İstasyonlar/duraklar, Metrobüs sistemi, kullanıcıları ve bölgedeki diğer toplu ulaşım sistemleri arasındaki önemli bir bağıdır. İstasyonlar, iyi bir düzeyde hizmetin sunulduğu ve Metrobüs sistemlerini diğer toplu taşıma sistemlerinden ayıran kimliğe sahip olup, metrobüsü yerel çevre ile bütünleştirir ve yerel çevreyi geliştirir. Her bir Metrobüs istasyonunu kullanan kullanıcı sayısı, tipik bir otobüs hattını kullananlardan çok daha fazla olacaktır. Dolayısıyla Metrobüs istasyonları, geleneksel toplu taşıma araçlarına göre daha önemlidir.

İstanbul Metrobüs sistemi Beylikdüzü'nden Söğütluçeşme'ye kadar 44 istasyona sahiptir ve toplam hat uzunluğu 52 km'dir. İstasyonlar yaklaşık 60 metre uzunlukta ve yaklaşık 4 metre genişliğinde tasarlanmış olup normal otobüs istasyonlarından ayrılıp bir hafif raylı sistem istasyonuna benzer şekilde işletilmektedir. Şekil 4.4'de istasyonların sıralaması verilmiştir.



Şekil 4.4: İstanbul Metrobüs Hattı İstasyonları

İstanbul metrobüs istasyonlarına yayalar alt geçit ve üst geçitleri kullanarak erişim sağlayabilmektedir. İstasyon erişiminde kullanılan üstgeçitlerin veya altgeçitlerin genişliği, yüksekliği gibi geometrik özellikleri önemli olmakla beraber, engelli ve yaşlıların kullanabilmesi için asansör veya eğimli rampaların bulunmasına da dikkat edilmiştir.

İstanbul'da Doğu'dan Batı'ya geçen D-100 Karayolu üzerinde bulunan metrobüs hattı yaklaşık 52 km'lik bir uzunluğa sahiptir ve ilgili rota Şekil 3.4 'de görüldüğü gibidir. Çift yönlü olmak üzere sadece bu hatta çalışan taşıtlara özel olarak tahsis edilmiş bir yolu olan metrobüs hattının üzerinde 44 istasyon mevcuttur. Söğütluçeşme'den başlayan

yolculukla Uzunçayır, Altunizade, Zincirlikuyu, Mecidiyeköy, Okmeydanı, Topkapı, Cevizlibağ, Şirinevler, Yenibosna, Sefaköy, Florya, Küçükçekmece ve Avcılar'dan geçerek Beylikdüzü'ne ulaşılmaktadır. Tablo 4.1' de metrobüs hat uzunlukları ve istasyon sayıları verilmiştir.

Tablo 4.1
Metrobüs Hat Uzunlukları Ve İstasyon Sayıları

Kaynak: (İETT, 2018)

Hat Adı	Hat Uzunluğu	İstasyon Sayısı	Servis/Araç Sayısı (Günlük)	Sefer Süresi (Tek Yön/dk)
34 Avcılar-Zincirlikuyu	30	26	88	55
34BZ Beylikdüzü-Zincirlikuyu	40	37	156	75
34AS Avcılar-Söğütlüçeşme	42	33	156	75
34C Beylikdüzü-Cevizlibağ	29	26	105	55
34Z Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme	11.5	8	59	21
34G Beylikdüzü-Söğütlüçeşme	52	44	25	90

İstanbul metrobüs hattının istasyonlar arasındaki toplam mesafe 50,7 km uzunluğundadır. Dönüş noktaları ile birlikte hattın toplam uzunluğu 52 km olmaktadır. İstasyonlar arası mesafeler Tablo 4.2 'de verilmiştir.

Metrobüs istasyonlarında sunulan hizmetler şu şekilde sıralanabilir;

- Anons sistemi
- Yönlendirme levhası
- Bilgilendirme panosu
- Büfeler
- OSM (otomatik bilet satış makinesi)
- İade validatörleri
- Güvenlik
- Asansör
- Engelli platformu

Tablo 4.2
İstasyonlar Arası Mesafeler

No	İstasyon	İlk İstasyona Uzaklık(Km)	Bir Önceki İstasyona Uzaklık (Km)
1	Beylikdüzü Sondurak	0	0
2	Hadımköy	0.9	0.9
3	Cumhuriyet Mahallesi	2	1.1
4	Beylikdüzü Belediyesi	2.7	0.7
5	Beylückdüzü	3.4	0.7
6	Güzelyurt	4.2	0.8
7	Haramidere	4.9	0.7
8	Haramidere Sanayi	5.9	1
9	Saadetdere Mahallesi	6.7	0.8
10	Mustafa Kemal Paşa	8	1.3
11	Cihangir Ün.v.Mahallesi	8.8	0.8
12	Avcılar Merkez Ün.v.Kampüsü	10.1	1.3
13	Şükürbey	10.7	0.6
14	B.Şehir.Bel.Sos.Tes.	11.9	1.2
15	Küçükçekmece	14.2	2.3
16	Cennet Mahallesi	15.3	1.1
17	Florya	16	0.7
18	Beşyol	16.8	0.8
19	Sefaköy	17.4	0.6
20	Yenibosna	20.9	3.5
21	Şirinevler	21.9	1
22	Bahçelievler	23.4	1.5
23	İncirli	24.1	0.7
24	Zeytinburnu	25.8	1.7
25	Merter	26.6	0.8
26	Cevizlibağ	28.1	1.5
27	Topkapı	28.7	0.6
28	Bayrampaşa-Maltepe	29.2	0.5
29	Edirnekapı	30.6	1.4
30	Ayvansaray-EyüpSultan	31.5	0.9
31	Halıcıoğlu	32.8	1.3
32	Okmeydanı	34.3	1.5
33	Darülaceze-Perpa	35.2	0.9
34	Okmeydanı Hastahane	36.1	0.9
35	Çağlayan	36.5	0.4
36	Mecidiyeköy	37.4	0.9
37	Zincirlikuyu	39.3	1.9
38	15 Temmuz Şehitler Köprüsü	43.5	4.2
39	Burhaniye	44.2	0.7
40	Altunizade	45.5	1.3

41	Acıbadem	46.6	1.1
42	Uzunçayır	48.5	1.9
43	Fikirtepe	49.5	1
44	Söğütlüçeşme	50.7	1.2

Kaynak: (İETT, 2018)

4.3.2.2 Garajlar, Bakım ve Dolum İstasyonları

İETT bünyesinde bulunan 4 garaj aktif olarak metrobüs sistemine hizmet etmektedir. Bu garajlar Avcılar, Edirnekapı, Hasanpaşa ve Beylikdüzü garajlarıdır. Bakım onarım işlemleri bu garajlarda, garaj müdürlüklerince gerçekleştirilmektedir. Her taşıtın yakıt alma zamanı önceden planlanmaktadır. 34Z hattına yakıt ikmalleri saat 12.00'den itibaren Zincirlikuyu'da yapılmaktadır. 34 ve 34BZ hatlarına yakıt ikmalleri Şekil de görülen Avcılar garajında saat 12.30'da yapılmaktadır (TÜSSİDE, 2014). Garaj kapasiteleri ve garajların sisteme uzaklıkları metrobüs kısıtları arasında yer almaktadır.

4.3.3 İstanbul Metrobüs İşletme Modeli

İstanbul Metrobüs işletmesi, 6 hat ile (34 Avcılar-Zincirlikuyu, 34AS Avcılar-Söğütlüçeşme, 34BZ Beylikdüzü-Zincirlikuyu, 34C Beylikdüzü-Cevizlibağ, 34Z Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme, 34G Beylikdüzü-Söğütlüçeşme) 44 istasyonda yolcu taleplerine göre farklı araç ataması yapan işletim sistemine sahiptir. Bu atamalar sonucunda, hafta içi sabah yoğun saatler, hafta içi akşam yoğun saatler, hafta içi gün içi, cumartesi ve pazar günlerinde yolcu taleplerine göre araç atamaları farklılık göstermektedir. Araçlar sisteme Söğütlüçeşme, Edirnekapı, Avcılar ve Beylikdüzü istasyonlarından giriş yapmaktadır. Sistemdeki araçların dönüş noktaları ise, Söğütlüçeşme, Zincirlikuyu, Edirnekapı, Topkapı, Avcılar ve Beylikdüzü istasyonlarından gerçekleşmektedir. Mevcut sisteme ait işletme verileri Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3
Metrobüs İşletme Bilgileri

Kriterler	Değerler
Pik Saat/Yön Yolculuk (*1000)	45,4
Günlük Yolculuk	886.329*
Günlük Sefer Sayısı	6.417
Pik Saat Frekans (saniye)	15-20
Ara Saat Frekans (saniye)	45-60
Beylikdüzü-Söğütlüçeşme Seyahat Süresi (dk)	90
Ortalama Hız	35*
Toplam Hat Sayısı	6
Toplam Hat Uzunluğu (km)	52
Toplam Servis Sayısı	593
Toplam İstasyon Sayısı	44
Servis Süresi (saat)	24
Metrobüs Ekibi (kişi)	1050

Kaynak: (İETT, 2018)

*2018 Mart ayı işgünü ortalama yolculuk ve hız verisidir.

4.3.3.1 Araçlar

Araçlar; hız, kapasite, çevre ile uyumluluk ve konfor bileşenlerinin toplandığı en önemli sistem bileşenlerinden biridir. Metrobüs kimliğinin kullanıcılar ve kullanıcı olmayanlar tarafından da algılanmasını sağlayan bir Metrobüs bileşenidir.

Standart olarak otobüslerin uzunlukları genelde solo 12 metre veya körüklü otobüslerin 18 metredir. Metrobüste çalışan araçların özellikleri ise bu standart araçlardan ayrılmaktadır. Tablo 4.4'te araçların teknik özellikleri, Tablo 4.5'te yakıt bilgileri verilmiştir.

Tablo 4.4
Metrobüste Çalışan Araç Bilgileri

Modeli	Markası	Yolcu Kapasitesi (kişi)	Araç Uzunluğu (m)	Emisyon Özelliği	Erişilebilirlik	Adet
2007	Mercedes Capacity	192	19,5	Euro IV/V	Alçak Tabanlı	50
2008	Mercedes Capacity					100
2009	Mercedes Capacity					99
2008	APTS Phileas	220	26	Euro V	Alçak Tabanlı	15
2009	APTS Phileas					34
2012	Mercedes Connecto G	166	18	Euro V	Alçak Tabanlı	169
2015	Mercedes Connecto G					126
TOPLAM						593

Kaynak: (İETT, 2018)

Tablo 4.5
Metrobüs Araçları Yakıt Bilgileri

Marka	100 Km Ortalama Sarfiyat (lt)	Bir Depo İle Gidilebilir Yol (km)	Depo Kapasitesi(lt)
Capacity	60	500	300
Connecto	55	545	300
Phileas	65	385	250

Kaynak: (TÜSSİDE, 2014)

4.3.3.2 Ücretlendirme sistemi

Metrobüs sisteminde akıllı biletler yoluyla gidilen istasyonlar hesaplanarak mesafeye bağlı ücretlendirme uygulanmaktadır. UKOME kararı ile uygulanmakta olan mesafe bazlı ücretler Tablo 4.6’de verilmiştir.

Tablo 4.6
Mesafe Bazlı Ücretler (Nisan,2018)

Durak Sayısı	Tam	Öğrenci	Sosyal	Mavi Kart
1-3	1.95	1.10	1.45	1
4-9	3.00	1.20	1.85	2
10-15	3.25	1.25	1.90	2
16-21	3.40	1.25	2.00	2
22-27	3.50	1.25	2.10	2
28-33	3.60	1.25	2.10	2
34+	3.85	1.25	2.10	2

Metrobüs istasyonlarında bulunan validatör (iade) cihazları sayesinde mesafeye dayalı ücretlendirme uygulanabilmektedir. İade cihazı, etkileşimde bulunduğu elektronik biletlere, tanımlanmış parametrelere göre geçerlilik kontrolü ve tahsilât yapan bir cihazdır. İade cihazı, ayarlanabilir tarife yapısı ve parametreleriyle esnek ücretlendirme imkânları sunar. İndirimli seyahat, aktarma hakkı, abonman hakkı, mesafe bazlı ücretlendirme vb. sadakat uygulamaları kolaylıkla gerçekleştirilebilir.

4.3.3.3 Şoförler

2018 Mart ayı itibarıyla 593 araç, 1.050 metrobüs şoförü ile toplu ulaşım hizmeti verilmektedir. Araç başına düşen şoför sayısı 1.77'dir. Bu oran dünya standartlarında 2,47-2,5 arasındadır (TÜSSİDE, 2014). Sistemin 24 saat kesintisiz toplu ulaşım hizmeti vermesi, araçların çoğunun 16 saatin üzerinde aktif olarak hatlarda çalıştırılması ve şoförlerin acil durumlarda izin kullanması gibi durumlar göz önünde bulundurulduğunda, metrobüs sistemindeki oran sistemin performansına etki edebilecek kadar yetersiz kalmaktadır. Mevcut sistemde seferlere şoför atanamamakta, araçlara şoför atanmaktadır. Bu durum şoförler ve İETT açısından sorun teşkil edebilmektedir. Günlük olarak bir araca iki şoför atanmaktadır. Bu durum şoförü bağlamaktadır. Araçların etkin ve verimli yönetimi adına hatlara günlük ve saatlik şoför ataması yapılabilmesi gerekmektedir.

4.3.3.4 Komuta Kontrol Merkezi

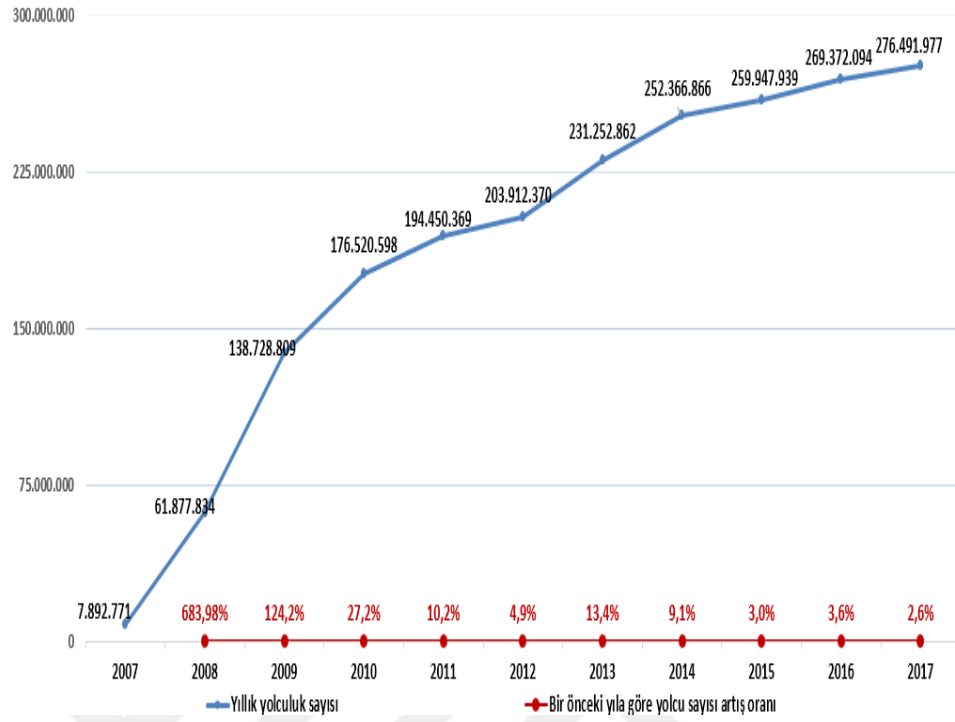
Metrobüs aksının birlikte izlenip kontrol, edilebildiği bir merkezdir. Araç takip, filo yönetimi ve yolcu bilgilendirme sistemlerini etkin hale getirmek amacıyla Kâğıthane

garajında hizmet veren metrobüs kontrol merkezi Temmuz 2007'den beri çalışmalarına devam etmektedir. Metrobüs kontrol merkezinin faydaları;

- Tüm hattı ve hattaki tüm araçları aynı anda görme olanağı sağlar,
- Kriz anlarında yönetimini kolaylaştıran etkin bir merkezdir,
- Bir noktada oluşabilecek arıza veya aksaklık durumunda hattın tümünü dengeleyebilme kolaylığı sağlar,
- Hat üzerindeki araçlar ile iletişime geçilerek, araçlara istasyonlara gelmeden haber gönderilebilir,
- Sahadaki yönetimde amir sadece bulunduğu noktayı görebilir ve o noktayı kurtarmak için bir çaba sarf eder, fakat komuta kontrol merkezi ile amir tüm hattı görerek her noktayı kurtarabilecek stratejiler üretebilir,
- İstasyonlarda yolculara bilgilendirme anonsları yapılarak bekleyen yolcular bilgilendirilir.

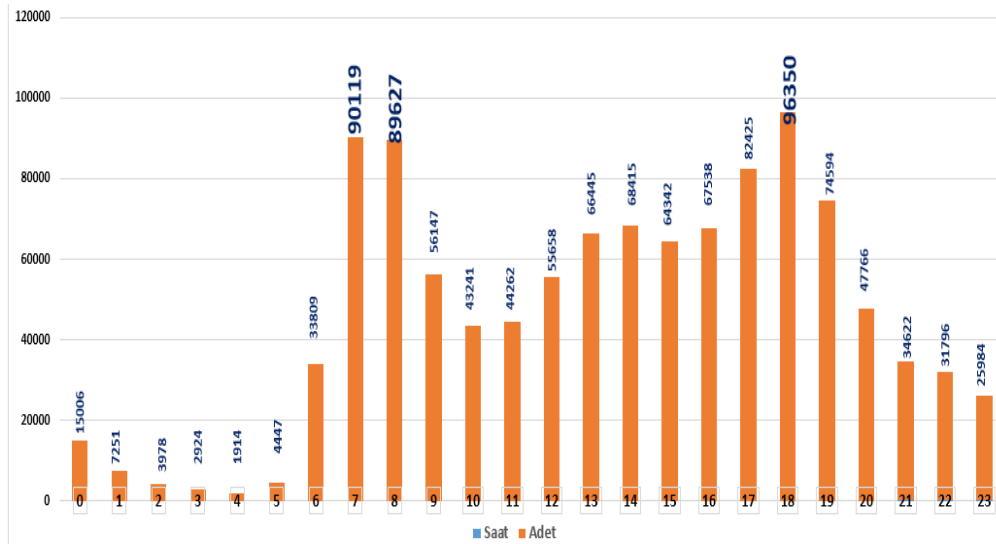
4.4 İSTANBUL METROBÜS YOLCULUK ANALİZİ

2009 yılından itibaren Avcılar Zincirlikuyu güzergahları arası çalışan sistem 2012 Temmuz ayında Avcılar'dan Beylikdüzü'ne uzatılmıştır. Şekil 4.5'deki yıllara göre yolculuk sayıları yorumlanırken bu durum dikkate alınmalıdır.



Şekil 4.5: Yıllara Göre Metrobüs Yolculuk Sayıları (İETT, 2018)

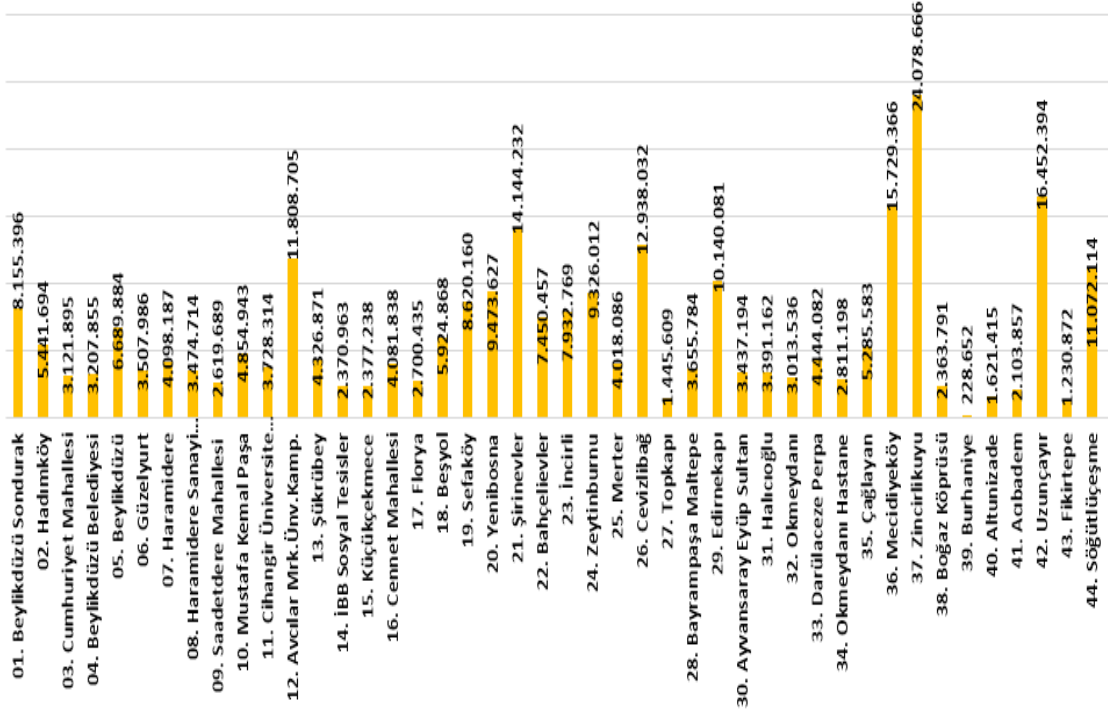
Şekil 4.6’da verilen saat bazlı yolculuk profili incelendiğinde sabah 07:00-09:00 arası ve akşam 17:00-19:00 saatleri arasında talebin maximum seviyeye ulaştığı görülmektedir.



Şekil 4.6: 2017 Yılı'nın Saat Bazlı Metrobüs Yolculuk Ortalamaları (günlük)

Kaynak: (İETT, 2018)

Şekil 4.7’de verilen istasyon bazlı yolculuk profilini incelediğimizde; Uzunçayır, Zincirlikuyu (aktarma istasyonu olması nedeniyle maximum talep), Mecidiyeköy, Edirnekapı, Şirinevler, Avcılar istasyonlarındaki talep diğer istasyonlardaki ortalamanın üzerindedir. Bu noktadaki talebin ortalamanın üzerinde olmasında en önemli faktör metro, tramvay, marmaray hatlarına olan entegrasyondur.



Şekil 4.7: 2017 Yılı Metrobüs İstasyonları Toplam Yolculuk

Kaynak: (İETT, 2018)

Metrobüs sistemiyle entegre olan (aktif veya aktif olmayan) toplu ulaşım sistemleri;

- **Marmaray:** Cevizlibağ, Şirinevler, Topkapı, Yenibosna ve Zeytinburnu istasyonları ile Kazlıçeşme arasında toplu ulaşım hizmeti veren otobüs hatları ile Marmaray ve Metrobüs sistemi arasındaki entegrasyon sağlanmaktadır.
- **Aksaray - Havalimanı Metro Hattı:** Şirinevler, Bahçelievler, Zeytinburnu ve Merter metrobüs istasyonlarından Aksaray - Havalimanı metro hattına 100-200 m yürüme mesafeden yürüyerek aktarma yapabilmek mümkündür. Bunların dışında, Yenibosna ve İncirli metrobüs istasyonlarından Yenibosna ve İncirli metro istasyonlarına da yürüyerek aktarma yapmak mümkündür.

- **Bağcılar - Kabataş Tramvay Hattı:** Zeytinburnu, Cevizlibağ ve Topkapı metrobüs istasyonlarından Bağcılar - Kabataş Tramvay hattına aktarma yapılabilmektedir.
- **Habipler – Topkapı Tramvay Hattı:** Topkapı ve Edirnekapı metrobüs istasyonlarından Habipler - Topkapı Tramvay hattına aktarma yapılabilmektedir.
- **Hacıosman Bey – Yenikapı Metro Hattı:** Mecidiyeköy ve Zincirlikuyu metrobüs istasyonundan Osmanbey - Şişhane Metro hattına aktarma yapılabilmektedir.
- **Kartal – Kadıköy Metro Hattı:** Uzunçayır metrobüs istasyonundan 400m yürüme mesafeden Kartal - Kadıköy Metro hattına aktarma yapılabilmektedir.

4.5 İSTANBUL METROBÜS 2017 MÜŞTERİ MEMNUNİYETİ ANKETİ (MMA) ANALİZİ

4.5.1 Amaç ve Kapsam

Müşteri Memnuniyeti Anketi ile İstanbul sınırları içerisinde Otobüs, Metrobüs ve Tünel yolcularının beklentilerini ve memnuniyet seviyesini doğru şekilde tespit ederek, iyileştirmeye açık alanları belirlemek amaçlanmaktadır.

Yapılan anket sonuçlarına İETT web sitesi üzerinden erişim sağlamak mümkündür. Her yıl kış döneminde yapılan anket araştırması 2017 yılında yaz ve kış dönemi için iki sefer yapılmıştır. İki sezonda da Otobüs (İETT, İOAŞ, ÖHO), Metrobüs ve tünel kullanıcıları için günlük ortalama yolcu sayılarına göre %95 güven aralığına göre 0,03 hata payı ile örneklem belirlenerek 6.383 kullanıcı görüşme gerçekleştirilmiştir (2017 İETT MMA). Tablo 4.7’de anket kapsamında görüşülen kişi sayıları verilmiştir.

Tablo 4.7
2017 MMA Kapsamında Görüşülen Kişi Sayısı

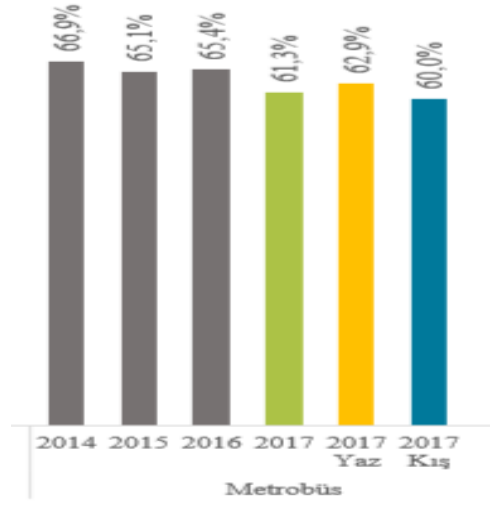
	YAZ	KIŞ	TOPLAM
OTOBÜS	1.587	1763	3.350
METROBÜS	1.099	1285	2.384
TÜNEL	334	315	649
TOPLAM	3.020	3363	6.383

Kaynak: (2017 İETT MMA , 2018)

2017 İETT MMA EN138161 kriterleri dikkate alınarak;

- Uygunluk,
- Erişilebilirlik,
- Konfor,
- Zaman,
- Müşteri hizmetleri,
- Güvenlik,
- Çevresel etki,
- Bilgilendirme kriterleri dikkate alınarak anket soruları hazırlanmıştır. (2017 İETT MMA)

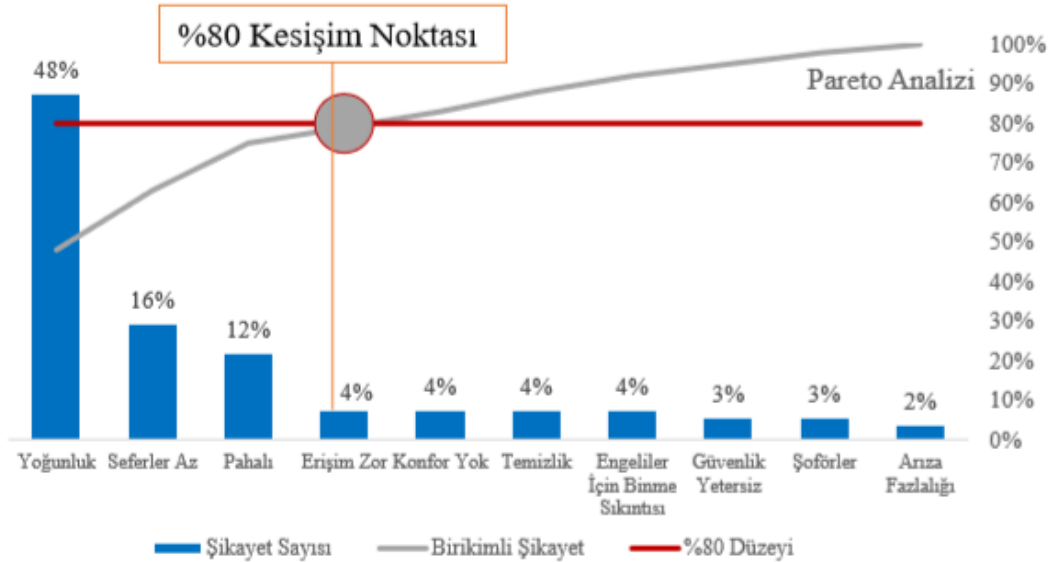
Şekil 4.8’de verilen yıllara göre metrobüs müşteri memnuniyet oranları incelendiğinde 2014 yılında %66,9 olan memnuniyet oranının 2017 kış dönemi itibariyle %60’a düştüğü görülmektedir. Yapılan ankete göre yolcular en çok yoğunluk, sefer azlığı, ücret yüksekliği ve erişim zorluğu konularında sorun yaşamaktadır.



Şekil 4.8: Yıllara Göre Metrobüs MMA Oranları

Kaynak: (2017 İETT MMA , 2018)

Şekil 4.9’da verilen grafikte metrobüs hattında memnuniyetsizliğe yol açan unsurların analizi yapılmıştır. Parametrelerin oranlarına bakıldığında %48 ile yoğunluk ilk sırada yer alırken %18 ile seferlerin azlığı ikinci sırada yer almaktadır.



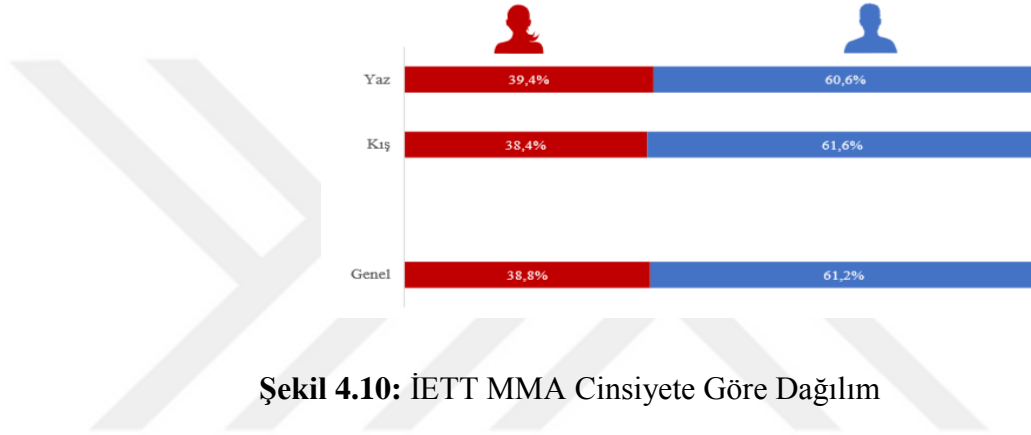
Şekil 4.9: Metrobüs Hattında Memnuniyetsizliğe Sebep Olan Unsurlar

Kaynak: (2017 İETT MMA , 2018)

4.5.2 2017 Müşteri Memnuniyet Anketi Analizi Sonuçları

4.5.2.1 Demografik Yapı

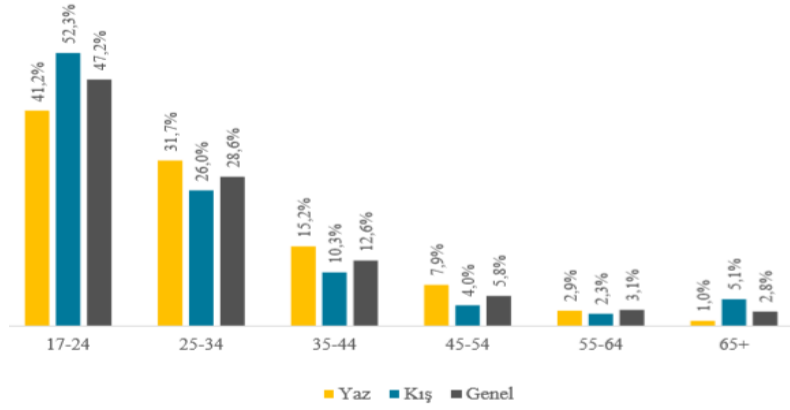
- **Cinsiyet Dağılımı:** Şekil 4.10’da verilen grafiğe göre İETT müşteri memnuniyeti anketi kapsamında görüşülen yolcuların genel cinsiyet dağılımına bakıldığında kişilerin %38,8 ‘i kadın,%61,2 si erkektir.



Şekil 4.10: İETT MMA Cinsiyete Göre Dağılım

Kaynak: (2017 İETT MMA , 2018)

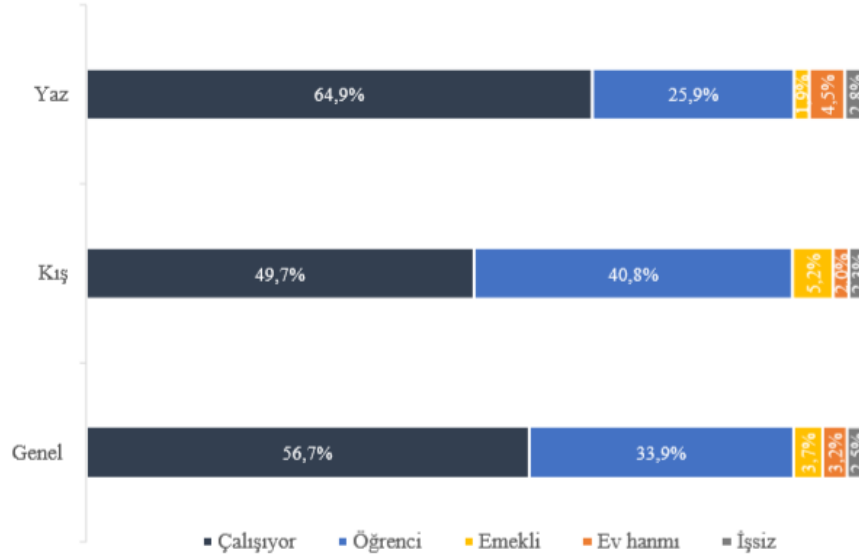
- **Yaş Dağılımı;** Şekil 4.11’de verilen grafikte İETT müşteri memnuniyet anketi kapsamında görüşülen yolcuların yaş grubu dağılımına bakıldığında, en alt yaş grubu 17-24 yaş aralığı için yıllık genel ortalama %47,2 kişi ile görüşülmüştür. En üst yaş grubu 65+ yaş aralığında yıllık genel ortalama %2,8 kişi ile görüşülmüştür. Anket kapsamında görüşülen kişilerin yaş ortalaması 29,4 tür.



Şekil 4.11: İETT MMA Yaşa Göre Dağılım

Kaynak: (2017 İETT MMA , 2018)

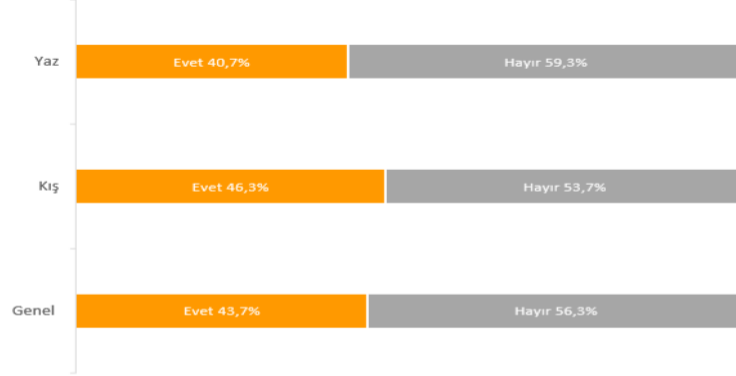
- **Çalışma Durumu;** Şekil 4.12’de verilen grafikte İETT müşteri memnuniyet anketi kapsamında görüşülen yolcuların %56,7’sini çalışanlar, %33,9’unu öğrenciler oluşturmaktadır. Yaz aylarında görüşülen öğrenci oranı düşmekte çalışan oranı artmaktadır.



Şekil 4.12: İETT MMA Çalışma Durumuna Göre Dağılım

Kaynak: (2017 İETT MMA , 2018)

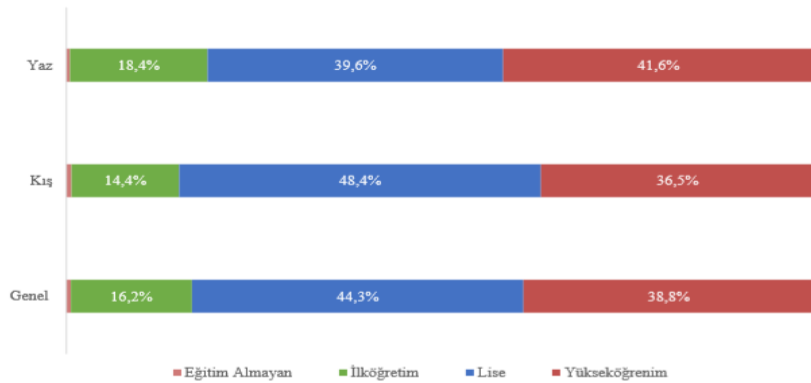
- **Özel Araç Sahiplik Durumu;** Şekil 4.13’de verilen grafikte İETT müşteri memnuniyet anketi kapsamında görüşülen yolcuların %43,7’si hanesinde özel araca sahip olduğunu %56,3’ü otomobil sahibi olmadığını beyan etmiştir.



Şekil 4.13: İETT MMA Özel Araç Sahiplik Durumu

Kaynak: (2017 İETT MMA , 2018)

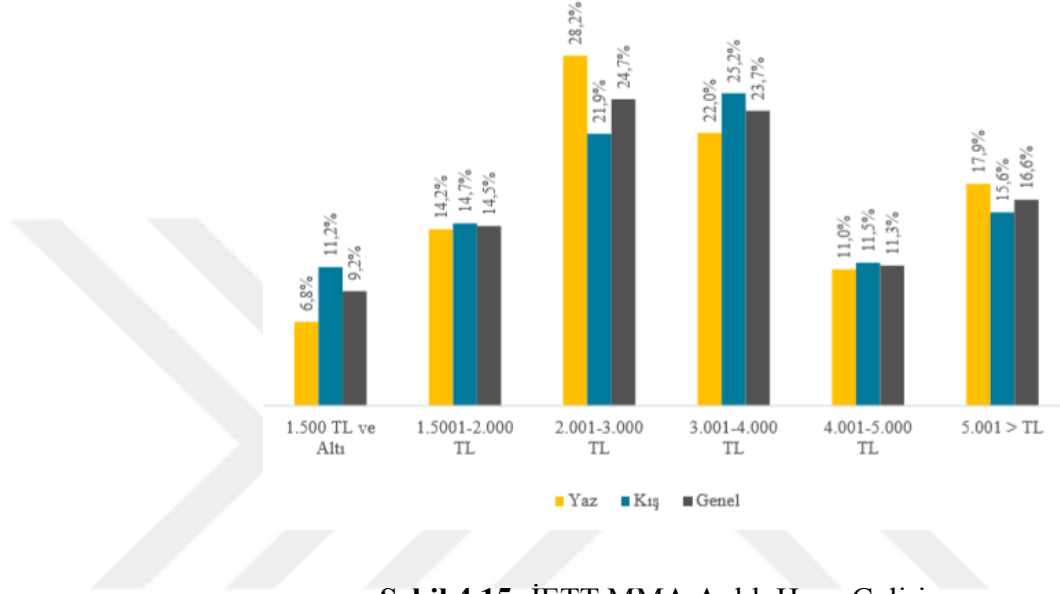
- **Eğitim Durumu;** Şekil 4.14’de verilen grafikte İETT müşteri memnuniyet anketi kapsamında görüşülen yolcuların %38,8’i yükseköğretim mezunu, %44,3’ü lise mezunu, %16,2’si ilköğretim mezunudur. Görüşülen kullanıcıların eğitim seviyesi yüksektir.



Şekil 4.14: İETT MMA Eğitim Durumu

Kaynak: (2017 İETT MMA , 2018)

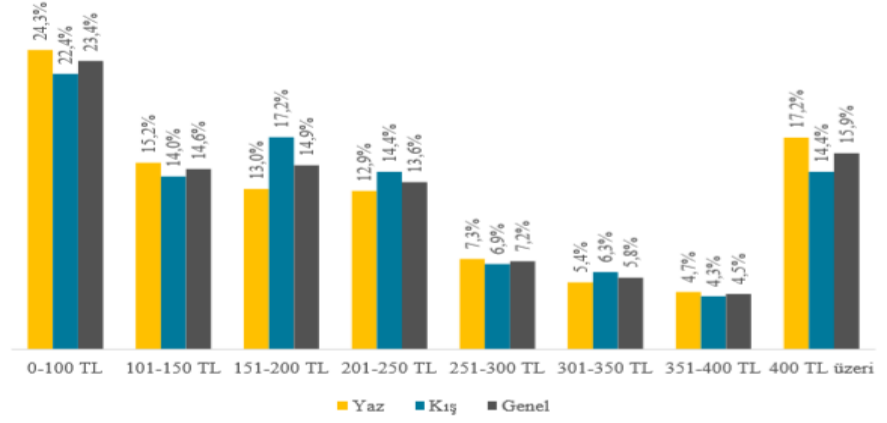
- **Aylık Hane Geliri;** Şekil 4.15’de verilen grafikte İETT müşteri memnuniyet anketi kapsamında görüşülen yolcuların %24,7’si hane geliri için 2001-3000 TL arası beyanında bulunmuştur. 3001-4000 hane geliri olduğunu beyan edenler ise %23,7’dir.görüşülen kitlenin aylık ortalama hane geliri 3.542 TL’dir.



Şekil 4.15: İETT MMA Aylık Hane Geliri

Kaynak: (2017 İETT MMA , 2018)

- **Aylık Ulaşım Gideri;** Şekil 4.16’da verilen grafikte İETT müşteri memnuniyet anketi kapsamında görüşülen yolcuların aylık ortalama ulaşım gideri 214 TL’dir. Ulaşım giderinin, aylık gelire oranı %6,0’dır. İETT’nin aylık mavi kart ücreti olan 205 TL ile araştırmada ortaya çıkan ortalama aylık ulaşım gideri örtüşmektedir. Araştırma kapsamında görüşülen yolcuların %23,4’ü aylık ulaşım masrafının 0-100 TL olduğunu beyan ederken, 400 TL üzeri olduğunu beyan edenler %15,9’dur.

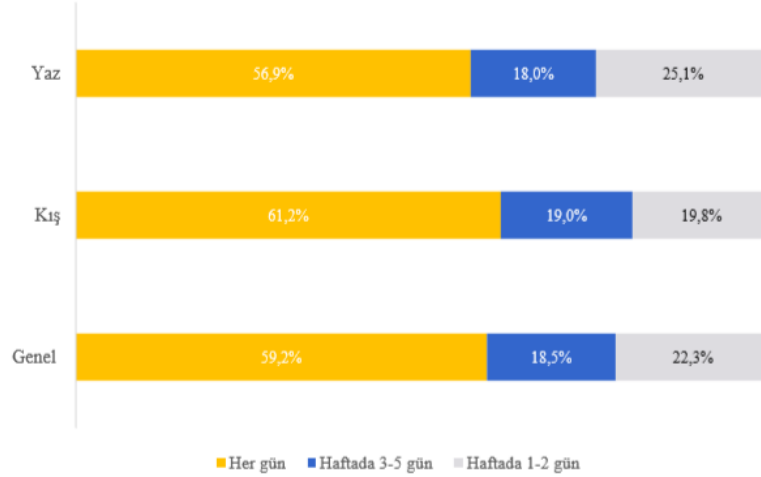


Şekil 4.16: İETT MMA Aylık Ulaşım Gideri

Kaynak: (2017 İETT MMA , 2018)

4.5.2.2 Seyahat Bilgileri ve Kullanım Alışkanlıkları

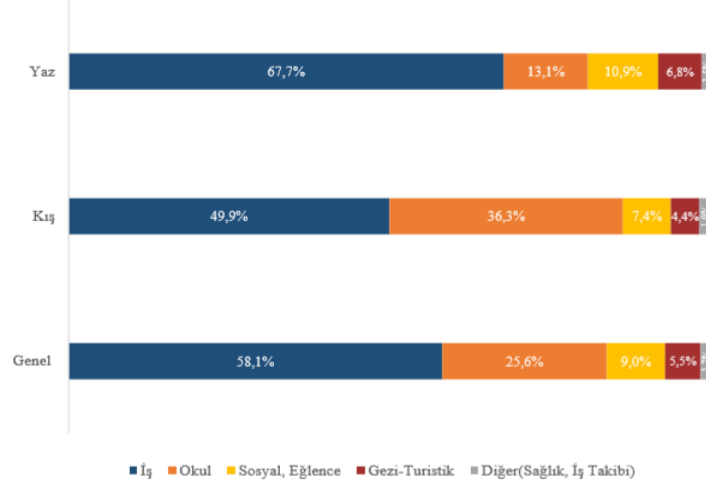
- **Metrobüs Kullanım Sıklığı;** Şekil 4.17’de verilen grafikte İETT müşteri memnuniyet anketi kapsamında görüşülen yolcuların metrobüsü her gün kullananlar %59,2, haftada 1-2 gün kullananlar %22,3, haftada 3-5 gün kullananlar ise %18,5’tir. Kış aylarında metrobüsü her gün kullananlarda artış gözlemlenmektedir.



Şekil 4.17: İETT MMA Metrobüs Kullanım Sıklığı

Kaynak: (2017 İETT MMA , 2018)

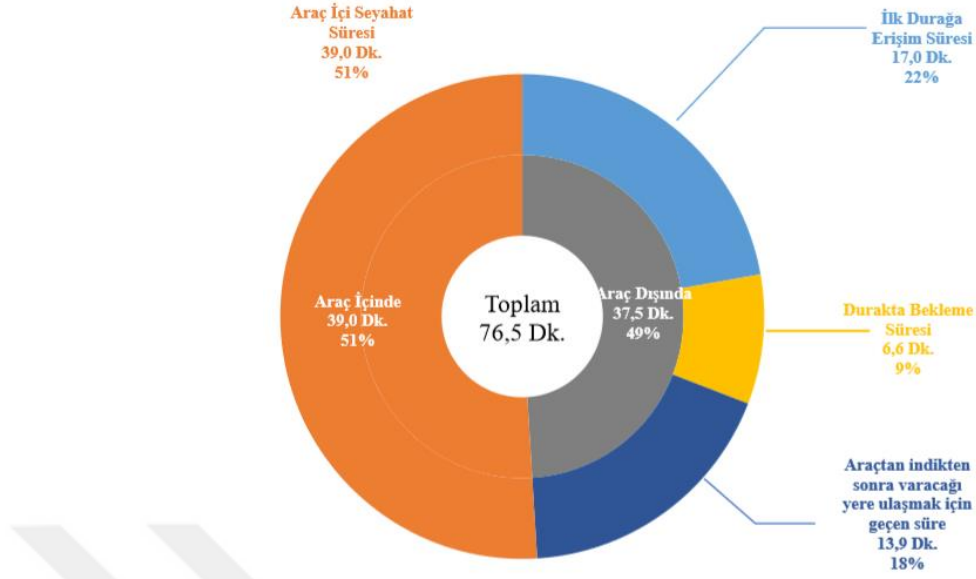
- **Yolculuk Amacı;** Şekil 4.18’de verilen grafikte İETT müşteri memnuniyet anketi kapsamında görüşülen yolcuların %58,1’i iş, %25,6’si okul, %9,0’ı sosyal, eğlence amaçlı metrobüs yolculuğu yapmaktadır. Yaz aylarında öğrenci kullanımında düşüş görülmektedir.



Şekil 4.18: İETT MMA Yolculuk Amacı

Kaynak: (2017 İETT MMA , 2018)

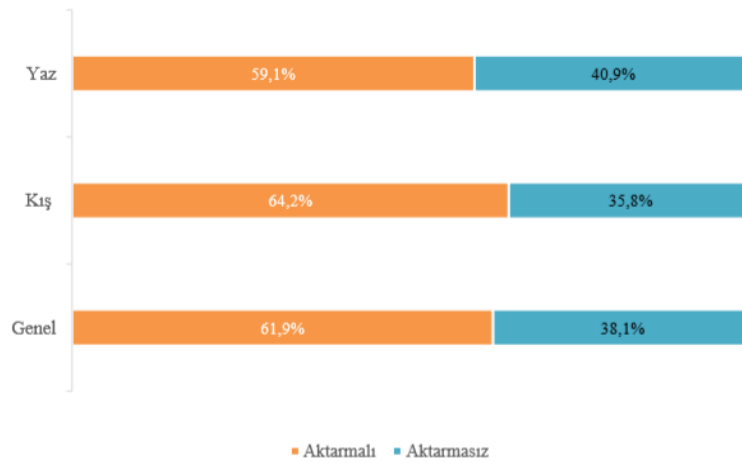
- **Ortalama Seyahat Süresi;** Şekil 4.19’da verilen grafikte istasyona erişim süresi 17 dakika, durakta bekleme süresi 6 dakika, araç içi seyahat süresi 39 dakika, araçtan indikten sonra varacağı yere ulaşmak için geçen süre 12 dakika olup, toplamda ortalama 76 dk. sürmektedir.



Şekil 4.19: İETT MMA Ortalama Seyahat Süresi

Kaynak: (2017 İETT MMA , 2018)

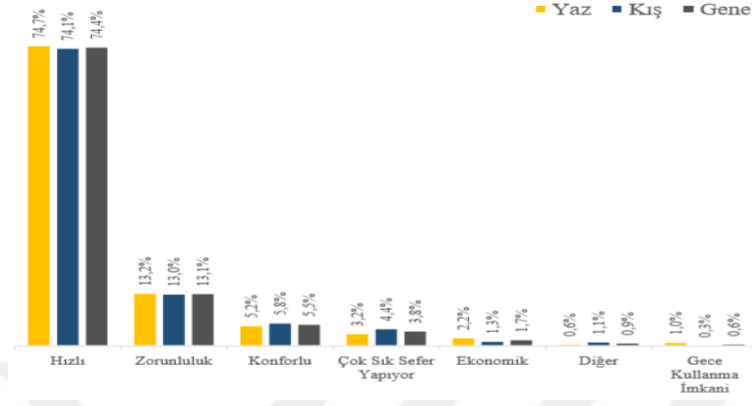
- **Aktarma Oranı;** Şekil 4.20’da verilen grafikte İETT müşteri memnuniyet anketi kapsamında görüşülen yolcuların aktarmalı ulaşım kullanıcıları %61,9’dur. Yaz döneminde aktarmalı yolculuk gerçekleştirenler %59,1 iken kış döneminde %64,2’dir



Şekil 4.20: İETT MMA Aktarma Oranı

Kaynak: (2017 İETT MMA , 2018)

- **Tercih Edilme Sebebi;** Şekil 4.21’de verilen grafikte İETT müşteri memnuniyet anketi kapsamında görüşülen yolcuların %74,4’ü hızlı olduğu için, %13,1’i zorunluluktan,%5,2’si konforlu oluğu için tercih ettiklerini belirtmişlerdir.

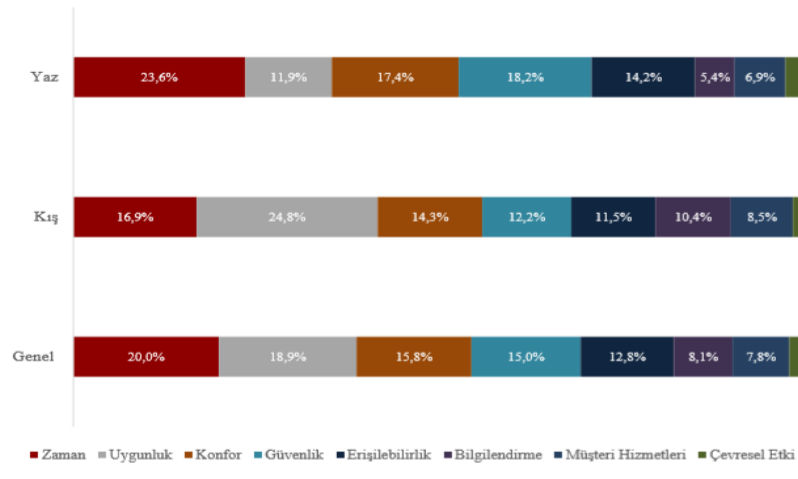


Şekil 4.21: İETT MMA Tercih Edilme

Kaynak: (2017 İETT MMA , 2018)

4.5.2.3 Memnuniyet Seviyeleri

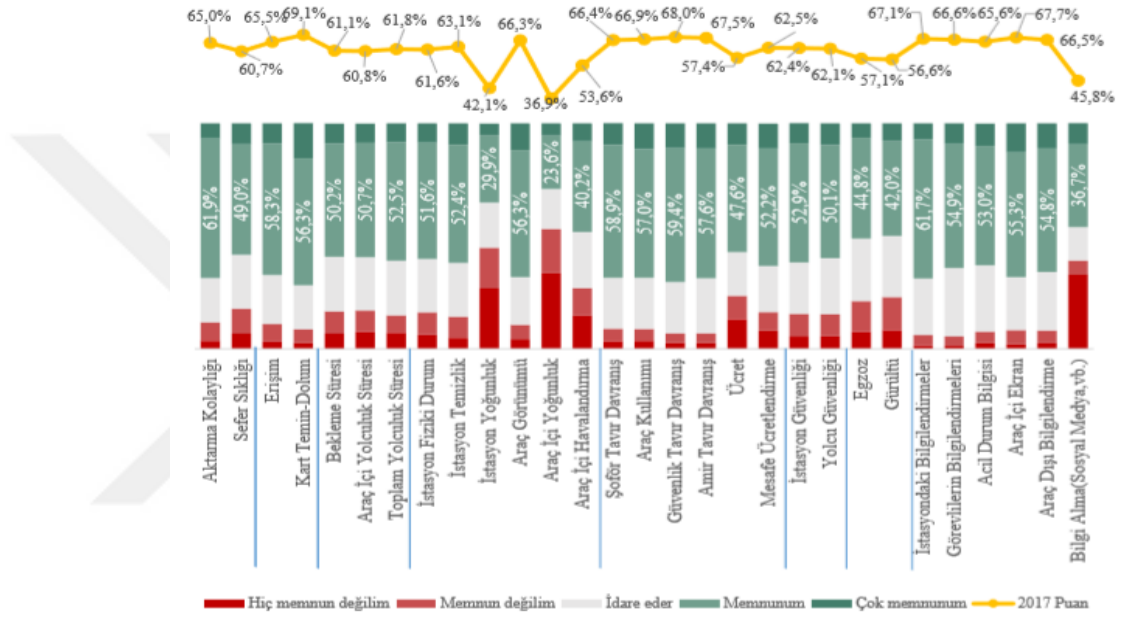
- **Kriterlerin Önem Düzeyleri;** Şekil 4.22’de verilen grafikte kriterlerin önem düzeylerin de yaz döneminde zaman kriteri %23,6 oranında daha fazla önemli iken kış döneminde uygunluk kriteri %24,8 oran ile daha fazla önemsenmektedir.



Şekil 4.22: İETT MMA Kriterlerin Önem Düzeyleri

Kaynak: (2017 İETT MMA , 2018)

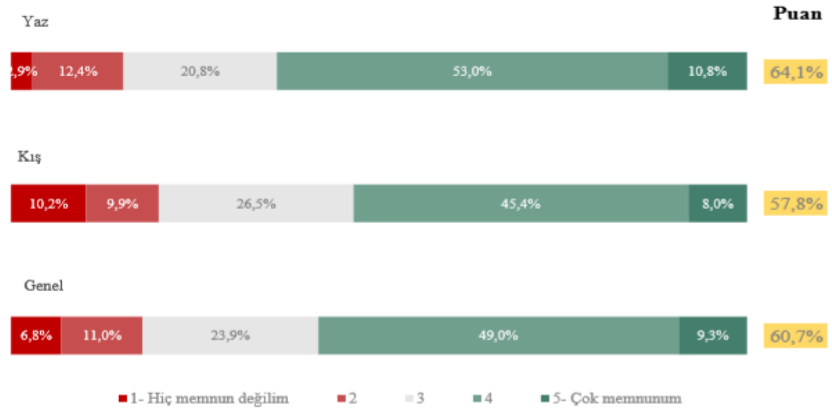
- **Kriterlerin Genel Memnuniyet Puanı;** Şekil 4.23’de verilen grafikte araştırmada konfor kriterinde yer alan istasyon yoğunluğu, araç içi yolcu yoğunluğu ve araç içi havalandırma konuları kullanıcıların memnun olmadıkları konuların başında gelmektedir. Memnuniyet düzeyini en çok araç içi ve istasyon yoğunlukları düşürmüştür.



Şekil 4.23: İETT MMA Kriterlerin Genel Memnuniyet Puanı

Kaynak: (2017 İETT MMA , 2018)

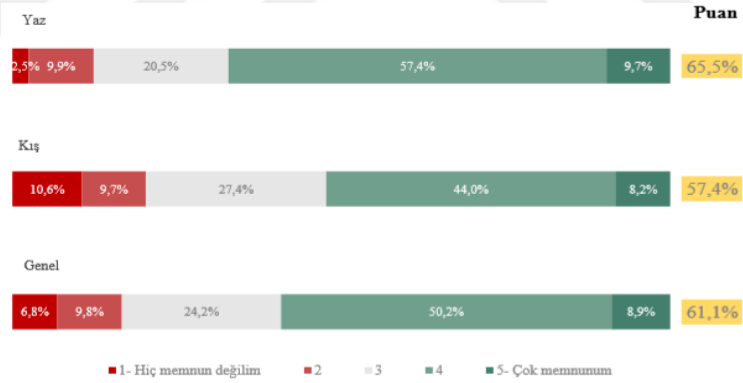
- **Araçların Sefer Sıklığı;** Şekil 4.24’de verilen grafikte İETT müşteri memnuniyet anketi kapsamında görüşülen yolcuların yaz döneminde sefer sıklığından memnun olanların oranı %64,1 iken kış döneminde bu oran %57,8’dir.



Şekil 4.24: İETT MMA Araç Sefer Sıklığı Memnuniyeti

Kaynak: (2017 İETT MMA , 2018)

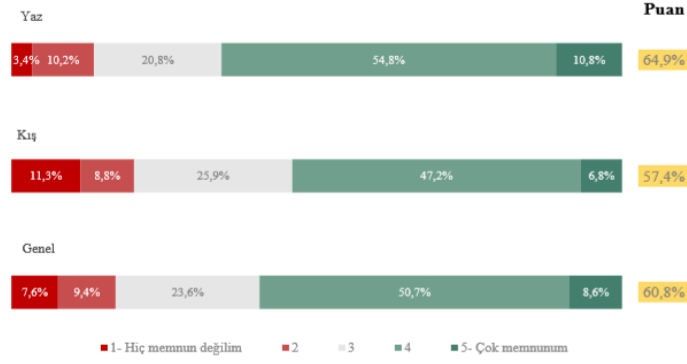
- **İstasyonda Bekleme Süresi;** Şekil 4.25’de verilen grafikte İETT müşteri memnuniyet anketi kapsamında görüşülen yolcuların yaz döneminde memnuniyet oranı %65,5 iken kış döneminde bu oran %57,4’e düşmüştür. Kış döneminde yolcu yoğunluğundaki artış nedeniyle bekleme sürelerinde de artış yaşanmaktadır.



Şekil 4.25: İETT MMA İstasyonda Bekleme Süresi Memnuniyeti

Kaynak: (2017 İETT MMA , 2018)

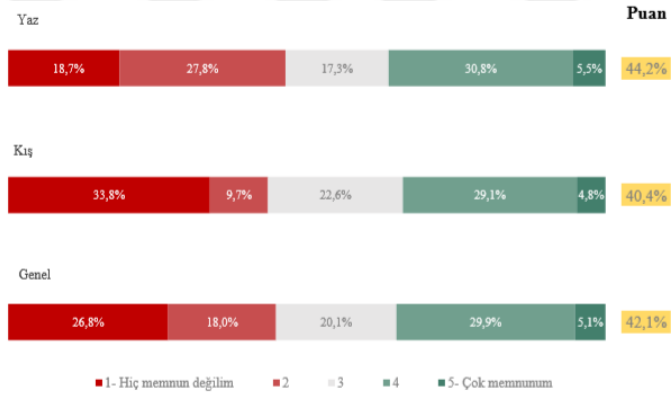
- **Araç İçi Yolculuk Süresinden Memnuniyet;** Şekil 4.26’da verilen grafikte İETT müşteri memnuniyet anketi kapsamında görüşülen yolcuların araç içi yolculuk süresi genel memnuniyet oranı %60,8’dir. Yaz döneminde memnuniyet oranı %64,9 iken kış döneminde memnuniyet oranı %57,4’e düşmüştür.



Şekil 4.26: İETT MMA Araç İçi Yolculuk Süresinden Memnuniyet

Kaynak: (2017 İETT MMA , 2018)

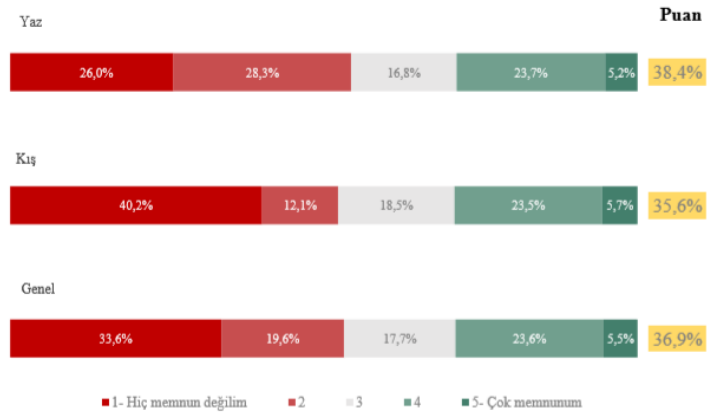
- **İstasyonların Doluluk Durumu;** Şekil 4.27’de verilen grafikte İETT müşteri memnuniyet anketi kapsamında görüşülen yolcuların istasyonların yolcu yoğunluğundan genel memnuniyet oranı %42,1’dir.İstasyonlardaki yolcu yoğunluğundan memnuniyet düzeyi düşüktür.



Şekil 4.27: İETT MMA İstasyon Doluluk Oranından Memnuniyet

Kaynak: (2017 İETT MMA , 2018)

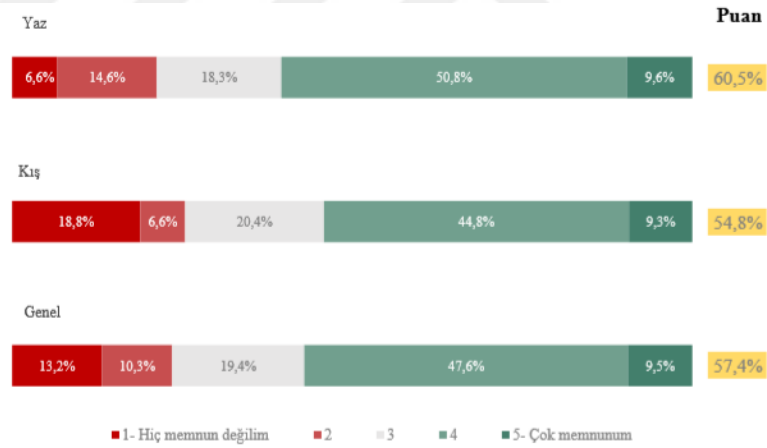
- **Araç İçi Doluluk;** Şekil 4.28’de verilen grafikte İETT müşteri memnuniyet anketi kapsamında görüşülen yolcuların araç içi doluluktan genel memnuniyet oranı %36,9’dur.Araç içi doluluk oranı yolcuların en fazla memnuniyetsiz olduğu parametredir.



Şekil 4.28: İETT MMA Araç İçi Doluluk Oranından Memnuniyet

Kaynak: (2017 İETT MMA , 2018)

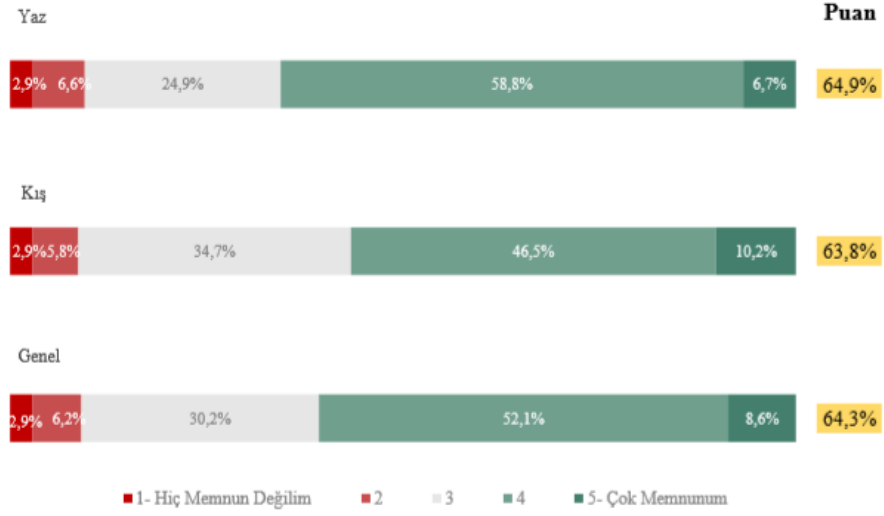
- **Ulaşım Ücreti;** Şekil 4.29’da verilen grafikte İETT müşteri memnuniyet anketi kapsamında görüşülen yolcuların ücretlerden memnuniyet oranı %57,4’tür.



Şekil 4.29: İETT MMA Ulaşım Ücretinden Memnuniyet

Kaynak: (2017 İETT MMA , 2018)

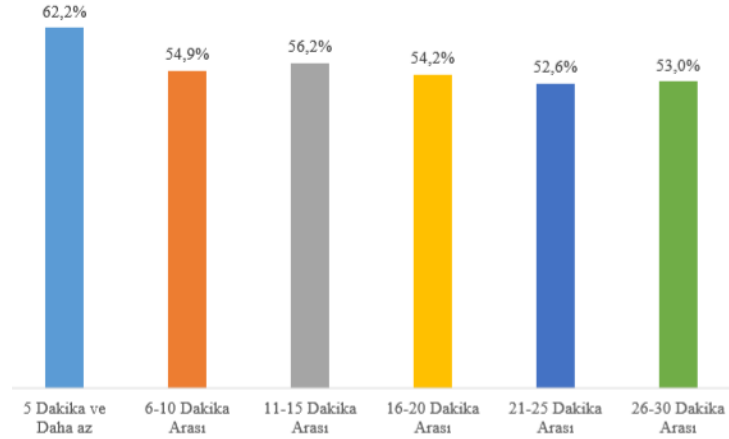
- **Metrobüs Genel Değerlendirme;** Şekil 4.30’da verilen grafikte İETT müşteri memnuniyet anketi kapsamında görüşülen yolculara yöneltilen “Aldığınız hizmetin tüm aşamalarını bir bütün olarak düşünürsek Metrobüs hizmetlerinden ne derece memnunsunuz” sorusuna verilen cevaplara göre Metrobüsün genel memnuniyet oranı %64,3. Memnun olmayan yolcuların oranı %9,1’dir.



Şekil 4.30: İETT MMA Metrobüs Genel Değerlendirme

Kaynak: (2017 İETT MMA , 2018)

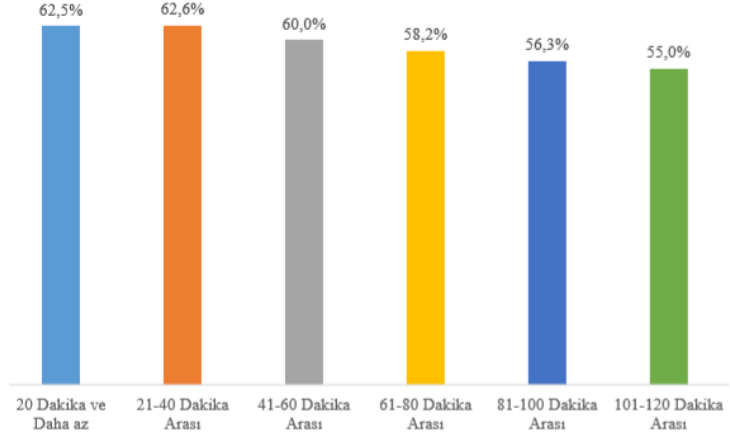
- **İstasyonda Bekleme Süresine Göre Memnuniyet;** Şekil 4.31’de verilen grafikte İETT Müşteri memnuniyet anketi kapsamında görüşülen yolcuların istasyonda bekleme süreleri azaldıkça memnuniyet oranı artmıştır. Veri kış dönemine aittir.



Şekil 4.31: İETT MMA İstasyonda Bekleme Süresine Göre Memnuniyet

Kaynak: (2017 İETT MMA , 2018)

- **Araç İçi Yolculuk Süresine Göre Memnuniyet;** Şekil 4.32’de verilen grafikte İETT Müşteri memnuniyet anketi kapsamında görüşülen yolcuların araç içi seyahat süresi azaldıkça memnuniyet oranı artmaktadır.



Şekil 4.32: İETT MMA Araç İçi Yolculuk Süresine Göre Memnuniyet

Kaynak: (2017 İETT MMA , 2018)

5. HAT ÇİZELGELEME PROBLEMİNE GENETİK ALGORİTMA YAKLAŞIMI: İETT ÖRNEĞİ

Bu bölümde akıllı optimizasyon tekniklerinden biri olan genetik algoritma ile İstanbul toplu ulaşım sistemi içinde yer alan metrobüs hatlarından Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme etabı için minimum araç sayısı ile yolcuların istasyonda bekleme sürelerinin minimize edildiği çok amaçlı optimizasyon uygulaması hedeflenmektedir. Söz konusu optimizasyon işleminin yapılabilmesi için veri toplama ilkelerine uygun bir şekilde veri hazırlığı yapılmıştır. Daha sonra genetik algoritmanın teorik yapısına uygun bir şekilde MATLAB paket programı ile uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulama kapsamında; İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri Genel Müdürlüğü'nün denetim ve kontrolündeki metrobüs hattına ait Ekim 2017 tarihli yolculuk ve işletme verileri kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında bu bölümde sırasıyla; mevcut sistemin modellenmesi, varsayım ve parametrelerinin belirlenmesi, MATLAB paket programında simülasyonun çalıştırılması, MATLAB Genetik Algoritma Tool'u çalışma prensibi ve uygulama ve sonuçlarının analizi detaylı olarak incelenmiştir.

5.1 SİSTEMİN MODELLENMESİ, VARSAYIM VE PARAMETRELERİ

Metrobüs ve benzeri toplu ulaşım sistemlerinde kullanılan temel performans ölçütleri şu şekildedir:

- Toplu ulaşım sisteminde taşınan yolcu ve sistemdeki toplam araç,
- Toplu ulaşım sistemindeki en yoğun kesitin tespit edilip yoğunluğun minimize edilmesi,
- Toplu ulaşım sistemindeki araç içi metrekaare başına düşen yolcu sayısı,
- Toplu ulaşım sisteminin işletme hızı,
- Toplu ulaşım sisteminde saatte taşınan yolcu sayısı - çift yön,

- Toplu ulaşım sisteminde saatte taşınan yolcu sayısı - sadece en yoğun yön,
- Toplu ulaşım sistemindeki araçların ortalama seyahat süreleri,
- Toplu ulaşım sistemindeki araçların günlük sefer sayıları,
- Toplu ulaşım sistemindeki araçların istasyonlardaki ortalama bekleme süreleri,
- Toplu ulaşım sistemindeki bir yolcunun ortalama seyahat süresi,
- Toplu ulaşım sistemindeki tüm kesitlerin araç içi doluluk ortalamaları.

Toplu ulaşım sisteminde belirlenen amaç veya amaçlara ulaşabilmek için kontrol edilebilen sistem bileşenleri vardır. Bu bileşenler karar değişkenleri olarak da tanımlanabilir. Herhangi bir sistemin modellenmesi aşamasında belirlenen amaçlara ulaşabilmek için karar değişkenleri değiştirilerek istenen amaçlara ulaşmak hedeflenir.

Bir sistemin modellenmesinde oluşturulan modelin çözülebilmesi için bazı varsayımların yapılması gerekmektedir. Mevcut İstanbul metrobüs hattının Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme etabının modellenmesi aşamasında çalışma zamanı olarak yolculuğun zirve yaptığı 07:00-09:00 saatleri arası seçilmiştir, çalışma kapsamında kabul edilen başlıca varsayımlar şu şekildedir:

- Metrobüs sisteminde istasyonların fiziksel yapılarında değişikliğe gidilmeyeceği,
- Metrobüs araçlarının hepsinin aynı marka ve model olduğu,
- Metrobüslerin duraklar arasında seyir halindeyken hızlarının 40 km/saat olduğu ve durağa yaklaşırken 10 km/saat'e indiği,
- Metrobüs araçlarının kapasitelerinin aynı olduğu,
- Metrobüs araçlarının maksimum kapasite ölçüsünde yolcu alabildiği,
- İstasyonlar arası seyahat sürelerinin sabit olduğu,
- Yolcuların istasyona gelen aracı tamamen doldurma eğilimi gösterdiği,
- Numaralandırmaya Zincirlikuyu istasyonundan başlanarak Söğütlüçeşme istikametinde devam edilmiştir. Zincirlikuyu: 1. istasyon, 15 Temmuz Şehitler Köprüsü: 2. istasyon, Burhaniye: 3. istasyon, Altunizade: 4. istasyon, Acıbadem: 5. istasyon, Uzunçayır: 6. istasyon, Fikirtepe: 7. istasyon, Söğütlüçeşme: 8. istasyon olarak kodlanmıştır. Bu nedenle Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme yönü (+) yön olarak kabul edilmiştir. Söğütlüçeşme-Zincirlikuyu yönü ise (-) yön olarak kabul

edilmiştir. Programın başlangıç koşulu olarak araçlar ilk konumu Zincirlikuyu ve Söğütlüçeşme istasyonlarından birisi olarak belirlenmiştir. Zincirlikuyu'dan kalkan araçların yönü (+) olarak Söğütlüçeşme'den kalkan araçlar ise (-) olarak tanımlanmıştır. Şayet araçlar hattın son durağını aşarlarsa hatta geri çağırmak için yönlerin negatifi alınmaktadır. Şekil 5.1'de MATLAB paket programında araç yönlerinin ters çevrilmesi için kullanılan kodlama sistemi gösterilmiştir.

```
if new_vehicle_locations(i) > locations(end) % e?er araç sö?ütlü çe?meyi geçerse yönünü -1'e çevir ve bütün yolcular? bo?alt
    vehicle_direction(i)=-1;
    vehicle_passengers(i)=0;
elseif new_vehicle_locations(i) < locations(1) % e?er araç zincirlikuyuyu geçerse yönünü 1'e çevir ve bütün yolcular? bo?alt
    vehicle_direction(i)=1;
    vehicle_passengers(i)=0;
```

Şekil 5.1: MATLAB Mevcut Sistem Simülasyonu Araç Yönünün Negatiflenmesi

Metrobüs sisteminin optimize edilmesi için ilk olarak mevcut sistemin modellenerek MATLAB paket programıyla simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyon modeli tamamlandıktan sonra hangi amacın öncelikli tutulması gerektiği sorusu gündeme gelmiştir. Proje kapsamında çok amaçlı optimizasyon (multiobjective optimization) tekniği ile bu amaç istasyonlarda bekleyen yolcuları ve araç sayılarını minimize etmek olarak ortaya konmuş olup gerekli araç sayıları MATLAB GA Tool'u ile hesaplanmıştır. Buradan yola çıkılırsa, oluşturulacak matematiksel model aşağıdaki parametre ve karar değişkenleri ile ifade edilmektedir.

Bu bölümde öncelikle modelin çalışması için ihtiyaç duyduğu girdiler, dikkate alacağı varsayımlar ile hesaplamalar, sonrasında bu girdilerin nasıl elde edildiği ve hangi varsayımlara göre modelin çalışması sürecine dâhil edildiği açıklanmıştır.

a. İstasyon ve Araç Sayıları ile Kapasiteler: Bu parametrelerden istasyon sayısı MATLAB paket programında '*location_number*' ile tanımlanmış olup sisteme 8 istasyon tanımlanmıştır.

Araç sayısı '*vehicle_number*' ile tanımlanmış olup yolcu taleplerindeki değişkenliğe bağımlı olarak değişebilmektedir. Ayrıca belirli bir sayıda sınırlı tutulabilmektedir. Uygulama kapsamında optimum araç sayısı GA ile hesaplanmıştır.

Araç içi kapasiteler ‘*vehicle_size (araç kapasitesi)*’ ile tanımlanmış olup bir metrobüs aracının taşıyabileceği maksimum yolcu sayısını göstermektedir. Araç içi yolcu kapasitesi değeri farklı metrobüs aracı tipleri için çeşitlendiğinden (önceki bölümlerde marka ve modele ait araç kapasiteleri verilmiştir) Mercedes Capacity marka araçların kullanılacağı varsayılarak uygulama kapsamında araç içi yolcu kapasitesi 192 kişi olarak Şekil 5.2’deki kodlama sistemi ile tanımlanmıştır.

b. Araç Hızı : ‘*vehicle_speed*’ parametresi ile tanımlanmış olup hızın metrobüs hattı boyunca sabit kaldığı varsayılmıştır. Uygulama kapsamında metrobüs araçları için hız 40 km/sa olarak Şekil 5.2’deki kodlama sistemi ile tanımlanmıştır.

```
5 - vehicle_number=70;% araç say?s?  
6 - vehicle_size=192;% araç kapasitesi 192 yolcu  
7 - vehicle_speed=40;% araç h?z? 40 km/saat
```

Şekil 5.2: MATLAB Paket Programında Araç Sayısı, Kapasite Ve Hız Verilerinin Tanımlanması

c. Yolculuk Verileri: Uygulama kapsamında yolculuk değerleri ile ilgili tanımlanan parametreler:

Gelen Yolcu: ‘*passengers_in*’ parametresi ile Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme etabındaki toplam 8 istasyonda gerçekleşen 1 dakikalık yolculuk verileri (120x8) boyutunda matris olarak tanımlanmıştır. Veriler 2017 Ekim ayına ait gerçekleşen yolculuk verileridir. Yolcuların 1 dk’lık süre boyunca poisson dağılımına uygunluk göstererek istasyonlara geldiği varsayılmıştır.

Ortalama Yolcu Sayısı: ‘*averages_*’ parametresi ile uygulama kapsamında kullanılan istasyonlara gelen dakikalık ortalama yolculuklar Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1
İstasyonların Dakikalık Ortalama Yolculukları

İstasyon Adı	Ortalama Yolculuk*
Zincirlikuyu	61
15 Temmuz Şehitler Köprüsü	17
Burhaniye	3
Altunizade	42
Acıbadem	19
Uzunçayır	112
Fikirtepe	9
Söğütlüçeşme	56

*Sabah pik saat ortalaması yolculuk verisi (07:00-09:00)

Standart Sapma: ‘standart_deviations’ parametresi ile istasyonlara gelen dakikalık yolculuk verileri ile hesaplanan yolculukların standart sapma değeri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2
İstasyonlara Gelen Yolcuların Standart Sapma Değerleri

Sıra No	İstasyon Adı	Standart Sapma
1	Zincirlikuyu	16,0381
2	15 Temmuz Şehitler Köprüsü	8,3242
3	Burhaniye	2,0084
4	Altunizade	12,4367
5	Acıbadem	7,9759
6	Uzunçayır	34,8365
7	Fikirtepe	4,4134
8	Söğütlüçeşme	13,8529

Yolcu Akışı: ‘passenger_’ flow parametresi ile Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme etabının OD matris (8x8) verisi tanımlanmıştır.

Yolculukların yönünü (Başlangıç ve Bitiş İstasyonları) belirlemede kullandığımız matris OD (Origin Destination) matrisi olarak adlandırılmaktadır. İETT’de tutulan kayıtlar vasıtasıyla, yolcuların istasyonlarda turnikelerden geçerken kartlarını okutması neticesinde seyahat başlangıç bilgileri kaydedilmiş olmaktadır. Fakat yolculukların hangi istasyonda bittiği bilgisi kaydedilmemektedir. Bu sebeple varış istasyonları hakkında

çıkarımlar yapmak için bazı varsayımlar yapmak gerekmektedir. Burada aynı kişi tarafından aynı gün içinde yapılan iki yolculuğun bir tanesinin başlangıç istasyonu diğer yolculuğun bitiş istasyonu olduğu varsayımı yapılarak OD matris kurum tarafından senede bir kez hesaplanmaktadır. Uygulama kapsamında Tablo 5.3’de verilen 2017 yılına ait OD matris verisi kullanılmıştır.

Tablo 5.3
Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme Etabı OD Matris

Yolculuk OD	Zincirlikuyu	15 Temmuz Şehitler K.	Burhaniye	Altunizade	Acıbadem	Uzunçayır	Fikirtepe	Söğütlüçeşme
Zincirlikuyu		1245	146	5120	1227	11240	3979	3934
15 Temmuz Şehitler Köprüsü	1221		99	101	95	522	230	442
Burhaniye	169	21		14	13	140	22	63
Altunizade	4629	108	27		474	2319	502	836
Acıbadem	2221	121	18	273		463	115	354
Uzunçayır	13003	715	170	2108	711		1769	1423
Fikirtepe	1004	53	9	280	90	539		64
Söğütlüçeşme	9057	576	89	822	457	1356	987	

d. Araç İçi Anlık Boşaltma Oranları

OD matris tablosundaki değerler kullanılarak basit ağırlıklandırma yöntemi ile Z-S (Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme) ve S-Z (Söğütlüçeşme-Zincirlikuyu) yönü için her istasyona ait araç içi anlık boşaltma oranları hesaplanmıştır ve uygulama kapsamında kullanılan araç içi boşaltma oranları Tablo 5.4’te verilmiştir. Son istasyona gelindiğinde tüm yolcuların aracı boşalttığı varsayılmıştır. İlk biniş istasyonları için ise araçlarda yolcu olmayacağından aracı boşaltma oranı atanmamıştır.

Tablo 5.4
Araç İçi Anlık Boşaltma Oranları

İstasyon Adı	Z-S	S-Z
Zincirlikuyu	-	1,0000
15 Temmuz Şehitler Köprüsü	0,0337	0,0485
Burhaniye	0,0069	0,0094
Altunizade	0,1476	0,0949
Acıbadem	0,0598	0,0331
Uzunçayır	0,5167	0,0476
Fikirtepe	0,4818	0,0242
Söğütlüçeşme	1,0000	-

e. İstasyon Araç Kapasiteleri

İstasyonların fiziksel özelliklerinin birbirinden farklı olması nedeniyle Z-S yönünde ve S-Z yönünde her istasyona ait araç kapasiteleri Tablo 5.5'te verilmiştir. Uygulama kapsamında MATLAB paket programında kodlama sistemi ile istasyon limitlerinin tanımlanması Şekil 5.3'de verilmiştir.

Tablo 5.5
İstasyon Araç Kapasiteleri

İstasyon Adı	Z-S	S-Z
Zincirlikuyu	4	4
15 Temmuz Şehitler Köprüsü	4	3
Burhaniye	2	2
Altunizade	5	5
Acıbadem	4	4
Uzunçayır	5	5
Fikirtepe	3	3
Söğütlüçeşme	5	5


```

67 - station_limit=[4 4 2 5 4 5 3 5];
68
69 % Zincirlikuyu- 4 araç
70 % 15 Temmuz ?ehitler Köprüsü- 4 araç
71 % Burhaniye-2 araç
72 % Altunizade-5 araç
73 % Ac?badem-4 araç
74 % Uzunçay?r-5 araç
75 % Fikirtepe-3 araç
76 % Sö?ütlüçe?me-5 araç

```

Şekil 5.3: MATLAB Paket Programı İstasyon Kapasitelerinin Tanımlanması

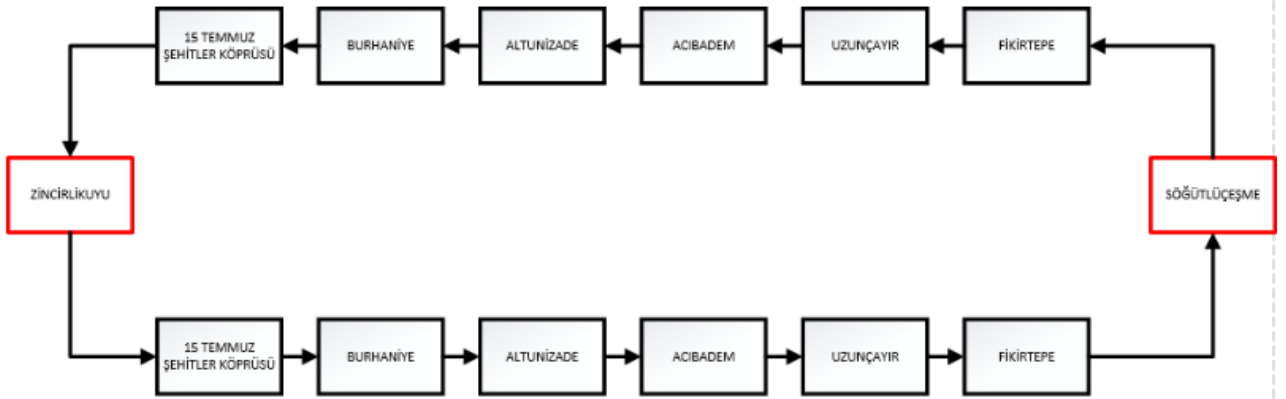
İstasyonlara araç kapasitesinin tanımlanması ile mevcut sisteme ait parametreler MATLAB paket programında tanımlanmıştır. Şekil 5.4'te uygulama kapsamında tanımlanan parametreler verilmiştir.

Name	Value
ans	8
averages_	[61.1750 16.6333 2.8417 42.4750 18.6250 111.5000 8.7250 55.8083]
backward_newcomings	[0 50 5 30 10 50 15 60]
backward_passengers	[28 22 22 27 26 22 14 15]
backward_ratio	[0 0.8000 0.8000 0.8000 0.8000 0.8000 0.8000 1]
forward_newcomings	[50 15 5 30 15 35 10 0]
forward_passengers	[28 17 24 14 11 25 20 20]
forward_ratio	[1 0.2000 0.2000 0.2000 0.2000 0.2000 0.2000 0]
location_number	8
locations	[0 4.2000 4.9000 6.2000 7.3000 9.2000 10.2000 11.4000]
passenger_flow	8x8 double
passengers_in	120x8 double
ratio_sog_zin	[1;0.0485;0.0094;0.0949;0.0331;0.0476;0.0242;0]
ratio_zin_sog	[0;0.0337;0.0069;0.1476;0.0598;0.5167;0.4818;1]
standard_deviations_	[16.0381 8.3242 2.0084 12.4367 7.9759 34.8365 4.4134 13.8529]

Şekil 5.4: MATLAB Paket Programında Tanımlanan Parametreler

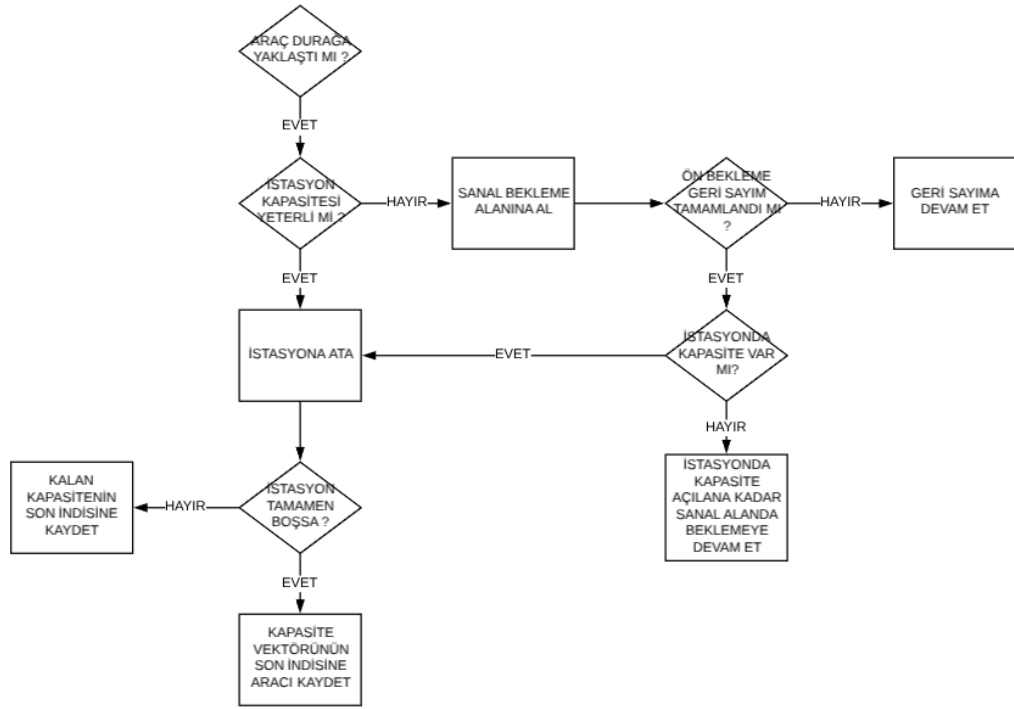
5.2 MATLAB PAKET PROGRAMINDA MEVCUT SİSTEM SİMÜLASYONUNUN ÇALIŞTIRILMASI

Metrobüs hattı, İstanbul'da hizmet veren hızlı bir kentiçi toplu ulaşım hattıdır. Metrobüs, istasyonlara planlanan zamanında ulaşabilen ve terminal alanlarından yolcu iniş ve binişlerinin gerçekleştirildiği kendine ait yollarda ilerleyen bir sistemdir. Metrobüs sistemine ait simülasyon modelinin kurulması MATLAB paket programında yapılmıştır. Şekil 5.5'de Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme etabı için istasyonlar ve sistemin akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 5.5: MATLAB Simülasyonu Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme İstasyonlar Ve Sistem Akışı

MATLAB paket programında yazılan kodlama sisteminin mantığının açıklanabilmesi için süreç akış diyagramları oluşturulmuştur. Bu kapsamda ilk olarak sistemde metrobüs araçlarının ilgili istasyona atanmasına ilişkin süreç akış diyagramı Şekil 5.6'da verilmiştir. Şekil 5.3'de verilen istasyon kapasitelerinin dolması durumunda ise; istasyonlara 50 metre mesafede metrobüs araçları için sınırsız kapasiteli sanal bekleme alanları oluşturulmuştur. Araçların sanal bekleme alanındaki gecikme süreleri (bekleme süreleri) GA ile optimize edilecek parametrelerdendir. Bu çalışmanın uygulama bölümü için alınan çözüm değerleri Tablo 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.6: MATLAB Simülasyonu İstasyona Araç Atama Akış Diyagramı

Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme metrobüs hattında 8 istasyon için istasyon kapasitelerini ve araç kapasitelerini MATLAB paket programında tanımlamıştık. İstasyon kapasiteleri vektörel olarak tanımlanmıştır. Kapasite vektörü $V_{cap_i} = [0 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0]$ ve $i=1,2,\dots,8$ simülasyonda tanımlı istasyon numaralarıdır.

- Zincirlikuyu için kapasite vektörü ; $V_{cap_1} = [0 \ 0 \ 0 \ 0]$
- 15 Temmuz Şehitler Köprüsü için kapasite vektörü ; $V_{cap_2} = [0 \ 0 \ 0 \ 0]$
- Burhaniye için kapasite vektörü ; $V_{cap_3} = [0 \ 0]$
- Altunizade için kapasite vektörü: $V_{cap_4} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$
- Acıbadem için kapasite vektörü: $V_{cap_5} = [0 \ 0 \ 0 \ 0]$
- Uzunçayır için kapasite vektörü: $V_{cap_6} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$
- Fikirtepe için kapasite vektörü: $V_{cap_7} = [0 \ 0 \ 0]$
- Söğütlüçeşme için kapasite vektörü: $V_{cap_8} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$

Her bir istasyona gelen araç numarası ilgili indise kaydedilir. Örneğin: Uzunçayır istasyonunda 42 numaralı aracın yolcu almak için istasyona geldiğini düşünelim. Simülasyonda Uzunçayır istasyonunun kapasite vektörü $[0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 42]$ şeklinde

güncellenecektir. İstasyona gelen her bir araç kalan kapasitenin son indisine kaydedilecektir.

MATLAB paket programında kodlama sistemi ile araçların sistemde ilerlemesi Şekil 5.7’de, araçların sanal bekleme alanına alınması Şekil 5.8’de ve son olarak araçların istasyonlara yerleştirilmesi Şekil 5.9’da verilmiştir.

```
~is_waiting(i)% eger arac beklemiyorsa araci ilerlet.

if travelling_type(i)==1

    new_vehicle_locations(i)=vehicle_locations(i)+vehicle_direction(i)*vehicle_speed*step_time; % araç konumlar? güncelle

elseif travelling_type(i)==2

    new_vehicle_locations(i)=vehicle_locations(i)+vehicle_direction(i)*vehicle_speed_2*step_time; % araç konumlar? güncelle

end
```

Şekil 5.7: MATLAB Kodlama Sistemi İle Araçların Sistemde İlerlemesi

```
new_vehicle_locations(i)> locations(end)+0.1 % e?er araç s?ö?ütlü?çe?meyi geçerse yönünü -1'e çevir ve bütün yolcular? bo?alt

vehicle_direction(i)=-1; % araci terminal kuyruğa sok

vehicle_passengers(i)=0;

elseif new_vehicle_locations(i)< locations(1)-0.1 % e?er araç zincirlikuyuyu geçerse yönünü 1'e çevir ve bütün yolcular? bo?alt

vehicle_direction(i)=1; % araci terminal kuyruğa sok

vehicle_passengers(i)=0;
```

Şekil 5.8: MATLAB Kodlama Sistemi İle Araçların Sanal Bekleme Alanına Alınması

```
if vehicle_direction(i)==1 % e?er araç ?ö?ütlü?çe?me istikametinde ise

    for j=1:location_number % bütün duraklar? tara

        if forward_pre_loc(j)<=new_vehicle_locations(i)&&forward_pre_loc(j)>vehicle_locations(i) % duraga yaklasma durumu

            if station_forward_vehicles{j}(1)==0&&isempty(station_forward_vehicles_2{j})% sum

                if sum(station_forward_vehicles{j})==0% durak tamamen bossa direk basa koy

                    station_forward_vehicles{j}(end)=i;

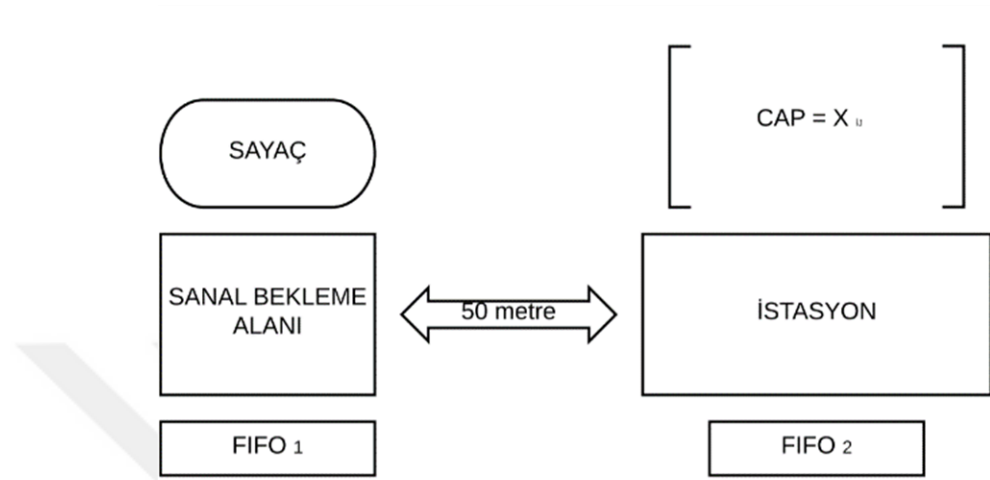
                    %is_waiting(i)=1;

                    %waiting_type(i)=1;

                    % waiting_count_down(i)=30;% istasyona giren metrobus geri sayim basladi
```

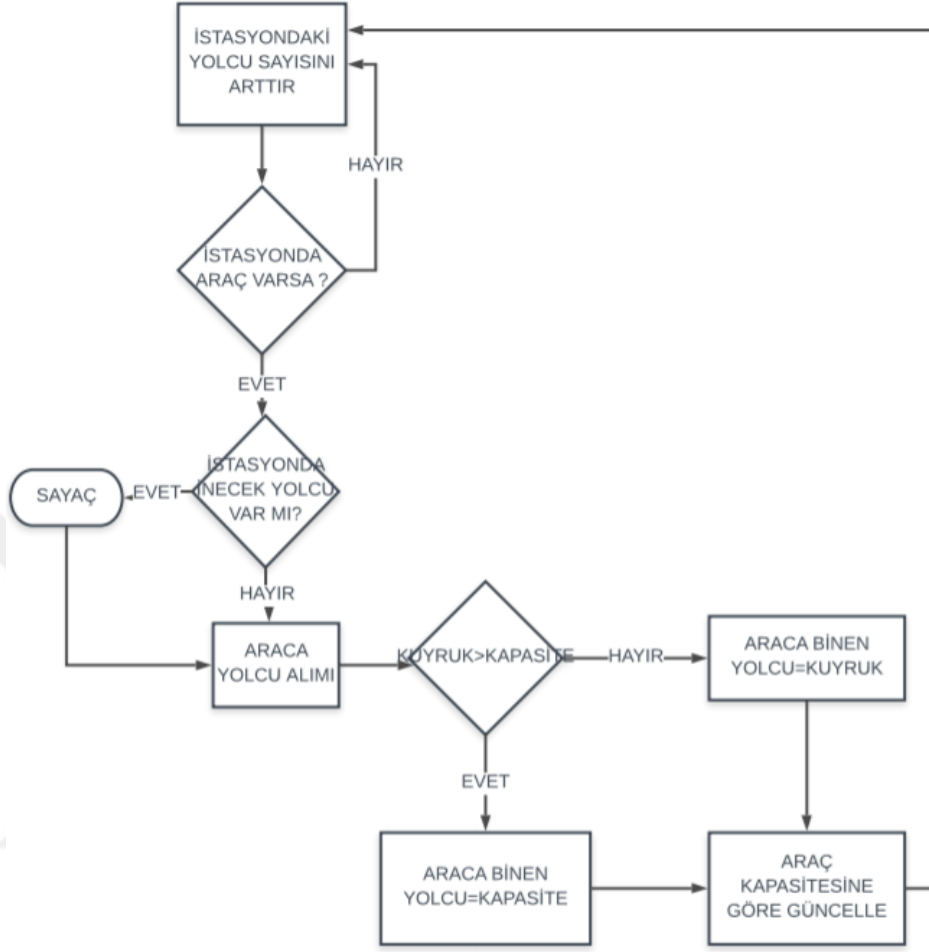
Şekil 5.9: MATLAB Kodlama Sistemi İle Araçları İstasyonlara Yerleştirme

Sanal bekleme alanından istasyonlara geçiş sürecine ilişkin akış diyagramı Şekil 5.10'da verilmiştir. Araçların istasyonlardan ve sanal bekleme alanından FIFO (first in first out) kuralına göre ayrıldığı varsayılmıştır.



Şekil 5.10: MATLAB Simülasyonu Sanal Bekleme Alanından İstasyona Araç Atanması Akış Diyagramı

MATLAB simülasyon modelinde, yolcuların bekleme durumu ancak istasyona araç geldiği zaman değişecektir. Yani, istasyonda bekleyen yolcu sayısı araç gelene kadar geçecek sürede sistemde tanımlanan kurallara göre artış gösterecek ve yolcular beklemeye devam edecektir. Yolcuların istasyonda inmeleri ise daha önce hesaplanan anlık araç içi boşaltma oranları parametresine bağlı olarak değişecektir. Bu şekilde, Metrobüs' ün hangi istasyonda ne kadar yolcu kapasitesine sahip olduğu ve istasyona gelen aracın ne kadar yolcu alabileceği belirlenebilecektir. MATLAB simülasyonu yolcunun istasyona gelişi ve araca binişine ait sürecin akış diyagramı Şekil 5.11'de verilmiştir.



Şekil 5.11: MATLAB Simülasyonu Yolcunun İstasyona Gelişi Ve Araca Biniş Akış Diyagramı

Araç kapasitesi istasyonda bekleyen yolcu sayısından küçükse bir sonraki istasyonda kapasite 0, tam tersi ise bir sonraki istasyondaki kapasite mevcut kapasiteden bulunan istasyonda bekleyen yolcu sayısının çıkartılması ile bulunacaktır. Kurulan modelde gelecek istasyonlarda mevcut olacak kapasitelerin nasıl belirleneceği aşağıdaki denklemlerde gösterilmektedir.

$$C_{n-1} \geq Q_n \rightarrow C_n = C_{n-1} - Q_n$$

$$C_{n-1} < Q_n \rightarrow C_n = 0$$

C : Kapasite

Q : Kuyrukta bekleyen yolcu sayısı

n : Aktivitenin olduğu durak

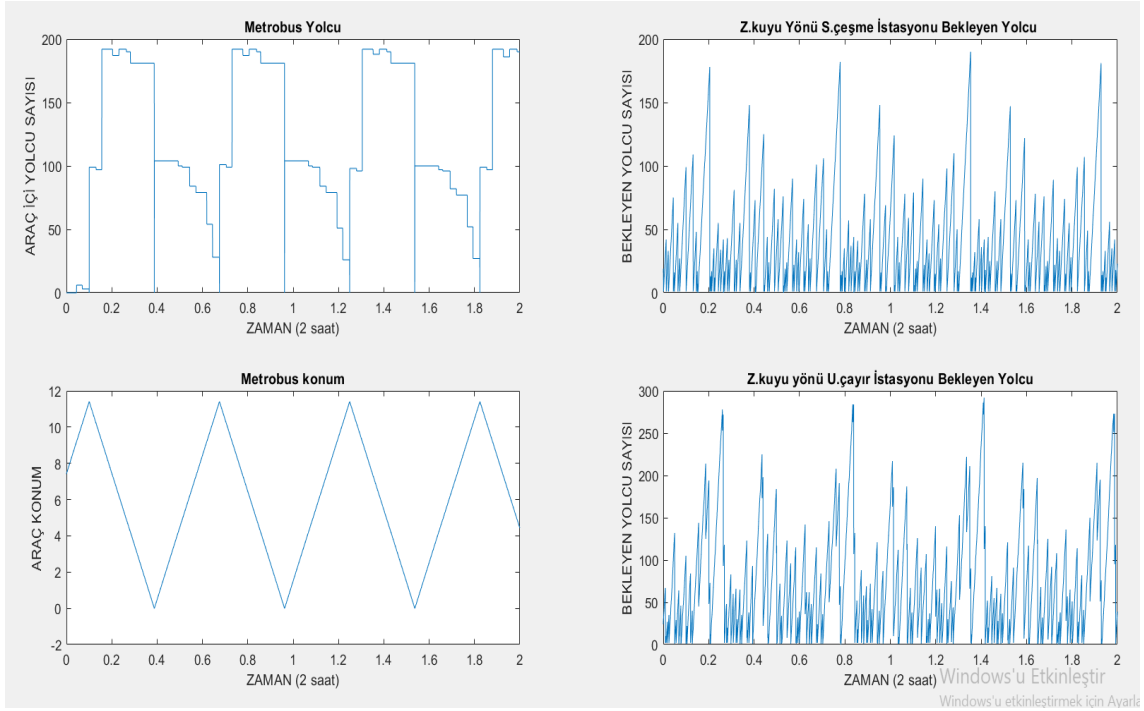
Şekil 5.12: Araç Kapasite Belirleme (E. Pekel, 2015)

Araçlara $t_b=30$ sn istasyonda bekleme süresi tanımlanmıştır, $q_{cap}=192$ araç kapasitesinin dolması durumunda ise araçlar bu 30 sn'lik bekleme süresini doldurmadan FIFO (first in first out) kuralına göre istasyondan ayrılmaktadır. MATLAB kodlama sisteminde sisteme gelen yolcu sayılarının arttırılması Şekil 5.13'de verilmiştir.

```
total_passengers_in=averages_+standard_deviations_.*randn(1,8);
%forward_passengers=round(forward_passengers+rand.*forward_newcomings);% s0?ütlüçe?me istikametindeki duraklara yeni yolcular geliyor
forward_passengers=forward_passengers+round(1/60.*forward_ratio.*total_passengers_in);
%backward_passengers=round(backward_passengers+rand.*backward_newcomings);% s0?ütlüçe?me istikametindeki duraklara yeni yolcular geliyor
backward_passengers=backward_passengers+round(1/60.*backward_ratio.*total_passengers_in);
```

Şekil 5.13: MATLAB Kodlama Sisteminde Sisteme Gelen Yolcu Sayılarının Arttırılması

Zincirlikuyu-Söğütluçeşme etabı için sistem parametreleri MATLAB paket programında tanımlandıktan sonra mevcut sistemin analizinin yapılabilmesi için 2 saatlik simülasyon 1sn'lik simülasyon zamanı ilerlemesi ile çalıştırılarak Şekil 5.14 deki grafik çıktıları elde edilmiştir.



Şekil 5.14: 70 Araçlık Sistem Simülasyonu Grafik Çıktıları

Metrobüs yolcu grafiği incelendiğinde; bir metrobüs aracının 2 saatlik simülasyon süresi boyunca araç içindeki anlık yolcu yoğunluğu görülmektedir. Araç içi anlık yolcu yoğunluğunun araçlar için atanan 192 kapasiteyi aşmadığı görülmektedir.

Metrobüs konum grafiği incelendiğinde; bir metrobüs aracının 2 saatlik simülasyon süresi boyunca konumu takip edilebilmektedir. '0' konumu Zincirlikuyu istasyonunu temsil etmektedir. Simülasyonun ilerleme zamanı ve aracın konumu dikkate alındığında aracın çevrimini (çift yön) yaklaşık 36 dakikada (her bir zaman aralığı 12 dk) tamamladığı görülmektedir. İETT metrobüs işletme verileri ile kıyaslandığında Zincirlikuyu-Söğütluçeşme etabı için 42 dk (çift yön) olan çevrim süresi ile 6 dk'lık bir zaman farkı olduğu görülmektedir. Simülasyon aşamasında; kapasitesi dolan aracın istasyonda bekleme yapmadan ayrılması, yolcuların araçtan inme ve binme sürelerinin 30

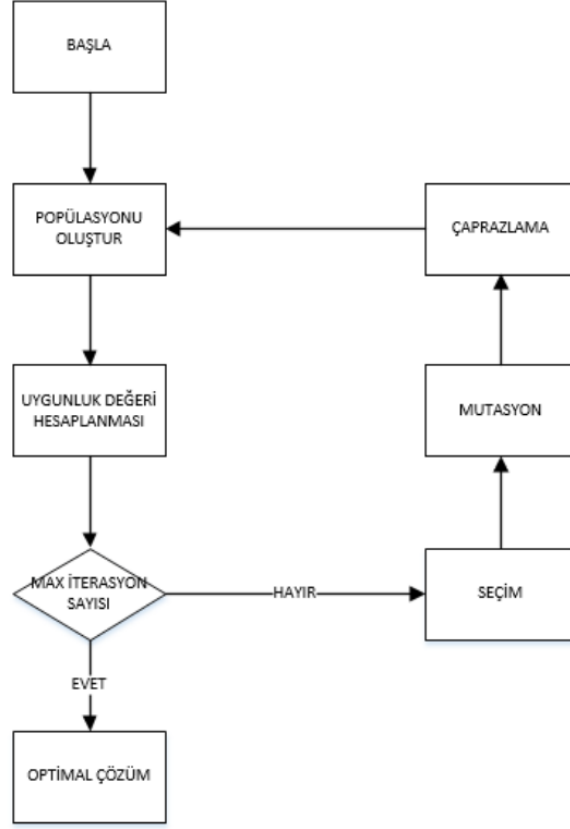
sn ile sınırlandırılması vb. kabuller göz önüne alındığında aradaki çevrim süresi (sefer süresi) farkı makul bulunmuştur.

Zincirlikuyu yönünde Söğütlüçeşme istasyonu bekleyen yolcu grafiği incelendiğinde; 2 saatlik simülasyon süresi boyunca istasyonda bekleyen yolcu sayılarının değişimi izlenmektedir. İstasyonda bekleyen yolcu sayıları için kesit bazlı inceleme yapıldığında anlık 150-200 yolcu ile zirve yaptığı görülmektedir. Uygulama kapsamında GA ile istasyonda bekleyen yolcu sayılarının ve araç sayılarının minimize edildiği çok amaçlı optimizasyon uygulaması hedeflenmiştir. Bu çalışma kapsamında yapılan uygulama sonuçları Tablo 5.7' de verilmiştir.



5.3 MATLAB GENETİK ALGORİTMA TOOL’U ÇALIŞMA PRENSİBİ

Genetik Algoritmanın akış şeması en genel haliyle Şekil 5.15’de verilmiştir.



Şekil 5.15: MATLAB GA Akış Diyagramı

Bu bölümde, MATLAB paket programında GA'nın uygulanışı ve programın kodlama yöntemi anlatılacaktır. En genel şekli ile GA Şekil 5.16'da belirtildiği biçimde kodlanmaktadır;

```
[x,Fval,exitFlag,Output] = gamultiobj(FitnessFunction,numberOfVariables,A,  
b,Aeq,beq,lb,ub,options);
```

Şekil 5.16: GA MATLAB Kodu

Şekil 5.16'da eşitliğin sol tarafı çıktı, sağ tarafı ise girdi değişkenlerini ifade etmektedir. Optimum çözüm sonrasında yazdırılması gereken sonuçları çıktı değişkenleri belirtir. Optimize edilen değişkenlerin sonucunu 'x' fonksiyonu, 'fval' fonksiyonu ise

optimum değerini yazdırmaktadır. Aşağıda ıktı değişkenlerinin tamamının açıklamaları verilmiştir.

[x,Fval,exitFlag,Output];

X : Fonksiyonu minimum yapan değişken değerlerini yazdırır.

Fval : Amaç fonksiyonun x değişkeni için bulunan optimum çözümünü yazdırır.

Exitflag : Algoritmanın sonlandırılma sebebini gösteren tamsayı değerini yazdırır. Aşağıda tüm tamsayı değerlerinin açıklamaları belirtilmiştir.

(0) Nesillerin sayısı aşıldı,

(1) Değişken değerleri ve optimum sonuç bulundu,

(5) Belirlenen fonksiyon hassaslığı kısıtlama ihlali aşıldı,

(-1) Optimizasyon, izim fonksiyonu veya çıktı fonksiyonu tarafından durduruldu,

(-2) Uygun nokta bulunamadı,

(-4) Durma süresi sınırı aşıldı,

(-5) Zaman sınırı aşıldı.

Output: Her iterasyonda algoritmanın performansı hakkında aşağıdaki bilgileri içeren bir çıktı verir.

Rngstate: Rasgele sayı üretcinin durumunu,

Generations: Toplam nesil sayısını,

Funccount: Toplam fonksiyon sayısını,

Maxconstraint: Maximum kısıtlama ihlalini,

Message: Sonlandırma mesajını,

Population: özüm için oluşturulan popülasyonların çıktısını verir.

Scores: Optimizasyon sonuç değerini yazdırır.

Girdi değişkenlerinin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

gamultiobj(FitnessFunction,numberOfVariables,A,b,Aeq,beq,lb,ub,options)

@fitnessfcn: m dosyası olarak kaydedilen uygunluk(amaç) fonksiyonunu çağırır.

Nvars: Uygunluk fonksiyonundaki bağımsız değişken sayısını belirtir.

A: Eşitsizlik kısıtlamaları matrisi

B: Eşitsizlik kısıtlamaları vektörü

Aeq: Eşitlik kısıtlamaları matrisi

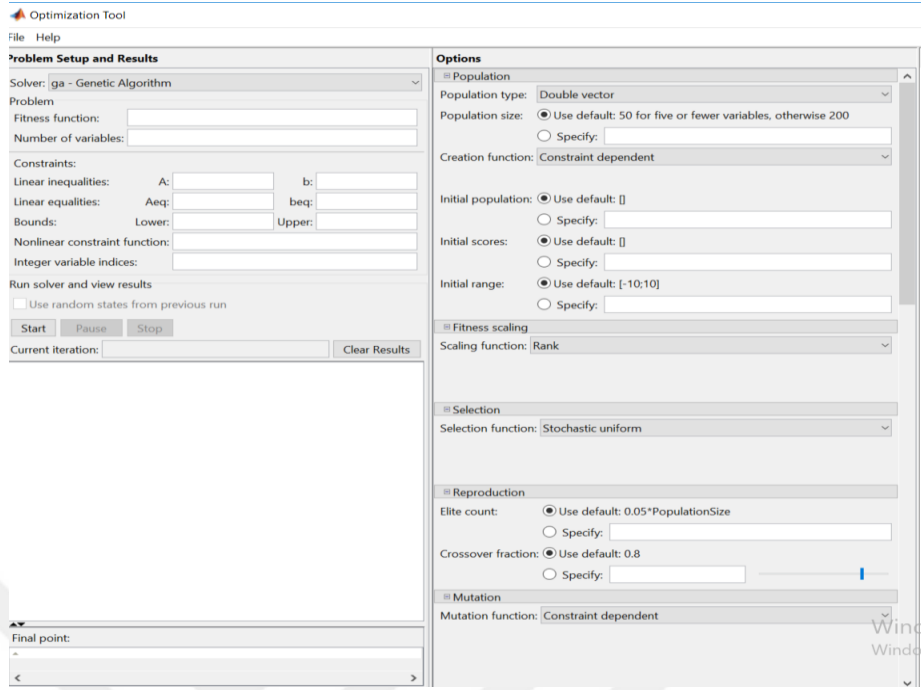
Beq: Eşitlik kısıtlamaları matrisi

Lb: Alt sınır

Ub: Üst sınır

Options : 'gaoptimset' ile oluşturulan seçeneklerin yapısını belirler. Optimum çözüm için belirlenecek mutasyon, seçim, çaprazlama gibi operatörlerin seçimleri, 'options' kodu ile yapılmaktadır.

Şekil 5.17'de MATLAB programı GA Tool'u optimizasyon menüsü tanıtılmıőtır.



Şekil 5.17: MATLAB (R2018a) GA Tool’u Optimizasyon Ekranı

Sol tarafta,

“Solver” seçeneği ile, uygunluk fonksiyonunu optimize etmek için kullanılacak optimizasyon yönteminin seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada model parametrelerinin optimum çözümü GA yöntemine göre tespit edilmeye çalışıldığı için GA seçilmiştir.

“Fitness function” bölümünde daha önce oluşturulan uygunluk(amaç) fonksiyonu çağrılmaktadır. Şekil 5.18’de uygulamanın MATLAB paket programında kodlanan uygunluk fonksiyonu verilmiştir.

```
max_waiting_passengers=max(max(max(station_back_inc)),max(max(station_forw_inc)));
average_passenger_ratio=mean(mean(vehicle_inc_2)/vehicle_size);
output_args=[max_waiting_passengers 1/average_passenger_ratio];
```

Şekil 5.18: Uygulama İçin GA Uygunluk Fonksiyonu

“Number of variable” bölümüne uygunluk fonksiyonu için modelde tahmin edilecek parametre sayısı girilmelidir. Çalışma kapsamında araç sayısı (vehicle_number), Zincirlikuyu yönünde yolculuk oranları (zin_perc) ve araç geciktirme süresi (lag_time)

olarak 3 farklı parametre belirlenmiştir. Şekil 5.19’da bu parametrelerin kod gösterimi verilmiştir.

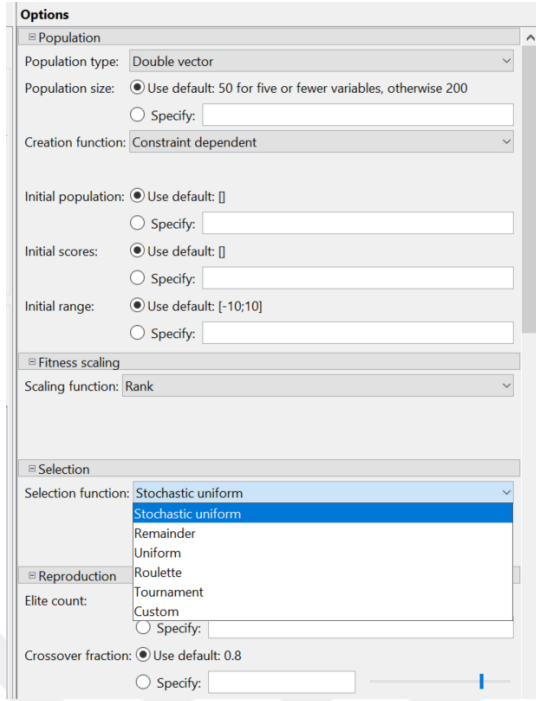
```
vehicle_number=round(input_(1));  
lag_time=round(input_(3));  
zin_perc_=input_(2);
```

Şekil 5.19: Fitness Function İçin Modelde Tahmin Edilecek Uygulama Parametreleri

“Constraints” seçeneği kısıtlı optimizasyon problemleri için kullanılmaktadır.

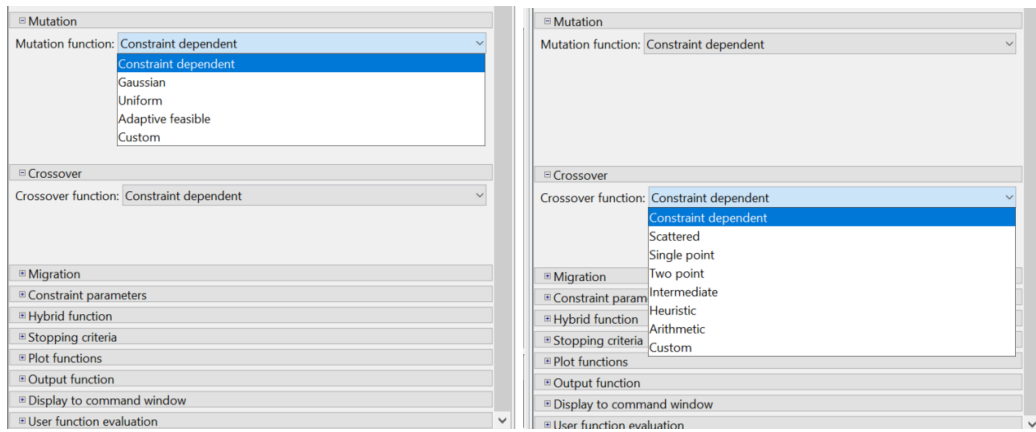
“Start” seçeneği ile “options” bölümündeki ayarlara göre fonksiyon optimize edilmekte ve “Final point” bölümünde parametre tahmin sonuçları bulunmaktadır.

“Objective function value” ile uygunluk fonksiyonunun optimum değeri verilmektedir. Şekil 5.20’de Options menüsü altında seçim fonksiyonu için altı farklı seçenek bulunmaktadır (stochastic uniform, remainder, uniform, roulette, tournament, custom). Uygulama için tournament yöntemi kullanılmaktadır. Popülasyon sayısı 50 olarak belirlenmiştir. Nesil sayısı ise 10 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.20: GA Tool Seçim Fonksiyonu

Şekil 5.21’ de GA mutasyon ve çaprazlama fonksiyonları verilmiştir. Bu bölümde mutasyon fonksiyonu için beş, çaprazlama fonksiyonu için yedi farklı seçenek sunulmuştur.



Şekil 5.21: GA Tool Mutasyon ve Çaprazlama Operatörleri

Şekil 4.22’nin üst bölümünde optimizasyon için durdurma kriterleri gösterilmiştir (stopping criteria). Bu çalışmada uygulama için generations 10 olarak seçilmiştir. Şekil

5.22'nin alt bölümünde grafik seçenekleri gösterilmiştir. “Best fitness” seçeneği ile optimum çözüme ulaşırken oluşturulan nesiller ve fonksiyon değerlerinin gösterildiği öğünleşim grafiği çizdirilebilmektedir. Uygulama kapsamında alınan grafik çıktısı Şekil 5.23 'de verilmiştir.



Şekil 5.22: GA Tool Durdurma Kriteri Ve Grafik Seçenekleri

5.4 GENETİK ALGORİTMA UYGULAMA SONUÇLARI

Bu çalışmada kullanılan gerçek veri kümesi, İETT'nden alınmıştır. 2017 yılı Zincirlikuyu-Söğütluçeşme metrobüs hattı için istasyon bazlı yolculuk verileri kullanılmıştır.

GA ile parametre tahmin değerleri, MATLAB paket programı kullanılarak hesaplanmıştır. GA ile amaç fonksiyonunu optimize etmek için kod yazmayı gerektirmeyen, “Optimization Toolbox” menüsü kullanılmıştır. Toolbox'ın kullanımı Bölüm 4.3'de detaylı olarak anlatılmıştır.

MATLAB paket programında GA optimizasyon kodu,

```
[x, Fval, exitFlag, Output] =  
gamultiobj(FitnessFunction,numberOfVariables,A,b,Aeq,beq,lb,ub,options)  
şeklindedir.
```

Eşitliğin sağ tarafı girdileri sol tarafı çıktıları oluşturmaktadır. Girdiler, uygunluk fonksiyonunun tanımlanması, değişken sayısının belirlenmesi, çözüm araması hangi operatörler ile yapılacaksa bunların tanımlanmasından oluşmaktadır. Başlangıç popülasyonu, seçim tekniği, mutasyon ve çaprazlama oranları, iterasyonların tüm durdurma kriterleri bu bölümdeki 'options' koduyla tanımlanır.

Çıktı fonksiyonları ise çözüm sonrasında yazdırılması gereken sonuçları ifade etmektedir. 'x' fonksiyonu optimize edilen bağımsız değişkenlerin sonucunu, 'fval' fonksiyonun optimum değerini yazdırmaktadır. "Lb, Ub" uygulamada hesaplanacak parametreler için alt ve üst sınır belirlemek için kullanılan fonksiyonlardır. Uygulamada;

lb=[10,0.1,1]

ub=[200,0.4,40] olarak tanımlanmıştır.

Bu şekilde araç sayısı için min. 10 max. 200 araç, Zincirlikuyu yönü yolculuk oranları min. % 10 max. %40, sanal bekleme alanında araç geciktirme süresi min. 1 max. 40 sn. olarak tanımlanmıştır.

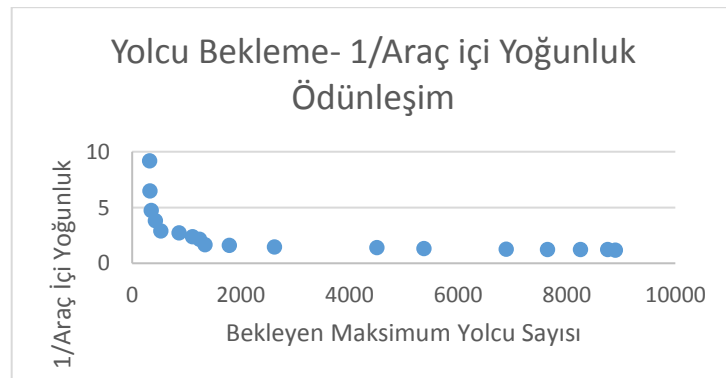
Çalışma kapsamında uygulama için kullanılan MATLAB paket programı GA parametreleri ve değerleri Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.6
Uygulama İçin Kullanılan GA Parametreleri Ve Değerleri

GA PARAMETRESİ	DEĞER/METOD
Population Type	Double Vector
Population Size	50
Selection Function	Stochastic Uniform
Mutation Function	Constraint Dependent
Mutation Ratio	0,2
CrossoverFcn	Constraint Dependent
Crossover Ratio	
Stopping Criteria	
Generations	10
Output	
PlotFcns	@gplotpareo
Display	Off,final,diagnose
Others	Varsayılan

MATLAB paket programının grafik çizim paneli “Plot Panel” bize birçok grafik çizimi için yardımcı olmaktadır. Bu grafikler bize üzerinde çalıştığımız algoritma hakkında bilgiler vermektedir. Grafik çıktıları kullanarak çeşitli noktalarda değişiklik yapabilir ve algoritmanın performansının artırılmasını sağlayabiliriz.

Algoritmayı çalıştırdığımızda Genetik Algoritma Tool’u bize uygunluk fonksiyonunun en iyi ve ortalama değerini her jenerasyon için gösteren Grafik 4.1’deki gibi Fval-Ödünleşim grafiğini elde etmemizi sağlamıştır.



Şekil 5.23: Fval-Ödünleşim Grafiği

Uygulamanın seçilmiş olan GA parametrelerine bağlı olarak elde edilen çözüm sonuçları Tablo 4.7' de verilmiştir.

Tablo 5.7
GA'da İterasyon Sayıları Ve Ulaşılan Optimum Değerler

Çözüm No	GİRDİLER			ÇIKTILAR		
	Araç Sayısı	Zincirlikuyu Oran	Araç Geciktirme (sn)	Bekleyen Max. Yolcu	1/Araç Yoğunluk	Araç Yoğunluk
1*	157	37%	19	322	9,17160941	10,90%
2*	122	34%	24	323	6,479758022	15,43%
3	59	26%	30	864	2,727431462	36,66%
4	37	31%	19	1342	1,663029391	60,13%
5	57	39%	19	1108	2,38604248	41,91%
6	71	39%	29	528	2,90718093	34,40%
7	29	25%	27	2616	1,462015981	68,40%
8	13	28%	24	8250	1,236144898	80,90%
9	11	19%	6	8753	1,226875387	81,51%
10	20	21%	21	5368	1,306676527	76,53%
11	17	21%	6	6882	1,248340918	80,11%
12	22	19%	19	4501	1,403469587	71,25%
13	32	30%	23	1787	1,618577864	61,78%
14	14	22%	22	7644	1,243071343	80,45%
15*	88	34%	37	348	4,743971717	21,08%
16	39	32%	25	1239	2,140055353	46,73%
17	11	21%	6	8895	1,184624256	84,41%
18	72	37%	33	428	3,805405691	26,28%

Tablo 5.8'de en iyi çözüm veren 3 seçenek birbirleriyle kıyaslanmıştır. Her bir çözüme ait sefer sayılarını hesaplamak için sanal bir sayaç oluşturulmuş ve Söğütlüçeşme istasyonundan geçen araçlar saydırılmıştır.

Tablo 5.8
Optimum Çözümlerin Karşılaştırılması

Çözüm No	GİRDİLER			ÇIKTILAR			Sefer Sayısı
	Araç Sayısı	Zincirlikuyu Oran	Araç Geciktirme (sn)	Bekleyen Max. Yolcu	1/Araç Yoğunluk	Araç Yoğunluk	
1	157	37%	19	322	9,17160941	10,90%	382
2	122	34%	24	323	6,47975802 2	15,43%	304
15	88	34%	37	348	4,74397171 7	21,08%	199

İterasyonlara ait çözüm sonuçları incelendiğinden optimum çözümün 1,2 ve 15 numaralı çözümlere ait olduğu görülmektedir. Sistemdeki araç sayısı arttığında, istasyonda bekleyen yolcu sayısının azaldığı; ancak sefer sayılarının arttığı görülmektedir.

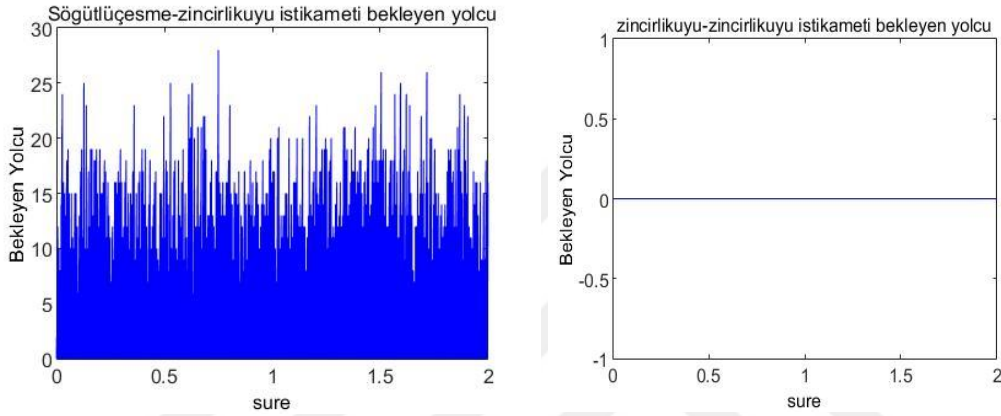
Tablo 5.9
Mevcut Sistem İle Optimum Çözümler Arası Kıyaslama

	Z.kuyu Yönü Söğütlüleşme İstasyonu Kesit Bazlı Max. Bekleyen Yolcu	Araç Sayısı	Sefer Sayısı	Sefer Süresi (dk)*	Hat Uzunluğu (km)*
Mevcut Sistem	150-200	59-156		42	12
Çözüm No.1	25-30	157	382	36	12
Çözüm No.2	30-35	122	304	36	12
Çözüm No.15	40-50	88	199	36	12

*Sefer süresi çift yön verilmiştir.

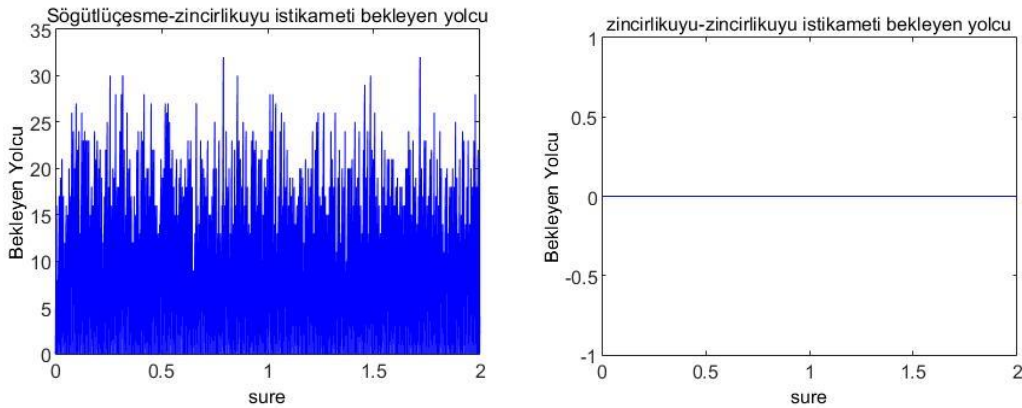
** Hat uzunluğu tek yön verilmiştir.

Şekil 5.23’de Çözüm No.1’e ait 2 saatlik simülasyon süresi boyunca Zincirlikuyu yönünde Söğütlüçesme ve Zincirlikuyu istasyonlarında bekleyen yolcu sayılarının değişimine ait grafikler verilmiştir. Zincirlikuyu yönü için Zincirlikuyu istasyonunda bekleyen yolcu sayısı sabit ‘0’ dır. Seçilen yönde son istasyon olması nedeniyle bu istasyonda yolcu hareketliliği beklenmemektedir. Çözüm No.1 ‘e ait Zincirlikuyu ve Söğütlüçesme yönü için tüm istasyonlara ait grafikler **Ek 1’de** verilmiştir.



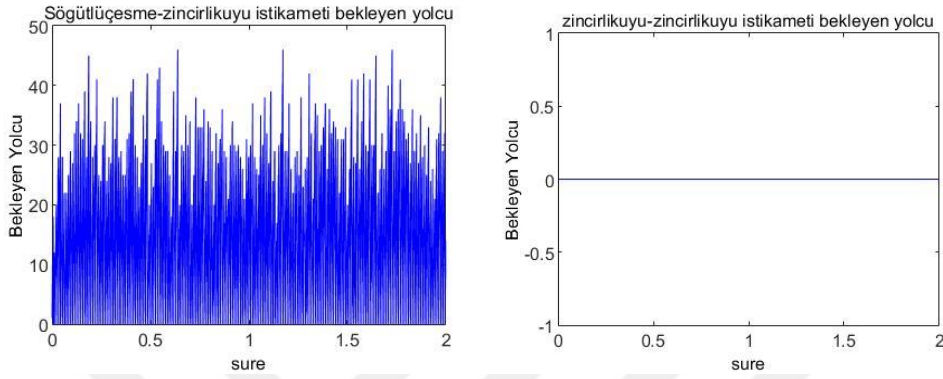
Şekil 5.24: Çözüm No.1 Zincirlikuyu Yönü Söğütlüçesme ve Zincirlikuyu İstasyonu Bekleyen Yolcu Grafiği

Şekil 5.24’te Çözüm No.2’ye ait 2 saatlik simülasyon süresi boyunca Zincirlikuyu yönünde Söğütlüçesme ve Zincirlikuyu istasyonlarında bekleyen yolcu sayılarının değişimine ait grafikler verilmiştir. Çözüm No.2 ‘ye ait diğer istasyonların grafikleri **Ek 2’de** verilmiştir.



Şekil 5.25: Çözüm No.2 için Zincirlikuyu Yönü Söğütlüçesme ve Zincirlikuyu İstasyonu Bekleyen Yolcu Grafiği

Şekil 5.25'te Çözüm No.15'e ait 2 saatlik simülasyon süresi boyunca Zincirlikuyu yönünde Söğütlüçeşme ve Zincirlikuyu istasyonlarında bekleyen yolcu sayılarının değişimine ait grafikler verilmiştir. Çözüm No.15 'e ait diğer istasyonların grafikleri **Ek 3'de** verilmiştir.



Şekil 5.26: Çözüm No.15 için Zincirlikuyu Yönü Söğütlüçeşme ve Zincirlikuyu İstasyonu Bekleyen Yolcu Grafiği

Her bir çözüm için 2 saatlik simülasyon süresi boyunca Zincirlikuyu yönünde Söğütlüçeşme istasyonunda kesit bazlı bekleyen max. yolcu sayıları kıyaslandığında Çözüm No.1 için 25-30, çözüm no.2 için 30-35, çözüm no.15 için 40-50 arasında pik değerini aldığı görülmektedir. Şekil 5.14'de verilen mevcut sistem simülasyon grafiklerinde Zincirlikuyu yönü için Söğütlüçeşme istasyonunda 150-200 değerleri arasında zirve yaptığı görülmektedir. Her 3 çözüm için de Söğütlüçeşme istasyonu baz alındığında istasyonda bekleyen yolcu sayısı minimum % 66,6 azaltılmıştır.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Kent içi toplu ulaşım taşımacılığında lastik tekerlekli sistemler içerisinde önemli bir paya sahip olan hızlı otobüs taşımacılığı (metrobüs) hatları ile 2018 yılı itibariyle günlük ortalama 886.329 yolcuya toplu ulaşım hizmeti verilmektedir. 593 taşıtlık araç filosu ile günlük toplam 6.417 seferin yapıldığı hatta pik saatlerde sefer sıklığı 15-20 saniye iken ara saatlerde 45-60 saniyeye çıkmaktadır. Söğütlüçeşme istasyonundan Beylikdüzü son durağa kadar uzanan hattın toplam uzunluğu 52 km'dir. 2017 yılı OD matris verilerine göre bir yolcu ortalama 15,62 km yol gitmektedir.

İstanbul'un ana arterinde yer alan metrobüs hattının yolculuk çekim merkezlerine yakın olması, hızlı toplu ulaşım imkânı sunması, mevcut karayolu trafiğinden bağımsız ilerlemesi, toplu ulaşım hizmeti verdiği hat boyunca alternatif ve hızlı ulaşım imkânının olmaması gibi sebeplerle metrobüs hattına olan talep on yıllık (2007-2017) süre içerisinde 7.892.271 yolculuktan 276.491.977 yolculuğa çıkmıştır. Metrobüs hattına olan talebin yıllar içerisinde beklenmedik oranlarda yükselmesi müşteri memnuniyet oranlarını da etkilemektedir. Zamanla yolcuların istasyonda bekleme süresi, istasyonlardaki yolcu yoğunluğu, araç içi yoğunluk vb. kriterlerin sürekli iyileştirilmesine yönelik uygulamaların geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Gün geçtikçe ilerleyen teknoloji, karmaşıklaşan şehir hayatı ve yol ağının hızla genişlemesi kent içi toplu ulaşım alanında kurulacak modellerin sadece istatistiksel yöntemler ile çözülemeyeceğini göstermektedir. Kompleks modellerin zaman içinde kullanımı ve yeni algoritmaların geliştirilmesi kaçınılmazdır. Bu nedenle bir kent içi toplu ulaşım sistemi modellemesi için çok disiplinli bir çalışma yapılması gerekmektedir. Geleneksel yaklaşımlarla bir metrobüs hattına ait problemin ortaya konması ve bununla birlikte problemin çözümü için teori ile reeli birleştirmek oldukça zordur. Genetik Algoritma sistematığı gereği geniş çaplı ve kompleks yapıları çözmek amaçlı bir optimizasyon tekniğidir.

Biz bu çalışmamızda metrobüs hattının Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme etabı için yolcu yoğunluğunun zirve olduğu 07:00-09:00 saatleri arasındaki 2 saatlik bir zaman dilimini

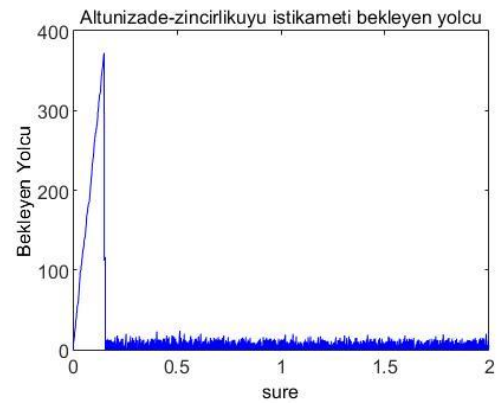
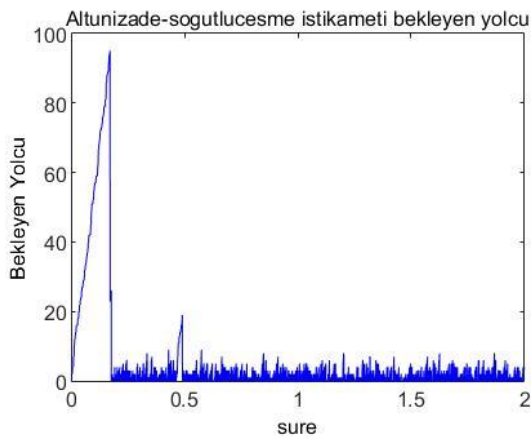
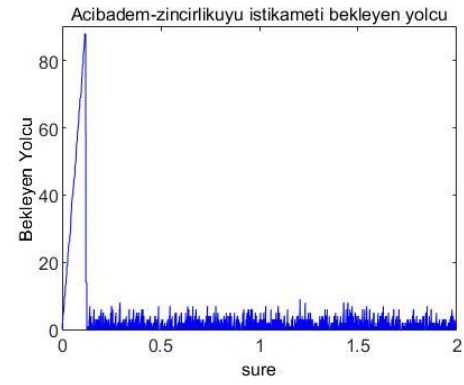
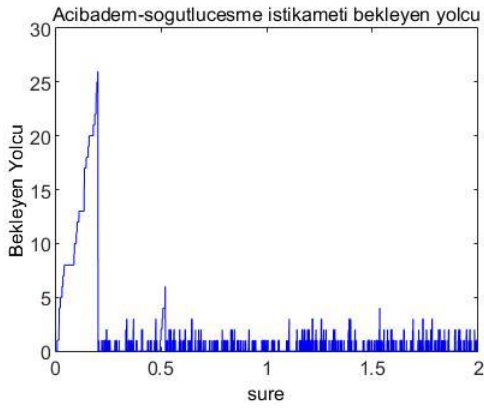
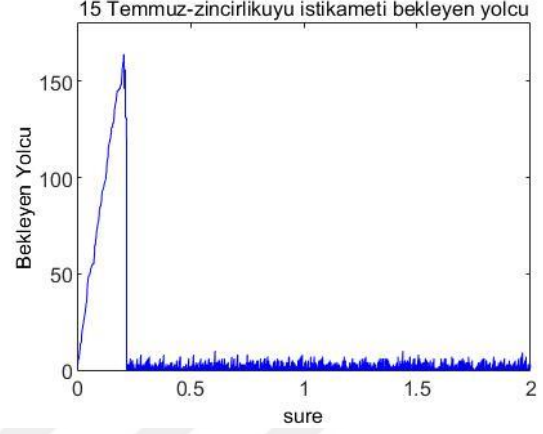
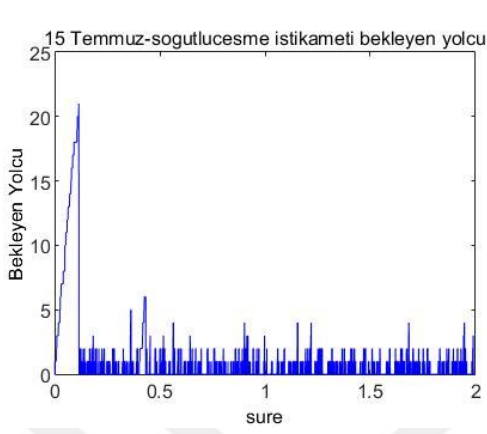
inceleme altına aldık. Burada eğer Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme etabı için söz konusu periyotta yolcuların istasyonlarda bekleme sürelerini ve dolayısıyla istasyonda bekleyen yolcu sayılarını minimize edebilirsek ve mevcut talep için gerekli araç sayısını optimize etmeyi başarırız elde edilen optimum otobüs sayısı günün diğer saatlerinde gerçekleşen talebi de rahatlıkla karşılayabilir ve önerilen sistem modeli tüm istasyonlar için genelleştirilebilir. Modelin temel sistem parametreleri toplam metrobüs araç sayısı, araç kapasiteleri, istasyonların araç kapasiteleri gibi yine sistem analizi ve gözlem yöntemleri ile literatürden gelen temel varsayım bilgileri ışığında belirlenmiştir. Yolcu bekleme süreleri, ihtiyaç duyulan araç sayıları ve araçların istasyon kapasitesinin olması durumunda sanal bekleme alanında geçireceği süreye ilişkin değerler MATLAB paket programının GA Toolbox'ı kullanılarak en iyi hale getirilmiştir.

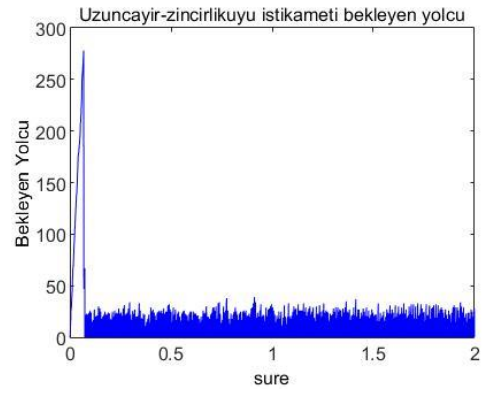
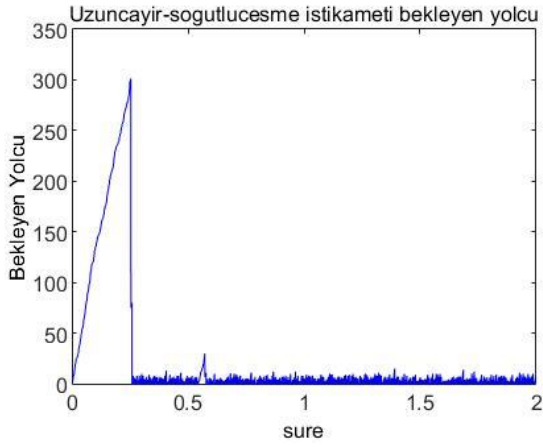
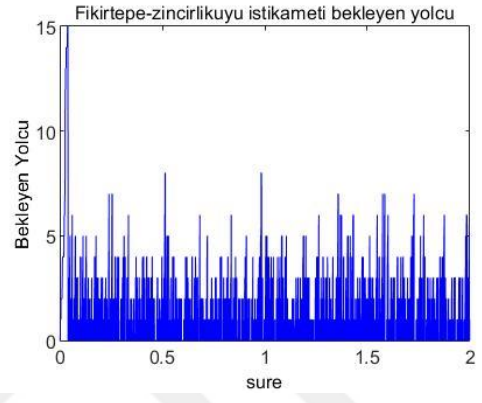
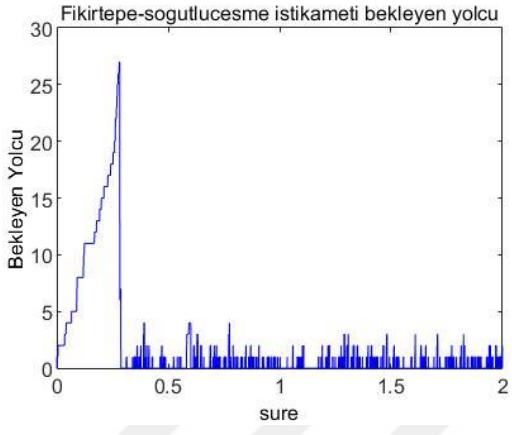
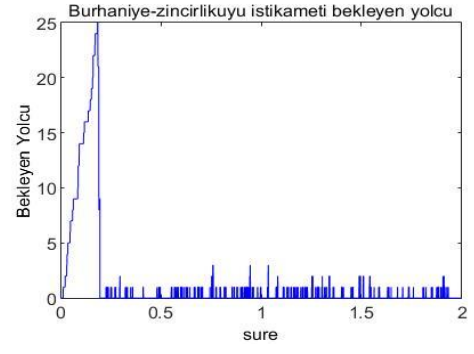
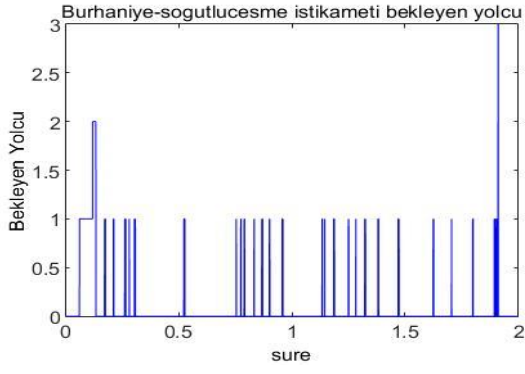
Uygulama sonuçları incelendiğinde; GA yöntemi ile mevcut duruma göre istasyonda bekleyen yolcu sayılarının %60 oranında azaldığı görülmektedir. Geliştirilen yöntem ile minimum araç sayısı ve sefer sıkları hesaplanarak iş çizelgeleri oluşturulabilmektedir. Toplu ulaşım otoriteleri tarafından müşteri memnuniyetinin önceliklendirilmesi durumunda araç ihtiyacı ve buna bağlı olarak şoför personel ihtiyacı artmaktadır. Sistemde yer alacak fazladan her araç için fayda maliyet analizi yapılarak çalışma kapsamı genişletilebilir. Ayrıca; yürüme mesafesi, ücret tarifesi, aktarma sayısı gibi faktörler de kısıt olarak modele eklenerek GA ile çok daha detaylı optimizasyon projeleri çözülebilecektir. Yapılan çalışma ile GA yaklaşımının kent içi toplu ulaşım problemlerinin çözülmesinde başarılı bir şekilde uygulanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

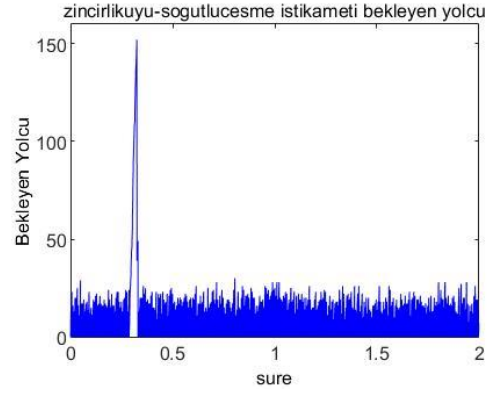
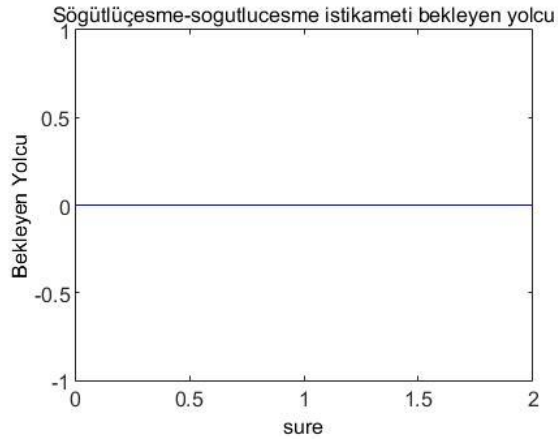
EKLER

- 1. ÇÖZÜM NO.1 GA GRAFİK ÇIKTILARI – İSTASYONDA BEKLEYEN YOLCU SAYILARI**
- 2. ÇÖZÜM NO.2 GA GRAFİK ÇIKTILARI – İSTASYONDA BEKLEYEN YOLCU SAYILARI**
- 3. ÇÖZÜM NO.15 GA GRAFİK ÇIKTILARI – İSTASYONDA BEKLEYEN YOLCU SAYILARI**

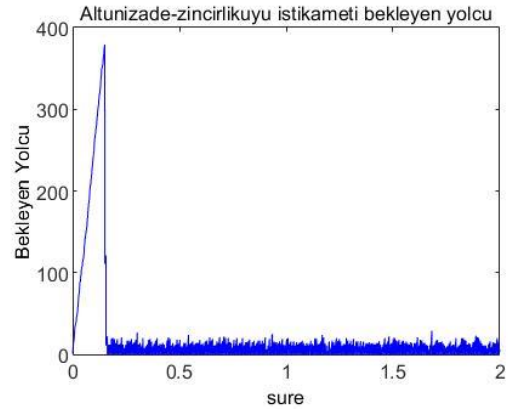
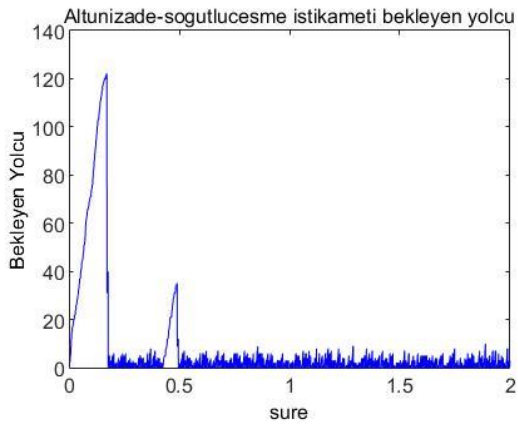
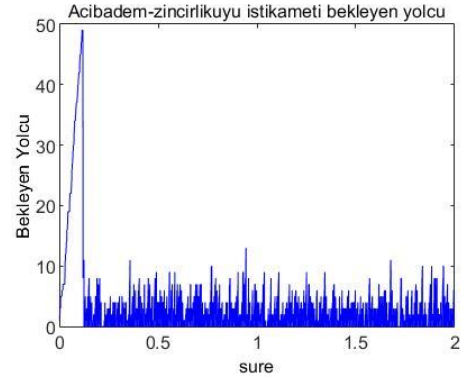
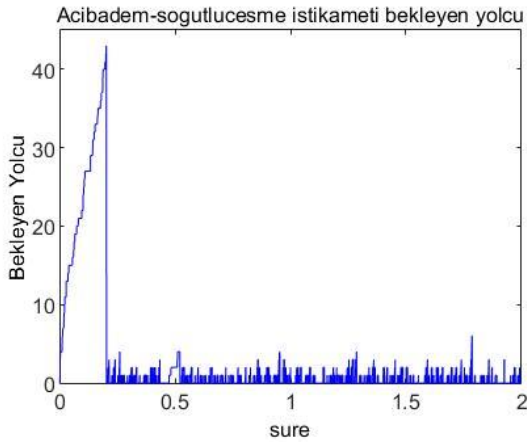
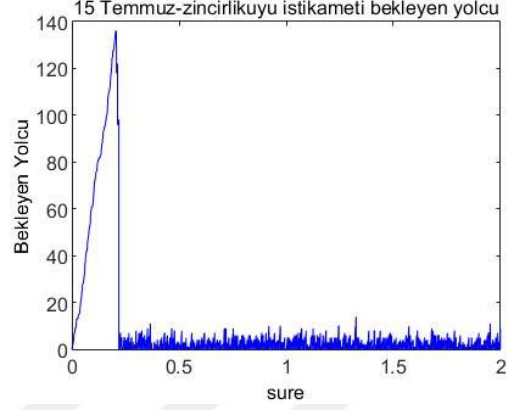
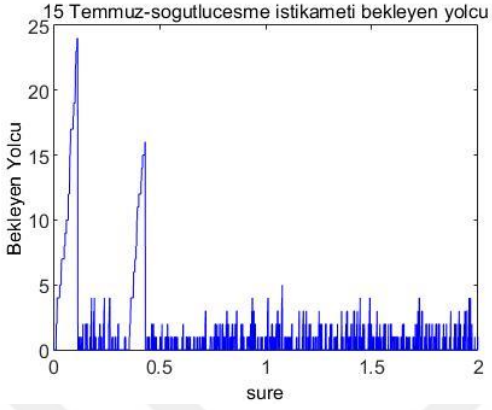
EK.1 ÇÖZÜM NO.1 GA GRAFİK ÇIKTILARI – İSTASYONDA BEKLEYEN YOLCU SAYILARI

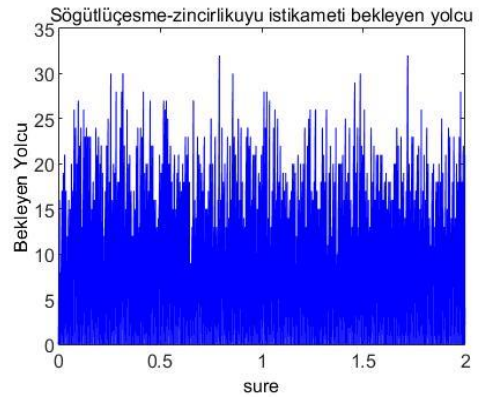
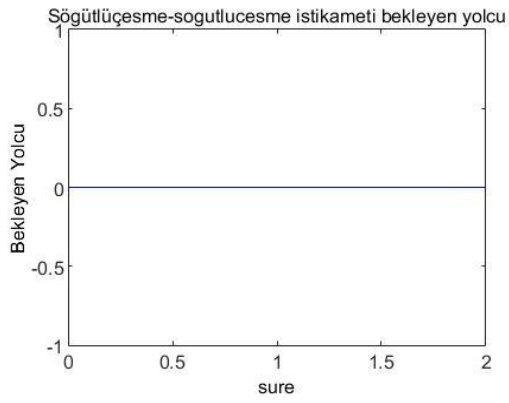
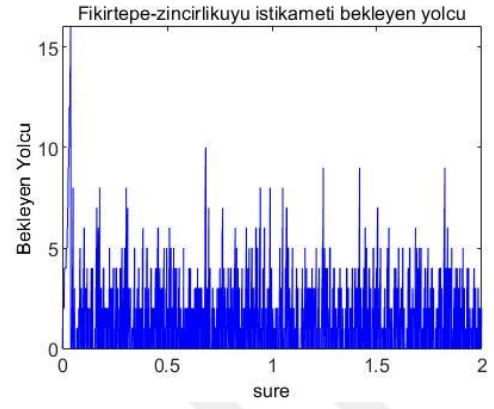
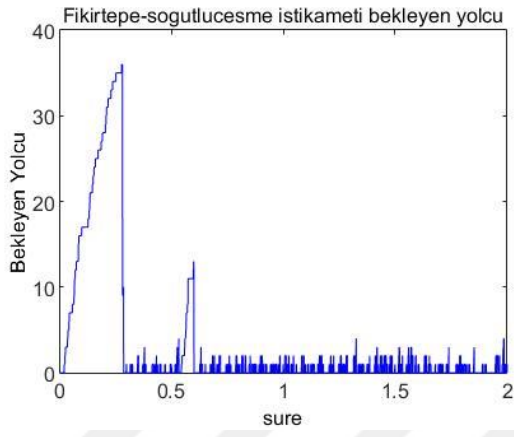
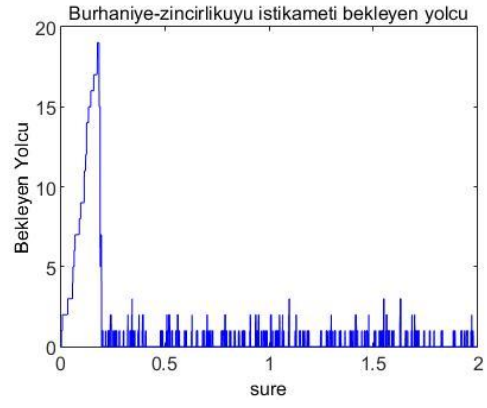
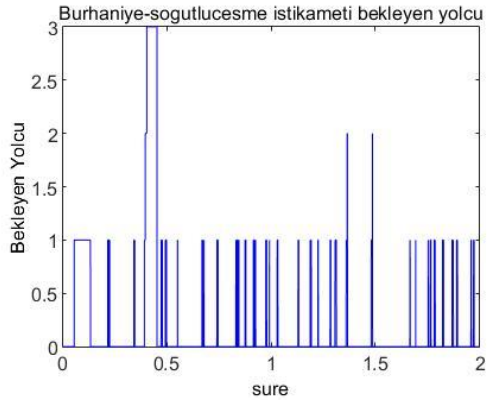


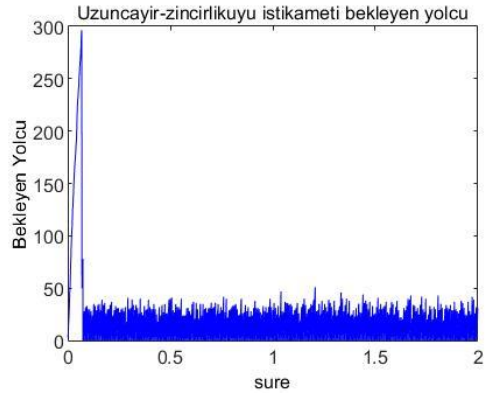
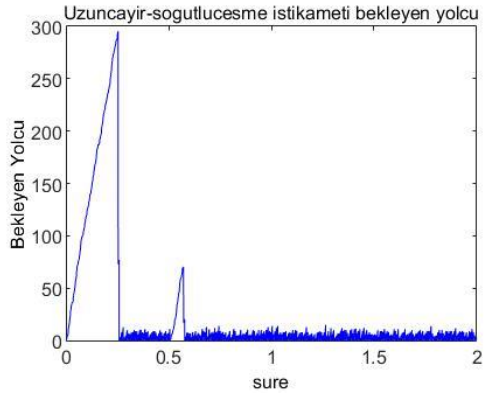




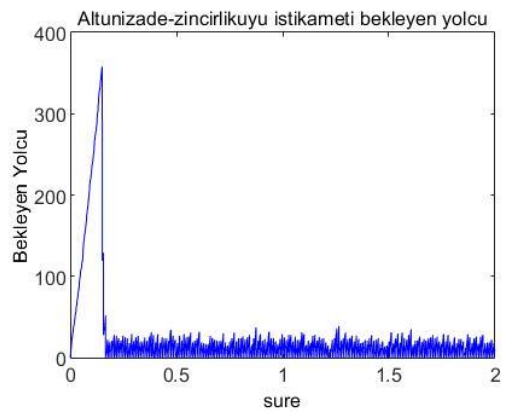
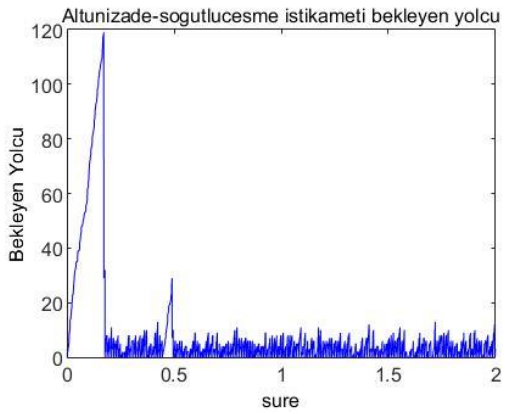
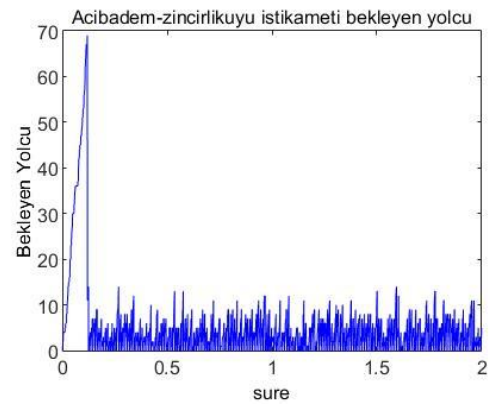
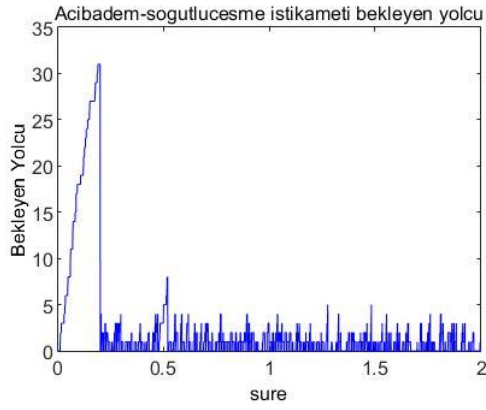
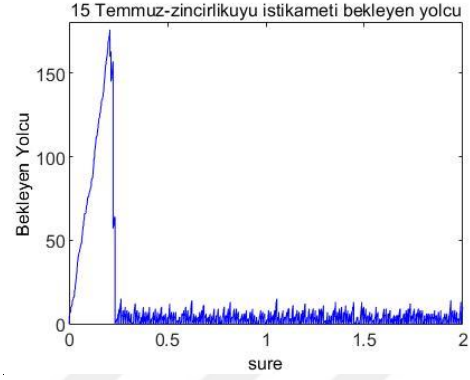
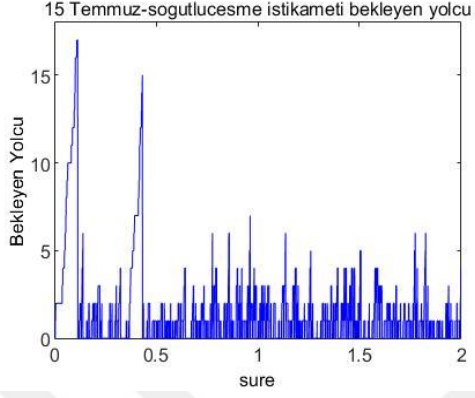
EK.2 ÇÖZÜM NO.2 GA GRAFİK ÇIKTILARI – İSTASYONDA BEKLEYEN YOLCU SAYILARI

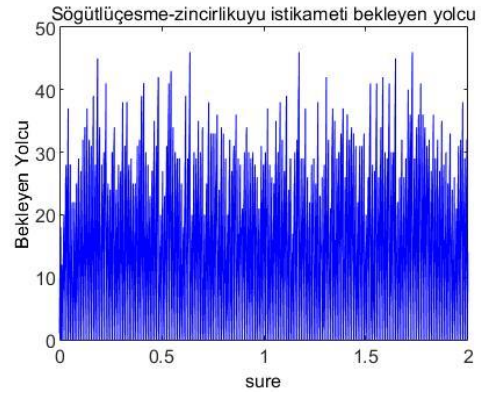
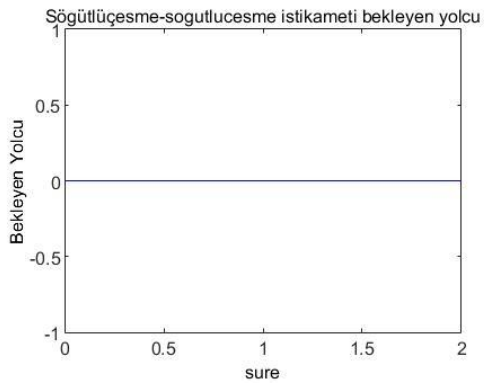
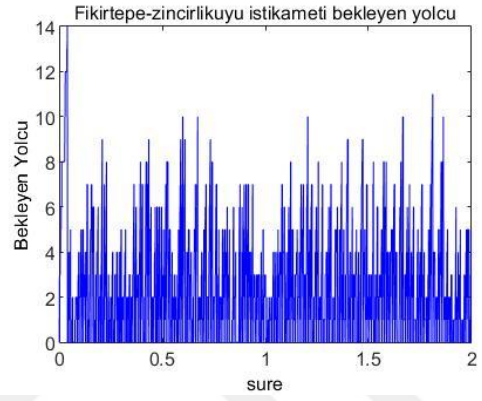
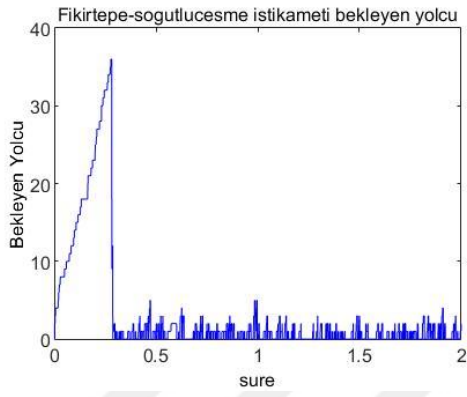
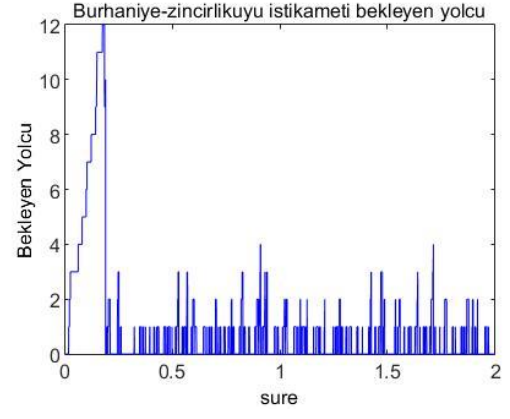
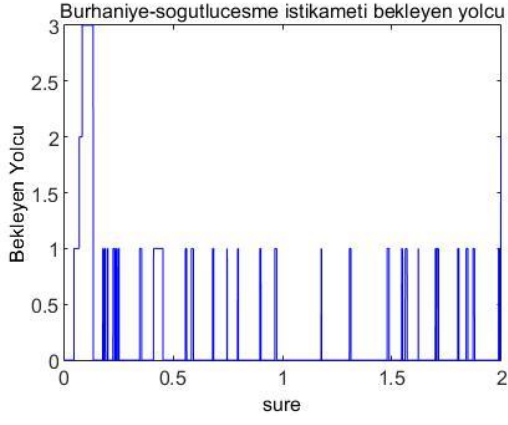


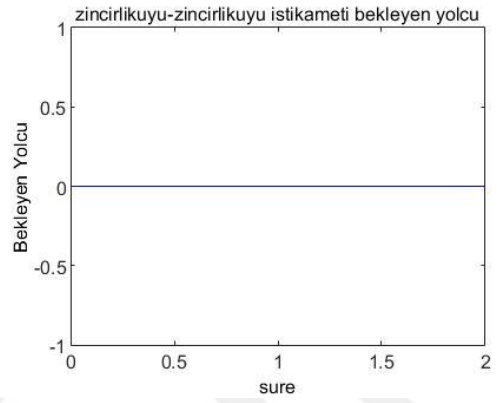
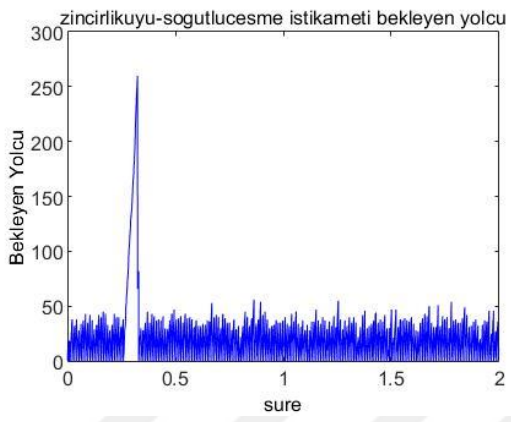
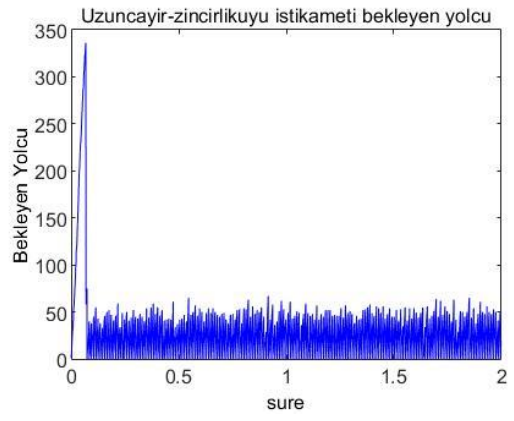
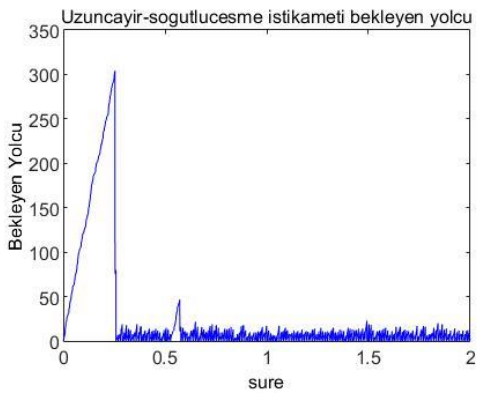




EK.3 ÇÖZÜM NO.15 GA GRAFİK ÇIKTILARI – İSTASYONDA BEKLEYEN YOLCU SAYILARI







KAYNAKÇA

2017 İETT MMA . (2018),s.90-150

Balin, A. (2010). Genetik Algoritma ile Hat Dengeleme.İstanbul,s.10-38

Chen, Y.-p. (2006). *Extending the Scalability of Linkage Learning Genetic Algorithms Theory & Practice*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg Printed in The Netherlands,s.10-22

Çalışkan, F., Yüksel, H., & Dayık, M. (2016). Genetik Algoritmaların Tasarım Sürecinde Kullanılması. *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 6(2),s. 21-27

Çetin, E. (2007). *Yapay Zeka Uygulamaları*. Seçkin,s.450-470

Çeyrekoğlu, S. (2017). Araç Rotalama Problemine Genetik Algoritma Yaklaşımı ve Örnek Bir Uygulama,s.28-51

Doğan, İ. (1995). Yöneylem Araştırması Teknikleri ve İşletme Uygulamaları.

Engin, T. (2013). Genetik Algoritma ile Toplu Ulaşım Sistemi Hareket Çizelgesi Optimizasyonu: Çanakkale Örneği. İstanbul,s.15-35

Gen, M., Cheng, R., & Lin, L. (2008). *Network Models and Optimization*. Springer-Verlag London Limited,s.135-228

Goldberg, E. D. (1989). *Genetic Algorithms in Search,Optimization and Machine Learning* Reading, s.95-99

Goldberg, E. D. (1994). Genetic and evolutionary algorithms come of age. *Communications of the ACM*,s.113-119

Holland, J. H. (1992). *Adaptation in Natural and Artificial Systems : An Introductory Analysis With Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence Complex Adaptive Systems*. MIT Press.,s.120-210

<http://curitibainenglish.com.br>. (2018).

İETT. (2018).

iett.gov.tr. (2018).

İşçi, D., & Korukoğlu, P. S. (2003). Genetik Algoritma Yaklaşımı ve Yöneylem Araştırmasında Bir Uygulama. *Yönetim ve Ekonomi*, 10(2),s.192-204

Kaya, İ. (2012). Genetik Algoritmaların Optimal Güzergah Belirlenmesine Uygulanması. İstanbul,s.11-32

Koza, J. R. (1992). A genetic approach to Econometric Modelling. Perganom Press,s.57-75

Küçük, A. (2016). Hemşire Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritmalarla Optimizasyonu ve Bir Uygulama. İzmir,s.33-59

Ruhul, S. (2007). Optimization Modelling A Practical Aproach. 5. CRC Press,s.98-104

Soyaslan, G. (2010). Genetik Algoritmalarla Atama Problemi ve Buna Yönelik Bir Uygulama,s.13-34

Şeker, Ş. (2007). Araç Rotalama Problemleri ve Zaman Pencere Stokastik Araç Rotalama Problemine Genetik Algoritma Yaklaşımı. İstanbul,s.78-95

Taşkın, Ç., & Emel, G. G. (2009). Sayısal Yöntemlerde Genetik Algoritmalar. Alfa Aktüel,s.50-150

thecitypaperbogota.com. (2018).

TÜSSİDE. (2014). *İETT Esnek Ulaşım Modülü 1.Raporu* ,s.

Vuchic, V. R. (2015). *Kent İçi Toplu Ulaşım ve Yaşanabilir Şehirler I* (Cilt 1). İstanbul Ulaşım A.Ş.,s.191-210

Vuchic, V. R. (2015). *Kent İçi Toplu Ulaşım ve Yaşanabilir Şehirler II* (Cilt 2). İstanbul Ulaşım A.Ş.,s.142-168

