

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

**MATLOG İLE STATİK VE DİNAMİK OTOBÜS ROTALAMA  
UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ALİ BULUT**

**DENİZLİ, AĞUSTOS- 2019**

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



**MATLOG İLE STATİK VE DİNAMİK OTOBÜS ROTALAMA  
UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ALİ BULUT**

**DENİZLİ, AĞUSTOS- 2019**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

ALİ BULUT tarafından hazırlanan "MATLOG İLE STATİK VE DİNAMİK OTOBÜS ROTALAMA UYGULAMASI" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 28.08.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



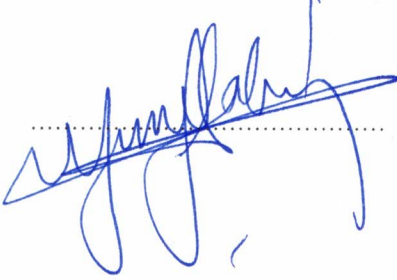
Jüri Üyeleri

İmza

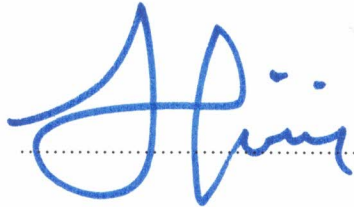
Danışman  
Prof. Dr. Sezai TOKAT

Üye  
Doç. Dr. Özcan MUTLU  
Pamukkale Üniversitesi

Üye  
Dr. Öğr. Üyesi Yusuf ŞAHİN  
Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

  
.....  
  
.....  
  
.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
04/09/2019 tarih ve 35/14..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

  
.....

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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

  
**Ali BULUT**

## ÖZET

**MATLOG İLE STATİK VE DİNAMİK OTOBÜS ROTALAMA UYGULAMASI**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**ALİ BULUT**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**(TEZ DANIŞMANI: PROF.DR. SEZAI TOKAT)**

**DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019**

Dünyada ve ülkemizde toplu ulaşım, kent içi ulaşım problemi için bir çözüm olarak görülmektedir. Artan nüfus ve bunun beraberinde getirdiği kentleşme, kentsel alanlarda trafik sorunu başta olmak üzere birçok problemi ortaya çıkarmaktadır. Günümüz ekonomik koşullarında rekabet ortamının ve enerji maliyetlerinin hızla arttığı görülmektedir. Bundan dolayı özel ve kamusal hizmetlerde görev alan şirketlerin veya alt yüklenicilerin varlıklarını devam ettirebilmek ve müşterilerine daha iyi ve kaliteli hizmet verebilmek için öngörülerde bulunarak yakın geleceğin planlarını yapmaları zorunlu hale gelmiştir. Bu doğrultuda düşünüldüğünde yapılan öngörülerin başarı oranının şirketlerin karlılık oranını doğrudan etkilemesi sürpriz olmayacaktır.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, kurumların içinde buldukları durumu daha iyi anlayabilmeleri bilgiye verdikleri önemle, verinin araştırılması, analiz edilmesi ve veri yığınları arasından anlamlı bilgiler ortaya çıkarılması ile mümkün olmaktadır. Hızlı nüfus artışı ve köyden kente göçün artması nedeniyle artan toplu taşıma talebinin yönetilmesi gerekliliği açıktır. Bu sebeple toplu taşıma talebinin anlık belirlenmesi ve geleceğe yönelik olarak toplu taşıma yönetim şekillerinin oluşturulması gereklidir.

Bu tez çalışması kapsamında, örnek olarak tasarlanan on dört adet durak ve üç adet hattan oluşan model üzerinde farklı rotalama çözümleri üretilmiştir. Çalışma kapsamında oluşturulan otobüs hatları modeli, iki farklı problem üzerinde değerlendirilerek çözüm kümeleri elde edilmiştir. Yapılan bu çalışmada ilk problemde elimizde üç otobüs hattının her bir durağında inecek veya binecek yolcu sayısı ve durak bilgilerinin yer aldığı matrislerin yerleşimi yapılarak tutulan veriler ve oluşturulan sonuç matrisi üzerinde analiz çalışmaları yapılmıştır. İlk problemde hatların sabit olduğu kabul edilmiş ve her bir hat için duraklarda binecek yolcu bilgileri ayrı matrislerde tutulmuştur. İkinci problemde ise hatların statik olmadığı, belirlenen aralıklarla alınan anlık hat yolcu sayısına göre tasarlanan ve otobüs duraklarının sabit, otobüs güzergahının ise değişken olduğu durum incelenmiştir. Her iki problem farklı yolcu kapasiteleri için ele alınmış ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Matlog, Toplu Taşıma, Otobüs Güzergahı, Otobüs Hat Çizelgeleme, Araç Rotalama Problemi.

## **ABSTRACT**

### **STATIC AND DYNAMIC BUS ROUTING APPLICATION WITH MATLOG**

**MSC THESIS**

**ALİ BULUT**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**COMPUTER ENGINEERING**

**(SUPERVISOR:PROF.DR. SEZAI TOKAT)**

**DENİZLİ, AUGUST 2019**

Public transportation in the world and in our country is seen as a solution for urban transportation problem. The increasing population and the resulting urbanization raise many problems, especially the traffic problem in urban areas. In today's economic conditions, it is seen that competition environment and energy costs increase rapidly. Therefore, companies and subcontractors involved in private and public services have to make plans for the near future by making predictions in order to maintain their assets and provide better and high quality services to their customers. Considering this, it will not be a surprise that the success rate of the forecasts made directly affects the profitability of the companies.

With the development of technology, it is possible for institutions to better understand the situation they are in by researching, analyzing the data and revealing meaningful information among them. It is clear that the demand for increasing public transportation needs to be managed due to rapid population growth and increased migration from village to city. For this reason, it is necessary to determine the public transport demand instantly and to establish public transportation management forms for the future.

Within the scope of this thesis, different bus routing solutions will be produced on a model consisting of fourteen stops and three lines designed as an example. The bus lines model created within the scope of the study will be evaluated on two different problems and solution sets will be obtained. In this study, in the first problem, we will analyze the data that will be kept and the result matrix to be created by placing the matrices that include the number of passengers to get off or boarding at each stop of the three bus lines and the station information. In the first problem, the lines were assumed to be stationary and passenger information to be boarded at the stops for each line was kept in separate matrices. In the second problem, it was investigated that the lines are not static, designed according to the number of instant line passengers taken at specified intervals and that the bus stops are stationary and the bus route is variable. Both problems were addressed for different passenger capacities and comparisons were made.

**KEYWORDS:** Matlog, Public Transportation, Bus Route, Bus Scheduling, Vehicle Routing Problem.

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ .....	v
ÖNSÖZ.....	vii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	2
1.2 Tezin Akışı .....	2
<b>2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ.....</b>	<b>4</b>
2.1 Hamilton Çevrimi.....	4
2.2 Gezgin Satıcı Problemi.....	5
2.3 Araç Rotalama Probleminin Tanımı ve Türleri.....	6
2.3.1 Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi.....	10
2.3.2 Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi .....	11
2.3.3 Çok Depolu Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi .	11
2.3.4 Eş Zamanlı ve Karışık Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi ....	12
2.3.5 Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi.....	13
2.3.6 Ayrık Yüklemeli ve Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi.	14
2.3.7 Geri Toplamalı Araç Rotalama Problemi .....	15
2.3.8 Periyodik Araç Rotalama Problemi .....	15
2.4 Araç Rotalama Problemi Taksonomisi.....	15
<b>3. OTOBÜS ÇİZELGELEME PROBLEMİ.....</b>	<b>17</b>
3.1 Kuramsal Çerçeve .....	17
3.2 Literatür İncelemesi.....	19
<b>4. TOPLU TAŞIMA SİSTEMLERİ İÇİN DİNAMİK ROTALAMA PROBLEMİ.....</b>	<b>23</b>
4.1 Analiz Edilecek Senaryolar .....	25
4.2 Senaryo-1.....	25
4.3 Senaryo-2.....	28
4.4 Matlog: Logistics Engineering Matlab Toolbox .....	31
4.4.1 Kullanılan Matlog Araç Rotalama Kodları ve Açıklamaları .....	31
<b>5. Senaryoların Analizleri.....</b>	<b>33</b>
5.1 Senaryo-1 İçin Statik Çözüm .....	33
5.2 Senaryo-1 İçin Dinamik Çözüm.....	36
5.3 Senaryo-2 Statik Çözüm.....	40
5.4 Senaryo-2 Dinamik Çözüm .....	43
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>48</b>
<b>7. KAYNAKLAR.....</b>	<b>52</b>
<b>8. ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>61</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Gezgin satıcı için çözüm örneği .....	4
Şekil 2.2: Araç rotalama problemi çeşitleri.....	9
Şekil 2.3: Birden fazla deponun ortak dağılımı altında araç güzergahı sorunu.....	12
Şekil 4.1: Tasarlanan probleme ilişkin sabit hatları ve durakları gösterir çizge.....	23
Şekil 5.1: Senaryo-1 R1 rotası dinamik çözüm şeması.....	38
Şekil 5.2: Senaryo-1 R2 rotası dinamik çözüm şeması .....	38
Şekil 5.3: Senaryo-1 için dinamik çözümün rotalarının coğrafi koordinatlarla gösterimi.....	39
Şekil 5.4: Senaryo-2 coğrafi koordinatlarla dinamik çözüm grafiği .....	46
Şekil 5.5: Senaryo-2 dinamik çözüm haritası.....	47



## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1:</b> Araç rotalama problemindeki kısıtlar .....	8
<b>Tablo 2.2:</b> Araç rotalama problemlerinin taksonomisi.....	16
<b>Tablo 4.1:</b> Tasarlanan probleme ilişkin hatları ve uğranan durakları gösterir matris.....	24
<b>Tablo 4.2:</b> Problem için durakların coğrafi koordinatları.....	24
<b>Tablo 4.3:</b> Uygulamada kullanılan araç tipleri ve maliyetleri.....	25
<b>Tablo 4.4:</b> Hatlardaki toplam yolcu sayısı ve toplam kapasite .....	26
<b>Tablo 4.5:</b> R0 matrisi: ilk duraktan binen yolcu sayıları .....	26
<b>Tablo 4.6:</b> R1 matrisi: 1 numaralı hat üzerinde inen/binen yolcu sayıları .....	26
<b>Tablo 4.7:</b> R2 matrisi: 2 numaralı hat üzerinde inen/binen yolcu sayıları .....	27
<b>Tablo 4.8:</b> R3 matrisi: 3 numaralı hat üzerinde inen/binen yolcu sayıları .....	27
<b>Tablo 4.9:</b> Duraklardaki toplam yolcu sayısı .....	28
<b>Tablo 4.10:</b> R0 matrisi: ilk duraktan binen yolcu sayıları .....	28
<b>Tablo 4.11:</b> R1 matrisi: 1 numaralı hat üzerinde inen/binen yolcu sayıları .....	29
<b>Tablo 4.12:</b> R2 matrisi: 2 numaralı hat üzerinde inen/binen yolcu sayıları .....	29
<b>Tablo 4.13:</b> R3 matrisi: 3 numaralı hat üzerinde inen/binen yolcu sayıları .....	30
<b>Tablo 5.1:</b> Senaryo-1 statik çözüm rotalama indeksleri.....	34
<b>Tablo 5.2:</b> Senaryo-1: statik çözümlerin Hat-1, Hat-2 ve Hat-3 gösterimi.....	35
<b>Tablo 5.3:</b> Senaryo-1 statik çözümlerin Hat-1, Hat-2 ve Hat-3 maliyet gösterimi.....	36
<b>Tablo 5.4:</b> Senaryo-1 için dinamik çözüm.....	36
<b>Tablo 5.5:</b> Senaryo-1 dinamik çözüm için maliyet değerlendirme.....	40
<b>Tablo 5.6:</b> Senaryo-2 statik çözüm rotalama indeksleri.....	41
<b>Tablo 5.7:</b> Senaryo-2 R1, R2 ve R3 hatları için statik çözüm.....	42
<b>Tablo 5.8:</b> Senaryo-2 statik çözüm rotalanan yol.....	43
<b>Tablo 5.9:</b> Senaryo-2 statik çözüm maliyet değerlendirme.....	43
<b>Tablo 5.10:</b> Senaryo-2 için dinamik çözüm.....	44
<b>Tablo 5.11:</b> Senaryo-2 dinamik çözüm maliyet değerlendirme .....	47
<b>Tablo 6.1:</b> Statik ve dinamik çözümlerin karşılaştırılması .....	49

## SEMBOL LİSTESİ

<b>ARP</b>	: Araç Rotalama Problemi
<b>CASP</b>	: Computer Aided Planning and Scheduling
<b>ÇDÖSTARP</b>	: Çok Depolu Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi
<b>GTARP</b>	: Geri Toplamalı Araç Rotalama Problemi
<b>KKARP</b>	: Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
<b>KTDARP</b>	: Karışık Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi
<b>MKARP</b>	: Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
<b>ÖDSTARP</b>	: Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi
<b>PARP</b>	: Periyodik Araç Rotalama Problemi
<b>ZARP</b>	: Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi

## ÖNSÖZ

Şehirleşmenin hızla devam ettiği bu yüzyılda insanların toplu yaşama olan adaptasyonunun en önemli göstergelerinden birisi toplu ulaşım olan ilgileri ve kullanma eğilimleridir. Toplu taşımanın durumu, bir şehrin yaşam kalitesini ve gelişmişlik düzeyini gösteren önemli parametrelerden biridir.

Büyükşehirlerde trafik yoğunluğunun önden gelen sebeplerinden birisi özel araç kullanımınıdır. Özel araç kullanımına etken olarak birçok sebep bulunmasına rağmen temel sebepler; insanların toplu ulaşım araçlarında istediği an, istediği noktaya, istediği zamanda gidememesi ve konforlu seyahat edememesidir. Yerel yönetimlerin bireylerin toplu taşımayı kullanma eğilimlerini teşvik eden uygulamalara yönelmesi gerekmektedir. Toplu ulaşımın önemine inanan ve toplu taşıma araçlarını hayatı boyunca çokça kullanan bir birey olarak bu tez çalışmasında toplu ulaşım sorunu üzerine yoğunlaşmaya çalıştım. Ülkemizde şehir içi toplu taşımacılık daha çok otobüs ve dolmuş hat işletmeciliği ile motorlu taşıtlarla yapılmaktadır. Avrupa ülkelerinde ise şehir içi taşımacılığın önemli bir kısmı metro ve tramvay tarzı raylı sistemler ile yapılmaktadır. Yapılan bilimsel çalışmalar incelendiğinde de raylı sistemlere önemli bir yer verildiği görülmektedir.

Dijitalleşen, birbirine bağlanan, ağlarını genişleten ve birbirine entegre hale gelen sistemler artık önceden hayal bile edemeyeceğimiz uygulamaları hayata geçirme fırsatı vermektedir. Bu tez çalışmasında, sabit durakların olduğu fakat sabit otobüs hatlarının olmadığı, bireylerin bekleme sürelerinin ve doluluk oranlarının dinamik olarak ele alındığı ve geleneksel sabit hatlara göre bekleme süresi ve kapasite aşım durumlarının indirgiendiği bir toplu taşıma sisteminin elde edilmesine yönelik analizler gerçekleştirilmiştir.

Yüksek lisans eğitimimin boyunca çalışmamın her aşamasında desteğini esirgemeyen danışmanım ve değerli hocam Prof. Dr. Sezai TOKAT'a, Dr. Öğr. Üyesi Kenan KARAGÜL'e , aileme, değerli eşim Hatice BULUT'a ve biricik kızım Ada'ya varlığıyla bana güç verdiği için teşekkür ederim.

## 1. GİRİŞ

Şehir hayatında mobilite her geçen gün artmaktadır. İnsanlar iş, dinlenme, sosyal aktivite gibi nedenlerle sürekli bir hareket halindedir. Bu hareketliliğin sonucu olarak araç kullanımının artması ile birlikte trafik sıkışıklıkları ve hava kirliliği büyük şehirlerin önemli sorunları olarak karşımıza çıkmaktadır. Ulaşım tipine karar verilirken genelde bireyler sadece gereksinimlerini göz önünde bulundurarak karar vermezler. Birçok insan bireysel taşıtla seyahat etmeye bağımlı hale gelmiştir ve doğrudan bu yolu seçer. Bu seçimde arabanın güç, özgürlük, statü, öncelik, heyecan duygularını harekete geçirmesi de rol almaktadır. Bu durumda belediyelerin de bireysel seyahate alternatifler sunarak özel ulaşım bağımlılığını ve sürüş ihtiyacını azaltabilecek politikaları teşvik etmeleri gerekmektedir.

Toplu taşımacılığın insanlar tarafından bir seçenek olarak istenmemesine neden olan bir başka özelliği, istenen zamanda bir yolculuğun ne kadar sürede yapılabileceğinin hizmet sıklığına bağlı olmasıdır. Toplu taşıma kullanıcıları, faaliyetlerini toplu taşıma araçlarının kalkış saatlerine göre planlayabilir. Bu bir miktar bekleme süresi yanında bireyin tüm işlerini kalkış saatlerine göre ayarlaması gibi bir zorluk ve maliyeti getirir. Veya toplu taşıma kullanıcıları hiçbir plan yapmadan kalkış noktasına rastgele gelebilirler. Bu durum işlerini toplu taşıma araçlarının kalkış saatlerine göre ayarlama zahmetinden kurtarsa da ortalama olarak ilgili toplu taşıma aracının rota süresinin yarısına eşit olan ek bir bekleme süresi gerektirir. Varış zamanlarının güvenilmezliği ve araçlar veya modlar arasındaki transfer de bekleme süresine neden olmaktadır.

Tez çalışmasında seçilen otobüs hatları ile toplu taşımanın raylı sistemlere göre olumlu yönleri altyapı maliyetlerinin düşük olması ve güzergâhların esnek olarak planlanabilme olasılığının olmasıdır. Ülkemizde de otobüsle toplu ulaşım şehirlerde bireylerin ulaşım amacı ile kullandığı önemli ulaşım araçları arasındadır.

Günümüzde otobüs hatlarında raylı sistemlerde olduğu gibi zaman çizelgeleri kullanılmaktadır. Oysa raylı sistemler için bir zorunluluk olan bu durum otobüs

hatlarında söz konusu değildir. Otobüsler yolcu sayısına, yolcuların hangi duraklardan binip hangi duraklarda ineceğine göre dinamik bir şekilde planlanabilir.

## **1.1 Tezin Amacı**

Gelişen bilgi teknolojilerini ele aldığımızda, toplu ulaşım sistemleri için geçmişte sadece hayal olarak düşünülebilecek modelleri, yöntemleri ve yaklaşımları gerçeğe dönüştürmek günümüzde mümkündür. Nesnelerin İnterneti, mobil uygulamalar, akıllı sensörler, yapay zekâya dayalı siber fiziksel sistemler ile firmaların işletme maliyetleri de göz önünde bulundurularak, çevre dostu, yolcuların anlık gereksinimlerine göre anlık toplu taşıma hatları tasarlanabilir. Bu tezin temel amacı, durakları belli olan otobüslerin ağıları arasındaki bağlantıları belirleyebilen, birden fazla bağlantılı otobüs durağından oluşan otobüs hatları için maliyete göre yeni rota ve tarifeler oluşturabilen, potansiyel yolcular tarafından kaydedilen seyahat taleplerini değerlendirebilen bir ulaşım sisteminin problem olarak tasarlanmasını ve çözümünü sağlamaktır. Bu tez çalışmasında trafik kazaları gibi öngörülemeyen olaylar veya dinamik trafik yoğunluğu seviyeleri, hatlar arası uzaklık gibi problemi etkileyebilecek faktörler ihmal edilecektir.

## **1.2 Tezin Akışı**

Tezin akışı şu şekilde planlanmıştır: Bölüm 2’de öncelikle Hamilton çevrimi ile ilgili bilgiler verilmiş ve gezgin satıcı problemi tanımlanmıştır. Daha sonra araç rotalama problemi ve türleri ile ilgili bilgiler verilerek, tezde çözülen problemin araç rotalama problemleri içerisinde hangi türe girdiği anlatılmıştır. Bölüm 3’te otobüs çizelgeleme probleminin kuramsal çerçevesi ve tez kapsamında araç çizelgeleme problemi üzerine uygulanan yöntemlerden bahsedilerek araç çizelgeleme problemi çalışmalarının literatür taraması belirli bir metodoloji ile belirtilmiştir.

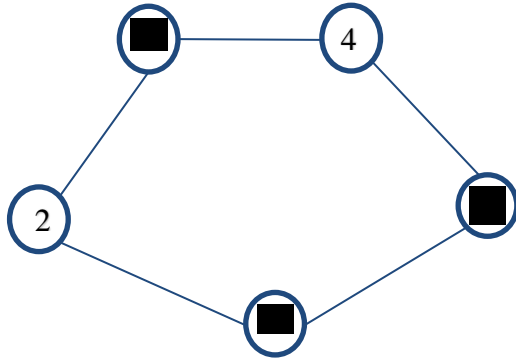
Toplu ulaşım üzerine yapılan çalışmalarının literatür taraması belirli bir metodolojiye göre belirtilmiştir. Bölüm 4’te tez kapsamında tasarlanan otobüs toplu taşıma modelinin yapısı hangi senaryoların analiz edileceği gösterilmiştir. Matlab bilimsel hesaplama aracı ve Matlab Logistics Engineering Toolbox (Matlog) hakkında

genel bilgiler verilmiştir. Matlog kullanılarak uygulamada yazılan kodların her bir satırının ne işlem yaptığı hakkında açıklamalar ve analizi yapılan modellerin değerlendirilmeleri yapılmıştır. Bölüm 5'te problemlerin çözümleri detaylı olarak her bir basamağı tablolarla anlatılmıştır. Sonuç ve Öneriler Bölüm 6'da verilmiştir.

## 2. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

### 2.1 Hamilton Çevrimi

Bir  $G = (V, E)$  çizgesinde,  $V$  düğümler kümesini gösterirken,  $E$  ise kenarları yani adresleri birbirine birleştiren yolları belirtmektedir. Ağırlıksız bir  $G = (V, E)$  çizge (graph) üstündeki her bir noktadan sadece bir defa geçmek koşuluyla başlanılan noktaya tekrar dönülmesine Matematikçi William Hamilton'un ismi anısına Hamilton çevrimi (cycle) denilmektedir (Akşehir, 2019). Gezgin satıcı probleminin Hamilton çevriminden farkı ağırlıklı bir çizgedeki toplam tur mesafesini veya maliyetini en aza indirmenin amaçlanıyor olmasıdır. Burada problemin temel amacı toplam turun mesafesini veya maliyetini en aza indirmektir. Bu problemde farklı olarak adreslere ulaşılacak zaman ve rotanın süresi ile ilgili kısıtlar ve girdiler mevcut değildir. Gezgin satıcı probleminde örnek bir çözüm olarak Şekil 2.1 gösterilebilir. Gezgin satıcı probleminde adres ve zaman arasında herhangi bir bağlantı olmadığı için Şekil 2.1'de hem (1-2-3-4-5-1) hem de (1-5-4-3-2-1) rota sıralaması takip edebilir (Kosif, 2012).



Şekil 2.1: Gezgin satıcı için çözüm örneği (Erel, 1995).

Araç Rotalama Probleminde Hamilton yolunu bulabilmek için probleme ayrıca kullanılan araç sayısının da en küçüklenmesi kısıtının dahil edilmesi gerekmektedir (Demirtaş, 2015). Hamilton çevriminin birden çok noktaya uygulanmasıyla gezgin satıcı probleminin temelleri atılmıştır.

Aslında her Hamilton yolu yayılan bir ağaçtır. Eğer bu yayılan ağaçta hiçbir düğümün derecesi ikiden fazla değilse bu Hamilton yolu olarak adlandırılır. Minimum yayılan ağaç problemi esasında gezgin satıcı probleminin daha gevşetilmiş hali olarak

bilinmektedir. Derece kısıtlaması sebebiyle minimum ağaç probleminin kısıtlanması ise gezgin satıcı problemidir. Yayılan ağaç ise grafiğin tüm düğümlerini bir araya getiren ağaç anlamındadır (Özkan, 2010).

## 2.2 Gezgin Satıcı Problemi

Gezgin satıcı probleminde bir aracın veya bir satış elemanın belli bir nokta veya şehirden başlayarak sistemde mevcut olan tüm noktalara veya şehirlere sadece bir defa uğrayarak yeniden başlangıç yerine veya şehrine dönmesi süresinde yapmış olduğu toplam tur mesafesinin (veya maliyetinin) en aza indirgenmesi amaçlanmıştır (Çolak, 2010).

Bu problemin hayata geçirebilmesi için her bir noktadan diğer bütün noktalara olan mesafelerin bilinmesi önemlidir. Burada mevcut toplam nokta sayısı  $n$  adet ise, birinci nokta  $(n-1)$  adet, ikincisi  $(n-2)$  gibi gidilecek noktalar hesaplanır. Buradaki  $n$  anlamı problemin boyutunu bize göstermektedir. Nokta sayısı az olduğundan çözüme ulaşmak mümkün olabilirken, tam tersi nokta sayısı çoğaldıkça çözüme ulaşmakta zorluklar olabilmektedir (Çolak, 2010).

Gezgin Satıcı Probleminin (GSP) başlangıcı 1930'lu yıllara dayanmaktadır. Karl Menger matematiksel tanımlaması yapmıştır. Gezgin satıcı problemi matematiksel olarak (Dantzig, Fulkerson ve Johnson, 1954) gösterimi ise şu şekildedir:

$$\text{Minimize: } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, i \neq j}^n x_{ij} d_{ij} \quad (1)$$

$$\text{Kısıtlar: } \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{i=1, i \neq j}^n x_{ij} = 1, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{i, j \in S, i \neq j} x_{ij} \leq |S| - 1, \forall S \subset \{1, 2, \dots, n\} \quad (4)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ noktasından } j \text{ noktasına gidiliyor ise} \\ 0, & i \text{ noktasından } j \text{ noktasına gidilmiyor ise} \end{cases} \quad (5)$$



Araç Rotalama Problemi literatürde Gezgin Satıcı Probleminin (GSP) birden daha çok aracın ve kısıtlamaların eklenmesi ile daha geliştirilmiş bir hali olarak belirtilmektedir (Düzakin ve Demircioğlu, 2009; Keskintürk ve diğerleri, 2016). ARP' nin çözümünün GSP' nin çözümü ile karşılaştırıldığında aynı sayıya sahip müşteri ve şehir olmasına rağmen çok daha zor olduğu düşünülmektedir (Düzakin ve Demircioğlu, 2009).

Gezgin Satıcı Probleminde belli özellikler vardır, bunlar sırasıyla şu şekildedir.

- Satıcı, var olan mallarını n adet şehirde satmak istemektedir
- Satıcı bu n adet şehri en kısa ve her şehre bir defa uğrayarak turu bitirmek istemektedir
- Burada şehir sayısındaki artışla beraber problemin zorluğu da doğru orantıda artmaktadır
- Bu problemin temel amacı en kısa yolunu satıcıya sunabilmesini sağlamaktır (Keskintürk ve diğerleri, 2016).

### **2.3 Araç Rotalama Probleminin Tanımı ve Türleri**

İlk olarak Araç rotalama problemi (ARP) (Vehicle Routing Problem, (VRP) konusunda Dantzig ve Ramser tarafından 1959 yılında çalışmalar yürütülmüştür. Bu araştırmada bir terminalden birçok sayıda benzin istasyonu servisine benzin teslimatını optimum şekilde yönlendirmesini konu alınmıştır. Ayrıca, çalışmalarına sistemdeki herhangi iki nokta arasındaki en kısa yollar belirlenerek taşıma ve yol kat etme masraflarının düşürülmesi saptanmaya çalışılmıştır (Dantzig ve Ramser, 1959).

Araç Rotalama Probleminin temel varsayımları aşağıdaki şekilde belirtilmiştir:

- a. Müşterinin talepleri belirli, bilinmekte ve bunlar bölünemez
- b. Depo ile müşteri ve müşteriler arasındaki ulaşım süresi (mesafeleri) değişmez ve bilinmekte
- c. Araçlar benzer kapasiteli, bu kapasiteler bilinmekte ve merkezi depoda müşterilere hizmet etmek için hazırda bekletilmekte

Bu kriterler düşünülürğinde Araç rotalama problemindeki amacın tüm müşterilerin gereksinimlerini karşılamak için en az bütçeli rotaların saptanması olduğu görölmektedir (Koç ve Karaoğlan, 2012).

Araç rotalama problemi, merkezi depolardan çıkan aracın maliyetini en aza indirgeyerek dağıtım veya toplama yapacağı yerlere ulaştırılmasını olarak açıklanabilir. Beş yıl sonra 1964 yılında Dantzig ve Ramser'in başlatmış olduğu methodu Clarke ve Wright bu metodu geliştirerek klasik tasarruf algoritmasını kullanmışlardır (Clarke ve Wright, 2008). Bu çalışmayla beraber ARP'nin bilinirliği ve kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Dinamik araç rotalama probleminde ise probleme zaman kavramı dahil edilmiş olup ve daha kompleks bir yapı içermektedir. Daha sonraki yıllarda araç rotalama problemi üzerinde birçok farklı algoritma ve modeller ortaya konulmuştur.

Lojistik sistemlerinde, bir ya da birden fazla depodan belli alıcılara ürünün teslimatı ve/veya müşterilerden bu ürünlerin alınmasına lojistik sisteminde araç rotalama olarak adlandırılmaktadır. Bütün bunlar dikkate alındığında aslında ürün toplama ve dağıtımındaki tüm sürecin hem maliyet açısından hem de iş gücü açısından ağır yükler getirdiği sonucuna varılmıştır (Keskintürk, Topuk ve Özyeşil, 2016).

Ülkemizde yapılan çalışmalara bakıldığında ARP problemleri ve bu konunun çözümü noktasında bir sınıflandırma yapılmadığı görölmüştür. ARP uygulama alanlarına bakıldığında birçok alanda aktif olarak kullanıldığını görölmüştür. Örneğin, atıkların toplanması, ürünlerin depolardan müşterilere ulaştırılması, okul servislerinin güzergahlarının düzenlenmesi, servis araçlarının rotalarının belirlenmesi gibi hayatın birçok noktasında kullanılmaktadır (Keskintürk ve diğerleri, 2016).

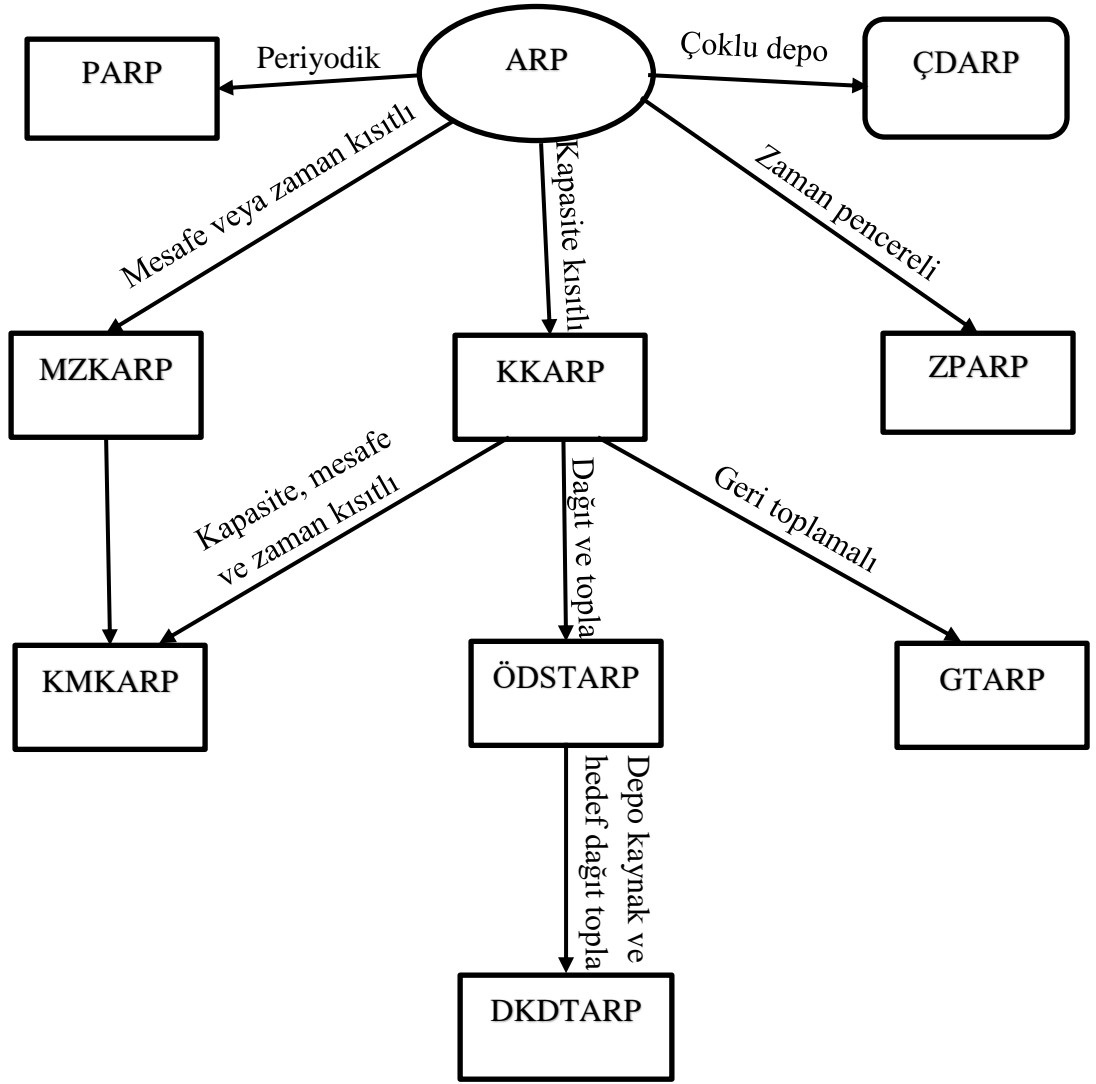
Araç rotalama probleminin gerçekte uygulaması için birçok birden fazla kısıtı ortaya çıkarmaktadır. Bu mevcut kısıtlar 3 temel başlıkta gruplandırılabilir.

**Tablo 2.1:** Araç rotalama problemindeki kısıtlar (Çelikkanat Filiz, 2014).

<b>Araçlarla İlişkili Kısıtlar</b>	<b>Müşterilerle İlişkili Kısıtlar</b>	<b>Diğer Kısıtlar</b>
Aracın kapasite kısıtı örneğin ağırlık veya hacim	Her bir müşterinin bir ürün isteğinde bulunması eya belli çeşitlilikte ürünün ulaştırılması	Aynı gün içerisinde aynı araç ile depoya dönülmesi ve tekrar yola çıkması nedeniyle birden çok turun tamamlanması
Toplam süre kısıtı	Dağıtım yapılabilmesi için belli süre aralıklarının mevcut olması	Bir turun 24 saatten uzun sürmesi
Aracı kullananın çalışma süresinin yasal olarak sınırlı olması		Birden çok deponun mevcut olması

Araç rotalama problemi çeşitleri aşağıda Şekil 2.2’de Weise ve diğerleri, 2010) gösterilmiştir. Araç rotalama problemleri, ürünlerin dağıtımındaki meydana gelen optimizasyon sorunları olarak tanımlanmıştır. Çözüm elde etmek için uygulanacak çözüm şekli ise problemin çeşidine özgü kısıtların meydana getirilerek oluşturulmasından geçmektedir.

Araç rotalama problemleri, tedarik zincirinin son aşaması olan ürün dağıtım sırasında ortaya çıkan optimizasyon problemleri olarak ifade edilmektedir. En iyi çözümü elde etmek amacıyla ele alınan yaklaşım ise, problem çeşitlerine uygun kısıtların oluşturulmasıdır.



Şekil 2.2: Araç rotalama problemi çeşitleri (Weise ve diğerleri, 2010).

### 2.3.1 Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi

Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Probleminde (KKARP) her araç önceden belli bir limite sahiptir ve bu araçların kapasiteleri birbirinin aynısıdır. Aynı şekilde müşterilerin talepleri de araçların kapasiteleri gibi önceden bilinmektedir. Araçlar hareket etmeye öncelikle depodan başlar ve daha sonra depoya dönüp rotalarını tamamlarlar. Müşteriler is teslimatları bir seferde alırlar. KKARP de amaç müşterilere teslim edilecek önceden bilinen sevkiyatlarda harcanarak yolun en aza indirilmesidir (Keskindürk ve diğerleri, 2016; Yazgan, Ercan ve Arslan, 2014).

#### Notasyonlar

$N$ : Müşteri sayısı

$K$ : Araç sayısı

$C$ : Araç kapasitesi

$c_{ij}$ : Müşteri  $i$  den müşteriye  $j$  ye gidene kadar geçen seyahat süresi

#### Karar değişkenleri

$x_{ijk}$ :  $k$  aracı  $i$  den  $j$  ye gidiyorsa 1, aksi halde 0;

Matematiksel Model

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Minimum} Z = \sum_{k \in K} \sum_{ij \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j \in (0)} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)} x_{ijk} - \sum_{i \in \Delta^+(j)} x_{ijk} = 0 \quad \forall k \in K, i \in N \quad (4)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(n+1)} x_{i,n+1,k} = 1 \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i \in N} d_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} \leq C \quad \forall k \in K \quad (6)$$

$$x_{ijk} \geq 0 \quad \forall k \in K, (i,j) \in A \quad (7)$$

$$x_{ijk} \in (0,1) \quad \forall k \in K, (i,j) \in A \quad (8)$$

### 2.3.2 Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi

Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemlerinde (MKARP) ise araçların yol alacağı mesafeler kısıtlı olabilmektedir. Bu şekilde ki problemlere ARP de MKARP olarak isimlendirilmektedir (Apak, 2018).

T: araçların kat edebileceği maksimum mesafe kısıtı olmak üzere,

$$\sum_{i=0} \sum_{j=0} c_{ijk} x_{ijk} \leq T \quad (9)$$

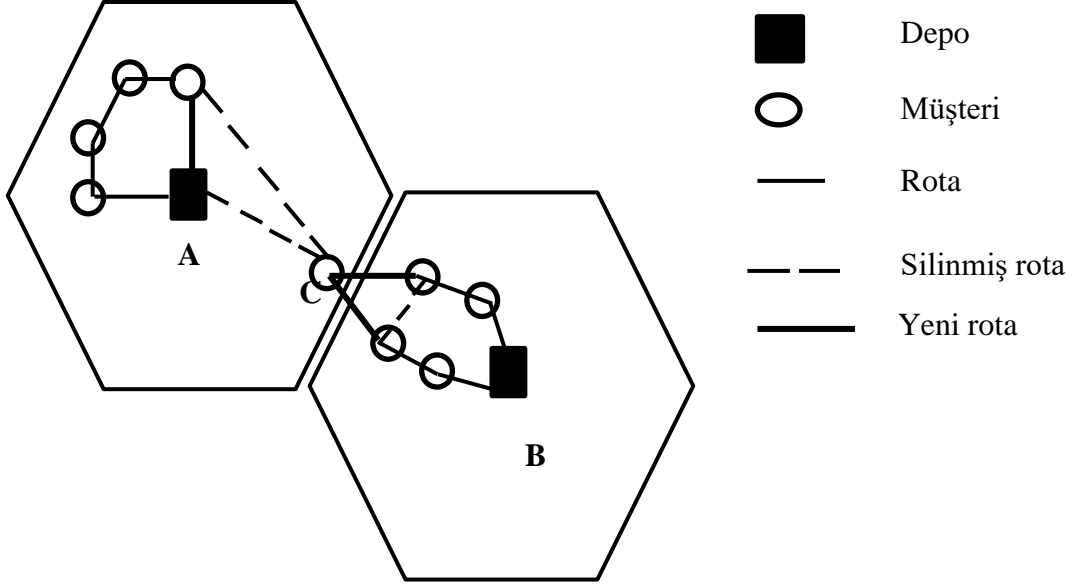
kısıtı elde edilir.

### 2.3.3 Çok Depolu Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi

Birden daha çok depo mevcuttur. Her depo belli bir sayıda araç varken, her araç ise hangi noktadan harekete başladıysa daha sonra o depoya geri dönüşü tamamlamadır. Buradaki asıl amaç ise, tüm araçların ve gidilen mesafeye göre maliyetlerinin toplam maliyeti en aza indirmektedir. Ayrıca, her bir müşteri yalnızca bir araç tarafından bir kere ziyaret tamamlamalıdır (Li, Pardalos, Sun, Pei ve Zhang, 2015; Sombuntham ve Kachitvichyanukul, 2010).

$$\sum_{j \in A} k_{ij} = \sum_{j \in A} k_{ji} \leq 1 \quad \forall k \in K \quad (10)$$

Şekil 2.3'te görülen çok depolu araç rotalama problemi (ÇDÖDSTARP) sıklıkla taşımacılık lojistiğinde sıkça karşılaşılmamasına rağmen çok az ilgi görüldüğü belirtilmiştir (Li ve diğerleri, 2015).



Şekil 2.3 Birden fazla deponun ortak dağılımı altında araç güzergahı sorunu (Li ve diğerleri, 2015).

### ■ Eş Zamanlı ve Karışık Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi

Eşzamanlı ve Karışık Topla Dağıt Araç Rotalama Probleminde (KTDARP) her bir müşteri dağıtım isteğinde bulunmakla birlikte aynı zamanda toplama isteğinde de bulunmaktadır ve bu durumda eş zamanlı bir şekilde müşterilere hizmet sunulmaktadır. (KTDARP) olarak da nitelendirilen bu problem Çözümü zor bir kombinatoriyal optimizasyon problemi olarak adlandırılmıştır (Hezer ve Kara, 2013). Böylece müşteriler yalnızca bir kere ziyaret edilmiş olmaktadır (Çetin, Özkütük ve Gencer, 2011)

Eş zamanlı problem çeşidinden farklı olarak Karışık Alma ve Teslimatla İlgili Araç Rotalama Probleminde teslim alma veya teslim talebinde bulunan müşterilerin karışık bir sırada ziyaretin gerçekleştirilmesidir (Avcı ve Topaloglu, 2015).

### 2.3.5 Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi

Öncelikli olarak dağıtım yapılacak olan müşterilere ardından toplama işlemi için müşterilere uğrayarak ve sonrasında depoya dönülmesine önce dağıt sonra topla araç rotalama problemi olarak adlandırılmaktadır (ÖDSTARP) (Parragh, Doerner ve Hartl, 2008).

#### Notasyonlar:

$M$ : ürün teslim edilecek müşteri sayısı

$N$ : ürün toplanılacak müşteri sayısı

$K$ : araç sayısı

$d_i$ :  $i$  den  $j$  ye olan uzaklık

$a_i$ : ürün teslim edilecek müşterinin talebi ( $i=2, \dots, M+1$ )

$b_i$ : ürün toplanılacak müşterinin talebi ( $i=M+2, \dots, M+N+1$ )

$cap_k$ : aracın kapasitesi ( $k=1, \dots, K$ )

$p_i$ :  $i$ . müşterinin servis süresi ( $i=1, \dots, M+N+1$ )

$e_i$ :  $i$ . müşterisine erken varış süresi ( $i=1, \dots, M+N+1$ )

$l_i$ :  $i$ . Müşterisine geç varış süresi ( $i=1, \dots, M+N+1$ )

$t_i$ : servise başlama süresi

$c_{ij}$ : müşteri  $i$  den müşteri  $j$  ye gidene kadar geçen seyahat süresi

$T$ : araçların kat edebileceği maksimum mesafe kısıtı

$MM$ : ceza katsayısı

$S$ : alt turların oluşmasını engelleyen kısıt

#### Ek karar değişkenleri

$x_{ijk}$ :  $k$  aracı  $i$  den  $j$  ye gidiyorsa 1, aksi halde 0

$u_{ik}$ : eğer  $k$  aracı  $i$ . linehaul müşterisine hizmet ediyorsa 1, aksi halde 0

$v_{ik}$ : eğer  $k$  aracı  $i$ . backhaul müşterisine hizmet ediyorsa 1, aksi halde 0



## Ek kısıtlar

$$\sum_{k=1}^K u_{ik} = 1 \quad (i= 2 \dots, M+1) \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^K v_{ik} = 1 \quad (i= M+2, \dots, M+N+1) \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^{M+1} x_{ijk} = u_{jk} \quad (j=2, \dots, M+1; k= 1 \dots, K) \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^{M+N+1} x_{ijk} = v_{jk} \quad (j=M+2, \dots, M+N+1; k= 1, \dots, K) \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^{M+N+1} x_{ijk} = u_{ik} \quad (i=2, \dots, M+1; k= 1, \dots, K) \quad (15)$$

$$\sum_{j \neq [2, M, +, 1]}^{M+N+1} x_{ijk} = v_{ik} \quad (i= M+2, \dots, M+N+1; k= 1, \dots, K) \quad (16)$$

$$p_1 + c_{1j} - t_j \leq MMx(1-x_{1jk}) \quad (j=2, \dots, M+N+1; k= 1, \dots, K) \quad (17)$$

$$t_i + p_i + c_{il} - T \leq MMx(1-x_{ilk}) \quad (i=2, \dots, M+N+1; k= 1, \dots, K) \quad (18)$$

$$t_i + p_i + c_{ij} - t_j \leq MMx(1-x_{ijk}) \quad (i, j=2, \dots, M+N+1; k= 1, \dots, K) \quad (19)$$

$$e_i \leq t_i \leq l_i \quad (i=1, \dots, M+N+1) \quad (20)$$

### 2.3.6 Ayırık Yükleme ve Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında müşteriyle ilişkili teslimat süresi pencerelerine sahip değişkenler ve müşterilere bölünmüş teslimatlara izin veren değişkenler de dahil olmak üzere, bu sorunun birkaç uzantısını ele almaktadır. Bu değişkenlerin her ikisini de içeren problem yayılımı literatürde daha az dikkat çekmiştir. Bu problemde müşterilere belli bir zaman dilimi ayrılarak bu zaman dilimi içinde dağıtım yapılmasına fırsat vermektedir (McNabb, Weir, Hill ve Hall, 2015).

### **2.3.7 Geri Toplamalı Araç Rotalama Problemi**

Herhangi bir ürünün iadesi olduğunda bu ürünler için uygulanan araç rotalama problemidir (Keskintürk ve diğerleri, 2016). Toplama ile beraber dağıtımda yapılan araç rotalama problemlerine geri toplamalı araç rotalama problemi (GTARP) denilmektedir (Çelikkanat Filiz, 2014).

### **2.3.8 Periyodik Araç Rotalama Problemi**

Periyodik Taşıt Rotalama Problemi, rotaların birkaç günlük bir planlama ufku için belirlendiği klasik kapasitedeki araç rotalama probleminin bir genellemesidir. Her müşterinin bir dizi izin verilebilir ziyaret programı vardır ve sorunun amacı, tüm müşterilere ziyaret gereksinimlerine göre hizmet veren bir dizi minimum maliyet yolu tasarlamaktır (PARP) (Rodríguez-Martín, Salazar-González ve Yaman, 2019).

## **2.4 Araç Rotalama Problemi Taksonomisi**

Taksonomi oluşturmak, bilgiyi pekiştirmenin etkili yollarından biri olarak düşünülmektedir (Reisman, 1992). Senaryo ve fiziksel karakteristikleri olmak üzere araç rotalama problemleri konusunda bir taksonomi geliştirilmiştir (Lahyani, Khemakhem ve Semet, 2015). Bu taksonomi Tablo 2.2’de sunulmuştur. Bu taksonomide Senaryo karakteristikleri ve problemin fiziksel karakteristikleri ana başlıkları üzerinden bir sınıflandırma ile başlanılmıştır.

Tablo 2.2’de yer alan bilgiler ilerleyen zamanlarda yeni teknolojik gelişmelerle ve yeni yaklaşımlarla daha da güncellenebilir ve geliştirilebilir. Çağımızda araçlar nasıl giderek değişiyorsa ve geliyorsa, yeni yaklaşımların ve yeni gelişmelerin de olabileceği düşünülmektedir.

**Tablo 2.2:** Araç rotalama problemlerinin taksonomisi (Lahyani ve diğerleri, 2015).

Senaryo Karakteristikleri		Problem Fiziksel Karakteristikleri	
1.1. Giriş verileri	<ul style="list-style-type: none"><li>• Statik</li><li>• Dinamik</li><li>• Deterministik</li><li>• Stokastik</li></ul>	2.1. Araçlar	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tür: homojen, heterojen</li><li>• Sayı: sabit, sınırsız</li><li>• Yapısı: bölümlere ayrılmış, bölümlere ayrılmış değil</li><li>• Kapasite kısıtlamaları</li><li>• Yükleme politikası: kronolojik sıra, politika yok</li><li>• Sürücü yönetmelikleri</li></ul>
1.2. Karar Yönetim Bileşenleri	<ul style="list-style-type: none"><li>• Rotalama</li><li>• Envanter ve rotalama</li><li>• Konum ve rotalama</li><li>• Rotalama ve sürücü zamanlaması</li><li>• Üretim ve dağıtım planlaması</li></ul>	2.2. Zaman kısıtlayıcıları	<ul style="list-style-type: none"><li>• Müşteri kısıtlama</li><li>• Yola erişim kısıtlaması</li><li>• Depo kısıtlaması</li><li>• Servis zamanı</li> <li>• Bekleme süresi</li></ul>
1.3. Depo Sayısı	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bir</li><li>• Birden fazla</li></ul>	2.3. Zaman penceresi yapısı	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tek zaman penceresi</li><li>• Birden fazla zaman penceresi</li></ul>
1.4. Operasyon türü	<ul style="list-style-type: none"><li>• Teslim alma veya teslim etme</li><li>• Teslim alma ve teslimat</li><li>• Geri dönüş yüklemeleri</li><li>• Dial-a-yolculuğu</li></ul>	2.4. Uyumsuzluk kısıtlaması	<ul style="list-style-type: none"><li>• Özellikle müşteri, depo, araç bölmesi, ürünler ve sürücü arasındaki problemler arasında birçok uyumluluk ve uyumsuzluk kısıtlaması ortaya çıkabilir. Bu uyumluluklar veya uyumsuzluklar, sebep olan faktöre bağlı olarak iki tipte sınıflandırılabilir:<ul style="list-style-type: none"><li>• Fiziksel uyumluluklar/ Uyumsuzluklar ve</li><li>• Geçici uyumluluklar/uyumsuzluklar.</li></ul></li></ul>
1.5. Yük ayırma kısıtı	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ayırmaya izin verilmesi</li><li>• Ayırmaya izin verilmemesi</li></ul>	2.5. Özel kısıtlamalar	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kararlar kaynakların dış kullanımı</li><li>• Çevre sorunları</li><li>• Çapraz sevkiyat</li></ul>
1.6. Planlama periyodu	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tek periyotlu olması</li><li>• Çok periyotlu olması</li></ul>	2.6. Amaç fonksiyonu	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tek hedef</li><li>• Birden çok hedef</li></ul>
1.7. Araçların çoklu kullanımı	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tek tur atması</li><li>• Çoklu tur atması</li></ul>		

### 3. OTOBÜS ÇİZELGELEME PROBLEMİ

#### 3.1 Kuramsal Çerçeve

Taşımacılık programlaması 1960'lara kadar dayanan bir geçmişe sahiptir. Bu programlamaların asıl amacı daha az maliyetle daha hızlı bir şekilde yolcu ve yük taşımacılığına dayanmaktadır (Wren, 1998). Bu amaç doğrultusunda taşımacılık firmaları ve bilim insanları matematiksel programlama modelleri geliştirmiş zamanla da işin içine bilgisayar teknolojileri katılarak karlılığın optimum seviyeye ulaşması sağlanmıştır. Günümüze dek çeşitli isimlerle (TRACKS, TRACKS, VAMPIRES, TASC, ILP, IMPACS, HASTUS) sistemler geliştirilmiştir (Wren, 1998).

İlk karmaşık araç çizelgeleme süreci 1970'de bir otobüs filosu üzerinde gerçekleştirilmiştir. İlk deneme İngiltere'de, Leeds ile Sheffield arasında Güney Yorkshire'de bulunan Barnsley isimli bir kasabada yapılmıştır. Barnsley'de, Yorkshire Traction isimli bir firma için tasarlanan çizelgeleme planına göre çeşitli sınırlılıklara rağmen yolcuların kısmen de olsa daha etkili ve daha ekonomik bir şekilde ulaşım hizmeti almaları sağlanmıştır (Wren, 1972).

Ardından Yorkshire Traction firması sürecin daha fazla araç ve depoyu içerebilecek şekilde gelişimine maddi anlamda katkı sunmuştur. Bu ilk gelişim aşamasında araçların kalkış ve varış noktaları arasında maksimum yolcu taşınması konusunda sezgisel çalışmalar yapılmıştır. En az maliyetle en fazla yolcu taşınabilmesi için en iyi güzergahın seçimi ve araçların bu güzergahta hangi sürelerde nasıl çizelgeleneceği belirlenmeye çalışılmıştır. İlk testler sırasında farklı maliyetlerin ortaya çıkmasına neden olan beklenmedik problemlerin belirlenmesi ve ortaya çıkan ekstra maliyetin düşürülmesine odaklanmıştır. Ancak yapılan bu çalışmalara karşın araç kapasitesinin yetersizliği sebebiyle "Atama Problemi Yaklaşımının" hala geliştirilemediği görülmüştür. Yine de otobüs şirketlerinin elde edilen verimlilikten memnun kaldığı ifade edilebilir. İngiltere'nin öncü olduğu bu süreçte Yorkshire Traction dışında başka firmaların da geliştirdikleri örnek uygulamalarla sürece katkı sunduğu gözlenmiştir (Manington, Wren, 1975; Kwan, Rahin, 1999).

Her ne kadar geliştirilen çizelgeleme planlarıyla tatmin edici sonuçlar elde edilmiş olsa bile teknolojinin hızla gelişmesi ve beklenmedik şekilde artan yolcu talebi ve araç sayısı karşısında geliştirilen çizelgeleme planlarının yeterince verimli olmadığı ortaya çıkmıştır.

Greater Manchester Transport otobüs çizelgeleme programını düzenli olarak kullanan ilk firmadır. VAMPIRES 1970'ler boyunca kullanılmasına rağmen; az sayıda araç filosu (10'dan az) bulunan şirketler için gereksiz olduğu söylenebilir. Çünkü bu araçların günlük aktiviteleri yolcuları gidecekleri yerlere götürüp geri dönmekten ibaretti. Bu nedenle de bir bölgedeki olası tüm yolculuk kombinasyonlarını belirlemek ve buna göre esnek rotalar çizmek gereksizdi. Bu nedenle VAMPIRES'e oranla daha basit bir çizelgeleme programı olarak nitelendirilebileceğimiz TASC geliştirilmiştir (Smith & Wren, 1981). TASC, yolcu olmayan güzergahların belirlenmesi ve bu sayede verimliliğin artırılmasını içeren bir geri bildirim programı olarak 1980'lerin başlarında itibaren birçok otobüs firmasınınca kullanılmıştır. TASC başlangıçta VAMPIRES'e oranla daha basit ve hızlı bir sistem şeklinde tasarlanmasına rağmen kullanıcıların şikayetleri (rotaların en uygun hale getirilmediği) doğrultusunda yapılan yeni düzenlemeler neticesinde giderek daha karmaşık hale gelmiştir. Bu dönemde bilgisayar sistemlerinin de işin içine girmesine paralel olarak yolculara daha iyi hizmet sunabilmek amacıyla VAMPIRES ve TASC entegre hale getirilmiştir. Ancak gerçekleştirilen denemelerden sonra TASC VAMPIRES'ten dahi daha karmaşık ve hantal hale gelmiştir. Bu nedenle 1983'de sistemi mikrobilgisayarlara dönüştürme kararı verilmiş ve ilk mikrobilgisayar sürümünü de VAMPIRES'in basit bir versiyonunu temel alınarak yapılmıştır. Hatta bu sürüm günümüzde dahi bazı otobüs firmalarınınca kullanıma devam etmektedir (Chamberlain & Wren),

VAMPIRES ve TASC programlarını tasarlayan ekip, bu programlara dair haklarını satarak otobüs çizelgelemeye nesne yönelimli bir yaklaşım tasarlamaya ve BOOST adlı yeni bir program geliştirmeye karar vermiştir. BOOST aslında VAMPIRES algoritmasına benzemekle birlikte onun modifikasyonlu bir hali olarak nitelenmektedir. BOOST, otobüs çizelgelemede güzergahlarının esnek olarak tanımlanması ve servis frekanslarının işin içine dahil edilmesini içermektedir. Programda araç sayısının değişimi, imkansızlıkların gösterimi ve böylece seyahatlerin telafisinin sağlanması sunulan çeşitli çözümler arasında yer almaktadır. Ayrıca

BOOST programının ekranında kullanıcının gün boyunca araçları takip etmesini ve olası herhangi bir işlemin etkisini tamamen araştırmasını sağlayan grafikler de bulunmaktadır. Programda ayrıca sürücü çizelgeleme için giriş dosyaları oluşturabilir ve her veri yolu için tahliye noktalarının ziyaret edildiği zamanları gösterebilir ve çıktılar alınabilir. BOOST günümüzde İngiltere'nin en büyük otobüs operatörü olan First firması da dahil birçok otobüs firması tarafından kullanılmaktadır.

### 3.2 Literatür İncelemesi

Sengupta & Gupta (1980), araç maliyetleri, araç başına brüt getiri, yolcu bekleme süreleri gibi bileşenleri optimize eden bir dizi doğrusal olmayan çizelgeleme modeli geliştirmiştir. Ceder (1987), yolcu yoğunluğu verilerini kullanarak otobüs tarifeleri oluşturmak için alternatif yöntemler sunmuştur.

Chung (1990), otobüs ağında yoğun ve yoğun olmayan saatler için bir seyahat süresi tahmin sürecini ele alarak genetik algoritma vasıtasıyla beklenmedik gecikmelere karşı transferleri sürdürmek için gerçek zamanlı bir kontrol stratejisi hazırlamıştır. Daganzo (1990), gelen ve giden yolların kesiştiği tek problem içeren bir ağ koordinasyon problemine ilişkin çalışmalar yapmıştır.

James & Steven (1990), "2015 IEEE IEEM 245" program planlama problemi için, her biri aynı başlangıç ve varış noktasına gidecek olan öğrenci gruplarının taşınması ile ilgili bir optimizasyon modeli geliştirmiştir. Lee & Schonfeld (1991), bir otobüs güzergahını demiryolu hattı ile senkronize etmeyi amaçlamıştır. Ancak değişken varış zamanları ile karakterize edilen durumlar için oldukça karmaşık olması sebebiyle bir senkronizasyona gerek olmadığı sonucuna ulaşmıştır.

Adamski (1993), ortak güzergahları paylaşan ayrı filoların senkronizasyon problemini ele almıştır. Olası kalkış zamanlarını dikkate alarak sorunu küçük hesaplama kaynaklarını kullanarak entegre bir tabu arama ve genetik yaklaşımla çözmüştür. Chin & Schonfeld (1998), bir demiryolu hattı ve besleme otobüslerinin zamanlamasını bütünleştirirken toplam maliyetini optimize etmeye çalışmıştır.

Ceder & Tal (2001), daha etkin yolcu transferini sağlamak için bazı problemlerde farklı hatların gelişini senkronize etme sorununu ele almıştır. Senkronizasyon için duraklama sürelerini ve seyahat sayılarını sınırlılıklar olarak belirlemiştir. Burada amaç eşzamanlı varış sayısını en üst düzeye çıkarmaktır. Problemin çözümü için yapıcı buluşsal süreçler tasarlamıştır.

Ceder ve diğ. (2001), bir sezgisel uygulama geliştirerek, saniyeler içinde iyi çözümler buldukları gerçek bir vaka çalışmasında kullanmıştır. Chakroborty ve diğ. (2001), doğrusal olmayan bir karışık tamsayılı problem modeli hazırlayarak bu problemi ikili kodlanmış genetik algoritma kullanılarak çözmüştür.

Yuqing (2001), istasyonlardaki toplam yol farkını en aza indirerek ardışık araç çiftleri için istenen yol güzergahlarını korumak amacıyla gerçek zamanlı bir yol kontrol modeli tasarlamıştır. Yan (2002), iç içe geçmiş çoklu ağ akış problemlerinin çözümü için matematiksel bir model formüle etmiştir.

Fu ve diğ. (2003), araçların tüm duraklarda durmaksızın bazı durakları atlamalarına imkan tanıyan bir çizelgeleme stratejisi ileri sürmüştür. Eranki (2004), Ceder'in algoritmasına dayanan yapıcı bir sezgisel algoritma tasarlamıştır. Çalışmada değişkenlerini yeniden yönlendirme ve değişkenlerin yeniden tanımlanması gibi bazı bileşenleri ele alınması daha gerçekçi bir modelin çıkmasını sağlamıştır.

Huisman ve diğ. (2005), araç ve mürettebat çizelgelerinin entegrasyonu için iki algoritma önermiştir. Her iki algorithmada sütun oluşturma ve Lagrangian gevşeme kombinasyonuna dayanmaktadır. Spada ve diğ. (2005), çoklu okul otobüsü çizelgeleme problemlerine ilişkin çalışmış ve sezgisel yaklaşımlar önermiştir. Önerilen yaklaşıma göre okullar başlangıç zamanlarına göre değerlendirilir ve her okul için rotalar en az araç gerektirecek şekilde belirlenir. Daha sonrasında ise mümkünse rotalar birleştirilir.

Huisman & Wagelmans (2006), dinamik versiyonlu araç ve mürettebat çizelgeleme için bir çözüm yaklaşımı ileri sürmüştür. Kliwer ve diğ. (2006), havayolu çizelgeleme problemlerini otobüs çizelgeleme problemlerinde uygulamak için uyarlamış ve iyi sonuçlar elde etmiştir.

Schröder & Solchenbach (2006), yolcu transferinin daha iyi ölçülmesinin gerekliliğine dikkat çekmiştir. Çünkü bekleme sürelerini en aza indirmek, otobüs duraklarındaki duraklarda sık karşılaşılan gecikmeler nedeniyle yolcu transferlerinde aksamalara ve risklere yol açabilmektedir. Araştırmacılar zaman pencerelerini kullanarak farklı transfer türlerinin maliyetini en aza indirmek için bir formül ortaya atmıştır.

Ceder (2007), yolcu taleplerinin değerlendirilmesine imkan tanıyarak araç sayısı ve güzergahının belirlenmesine yönelik olarak dört farklı yöntem ileri sürmüştür. Chuanjiao ve diğ. (2008), sabit hızda çalışan BRT araçlarını göz önünde bulundurarak, maliyet optimizasyonu için değişken uzunluktaki genetik kodlama algoritması geliştirmiştir. Guihaire & Hao (2008), transit ağların stratejik planlaması konusunda çalışmıştır.

Bruno ve diğ. (2009), farklı taşıma sistemleri arasında senkronizasyonu ele alarak intermodal transit sistem için transfer optimizasyonu amaçlamıştır. Yaptıkları çalışmada işletme maliyetini en aza indirmek için başlangıç zaman çizelgesini de göz önüne alarak iki çözüm yolu sunmuştur. Ceder (2009), PT araçları için en uygun dağıtım politikasını bulmaya yönelik bir algoritma geliştirmeyi amaçlamıştır.

Daganzo (2009), otobüs durakları için bekleme süreleri oluşturmak üzere gerçek zamanlı verilere dayanan dinamik bir yöntem geliştirir. Fleurent & Lessard (2009), araç sayısı ve zaman gibi maliyetlerini minimize etmek için bir optimizasyon yaklaşımı tasarlamıştır. Kim ve diğ. (2009), kritik zamanlama alanları için mikroskobik talep ve seyahat süresi duyarlı bir zaman çizelgesi geliştirmiştir.

Junhyuk ve Kim (2010), okul otobüsü yönlendirme problemlerini inceleyerek otobüs durakları, maksimum yolcu kapasitesi, maksimum sürüş süresi gibi çeşitli sınırlılıkları göz önünde bulunduran bir program geliştirmiştir. Li ve diğ. (2010), talep değişkenliği ve dolayısıyla değişken yönler dikkate alınarak intermodal taşımacılık ağındaki farklı hizmetlerin etkileşimini optimize etmek için transit çizelgeleme problemini araştırmıştır. Problemin çözümü için arz-talep dengesi yaklaşımını birleştiren bir sezgisel çözüm algoritması kullanmıştır.



Chen (2012), güzergâh ve ortalama yolcu bekleme sürelerini dikkate alan sezgisel bir akış ayrıştırma algoritması geliştirilmiştir. Chen bu sistemi bilhassa okul servislerinin optimize hale getirilmesi için tasarlamıştır. Kim ve diğ. (2012), özel durumlar için kesin yaklaşımlara dayalı iki atama problemi ve daha genel durumlar için bir sezgisel algoritma önermiştir.

Rieraledesma ve diğ. (2012), ARP'nin bir genellemesini, karışık tamsayılı programlama formülasyonu kullanarak durak seçimi ve otobüs güzergahı seçimini birleştiren bir çizelgeleme hazırlamıştır. Park ve diğ. (2012), okul otobüsü rotalama problemi için karma bir algoritma geliştirmiş ve araç sayısı üzerindeki etkilerini ölçmüştür.

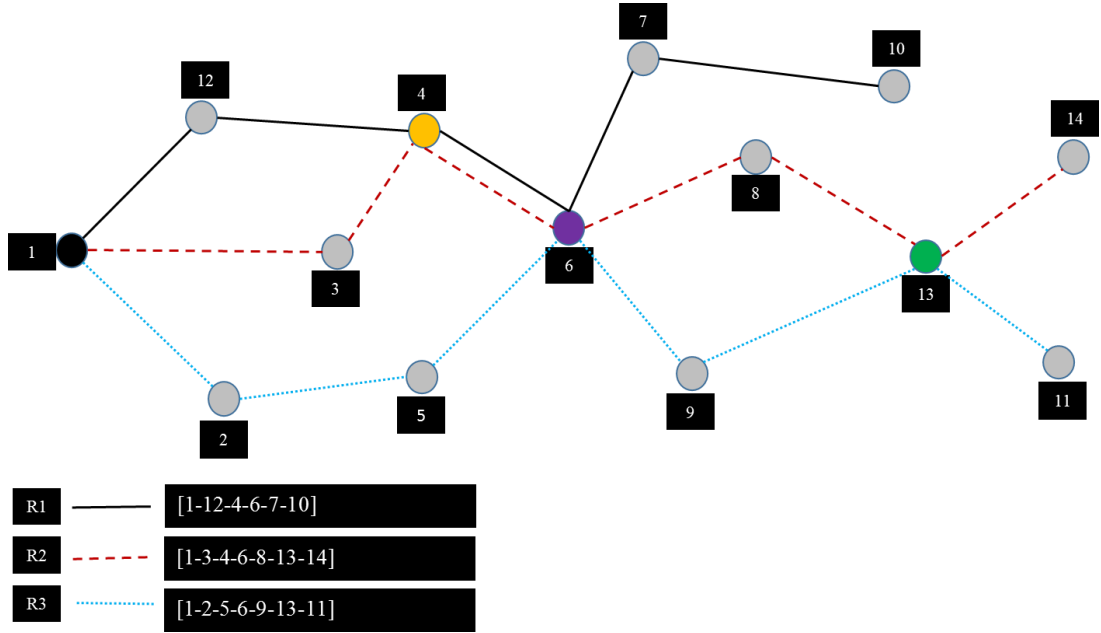
Euchi & Mraih (2012), kentsel alanlarda okul otobüsü rotalama problemi (SBRP) çözmek için yerel arama algoritmasına sahip yapay karınca kolonisine dayanan karma bir hesaplama yöntemi geliştirmiştir. Schittekat ve diğ. (2013), MIP ismini verdikleri bir model geliştirerek seyahat mesafesini ve bekleme sürelerini en aza indirmeye çalışmışlardır.

Literatür incelendiğinde otobüs çizelgeleme problemlerine ilişkin olarak Sengupta & Gupta (1980), Ceder (1987), Chung (1990), Daganzo (1990), James & Steven (1990), Lee & Schonfeld (1991), Adamski (1993), Chin & Schonfeld (1998), Ceder & Tal (2001), Ceder ve diğ. (2001), Chakroborty ve diğ. (2001), Yuqing (2001), Yan (2002), Fu ve diğ. (2003), Eranki (2004), Huisman ve diğ. (2005), Spada ve diğ. (2005), Huisman & Wagelmans (2006), Kliewer ve diğ. (2006), Schröder & Solchenbach (2006), Ceder (2007), Kliewer ve Bunte (2007), Chuanjiao ve diğ. (2008), Guihaire & Hao (2008), Bruno ve diğ. (2009), Ceder (2009), Daganzo (2009), Fleurent & Lessard (2009), Kim ve diğ. (2009), Junhyuk ve Kim (2010), Li ve diğ. (2010), Chen (2012), Kim ve diğ. (2012), Rieraledesma ve diğ. (2012), Park ve diğ. (2012), Euchi & Mraih (2012), Schittekat ve diğ. (2013)'nın çalışmalarının olduğu belirlenmiştir. Araştırmacıların maliyetleri hem firmalar hem de yolcular için en aza indirmek ve müşteri memnuniyetini sağlanmak amacıyla çizelgelemelerin optimize edilmesi konusunda çalışmalar yaptığı görülmektedir.

## 4. TOPLU TAŞIMA SİSTEMLERİ İÇİN DİNAMİK ROTALAMA PROBLEMİ

Şehirlerde toplu taşıma hizmetleri geleneksel olarak bölgelere göre tasarlanmış sabit otobüs hatları ile sağlanır. Bu tez için araştırma problemi olarak sabit olarak tasarlanmış geleneksel otobüs hatlarının dinamik olarak programlanması durumunda ekonomik bir tasarruf sağlanıp sağlanmadığı araştırılacaktır. Bu araştırma da temel varsayım yolcular ile toplu taşıma hizmeti sağlayanlar arasında her bir durakta kaç yolcunun o an için var olduğunu belirlemeye yardımcı olan bir sistemin var olduğu varsayılmaktadır. Otobüs hatları için belirlenen durakların sabit ve hatların sabit olduğu geleneksel durum ile durakların sabit hatların değişken olarak oluşturulduğu model karşılaştırılacaktır.

Bu amaçla 14 durak ve 3 hattan oluşan bir problem tasarlanmıştır. Tasarlanan probleme ilişkin hatları ve durakları gösterir çizge Şekil 4.1 de verilmiştir.



Şekil 4.1: Tasarlanan probleme ilişkin sabit hatları ve durakları gösterir çizge

Bu problem için iki senaryo hazırlanmıştır. İlk senaryo Senaryo-1 ve ikinci senaryo Senaryo-2 olarak ifade edilmiştir. Her iki senaryo geleneksel ve dinamik olmak üzere iki yaklaşımla çözülmüştür. R1 olarak adlandırılmış olan rota birinci otobüsün hareket güzergahını göstermektedir. R2 ve R3 olarak adlandırılan rotalarda

aynı şekilde ikinci ve üçüncü otobüsün hareket güzergahını ve duraklarını göstermektedir. Tüm hatlar 1 nolu duraktan harekete başlamaktadır. Üç hattın birlikte ve ikişer duraktan oluşan kesişim durakları mevcuttur. R1 ve R2 hatları 4 nolu durakta, R2 ve R3 hatları 13 nolu durakta, R1, R2 ve R3 hatları hep birlikte 6 nolu durakta kesişmektedir.

Tablo 4.1’de Otobüs hatları ve durakları gösterir matris verilmiştir. Bu matris de uğranan duraklar herhangi bir hat için 1 ile ifade edilirken, uğranmayan duraklar 0 olarak kodlanmıştır.

**Tablo 4.1:** Tasarlanan probleme ilişkin hatları ve uğranan durakları gösterir matris

Duraklar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Hat- 1</b>	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0
<b>Hat- 2</b>	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1
<b>Hat- 3</b>	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0

Problemde kullanılan 14 adet durak için koordinatlar Tablo 4.2’de verilmiştir. Bu koordinatlar Dr. M. G. Kay’in Lojistik Mühendisliği ders notlarından HW8 adlı dosyadan alınmıştır (Kay, 2006; Quak, 2008).

**Tablo 4.2:** Problem için durakların coğrafi koordinatları

X	Y
-71.0884	42.3672
-71.0238	42.2854
-71.1102	42.405
-71.1471	42.3267
-71.0963	42.3616
-71.0548	42.355
-71.0601	42.3854
-71.1203	42.321
-71.0028	42.437
-71.0917	42.2922
-71.0873	42.261
-71.1384	42.2656
-70.9792	42.5533
-71.0475	42.4298

Tablo 4.3’de Belediyeler tarafından kullanılan araçların kapasiteleri verilmiştir. Burada araçlara ilişkin kiralama bedeli teorik olarak Türk Lirası cinsinden varsayılmıştır. Birim maliyet olarak ifade edilen sütun ise kiralama bedelinin yolcu kapasitesine bölünmesi ile hesaplanmıştır. Bu durumda yolcu başına ortalama maliyet elde edilebilmiştir. Tasarlanan problem için tek tip araç dikkate alınmıştır. Bu araştırmada kullanılan araç 150 yolcu kapasiteli D tipi araç için çözüm ve hesaplamalar yapılmıştır. Böylece taşınan ve/veya taşınamayan her yolcu başına maliyet 10 liradır.

**Tablo 4.3:** Uygulamada kullanılan araç tipleri ve maliyetleri

Otobüs Tipi	Oturan	Ayakta	Kapasite	Kiralama Bedeli	Birim Maliyet
A	21	43	64	640	10
B	25	43	68	680	10
C	21	51	72	720	10
D	35	115	150	1500	10

#### 4.1 Analiz Edilecek Senaryolar

Tasarlanan ve bir önceki bölümde detayları açıklanan örnek problem temel alınarak iki senaryo analiz edilecektir. Bu senaryolara ilişkin detaylar bu bölümde açıklanacaktır. Her iki senaryo için mevcut durumu ifade eden geleneksel model ve önerilen yeni yaklaşım olarak dinamik hat oluşturma olmak üzere iki yapı karşılaştırılacaktır. Analiz edilecek senaryolar için standart 4 matris kullanılmaktadır. Bu matrisler sırası ile R0, R1, R2 ve R3’tür. R0 matrisi (vektörü) 1 nolu duraktan binen yolcu sayılarını ve o yolcuların inecekleri durakları göstermektedir. R1, R2, ve R3 matrisleri her bir hat için yolcu biniş ve iniş duraklarını göstermektedir.

#### 4.2 Senaryo-1

Senaryo-1 için temel varsayımımız var olan araç kapasitesinin aşılmadığı durumu dikkate alacak şekilde bir tasarım yapılmıştır. Varsayımsal olarak her bir hat için tek bir otobüs atanmış ve kapasitesi 150 kişidir. Toplamda 3 hat için 450 kişilik bir taşıma kapasitesi sözkonusu iken taşınacak yolcu sayısı 415 kişidir. 415 kişi 2,8 otobüs ile taşınabileceği teorik olarak hesaplanmıştır. Bu durumu özetleyen bilgi Tablo 4.4’de verilmiştir.

**Tablo 4.4:** Hatlardaki toplam yolcu sayısı ve toplam kapasite

Kapasite	450	3	Gerçek Otobüs Sayısı
Toplam Yolcu Sayısı	415	2,8	Hesaplanan Otobüs Sayısı

Tablo 4.5'te bulunan R0 matrisi 3 hat için de ilk duraktan binen yolcuların hangi duraklarda ineceği bilgisini göstermektedir.

**Tablo 4.5:** R0 matrisi: ilk duraktan binen yolcu sayıları

Duraklar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Toplam
<b>R0</b>	0	9	10	2	11	14	3	5	4	12	1	13	6	7	<b>97</b>

Tablo 4.6'da yer alan R1 matrisi birinci hat için ilk durak dışında kalan yolcuların biniş ve iniş durakları ile yolcu sayılarını gösteren matristir. Satırlar binilen durak numaralarını ve yolcu sayılarını sütunlar ise o duraklarda inilecek yolcu sayılarını göstermektedir. R1 matrisinde, satır 4'e bakıldığında, 4 numaralı duraktan binecek yolcu sayıları 2, 15, 13 olmak üzere toplam 30 kişidir. Bu yolcular sırasıyla, 2 kişi 6 nolu durakta, 15 kişi 7 nolu durakta ve 13 kişi 10 nolu durakta inecektir. Tüm R1 , R2 ve R3 matrislerinin yapısı bu şekilde tasarlanmıştır. Tablonun sonunda bulunan "Toplam" sütunu ilgili duraktan binen toplam yolcu sayısını göstermektedir. O hatta taşınacak toplam yolcu sayısı ise tablonun en alt satırında "Genel Toplam" olarak ifade edilmiştir.

**Tablo 4.6:** R1 matrisi: 1 numaralı hat üzerinde inen/binen yolcu sayıları

R1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Toplam
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	<b>2</b>	<b>15</b>	0	0	<b>13</b>	0	0	0	0	<b>30</b>
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	9	0	0	<b>11</b>	0	0	0	0	<b>20</b>
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>14</b>	0	0	0	0	<b>14</b>
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	<b>6</b>	0	<b>12</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>18</b>
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Genel Toplam</b>															<b>82</b>

Tablo 4.7’de yer alan R2 matrisi ile 1 nolu durak dışındaki tüm yolcu iniş ve biniş sayılarını durak numaraları ile ifade etmektedir.

**Tablo 4.7:** R2 matrisi: 2 numaralı hat üzerinde inen/binen yolcu sayıları

R2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Toplam
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	5	0	4	0	13	0	0	0	0	3	10	35
4	0	0	0	0	0	14	0	9	0	0	0	0	8	5	36
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	6	10	23
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	6	17
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Genel Toplam</b>															<b>122</b>

Tablo 4.8’de yer alan R3 matrisi ile 3 numaralı hat için incek ve binecek yolcu sayılarını durak numaraları ile birlikte ifade etmektedir.

**Tablo 4.8:** R3 matrisi: 3 numaralı hat üzerinde inen/binen yolcu sayıları

R3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Toplam
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	7	0	0	8	0	11	0	12	0	39
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	11	0	0	13	0	10	0	14	0	48
6	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	9	0	3	0	15
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	12
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Genel Toplam</b>															<b>114</b>

### 4.3 Senaryo-2

Senaryo-2 için temel varsayımımız var olan araç kapasitesinin çok üzerinde bir yolcu sayısının var olduğu durumu dikkate alacak şekilde bir tasarım yapılmıştır. Varsayımsal olarak her bir hat için tek bir otobüs atanmış ve kapasitesi 150 kişidir. Toplamda 3 hat için 450 kişilik bir taşıma kapasitesi sözkonusu iken taşınacak yolcu sayısı 1347 kişidir. 1347 kişi 9 otobüs ile taşınabileceği teorik olarak hesaplanmıştır. Bu durumu özetleyen bilgi Tablo 4.9 da verilmiştir.

**Tablo 4.9:** Duraklardaki toplam yolcu sayısı

<b>Kapasite</b>	450	3	Mevcut Durum-Otobüs
<b>Toplam Yolcu Sayısı</b>	1347	9	Beklenen Çözüm-Otobüs

Senaryo-2 için de inen/binen yolcu sayıları R0, R1, R2 ve R3 matrisleri ile gösterilmiştir. Matrisler Problem 1’de ifade edilen veri yapısı ile aynı formdadır.

Tablo 4.10’da R0 matrisi verilmiştir. R0 matrisi 3 hat için binen yolcu sayılarını ve hangi yolcuların hangi duraklarda inceklerini göstermektedir.

**Tablo 4.10:** R0 matrisi: ilk duraktan binen yolcu sayıları

<b>Duraklar</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>Toplam</b>
<b>R0</b>	0	21	30	33	44	24	22	25	34	32	21	18	16	50	<b>370</b>

R1 matrisi, ilk durak hariç olmak üzere birinci hattaki duraklardaki inen/binen yolcu sayılarını ve iniş /biniş duraklarını ifade etmektedir ve Tablo 4.11’de gösterilmiştir. Bu matriste 0 olarak ifade edilen yerler duraklarda yolcu iniş ya da binişi olmadığını ifade etmektedir. Bu matriste yolcu sayılarının yer aldığı yerler ise satır ve sütun açısından okuma yönüne göre iniş kimi yerde ise biniş olarak ifade edilen kısımları göstermektedir. En son sütunda da toplam olarak o duraklarda kaç kişinin bulunduğu bilgisi yer almaktadır. Bu sayılar hem statik olarak yapılan çözümde hem de dinamik olarak yapılan çözümde kullanılmıştır.

**Tablo 4.11:** R1 matrisi: 1 numaralı hat üzerinde inen/binen yolcu sayıları

<b>R1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>Toplam</b>
<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>2</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>3</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>4</b>	0	0	0	0	0	20	35	0	0	33	0	0	0	0	88
<b>5</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>6</b>	0	0	0	0	0	0	19	0	0	41	0	0	0	0	60
<b>7</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	14
<b>8</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>9</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>10</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>11</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>12</b>	0	0	0	46	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	74
<b>13</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>14</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Genel Toplam</b>															236

Tablo 4.12’de R2 matrisi ikinci hat için ilk durak dışında kalan yolcuların sayılarını ve iniş/biniş duraklarını göstermektedir.

**Tablo 4.12:** R2 matrisi: 2 numaralı hat üzerinde inen/binen yolcu sayıları

<b>R2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>Toplam</b>
<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
<b>2</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
<b>3</b>	0	0	0	50	0	40	0	13	0	0	0	0	3	10	<b>116</b>
<b>4</b>	0	0	0	0	0	34	0	9	0	0	0	0	28	5	<b>76</b>
<b>5</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
<b>6</b>	0	0	0	0	0	0	0	70	0	0	0	0	6	10	<b>86</b>
<b>7</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
<b>8</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	6	<b>17</b>
<b>9</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
<b>10</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
<b>11</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
<b>12</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
<b>13</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	<b>11</b>
<b>14</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
<b>Genel Toplam</b>															<b>306</b>



Tablo 4.13’de R3 matrisi üçüncü hat için ilk durak dışında kalan yolcuların inecekleri binecekleri durakları ve inen/binen yolcu sayılarını göstermektedir.

**Tablo 4.13:** R3 matrisi: 3 numaralı hat üzerinde inen/binen yolcu sayıları

<b>R3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>Toplam</b>
<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
<b>2</b>	0	0	0	0	35	70	0	0	28	0	33	0	22	0	<b>188</b>
<b>3</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
<b>4</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
<b>5</b>	0	0	0	0	0	41	0	0	35	0	20	0	14	0	<b>110</b>
<b>6</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	39	0	23	0	<b>92</b>
<b>7</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
<b>8</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
<b>9</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
<b>10</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
<b>11</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
<b>12</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
<b>13</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0	0	0	<b>45</b>
<b>14</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
<b>Genel Toplam</b>															<b>435</b>

#### **4.4 Matlog: Logistics Engineering Matlab Toolbox**

Matlog matlab programlama dilinde yazılmış olan bir lojistik uygulamalarda kullanılan yazılımdır. Yapılan çalışmada koordinatlar M. G. Kay'ın HW8 ders notlarından alınmıştır. Matlog, 2006 yılında Kay tarafından geliştirilen ve indirilmesi ücretsiz bir lojistik mühendisliği Matlab araç kutusudur. Bu araç kutusu, araç rotalama problemini zaman pencereleriyle çözmek için bir fonksiyon içerir ve tedarikçilere araç rotalama planının tasarımına dahil etmesini sağlar (Kay, 2006; Quak, 2008).

Matlog, lojistik mühendisliği ile alakalı olan farklı talepleri bulmak için hesaplama rutinlerinden oluşan bir veri koleksiyonudur. Matlog, Matlab'ın içerisinde bir araç kutusu mantığı ile çalışır. Böylelikle bilgilerin girilebildiği ve çıktıların elde edildiği bir ara yüze sahip çözücü haline gelir. Matlog, Matlab bünyesinde kullanılabilecek çeşitli lojistik mühendisliği ile ilgili görevlerin yerine getirilmesi için kullanılabilecek bir hesaplama rutinleri ve verileri topluluğu olarak adlandırılmaktadır (Kay, 2016).

Matlog, başlangıçta, Bilgisayar Destekli Planlama ve Çizelgeleme (CASP-Computer Aided Planning and Scheduling) logistics'in ticari ürün Tedarik Zinciri Tasarımcısı ve RoutePro'nun yerine bir lisansüstü Lojistik Mühendisliği dersinde öğretim amacıyla geliştirilmiştir. Bir eğitim ortamında, özellikle lojistik mühendisliği öğretirken, öğrencilerin esnek bir hesaplama aracına sahip olmaları ve mümkünse gerektiğinde derinlemesine ve kullandıkları prosedürlerle ilgili tüm algoritmik ayrıntıları görmeleri önemlidir (Kay, 2006).

Son yıllarda Matlog'un önemli kullanım alanlarından birisi de eğitim alanı olmuştur. Matlab çok kararlı bir kodlama ortamı olmakla beraber on beş yıl önce geliştirilen Matlog fonksiyonlarının çoğu hala değişmeden çalışmaktadır (Kay, 2016).

##### **4.4.1 Kullanılan Matlog Araç Rotalama Kodları ve Açıklamaları**

Bu bölümde tezde rotalama için kullanılan kodun her bir satırı ve ne işlem yaptığı hakkındaki açıklamalar yer almaktadır. Her iki senaryo için de aynı kod kullanılmıştır.

Matlog ile otobüs rotalama kodu aşağıdaki gibidir:

```
clear; clc; close all; //öncelikle bellekteki veriler temizlenir
%%---Probleme İlişkin Verinin Okunması-----
load ProbNData %% Problem verisini yükle, N=1,2
ProbXYGeo %% Probleme ilişkin coğrafi koordinatlar dosyası
XY=XYGeo; %% Coğrafi koordinatları XY olarak ata
b=PNdata.b; %% Problem N 'e ilişkin başlangıç düğümleri
e=PNdata.e; %% Problem N 'e ilişkin varış düğümleri
q=PNdata.q; %% Yolcu sayılarının okunması ve q değişkenine atanması
s=PNdata.s; %% Yüklere ilişkin yoğunluk değerleri ( Otobüs çizelgeleme için etkisiz)
Kwt=PNdata.Kwt; %% Otobüs kapasitesi ( Ağırlık ve hacim eşdeğer alınmıştır)
Kcu=PNdata.Kcu; %% Otobüs kapasitesi ( Ağırlık ve hacim eşdeğer alınmıştır)
D = dists(XY,XY,'km'); %% Uzaklık matrisinin km olarak hesaplanması
sh = vec2struct('b',b,'e',e,'q',q); %% Yüklerin başlangıç ve bitiş noktalarının bir matrise dönüştürülmesi
tr = struct('b',1,'Kwt',Kwt); %Tüm otobüslerin 1 nolu duraktan başlamasını sağlamak için düzenleme
sdisp(sh) %% Veri yapısının bir bütün olarak gösterilmesi
%% Rotaların oluşturulması ve geliştirilmesi prosedürleri
rTDh = @(rte) rteTC(rte,sh,D,tr);
ph = @(rte) plotshmt(sh,XY,rte,tr);
IJS = pairwisesavings(rTDh,sh);
[rte,TC1] = twoopt(savings(rTDh,sh,IJS,true),rTDh,true); %% Savings ve 2-Opt birlikte çalıştırılması ve rotaların elde edilmesi
[rte1,idx1,TC] = sh2rte(sh,rte,rTDh);
%-----Rotaların grafiklerinin oluşturulması-----
plotshmt(sh,XY,rte1,tr)
pplot(XY(1,:), 'ks')
%-----
```

## 5. Senaryoların Analizleri

Her iki senaryo için geleneksel (statik) ve önerilen dinamik çözüm yaklaşımı olmak üzere her iki durum için analizler yapılacaktır. Geleneksel çözümler hesap tablosu ile çözülmüştür. Dinamik çözümler ise Dr. M. G. Kay tarafından Lojistik Mühendisliği dersleri için geliştirilmiş olan MatLog (Matlab Logistics Engineering Toolbox) içindeki rotalama fonksiyonları kullanılarak çözümlenmiştir (Kay, 2016).

### 5.1 Senaryo-1 İçin Statik Çözüm

Senaryo-1 için rotalama ve çözüm için kullanılacak veri yapısı Tablo 5.1’de gösterilmiştir. Aynı veri yapısı hem statik hem dinamik çözümler için aynı şekilde kullanılacaktır. Tablo 5.1’de “Rota İndeksi” sütununda her bir iniş ve biniş tek bir indeks ile ifade edilmiştir. Örnek ile ifade etmek gerekirse, 3 nolu indeksin anlamı 1 nolu duraktan binen yolcular 4 nolu durakta inecektir ve binen/inen yolcu sayısı 2 kişidir. Tablo 5.1’deki 3 indeksine ait satırın son sütununa bakılacak olursa bu inen/binen yolcuların R1 hattı yolcuları olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 5.2’de Senaryo-1 için üç hata ait yolcuların nasıl taşındığına ilişkin çözüm yer almaktadır. Hat-1, Hat-2, Hat-3 sütunlarında duraklara ilişkin indeksler yer almaktadır. Her indeks Tablo 5.2’de 2 kez yer almaktadır. Bunun anlamı indeks numarasının ilk görüldüğü yer yolcunun ilgili duraktan bindiğini, ikinci görüldüğü yer yolcunun otobüsten indiği yeri göstermektedir. Örnek olarak Hat-1 sütununda yer alan ilk indeks 11’dir. Tablo 5.1’de 11 indeksinin olduğu satır incelenirse 1 nolu duraktan binen 13 yolcu 12 nolu durakta inecek demektir. Burada Tablo 5.2’de verilen çözüm tablosu incelendiğinde 13 yolcu 1 nolu durakta binmiş ve “Birikimli” sütununda görülen toplam 13 olmuştur, çünkü otobüste hiç yolcu yoktur. Ancak 3 indeksinin olduğu satıra geçildiğinde 2 yolcu daha binmiştir ve otobüsteki yolcu sayısı 15 olmuştur ve bu “Birikimli” sütunundan izlenebilmektedir. Böylece otobüs kapasitesi 150 kişinin aşılıp aşılmadığı buradan izlenebilmektedir. 11 indeksinin ikinci kez görüldüğü yer 6.cı satırdır ve burada 1 nolu duraktan inen yolcular inmektedir, çünkü otobüs 12 nolu durağa gelmiştir ve “Birikimli” sütununa bakıldığında otobüsteki yolcu sayısı 13 kişi azalmıştır. Tabloda inen yolcular negatif olarak işaretlenmektedir.

**Tablo 5.1:** Senaryo-1 statik çözüm rotalama indeksleri

<b>Rota İndeksi</b>	<b>Biniş Durağı</b>	<b>İniş Durağı</b>	<b>Yolcu sayısı</b>	<b>Hat</b>
1	1	2	9	R3
2	1	3	10	R2
3	1	4	2	R1
4	1	5	11	R3
5	1	6	14	R1
6	1	7	3	R1
7	1	8	5	R2
8	1	9	4	R3
9	1	10	12	R1
10	1	11	1	R3
11	1	12	13	R1
12	1	13	6	R2
13	1	14	7	R2
14	4	6	2	R1
15	4	7	15	R1
16	4	10	13	R1
17	6	7	9	R1
18	6	10	11	R1
19	7	10	14	R1
20	12	4	6	R1
21	12	6	12	R1
22	3	4	5	R2
23	3	6	4	R2
24	3	8	13	R2
25	3	13	3	R2
26	3	14	10	R2
27	4	6	14	R2
28	4	8	9	R2
29	4	13	8	R2
30	4	14	5	R2
31	6	8	7	R2
32	6	13	6	R2
33	6	14	10	R2
34	8	13	11	R2
35	8	14	6	R2
36	13	14	11	R2
37	2	5	1	R3
38	2	6	7	R3
39	2	9	8	R3
40	2	11	11	R3
41	2	13	12	R3
42	5	6	11	R3
43	5	9	13	R3
44	5	11	10	R3
45	5	13	14	R3
46	6	9	3	R3
47	6	11	9	R3
48	6	13	3	R3
49	13	11	12	R3
<b>Toplam</b>			<b>415</b>	

Tablo 5.2 incelendiğinde herhangi bir hat için kapasite aşma problemi görülmemektedir. Hatlarda taşınan yolcu sayıları son satırda “Toplam” olarak ifade edilmiştir, Hat-1 de 126, Hat-2 de 150 ve Hat-3 de 139 yolcu olmak üzere tüm yolcular (415 kişi) taşınmıştır. Herbir hat için “Birikimli sütununun son değeri sıfır olmaktadır bu da binen tüm yolcuların otobüsten indiği anlamına gelmektedir.

**Tablo 5.2:** Senaryo-1: statik çözümlerin Hat-1, Hat-2 ve Hat-3 gösterimi

Hat-1	Yolcu	Birikimli	Hat-2	Yolcu	Birikimli	Hat-3	Yolcu	Birikimli
11	13	13	2	10	10	1	9	9
3	2	15	7	5	15	4	11	20
5	14	29	12	6	21	8	4	24
6	3	32	13	7	28	10	1	25
9	12	44	2	-10	18	1	-9	16
11	-13	31	22	5	23	37	1	17
20	6	37	23	4	27	38	7	24
21	12	49	24	13	40	39	8	32
20	-6	43	25	3	43	40	11	43
21	-12	31	26	10	53	41	12	55
3	-2	29	22	-5	48	4	-11	44
14	2	31	27	14	62	37	-1	43
15	15	46	28	9	71	42	11	54
16	13	59	29	8	79	43	13	67
14	-2	57	30	5	84	44	10	77
5	-14	43	23	-4	80	45	14	91
17	9	52	27	-14	66	38	-7	84
18	11	63	31	7	73	42	-11	73
15	-15	48	32	6	79	46	3	76
17	-9	39	33	10	89	47	9	85
6	-3	36	7	-5	84	48	3	88
19	14	50	24	-13	71	8	-4	84
9	-12	38	28	-9	62	39	-8	76
19	-14	24	31	-7	55	43	-13	63
16	-13	11	34	11	66	46	-3	60
18	-11	0	35	6	72	41	-12	48
			12	-6	66	45	-14	34
			25	-3	63	48	-3	31
			29	-8	55	10	-1	30
			32	-6	49	40	-11	19
			34	-11	38	44	-10	9
			36	11	49	47	-9	0
			13	-7	42	49	12	12
			26	-10	32	49	-12	0
			30	-5	27			
			33	-10	17			
			35	-6	11			
			36	-11	0			
<b>Toplam</b>	<b>126</b>			<b>150</b>			<b>139</b>	

**Tablo 5.3:** Senaryo-1 statik çözümlerin Hat-1, Hat-2 ve Hat-3 maliyet gösterimi

	Hat-1	Hat-2	Hat-3
Araç Kapasitesi	150	150	150
Max Yolcu Sayısı	63	89	91
Min Yolcu Sayısı	11	10	0
Max Yolcu Sayısına Göre Boş Kapasite	87	61	59
Araç Maliyeti Kayıp	870	610	590
Kalan Yolcu	0	0	0
Kalan Yolcu Maliyeti	0	0	0

## 5.2 Senaryo-1 İçin Dinamik Çözüm

Senaryo-1'in yolcu ve duraklarına ilişkin bilgi statik çözümdeki ile aynıdır. Burada sadece Matlog rotalama fonksiyonları ile yolcu sayıları ve gidilen yolu minimize edecek şekilde rotalama çözümleri üretilmektedir. Tablo 5.4 incelendiğinde Hat-1 ve Hat-2 sütunları problem için elde edilmiş olan dinamik yolcu taşıma hatlarına ait rota indekslerini göstermektedir. Yolcu sütununda ilgili durakta inen/binen yolcu sayıları gösterilmiştir. Yolcu sütunundaki sayı pozitif işaretli ise otobüse binen yolcu, negatif işaretli ise inen yolcu sayısını belirtir. "Birikimli" sütununda ise o anda otobüste bulunan toplam yolcu sayısı gösterilir. Dinamik çözümleme ile geleneksel hat ile 3 otobüs ile taşınan yolcuların tamamı 2 otobüs ve 2 dinamik rota ile çözülebilmektedir. Hiçbir yolcu duraklarda bırakılmamıştır.

**Tablo 5.4:** Senaryo-1 için dinamik çözüm

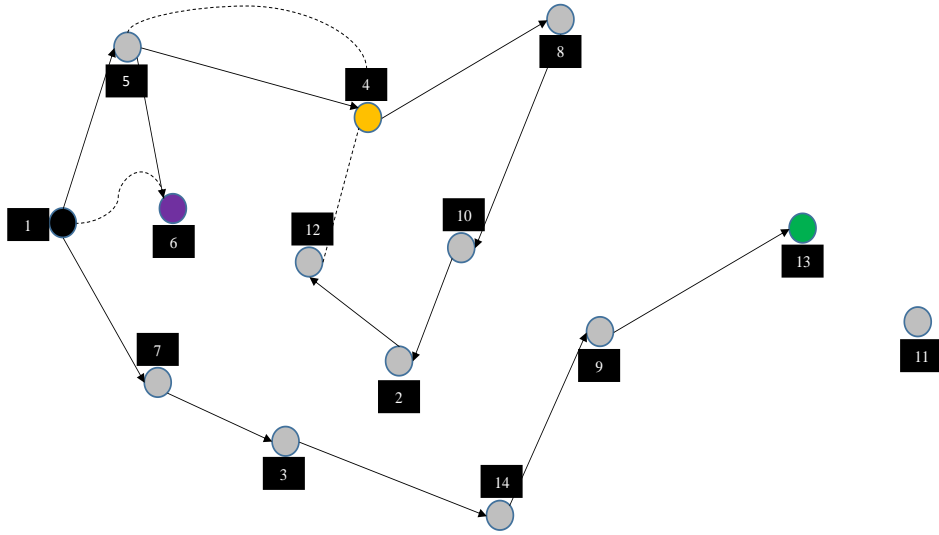
	Hat-1	Yolcu	Birikimli	Hat-2	Yolcu	Birikimli
	4	11	11	5	14	14
	3	2	13	2	10	24
	9	12	25	7	5	29
	8	4	29	10	1	30
	1	9	38	12	6	36
	11	13	51	44	10	46
	43	13	64	2	-10	36
	4	-11	53	23	4	40
	45	14	67	24	13	53
	28	9	76	22	5	58
	3	-2	74	12	-6	52
	16	13	87	36	11	63
	35	6	93	49	12	75
	28	-9	84	36	-11	64
	34	11	95	19	14	78
	16	-13	82	5	-14	64
	9	-12	70	31	7	71
	41	12	82	23	-4	67

39	8	90	18	11	78
38	7	97	47	9	87
1	-9	88	22	-5	82
37	1	89	7	-5	77
21	12	101	31	-7	70
11	-13	88	24	-13	57
20	6	94	19	-14	43
29	8	102	18	-11	32
30	5	107	40	11	43
20	-6	101	44	-10	33
15	15	116	10	-1	32
27	14	130	47	-9	23
14	2	132	40	-11	12
37	-1	131	49	-12	0
42	11	142			
21	-12	130			
17	9	139			
27	-14	125			
14	-2	123			
48	3	126			
46	3	129			
33	10	139			
42	-11	128			
38	-7	121			
32	6	127			
6	3	130			
13	7	137			
17	-9	128			
6	-3	125			
15	-15	110			
25	3	113			
26	10	123			
13	-7	116			
26	-10	106			
33	-10	96			
35	-6	90			
30	-5	85			
39	-8	77			
8	-4	73			
43	-13	60			
46	-3	57			
25	-3	54			
45	-14	40			
48	-3	37			
32	-6	31			
41	-12	19			
34	-11	8			
29	-8	0			

---

Şekil 5.1’de Senaryo-1 için dinamik çözüme ait R1 rotasının sembolik çizgesi yer almaktadır.

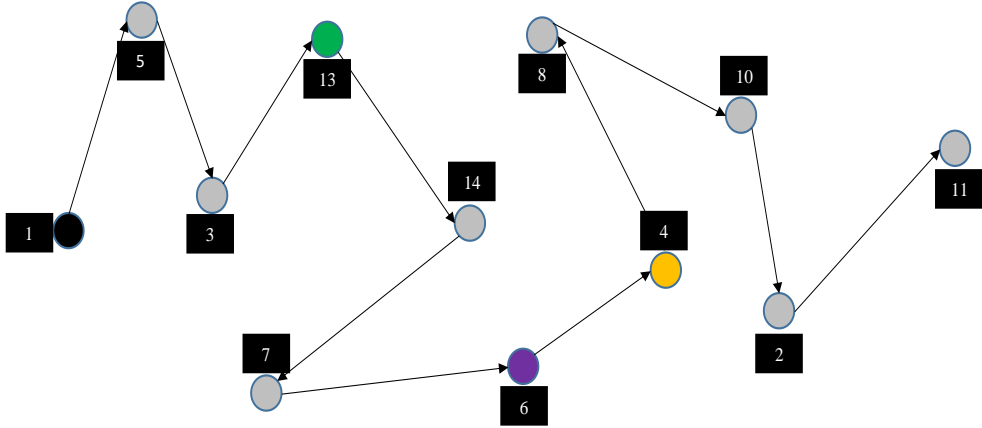




R1 [1-5-4-8-10-2-12-4-5-6-1-7-3-14-9-13]

Şekil 5.1: Senaryo-1 R1 rotası dinamik çözüm şeması

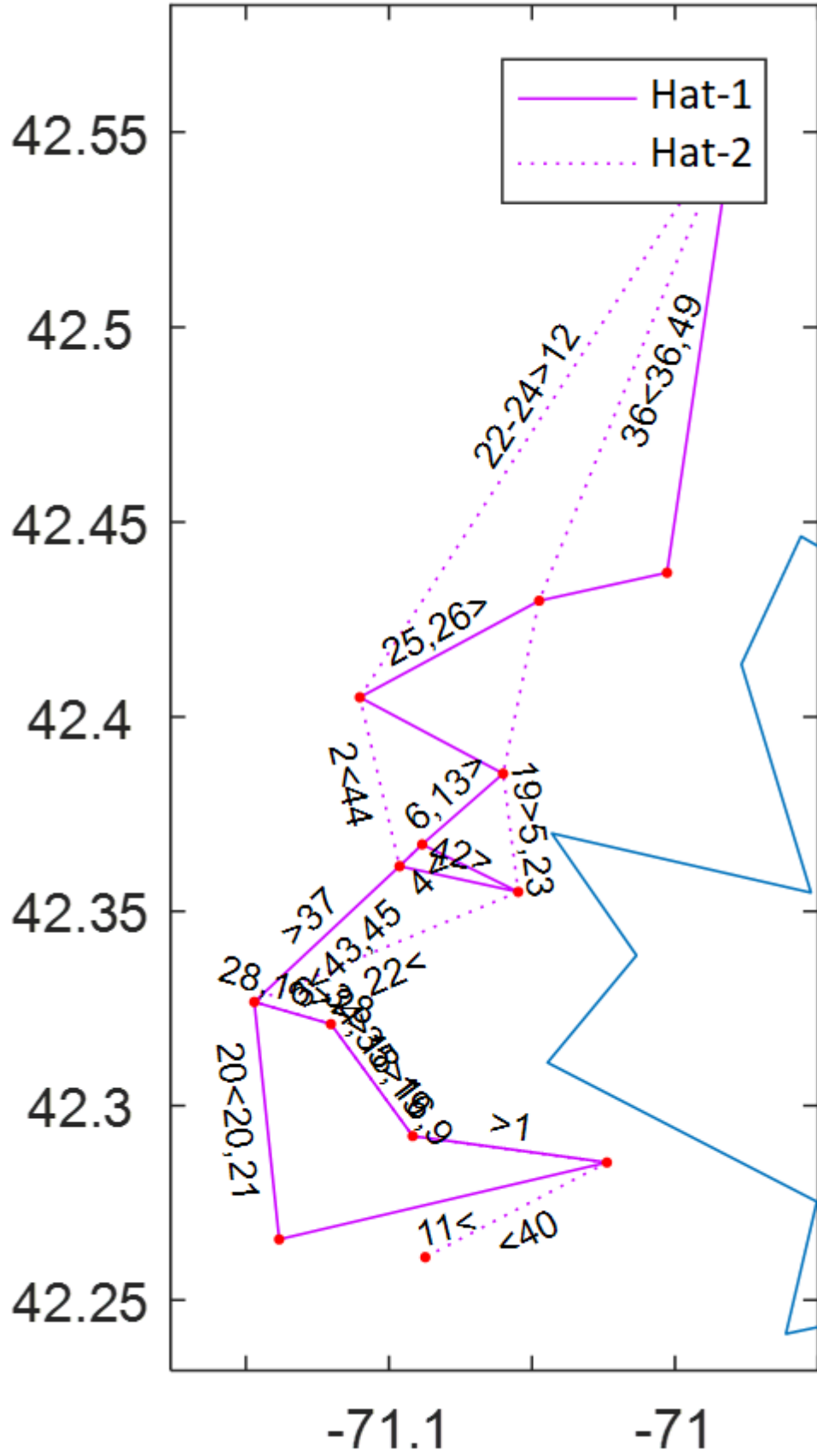
Şekil 5.2’de Senaryo-1 için dinamik çözüme ait R2 rotasının sembolik çizgesi yer almaktadır.



R2 [1-5-3-13-14-7-6-4-8-10-2-11]

Şekil 5.2: Senaryo-1 R2 rotası dinamik çözüm şeması

Şekil 5.3’te Senaryo-1 için dinamik çözüme ait R1 ve R2 rotalarının coğrafi koordinatlarla gösterilen grafik çözümünü yer almaktadır.



Şekil 5.3: Senaryo-1 için dinamik çözümün rotalarının coğrafi koordinatlarla gösterimi

Tablo 5.5'te Senaryo-1 için bir maliyet analizi yapılmaya çalışılmıştır. Burada maliyet analizi araçların kullanılabilen maksimum doluluk oranı ile araç kapasitesi arasında kalan boşluğun birim yolcu başına düşen maliyetinin çarpımı ile hesaplanmıştır. Tablo 5.5'te incelendiğinde Rota-1 için taşınabilen maksimum yolcu sayısı 142 ve Rota-2 için taşınabilen maksimum yolcu sayısı 87 olarak bulunmuştur. Kullanılabilen maksimum kapasiteye göre sırasıyla Rota-1 ve Rota-2 için kalan boşluk 8 ve 63 kişidir. Böylece ilk araç için kullanılmayan kapasite maliyeti sırasıyla 80 ve 630 lira ve toplam kayıp 710 lira olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 5.5:** Senaryo-1 dinamik çözüm için maliyet değerlendirmesi

	Hat-1	Hat-2
Araç Kapasitesi	150	150
Max Yolcu Sayısı	142	87
Min Yolcu Sayısı	13	23
Max Yolcu Sayısına Göre Boş Kapasite	8	63
Araç Maliyeti Kayıp	80	630
Kalan Yolcu Sayısı	0	0
Kalan Yolcu Maliyeti	0	0

### 5.3 Senaryo-2 Statik Çözüm

Senaryo-2 için rotalama ve çözüm için kullanılacak veri yapısı Tablo 5.6'da gösterilmiştir. Aynı veri yapısı hem statik hem dinamik çözümler için aynı şekilde kullanılacaktır. Tablo 5.6'da "Rota İndeksi" sütununda her bir iniş ve biniş tek bir indeks ile ifade edilmiştir. Burada problemin ifade edilmesinde Problem 1'deki veri yapısı aynı şekilde kullanılmıştır.

Tablo 5.7'de problem 2'nin statik çözümleri gösterilmiştir. Buradaki çözüm gösterimi Senaryo-1 ile aynı özelliklere sahiptir. Tek fark kapasite fazlası yolcuya göre bir senaryo olduğu için 3 hat tarafından taşınamayan yolcular için kalan yolcular için "Kalan" sütunu eklenmiştir. Burada araçlar tarafından alınamayan yolcuların takip edilebilmesi için araç kapasitesinde kalan boşluklar ifade edilmiştir. Kalan sütununda pozitif değerler araçta boş kalan kapasiteyi, negatif değerler araca alınmayan yolcu sayılarını göstermektedir. Problemin çözümü hesap tablosu kullanılarak yapılmıştır.

**Tablo 5.6:** Senaryo-2 statik çözüm rotalama indeksleri

Rota İndeksi	Biniş Durağı	İniş Durağı	Yolcu sayısı	Hat
1	1	2	21	R3
2	1	3	30	R2
3	1	4	33	R1
4	1	5	44	R3
5	1	6	24	R1
6	1	7	22	R1
7	1	8	25	R2
8	1	9	34	R3
9	1	10	32	R1
10	1	11	21	R3
11	1	12	18	R1
12	1	13	16	R2
13	1	14	50	R2
14	4	6	20	R1
15	4	7	35	R1
16	4	10	33	R1
17	6	7	19	R1
18	6	10	41	R1
19	7	10	14	R1
20	12	4	46	R1
21	12	6	28	R1
22	3	4	50	R2
23	3	6	40	R2
24	3	8	13	R2
25	3	13	3	R2
26	3	14	10	R2
27	4	6	34	R2
28	4	8	9	R2
29	4	13	28	R2
30	4	14	5	R2
31	6	8	70	R2
32	6	13	6	R2
33	6	14	10	R2
34	8	13	11	R2
35	8	14	6	R2
36	13	14	11	R2
37	2	5	35	R3
38	2	6	70	R3
39	2	9	28	R3
40	2	11	33	R3
41	2	13	22	R3
42	5	6	41	R3
43	5	9	35	R3
44	5	11	20	R3
45	5	13	14	R3
46	6	9	30	R3
47	6	11	39	R3
48	6	13	23	R3
49	13	11	45	R3

**Tablo 5.7:** Senaryo-2 için R1, R2 ve R3 hatlarına ait statik çözümler

Rota-1	Yolcu	Birikimli	Kalan	Rota-2	Yolcu	Birikimli	Kalan	Rota-3	Yolcu	Birikimli	Kalan
11	18	18	132	2	30	30	120	1	21	21	129
3	33	51	99	7	25	55	95	4	44	65	85
5	24	75	75	12	16	71	79	8	34	99	51
6	22	97	53	13	50	121	29	10	21	120	30
9	32	129	21	2	-30	91	59	1	-21	99	51
11	-18	111	39	22	50	141	9	37	35	134	16
20	46	157	-7	23	40	181	-31	38	70	204	-54
21	28	185	-35	24	13	194	-44	39	28	232	-82
20	-46	139	11	25	3	197	-47	40	33	265	-115
21	-28	111	39	26	10	207	-57	41	22	287	-137
3	-33	78	72	22	-50	157	-7	4	-44	243	-93
14	20	98	52	27	34	191	-41	37	-35	208	-58
15	35	133	17	28	9	200	-50	42	41	249	-99
16	33	166	-16	29	28	228	-78	43	35	284	-134
14	-20	146	4	30	5	233	-83	44	20	304	-154
5	-24	122	28	23	-40	193	-43	45	14	318	-168
17	19	141	9	27	-34	159	-9	38	-70	248	-98
18	41	182	-32	31	70	229	-79	42	-41	207	-57
15	-35	147	3	32	6	235	-85	46	30	237	-87
17	-19	128	22	33	10	245	-95	47	39	276	-126
6	-22	106	44	7	-25	220	-70	48	23	299	-149
19	14	120	30	24	-13	207	-57	8	-34	265	-115
9	-32	88	62	28	-9	198	-48	39	-28	237	-87
19	-14	74	76	31	-70	128	22	43	-35	202	-52
16	-33	41	109	34	11	139	11	46	-30	172	-22
18	-41	0	150	35	6	145	5	41	-22	150	0
				12	-16	129	21	45	-14	136	14
				25	-3	126	24	48	-23	113	37
				29	-28	98	52	10	-21	92	58
				32	-6	92	58	40	-33	59	91
				34	-11	81	69	44	-20	39	111
				36	11	92	58	47	-39	0	150
				13	-50	42	108	49	45	45	105
				26	-10	32	118	49	-45	0	150
				30	-5	27	123				
				33	-10	17	133				
				35	-6	11	139				
				36	-11	0	150				
<b>Toplam</b>	<b>365</b>					<b>427</b>				<b>555</b>	

Tablo 5.8’de Senaryo-2 için hatların kat edilen mesafeleri Matlog fonksiyonları kullanılarak hesaplanmıştır (Kay, 2016).

**Tablo 5.8:** Senaryo-2 statik çözüm rotalanan yol

R1	R2	R3	Toplam Yol	Birim	Toplam Yolcu
41,11	71,64	81,13	193,88	Km	1347

Tablo 5.9’da Senaryo-2 için statik çözüm için oluşturulan maliyet değerlendirme analizi yer almaktadır. Burada toplam kapasitenin üzerinde yolcu sayısı olduğu için her bir hatta otobüslerde boş kapasite yerine alınamayan yolcuların olması beklenmektedir. Bu yüzden kalan boş koltuk maliyeti sıfır olacaktır. Dolayısıyla duraklarda kalan yolcuların maliyeti kişi başı maliyet olan 10 lira ile ifade edilmektedir. Herbir hatta kalan yolcu sayıları hesaplanmış ve Kalan yolcu satırına herbir hat iç not edilmiştir. Kalan yolcu sayıları ile kişi başı maliyetler çarpılarak herbir hat için oluşan müşteri memnuniyetsizlik maliyeti bulunmuştur. Üç hat için hesaplanan maliyetlerin toplamı ile elde edilen toplam maliyet değeri 6410 lira bulunmuştur.

**Tablo 5.9:** Senaryo-2 statik çözüm maliyet değerlendirmesi

	Hat-1	Hat-2	Hat-3
Max Yolcu Sayısı	150	150	150
Min Yolcu Sayısı	0	0	0
Max Yolcu Sayısına Göre Boş Kapasite	0	0	0
Araç Maliyeti Kayıp	0	0	0
Kalan Yolcu	83	219	339
Kalan Yolcu Maliyeti	830	2190	3390

#### 5.4 Senaryo-2 Dinamik Çözüm

Senaryo-2’nin çözümü için Matlog araç kutusunun rotalama fonksiyonları kullanılmıştır.(Kay, 2016)

Senaryo-2 için dinamik çözüm Tablo 5.10’da verilmiştir. Tablodaki veri yapısı Problem 1 de yer alan formdadır. Burada Tablo 5.10’da görülebileceği gibi problemin dinamik çözümü 3 sabit hat olan bir problem için dinamik çözüm 4 rota ile çözülebilmektedir. Ancak statik çözümle yapılacak ilk karşılaştırmada çok sayıda yolcu

duraklarda kalırken dinamik çözümde hiçbir yolcu duraklarda kalmamıştır. Yolcuların tamamı istedikleri duraklara ulaşmışlardır.

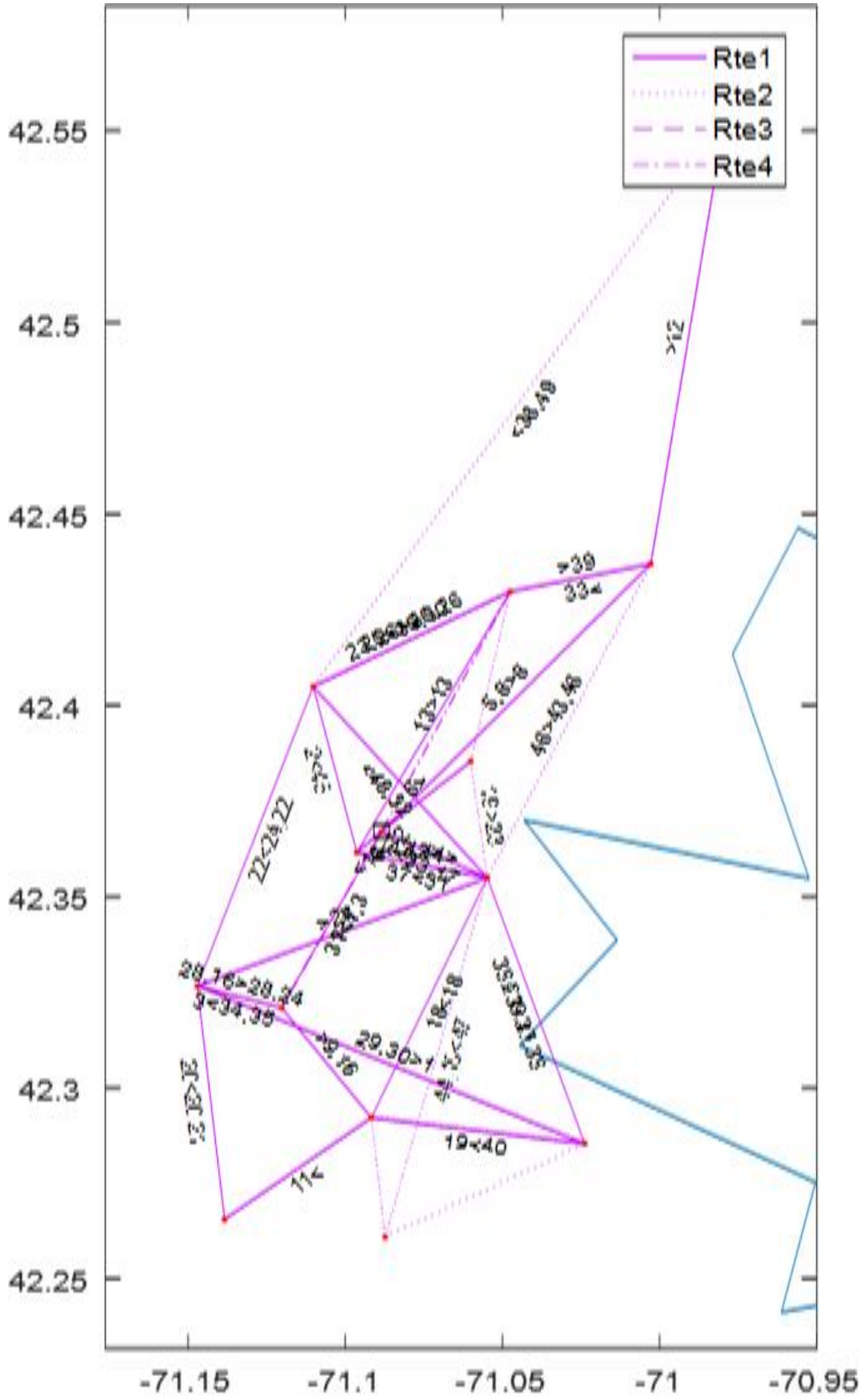
**Tablo 5.10:** Senaryo-2 için dinamik çözüm

Hat-1	Yolcu	Birikimli	Hat-2	Yolcu	Birikimli	Hat-3	Yolcu	Birikimli	Hat-4	Yolcu	Birikimli
4	44	44	10	21	21	7	25	25	13	50	50
2	30	74	12	16	37	7	-25	0	13	-50	0
9	32	106	43	35	72						
11	18	124	44	20	92						
45	14	138	46	30	122						
4	-44	94	43	-35	87						
2	-30	64	46	-30	57						
24	13	77	12	-16	41						
22	50	127	36	11	52						
22	-50	77	49	45	97						
28	9	86	23	40	137						
16	33	119	26	10	147						
28	-9	110	36	-11	136						
24	-13	97	26	-10	126						
9	-32	65	19	14	140						
16	-33	32	23	-40	100						
21	28	60	47	39	139						
20	46	106	44	-20	119						
11	-18	88	10	-21	98						
14	20	108	40	33	131						
27	34	142	19	-14	117						
20	-46	96	47	-39	78						
15	35	131	40	-33	45						
33	10	141	49	-45	0						
27	-34	107									
17	19	126									
6	22	148									
6	-22	126									
17	-19	107									
15	-35	72									
5	24	96									
8	34	130									
8	-34	96									
33	-10	86									
42	41	127									
5	-24	103									
18	41	144									
42	-41	103									
14	-20	83									
18	-41	42									
37	35	77									

38	70	147				
38	-70	77				
31	70	147				
21	-28	119				
37	-35	84				
1	21	105				
3	33	138				
31	-70	68				
35	6	74				
34	11	85				
30	5	90				
3	-33	57				
29	28	85				
39	28	113				
1	-21	92				
41	22	114				
48	23	137				
32	6	143				
25	3	146				
35	-6	140				
30	-5	135				
39	-28	107				
25	-3	104				
45	-14	90				
48	-23	67				
32	-6	61				
41	-22	39				
34	-11	28				
29	-28	0				
<b>Toplam</b>	<b>958</b>	<b>314</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>50</b>

Şekil 5.4' te Senaryo-2'nin dinamik çözümüne göre anlık olarak otobüslerin gittikleri ve oluşturdukları hatlar gösterilmiştir. Hatlar Rte1, Rte2, Rte3, Rte4 şeklinde isimlendirilmiştir.





Şekil 5.4: Senaryo-2 coğrafi koordinatlarla dinamik çözüm grafiği

Dinamik çözüme göre uğranan durak bilgileri sırası ile Şekil 5.5'te verilmiştir.

R1	[1-5-3-4-8-10-12-4-6-1-7-1-9-14-5-6-10-2-6-5-1-8-4-2-6-3-14-9-13]
R2	[1-5-6-9-13-14-7-6-11-2-10-11]
R3	[1-8]
R4	[1-14]

Şekil 5.5 : Senaryo-2 için dinamik çözüme ilişkin rota sıralaması

Tablo 5.11: Senaryo-2 dinamik çözüm maliyet değerlendirmesi

	Hat-1	Hat-2	Hat-3	Hat-4
Otobüs Kapasiteleri	150	150	150	150
Max Yolcu Sayısı	148	147	25	50
Min Yolcu Sayısı	28	37	25	50
Max Yol Göre Boş Kapasite	2	3	125	100
Araç Maliyeti Kayıp	20	30	1250	1000
Kalan Yolcu	0	0	0	0
Kalan Yolcu Maliyeti	0	0	0	0

Senaryo-2 dinamik çözümünde toplam 1347 yolcu taşınmış ve oluşan dört rota için kat edilen toplam mesafe 260,26 km olarak hesaplanmıştır.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüz şehir içi toplu taşıma sistemleri şehir içinde belirlenmiş sabit duraklara göre belirlenmiş sabit hat seferleri ile çözülmektedir. Genellikle bu toplu taşıma hizmetleri yerel yönetimler tarafından gerçekleştirilmekte ve kar gütmeyi hedeflemeyen hizmetler sınıfında yer almaktadır. Bazı yerel yönetimler bu tip hizmetleri özel sektöre devrettiklerinde farklı sözleşme koşulları ile özel sektör tarafından bu hizmetlerin sürdürülemediği de yapılan gözlemler arasındadır. Bu nedenle tekrar bu hizmetlerin yerel yönetimler tarafında yapılması ve sürdürülmesi zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Ancak ülkemizde yerel yönetimler tarafından verilen toplu taşıma hizmetlerine ilişkin bazı çalışma örnekleri var olsa da yeterli olmadığı görülmektedir. Akademik dünya bu konulara ilişkin optimizasyon çalışmalarına yönelmek istese de yerel yönetimlerin toplu taşıma hizmetlerine ilişkin verilerini paylaşmak konusunda isteksiz olduğu gözlenmektedir. Bu nedenle bu alanda akademik çalışmalar yeterli düzeyde yapılamamaktadır. Akademik çalışmalar yerel yönetimlerden bir takım verilerin alınabileceği varsayımları ile başlasa da son safhada elde edilemeyen veriler nedeni ile hipotetik çalışmalar ortaya çıkmaktadır.

Bu tez çalışmasında da yerel yönetimlerden talep edilen verilere ulaşılamadığı için hipotetik veriler üzerinden yeni bir toplu taşıma modeli önerilmiştir. Bu tez çalışması için 14 duraktan ve üç sabit hattan oluşan bir toplu taşıma ağı tasarlanmıştır. Bu ağa ilişkin durakların coğrafi koordinatları M. G. Kay'ın Lojistik Mühendisliği dersindeki verilerden yararlanılarak oluşturulmuştur (Kay 2016). Tasarlanan bu toplu taşıma ağı için iki durum ele alınmıştır. Geleneksel (sabit hatların var olduğu) mevcut toplu taşıma yapısı ve yeni bir yaklaşım olarak önerilen çözüm yöntemi olarak sabit hatlar yerine dinamik rotalarla hatların değişken olduğu ve bu tez çalışmasında dinamik rotalama yaklaşımı olarak ifade edilen ve önerilen çözüm yaklaşımıdır. Önerilen yöntem ve mevcut durum arasında farklılık olup olmadığını ortaya koyabilmek için iki senaryo tasarlanmıştır. Birinci senaryoda üç hatta var olan üç araç kapasitesini aşmayan miktarda yolcu duraklar arası taşıma için rassal olarak üretilmiştir. Senaryo-2'de ise üç hat için toplam araç kapasitesinin yaklaşık 3 katı kadar yolcu duraklar arasında dağıtılmıştır. Yani ilk senaryo için toplam 450 yolcu kapasitesine sahip araç kaynağı varken 415 yolcu duraklar arası taşıma için dağıtılmıştır. İkinci senaryoda ise 450 yolcu toplam kapasiteye sahip araç kaynağına

karşılık 1347 yolcu duraklar arası taşıma için dağıtılmıştır. Bu iki senaryo için birisi mevcut duruma karşılık gelen statik çözüm diğeri duraklarda yolcu kalmayacak ve yol minimizasyonu sağlayacak şekilde rotalama yapan ve dinamik çözüm olarak ifade edilen yaklaşımla çözümdür. Statik çözümler hesap tablosu kullanılarak, dinamik çözümler Matlog araç kutusunun rotalama fonksiyonları aracılığıyla çözümlenmiştir (Kay, 2016).

Tablo 6.1’de geleneksel çözüm yaklaşımı ve önerilen dinamik çözümlere ilişkin özet bir tablo verilmiştir. Tabloda senaryo 1 P1, senaryo 2 P2 olarak kodlanmıştır. Her iki durumun statik çözümleri ve dinamik çözümleri yan yana gösterilmiştir. Tablo 6.1 den statik P1 çözümünün kullanılan maksimum araç kapasitesine göre boş kalan yolcu taşıma kapasitesinin toplam maliyeti 2070 lira olarak hesaplanmıştır. P2 için aşırı yolcu varlığı nedeni ile taşınamayan yolculardan kaynaklanan toplam maliyet 6410 lira olarak hesaplanmıştır. Bir diğeri maliyet ise araç kiralama maliyetidir. P1 ve P2 statik çözümleri için araç kiralama maliyetleri 4500 lira olarak gerçekleşmektedir. Aynı tabloda dinamik çözümler analiz edildiğinde P1 ve P2 için sırası ile kullanılmayan kapasite nedeni ile oluşan maliyetler 710 ve 2300 liradır. Araç kiralama maliyetleri ise P1 ve P2 için sırasıyla 3000 ve 6000 lira olarak gerçekleşmiştir. Her iki senaryo karşılaştırıldığında P1 için toplam maliyet geleneksel çözüm için 6570 lira gerçekleşirken dinamik çözüm için 3710 lira gerçekleşmiştir. P2 senaryosu için geleneksel çözüm maliyeti 10910 lira iken dinamik çözüm maliyeti 8300 lira olarak gerçekleşmiştir. Bu durumda maliyet analizleri üzerinden önerilen dinamik rotalama yaklaşımının maliyetleri düşürme konusunda pozitif bir katkı sağlayabileceği ileri sürülebilir.

**Tablo 6.1:** Statik ve dinamik çözümlerin karşılaştırılması

Açıklamalar	Statik Çözümler			Dinamik Çözümler		
	P1	P2	Birim	P1	P2	Birim
Max Yolcu Sayısına Göre Boş Kalan Koltuk Maliyeti	2070	0	TL	710	2300	TL
Taşınamayan Yolcu Sayısına Göre Maliyet	0	6410	TL	0	0	TL
Kullanılan Araç Sayısı	3	3	Adet	2	4	Adet
Araç Kiralama Birim Maliyeti	1500	1500	TL	1500	1500	TL
Araç Kiralama Toplam Maliyet	4500	4500	TL	3000	6000	TL
<b>Toplam Maliyet</b>	6570	10910	TL	3710	8300	TL
				*	*	
<b>Toplam Kat Edilen Yol</b>	193,87	193,87	km	152,34	260,26	km

Aynı senaryolar toplam kat edilen mesafeler üzerinden analiz edildiğinde P1 senaryosu için mesafe tasarrufu sağlanabilirken, P2 senaryosu için mesafe tasarrufu sağlanamamıştır. Bu nedenle mesafeler açısından dinamik rotalamanın pozitif bir katkı sağlayabileceği kesin bir şekilde ifade edilememektedir. Ancak burada yerel yönetimler tarafından verilen toplu taşıma hizmetinin kar yerine yolcu memnuniyetini temel alan ve maliyetleri ikinci amaç fonksiyon olarak ele alan bir yaklaşım içinde olduğu ileri sürülürse, yolcu memnuniyetini maksimum yapan bir yaklaşım olarak dinamik rotalamanın hizmetlerin gelişmesine katkı sağlayabileceği ileri sürülebilir.

Teknolojinin geldiği bu noktada hatların statik olması duraklarda bekleyen yolcu sayıları hakkında bilgi sahibi olunamaması sonucu otobüsler belirli zamanlarda boş belirli zamanlarda tam dolu ve duraklarda yolcu bırakarak seyahatlerine devam etmektedir. Bu durum insanları toplu taşıma kullanmak yerine özel taşıtlarını ya da alternatif taşıma sistemlerine yönlendirmektedir. Bunun sonucunda şehir içinde trafik yoğunluğu artmakta ve daha fazla karbon salınımı olmaktadır. Bu faydaların yanısıra engellilere dost bir şehir yaratmak için bu dinamik çözüm uygulama haline getirilebilir. Bu sayede duraklarda bekleyen engelliler için bu uygulama özel bir çözüm olabilir. Belediyeler bu çözüm için özel otobüsler alabilir ve bu otobüsleri bir uygulama aracılığı ile dinamik olarak rota oluşturabilir. Engelsiz akıllı şehirler olarak bir proje oluşturulursa belki de bu reklam ile insanları bu konu üzerinde çalışmaya teşvik edici de olacağı düşünülmektedir.

Son olarak önerilen model Matlog arayüzü kullanılarak çözülmüştür. Önerilen dinamik çözümlerine ilişkin alternatif sezgiseller, matematiksel modeller ya da yeni çözüm yaklaşımları ve algoritmaları geliştirilebilir. Bunun ötesinde bu çalışmada tektip araç kullanılmıştır. Bu problemlerin çözümlerinde heterojen araç filolarının kullanımı başka çözüm yaklaşımları ya da başka araştırma problemlerinin yolunu açabilecektir.

Bu yapılan çalışmada zaman pencereleri problemin karmaşıklığını arttıracığı için kullanılmamıştır. Senaryolara zaman penceresi eklenerek ve yolcu bekleme süreleri de ölçülerek bu durum üzerinden analizler yapılarak statik rotalamadaki yolcu bekleme süreleri ile dinamik rotalamadaki yolcu bekleme süreleri karşılaştırılabilir ve böylece daha kapsamlı analizler elde edilebilir. Ayrıca tezde, statik rotalamada geri dönüş olmaması kalan yolcuların hızlı bir şekilde toplanmasına olanak vermediği için

rotalama açısından olumsuz bir durum olarak ele alınmıştır. Statik rotalama için bu olumsuz durum, yolcu kullanım alışkanlığı açısından bir faydaya dönüşmektedir. Çünkü geri dönüşler binen yolcu açısından olumsuz bir durum olarak algılanacaktır. Statik rotalamada yolcular hattın gideceği rota bilgisi elinde olduğu için güzergah üzerinde ineceği durak noktası fikrini sonradan değiştirebilir. Dinamik rotalamada ise rota bilgisine yolcu ulaşamayacağı için böyle bir durumda olumsuz etkilenecektir. Dinamik rotalama ile statik rotalamanın faydaları birleştirip hibrit bir modelin uygulamaya konulması ileride yapılacak çalışmalarda değerlendirilebilir. Ancak bu yeni çalışma alanlarını önerirken ele alınan problemin ve çözüm yaklaşımlarının karmaşıklık düzeyinin de göz önüne alınmasında fayda vardır.

## 7. KAYNAKLAR

Adamski, A., “Public transport lines synchronization problem”, *Automatics*, 64(1546), 221-234, (1993).

Akşehir, K. “Gezgin satıcı probleminin karınca kolonisi algoritması ile çözüm performansının artırılmasında parametre optimizasyonu”, *Yüksek Lisans Tezi*, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Samsun, (2019).

Apak, G., “Çoklu depolu araç rotalama probleminin hibrid algoritmalar yöntemiyle çözülmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Adana, (2018).

Avcı, M. and Topaloglu, S. “An adaptive local search algorithm for vehicle routing problem with simultaneous and mixed pickups and deliveries”, *Computers and Industrial Engineering*, 83, 15–29, (2015).

Bookbinder, J.H. and Desilets, A., “Transfer optimization in a transit network”, *Transportation Science*, 26(2), 106-118, (1992).

Bookbinder, J.H. and Edwards, S.H., “School-bus routing for program scheduling”, *Computers & Operations Research*, 17(1), 79-94, (1990).

Bruno, G., Improta, G., and Sgalambro, A., “Models for the schedule optimization problem at a public transit terminal”, *OR Spectrum*, 31(3), 465-481, (2009).

Bunte, S. and Kliewer, N. “An overview on vehicle scheduling models”, *Public Transport*, 1(4), 299-317, (2009).

Bussieck, M. R., Winter, T., and Zimmermann, U. T., “Discrete optimization in public rail transport”, *Mathematical programming*, 79(1-3), 415-444, (1997).

Ceder, A., “Methods for creating bus timetables”, *Transportation Research Part A: General*, 21(1), 59-83, (1987).

Ceder, A., Golany, B. and Tal, O., "Creating bus timetables with maximal synchronization", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35(10), 913-928, (2001).

Ceder, A. and Tal, O., "Designing synchronization into bus timetables", *Transportation Research Record*, 1760(1), 28-33. (2001).

Ceder, A., *Public Transit Planning and Operation: Theory. Modeling and Practice*, Oxford: Elsevier, (2007).

Ceder, A., "Public-transport automated timetables using even headway and even passenger load concepts", *Proceedings of the 32nd Australasian Transport Research Forum*, 32, Auckland, New Zealand, 29 September–1 October, (2009).

Çelikkanat Filiz, S., "Bulanık hedef programlama yaklaşımının araç rotalama problemine uygulanması", *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, (2014).

Çetin, S., Özkütük, E. ve Gencer, C., "Heterojen araç filolu eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemi için bir karar destek sistemi", *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 3(1), 11-18, (2011).

Cevallos, F. and Zhao, F., "Minimizing transfer times in public transit network with genetic algorithm", *Transportation Research Record*, 1971(1), 74-79, (2006).

Chakroborty, P., Deb, K. and Porwal, H., "A genetic algorithm based procedure for optimal transit systems scheduling", *Proceedings of Fifth International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management*, Mumbai, India, 330-341, (1997)

Chakroborty, P., Deb, K. and Sharma, R. K., "Optimal fleet size distribution and scheduling of transit systems using genetic algorithms", *Transportation Planning and Technology*, 24(3), 209-225, (2001).



Chamberlain, M. and Wren, A., “Developments and recent experience with the Busman and Busman II systems”, (eds: M. Desrochers, J.-M. Rousseau), *Computer-Aided Transit Scheduling*, Berlin, Heidelberg: Springer, 1-15, (1992).

Chen, W., Yang, C., Feng, F. and Chen, Z. “An improved model for headway-based bus service unreliability prevention with vehicle load capacity constraint at bus stops”, *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2012, 1-13, (2012).

Chien, S. and Schonfeld, P., “Joint optimization of a rail transit line and its feeder bus system”, *Journal of Advanced Transportation*, 32(3), 253-284, (1998).

Chuanjiao, S., Wei, Z. and Yuanqing, W., “Scheduling combination and headway optimization of bus rapid transit”, *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 8(5), 61-67, (2008).

Chowdhury, S. and Chien, S., “Optimization of transfer coordination for intermodal transit networks”, *Proceedings of the 80th Annual Meeting, Transportation Research Board*, Paper No. 01-0205, Washington, DC. 28–33, (2001).

Chung, E., “Transfer coordination model and real-time strategy for inter-modal transit services”, *PhD. Thesis*, Graduate Department of Civil Engineering, University of Toronto, Toronto, (2009).

Clarke, G. and Wright, J. W., “Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points”, *Operations Research*, 12(4), 568–581, (2008).

Çolak, S., “Genetik algoritmalar yardimi ile gezgin satıcı probleminin çözümü üzerine bir uygulama”, *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 19(3), 423–438, (2010).

Clever, R., “Part 3: Intermodal integrated timed transfer: a European perspective”, *Transportation Research Record*, 1571(1), 107-115, (1997).

Daganzo, C.F., “On the coordination of inbound and outbound schedules at transportation terminals”, *Proceedings of the 11th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, New York: Elsevier, 379-390, (1990).

Daganzo, C.F., “A headway-based approach to eliminate bus bunching: Systematic analysis and comparisons”, *Transportation Research Part B: Methodological*, 43(10), 913-921, (2009).

Dantzig, G. B., Fulkerson, D. R. and Johnson, S. M. “Solution of a large-scale traveling-salesman problem”, *Journal of the Operations Research Society of America*, 2(4), 393–410, (1954).

Dantzig, G.B. and Ramser, J.H., “The truck dispatching problem”, *Management Science*, 6(1), 80–91, (1959).

Demirtaş, Y.E., “Dinamik araç rotalama problemine parçacık sürü optimizasyonu algoritması çözüm önerisi”, *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, (2015).

Dessouky, M., Hall, R., Nowroozi, A. and Mourikas, K., “Bus dispatching at timed transfer transit stations using bus tracking technology”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 7(4), 187-208, (1999).

Ding, Y. and Chien, S. I., “Improving transit service quality and headway regularity with real-time control”, *Transportation Research Record*, 1760(1), 161-170, (2001).

Düzakın, E. ve Demircioğlu, M., “Araç rotalama problemleri ve çözüm yöntemleri”, *Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(1), 68-87, (2009).

Eranki, A., “A model to create bus timetables to attain maximum synchronization considering waiting times at transfer stops”, *Master’s Thesis*, Department of Industrial and Management Systems Engineering, University of South Florida, (2004).

Euchi, J. and Mraïhi, R., “The urban bus routing problem in the Tunisian case by the hybrid artificial ant colony algorithm”, *Swarm and Evolutionary Computation*, 2, 15-24, (2012).

Fleurent, C., Lessard, R. and Séguin, L., “Transit timetable synchronization: Evaluation and optimization”, *Proceedings of the 9th International Conference on Computer-Aided Scheduling of Public Transport*, San Diego, California. (2004).

Fu, L., Liu, Q. and Calamai, P. “Real-time optimization model for dynamic scheduling of transit operations”, *Transportation Research Record*, 1857(1), 48-55, (2003).

Gintner, V., Kliewer, N. and Suhl, L. “Solving large multiple-depot multiple-vehicle-type bus scheduling problems in practice”, *OR Spectrum*, 27(4), 507-523, (2005).

Guihaire, V. and Hao, J. K. "Transit network design and scheduling: A global review", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(10), 1251-1273, (2008).

Hezer, S. ve Kara, Y., "Eşzamanlı dağıtım ve toplamalı araç rotalama problemlerinin çözümü için bakteriyel besin arama optimizasyonu tabanlı bir algoritma", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(2), 373–382, (2013).

Huisman, D., Freling, R., and Wagelmans, A.P., “Multiple-depot integrated vehicle and crew scheduling”, *Transportation Science*, 39(4), 491-502, (2005).

Huisman, D. and Wagelmans, A.P., “A solution approach for dynamic vehicle and crew scheduling”, *European Journal of Operational Research*, 172(2), 453-471, (2006).

Kay, M. G., “Matlog logistics Engineering Matlab toolbox”, <http://www.ise.ncsu.edu/kay/matlog/> (2006).

Kay, M. G., “Matlog: Logistics Engineering Using Matlab”, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 4(1), 15–20. (2016).

Keskintürk, T., Topuk, N. ve Özyeşil, O., “Araç rotalama problemleri ve çözüm yöntemleri”, *İşletme Bilimi Dergisi*, 3(2), 77–107, (2016).

Kim, B.I., Kim, S. and Park, J., “A school bus scheduling problem”, *European Journal of Operational Research*, 218(2), 577-585, (2012).

Kim, W., Son, B., Chung, J. H. and Kim, E., “Development of real-time optimal bus scheduling and headway control models”, *Transportation Research Record*, 2111(1), 33-41, (2009).

Kliwer, N., Mellouli, T. and Suhl, L., “A time–space network based exact optimization model for multi-depot bus scheduling”, *European Journal of Operational Research*, 175(3), 1616-1627, (2006).

Koç, Ç. ve Karaoğlan, İ., "Çok kullanımlı ve zaman pencereli araç rotalama problemi için bir matematiksel model", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27(3), 569–576, (2012).

Kosif, B., “Kamyon türü üretimi için gerekli taşıma ve lojistik faaliyetlerinin optimizasyonu”, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, (2012).

Kwan, R.S. and Rahin, M.A., “Object oriented bus vehicle scheduling—the BOOST system”, (ed: N.H.M. Wilson), *Computer-Aided Transit Scheduling*, Berlin, Heidelberg: Springer, 177-191, (1999).

Lahyani, R., Khemakhem, M. and Semet, F., “Rich vehicle routing problems: from a taxonomy to a definition”, *European Journal of Operational Research*, 241(1), 1–14, (2015).

Lee, K. K. and Schonfeld, P., “Optimal slack time for timed transfers at a transit terminal”, *Journal of Advanced Transportation*, 25(3), 281-308, (1991).

Li, J., Pardalos, P. M., Sun, H., Pei, J. and Zhang, Y., “Iterated local search embedded adaptive neighborhood selection approach for the multi-depot

vehicle routing problem with simultaneous deliveries and pickups”, *Expert Systems with Applications*, 42(7), 3551–3561, (2015).

Li, Z. C., Lam, W. H., Wong, S. C. and Sumalee, A., “An activity-based approach for scheduling multimodal transit services”, *Transportation*, 37(5), 751-774. (2010).

Löbel, A., “Solving large-scale multi-depot vehicle scheduling problems”, (ed: L.H.M. Wilson), *Computer-aided Transit Scheduling, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 193-220, (1999).

Manington, P. D. and Wren, A., “Experiences with a bus scheduling algorithm which saves vehicles”, *Preprints of the workshop on automated techniques for scheduling of vehicle operators for urban public transportation services*, Chicago, 1-15, (1975).

McNabb, M. E., Weir, J. D., Hill, R. R. and Hall, S. N., “Testing local search move operators on the vehicle routing problem with split deliveries and time windows”, *Computers and Operations Research*, 56, 93–109, (2015).

Özkan, S., “Gezgin satıcı probleminin çözümüne yönelik algoritmik yaklaşımlar”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, (2010).

Park, J. and Kim, B. I., “The school bus routing problem: A review”, *European Journal of Operational Research*, 202(2), 311-319, (2010).

Park, J., Tae, H., and Kim, B.I., “A post-improvement procedure for the mixed load school bus routing problem”, *European Journal of Operational Research*, 217(1), 204-213, (2012).

Parragh, S.N., Doerner, K.F. and Hartl, R.F., “A survey on pickup and delivery problems”, *Journal für Betriebswirtschaft*, 58(1), 21–51, (2008).

Quak, H. J., “Sustainability of urban freight transport - Retail Distribution and Local Regulations in Cities”, *Erasmus Research Institute of Management (ERIM)*, (2008).

Reisman, A., *Management Science Knowledge: Its Creation, Generalization, and Consolidation*, Westport, CT: Quorum Books Publishing Company, (1992).

Ribeiro, C.C. and Soumis, F., “A column generation approach to the multiple-depot vehicle scheduling problem”, *Operations Research*, 42(1), 41-52, (1994).

Riera-Ledesma, J., and Salazar-González, J. J., “Solving school bus routing using the multiple vehicle traveling purchaser problem: A branch-and-cut approach”, *Computers & Operations Research*, 39(2), 391-404, (2012).

Rodríguez-Martín, I., Salazar-González, J.J. and Yaman, H., “The periodic vehicle routing problem with driver consistency”, *European Journal of Operational Research*, 273(2), 575–584, (2019).

Rodrigues, M. M., de Souza, C. C., and Moura, A. V., “Vehicle and crew scheduling for urban bus lines”, *European Journal of Operational Research*, 170(3), 844-862, (2006).

Schittekat, P., Kinable, J., Sörensen, K., Sevaux, M., Spieksma, F., and Springael, J., “A metaheuristic for the school bus routing problem with bus stop selection”, *European Journal of Operational Research*, 229(2), 518-528, (2013).

Schröder, M. and Solchenbach, I., “Optimization of transfer quality in regional public transit”, *Technical Report*, Fraunhofer ITWM, (2006).

Sengupta, J.K. and Gupta, S.K., “Optimal bus scheduling and fleet selection: a programming approach”, *Computers & Operations Research*, 7(4), 225-237, (1980).

Smith, B.M. and Wren, A. “VAMPIRES and TASC: two successfully applied bus scheduling programs”, *Computer Scheduling of Public Transport*, 97-124, (1981).

Sombuntham, P. and Kachitvichyanukul, V., “Multi-depot vehicle routing problem with pickup and delivery requests”, *AIP Conference Proceedings*, 1285, 71–85, (2010).

Spada, M., Bierlaire, M. and Lieblich, T.M., “Decision-aiding methodology for the school bus routing and scheduling problem”, *Transportation Science*, 39(4), 477-490, (2005).

Weise, T., Podlich, A. and Gorltd, C., "Solving real-world vehicle routing problems with evolutionary algorithms", (eds: R. Chiong, S. Dhakal), *Natural Intelligence for Scheduling, Planning and Packing Problems*, Berlin, Heidelberg: Springer, 29-53, (2009).

Van den Heuvel, A., J. Van den Akker, and M. Van Kooten. "Integrating timetabling and vehicle scheduling in public bus transportation", *Technical Report*, UU-CS-2008-003, Department of Information and Computing Sciences, Utrecht University, Holland, (2008).

Yan, S. and Chen, H.L., “A scheduling model and a solution algorithm for inter-city bus carriers”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 36(9), 805-825, (2002).

Yazgan, H.R., Ercan, S. ve Arslan, C. “Talep ve kapasite kisitli optimizasyon problemi için yeni bir melez algoritma”, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 25, 16–28, (2014).

Wren, A., “Bus scheduling: an interactive computer method”, *Transportation Planning and Technology*, 1(2), 115-122, (1972).

## 8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ali BULUT  
Doğum Yeri ve Tarihi : Mersin 20.10.1983  
Lisans Üniversite : Gazi Üniversitesi  
Elektronik posta : alii.bulut@gmail.com