

Dinamik Toplu Taşımada Melez Öngörölü Kontrol

Turgay Ünal

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos 2018

Desing a Public Transportation Using Hybrid Predictive Control

Turgay Ünal

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

Department of Electrical and Electronics Engineering

Aug 2018

Dinamik Toplu Taşımada Melez Öngörülü Kontrol

Turgay Ünal

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Kontrol ve Kumanda Sistemleri Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Osman Parlaktuna

Ağustos 2018

## ONAY

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Turgay Ünal'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Dinamik Toplu Taşımada Melez Öngörölü Kontrol” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Osman Parlaktuna

**İkinci Danışman** : -

**Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:**

**Üye** : Prof. Dr. Osman Parlaktuna

**Üye** : Doç. Dr. Metin Özkan

**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Hakan Korul

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN  
Enstitü Müdürü

## ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Osman Parlaktuna danışmanlığında hazırlamış olduğum “Dinamik Toplu Taşımada Melez Öngörülü Kontrol” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim.  
16/08/2018

Turgay ÜNAL

İmza

## ÖZET

Toplu taşıma yapan işletmeci firma için yapacağı harcamaların minimum seviyede kalması önemliken, bu toplu taşımayı kullanacak olan yolcular için ise, yüksek hizmet kalitesi ve düşük maliyet önemlidir.

İyi tasarlanmış bir toplu taşıma sistemi, hem kapsadığı alan bakımından hem de zamanlama olarak, insanları çekeceği için tasarım aşaması çok önemlidir. Sadece bu günü değil yarını düşünülerek planlanan tasarımlar hem trafik yükünü hem de yolcu yoğunluğu talebini karşılayabilir.

Belirli bir rota da sefer yapan otobüsün sefer sıklıkları önemli bir konudur. Yolcuların ihtiyaçlarına uygun olması işletmeci firmanın yararına olduğu gibi yolcularında hedeflerine giden yolda toplu taşımayı kullanma istekleri olacaktır. Bu tez çalışmasında zaman çizelgelemesi üzerinde durulacaktır. Toplu taşımanın tanımından başlayarak geçmişten günümüze kadar geçen sürede toplu taşımanın geçtiği süreçler incelenecektir. Bunun yanı sıra toplu taşımada kullanılan bazı terimlerden de bahsedilecektir.

Problemin çözümü için seçilecek olan optimizasyon yöntemlerin bahsedilerek bu yöntemleri temel mantıkları verilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** toplu taşıma, zaman çizelgeleme, melez öngörülü kontrol

## SUMMARY

For passengers who will use this public transportation system, high quality of service and low cost are important, while it is important for public transport operators to keep their expenditures at a minimum level.

The design level is very important because a well-designed public transport system, both in terms of coverage and timing, attracts people. Designs that are planned not only for this day but for future can meet both traffic load and passenger density demands.

The frequency of bus trips on a certain route is an important issue. The suitability of the operators to the needs of the passengers will be of benefit to the operator, as well as the willingness of passengers to use public transport on their way to their destination. This thesis will focus on timeliness. Starting from the definition of public transport to the daylight from past to present, the processes of public transportation will be examined. In addition, some terms used in public transportation will be mentioned.

The optimization methods to be chosen for solution of the problem will be mentioned and the basic logic of these methods will be given.

**Keywords:** public transportation, timetable, hybrid predictive control

## TEŞEKKÜR

Üniversite yaşamım boyunca beni destekleyen, tanıdığım ilk günden beri yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Osman PARLAKTUNA'ya, bugünlere gelmede emeği geçen bütün hocalarıma çok teşekkür ederim.

Başta annem Gülşen ÜNAL'a, babam Nevzat ÜNAL'a, abim Tarık ÜNAL ve eşi Beyhan ÜNAL'a, biricik kardeşim Hilal ÜNAL ve ailemizin en yeni üyesi Pusat ÜNAL'a teşekkürü bir borç bilirim. Liseden beri benden desteklerini esirgemeyen dostlarım Merve ÖZGÜN ve Filiz GİRGIN'e, üniversite hayatım boyunca tanıdığım güzel insanlardan Nilay TABANLI ve Anıl DAĞLI'ya her daim yanımda oldukları için teşekkür ederim. Bu tezi bitirmemede maddi ve manevi olarak beni destekleyen kardeşlerim Cansu SÖYLEYECİ ve İlker ÇAVUŞ'a ile çalışma arkadaşlarım, Soysal YILDIZ, Bahadır KARADENİZ ve Hüseyin BALCI'ya bana kattıkları için ve üzerimde emeği olan bütün herkese sonsuz teşekkürler.



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|  |      |
|--|------|
| <b>ÖZET</b> .....                                | vi   |
| <b>SUMMARY</b> .....                             | vii  |
| <b>TEŞEKKÜR</b> .....                            | viii |
| <b>İÇİNDEKİLER</b> .....                         | ix   |
| <b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....                     | xi   |
| <b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....                   | xii  |
| <b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....      | xiii |
| <b>1. GİRİŞ VE AMAÇ</b> .....                    | 1    |
| <b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b> .....            | 4    |
| <b>3. OPTİMİZASYON TEKNİKLERİ</b> .....          | 9    |
| 3.1. Optimizasyon Nedir? .....                   | 9    |
| 3.2 Optimizasyonun Temel Unsurları.....          | 10   |
| 3.2.1. Değişkenler.....                          | 10   |
| 3.2.2. Amaç Fonksiyonu .....                     | 11   |
| 3.2.3. Kısıtlar .....                            | 11   |
| 3.3.Optimizasyon Modelleri .....                 | 11   |
| 3.3.1. Klasik Optimizasyon .....                 | 12   |
| <b>4. KENT İÇİ ULAŞIM SİSTEMLERİ</b> .....       | 21   |
| 4.1. Toplu Taşımada Geleneksel Yaklaşımlar ..... | 22   |
| 4.2. Talep .....                                 | 27   |
| 4.2.1. Talebin yeri .....                        | 27   |
| 4.2.2. Adres- zaman ilişkisi .....               | 28   |
| 4.2.3. Talebin yapısı .....                      | 28   |
| 4.3.Tahmin Çeşitleri.....                        | 30   |
| 4.3.1.Aritmetik Ortalama Yöntemi .....           | 30   |
| 4.3.2. Hareketli Algılama Yöntemi .....          | 30   |

## İÇİNDEKİLER(devam)

### Sayfa

|  |           |
|--|-----------|
| 4.3.3. Ağırlıklı Ortalama Yöntemi .....                        | 30        |
| 4.3.4. Ağırlıklı Hareketli Ortalama Yöntemi .....              | 31        |
| 4.3.5. Üssel Düzeltme Yöntemi .....                            | 31        |
| 4.3.6. Regresyon (En küçük kareler) Yöntemi.....               | 32        |
| 4.4. Müşteri Odaklı Taşımacılık Nedir?.....                    | 32        |
| 4.5. Hizmet Saatleri.....                                      | 36        |
| 4.6. Kentiçi Toplu Taşıma Sistemleri Girdi ve Çıktıları.....   | 39        |
| 4.7. Zaman Çizelgeleme Sürecine Giriş .....                    | 40        |
| <b>5. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>                             | <b>43</b> |
| 5.1. Melez Öngörülü Sistem .....                               | 43        |
| 5.2. Melez Öngörülü Kontrol için Genetik Algoritma Tabanı..... | 51        |
| <b>6. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>                            | <b>53</b> |
| <b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>                              | <b>65</b> |
| <b>KAYNAKLAR DİZİNİ .....</b>                                  | <b>66</b> |

**ŞEKİLLER DİZİNİ**

| <b><u>Sekil</u></b>                                    | <b><u>Sayfa</u></b> |
|--|---------------------|
| 2.1 Bilgilendirme Ekranı .....                         | 4                   |
| 2.2 Bulut Yapısı .....                                 | 5                   |
| 3.1 Tavlama Benzetimi Algoritması Akış Diyagramı ..... | 18                  |
| 4.1 Ulaşım Ağ Tasarımı.....                            | 33                  |
| 4.2 Ulaşım Ağ Tasarımı.....                            | 40                  |
| 5.1 Otobüs Hat Güzergâhı .....                         | 43                  |
| 5.2 Toplu Taşıma Sistemi için bir HPC.....             | 45                  |
| 5.3 Otobüs Sisteminin Akış Diyagramı .....             | 50                  |
| 6.1 Google Earth Ekran Görüntüsü .....                 | 53                  |
| 6.2 Yolcu Sayıları Sütun Grafiği .....                 | 55                  |
| 6.3 Yolcu Sayıları Pasta Grafiği .....                 | 55                  |
| 6.4 Pazartesi Günü Pasta Grafiği .....                 | 56                  |
| 6.5 Salı Günü Pasta Grafiği .....                      | 56                  |
| 6.6 Çarşamba Günü Pasta Grafiği .....                  | 57                  |
| 6.7 Perşembe Günü Pasta Grafiği .....                  | 57                  |
| 6.8 Cuma Günü Pasta Grafiği .....                      | 58                  |
| 6.9 Cumartesi Günü Pasta Grafiği .....                 | 58                  |
| 6.10 Pazar Günü Pasta Grafiği.....                     | 59                  |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

| <b><u>Cizelge</u></b>   | <b><u>Sayfa</u></b> |
|---|---------------------|
| 4.1 Araçlar için Hız Limitleri .....  | 25                  |
| 4.2 Kent İçi Ulaşım Sistemlerinin Genel İşletme Maliyetleri .....               | 26                  |
| 4.3 Kent İçi Ulaşım Sistemlerinin Enerji Tüketimleri .....                      | 26                  |
| 4.4 Kent İçi Ulaşım Sistemlerinin yolcu-km Başına Ort. Enerji Tüketimleri ..... | 26                  |
| 4.5 Sefer Sıklığı .....   | 35                  |
| 4.6 Hizmet Saatleri .....   | 36                  |
| 4.7 Toplu Taşıma Türleri .....  | 38                  |
| 4.8 Araç Sayısı .....   | 39                  |
| 5.1 Kullanılan Değişkenlere Atanan Değerler .....                               | 49                  |
| 5.2 32 Kentte Otomobil ve Toplu Taşımacılık Kullanımı ile İlgili Sonuçlar ..... | 51                  |
| 6.1 Kullanılan Değişkenlere Atanan Değerler .....                               | 54                  |
| 6.2 Kullanılan Değişkenlere Atanan Değerler .....                               | 54                  |
| 6.3 Kullanılan Değişkenlere Atanan Değerler .....                               | 54                  |
| 6.4 Pazartesi Günü Durak Bazlı Yolcu Dağılımı .....                             | 60                  |
| 6.5 Salı Günü Durak Bazlı Yolcu Dağılımı .....                                  | 60                  |
| 6.6 Çarşamba Günü Durak Bazlı Yolcu Dağılımı .....                              | 61                  |
| 6.7 Perşembe Günü Durak Bazlı Yolcu Dağılımı .....                              | 61                  |
| 6.8 Cuma Günü Durak Bazlı Yolcu Dağılımı .....                                  | 62                  |
| 6.9 Cumartesi Günü Durak Bazlı Yolcu Dağılımı .....                             | 62                  |
| 6.10 Pazar Günü Durak Bazlı Yolcu Dağılımı .....                                | 63                  |
| 6.11 Zaman Çizelgelemesi Karşılaştırma Tablosu .....                            | 64                  |

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ****Simgeler****Açıklama**

|    |           |
|----|-----------|
| m  | Metre     |
| km | Kilometre |
| dk | Dakika    |
| h  | Saat      |
| s  | Saniye    |

**Kısaltmalar****Açıklama**

|      |                                      |
|------|--------------------------------------|
| TCRP | Transit Cooperative Research Program |
| TTA  | Toplu Taşıma Ağı                     |
| LOS  | Servis Seviyesi                      |
| MOE  | Etkinlik Ölçüsü                      |
| HPC  | Melez Öngörülü Sistem                |
| GPS  | Küresel Konumlama Sistemi            |
| GSP  | Gezgin Satıcı Problemi               |
| QAP  | Kuadratik Atama                      |
| KS   | Karınca Sistemi                      |
| KKA  | Karınca Kolonileri Algoritması       |
| GA   | Genetik Algoritma                    |
| ABC  | Yapay Arı Kolonisi                   |

## 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Toplu taşıma kavramı, Roma İmparatoru Augustus ve Tiberius'un dönemindeki iki ya da dört tekerlekli arabalardan oluşan araç sistemine dayanmaktadır. Kiralanabilen bu araçlar belirli aralıklarla konumlandırılmış hanlar arasında ulaşımı sağlamıştır. 16. yüzyılda Avrupa'da ulaşım kentler arasında belirli gün ve saatlerdeki araç seferleri ile sağlanmıştır. Bu ulaşım yetersiz altyapı sebebiyle konforsuz ve uzun süreli olmuştur (Black, 1995).

Nüfus artışı, köyden kente göçü beraberinde çarpık kentleşmeyi, alt ve üst yapı, eğitim, sağlık gibi birçok problemi doğurmuştur. Çarpık kentleşme, zamanın da doğru bir şekilde planlanmamış yollar ve bu yolların hali hazırda genişletilememesi gibi sebeplerden dolayı toplu taşıma sistemlerinin daha verimli tasarlanması gerektiği ihtiyacını ortaya koymaktadır. İyi bir toplu taşıma sistemi insanların ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik olmalıdır ki tercih edilsin. Belwal R., ve Belwal S.'e (2010) göre kent için taşımının önemi, milyonlarca insanın yaşadığı büyük şehirler, karmaşık yapıda olup insanlara birçok alanda çeşitli hizmet vermektedir. Kentin sunduğu hizmetlerin başında kişilerin erişilebilirliğinin sağlanması yani kent içi ulaşım gelmektedir. Toplu taşıma hizmetleri toplumların ayrılmaz bir parçasıdır. Toplu taşıma, genel veya özel ulaşım hizmeti sağlayan bir sistem olarak tanımlanmaktadır. Okul otobüsleri ve gezi servislerini haricinde otobüsler, metrolar, raylar, arabaları ve feribot botları gibi çeşitli türlerini içerir (Tran ve Kleiner, 2005).

Otobüsler kullanarak kurulacak bir toplu taşıma sisteminin için gerekli temel tasarım değişkenleri, hatların sayısı ve bunların rotaları, her bir hattın filo bileşimi ve her bir hat ile ilişkili en uygun sefer sıklığıdır. Bu faktörler, tipik bir çalışma günü için (en yoğun dönemler) en zorlu dönemlere göre, yolcu talebi yoğunluğu ve dağılımı ile ilişkili olmalıdır. Örneğin, otobüs güzergâh planlama yapılacak ise, o bölgede yapılacak olan fizibilite çalışmalarında dikkat edilmesi gereken konuların başında; bölgedeki eğitim kurumları, devlet kurumları, önemli iş ve alışveriş merkezleri gibi alanlara uzaklığı ve bu alanların ne kadarının bu otobüs güzergahı ile kapsanabileceği gibi. Diğer bir örnek ise karar verilen otobüs güzergahı üzerindeki durak sayısı çünkü durak sayısı zaman çizelgelemesini etkileyen bir faktör olup, durak sayısının fazla olması dur-kalk süresinin artmasına bu araç içerisindeki yolcuların araç içi bekleme sürelerini ve hedef noktalarına varış sürelerini etkileyeceğinden

doğru bir şekilde durak yeri tasarımı yapılmalıdır. Schöbel(2005)' e göre bir durak tren veya otobüslerin erişilebilirliğini arttırdıklarından müşterilerin bakış açısından avantajlıdır.

Yeni bir durak oluşturmak yeni müşteriler çekebilir ve talebi artırabilir. Otobüs taşımacılığında, kapsama yarıçapının genellikle 400 m olduğu varsayılmaktadır, yani durağın çemberin merkezine koyarak sanal bir çember çizdiğimizde kapsadığı alan bizim müşteri potansiyelimizi belirler, bu da bir müşterinin bir otobüs kullanma hakkında düşüneceğini, ancak bir sonraki otobüs durağının en fazla 400 metrelik bir mesafe içinde olduğunu düşünmektedir. Diğer taraftan, her ilave durak, orada duran tüm trenler veya otobüsler için nakil süresini (örneğin, demiryolu taşımacılığında iki dakika) arttırır. Bu, müşterinin isteyeceği bir şey değildir. Otobüs durak yeri planlanırken dikkatli ve müşteri odaklı olunmalıdır (Murray vd.,1998; Queensland Government, 1997).

Transit planlama hizmet kapsamının işlevsel düzeyde bir etki için, mekânsal verimliliğe odaklanmaktadır Newman ve Kenworthy (1999), Birleşik Devletlerdeki toplu taşıma kullanımındaki çok yüksek oranlarda artışların sadece şehirlerde olduğu sonucuna varmışlardır. Bunun anlamı, başlangıç noktasından hedef noktaya giderken varsa aktarma noktalarında etkili transit modu seçiminde geçiş hızının artması, müşteriyi çekecek ve toplu taşımanın daha fazla kullanımını sağlayacaktır. Önemli noktaları kapsayan, otobüs tabanlı toplu taşıma sistemlerinde yolcu talebi oluşturmak için bir dizi çözüm vardır. Bunlardan bazıları, ring-ekspres servisler, butonlu çağrı sistemleri ve güzergâh boyunca durak sayısını en az indirmek. Daha az duraklı güzergâhlar, daha kısa seyahat süresine, daha hızlı ulaşım imkânı sağlamanın yanında daha az operasyonel maliyetler doğurur (Furth ve Rahbee, 2000; Levinson, 1983; Saka, 2001; Wirasinghe ve Ghoneim, 1981).

Kentleşmiş bir toplumda, verimli bir ulaşım sistemi sosyal, ekonomik ve fiziksel yapının temel bileşenlerinden biridir ve transit yolcular için rekabetçi ve çekici olmalıdır. İyi tasarlanmış toplu taşıma hizmetleri düzenli programları takip etmeli, güvenli ve hızlı olmalı, yüksek hizmet kalitesini garanti etmeli ve kaynakları verimli kullanılmalıdır (Dridi, 2005).

Dünya genelinde özellikle büyük şehirlerde, ulaşımda toplu taşımanın payı genellikle durağan veya azalma eğilimindeyken, trafik hacim veya yoğunluğu sürekli olarak her yıl artış göstermektedir. Yolcuları kendi arabalarının sürüş rahatlığından vazgeçirmek uğraş isteyen bir iştir ve bunu yapmak adına öncelikle yolcu davranışı üzerine odaklanarak,

yolculuk öncesinde yolculara zamanında ve doğru bilgi verilmeye çalışılmaktadır. Bu bilgiler yolcuların ulaşım türleri, güzergâhlar, ve kalkış süreleri hakkında bilinçli bir şekilde karar verebilmelerine olanak sağlayacaktır (Casey vd.,2000).

Yolcu bilgilendirme sistemleri, yolcuların karayolu ulaşım ağı ve yolculukları için önemli olan bilgileri almalarını sağlamak amacıyla birçok teknolojiyi kullanmaktadır. Bu bilgiler yolcuların kendileri için en uygun ulaşım türünü (otomobil, tren, otobüs vs.), güzergâhını ve varış zamanını seçmelerine yardımcı olmaktadır. Ulaşım zaman çizelgelemesi ve durum bilgisi ulaşım yönetim sistemleri merkezinden elde edilmektedir. Karayolu tabanlı çoğu bilgi, takip cihazları aracılığıyla toplanmakta (araç içi-dışı dedektörler, kameralar, otomatik araç konumu belirleme sistemleri) ve yolcu sistemlerine iletmek için ulaşım yönetim merkezlerinde bulunan bilgisayar sistemi tarafından işlenmektedir (USDOT, 1998).

Bu tezin amacı ise, mevcut bir otobüs zaman çizelgesinde yapılacak iyileştirmeler için taban bir hazırlık yapmak. Problemi basit bir hale indirgeyerek belirlenen kısıtlar ve amaçlar dahilinde optimizasyon yöntemleri kullanarak müşteri ve işletmeci için daha uygun bir zaman çizelgelemesi elde etmek.



## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Taşıt rotalaması ve çizelgelemesi konusunun, 1950’li yıllarda bilim adamlarının ilgi alanına girmeye başladığı gözlemlenmiştir. G. Dantzig ve D. Fulkerson tarafından 1954 yılında yayınlanan tanker sayısının minimize edilmesi ile ilgili çalışma, ilk çalışmalara örnek olarak verilebilir. 1970’li yılların başında ortaya çıkan petrol krizine karşın, taşımacılık sektöründe hızlı gelişmeler kaydedilmesi, bu konuda yapılan çalışmalara yoğunluk kazandırmıştır. 1980’li yıllarda, ekonomik sorunların yanısıra, ulaştırma türleri ve şirketleri arasında giderek artan ve kırıncı bir rekabet ortaya çıkmıştır. Günümüzde ise ekonomik ve teknolojik gelişmeler sayesinde düşük hizmet ve bakım maliyetleri ulaşımın gelişmesine ve daha konforlu ve güvenli ulaştırma hizmetlerinin sağlanabilmesi, hem bu hizmeti veren firmalar hem de bu alanda çalışan ve çalışacak olan bilim adamlarını yakından ilgilendirmektedir. Bu nedenler, taşıt rotalaması ve çizelgelemesi konusunun önemi artmaya devam edecek, şu ana kadar yapılan pek çok sayıda ve ayrı karakterde rotalama ve çizelgeleme problemlerine yenileri eklenecektir (Erel,1995).

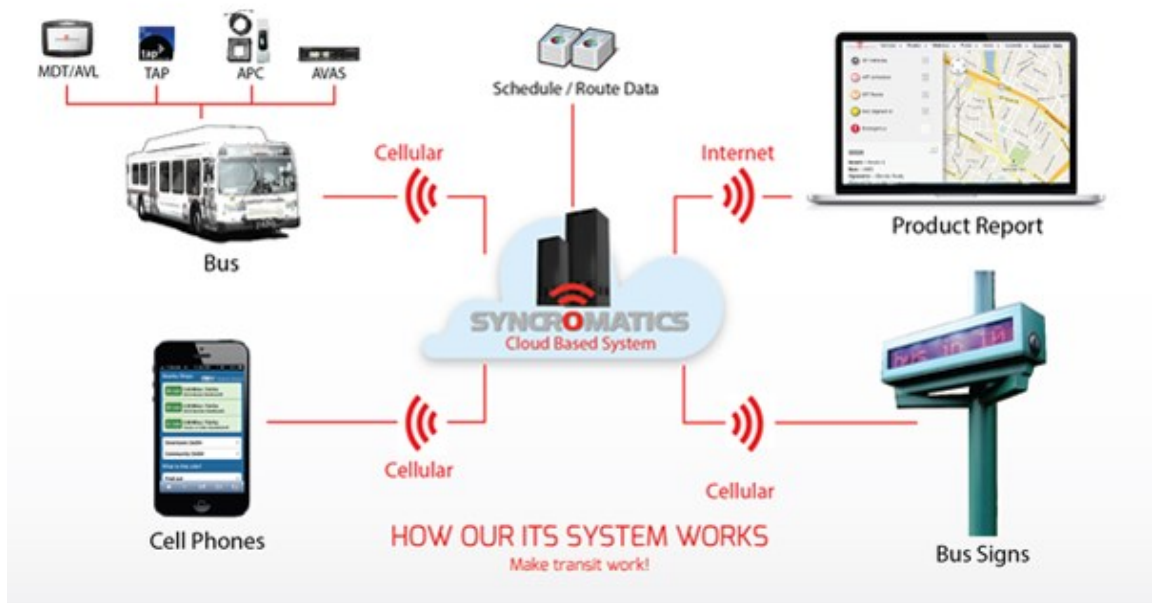
Planlama, peryodik ve peryodik olmayan şeklinde ayrılmaktadır. Peryodik çizelgeler belli zamanlı ve planlı olarak saatlerin belirlendiği çizelgelerdir.(Şekil 2.1) Planlı olmasından dolayı değiştirilmesi güç olmaktadır. Avrupa ülkelerinin çoğunluğu bu sistemi kullanmaktadır. Peryodik olmayan çizelgeler belli takvim zamanlarına göre belirlenmeyen çizelgelerdir. ABD ve Avusturya gibi ülkelerde kullanılmaktadır (Peeters, L.,2003).



Şekil 2.1 Bilgilendirme Ekranı

Temel olarak periyodik bir zaman çizelgeleme sisteminin nasıl olduğuna bakacak olursak Şekil 2.2’de de gösterildiği gibi bulut tabanlı bir sistem içerisinde otobüs içinden gelen GPS(Global Positioning System) verileri kullanılarak otobüsün konumu anlık olarak belirli bir sapma ile belirlenir. Bu sapma oranı ihmal edilerek alınan veri otobüsün anlık konumu olarak kabul edilir. Güzargah üzerindeki otobüs duraklarının yeri belirli olduğundan alınan veri anlık konum verisine göre otobüsün durağa varması için kalan süre hesaplanarak duraktaki otobüs bilgilendirme ekranına bu bilgi gönderilir. Bu ekranlarda otobüsün durağa gelmesi için kalan süre dakika olarak gösterilir. Bu elde edilen veriler internet üzerinden kullanıcıların telefonlarında bulunan uygulama üzerinde de takip edilebilir. Aracın konum bilgisi dışında araç içerisinde bulunan haberleşme sistemleri sayesinde merkez ile irtibata geçilerek herhangi olumsuz bir durum da merkeze bilgi verilebilir. Güzargah üzerinde duraklara yerleştirilecek sensörler ya da otobüsün zaman çizelgesine bakarak hangi durakta ne kadar yolcu bindiği ya da tahmini ne kadar yolcu indiği bilgileri de elde edilebilir. Elde edilen bu veriler depolanarak yapılacak yeni güzergâh ya da zaman çizelgelemede kaynak olarak kullanılabilir.

Otobüsünüzün gelip gelmeyeceğini bilememek çok stresli olabilir, bu nedenle bu elektronik işaretler sayesinde yeni biniciler için kolaylık oluşturacak ve toplu taşıma sistemine güveni arttıracaktır (Septhan, 2016).



Şekil 2.2 Bulut Yapısı

Bookbinder ve Désilets(1992) de otobüslerin rastlantısal yolculuk sürelerini hesaplamak için optimizasyon modeli ile birlikte bir simülasyon prosedürü kullanarak elde etmiştir. Chakroborty, P., Deb, K., & Subrahmanyam(1995) genetik algoritma yöntemini kullanarak kısıtları yeniden formüle ederek optimal bir zaman çizelgesi elde etmişlerdir. Veri toplama tekniklerine dayalı dört farklı zaman çizelgeleme yöntemini açıklamıştır (Ceder, 2005-2007). Büyük aralıklı gidiş, koordinasyon zamanı, üç senkronizasyon metodunu ve homojen olmayan kalkış aralıklarını içeren otobüs planlama yöntemini analiz etti (Bai vd.,2013). Bir otobüs güzergâhı için uygun bir çizelgeleme aralığı hesaplanması, temel yöntem talep akışının ayarlanmasıdır. Bir önceki otobüs optimizasyon çalışmalarında, mikro ekonomik model yöntemi önerilmiştir, yolcuların bekleme sürelerinin hesaba katılması, araç içi süre ve erişim süresi ve en uygun otobüs sefer sıklığının getirdiği toplam maliyet kolayca hesaplanabilir (Mohring,1972). Araç içi ve araç dışı ( durağa erişim için yürüme, duraktan ayrıldıktan sonra hedef noktasına kadar olan yürüme mesafesi, durakta bekleme süresi) tasarım aşamasında tekrar tekrar üzerinde düşünülmesi gereken bir konu olup, bununla ilgili Victoria Transport Policy Institute (2015) toplu ulaşımda bekleme, yolculuk deneyiminin önemli bir bileşenidir. Tipik bir yolculuk için, yolculuk süresinin %10-30'u beklemekle harcanmaktadır. Bu bekleme süresi Katz vd.(1991) iki şekilde azaltılabilir. İlki otobüs sefer sıklığı artırılarak, ikinci yöntem ise psikolojik bazı etkiler yardımıyla bekleme süresi algısını düşürmektir. Bu psikolojik etkenlere; durak bilgilendirme, hat ve durağın fiziksel koşullardan etkilenebileceği anlaşılmaktadır. Moreau(1992), yolcuların ortalama bekleme süresini %14 oranında olduğundan daha fazla tahmin ettiklerini ortaya koymuştur. Yolcuların bekleme sürelerini ve araç çalışma maliyetlerini sabit olmayan akış modelini kullanarak toplam maliyeti minimize eden bir zaman çizelgelemesi planlamış ve hipotetik sıklık sayısı için en uygun çözümler bulmuştur (Hurdle,1973). Benzer şekilde Klemm ve Stemme(1988) çalışmada toplu taşımanın kalitesini, döngüleri, erişilebilirlik ya da ulaşılabilirlik ve direk ilişkiler gibi farklı özelliklerle karakter analizleri yapılmışlardır. Domschke(1989), aktarma istasyonlarında yollarını değiştirmek istenilen yolcuların bekleme sürelerini minimize etme problemi olarak kabul etmişlerdir. Chakroborty (1995) kentsel ulaşım ağında yolcu planlaması ve durakta bekleyen yolcuların bekleme süresini ve genel seyahat süresini minimize eden bir optimizasyon problemi olarak formüleştirmişlerdir. Palma ve Lindsey(2001) yolcu toplam

zaman gecikme maliyetlerinin en aza indirilmesi sorunu formüle edilmiştir ve en önemli en uygun koşulları belirlemişlerdir.

Ceder ve Tal. (2001) bir filo için gerekli araç sayısını en aza indirerek yolcu talebi ile araç kalkış saatleri arasında, toplu taşıma tarifeleri ve araç planlaması oluşturulmasını birleştirmeyi dener. Ceder ve Tal (2001) zaman çizelgelemesi içerisinde verimli otobüs senkronizasyon tasarımı problemini ele almışlardır. Zhao vd. (2003) gerçek zamanlı olarak çeşitli duraklarda sevk aracının dinamik koordinasyonun sağlanması için araçların hareketine dayalı bir kontrol yaklaşımı önermişlerdir. Castelli vd. (2004) ulaşım ağları planlaması için sezgisel izlek tabanlı bir Lagrange yumuşatması sunmuşlardır. Zhao (2006) sezgisel bir yaklaşım ile analiz ve otobüs seferleri için gerekli sürücü sayısını atamak için tahmin yöntemi geliştirmişlerdir. Shröder ve Solhenbach(2006) toplu taşıma da aktarma kalitesinin iyileştirilmesini ele almışlardır. Liu ve Shen (2007) bölgesel otobüs işletme modeline göre, iki seviyeli bir programlama kurmuşlardır. Üst modelde, gerekli araçların sayısı ve yolculuk toplam seyahat süresini en aza indirmek için tasarlanmış bölgesel araç çizelgeleme, alt modelde ise araç zinciri çalışma süresi ile zamanlama sorunu bir sınıf olarak formüle edilir. Amaç her bağlantı durağı toplam yolcu aktarma süresini en aza indirmek ve mutlak çözümler için bir grup bağlantı durağı göstermektedirler. Guihaire ve Hao(2008), taşıma ağın tasarım ve zamanlanması için geçiş planlamada çok önemli stratejik ve taktiksel adımları değerlendirmişlerdir. İlk olarak stratejik ve taktiksel geçiş planlaması hedeflerini sunmuşlar. Ardından alt problemleri tanımlayıp yapılandırmak için bir terminoloji çatısı kurmaya çalışmışlardır.

Toplu ulaşım servislerinin güvenilirliği durağa bağlı olarak ve hatta bağlı olarak iki ayrı grupta incelenebilir. Alt tabanlı ölçümler (örneğin durak bazında incelemeler) üst tabanlı ölçümlere (hat ve yol şebekesi bazında incelemeler) dönüştürülebilmektedir. Hat tabanlı güvenilirlik, bir otobüs işletmesinin güvenilirlik performansını hat seviyesinde dikkate almaktadır ve belirlenen özel bir hat için ya da tüm sistem için ölçümler de yapılabilmektedir. Durak tabanlı güvenilirlikte ise bir otobüs işletmesinin güvenilirlik performansı seçilen duraklar için değerlendirilmektedir. Güvenilirlik ölçümleri literatürde çeşitli hat karakteristikleri kullanılarak yapılmaktadır. Örneğin sefer süreleri, kalkış saatlerine bağlılık, duraktaki yolcuların bekleme süreleri, uygun olmayan kapasite nedeniyle sonraki otobüsü bekleyen yolcu oranı vb. . Bu ölçütleri yolculuk süresine, sefer aralığına,

son durağa varış zamanına, yolcu bekleme süresine ve O-D çiftleri arasındaki seyahat süresine bağlı ölçütler olarak sınıflandırmak mümkündür (Doğan ve Uysal, 2017).

### 3. OPTİMİZASYON TEKNİKLERİ

Bilimsel ve teknolojik gelişmeler ile birlikte insanların yaşam kalite ve standartları artışı, yapılan işlerin kalitesinin artması ve en iyisinin yapılabilme hayali ile olmuştur. Optimizasyon da bu en iyiye ulaşma ve en iyiyi yapabilme isteğinin teknik bir terim olarak ifade şeklidir. Sarker(2007)'e göre optimizasyon, “farklı alanlardaki problemlerin çözümünde karar mekanizmasının karar vermesine yardımcı olan ve matematiksel modeller geliştiren bir disiplin topluluğu” olarak tanımlanmaktadır. Optimizasyon günümüzde üretim ve hizmet sektöründe, yapay zekâ, finansal alanlarda kullanılan önemli bir araçtır. Optimizasyonun tanımı, genel ve akıllı optimizasyon teknikleri temel prensipleri ve yapısından bahsedilecektir.

#### 3.1. Optimizasyon Nedir?

Optimum, Latince kökenli bir kelime olup nihai ideal manasına gelmektedir. Optimizasyon ise, verilen bir problemin en iyi çözümü veya tasarımını bulma işlemi olarak tanımlanabilir.

Optimizasyon, genel bir ifade ile bir kavram üzerinde çeşitlemelerle ulaşılan bilginin işletilmesiyle gerçekleştirilen iyileştirme çalışmasıdır. Özelde, hesaplamalı bilimlerin dalı olarak “En iyi nedir, en iyisi hangisidir?”, “Tek çözüm eldeki midir?” gibi sorulara sayısal değerle ifade edilebilecek bir cevap arayan ve “Matematiksel Optimizasyon” başlığı altında bahsedilen alandır. Mühendislik, mimari, ekonomi, matematik ve yaşamın diğer alanlarında ortaya çıkan optimizasyon problemlerinin çözümüne dönük çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (Haupt ve Haupt,1998).

Bir problemde matematiksel model, 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 (Sarker,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 (Doğan,1995). Başka optimizasyon modelleri amaç fonksiyonunu minimize etmeyi amaçlayabilir (maliyetin minimize edilmesi). Ayrıca modeller karışık kısıtlamalara sahip olabilir, eşitlik ve eşitsizliklerden oluşabilir veya hiç bir kısıtlama olmayabilir.

### **3.2 Optimizasyonun Temel Unsurları**

Her problemde olduğu gibi optimizasyon problemleri de belirli temel unsurlardan oluşmaktadır. Bu üç farklı unsura bakacak olursak;

- 1.Optimizasyon değişkeni-Optimizasyon değişkenlerinin tanımlanması
- 2.Amaç fonksiyonu- Yapılmak istenen optimizasyonu tanımlayan fonksiyon
- 3.Kısıt fonksiyonu- değişkenin maksimum ya da minimum olması konusunda önüne çıkan engeller(kısıtlar).

#### **3.2.1. Değişkenler**

Tüm karar verme süreçlerinde kararı etkileyecek olan tüm değişkenlerin tanımlanması ve değişkenlerin matematiksel olarak ifade edilmelidir. Yapılacak olan tasarımda bu değişkenlere, karar değişkenleri denilmektedir. Üretim tipi problemlerde herhangi bir işlem için kullanılan zaman değişkeni olarak tanımlanabilir. Başka bir örnek verecek olursak, optimum bir masa tasarımındaki değişkenler ise; masanın yüksekliği, genişliği, kullanılacak tahtanın kalınlığı gibi. Tasarım değişkenlerine değer atanabilir olmalıdır, bununla birlikte tasarım değişkenleri birbirinden bağımsız olmalıdır. Değişken sayısı problemin çözüm süresini etkileyen önemli bir faktördür. Ayrıca probleme ait uygun ve gerekli tasarım değişkenlerinin seçimi oldukça önemli olup doğru seçim yapılmadığı zaman problem tanımı eksik veya hatalı olabilir. Değişken sayısının fazla ya da az olması çözüm sürecini uzatmakta ya da kısaltmaktadır.

### 3.2.2. Amaç Fonksiyonu

Bir sistemin birden fazla değişik çözümü olabilir. Bu çözümlerden bazıları diğerlerine göre daha iyi olabilir. Bu sebepten ötürü, bulunan bu alternatif tasarımları karşılaştıracak bir kıstas olmalıdır. Karar aşamasında bu kararı verecek kişinin, amacını yansıtan fonksiyona amaç ya da hedef fonksiyonu denilmektedir. Maksimum ya da minimum yapılmak istenen fonksiyon olarak da tanımlanır ve isteklere bağlı olarak ya minimize edilir ya da maksimum değeri aranır. Masa örneğinden devam edecek olursak; maliyet fonksiyonunun minimize edilmesi, ağırlığın minimize edilmesi, elde edilecek karın maksimize şayet ortada bir zarar varsa bunun ise minimize edilmesi gibi.

### 3.2.3. Kısıtlar

Değişkenlerin alacağı değer aralığını belirleyen faktörler olarak tanımlanır. Başka bir ifade ile tasarımı sınırlayan, tasarım değişkenlerinin alacağı değerlere limit koyan fonksiyonlardır. Örneğin, bir yapı herhangi bir hasara uğramadan üzerine gelen yükleri taşıyabilmelidir. Herhangi bir kısıtın olmadığı optimizasyon problemleri de vardır. Bu nedenle bunları iki başlık altında; kısıtsız optimizasyon ve kısıtlı optimizasyon olarak inceleyebiliriz.

## 3.3. Optimizasyon Modelleri

Optimizasyon problemine bakıldığında, öncelikle amaç fonksiyonunun özellikleri, kısıt fonksiyonları ve karar değişkenlerinin durumu incelenir. Örneğin, amaç fonksiyonu için, doğrusal veya doğrusal olmayan, ayrık veya ayrık olmayan gibi. Karar değişkenleri için ise; sürekli veya ayrık, içbükey veya dışbükey olma durumu söz konusudur. Farklı durumlar, çözümü ve çözüm yöntemini doğrudan etkilemektedir. Bu farklılıkları esas alarak optimizasyon modelleri sınıflandırılmıştır.

Bir fonksiyon,  $c_i$  değerleri sabit olmak koşulu ile doğrusal fonksiyon;

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = C_1X_1, C_2X_2, \dots, C_nX_n$$



şeklinde ifade edilir. Eğer amaç fonksiyonu ve tüm kısıt fonksiyonları, yukarıda örneği verildiği gibi doğrusal fonksiyonlardan oluşmakta ise modele doğrusal programlama modeli olarak isimlendirilir.

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 çok çeşitli şekillerde olabilir. Tek bir algoritma ile tüm problem türlerini çözmek imkânsızdır. Bu bilgiden yola çıkarak farklı optimizasyon algoritmaları, değişik doğrusal olmayan programlama problemlerini çözmek için geliştirilmiştir.

Cinemre N.(2004) ‘ e göre amaç veya kısıt fonksiyonlarından herhangi biri doğrusal değilse bu tip modellere doğrusal olmayan programlama modeli denilmektedir. Doğrusal olmayan programlama problemleri de kendi içinde alt başlıklara ayrılabilir. Tek bir algoritmayla tüm problem türlerini çözmek imkânsızdır. Bu gerçekten hareket ile farklı optimizasyon algoritmaları, değişik doğrusal olmayan programlama problemlerini çözmek için geliştirilmiştir (Rangarajan, 1999).

### **3.3.1. Klasik Optimizasyon**

Klasik optimizasyon; verilen sürekli ve türevlenebilir bir fonksiyonun matematik kuralları içerisinde maksimum ya da minimum değerlerinin araştırılması olarak tanımlanan analitik bir yöntemdir. Gerçek hayattaki bazı problemlerin amaç fonksiyonları sürekli ve türevlenebilir olamayacağından, bu nedenle gerçek hayat uygulamalarına bakıldığında sınırlıdır. Klasik optimizasyon problemleri kısıtlı ve kısıtsız optimizasyon adı altında ikiye ayrılmaktadır.

#### **3.3.1.1. Kısıtlı Optimizasyon Teknikleri**

Doğrusal eşitsizlikler şeklinde bir problemin incelenmesi, optimizasyon problemlerinin temelini oluşturur. Bu optimizasyon problemlerinin incelenmeye başlanması Fourier’in çalışmalarına kadar gitmektedir. Daha sonra ise, 1920’lerde Sovyet Rusya, ilk defa doğrusal optimizasyon probleminin ortaya çıkışı, daha sonra Amerika Birleşik

Devletlerinde yaşanan lojistik ve dağıtım problemleri ve doğrusal optimizasyon problemlerinin çözümü için simpleks adı verilen algoritmanın doğmuştur. Bu yöntem bugün hala çok yaygın bir şekilde doğrusal programlama problemlerinin temel çözüm algoritması olarak kullanılmaktadır.

Kısıtlı optimizasyon teknikleri, sınırlı kaynakları en iyi şekilde kullanmak için tasarlanmış bir yöntem olup, bu yönüyle doğrusal programlamada olduğu gibi sınırlılık varsayımı ile hareket etmektedir. Bilinen kısıtlı optimizasyon teknikleri ise aşağıdaki gibi sıralanabilir;

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

### 3.3.1.2. Kısıtsız Optimizasyon Teknikleri

Doğrusal olmayan optimizasyon teknikleri olarak da tanımlanabilen basit problemlerdir. Kısıtların olmayışı problemi basit gibi gösterebilir fakat çözüm sürecini zorlaştırmaktadır. Bilinen kısıtsız optimizasyon yöntemlerinin isimleri ise aşağıda listelenmiştir.

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

### 3.3.2. Akıllı Optimizasyon Modelleri

18. yüzyılda Newton ve Lagrange tarafından öne sürülen teoremler ile başlamış olan bu yöntem verilen koşullar altında en iyi çözümün bulunması olarak tanımlanan optimizasyon yöntemidir.

Verilen bir problemin çözülmesinde ya da bir sistemin analiz ve planlama aşamasında belirlenen amaç, elde edilecek karı ya da üretimi maksimize etmektir. Kar maksimizasyon planının gibi maliyeti minimize etmekte bir amaç olabilir. İstenilen sonuç her zaman karar değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak ifade edilirken optimizasyon sürecinde bu fonksiyonun en küçük ya da en büyük değerini veren koşullar bulunarak kısıt fonksiyonu belirlenir.

Yukarıda bahsedilen amaçlar doğrultusunda karmaşık optimizasyon problemlerin çözümünde kullanılan akıllı(zeki) optimizasyon tekniklerinden en çok tercih edilenleri şunlardır;

- Karınca Algoritması
- Arı Koloni Algoritması
- Tabu Arama
- Tavlama Benzetimi
- Yapay Sinir Ağları
- Bulanık Mantık
- Genetik Algoritma

Problemin türüne ve hedeflenen amaca göre bu tekniklerden en uygun olan bir ya da birkaç yöntemle çözüme ulaşılır.

### **3.3.2.1.Karınca Algoritması**

Bilim insanları, böcek türünün davranışlarını inceleyerek başarılı optimizasyon algoritmaları geliştirmişlerdir. Bulunan ve geliştirilen bu algoritmalar birçok bilimsel alanda ve mühendislik problemlerinde uygulanmıştır. Karıncaların görme yetileri gelişmemiş olmasına karşın yuvaları ile besin kaynakları arasındaki en kısa yolu bulma özelliğine sahiptirler. Karınca algoritmaları ilk kez 1992 yılında Marco Dorigo tarafından en kısa yolu bulmak üzere gezgin satıcı problemi(GSP) ve kuadratik atama(QAP) gibi zor optimizasyon problemlerinin çözümü için geliştirilmiştir. Algoritma, karınca kolonilerinden esinlenerek

geliştirildiğinden sisteme, karınca sistemi (KS), algoritma ise karınca kolonileri algoritması (KKA) olarak isimlendirilir. Daha sonraları geliştirilen algoritmalar pek çok farklı optimizasyon probleminin çözümünde kullanılmaya başlamıştır.

Karınca sisteminde kullanılan karıncalar doğal karıncalardan farklı olup, hafızaya sahip, tamamen kör olmayan ve zamanın kesikli olduğu bir çevrede yaşarlar. Yuvalarına ya da besin kaynaklarına hareket ederlerken geçtikleri güzergâha feromen adı verilen kimyasal bir madde bırakmaktadırlar. Yol seçimi yapmaları gerektiği zaman alternatif yollar üzerindeki feromen maddesinin yoğunluğuna bakarak karar vermektedirler.

Bu sayede yapılan sayısız analiz, deney ve gözlem sonrasında karıncaların müthiş yetenekleri matematiksel bir çözüm yönteminin ortaya çıkması ve gelişmesini sağlamıştır. Karınca algoritmasının temel formülasyonunda herhangi bir problemin sonucunun, o problemi oluşturan “n” adet varlığın permütasyonu olduğu kabul edilir (Dorigo, 1996).

### 3.3.2.2. Arı Kolonisi

Arı kolonilerinin zeki davranışları ve besin arama sürecindeki davranışlarını modelleyen Karaboğa Yapay Arı Kolonisi (ABC) algoritmasını geliştirmiştir (Karaboga, 2005). Algoritmada görevli arıların sayısı toplam yiyecek kaynağına eşittir. İşçi arıların sayısı gözcü arıların sayısına eşittir. Kaynakta görevli arı kaynaktaki nektar miktarı bitince kâşif arı olmaktadır. Arı kolonilerinin yiyecek kaynaklarının konumları çözülmek istenen problemin muhtemel çözümlerine, nektar miktarı ise çözümün kalitesini ifade etmektedir. ABC algoritması en fazla nektara sahip kaynağın yerini bulmaya çalışarak arama uzaydaki çözümlerden problemin minimumunu ya da maksimumunu veren noktayı (çözümü) bulmaya çalışmaktadır (Akay, 2009).

- Başlangıç yiyecek kaynağı bölgelerinin oluşturulması
- REPEAT
- İşçi arıları yiyecek kaynağına gönder ve nektar miktarının hesaplanması
- Gözcü arıların seçiminde kullanacakları olasılık değerlerinin hesaplanması
- Gözcü arıların hesaplanan olasılık değerlerine göre yiyecek kaynağı bölgesi seçmeleri
- Kaynaktan ayrılma kriteri: limit ve kâşif arı üretilmesi

- UNTIL çevrim sayısı (Küçüksille ve Tokmak,2011)

### 3.3.2.3.Tabu Arama

İlk defa 1986 yılında Glover tarafından önerilen, akıllı optimizasyon tekniklerinden biri olan tabu arama tekniği, diğer tekniklere göre daha sınırlı çözümler sunmaktadır. Lokal araştırma tabanlı meta sezgisel yöntem olarak kabul görmektedir.

Tabu arama algoritması tekrarlamalı bir yöntemdir. Her bir yinelemede, yerel optimumlara takılmadan, aramayı mevcut çözümden daha iyi bir komşu çözüme taşıyarak çalışmaktadır. Bu sebepten dolayı yerel optimumun yerine, çözüm uzayını araştırmak için kullanılan bir yöntemdir. Yerel(lokal) çözümleri ve uygun olmayan çözümleri hafızaya alma özelliği olmasından dolayı daha esnek bir arama yapısı mevcuttur (Glover,2014).

Algoritmasının ilk aşaması başlangıç çözümünün oluşturulmasıdır. Sonraki adım hareket mekanizmasının devreye girmesidir. Bu mekanizma mevcut çözümdeki değişikliklerin yapılmasını sağlayıp, yeni çözümlerin elde edilmesini sağlar. Tabu arama algoritmasının üç temel hareket stratejisi bulunmaktadır. Yasaklama stratejisi tabu listesine nelerin gireceğini kontrol eden ilk stratejidir. İkinci strateji ise serbest bırakma stratejisidir. Tabu listesinden kimin hangi koşul ile çıkacağına kara verir ve kontrol eder. Üçüncü ve son strateji ise kısa zamanlı strateji olarak adlandırılır. Bu strateji, yasaklama stratejisi ile serbest bırakma stratejisi birbirleriyle etkileşimini kontrol eder. Bu stratejilerin sonucu ortaya çıkan durumlar hafızaya kaydedilir. Hafıza, hareket stratejileriyle birlikte çalışmaktadır. Arama boyunca bazı tabuların yıkılması gerekir ve tabu yıkma kriterleri olarak tanımlanan bu özellik tabunun ortadan kalkabileceği durumları ifade etmektedir. Arama, süreçlerden geçip optimum çözüme ulaştığında sonucu ortaya koymasını sağlayacak durdurma koşulu bulunmaktadır. Durdurma koşulu; belirli adım sayısına ulaşılması, istenilen çözüm değerine ulaşılması, komşu çözüm bulunamaması, yeni sonuç üretmemesi gibi koşulları içermektedir (Sarker,2007)

Tabu arama algoritmasının kullanıldığı bazı uygulamalar aşağıda verilmiştir.

- Employee scheduling (Personel çizelgeleme)
- Character recognition (Karakter tanımlama)

- Space planning and architectural design (Alan planlaması ve mimari tasarım)
- Job shop scheduling (İş akış çizelgeleme)
- Machine scheduling (Makine çizelgeleme)
- Nonlinear covering (Doğrusal olmayan kaplama)

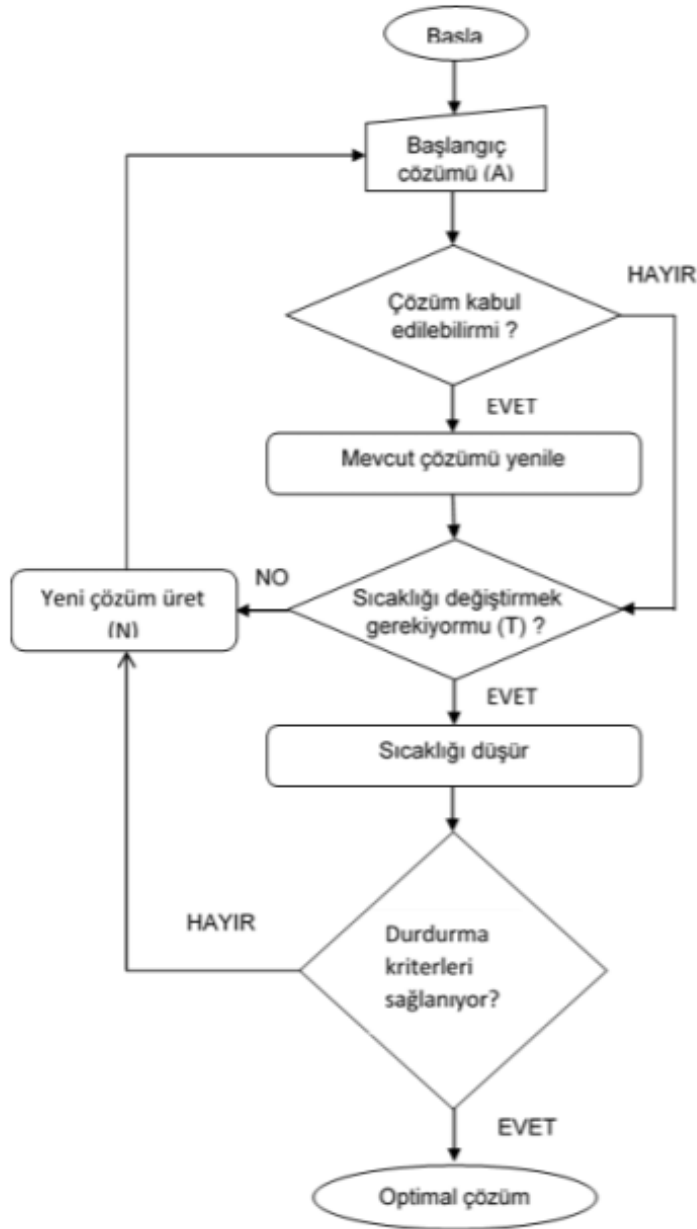
Tabu arama algoritmasının farklı çeşitlilikte problemin optimal çözümünü ya da optimale yakın çözümünü başarılı bir şekilde bulabilmesi Tabu arama algoritmasının esnek yapısı ve hafıza yapısı sayesinde mümkün olabilmektedir (Glover,2017).Tabu arama algoritmasının adımları;

1. Başlangıç çözümünü belirle. Bu çözümü mevcut çözüm ve en iyi çözüm olarak hafızaya al.
2. Belirlenen değiştirme fonksiyonu ile geçilebilecek komşu çözümleri bul.
  - a. Tabu olmayan ya da tabu olsa bile tabu yıkma kriterlerini sağlayan bir komşu çözümü seç.
  - b. Mevcut çözümden yeni çözüme geçişi tabu olarak belirle.
  - c. Yeni çözüm o ana kadarki en iyi çözüm ise yeni çözümü en iyi çözüm olarak belirle.
3. Durdurma ölçütü sağlanana kadar 2. adımı tekrarla

#### **3.3.2.4.Tavlama Benzetimi**

1983 yılında Vecchi, Kirkpatrick ve Gerlatt tarafından ortaya konulan tavlama benzetimi bir arama algoritmasıdır. Katıların, ısıtılması ve ısıtıldıktan sonra kristalleşmeye kadar yavaş yavaş soğutulması esasına dayanır. Sıcaklık değeri, elde edilen en iyi çözümden daha kötü bir çözümün kabul edilme olasılığına karar vermek için kullanılır. Tavlama benzetimi yüksek bir sıcaklık değeriyle başlar, hesaplamının her bir adımında mevcut çözümün komşuları arasında çok sayıda çözüm üretilir. Yeni çözümler üretilirken belirlenen kısıtlara göre kabul edilir veya reddedilir. Hesaplamanın her bir adımından sonra sıcaklık değeri belirlenen fonksiyona göre azaltılır. Algoritma istenilen değere ya da istenilen çözüme ulaştığında veya sıcaklık minimum değere ulaştığında sonlandırılır.

Algoritmanın akış şeması aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.1 Tavlama Benzetimi Algoritması Akış Diyagramı

### 3.3.2.5.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 (Öztemel, 2008).

Bankacılık sektöründe başta olmak üzere çok geniş bir kullanım alanı vardır. Bunlar;

- Ekonomik Öngörü
- İflas Tahmini
- Finansal Öngörü
- Kredi Derecelendirme
- Örüntü Tanıma
- Sınıflandırma
- Optimizasyon
- Kümeleme
- Regresyon
- Kontrol Benzetimi
- Tahmin Yürütme
- Zaman Serileri Analizi
- Fonksiyon Kestirme

### 3.3.2.6. Bulanık Mantık

1961 yılında Azeri kökenli bir bilim adamı olan, Lütfü Aliasker Zade'nin yayınladığı bir makalenin sonucu ortaya çıkmış bir mantık yapısıdır. Bulanık mantık temelde, bulanık küme ve alt kümelere dayanır.

Bulanık mantık ile klasik mantık arasındaki bilinen anlamda temel fark matematiğin sadece aşırı uç değerlerine izin vermesidir. Klasik matematiksel yöntemler ile karmaşık sistemleri modellemek ve kontrol etmek bu yüzden zordur, çünkü veriler tam olmalıdır. Bulanık mantık kişiyi bu zorunluluktan kurtarır ve daha niteliksel bir tanımlama olanağı sağlar. Bir kişi için 35,5 yaşında demek yerine, orta yaşlı demek uygulama için yeterli bir veridir. Böylece, matematiksel bir tanımlama yerine daha kolay anlaşılabilen niteliksel bir tanımlama yapılabilecektir (Kosko, 1993).

Bulanık mantığın temelini oluşturan bulanık küme teorisi Prof. Dr. L. A. Zadeh tarafından ortaya atılmıştır.



Bulanık küme kavramı belirsizlik içeren, net bir değer değil, belli bir aralığı kabul eden bir yaklaşımdır. Örnek olarak havanın sıcaklığından bahsedecek olursak kişiye göre farklılık göstermekle birlikte 35–40 derece arasını sıcak olarak tanımlamak mümkündür. Burada belirtilen 35-40 derece arası değerler kümesi bulanık kümeyi oluşturmaktadır. Zadeh'in bu yaklaşımı, gerçek hayat problemlerinin daha gerçekçi çözümler ürettiği ve daha gerçekçi temsil edilebildiğini göstermiştir.

### **3.3.2.7.Genetik Algoritma**

Genetik algoritmalar ilk olarak John Holland, Michigan Üniversitesinde, tarafından 1975 yılında tanımlanmıştır. Genetik algoritmayı, doğadaki evrime dayanan güçlü ve etkili araştırma algoritmaları olarak tanımlamıştır. Günümüzün çözülmesi zor ve karmaşık problemlerini çözümüyle yolunda hızlı ve kolay çözüm yolları arayışına itmiştir (Emel ve Taşkın, 2002). Bu çalışmalar sonucunda genetik algoritma ile çözüme kolayca ulaşılabilmektedir.

Genetik algoritmalar uygulama alanları çok geniştir. Problemlerin birçoğunun geniş bir çözüm havzasının taranmasını gerektirmektedir. Kısa bir sürede kabul edilebilir bir sonuç alınabilmek için genetik algoritma kullanılmaktadır. Genetik algoritmalar doğadaki gelişim mekanizmasını örnek olarak oluşturulmuş bir çözüm tekniğini oluşturmakla beraber yapay zekânın bir kolu olan evrimsel hesaplama tekniğinin bir parçasını barındırmakta ve bu alandaki en göze çarpan teknik olarak düşünülebilir. Genetik algoritmalar evrimsel hesaplamanın en çok ve en yaygın kullanılan dalıdır. Ayrıca geleneksel yöntemlerle çözümü oldukça zor olan problemlerin çözümlenmesinde kullanılmaktadır (Atalağ, 2001).

#### 4. KENT İÇİ ULAŞIM SİSTEMLERİ

Ulaşım; insanların eğitim, iş, eğlence, sağlık ve diğer ihtiyaçlarına erişim sağlaması açısından kentsel gelişmede önemli bir rol oynamaktadır. Bu bakımdan, ulaşımın planlaması anlayışı öncelikle yaşanan sorunların ve insanlarda memnuniyetsizlik yaratan durumların tanımlanmasıyla başlamalıdır. Kent içi ulaşımında karşılaşılan temel sorunlar; trafik sıkışıklığı, konforsuz ulaşım şartları, yol ve park alanları gibi altyapı yanının yüksek maliyeti, trafik kazaları, hava kirliliği olarak sayılabilmektedir. Ancak bu problemlerin en belirginini ve diğer problemlerinde ortaya çıkmasındaki en önemli etken otomobil kullanımına olan bağlılık ve bunun sonucunda ortaya çıkan trafik sıkışıklığıdır (Cirit, 2014).

Bunların yanı sıra toplu taşıma araçlarını kullanmak bireysel trafik yoğunluğunun azaltarak trafikte bekleme süresini aşağı çekecektir. Bireysel trafiğin azalması demek daha az karbondioksit salınımı demek olduğundan hem sera gazı salınımı etkisi hem de ses ve görüntü kirliliği azalacaktır. Petrol tüketiminin azalması ile petrol ithalatının azalarak ülke ekonomisine olumlu yansımaları olacaktır.

Dünyada kentsel ulaştırmanın önemi, İkinci Dünya Savaşı'nın ardından otomobilin ve motorlu taşıtların sayılarının hızla artışına bağlı olarak ön plana çıkmıştır. Otomobil arzının artması, buna karşılık karayolu ağlarının yetersizliği, kent içinde trafik sorunun doğmasına neden olmuştur. Bu sorunun çözülmesi amacıyla bir takım çalışmalar ve planlamalar yapılması gereği ortaya çıkmıştır. Bu çalışmaların tarihi gelişimi incelendiğinde aşağıdaki tarihsel sıralama ortaya çıkmaktadır (Kancabaş, 1998; Acar, 1994; Evren 1999; Evren, 1978).

Toplu taşımayı iki ana başlık altında toplayabiliriz.

Bunlar;

- Geleneksel Yaklaşımlar
- Çağdaş Yaklaşımlar

#### 4.1. Toplu Taşımada Geleneksel Yaklaşımlar

Bu dönemi de iki alt başlık altında inceleyebiliriz.

1950’li yıllar dönemi;

Bu döneme kadar ulaştırma içerisinde araç sayısında bir anda büyük bir artış olmuştur. İnsanların bu talebi sadece büyük kentler hariç, toplu taşıma araçların rağbet görmemesine neden olmuştur. Bu sorununun üstesinden gelebilmek için yeni yollar inşa edilmiş ve kent merkezlerine yeni park yerleri, otoparklar yapılmıştır. Yaya ulaşımının konu edilmediği, toplu taşıma araçlarına yeteri kadar önemsenmediği bu dönemde yer yer mevcut tramvay hatları sökülüştür. Bu dönemde toplu taşıma büyük darbe almıştır.

1960’lı yıllar dönemi

Bu dönemde dünyada üzerinde meydana gelen teknolojik gelişmelerin etkisinde kalınmış ve sorunların çözümünde teknolojik gelişmelerin yeterli olacağı düşünülmüştür. Fakat bu düşünce planlama çalışmalarını olumsuz yönde etkilemiştir.

Bunchanan’ın 1963 yılında yayınladığı raporda otomobilin ulaşım için çok pahalı ve problemlili bir çözüm olacağını ortaya koymuştur. Bu nedenden dolayı Buchanan nüfusu yüz bini aşan şehirlerde mutlak başka sistemlerin geliştirilmesi gerektiğini söylemiştir.

Yine de bu dönemde teknolojinin olanaklarından yararlanılarak, otomobilin ulaşımın sorunlarına çözüm üretilebileceği düşünülmüştür. Dolayısıyla yeni otoyol yapılması gerektiği öngörülmüştür. Aynı dönemde toplu taşıma ile ilgili de çeşitli düzenlemeler yapılmıştır. Paris’te caddelerin birçoğu tek yön olarak değiştirilmiş, toplu taşıma da ise otobüslere özel şeritler tahsis edilmiştir (Gunn, 2011). Bu dönemde büyük kentlerdeki trafik sorununa çözüm üretilememiş, üstüne üslük kirlilik ve gürültü üst düzeylere ulaşmıştır.

Özel oto kullanımının revaçta olduğu bir dönemde, bunun teknik, ekonomik ve toplumsal açılardan kent içi ulaşımın gerekleriyle çelişkili olduğunu ortaya koyan A.B.D. Başkanı Richard Nixon, 1969 yılında yaptığı konuşmasında büyük bir ileri görüşlülükle şunları söylemiştir (Evren, 1978).

İnsanları toplu taşıma kullanımına teşvik etmek için, onların ihtiyaçlarına uygun şekilde tasarlanmış bir toplu taşıma sistemi inşa edilmelidir. Örneğin önemli devlet binalarını, okulları, önemli ticari ve kültürel merkezleri vb. gibi yerleri kapsayacak şekilde ya tek bir toplu taşıma sistemi ya da birebiriyle entegre çalışan birkaç sistemden oluşan bir ulaşım ağı sistemi. Bu konuda yapılan bir yolcu anketi olan, Ankara Toplu Taşıma Kullanıcıları Yolcu Memnuniyet Anketleri (2013) de değerlendirilerek sorunlar tanımlanmaya çalışılmıştır.

Bu sorunlar;

- Oturma düzeninden kaynaklanan rahatsızlıklar (ters koltuk)
- İniş ve binış esnasında kapı girişlerinde yaşanan zorluklar (kapı girişinden itibaren başlayan koltuklar)
- Yük taşıyan yolcuların yaşadığı sıkıntılar (valiz vb.)
- Çocuklu aileler için alan darlığı (puset, bebek arabası vb.)
- Engelli ve hareket kısıtlılığı bulunan yolcular için alan darlığı (tekerlekli sandalye)
- Kilolu ve çok uzun yolcular için alan darlığı (dar aralıklı ve sıkışık)
- Ayakta taşınan yolcuların homojen dağılım sorunu (kapı girişinde yığılma) olarak tespit edilmiştir

Toplu taşıma sistemi insanların toplu olarak bir yerden başka bir yere ulaşım taleplerini karşılamaya yönelik öğeleri, bunların özelliklerini ve aralarındaki ilişkileri içeren bir sistem bütünü olarak tanımlanabilir (Yaşar, 2009). Bir yerde kaliteli bir toplu taşımacılık ve toplu taşıma planlamanın yapılması için öncelikle toplu taşıma hizmet parametreleri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu hizmet parametreleri;

- Hız
- Servis Sıklığı
- Mali etkinlik
- Eşitlik
- Erişilebilirlik
- Konfor
- Güvenlik
- Güvenilirlik
- Dakiklik, olarak adlandırılmaktadır (Önder ve Önder, 2015).

Kentiçi ulaşım sisteminin temel üç fonksiyonuna bakacak olursak,

- Hareketlilik fonksiyonu
- Erişim fonksiyonu
- Yaşam fonksiyonu

Bu üç temel fonksiyonu biraz açacak olursak, hareket fonksiyonuyla, aktivite merkezleri arasında büyük yolcu kitlelerinin hızlı, güvenli ve ekonomik ulaşımı sağlanmaya çalışılır. En önemli ölçütü seyahat hızıdır (Yaşar, 2009).

Erişim fonksiyonu, bir ulaşım sisteminin istenilen aktivite merkezlerine kolay erişim sağlanmasıdır. Alışveriş merkezleri, sportif faaliyetlerin yürütülebilmesi için inşa edilen çeşitli spor merkezleri gibi aktivite merkezlerinin ana yol ve cadde üzerindeki konumları ulaşılabilirlik fonksiyonunun göstergeleri o ölçüde ön plana çıkar. Diğer önemli bir etken ise bazı günler ya da daima araç trafiğine kapalı cadde ve sokakların oluşudur.

Yaşam fonksiyonu, ise salt erişimi aşan aktivitelerin topluluğudur ve bu aktiviteler yol kenarındaki mekânlarının yanlarındaki kullanım alanları ve yapılaşma ile ilişkilidir. Örnek verecek olursak insanların parklardan yararlanması, kafe ve benzeri yerlerde oturmaları gibi.

Ulaşım sistemleri planlanırken bu fonksiyonlar göz önüne alınır. Örneğin, araç trafiğine kapatılan bir yolun yayalaştırma çalışması yaşam fonksiyonunun bağlantı ve erişim fonksiyonlarının önüne geçer. Fakat yayalaştırılan bu yolun günün belirli saatlerinde trafiğe açılması ise bu fonksiyonların birbirleriyle çatışmasına yol açar. Diğer bir örnek ise kentiçi toplu taşıma sisteminden örnek verecek olursak, erişim fonksiyonunun ön plana çıktığını rahatlıkla söyleyebiliriz.

Özel ulaşım, kişilerin bireysel olarak yaptıkları yolculukları ifade ederken otomobil, motosiklet, bisiklet ve yaya ulaşımı gibi alt türleri bulunur. Zaman ve gidilecek yer kişiye bağlı olduğu için esnek bir kendi kendine hizmet anlayışı içermektedir. Bu sistemde bireysellik ön planda olduğu için hem parasal hem de çevresel etkileri toplu taşımaya göre daha fazladır. Toplu taşımada ise istenilen yere giderken zaman ve yol kısıtları bulunmaktadır. A noktasından B noktasına giderken bakılması gerekenler; bu iki nokta arasında herhangi bir toplu taşıma sistemi var mı? Var ise hangi sefer sıklığı ile taşımacılık

yapıyor? Ne kadar ücret ödemek gerekiyor ve ne kadar sürede istenilen noktaya ulaşım sağlanabiliyor? Ne istenildiğine bağlı olarak seçim yapılabilir. Kentiçi ulaşım sistemlerinin; kullanıcı maliyetleri açısından seyahat süresi buda doğrudan seyahat hızı, işletmeci maliyetleri açısından bakıldığında da genel işletim maliyeti, yani bakım, onarım, yıpranma payı, personel, enerji tüketimi, dikkate alınarak karşılaştırma yapılabilir. Çizelgede Karayolları Genel Müdürlüğünün belirlediği yasal hız sınırları yer almaktadır.

Çizelge 4.1 Araçlar için Hız Limitleri

| TÜRKİYE'DE ARAÇLARIN UYMASI GEREKEN YASAL HIZ SINIRLARI |                           |  |                       |                  |
|---|---------------------------|--|-----------------------|------------------|
| ARAÇ CİNSİ  | YERLEŞİM YERİ İÇİNDE (km) | YERLEŞİM YERİ DIŞINDA                        |                       | OTOYOLLARDA (km) |
|   |                           | ŞEHİRLERARASI ÇİFT YÖNLÜ KARAYOLLARINDA (km) | BÖLÜNÜŞ YOLLARDA (km) |                  |
| Otomobil (M1), (M1G),                                   | 50                        | 90   | 110                   | 120              |
| Minibüs (M2),   | 50                        | 80   | 90                    | 100              |
| Otobüs (M2-M3),   | 50                        | 80   | 90                    | 100              |
| Kamyonet (N1), N1G)                                     | 50                        | 80   | 85                    | 95               |
| (Eksatır:RG-21/3/2012-28240)                            | 50                        | 85   | 100                   | 110              |
| Panelvan (N1)   |                           |  |                       |                  |
| Kamyon (N2-N3),   | 50                        | 80   | 85                    | 90               |
| Çekici (N2-N3)  |                           |  |                       |                  |
| Motosiklet (L3)   | 50                        | 80   | 90                    | 100              |
| Motosiklet (L4, L5, L7)                                 | 50                        | 70   | 80                    | 80               |
| Motorlu bisiklet (L1, L2, L6)                           | 30                        | 45   | 45                    | Giremez          |

Kentiçi ulaşım sistemlerinde maliyet, enerji tüketimi, yolcu-km başına düşen ortalama enerji tüketimleri Çizelge 4.2, Çizelge4.3 ve Çizelge4.4’de yer almaktadır.

Çizelge 4.2 Kent İçi Ulaşım Sistemlerinin Genel İşletme Maliyetleri

| Kent içi ulaşım sistemi     | İşletme maliyeti (Yolcu-km başına US cent,1993) |
|-----------------------------|---|
| Otobüs(normal yolda)        | 3 – 8   |
| Otobüs(özel otobüs yolunda) | 8 – 12  |
| Tramvay                     | 3 – 12  |
| Hafif Raylı Sistem          | 12 – 15   |
| Metro                       | 15 – 23   |

Çizelge 4.3 Kent İçi Ulaşım Sistemlerinin Enerji Tüketimleri

| Kent içi ulaşım sistemi     | Enerji Tüketimi(Mj/yolcu-km) |
|-----------------------------|------------------------------|
| Özel Oto                    | 4,2 – 5,7                    |
| Otobüs                      | 0,6 – 1,6                    |
| Metro                       | 1,3 – 1,6                    |
| Tramvay/ Hafif Raylı Sistem | 1,6 – 1,9                    |
| Banliyö                     | 1,9 – 2,3                    |

Çizelge 4.4 Kent İçi Ulaşım Sistemlerinin yolcu-km Başına Ort. Enerji Tüketimleri

| Kent içi ulaşım sistemi | Yolcu-km Başına Ort. Enerji Tüketimleri |
|-------------------------|---|
| Otomobil                | 515                                     |
| Dolmuş                  | 241                                     |
| Minibüs                 | 134                                     |
| Otobüs                  | 96                                      |
| Tramvay                 | 112                                     |
| Metro                   | 97                                      |
| Tren                    | 100                                     |

## 4.2. Talep

Burada yukarıda bahsi geçen “talep” kavramına değinelim. Ulaştırmada talep, ne kadar kişinin ya da yükün hangi zaman aralıklarında ve hangi koşullarda, nereden nereye taşınacağı ile ilgilidir. Talep kavramındaki nereden nereye sorusu rota plan ve zaman çizelgeleme problemlerindeki hangi adresten alınıp hangi adrese bırakılacağı sorusuna tekabül eder ve bu kavramlar talep yönetiminde sıklıkla geçen kavramlardır.

Talep alanını;

- Talebin yeri
- Adres-zaman ilişkisi
- Talebin yapısı
- Müşterilerin tercihleri

olmak üzere dört alanda inceleyerek yolcu akış verileri hakkında bilgi sahibi olarak ihtiyaca en uygun zaman çizelgelemesi yapılabilir. Bu kavramlara kısaca değinmek gerekirse,

**4.2.1. Talebin yeri** konusu yolcuların nereden alınıp nereye bırakılacağı yani toplama-dağıtım problemlerin alanına girer. İlk seçenek, birkaç ya da çok sayıdaki adreslerden alınan yük ve yolcuların, tek bir adrese bırakılmasıdır. İkinci seğenekse, çok sayıda toplama adresinden alınan yük ve yolcuların, birkaç dağıtım adresine bırakılması. Örnek olarak işçilerin evlerinden alınarak bir ya da birkaç iş yerine bırakılması probleminde, evler toplama adreslerine, iş yerleri ise dağıtım adreslerine karşılık gelmekte olup bu tarz problemlere “toplama problemleri” denilmektedir.

Üçüncü seçenek ise, yük veya yolcuların bir toplama adresinden alınarak, birkaç ya da çok sayıdaki dağıtım adreslerine bırakılmasıdır. Dördüncü seğenekteyse, birkaç toplama adresi ile çok sayıda dağıtım adresi söz konusudur. İşçilerin akşam saatlerinde bir ya da birkaç iş yerinden alınarak evlerine bırakılması probleminde, iş yeri toplama adreslerine, ev adresleri ise dağıtım adreslerine karşılık gelmektedir. Bu tarz problemler ise “dağıtım problemleri” olarak isimlendirilebilir.

Son olarak beşinci seğenekse, birkaç toplama adresinden alınan yük veya yolcuların, birkaç dağıtım adresine bırakılmasıdır. Bu seğenekte ise, çok sayıda toplama adresiyle çok



sayıda dağıtım adresi söz konusu olup bu türdeki problemler “toplama-dağıtım” problemleri olarak tanımlanabilir. Örnek verecek olursak, kentiçi otobüs taşımacılığında, duraklar yolcuların alındığı ve bırakıldığı yerlerdir. Çok sayıda toplama ve dağıtım noktası mevcuttur.

**4.2.2. Adres- zaman ilişkisi** ise adreslere belirli (net) zamanlarda uğranılmasıdır. Bunun için adreslere hangi zamanda uğranılması gerektiği belirlenmelidir. İlk seçenek, adreslere uğrama zamanlarının önemli olmadığını göstermektedir. Örnek olarak, yük taşımacılığı verilebilir.

İkinci seçenek ise, her bir adrese tek bir zaman diliminde uğranılması gerekir. Üçüncü seçenek ise ikinci seçeneğin çok zaman dilimli durumudur. Yük taşımacılığı ile ilgili problemlerin zaman dilimli olarak ele alınması hayli yaygın bir durumdur. Yolcu taşımacılığında zaman dilimli problemlere çoğunlukla, çağrılı taşımacılıkta görülmektedir. Müşterilerin buldukları ve gidecekleri yerleri telefonla belirttikleri bu taşımacılık sisteminde genellikle, müşterilerin alınma ve bırakılma zamanları arasındaki süre için, bir zaman diliminde verilmektedir. Zaman diliminin sınırları, müşterinin en erken alınma ve en geç bırakılma zamanları arasındaki zamanı göstermektedir. Desrochers, Lenstra, Savelsbergh’in zaman dilimli (pencereli) taşıt rotalama problemi örnek verilebilir (Bodin, ve Golden, 1981). Son seçenek ise, adreslere belirli (kesin) zamanlarda uğranılmasıdır. Genellikle şehirlerarası yolcu taşımacılığı, taşıtların hangi terminalden ne zaman kalkacağı, ne zaman nereye varacağını gösteren zaman çizelgelerine (tariflerine) bağlı olarak yapılmalıdır.

**4.2.3. Talebin yapısı** ise üç başlığa ayrılabilir; miktarsal yapı, mekânsal yapı, zamansal yapı olmak üzere. Her bir bileşen için deterministik veya stokastik seçenekleri vardır. Talebin miktarsal yapısı, ne kadar yük veya yolcu taşınacağı belirli ise deterministik, değilse stokastiktir. Çağrılı taşıma sistemlerinde, günün başında hangi zaman diliminde, nereden nereye gidileceği, ne kadar yük ya da yolcu taşınacağı belirli olmadığından bu tür sistemler stokastik yapıda oldukları söylenebilir. Şehirlerarası yolcu taşımacılığı genellikle, zamansal açıdan bakıldığında deterministiktir. Bir servis taşımacılığında, hangi noktalardan ne kadar yolcu alınacağı önceden bilindiğinden bu tür taşımacılığın, mekânsal ve miktarsal açılardan deterministik olduğu söylenebilir.

Geleceğe yönelik kararların belirlenmesi için üretilen mal veya hizmetin tahmininin doğru yapılması işletmelerin kendi geleceklerine yön vermesi açısından önemlidir. Planlamaların yapılabilmesi tahminlerin doğru yapılmasına bağlıdır. Planlamaların doğru yapılması İşletmelerin devamlılığını sağlamakta piyasada yer edinmesine ve yüksek kar payı sağlamasında önemli etkenlerdir. İşletmelerin geleceğe yönelik kararlar alırken bunları tesadüfe bırakmaması, tahmin yaparken istatistiksel yöntemler kullanması planlamaların ve kararların daha sağlıklı alınmasını sağlayacaktır (Bulut,2006).

Talep, belli bir zamanda ve yerde tüketicilerin satın alabilecekleri mal ve hizmet miktarıdır. Talebi etkileyen tüketicilerin gelir düzeyleri ve zevkleri, mal ve hizmetin fiyatı, mesafe, zaman gibi faktörlerden etkilenebilmektedir. Talep tahmini ise ürüne ve hizmete yapılan taleplerin gelecek dönemler için tahmin edilmesidir. Talep tahmini işletmeler için ürün ve hizmetin tahminlere göre belirlenmesi açısından işlevseldir. Talep tahmini gerçekleşen veriler üzerinden yapılmasına rağmen bir çok faktörün etkisindedir (Bulut,2006).

Talep tahminleri kısa, orta ve uzun vadeli tahminler olarak ayrılmaktadır. Kısa vadeli tahminler günlük ya da haftalık, orta vadeli tahminler haftalık ya da aylık, uzun vadeli tahminler aylık ya da yıllık olarak değerlendirilirler (Bulut,2006).

Talep yöntemleri yöntem açısından kalitatif ve kantitatif olarak ayrılır. Kalitatif yöntemler daha çok kişilerin tecrübelerinden yararlanılarak istatistiksel teknik kullanılmadan yapılır. Kantitatif yöntem bunun aksine istatistiksel yöntemler kullanılarak yapılan yöntemlerdir (Bulut,2006).

### 4.3.Tahmin Çeşitleri

#### 4.3.1.Aritmetik Ortalama Yöntemi

Talep tahmini açısından en basit yöntem, gelecekte olacak olanların geçmişte olanların ortalamasına doğru eğilim göstereceğini varsaymaktadır. Bu varsayıma göre geleceğin en geçerli tahmini, geçmişte olup bitenlerin tek tek toplanıp ortalamasının alınmasıdır.

#### 4.3.2. Hareketli Algılama Yöntemi

Çok sık kullanılan biri olan hareketli ortalama yöntemi, uzak geçmişten çok, yakın geçmişe ağırlık verir ve buna dayanarak, yalnızca bir dönem satış tahminini yapar. Örneğin verecek olursak, son üç ayın satış rakamlarının ortalamasına bakarak gelecek ay satış rakamlarının tahmini gibi.

$$Dt^* = \sum_{i=1}^n Dt - i$$

$Dt^*$  =t. Dönem için tahmini talep değeri (Hareketli Ortalama)

$Dt-i$  =t. Dönemden i. Dönem öncesinin gerçekleşen talep değeri

n: Hareketli Ortalamada göz önüne alınacak dönem sayısı şeklindedir.

#### 4.3.3. Ağırlıklı Ortalama Yöntemi

Gelecek dönem tahmini yapılırken dönemlere farklı ağırlık değerleri verilerek yapılır. Dönem sayısı, dönem sayıları toplamına oranlanıp dönem sayısı ile çarpılır. Bunun sonucunda bulunan değerler ile gelecek dönem tahmin edilir.

$$D^* = \frac{\sum_{i=1}^n (Wi * Di)}{\sum_{i=1}^n Wi}$$

$D^*$  = Tahmini Talep değeri (Ağırlıklı Ortalama)

$Di$  = i. Dönem için gerçekleşen talep değeri

$W_i = i$ . Dönem gerçekleşen talep değerinin tahmine etkisi (i. Dönemin ağırlık katsayısı)

$n =$  Eldeki geçmiş dönem veri sayısı

$(0 < W_i < 1 \text{ (} i=1,2,\dots,n \text{)} ; \sum_{i=1}^n W_i = 1)$

#### 4.3.4. Ağırlıklı Hareketli Ortalama Yöntemi

Ağırlıklı ve Hareketli ortalama yöntemlerinin kullanılarak gelecek dönem tahmin edilmesidir. Bu yöntemde en yakın veriye en büyük ağırlık verilir.

$$Dt^* = \sum_{i=1}^n (W_i * Dt - i)$$

$Dt^* = t$  dönem için tahmini Talep değeri (Ağırlıklı Hareketli Ortalama)

$Dt - i = t$ . Dönemden i. dönem öncesinin gerçekleşen talep değeri

$W_i = i$ . Dönem gerçekleşen talep değerinin tahmine etkisi (i. Dönemin ağırlık katsayısı)

$n =$  Eldeki geçmiş dönem veri sayısı

$(0 < W_i < 1 \text{ (} i=1,2,\dots,n \text{)} ; \sum_{i=1}^n W_i = 1)$

#### 4.3.5. Üssel Düzeltme Yöntemi

Üssel düzeltme yöntemi, hareketli ortalama tahmin yöntemindekiyle benzer amaca sahiptir. Aralarındaki farkı kısaca belirtmek gerekirse, üssel düzeltme tahmin yöntemi, tüm tarihi verileri göz önünde bulundurur. Ancak, ne kadar geçmişe gidilirse verilen ağırlık değeri o kadar azalır. Oysa, hareketli ortalama ise, eski dönemleri bütünüyle görmezden gelmekte, yalnızca hareketli ortalama dönemindeki tarihi verilere eşit ağırlık vermektedir.

Üssel düzeltme yöntemi, bir bakıma, tüm tarihi verilerin hareketli ortalaması olmaktadır. Üssel düzeltme yönteminin kullanılmasındaki temel düşünce talepte tesadüfi dalgalanmaların etkilerini gidererek genel yönelime uygun bir tahminde bulunabilmektir.

$Dt+1^* = t+1$  dönem için tahmini Talep değeri (Üssel Düzeltme Yöntemi)

$Dt = t$ . Dönemde gerçekleşen talep değeri

$Dt^* = t$ . Dönem tahmin değeri

$0 \leq \alpha \leq 1$

Hata ortalamasını değiştireceğinden  $\alpha$  katsayı oldukça önemlidir.

#### 4.3.6. Regresyon (En küçük kareler) Yöntemi

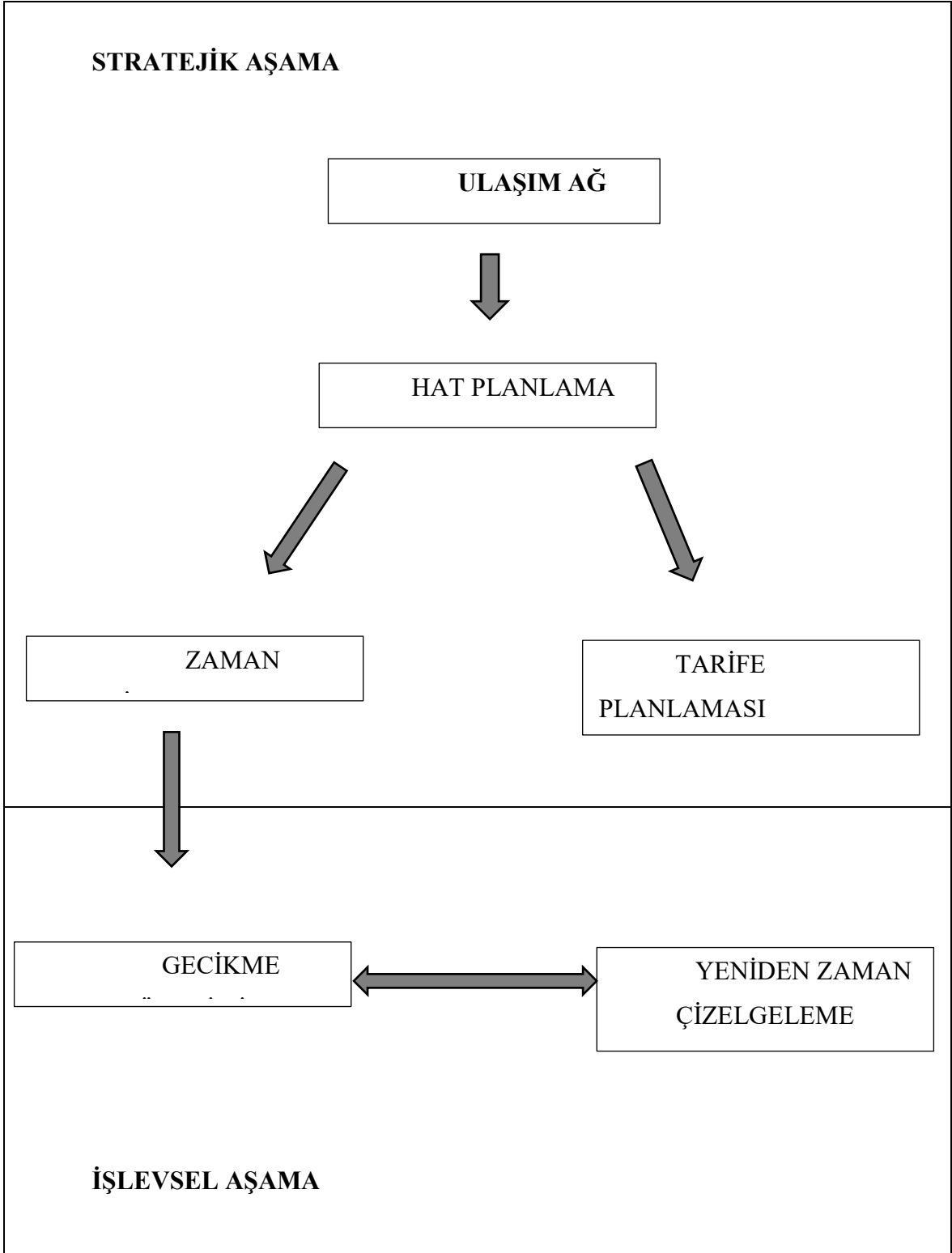
Seriye en uygun doğru veya eğrinin, geçmiş veriler için formülle uygulanmasıyla bulunacak değerler arasındaki farkların karelerinin toplamını en küçükleyen doğru veya eğridir. X bağımsız ve Y bağımlı değişkeni arasındaki doğrusal ilişki  $Y = a + bX$  denklemi ile ifade edilerek parametrelerin (a ve b) bulunmasıdır. Parametreler bulunduktan sonra bağımsız değişkenin alacağı değer yerine koyulup bağımlı değişken tahmin edilir (Tanyaş ve Baskak, 2003).

#### 4.4. Müşteri Odaklı Taşımacılık Nedir?

Toplu taşımacılık sistemi özellikle büyük şehirlerde önemli rol oynamasından rağmen, daha küçük yerleşim yerlerinde de dikkatli ve organize bir şekilde planlanmalıdır. Toplu taşıma planı yapılırken müşterilerin ihtiyaçları göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlar, ekonomik, çevresel, ve sosyal sebepler başlığı altında toplanabilir.

- İlk olarak, eğer toplu taşıma yapacak olan firma daha fazla müşteri çektiği zaman daha fazla bilet satar ve doğal olarak gelirlerini de arttırmış olur.
- Çevresel amaç, özellikle büyük şehirlerde bireysel trafiği yoğunluğunu düşürmek ve hava kirliliği, gürültü, trafik karmaşıklığı gibi negatif etkileri azaltmaktır.
- Nüfus yoğunluğunun az olduğu şehirlerde, trafik yoğunluğu sorun oluşturmaz. Buradaki sorun ise, arabayla seyahat şansı olmayan, ocuk, yaşlı ya da ehliyeti olmayan, vatandaşlar için zaman çizelgeleme ve ulaşım ağının iyi planlanmasıdır.

Bu bilgiler ışığında toplu taşımada oluşacak bazı problemlerden bahsedelim. Bunlar, durak yeri problemi, gecikme yönetimi, ve cretlendirme. Toplu taşıma sistemi, 2 seviyeden oluşur; stratejik aşama, operasyonel aşama olmak üzere.



Şekil 4.1 Ulaşım Ağ Tasarımı

Stratejik aşama, ağ taraması, hat planı, zaman çizelgeleme ve ücretlendirme planı. Operasyonel seviye ise gecikme yönetimi ve yeniden zaman çizelgeleme.

Bu kavramlardan kısaca bahsedecek olursak;

Ağ tasarımı; taşıma ağının tasarımı, otobüs ya da tren rotaları ve otobüs duraklarının yerleri gibi bilgileri içeren tasarımdır. Ağ tasarım sürecinin çıktısı; Toplu Taşıma Ağı'dır(TTA).

Genellikle, gerçek hayatta çizilen rota üzerinde iyileştirmeler yapılır. Şöyle ki;

- Mevcut otobüs ve tren ağlarındaki yeni istasyonların bulunması
- Var olan durak ya da istasyonların kapatılması
- Transit hatların açılması için alt ağların bulunması

Hat planlama, TTA 'daki yolun tanımını ilgilendiren bir servis ağı önerilmelidir, örneğin otobüs ya da tren hatlarını rotalama gibi. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda, amaç belirli kısıtlar altında bir yerden bir yere gidecek maksimum sayıda yolcuya hizmet vermektir. Değişen yolcu taleplerine uygun otobüs, şoför, araç gibi hizmetlerin sağlanmasıdır. Durak yerlerinin bu talebe göre ağ tasarımı kısmında belirlenerek yolcuların ulaşımına uygun yerlere konumlandırılmasıdır.

Diğer bir konu ise, zaman çizelgelemedir. Zaman çizelgeleme tablosunda tüm duraklarda tüm seferler için otobüsün duraktan ayrılma ve durağa varma zamanlarını gösteren tablodur. Zaman çizelgeleme iki şekilde olabilir;

Durum1: Tüm seferler aynı sefer sıklıkları ile gerçekleştirilen. Örnek: 7:00,7:15,7:30,7:45...

Durum2: Tüm seferler farklı sefer sıklıkları ile gerçekleştirilen.

Servis sıklığı, araçlar arasındaki bekleme süresine odaklanır. Bu hesaplama, zaman çizelgelemenin ve seferlerin müşteriye çekme politikasını yansıtmayı amaçlamaktadır. MOE(etkinlik ölçütü/ölçüsü), ardışık araçlar arasındaki zaman veya sefer sıklığı ,arasındaki süredir. Çizelge 4.5, otobüs transit sistemleri için LOS kriterlerini vermektedir (TCRP,1999).

Çizelge 4.5 Sefer Sıklığı

| LOS | Sefer Sıklığı (dk) | Yorum  |
|-----|--------------------|--|
| A   | <10                | Yolcuların zaman çizilgelemesine gerek yoktur.   |
| B   | 10-14              | Yolcular zaman çizilgelemeye başvurur            |
| C   | 15-20              | Eğer otobüsü kaçırdıysa, maksimum bekleme süresi |
| D   | 21-30              | Yolcular için çekici olmayan servis              |
| E   | 31-60              | Saat boyunca mevcut bir servis                   |
| F   | >60                | Tüm yolcular için çekici olmayan servis          |

Leon W.P. Peeters'a göre tren zaman çizilgeleme oluştururken çeşitli hedefler vardır. Bunlar temel olarak üç gruba ayrılabilir:

- Müşteri memnuniyeti
- İstikrarlı ve sağlam bir demiryolu sistemi oluşturma
- Maliyetleri kontrol etmek

Bu hedefler birbiriyle çelişebilir. Örnek olarak, yolcuların tümüne aktarmasız ve zamanında bir seyahat önerilirse, yolcular memnuniyeti artacaktır. Ancak böyle bir sistem, operasyonel olarak mümkün olsa bile, büyük miktarlarda maliyetlere yol açacaktır.

Peeters'a göre seyahat süresinin tanımı ise;

Müşteri memnuniyeti için önemli bir faktör toplam yolculuk süresidir. Bununla birlikte, tren hatlarının ve seyahat sürelerinin bilindiği ve verildiği varsayıldığından, yolculara en az sayıda aktarmalar ile hızlı bir seyahat fırsatı sunmak sınırlı bir özgürlüktür. Yine de, bekleme süreleri ve aktarma süreleri aracılığıyla, zaman çizilgesinde toplam yolculuk süresinde bir miktar etki eder. Aslında, amaç onları mümkün olduğu kadar tatmin etmektir. Bu nedenle, inen ve binen yolcular için yeterli bekleme süresi verildiğinden ve trenler yapılacak olan aktarmaların sağladığından emin olmalı, bu gereklilikler mümkün olduğunca zaman çizilgesine dahil edilmelidir (Peeters, 2003).



#### 4.5.Hizmet Saatleri

Servis saatleri, yoğun olmayan saatler boyunca otobüslerin kullanılabilirliğine odaklanır. Bu önlem, yolcuların sistemi yalnızca taşıt araçları veya esnek programlara sahip olmayanlar için değil, tüm ulaşım ihtiyaçları için kullanabilme kolaylığını tanımlamak için tasarlanmıştır. Servis sağlamaya hak kazanmak için, sabit bir rota veri yolu sistemi saatte en az bir kez hizmet sunmalıdır. Etkinlik ölçüsü, 24 saat boyunca tipik olarak otobüslerin mevcut olduğu toplam çalışma saatleridir. Çizelge4.6'da otobüs transit sistemi için LOS'u sağlamaktadır (TCRP, 1999).

Çizelge 4.6 Hizmet Saatleri

| LOS | Güniçi Çalışma Saatleri | Yorum  |
|-----|-------------------------|--|
| A   | 19-24                   | Gece yarısı servis hizmeti                         |
| B   | 17-18                   | Gece geç saatlere kadar servis hizmeti             |
| C   | 14-16                   | Akşamüstüne kadar servis hizmeti                   |
| D   | 12-1 3                  | Gündüz verilen hizmet                              |
| E   | 4-1 1                   | Yoğun saat hizmeti/ Sınırlı öğlen saatleri hizmeti |
| F   | 0-3                     | Çok sınırlı ya da hiç servis hizmeti yok           |

Ücretlendirme konusuna da değinecek olursak, otobüs ücretlendirme sistemini 3 şekilde yapılabilir. Bunlar;

- Mesafe tabanlı ücretlendirme: Seyahat mesafesine göre ücret alınması
- Tek tip ücretlendirme: Seyahat ücretinin sabit bir fiyat olması
- Bölge tabanlı ücretlendirme: Tüm alan bölgelere ayrılır ve fiyatlar, varış noktasından yolculuğun varış yerine kadar geçen bölgelerin sayısına bağlıdır.

Günümüzde ise kara yolu ulaşımın yaygınlaşması ve tercih edilmesi ile kentiçi ulaşımın önemli bir kısmının toplu taşıma sistemleri kullanılarak yapılmaktadır. Çeşitli alt sistemleri ve öğeleri içeren toplu taşıma sisteminin kullanılması yarar sağlamaktadır. Bunlardan bazıları sıralanacak olursa:

- Birçok insan için, özellikle gelir seviyesi düşük ve yarıya muhtaç aileler, bir yerden bir yere gitmek.

- Hükümet ve özel sektör bu alanda birlikte çalışarak toplu taşıma ağını geliştirilmeli bununla ilgili kurum ve kuruluşlara gerekli destek ve yardımı sağlamalıdır. Her kesimden insana hizmet vererek, bu yönüyle bir kamu hizmeti sunmaktadır.

- Kent içinde ekonomik bir kullanım alanı yaratmaktadır. İstihdam edilen şoför, merkezdeki kontrolör, araç bakım ve onarımıyla ilgilenen ekip vb.

- Yolların sadece otomobil taşımacılığı yapmasının önüne geçerek, esas olarak insanların taşınması amacına hizmet etmektedir.

- Yol ve şebeke açısından kapasite kullanımı özel araçlara göre düşüktür.

- Enerji tasarrufu açısından çok etkili bir sistemdir.

- Çevreye olumsuz etkileri özel otomobillere göre bir hayli azdır. Sistemin ürettiği atıklar düşük düzeyde olduğu için dengeli bir çevre oluşumuna katkı sağlar.

- Toplu taşıma sisteminde kullanılan araç sayısı, özel araçlara göre az olduğu için yedek parça ve yan sanayi açısından ülke ekonomisine katkıları büyüktür (Yaşar,2009).

Toplu taşıma sistemi çeşitli türleri bünyesinde barındırır. Bunlar Çizelge4.7'de görüldüğü gibi genelde karayolu, raylı sistemler ve denizyolu olarak üç temel grupta toplanabilir.

Çizelge 4.7 Toplu Taşıma Türleri

| Taşıma Türü          | Araç türü         |
|----------------------|-------------------|
| Karayolu Sistemleri  | Otobüs            |
|                      | Belediye Otobüsü  |
|                      | Özel Halk Otobüsü |
|                      | Servis Otobüsleri |
|                      | Minibüs           |
|                      | Hatlı Minibüsler  |
|                      | Servis Minibüsler |
|                      | Taksi             |
|                      | Dolmuş Taksi      |
|                      |                   |
| Raylı Sistemler      | Demiryolu         |
|                      | Metro             |
|                      | Hafif Metro(LTR)  |
|                      | Tramvay           |
| Denizyolu Sistemleri | Vapur             |
|                      | Deniz Otobüsü     |
|                      | Dolmuş Motoru     |
| Askılı Sistemler     | Teleferik         |
|                      | Diğer Kabinler    |

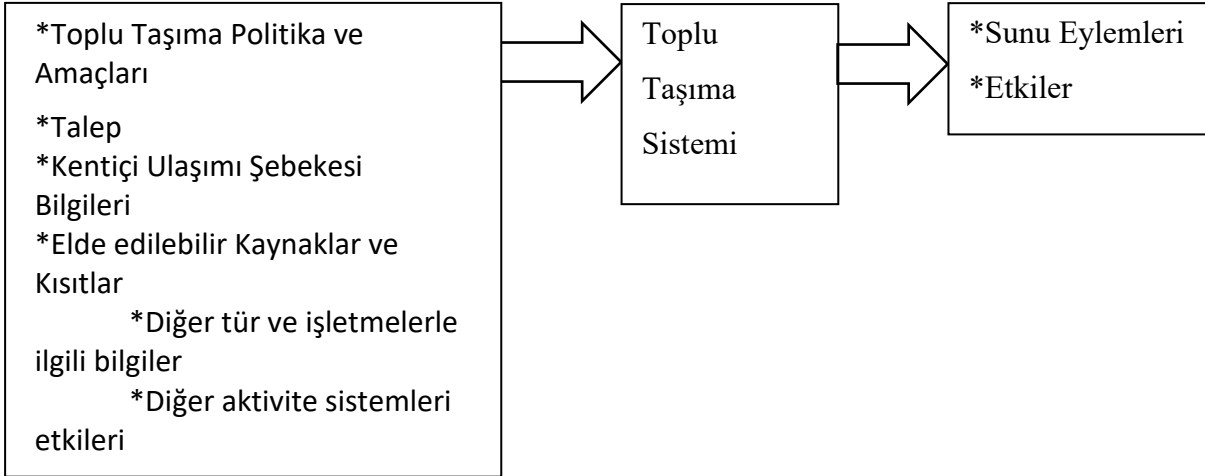
Aşağıdaki Çizelge4.8’de ise Türkiye İstatistik Kurumundan alınan kayıtlı araç sayısı bilgisi yanı sıra 2016-2017 yılları arasında trafiğe yeni kaydı yapılan araç sayısı grafik karşılaştırılması yapılabilir. Bu bilgilere bakılarak kara yolu ulaşımı için yeni yolların yapılmasının bir zorunluluk haline gelmesi yanı sıra mevcut yol bakım ve onarım işlemlerinde paralel olarak yapılması gerektiği çıkarımına varılabilir.

Çizelge 4.8 Araç Sayısı

| Araç Cinsi          | Araç Sayısı ( Ocak 2004 ) | Araç Sayısı ( Temmuz 2009 ) | Araç Sayısı (Aralık 2017 ) |
|---------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Otomobil            | 906.956                   | 1.769.398                   | 12.220.420                 |
| Minibüs             | 10.224                    | 63.488                      | 488.817                    |
| Otobüs              | 15.900                    | 52.390                      | 222.189                    |
| Kamyonet            | 165.492                   | 498.869                     | 36.439.070                 |
| Kamyon              | 24.801                    | 130.695                     | 844.320                    |
| Motosiklet          | 33.774                    | 159.383                     | 3.110.653                  |
| Özel<br>Amaçlı Taş. | 7.720                     | 6.462                       | 44.438                     |
| TOPLAM              | 1.164.867                 | 2.680.685                   | 53.369.907                 |

#### 4.6. Kentiçi Toplu Taşıma Sistemleri Girdi ve Çıktıları

Kentiçi toplu taşıma sistemlerinin daha kullanışlı bir hale getirilebilmesi için bir çok girdiye ihtiyaç vardır. Sistem belirlenen bu girdiler kullanılarak, bir takım işlemlerden geçirilerek çıktılar elde edilir. Elde edilen bu çıktılar, sunu eylemleri ve bunların etkileridir. Toplu taşıma girdi ve çıktılarının şekil olarak gösterimi aşağıdaki Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Ulaşım Ağ Tasarımı

Sistemin girdileri şu şekilde sıralanabilir:

- Toplu taşıma politika ve amaçları
- Talep
- Kentiçi ulaşım şebekesi bilgileri
- Elde edilebilir kaynaklar ve kısıtlar
- Diğer tür ve işletmelerle ilgili bilgiler
- Diğer aktivite sistemleri etkileri

#### 4.7. Zaman Çizelgeleme Sürecine Giriş

Toplu taşıma sistemlerinin tanımında ve teknik analizlerinde kullanılan belli başı terimler bulunmaktadır. Bu terimlerden bazıları aşağıda verilmiştir.

- Zaman Çizelgesi (Timetable): Bir rota boyunca belirli noktalardaki seyahat süresini gösteren dokümanlar. Bazen bu dokümanlar, güzergâh planı, ilk-son durak kalkış bilgileri, hatta çalışan otobüs numaraları gibi bilgileri de içerebilir.
- Rota (Route): Bir ya da daha fazla sokak boyunca uzanan üzerinde duraklardan oluşan ve önceden belirlenmiş iki nokta arasında tasarlanan güzergâh.
- Yolcu Servis Süresi (Passenger Service Time): Bir yolcunun toplu ulaşım aracına binme veya inme süresidir. Saniye birimi ile ifade edilir.

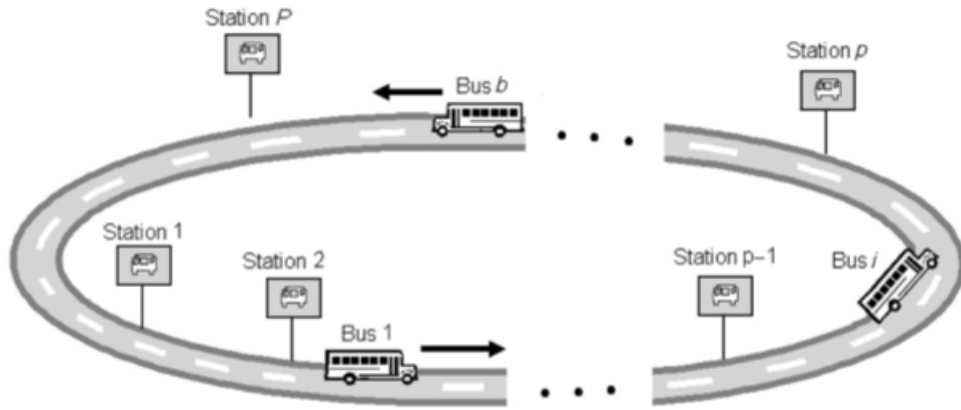
- Durma – Kalkma Süresi (Dwell Time): Toplu ulaşım taşıtlarında yolcuların inme ve binme işlemleri için harcadığı toplam süredir. Saniye birimi ile ifade edilir.
- Kalkış zamanı (Departure time): Otobüsün ana terminalden ayrılma zamanı, bu saat zaman çizelgesi üzerinde belirtilmiştir.
- Çalışma Süresi (Journey Time): Rota üzerinde belirli iki nokta arasında ya da rota boyunca aracın seyahati için geçen süre.
- Sefer Sıklığı (Headway): Aynı istikamette aynı yönde çalışan iki aracın belirli bir noktadan hareket saatleri arasındaki zaman olarak tanımlanır. Genellikle dakika cinsinden ifade edilir. Zaman çizelgesi ifadesinin tam tersidir. Örneğin, sefer sıklığı 10 dakika olarak ifade edilirse, zaman çizelge tablosunda her on dakikada bir otobüsün hareketi veya bir saatte altı otobüs.
- Boşluk Süresi (Clearance Time): Durakta kalkan otobüs ile ardı sıra gelen otobüs arasında geçen süreyi ifade eder. Birimi olarak saniye alınmakla birlikte bu süre 15 saniyeden daha az olamaz.
- Yolcu Yoğunluğu (Passenger Load): Bir ya da daha fazla araçla rota üzerinde herhangi bir noktaya yolcuların taşınmasıdır.
- Sıkışıklık – Yoğunluk Kapasitesi (Crush Capacity): Bir toplu ulaşım aracının taşıyabileceği en fazla yolcu sayısıdır. Buna F hizmet seviyesi de denmektedir. Sadece günün en yoğun olduğu zirve saatlerde olması beklenen bir durumdur.
- Oturma Kapasitesi (Seat Capacity): Toplu taşıma aracındaki, koltuk sayısını ifade etmektedir.
- Ayakta Durma Kapasitesi (Standees): Toplu taşıma aracında, ayakta yolculuk edebilecek yolcu sayısıdır.
- Yolcu Kapasitesi (Person Capacity): Oturma ve ayakta durma kapasitelerinin toplamına eşittir.
- Doluluk Oranı (Occupancy Rate): Bir toplu taşıtımda belirli bir zaman ya da belirli bir kapasite aralığı ile belirtilen ortalama yolcu sayısıdır. Örneğin, bir otobüs için ortalama 35 yolcu/sefer gibi.
- Yükleme Faktörü (Load Factor): Toplam yolcu sayısının koltuk sayısına oranlanması ile bulunur.

- Yemek Arası (Molası): Şoföre çalışma saati ataması yapılırken yemek molası süreside verilmelidir. Bu zaman seçilirken şoförün seferi bitirdiği zamana denk getirilmelidir, örnek olarak bu süre en az 30 dakika olarak belirlenmelidir.
- Mola Zamanı (Süresi): Şoför her seferin sonunda kısa bir mola vermelidir. Mola süresi yaklaşık olarak seyahat süresinin %10'u olarak kabul edilir.
- Zayi Sefer (Kayıp Sefer): Gecikme, arıza gibi nedenlerle ötürü seferin tamamlanabilmesi için yeterli zaman kalmaması ya da seferi yapacak başka bir arabanın olmaması durumunda yapılamayan seferleri tanımlamak için kullanılan bir ifadedir.
- Ring Hat: Otobüslerin başlangıç terminalinden kalktıktan sonra, son durakta bekleme yapmaksızın transit geçerek, başka bir güzargahı kullanarak başlangıç hattına geri dönesidir.

## 5. MATERİYAL VE YÖNTEM

### 5.1. Melez Öngörülü Sistem

Bir otobüs sistemi ile ilişkili gerçek zamanlı işlemlerin optimizasyonu, HPC yaklaşımı altında formüle edilir. HPC tasarımı için, hem amaç fonksiyon hem de öngörü modeli gereklidir. Problemin çözümünde kolaylık sağlayıp, sadelik ve anlaşılabilirlik açısından tek bir güzergâh üzerindeki tek bir hat üzerinde işlem yapılmıştır. Örnek bir otobüs hat güzergâhı;



Şekil 5.1 Otobüs Hat Güzergâhı

Otobüs ağı, bir kontrolörün yönlendirmesi altında  $b$  tane otobüsün çember üzerine eşit mesafede yerleştirilmiş duraklardan oluşan tek yönlü döngüsünden oluşur. Yolcular duraklara belirli bir zaman aralığında ve bir oranla ulaşırlar. Bu oranı ise negatif üstel bir dağıtım izlenerek belirlenir ve yolcuların binış yaptığı istasyonlar rastgele seçilmektedir. Her yolcunun otobüse binmek için durağa kadar harcadığı zaman ve otobüsten indikten sonra hedef noktasına gitmek için harcadığı zaman dahil edilmeden yolcunun durakta ve otobüsün içerisinde harcadığı zaman yolculuk süresi olarak belirlenir. Geçmiş verilerden yararlanarak, her modelleme dönemi için temsili bir duraktan durağa talep matrisi elde edilir. Bu sistemin gerçek zamanlı modeline öngörü özelliği eklemek hayati öneme sahiptir. Gerçek zamanlı(çevrim içi) alınan talep verileri, bu öngörme özelliğini iyileştirmek için çevrimdışı verilerin tamamlayıcı olarak kullanılabilir.



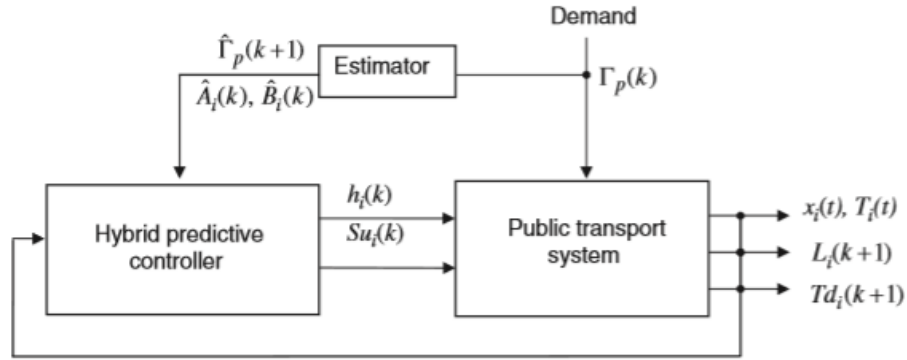
Yaklaşımımızda, sürekli (otobüs pozisyonu ve hızı) değişkenlerinin yanı sıra ayrık zamanlı (otobüslerdeki yolcu sayısı) değişkenlerden oluşmaktadır. Bu nedenle, her iki değişken türünü de dikkate alarak kontrol eylemlerinin optimizasyonunun yapılabildiği bir HPC yaklaşımı kullanmaya karar verdik (Bemporad ve Morari 1999). Problem, olayların belirli eylemlerle tetiklendiği bir hibrit sistem olarak formüle edilir. Geleneksel HPC formülasyonunu aksine, burada kontrol eylemlerinin gerçekleştirilmesi gereken, ilgili sistem olaylarına dayanır. Olayların tetiklenmesi bir otobüsün bir otobüs durağına ulaştığında değişken bir zaman adımını belirlediğinde gerçekleşir. Bundan sonra,  $t$ 'yi sürekli zaman olarak, olay olarak  $k$ 'yi ve olayın meydana geldiği sürekli zaman olarak  $t_k$ 'yi gösteririz. Bir  $k$  olayı her zaman belirli bir  $i$  otobüsünün belirli bir otobüs  $p$  durağına varması ile ilişkili olduğudur.

Bu özel HPC yaklaşımının önemli bir özelliği, tipik HPC şemalarından farklı olarak, bu spesifik dinamik modelleme çerçevesinin iki boyutlu olmasıdır: mekansal ve zamansal. Otobüs sisteminin kapalı döngüsünü ve temel değişkenlere göre sürekli ve ayrık zamanın fonksiyonlarına karşılık gelen temel değişkenleri göstermektedir. Bir  $k$  olayı meydana geldiğinde, hibrid prediktif kontrolör kontrol eylemleri üretir ve daha sonra çıkışlar elde edilir. Bir olay tetiklendiğinde (örneğin belirli bir  $i$  otobüsü bir otobüs durağına ulaştığında bütün araçların konumu), bazı sistem özelliklerinin takip edilmesi için, otobüsün konumu ve hız gibi sürekli zaman içinde tanımlanan değişkenler gereklidir.

Filoya ait olduğum her otobüs için, herhangi bir sürekli andaki konumu,  $x_i(t)$ ,  $i$  otobüsünün bir sonraki durağa ulaşmak için otobüsün kalan süresi,  $T_i(t)$ , olaylar tetiklendiğinde otobüslerin durumlarını kontrol etmek için tanımlanmıştır.  $t=t_k$  anında otobüsün konumu  $x_i(t)$  ile örtüştüğü zaman, herhangi bir  $p$  durağındaki  $i$  otobüsü tarafından yeni bir  $k$  olay tetiklenir.

Bu sebepten dolayı, durağa ulaştığında  $i$  otobüsü için kalan süre sıfır olur. ( $T_i(t_k)=0$ ). Ayarlanmış değişkenler; durakta bekleme  $h_i(k)$  ve durağı pas geçme  $Su_i(k)$  eylemleri,  $k$  olayı ve  $i$  otobüsü ile ilişkilidir. Bu nedenle,  $i$  otobüsü durakta durması  $k$  olayı ile ilişkili olup,  $Su_i(k)$  buna göre ikili değişken değerden birini almaktadır. Eğer yolcuların durakta  $i$  otobüsüne binişine izin veriliyorsa 1, verilmiyorsa 0'dır.  $i$  otobüsü için  $k$  olayı tetiklendiğinde, bulunduğu duraktan ayrılacağı zaman, ayrık zamanlı yolcu yüküne,  $L_i(k+1)$ ,

ve ayrılma(duraktan kalkış) zamanına,  $Td_i(k+1)$ , göre değişken çıktıları elde edilir. Şekil 5.2 de,  $\Gamma_p(k)$  değişkeni, p durağında otobüsü bekleyen yolcu sayısını temsil eder ve sistem bozunumuna karşılık gelir. Bir başka ifadeyle sistem gürültüsüdür. Talep tahmincisi tarafından değişkenler,  $A'_i(k)$ ,  $B'_i(k)$  ve  $\Gamma'_i(k+1)$  değerleri dinamik modelde belirsiz ve tahmin edilen değerlerdir.  $\Gamma'_i(k+1)$  p durağından ayrılırken tahmin edilen yolcu sayısıdır.  $B'_i(k)$  ise k olayı gerçekleştiğinde i otobüsüne binmesi beklenen yolcu sayısıdır.  $A'_i(k)$  ise k olayı gerçekleştiğinde i otobüsünden ineceği tahmin edilen yolcu sayısını temsil eder.



Şekil 5.2 Toplu Taşıma Sistemi için bir HPC

Dinamik modelin bu girdilerine göre, kontrol eylem değişkenleri ve analitik tanımları şu şekildedir;

- $Su_i(k)$ : i otobüsüne yolcu biniş eylemi, (anlık k tanımlamasıyla ilişkili olarak)

$$Su_i(k) = \begin{cases} 1 & \text{if } \Theta(i, k) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Eğer hem yolcuların i otobüsüne binişine izin varsa hem de k olayında yolcular otobüse binmek için hedef duraklarına varmışlarsa  $Su_i(k)$  değeri 1 olur.

- $h_i(k)$ : anlık k olayında i otobüsünün durma eylemidir.  $h_i(k) = n_i \tau$ ,  $n_i \in Z^+$ ,  $\tau > 0$ .

Bu ifadeler, durma sürelerinin sabit bir adımın katları olduğu anlamına gelir. Bu varsayım, hem formülasyonu hem de çözüm algoritmasının uygulanmasını kolaylaştırmak için uygulanır.  $\tau = 30$  saniye seçilirken  $n_i$  ise doğal sayılar kümesinin elemanlarından biridir. Bu bekleme süresinin seçilmesinin, operasyonel olarak, ilk nedeni otobüs şoförlerinin merkezdeki kontrolörün talimatlarını takip etmesini kolaylaştırmaktır. Dahası, esas olarak gerçek sürüş koşullarından (beklenmedik trafik, sürücünün çalışmaya başlaması için

esneklik, merkezi ile iletişim, vb.) dolayı oluşabilecek kısıtlardan dolayı  $\tau$  değerinin 30 saniyeden az olması pratik değildir.

Öngörülü model, yukarıda bahsedilen ana değişkenlerin dinamik davranışlarını kontrol eylemlerinin bir fonksiyonu olarak tanımlar.

İlk olarak anlık konum bilgisi,  $x_i(t_k)$ , anlık hızın bir fonksiyonu olarak tanımlanır ve kontrol eylemleri uygulanır. Matematiksel olarak ifadesi ise;

$$x_i(t) = x_i(t_k) + \int_{t_k}^t v_i(v) dv$$

Bu çalışmadaki amaç fonksiyonumuz araç içi toplam maliyet ve bekleme süresini minimize etmektir. Bu problemin çözümünde genetik algoritmadan yararlanılmıştır.

Tek hat otobüs güzergâhı üzerinde yapılan bir örnek inceleyecek olursak, ilk olarak belirlememiz gereken bazı koşullar vardır. Matematiksel işlemleri kolaylaştırmak için yapılan bazı basitleştirmeler vardır. Bunlar;

İki durak arasında otobüsün ortalama hızının hesaplanması

Operasyon parametreleri (örneğin, hız, ivme vb.)

Kapasite sınırlamasının olmaması, yani durağa ulaşan tüm yolcuların bir sonraki araç ile taşınması

Herhangi bir aracın kullanılmasında miktarsal bir kısıtlama yoktur.

Basit Modelin oluşturulması;

N duraklı bir güzergâh otobüslerle oluşturulmuş ağda daha önce bahsedilen varsayımları da göz önüne alarak kullanılacak sabitler aşağıda verilmiştir.

İ: güzergâh üzerindeki durak sayısı,  $i=1,2,3, \dots, N-1$ ;

k: k. Sefer,  $k=1,2, \dots$  ;

$S_d$ : yavaşlama mesafesi;

$S_a$ : hızlanma mesafesi;

$S_i$  : i durağı ile  $i+1$  durağı arasındaki mesafe;

a: her yolcun için ortalama inme süresi;

b: her yolcu için ortalama binme süresi;

v: otobüsün ortalama hızı;

$T_i^d$ : i durağına yaklaşırken yavaşlama süresi;

- $T_i^a$ : i durağında ayrılırken hızlanma süresi;  
 $T_i^{i+1}$ : i durağında i+1 durağına seyahat süresi;  
 $T_i^{k,s}$ : k. seferde i durağında bekleme süresi;  
 $T_{i,k}$ : k. seferde i durağında i+1 durağına seyahat süresi;  
 $B_{i,k}$ : k. seferde i durağında binen yolcu sayısı;  
 $A_{i,k}$ : k. seferde i durağında inen yolcu sayısı;  
 $P_{i,k}$ : k. seferde i durağında i+1 durağına giderken aracın içerisindeki yolcu sayısı;  
 $W_{i,k}$ : k. seferde i durağında ortalama bekleme süresi;  
 $Cap_b$ : otobüsün toplam koltuk sayısı;  
 $\delta$ : bir araçtaki yoğunluk eşik değeri;  
 $\Delta t_{max}$ : maksimum zaman çizelgesi aralığı;  
 $\Delta t_{min}$ : minimum zaman çizelgesi aralığı;  
 $c_1$ : araç içi birim zaman değeri,  
 $c_2$ : bekleme birim zaman değeri;  
 $c_3$ : personel birim maliyeti,  
 $c_4$ : otobüsler için işletme birim maliyeti;

Konum-zaman grafiğinin türevi hızı, hız-zaman grafiğinin türevi ise ivmeyi verir. Benzer şekilde ivme-zaman grafiğinin integrali hızı, hız-zaman grafiğinin integrali ise yer değiştirmeyi verir. Bu bilgiden yola çıkarak eğer otobüs düzgün hızlanan hareket ya da düzgün yavaşlayan hareket yapıyorsa hızlanma ya da yavaşlama süreleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$T_i^a = (2 * S_a) / v \quad (5.1)$$

$$T_i^d = (2 * S_d) / v$$

Her durakta bekleme süresi o durakta inen ve binene yolcularla ilgilidir. Bekleme süresi denklem 2'deki gibi hesaplanır.

$$T_i^{k,s} = \max \{ aA_{i,k}; bB_{i,k} \} \quad (5.2)$$

$$T_i^{i+1} = (S_i - S_a - S_d) / v$$

İnen ve binen yolcu sayısının, otobüse inme ve binme süreleri ile çarpımı sonucu elde edilen değerlerden büyük olanı alınarak otobüsün durakta bekleme süresi hesaplanır. Araç içi geçen süreyi hesaplarırken ise, hızlanma ve yavaşlama zamanlarındaki sürelerinde dâhil edilmesi gerekmektedir.

$$T_{i,k} = T_i^{k,s} + T_i^a + T_i^{i+1} + T_i^d \quad (5.3)$$

Otobüs i durağından ayrılırken otobüs içerisindeki yolcu sayısı hesaplanırken, otobüs i durağına yaklaşırken otobüsteki yolcu sayılarına inen ve binen yolcu sayıları çıkarılır ya da eklenir.

$$P_{i,k} = P_{i-1} + B_{i,k} - A_{i,k}$$

$$Vk = c1 \sum_{i=1}^{N-1} P_{i,k} * T_{i,k}$$

Bekleme süresi maliyet hesapları;

Otobüsün varış zamanına bakılmaksızın yolcuların, durağa rastgele bir şekilde vardığı varsayılmaktadır. Her yolcu için rastgele varış zamanları atanıyor. Sonuç olarak, toplam bekleme zaman maliyeti ( $F_k$  k. sefer için) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Fk = c2 \sum_{i=1}^N B_{i,k} * W_{i,k}$$

İşletme Maliyeti

Seferde kullanılacak otobüse göre;

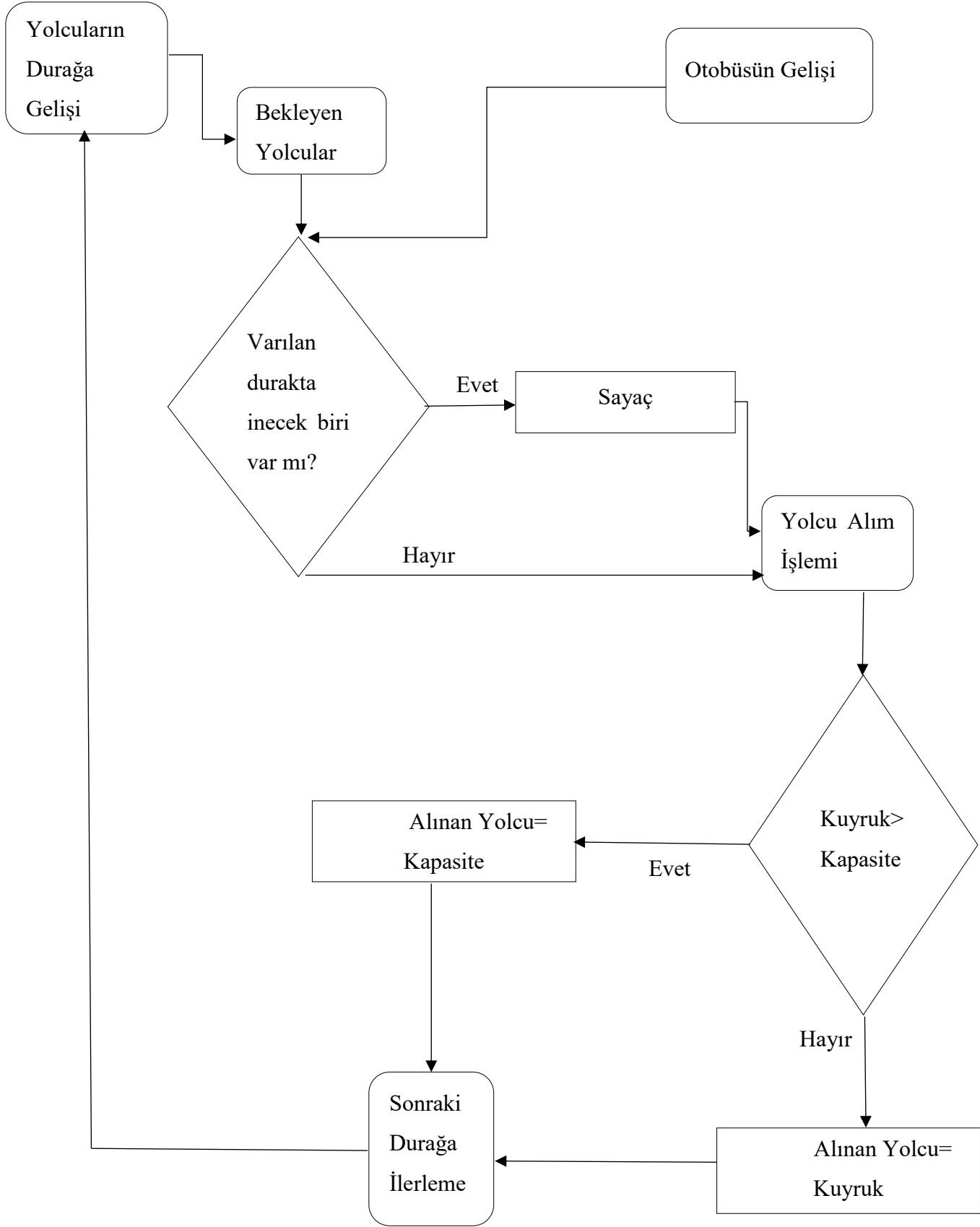
İşletme maliyeti, zaman maliyeti, personel maliyeti ve alan maliyetleri, yakıt ve bakım maliyetleri de işletme maliyetine dahildir. Çalışma süresinin hesapla sonuçları, hesaplanması aşağıdaki gibidir.

$$O_k^b = c3 \sum_{i=1}^{N-1} T_{i,k} + c4 \sum_{i=1}^{N-1} S_i$$

Aşağıdaki Tabloda atanan parametre değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 Kullanılan Değişkenlere Atanan Değerler

| Çalışmada kullanılan parametre değerleri |        |                |
|--|--------|----------------|
| Paramete                                 | Değeri | Birimi         |
| $S_d$                                    | 50     | m              |
| $S_a$                                    | 50     | m              |
| a  | 2      | s              |
| b  | 2      | s              |
| v  | 20     | km/saat        |
| cap <sub>b</sub>                         | 29     | koltuk         |
| $\delta$                                 | 3      |                |
| $\Delta t_{min}$                         | 6      | dakika         |
| $\Delta t_{max}$                         | 20     | dakika         |
| c <sub>1</sub>                           | 12     | TL/s           |
| c <sub>2</sub>                           | 12     | TL/s           |
| c <sub>3</sub>                           | 30     | TL/(araç*saat) |
| c <sub>4</sub>                           | 15     | TL/(araç*km)   |



Şekil 5.3 Otobüs Sisteminin Akış Diyagramı

## 5.2. Melez Öngörülü Kontrol için Genetik Algoritma Tabanı

Belirlenen amaç fonksiyonun çözümü karmaşık-tamsayılı doğrusal olmayan problemlerin çözümünün üstesinden gelebildiği için kullanılmıştır. Diğer bir avantajı ise, amaç fonksiyonun gradientinin hesaplanmasına gerek kalmadığı için işlem yükünün azalmasıdır. Genetik algoritma, HPC'nin çözümünde alt bir çözüm olarak sağlayarak optimal değere yakın sonuçlar verir.

Çizelge 5.2 32 kentte otomobil ve toplu taşımacılık kullanımı ile ilgili sonuçlar (Newman,1996).

|                                 | Asya  | Avrupa Kent | Avustralya | ABD   |
|---------------------------------|-------|-------------|------------|-------|
| Araba sayısı / 1000 kişi        | 88    | 328         | 453        | 533   |
| Arabanın km'si /kişi            | 1.067 | 3.485       | 5.794      | 8.715 |
| Yolculukta halk ulaşımı (%)     | 64    | 25          | 8          | 4     |
| Yürüme ve bisiklet (%)          | 25    | 21          | 5          | 5     |
| Toplu Taşıma (%)                | 103   | 73          | 56         | 30    |
| Nüfus Yoğunluğu (kişi / hektar) | 160   | 54          | 14         | 14    |

Kentlerde toplu taşımada zaman çizelgesi gerekliliğinin önemi rakamlarla gösterilmiş olup yapılacak çizelgelemenin uygulanabilirliği kullanılan algoritma ve yaklaşımlar sonucu nasıl bir zaman çizelgesi olacağı ortaya çıkar. Genetik algoritmanın MATLAB de hazır araç kutuları var olduğu gibi bu algoritmanın oluşturulup ya da gerekli noktaların değiştirilerek ihtiyaca uygun hal getirilerek problemde kullanılması hayati öneme sahip konudur. Çünkü genetik algoritma girdi ve değikleri çerçevesinde globalde en iyi sonucu bulmaya yönelik bir yöntem olduğundan dolayı kullanılan parametlerin değiştirilmesi program çıktılarını değiştireceğinden dikkat edilmesi gereken bir konudur.

Genetik algoritma için mutasyon ve çaprazlama olasılıklarının etkilerine bakacak olursak şu şekilde sıralayabiliriz;

- Çaprazlama olasılığı sabit tutulup mutasyon olasılığının değişken tutulması
- Çaprazlama olasılığının ve mutasyon olasılığının sabit tutulması,
- Çaprazlama olasılığının ve mutasyon olasılığının belirli bir kurala göre

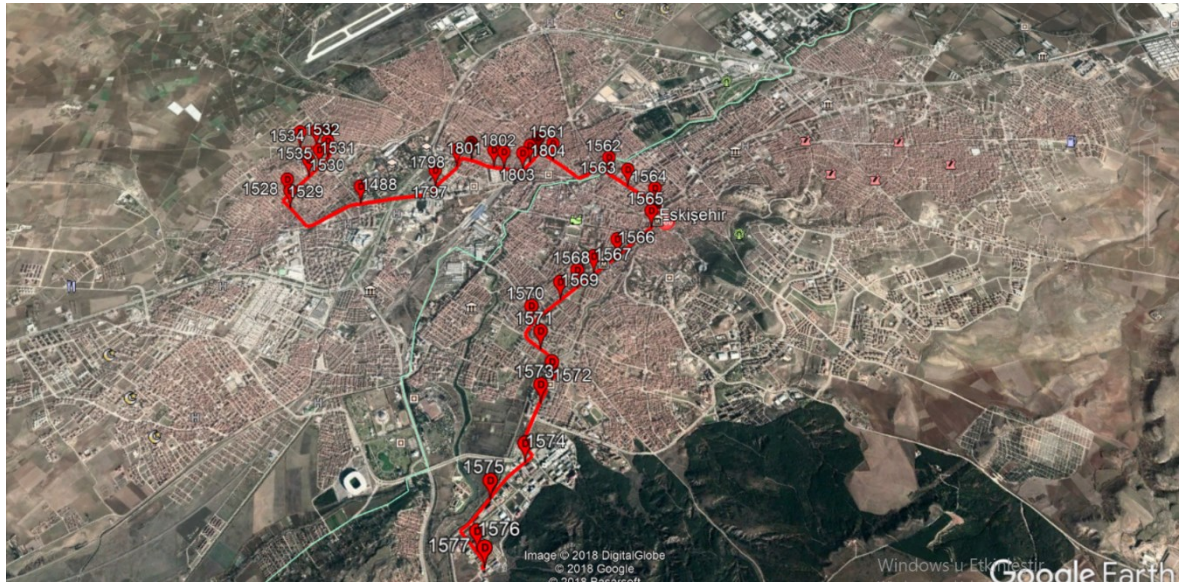
değişken tutulması gibi.



Verilen bir problem daha basit bir şekilde çözülmek istenirse çaprazlama ve mutasyon olasılıkları sabit tutulur. Diğer iki durumda ise çaprazlama ve mutasyon toplumun uygunluk değerlerine bağlı olarak değişti.

## 6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Estram İşletmesinden alınan 19 numaralı otobüsün güzargahı üzerinde 34 adet durak bulunmaktadır. Bu duraklar Büyükşehir Belediyesi Ulaştırma Daire başkanlığı çalışanları tarafından yapılan çalışma sonucu hat üzerindeki durakların noktasal olarak işaretlenmiş ve Google Earth programı çalıştırılarak aşağıdaki görüntü alınmıştır.



Şekil 6.1 Google Earth Ekran Görüntüsü

Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Estram İşletmesinden 19 numaralı otobüsün 15.01.2018-21.01.2018 dönemine ait alınan otobüs kart basım verilerine ulaşılmıştır. İlk biniş ve aktarma olarak ayrılan bu verilerin sabah saat 8 ile 9 arasındaki kart basım verileri incelenerek bu saatler arasındaki sefer sıklığı ile çalıştırılan program sonucu elde edilen çıktılar karşılaştırılacaktır.

Alınan ilk biniş yolcu verileri;

Çizelge 6.1 Kullanılan Değişkenlere Atanan Değerler

| Pazartesi | Salı | Çarşamba | Perşembe | Cuma | Cumartesi | Pazar |
|-----------|------|----------|----------|------|-----------|-------|
| 11        | 16   | 34       | 13       | 14   | 8         | 14    |
| 25        | 10   | 29       | 11       | 11   | 2         | 11    |
| 68        | 33   | 62       | 36       | 52   | 34        | 43    |
| 27        | 26   | 34       | 22       | 35   | 8         | 5     |
| 33        | 23   | 13       | 34       | 32   | 14        | 15    |
| 34        | 45   | 45       | 29       | 37   | 24        | 2     |
| 73        | 63   | 48       | 49       | 53   | 20        | 0     |
| 58        | 42   | 22       | 28       | 30   | 28        | 0     |

Aktarma yolcu verileri;

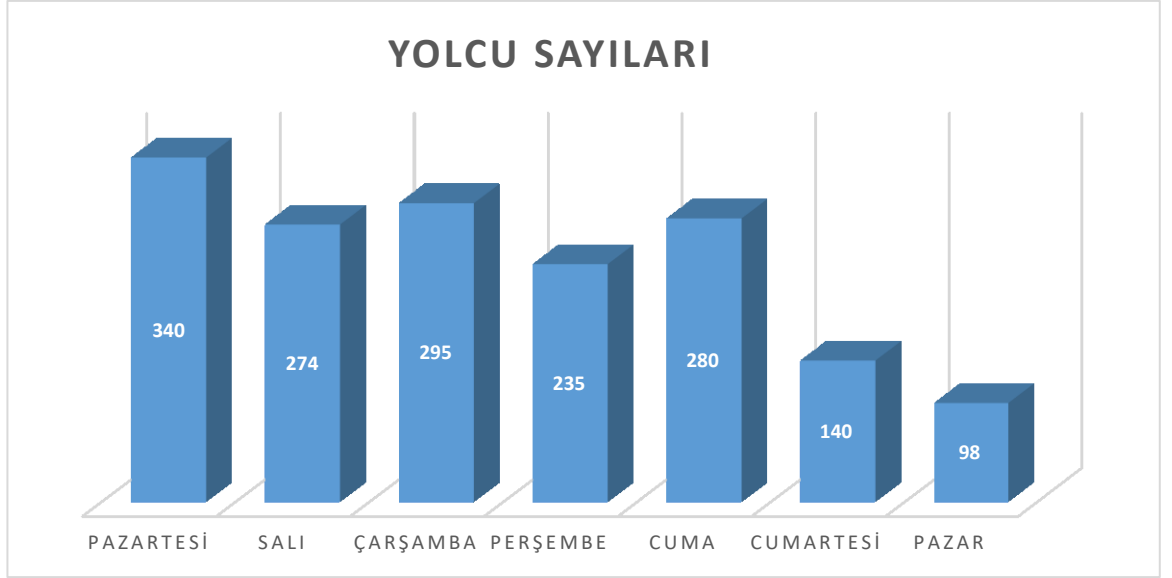
Çizelge 6.2 Kullanılan Değişkenlere Atanan Değerler

| Pazartesi | Salı | Çarşamba | Perşembe | Cuma | Cumartesi | Pazar |
|-----------|------|----------|----------|------|-----------|-------|
| 2         | 2    | 1        | 4        | 3    | 0         | 2     |
| 0         | 2    | 0        | 2        | 4    | 0         | 0     |
| 2         | 3    | 0        | 1        | 1    | 1         | 1     |
| 0         | 1    | 1        | 2        | 1    | 1         | 3     |
| 3         | 1    | 2        | 1        | 7    | 0         | 1     |
| 1         | 3    | 1        | 0        | 0    | 0         | 0     |
| 3         | 2    | 1        | 2        | 0    | 0         | 1     |
| 0         | 2    | 2        | 1        | 0    | 0         | 0     |

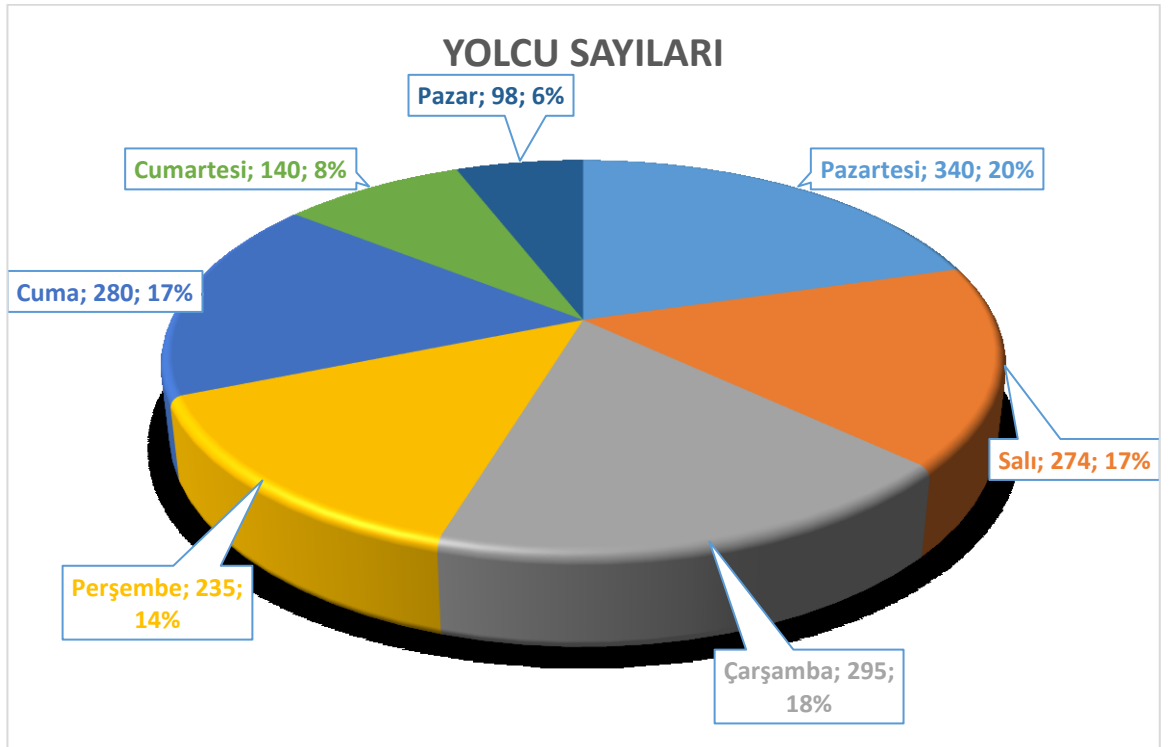
Toplam;

Çizelge 6.3 Kullanılan Değişkenlere Atanan Değerler

| Pazartesi | Salı | Çarşamba | Perşembe | Cuma | Cumartesi | Pazar |
|-----------|------|----------|----------|------|-----------|-------|
| 340       | 274  | 295      | 235      | 280  | 140       | 98    |



Şekil 6.2 Yolcu Sayıları Sütun Grafiği

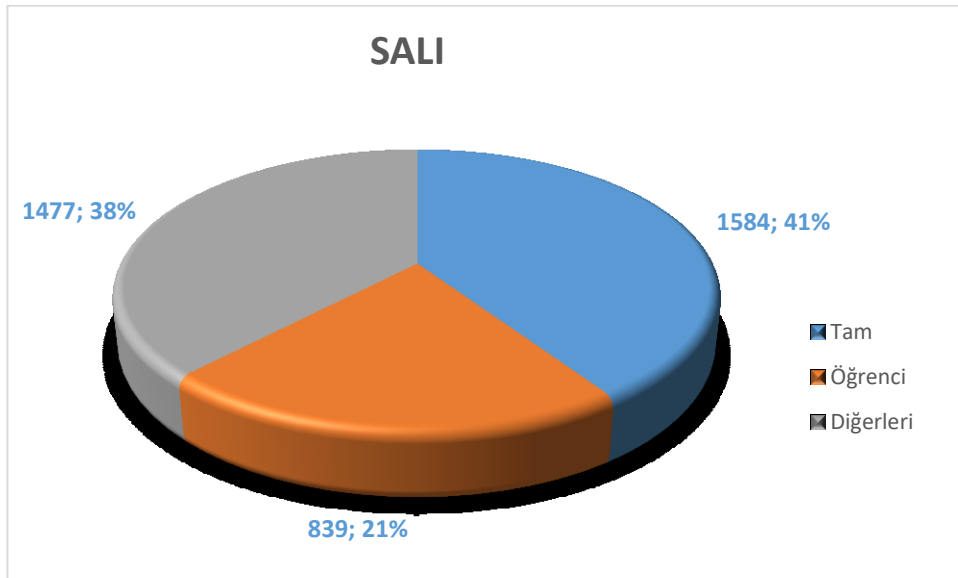


Şekil 6.3 Yolcu Sayıları Pasta Grafiği

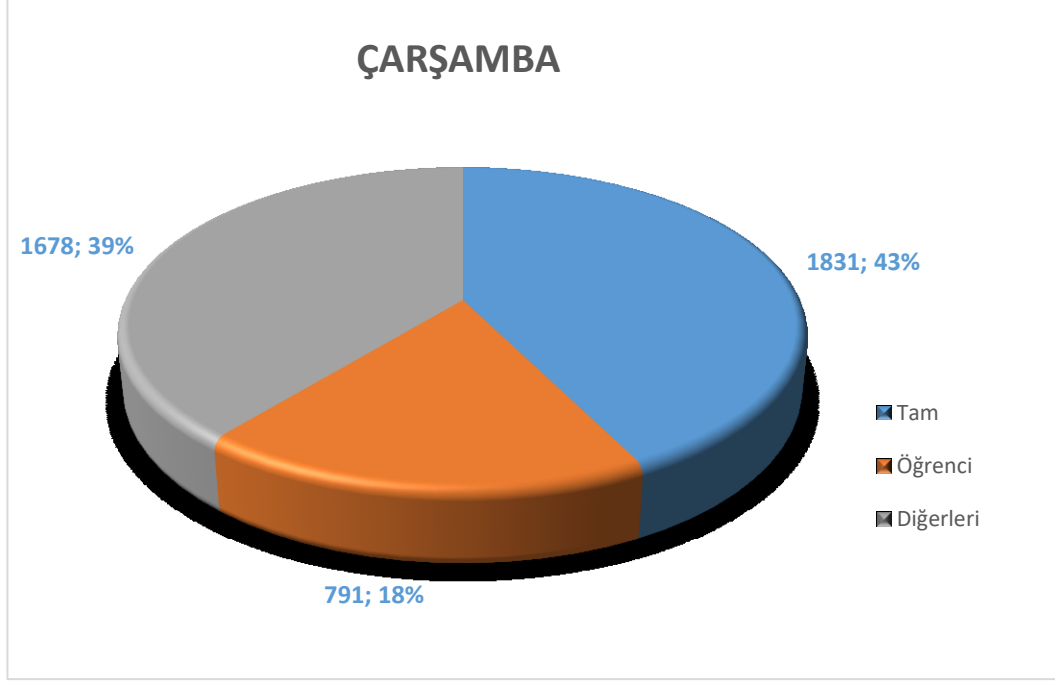
Yolcu sayıları grafiğinden de görüleceği üzere en yoğun gün Pazartesi en az yoğun günün ise Pazar olduğu görülmektedir. Bunun birçok sebebi olabilir fakat en önemlisi Pazartesi günün iş başı günü Pazar günün ise tatil olması etkilidir.



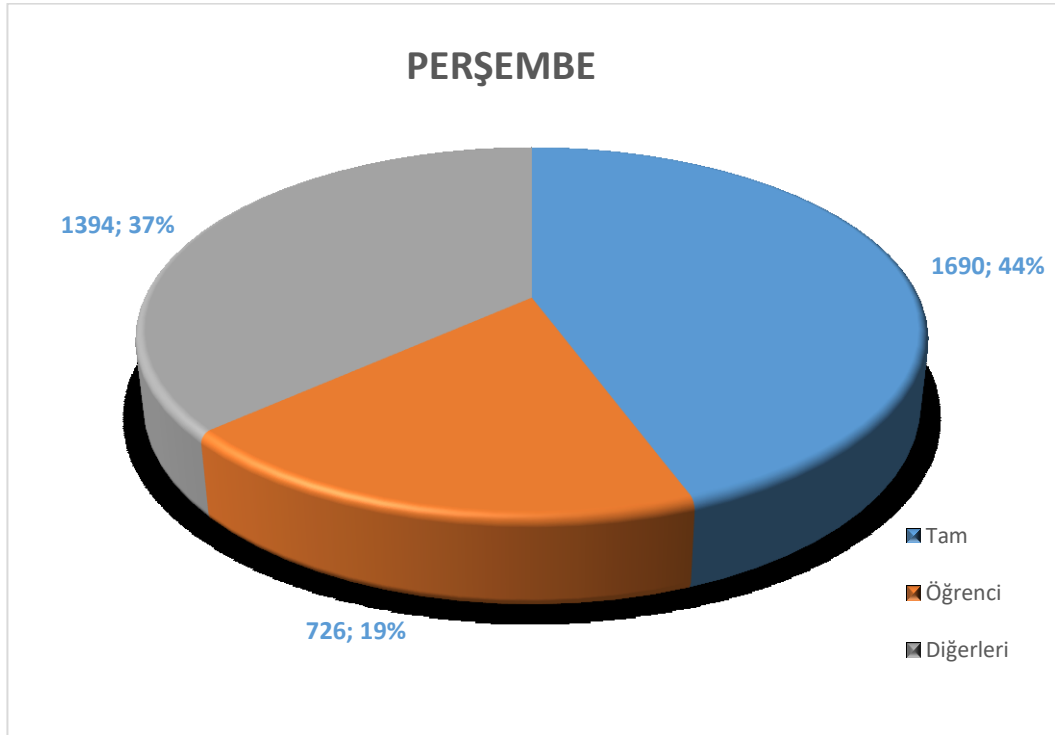
Şekil 6.4 Pazartesi Günü Pasta Grafiği



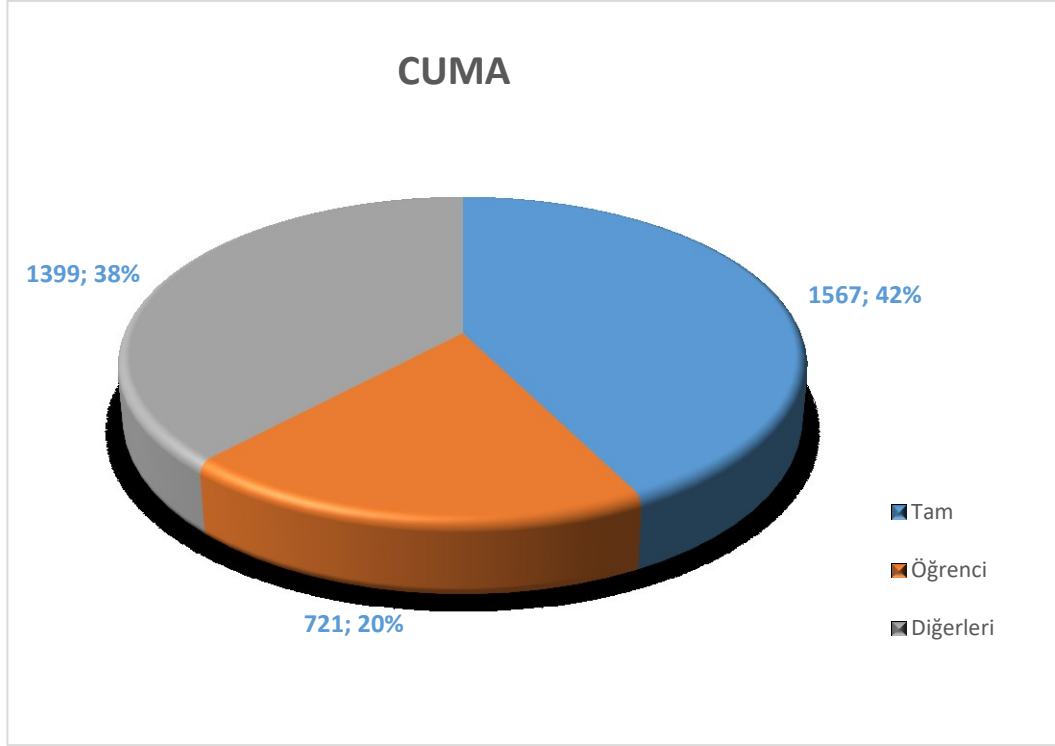
Şekil 6.5 Salı Günü Pasta Grafiği



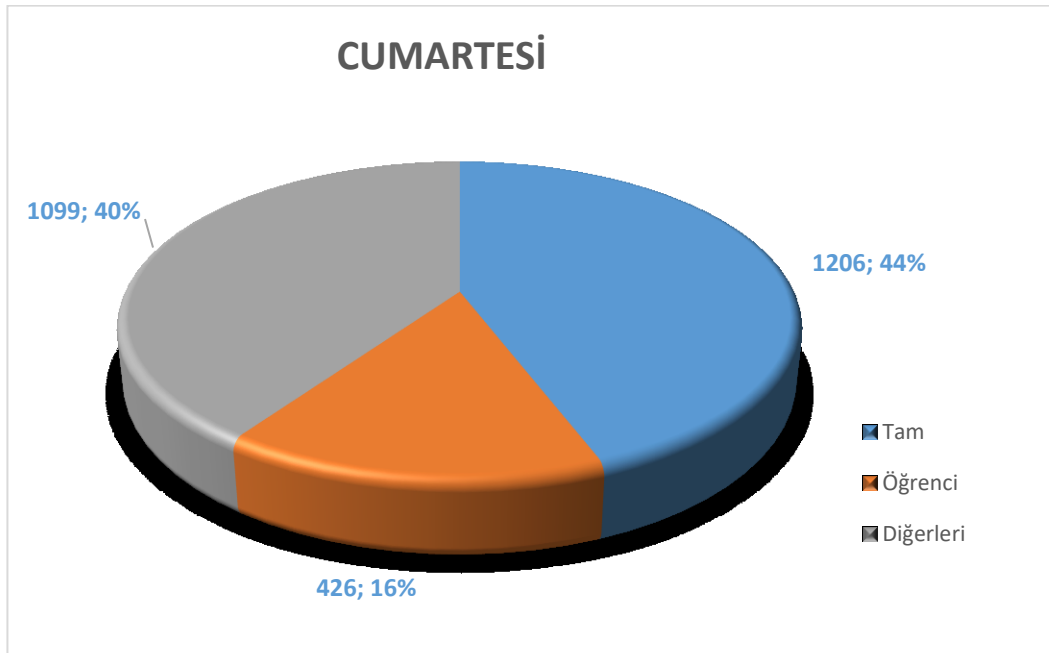
Şekil 6.6 Çarşamba Günü Pasta Grafiği



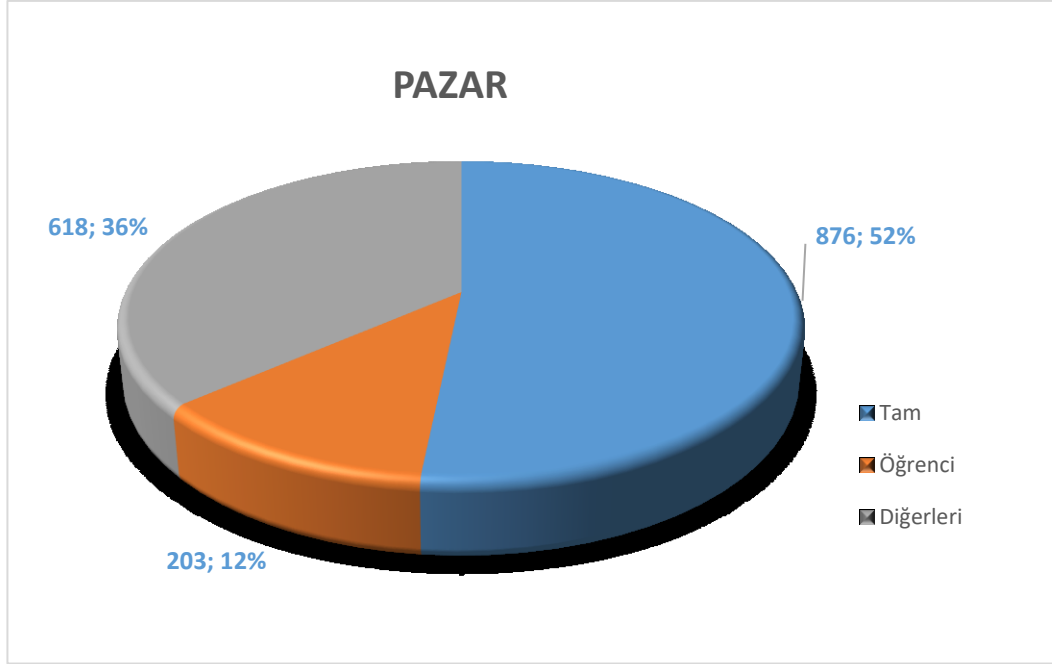
Şekil 6.7 Perşembe Günü Pasta Grafiği



Şekil 6.8 Cuma Günü Pasta Grafiği



Şekil 6.9 Cumartesi Günü Pasta Grafiği



Şekil 6.10 Pazar Günü Pasta Grafiği

Yukarıdaki günlük kart basım veri analizi pasta grafikleri görülmektedir. Estramdan gelen kart tipine göre yolcu verileri incelenerek oluşturulan yolcu tipi analizine göre bu otobüsü genellikle tam kart basan kişilerin tercih ettiği görülmektedir. Bunun sebebi otobüs güzargahının şehirde bulunan özel ve kamu binaları ve iki büyük alışveriş merkezlerine yakın yerlerden geçiyor olmasının yanı sıra bu otobüs güzargahının şehirde bulunan iki üniversiteden de geçiyor olması bu hattın tercih edilmesinin en büyük nedenleridir.









Çizelge 6.10 Pazar Günü Durak Bazlı Yolcu Dağılımı

| Pazar              | 1577 | 1576 | 1575 | 1574 | 1573 | 1572 | 1571 | 1570 | 1569 | 1568 | 1567 | 1566 | 1565 | 1564 | 1563 | 1562 | 1561 | 1805 | 1804 | 1803 | 1802 | 1801 | 1800 | 1798 | 1797 | 1488 | 1528 | 1529 | 1530 | 1531 | 1532 | 1533 | 1534 | 1535 |      |      |          |   |   |   |   |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|---|---|---|---|
| 1577               | X    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 1    | 5    | 0    | 0    | 0    | 0    | 3    | 0    | 0    | 0    | 0    | 2    | 3    | 2    | 1    | 2    | 1    | 1    | 0    | 3    | 1    | 0    | 2    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    |      |      |          |   |   |   |   |
| 1576               |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 2    | 1    | 2    | 0    | 1    | 1    | 2    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |      |      |          |   |   |   |   |
| 1575               |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    |      |      |          |   |   |   |   |
| 1574               |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 1    |      |      |          |   |   |   |   |
| 1573               |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 1    |      |      |          |   |   |   |   |
| 1572               |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 1    | 0    | 2    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |      |      |          |   |   |   |   |
| 1571               |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |      |          |   |   |   |   |
| 1570               |      |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 1    | 0    | 1    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |      |          |   |   |   |   |
| 1569               |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    |          |   |   |   |   |
| 1568               |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 1    | 0    |      |          |   |   |   |   |
| 1567               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |      |          |   |   |   |   |
| 1566               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    |      |          |   |   |   |   |
| 1565               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |      |          |   |   |   |   |
| 1564               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |      |          |   |   |   |   |
| 1563               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |          |   |   |   |   |
| 1562               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |          |   |   |   |   |
| 1561               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    |          |   |   |   |   |
| 1805               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0        |   |   |   |   |
| 1804               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0        |   |   |   |   |
| 1803               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0        |   |   |   |   |
| 1802               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1        | 0 |   |   |   |
| 1801               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0        | 0 |   |   |   |
| 1800               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0        | 0 |   |   |   |
| 1798               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0        | 0 |   |   |   |
| 1797               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0        | 0 | 0 |   |   |
| 1488               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0        | 0 | 0 |   |   |
| 1528               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0        | 0 | 0 |   |   |
| 1529               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0        | 0 | 0 |   |   |
| 1530               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0        | 0 | 0 |   |   |
| 1531               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0        | 0 | 0 |   |   |
| 1532               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0        | 0 | 0 | 0 |   |
| 1533               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0        | 0 | 0 | 0 |   |
| 1534               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | X    | 0    | 0    | 0    | 0        | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1535               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |          |   | X | 0 | 0 |
| Pazar              | 1577 | 1576 | 1575 | 1574 | 1573 | 1572 | 1571 | 1570 | 1569 | 1568 | 1567 | 1566 | 1565 | 1564 | 1563 | 1562 | 1561 | 1805 | 1804 | 1803 | 1802 | 1801 | 1800 | 1798 | 1797 | 1488 | 1528 | 1529 | 1530 | 1531 | 1532 | 1533 | 1534 | 1535 |      |      |          |   |   |   |   |
| Binen              | 0    | 1    | 2    | 5    | 0    | 0    | 2    | 7    | 3    | 5    | 2    | 4    | 11   | 4    | 6    | 3    | 2    | 3    | 4    | 3    | 7    | 4    | 6    | 7    | 1    | 4    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0        | 0 |   |   |   |
| İnen               | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 1    | 5    | 0    | 0    | 1    | 1    | 4    | 0    | 2    | 2    | 2    | 3    | 3    | 6    | 5    | 6    | 6    | 8    | 3    | 13   | 1    | 3    | 5    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 4    | 4    | 4        | 4 |   |   |   |
| Bekleme süresi(sn) | 0    | 3    | 6    | 15   | 0    | 0    | 6    | 21   | 9    | 15   | 6    | 12   | 33   | 12   | 18   | 9    | 6    | 9    | 12   | 12   | 21   | 12   | 12   | 16   | 6    | 26   | 2    | 6    | 10   | 6    | 6    | 6    | 8    | 8    | 8    | 8    | 349      |   |   |   |   |
| Bekleme süresi(dk) | 0    | 0,05 | 0,1  | 0,25 | 0    | 0    | 0,1  | 0,35 | 0,15 | 0,25 | 0,1  | 0,2  | 0,55 | 0,2  | 0,3  | 0,15 | 0,1  | 0,15 | 0,2  | 0,2  | 0,35 | 0,2  | 0,2  | 0,27 | 0,1  | 0,43 | 0,03 | 0,1  | 0,17 | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 5,816667 |   |   |   |   |

Bir haftalık yolcu verileri incelenerek güzargah üzerindeki durakların yolcu yükü baz alınarak yapılan dağılımdan elde edilen başlangıç-hedef dağılım matrisi, her durakta inen ve binen yolcu sayıları, durak bazlı otobüsün o durakta bekleme süresi ve bu bekleme sürelerinin toplamı gösterilmiştir.

Tablolarda işaretlenen durakların ağırlık değerleri diğer duraklara göre daha fazla olup, yolcuların bu durakta iniş ve biniş yolcu sayıları diğer duraklara göre daha fazla olduğundan otobüsün bu duraklarda bekleme süresi daha fazladır. Bu ağırlık değerleri belirlenirken, bu otobüs güzargahını kullanan yolcu profili incelenerek bu yolcuların talepleri göz önünde bulundurularak atama yapılmıştır. Bu güzargahı kullanan öğrenciler genellikle Üniversite Caddesi üzerindeki binalarda yaşadıkları için bu cadde üzerindeki duraklarda inen yolcu sayısı diğer duraklara göre daha fazladır.

Elde edilen verilere göre, otobüsün durakta ortalama bekleme süresi 2 dakikadır. Bu değer otobüsün bütün duraklarda bekleme süresinin durak sayısına bölümü ile elde edilmiştir. Durakta toplam bekleme süresi hafta içi 15-20 dakika arasında iken hafta sonu bu değer 6-9 dakika arasında değişmektedir. Bunun sebebi ise yolcu yükünün hafta sonu hafta içine göre az olmasından kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmada hattın yoğun olduğu bir saat aralığı olan sabah 08:00-09:00 saatleri arası seçilmiştir. Çalışanların işlerine, öğrencilerin okula gittiği bir zaman dilimi olup buna göre oluşturulan yolcu akışı talebi ve göz önünde bulundurulmuş kısıtlar ile birlikte bu çizelge elde edilmiştir. En fazla bekleme 18 dakika en az bekleme süresi ise 6 dakikadır.

Melez öngörülü sistem için gerekli olan online veri akışı ve offline veri akışı değerleri tahmini değerler olup bu değerler, uygulanacak hat için araç içi makinelerden elde edilecek online ve geçmişte toplanmış offline verilerin kullanılmasıyla birlikte daha verimli ve gerçeğe yakın ve uygulanabilir bir çizelge elde edilebilir.

Programın çalıştırılması sonucu çıkan zaman çizelgesi ile mevcut zaman çizelgesinin karşılaştırılması tablosu aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 6.11 Zaman Çizelgesi Karşılaştırma Tablosu

| Pazartesi |       | Salı   |       | Çarşamba |       | Perşembe |       | Cuma   |       | Cumartesi |       | Pazar  |       |
|-----------|-------|--------|-------|----------|-------|----------|-------|--------|-------|-----------|-------|--------|-------|
| Mevcut    | Çıktı | Mevcut | Çıktı | Mevcut   | Çıktı | Mevcut   | Çıktı | Mevcut | Çıktı | Mevcut    | Çıktı | Mevcut | Çıktı |
| 08:00     | 08:13 | 08:00  | 08:15 | 08:00    | 08:14 | 08:00    | 08:17 | 08:00  | 08:16 | 08:00     | 08:17 | 08:00  | 08:15 |
| 08:15     | 08:24 | 08:15  | 08:25 | 08:15    | 08:24 | 08:15    | 08:28 | 08:15  | 08:23 | 08:15     | 08:32 | 08:30  | 08:35 |
| 08:30     | 08:30 | 08:30  | 08:38 | 08:30    | 08:35 | 08:30    | 08:37 | 08:30  | 08:34 | 08:30     | 08:52 | 08:50  | 08:55 |
| 08:50     | 08:48 | 08:50  | 08:47 | 08:50    | 08:45 | 08:50    | 08:45 | 08:50  | 08:44 | 08:50     | -     |        |       |
| -         | 08:59 | -      | 08:57 | -        | 08:55 | -        | 08:57 | -      | 08:59 |           |       |        |       |

Mevcut ve elde edilen iki zaman çizelgesini karşılaştıracak olursak, elde edilen zaman çizelgesi yolcu talebini karşılamaya yönelik olup yoğunluğun olduğu bir saatte sefer sıklığını arttırıp, olmadığı zamanlarda ise sıklığı azaltılmıştır. Buna göre yolcuların durakta ve araç içinde bekleme süresini minimum sürede tutulmuş olup, program çıktısı olarak elde edilen yeni zaman çizelgesinde hafta içi 5'er adet, hafta sonu 3'er adet otobüs ihtiyacı olduğu gözlenmiştir. Mevcut sistemde hafta içi 4'er, Cumartesi 4 adet, Pazar günü ise 3 adet araç seferi vardır. Bekleme süresi göz önüne alınınca, hafta içi bir adet otobüse daha ihtiyaç duyulurken, Cumartesi günü ise bir otobüsün fazla olduğu gözlemlenmiştir.

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Toplu taşıma sisteminin öneminin arttığı bu son yıllarda etkili bir rota ve zaman çizelgeleme yapmak hayati bir öneme sahiptir. Bu toplu taşıma sistemini kullanacak yolcuların isteklerine karşılık vererek onları toplu taşımaya çekecek girişimlerde bulunmak işletmeci firmanın yararına olacaktır. Planlanacak yeni rota ve zaman çizelgelemesinde yolcuların ve işletmeci firmanın istek, kısıt ve kriterlerinin sağlanması etkili bir zaman çizelgeleme yapmak için gereklidir.

Elde edilen bu tahmini zaman aralıkları geliştirilerek daha da etkili bir zaman çizelgelemesi elde edilebilir. Çünkü seçilen parametre değerlerini optimum değere ne kadar yakın olursa elde edilecek sonuçlar o kadar doğru ve gerçekçi olacaktır. Bu sayede uygulanabilirliği artmış olacaktır.

Yapılan çalışmada baz alınan araç sayısı bir otobüs hattında çalışan araç sayısı için uygulanıp o hat için belirli bir zaman aralığında otobüs hareket saatleri çizelgesi elde ederek yapılan çalışmanın gerçekçiliğe daha yakın çözüm sonuçları sunacağı gözlemlenecektir.

Belirlenen kısıtlar değiştirilerek, yeni zaman çizelgeleri elde edilebilir. Örneğin, iki tip değişik araç kullanılarak yoğun olmayan saatlerde kullanım maliyeti ve araç kapasitesi daha düşük araçlar kullanarak şirket kazancı artırılabilir. Bunun yanı sıra şoför sınırlaması, araç sınırlaması gibi sınırlamalar konularak problem farklı bir boyuta taşınabilir. Diğer bir örnek ise bir otobüsün güzargah üzerinde hangi durakta ne zaman olacağına ya da filodaki bütün otobüsler için hangi durakta ne zaman olacağını gösteren bir zaman çizelgesi elde etmek vb.

Gelecek çalışmalar için temel oluşturacak bu tez çalışmasında, zaman çizelgelemesinde daha gerçekçi çözümler üretebilecek bir yöntem olan melez öngörülü kontrol sistem tercih edilerek gelecek çalışmalar için bir fikir vermesi için yazılmıştır. Bu sayede daha karmaşık problemlerin çözümü için temel bir tasarım oluşturulmaya çalışılmıştır.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Acar, İ. H., 1994, Kent içi trafik sorunlarının hafifletilmesinde güncel yöntemler ve talep yönetimi, 4. Toplu Taşıım Kongresi, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Akay, B., 2009. Nümerik Optimizasyon Problemlerinde Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony) Algoritmasının Performans Analizi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 301s, Kayseri.
- Atalağ, K., 2001. 18HYaşam, Genler ve Bilgisayarlarımız, [http://www.tipegitimi.hacettepe.edu.tr/tebad/yayin/tbd\\_ga.htm](http://www.tipegitimi.hacettepe.edu.tr/tebad/yayin/tbd_ga.htm). Erişim Tarihi: Mart 2018
- Bai, H.J., Dong, R.J., Zhang, M., 2013. Optimization method of bus time based on synchronization diversity. *Journal of Traffic and Transportation Engineering* 13 (3), 79e85.
- Bemporad, A., ve Morari, M., 1999. Control of systems integrating logic, dynamics and constraints, *Automatica*, 35, 407-427.
- Bewal, R., Bewal, S., 2010. Public Transportation Services in Oman: A Study of Public Perceptions. *Journal of Public Transportation*, 13 (4): 1-21. <http://doi.org/10.5038/2375-0901.13.4.1>. Erişim Tarihi: Nisan 2018
- Black, A., (1995). *Urban mass transportation planning*. New York: McGraw-Hill. Transportation Research Part A: Policy and Practice, Elsevier, vol. 31(2), sayfa 178-179.
- Bodin, L., ve Golden, B., 1981. Classification in Vehicle Routing and Scheduling, *Networks* 11 ,s 97-108.
- Bookbinder J.H., Désilets A., 1992.” Transfer Optimization in a Transit Network”. *Transportation Science* 26, 106–118.
- Bulut, Ş., 2006. Orta Ölçekli Bir İşletmede Talep Tahmin Yöntemlerinin Uygulanması sorunlar. Yayınlanmamış Yüksek Lisans tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, Türkiye.
- Casey, R. P., Lawrence, N. L., Moniz, L., Royal, J. W., Sheehan, M., Sheehan, T., 2000, *Advanced Public Transportation Systems: The State of the Art, Research and Special Programs U. S.*
- Department of Transportation (USDOT), *Developing Traveller Information Systems Using the National ITS Architecture*. Intelligent Transportation Systems Joint Program Office, Washington DC, 1998.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Castelli, L., Pesenti, R., Ukovich, W., Scheduling multimodal transportation systems. European Journal of Operational Research 155, 603–615. 2004.
- Ceder, A., Tal, O., Designing synchronization into bus timetables. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1760, 28–33. 2001.
- Ceder A., 2005. “ Estimation of Fleet Size for Variable Bus Schedules. Transportation Research Record 1903,2-10.
- Ceder A., 2007. “Public Transit Planning and Operation: Theory, Modeling and Practice. Elsevier, Butterworth-Heinemann.
- Chakroborty P., Deb, K., Subrahmanyam P.S., 1995.” Optimal Scheduling of Urban Transit Systems Using Genetic Algorithms. Journal of Transportation Engineering 121, 544–553.
- Cinemre, N.,2004. Doğrusal Programlama, Üçüncü Baskı, İstanbul: Beta Yayınları, s.9
- Cirit, F., Ağustos 2014. “Sürdürülebilir kentiçi ulaşım politikaları ve toplu taşıma sistemleri karşılaştırılması”. İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Uzmanlık Tezi.
- Dridi, M., K. Mesghouni, and P. Borne. 2005. Traffic control in transportation systems. Journal of Manufacturing Technology Management 16 (1): 53-74.
- Doğan İ., Yöneylem Araştırması Teknikleri ve İşletme Uygulamaları, Bilim Teknik Yayınevi, 1995, s.9.
- Domschke, W., Schedule synchronization for public transit systems. OR Spectrum 11, 17–24. 1989.
- Dorigo M., Maniezzo V. Colorni A., The Ant System: optimization by a colony cooperating agents,1996, s.2.
- Emel, G. ve Taşkın, Ç., 2002. Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları, Uludağ Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi.
- Erel, R., 1995. Taşıt Rotalaması ve Çizelgelemesi Problemlerinin Yapısal Özellikleri. Yıldız Teknik Üniversitesi, 207-223.



### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Evren, G., 1978, Kentsel ulaşımda raylı sistemler, I. Toplu Taşıım Kongresi, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü, Ankara. 7. Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü, 2000, Brifingler dosyası.
- Evren, G., 1999, Türkiye ulaştırma politikalarına eleştirel bir bakış, II. Ulaşım ve Trafik Kongresi Bildiriler Kitabı, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayını, Ankara
- Federal Transit Administration. 2003. The Public Transportation System Security and Emergency Preparedness Planning Guide. U.S. Department of Transportation Research and Special Programs Administration.
- Furth, P.G. and A.B. Rahbee. (2000). Optimal Bus Stop Spacing Through Dynamic Programming and Geographic Modeling. *Transportation Research Record* 1731, 15–22.
- Glover F.,Laguana M., 2014. Modern HeuristicsTechnics for Combinatorial Problems, s.70-150.
- Glover, F., 2017 Tabu Search: A Tutorial [http://www.ida.liu.se/~zebpe/heuristic/papers/TS\\_tutorial.pdf](http://www.ida.liu.se/~zebpe/heuristic/papers/TS_tutorial.pdf). Erişim Tarihi: Kasım 2017
- Guihaire, V., Hao, J.K., 2008.Transit network design and scheduling: a global review. *Transportation Research Part A* 42, 1251– 1273.
- Gunn, S., 2011. The Bunchanan Report,Environment and the Problem of Traffic in 1960s Bratain, Article *in Twentieth Century British History* 22(4):521-42.
- Hall, R. W., 2001.Passenger Waiting Time and Information Acquisition Using Automatic Vehicle Location for Verification. *Transportation Planning and Technology*, 24 (3), 249–269.
- Haupt, R.L., Haupt, S.E., 1998. Practical Genetic Algorithms, John Wiley&Sons Inc.
- Hurdle V.F., 1973. “ Minimum Cost Schedules for a Public Transportation Route. *Transportation Science* 7 (2),109-137.
- Kancabaş, E. S., 1998, Urban Transportation Planning Applications in Developed and Developing Countries, and Analysis of Trasportation System in Ankara on the Basis of Rail Transit, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Karaboga, D., 2005. An Idea Based On Honey Bee Swarm For Numerical Optimization. Technical Report-TR06, Erciyes University Engineering Faculty Computer Engineering Department, Kayseri.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Katz, K., Larson, B., Larson, R., Prescription for the Waiting-in-Line Blues: Entertain, Enlighten and Engage. *Sloan Management Review*, 32 (2), 44–53, 1991.
- Klemm, W.D., Stemme, W.,1998. Schedule synchronization for public transit networks. In: *Proceedings of the 4th International Workshop on Computer- Aided Scheduling of Public Transport*. Springer Verlag, Hamburg, Germany, pp. 327–335.
- Kosko, B. Isaka S., 1993.Fuzzy Logic, *Scientific America*, University of Southern California , s.76-81.
- Küçükşille, U., Tokmak, M., 2011. Yapay Arı Kolonisi Algoritması Kullanarak Otomatik Ders Çizelgeleme, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 15-3( 2011),203-210.
- Levinson, H.S., 1983. “Analyzing Transit Travel Time Performance.” *Transportation Research Record* 915, 1–6.
- Liu, Z., Shen, J., 2007. Regional bus operation bilevel programming model integrating timetabling and vehicle scheduling. *Systems Engineering - Theory & Practice* 27, 135–141.
- Mohring H.,1972. “Optimization and Scale economies in Urban Bus Transportation” *The American Economic Review* 62(4),591-604.
- Moreau, A., Public Transport Waiting Times as Experienced by Customers: Marketing Research Involving the Grenoble System. *Public Transport International*, 41 (3), 52-68, 1992.
- Murray, A.T., R. Davis, R.J. Stimson, and L. Ferreira,1998. “Public Transport Access.” *Transportation Research D* 3, 319–328.
- Newman P., (1996) Reducing Automobile Dependence, *Environment and Urbanization* 8 (1):67-92
- Newman, P. and Kenworthy, J.,1999. *Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence*. Washington, DC: Island Press.
- Schröder, M., Solchenbach, I.,2006. Optimization of Transfer Quality in Regional Public Transit. Technical Report 84. Berichte des Fraunhofer Instituts for Techno-und Wirtschafts.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Önder, M., Önder Gül., 2015. Toplu Ulaşımı Planlamaya Taşıtlardan Başlamak; Hafif Raylı Sistem Taşıtlarında Oturma Düzeninin Yeniden Tasarlanması, Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü, Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümü. 7. Kentsel Altyapı Sempozyumu.
- Öztemel E., Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık 2008, s.30-34.
- Palma, A.D., Lindsey, P.,2001. Optimal timetables for public transportation. *Transportation Research Part B* 35, 789–813.
- Peeters, L., 2003. “Cyclic Railway Timetable Optimization “(No. EPS-2003-022-LIS). Erasmus Research Institute of Management (ERIM).
- Queensland Government. (1997). Integrated Regional Transport Plan for South East Queensland. Brisbane: Queensland Government.
- Rangarajan K. Sundaram, First Course in Optimization Theory, Cambridge University Press,1999, s.77. 10
- Sarker Ruhul A.,2007. Optimization Modelling, A Practical Approach, CRC press,s.5.
- Schröder, M., Solchenbach, I.,2006. Optimization of Transfer Quality in Regional Public Transit. Technical Report 84. Berichte des Fraunhofer Instituts for Techno-und Wirtschafts.
- Septhan, I., 2016 Los Angeles Metro select Syncromatics to deploy real-time bu information system.Traffic Technology Today.
- Tanyaş, M., 2003.Baskak, M., “Üretim Planlama ve Kontrol, İrfan Yayıncılık”, 3. Baskı İstanbul, s.116.
- Tran, T., and B. H. Kleiner. 2005. Managing for excellence in Public transportation. *Management Research News* 28(11/12): 154-163.
- Transit Cooperative Research Program (TCRP),1999. Transit Capacity and Quality of Service Manual. TCRP Web Document 6 (Project A-15), Transportation Research Board, Washington, DC
- Wirasinghe, S.C. and Ghoneim, N.S., 1981. “Spacing of Bus-Stops for Many to Many Travel Demand.” *Transportation Science* 15, 210–221.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

Victoria Transport Policy Institute, Transit Station Improvements: Improving Public Transit Waiting Conditions. Victoria, Canada, [www.vtppi.org](http://www.vtppi.org), 2015.

Yaşar, A., 2009. Kent içi Otobüs Taşımacılığında Talep Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

Zhao, J., Bukkapatnam, S., Dessouky, M., 2003. Distributed architecture for real-time coordination of bus holding in transit networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 4, 43–51.

Zhao, L., 2006. Heuristic method for analyzing driver scheduling problem. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics A* 36, 521–531.