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

ŞEHİR İÇİ OTOBÜS SEFERLERİNİN SENKRONİZASYONU İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ: DENİZLİ ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

IŞIL BAYSAL

DENİZLİ, HAZİRAN - 2019

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

ŞEHİR İÇİ OTOBÜS SEFERLERİNİN SENKRONİZASYONU İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ: DENİZLİ ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

IŞIL BAYSAL

DENİZLİ, HAZİRAN - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Işıl Baysal tarafından hazırlanan **"ŞEHİR İÇİ OTOBÜS SEFERLERİNİN SENKRONİZASYONU İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ: DENİZLİ ÖRNEĞİ"** adlı tez çalışmasının savunma sınavı 14.06.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	İmza
Danışman Doç. Dr. Özcan Mutlu	.....
Üye Dr. Öğr. Üyesi Kenan Karagül Pamukkale Üniversitesi	.....
Üye Dr. Öğr. Üyesi Yusuf Şahin Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi	.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 24/07/2019 tarih ve 30/10 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Uğur YÜCEL V.

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.

IŞIL BAYSAL



ÖZET

ŞEHİR İÇİ OTOBÜS SEFERLERİNİN SENKRONİZASYONU İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ: DENİZLİ ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

IŞIL BAYSAL

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI:DOÇ. DR. ÖZCAN MUTLU)

DENİZLİ, HAZİRAN – 2019

Nüfus artışı ve sosyo-ekonomik sebeplerle kentleşme hem dünyada hem de ülkemizde hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu artışın sonucunda yerleşim alanları plansız bir şekilde genişlemekte ve yeni ulaşım talepleri ortaya çıkmaktadır. Bu plansız büyümenin bir sonucu olarak yetersiz taşıma hizmeti, trafik sıkışıklığı, trafik kazaları, yüksek ulaşım maliyetleri, gürültü, çevre kirliliği, doğa tahribatı gibi pek çok sorun ortaya çıkmaktadır. Büyükşehirlerde ulaşım sorunu artmakta, yolcular tek bir hat ile varış noktasına ulaşmakta zorlanmaktadır. Bu sebeple aktarma gereksinimi duyulmaktadır. Aktarma noktalarında yolcuların bekleme sürelerinden dolayı gecikmeler yaşanabilmektedir.

Bu çalışmada yolcuların aktarma noktalarındaki bekleme sürelerini minimum yapmak için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Otobüslerin ilk sefere başlama zamanları ve seferler arası süreleri belirlenen limitler arasında değiştirilerek otobüslerin aktarma noktalarına eş zamanlı gelmesi (senkronizasyon) amaçlanmıştır. Bu problem otobüs senkronizasyon problemi olarak isimlendirilmektedir. Problemin uygulaması Denizli'deki iki otobüs hattı üzerinde modelin yapılmıştır. Geliştirilen model GAMS programı ile çözümüş ve otobüslerin zaman çizelgelerindeki ufak değişiklerle aktarma yapan yolcuların bekleme sürelerinde kayda değer bir azalma elde edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER:Otobüs zaman çizelgesi, Senkronizasyon, Bekleme süresi

ABSTRACT

A MODEL PROPOSAL FOR SYNCHRONIZATION OF IN CITY BUS LINES: DENİZLİ EXAMPLE

MSC THESIS

IŞIL BAYSAL

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
INDUSTRIAL ENGINEERING

(SUPERVISOR:DOÇ. DR. ÖZCAN MUTLU)

DENİZLİ, JUNE 2019

Because of the population growth and socio-economic reasons, urbanization is increasing rapidly both in the world and in our country. As a result, residential areas are often unplanned and new transport demands are emerging. Many problems arise such as inadequate transport service, traffic congestion, high transportation costs, noise pollution, environmental pollution, and nature destruction, in conclusion of this unplanned growth. The problem of transportation is increasing in metropolitan cities and passengers have difficulty in reaching their destination with a single line. That's why, they need to transfer. Delays may be experienced at the transfer points due to waiting times of passengers.

In this study, a mathematical model has been developed in order to minimize the waiting time of the passengers at the transfer points. It is aimed to synchronize the bus arrivals to the transfer points by changing the first trip times and headways of busses within the predetermined limits. This problem is called bus synchronization problem. The model was applied on two bus lines in Denizli. The solution of the model was obtained by using GAMS programming and the waiting times of the transfer passengers were decreased significantly with small changes in the timetables of the buses.

KEYWORDS: Bus timetable, Synchronization, Waiting time

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT ii
İÇİNDEKİLER iii
ŞEKİL LİSTESİ iv
TABLO LİSTESİ v
SEMBOL LİSTESİ vi
ÖNSÖZ vii
1. GİRİŞ 1
1.1 Amaç 1
1.2 Kapsam 2
2. TOPLU TAŞIMA 3
2.1 Toplu Taşıma Sistemlerinde Karar Verme Süreci 3
2.2 Şehir İçi Toplu Taşıma Türleri 4
2.3 Şehir İçi Ulaşım Sistemlerinin Değerlendirilmesi 9
3. ULAŞIM AĞI PLANLAMASI 11
3.1 Ulaşım Ağı Tasarımı 13
3.2 Ulaşım Ağı Zaman Çizelgesi 14
3.3 Araç Çizelgeleme Problemi 14
3.4 Ekip Çizelgeleme Problemi 14
3.5 Toplu Taşımada Senkronizasyon Problemi 15
3.5.1 Aktarma Çeşitleri 17
3.5.2 Senkronizasyon Probleminin Performans Ölçüleri 20
3.5.3 Senkronizasyon Problemindeki Kavramlar 20
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 22
5. PROBLEMİN TANIMI 33
5.1 Matematiksel Model 34
5.2 Örnek Problem 36
5.3 Uygulama 38
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 54
7. KAYNAKLAR 56
8. EKLER 64
EK A KESİŞEN DURAKLARDAKİ ZAMAN ÇİZELGELEMESİ 64
9. ÖZGEÇMİŞ 72

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Toplu Taşıma Planlamasının Aşamaları ve Etkili Faktörler.....4
Şekil 2.2: İstanbul Yenikapı- Kirazlı Metro Hattı.....6
Şekil 2.3: Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattı.....7
Şekil 2.4: İstanbul Şehir İçi Vapur Hattı.....8
Şekil 2.5: Denizli Teleferik Sistemleri.....9
Şekil 3.1: Operasyonel Ulaşım Ağı Planlama Süreci.....12
Şekil 3.2: Ulaşım Ağı Planlamasında Temel Elemanlar.....13
Şekil 3.3: Senkronizasyonun Önemi.....17
Şekil 3.4:Doğrudan Hizmet Bulunmayan Noktalar Arasında Yapılan Aktarma18
Şekil 3.5:Doğrudan Hizmet Bulunan Noktalar Arasında Yapılan Aktarma.....18
Şekil 3.6: Sıkışıklık Düğümü.....19
Şekil 3.7: Aktarma Düğümü.....19
Şekil 5.1: Örnek Hatların Düğüm Noktası.....36
Şekil 5.2: Denizli Ulaşım A.Ş. Otobüs Ulaşım Ağı.....39
Şekil 5.3: R1 ve R2 Hatlarının Gidiş Yönündeki Durakları.....40
Şekil 5.4: R1 ve R2 Hatlarının Dönüş Yönündeki Durakları.....41

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Karayolu Sistemlerinin Diğer Ulaşım Sistemlerine Göre Kıyaslanması 5
Tablo 2.2: Türkiye'de Yıllara Göre Havayollarında Yolcu Taşıma Durumu 8
Tablo 4.1: Ulaşım Ağı Zaman Çizelgelemesi Çalışmaları 29
Tablo 5.1: R1 Ve R2 Hatlarındaki Duraklar Ve Otobüslerin Duraklar Arası Seyahat Süreleri.....36
Tablo 5.2: R1 Hattındaki Seferlerin Duraklara Varış Süreleri 37
Tablo 5.3: R2 Hattındaki Seferlerin Duraklara Varış Süreleri.....37
Tablo 5.4: R1 ve R2 Hatlarının Bekleme Süreleri 38
Tablo 5.5: Gams Programı İle Yapılan İyileştirme Sonuçları.....38
Tablo 5.6: R1 ve R2 Hatlarının Gidiş Yönü İçin Durakları ve Duraklar Arası Ortalama Süreleri 43
Tablo 5.7: R1 ve R2 Hatlarının Dönüş Yönü İçin Duraklar ve Duraklar Arası Ortalama Süreleri 44
Tablo 5.8: Aktarma Noktalarında Yolcuların Bekleme Süresi (saat) 45
Tablo 5.9: Aktarma Noktalarında Yolcuların İyileştirilmiş Bekleme Süresi.....46

SEMBOL LİSTESİ

TTUA :Toplu Taşıma Ulaşım Ağı
OZÇ :Otobüs Zaman Çizelgesi
UAT : Ulaşım Ağı Tasarımı
UAZÇ :Ulaşım Ağı Zaman Çizelgesi

ÖNSÖZ

Tez çalışmamda ve hayatımın her anında bana desteğini hiçbir zaman esirgemeyen anneme, babama ve kardeşime teşekkür ederim.

Tezin yazımında bana sağladığı destekten dolayı, bilgi birikimini benimle paylaştığı ve akademik kariyerime katkıda bulunduğu için ve bu süreçte bana çok yardımcı olan çok değerli hocam Doç. Dr. Özcan Mutlu'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam için verileri toparlamamda yardımcı olan Denizli Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığına teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Nüfus artışı ve sosyo-ekonomik sebeplerle kentleşme hem dünyada hem de ülkemizde hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu artışla birlikte yerleşim alanları plansız bir şekilde genişlemekte ve yeni ulaşım talepleri ortaya çıkmaktadır. Bu plansız büyümenin sonucunda yetersiz taşıma hizmeti, trafik sıkışıklığı, trafik kazaları, yüksek ulaşım maliyetleri, gürültü, çevre kirliliği, doğa tahribatı gibi pek çok sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bahsedilen bu sorunlar yolcuların isteği doğrultusunda hızlı, güvenilir, konforlu, sürdürülebilir bir ulaşım sistemi tasarımıyla çözülecektir. Süresinde gelen otobüsler, yolcu beklentisini karşılayan zaman çizelgelemesi, sefer süreleri planlamaları, hatlar arası geçiş kolaylığı ve duraklarda bekleme süresini azaltan toplu taşıma çizelgeleri tasarlandığında sorunların çözüleceği düşünülmektedir. Ulaşım sistemlerini planlamada toplu taşımanın rolü büyüktür.

Toplu taşıma; özel taşıt yerine otobüs, metro gibi çok sayıda insanı kısa sürede varış noktasına ulaştırmaya elverişli ulaşım dizgisine denilmektedir. Toplu ulaşım sistemlerinde belediye otobüsleri yoğun kullanıma sahiptir. Otobüs taşımacılığında yapılacak iyileştirmeler toplu taşımaya olan talebi artıracak ve yaşam kalitesinin de artmasını sağlayacaktır (Uludağ,2010).

Bu çalışmada otobüs senkronizasyon problemi incelenmiştir. Otobüsler arası aktarma yapacak yolcuların durakta bekleme sürelerini azaltmak için eş zamanlı otobüslerin gelişlerin artırılması (senkronizasyon) amaçlanmıştır. Bu problem çözümü için bir 0-1 karma tam sayılı bir matematiksel model geliştirilmiştir.

1.1 Amaç

Toplu taşıma sistemlerinde belediye otobüsleri günlük hayatı kolaylaştırmada büyük rol oynamaktadır. Ekonomik ve hızlı bir ulaşım sistemini benimseyerek yolcuların konfor seviyesini artırmayı amaçlarlar. Bu çalışma ile varış noktalarına ulaşabilmeleri için yolcuların aktarma duraklarındaki bekleme sürelerinin azaltılması amaçlanmıştır.

Çalışmada ulaşım ağı zaman çizelgesi problemleri içinde yer alan senkronizasyon problemi ele alınmıştır. Otobüslerin seferleri süresince aktarma duraklarında eş zamanlı gelmesi senkronizasyon olarak tanımlanmaktadır. Aktarma duraklarında senkronizasyon sağlanabilirse aktarma yapan yolcuların bekleme süreleri kısalacak ve böylece hizmet kalitesi ve toplu taşımaya olan talep artacaktır.

Bu çalışmanın temel amacı aktarma yapacak yolcuların durakta bekleme sürelerini azaltmak için eş zamanlı otobüslerin gelişlerini artırmaktır. Bu sebeple çalışmada bir matematiksel model oluşturulmuş ve Denizli Büyükşehir Belediyesi'nden iki otobüs hattı üzerinde bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

1.2 Kapsam

Bu tez çalışması 6 bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde toplu taşıma sistemleri anlatılmıştır. Toplu taşıma sistemlerinde karar verme süreci, şehir içi ulaşım sistemlerinde etkili olan güvenilirlik, konfor, geçiş üstünlüğü, yatırım ve işletme maliyeti gibi etmenlere değinilmiştir.

Üçüncü bölümde ulaşım ağı planlaması anlatılmıştır. Ulaşım ağı planlamasını oluşturan ağ rota tasarımı, ulaşım ağı zaman çizelgelemesi, araç çizelgeleme ve ekip çizelgeleme problemlerine değinilmiştir. Ulaşım ağı planlanmasında temel kriterler ve toplu taşımada senkronizasyon problemi incelenmiştir.

Dördüncü bölümünde ulaşım ağı zaman çizelgelemesi problemi konusunda literatürde yer alan çalışmalar incelenmiştir.

Beşinci bölümde problemin tanımı yapılmakta ve oluşturduğumuz senkronizasyon modeli bulunmaktadır. Ayrıca örnek hatların rotaları belirtilmiş, GAMS programı ile elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

Altıncı bölümde çalışma sonucu elde edilen sonuçlar ve öneriler yer almaktadır.

2. TOPLU TAŞIMA

Toplu taşıma herkesin kullanabileceği, belli bir ücret tarifesi olan, belirli bir güzergahı ve durakları olan sistemlerdir (Karaca, 2018).

Toplu taşıma sistemlerinde hizmet kalitesi çok önemlidir. Hizmet kalitesi arttıkça insanlar özel araç kullanımını terk edip toplu taşımaya yönelmektedir. Toplu taşımayı daha cazip hale getirebilmek için hizmet kalitesinin artırılması gerekmektedir.

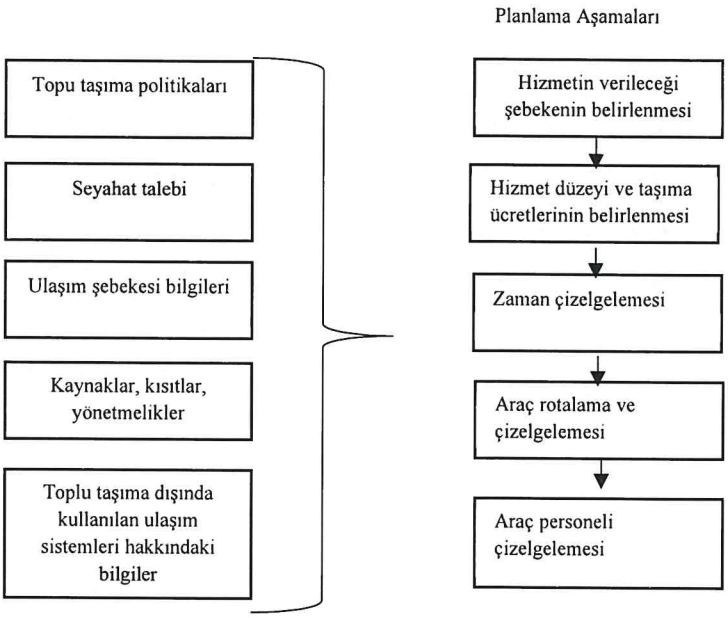
Zaman ve ücret entegrasyonu sağlanarak, uygun kapasiteyi sağlayan sistemlerin kullanılmasını teşvik ederek ve trafiğin yoğun olduğu saatlerde, özel araçlarla hizmet kalitesi açısından rekabet edebilecek toplu taşıma sistemlerinin trafiğe konulması ve kapasitelerine uygun güzergâhlarda kullanılarak artabilmektedir (Camkesen, 2010).

2.1 Toplu Taşıma Sistemlerinde Karar Verme Süreci

Toplu taşıma sistemlerinin verimli çalışabilmesi için planlama faaliyetlerinin, yolcuları en kısa sürede varış noktasına güvenilir ve konforlu şekilde ulaştırması gerekmektedir.

Toplu taşıma problemlerinde çok fazla değişken bulunmaktadır. Etkin bir toplu taşıma planlaması için, araçların çizelgelerinin, araç rotalarının ve personel çizelgelerinin belirlenmesi gerekmektedir (Yardım, 2002).

Şekil 2.1'de toplu taşıma planlaması için gerekli bilgiler ve planlama aşamaları verilmektedir. Toplu taşıma politikaları, seyahat talepleri, ulaşım şebeke bilgileri, mevcut kaynaklar dikkate alınarak hizmetin verileceği şebekenin belirlenmesi, hizmet düzeyi ve ücretlendirme politikasının belirlenmesi, araç zaman çizelgelemesi, personel atama ve çizelgelemesi yapılmaktadır.



Şekil 2.1: Toplu taşıma planlaması için gerekli bilgiler ve planlama aşamaları (Yardım,2002)

2.2 Şehir İçi Toplu Taşıma Türleri

Toplu taşıma karayolu, raylı sistemler, deniz yolu, hava yolu ve diğer taşıma türlerinden oluşmaktadır. Tablo 2.1'de karayolu, demiryolu ve havayolu sistemlerinin yıllara göre taşıdıkları yolcu sayıları gösterilmiştir.

Tablo 2.1'de görüldüğü gibi karayolu sistemleri toplu taşımada en fazla kullanılan sistemdir. Karayolu sistemi yapı ve hizmet özelliklerine çeşitlilik göstermektedir. Karayolu toplu taşıma sistemlerinde otobüs, minibüs, dolmuş, taksi gibi taşıtlardan oluşmaktadır.

Tablo 2.1: Karayolu sistemlerinin diğer ulaşım sistemlerine göre kıyaslanması (TÜİK,2017)

	Yolcu Sayıları (1000 yolcu)		
Yıllar	Karayolu Sistemleri	Demir Yolu Sistemleri	Havayolu Sistemleri
2014	276.073	78.404	165.720
2015	290.734	95.317	181.074
2016	300.852	89.038	173.743
2017	314.734	85.338	193.045

Otobüs: Şehir içi yolcu taşımacılığının esasını oluşturmaktadır ve ortalama 100 kişilik yolcu kapasitesi bulunmaktadır. Küçük ve körüklü gibi türleri bulunmaktadır (Şişman, 2015).

Dolmuş: İnsan taşımak için imal edilmiş sürücüsü dahil 9-15 yeri olan motorlu araçtır. Dolmuşların ticari hızı ortalama 13-25 km arasında değişmektedir (Büyükbaş, 2016).

Taksi-Taksi Dolmuş: Belli bir güzergahları bulunmamaktadır. Otopark kullanımını azalttığı için özel araç yerine kullanılabilirler. Özel araç ile yapılan yolculuklarda olduğu gibi konfora sahip olması otopark sorununun olmaması önemli bir tercih sebebidir (Döner, 2012).

Troleybüs: Elektrik enerjisi ile çalışan sistemlerdir. Troleybüsler, havada bir hattan verilen elektrik telinden elektrik akımı alarak işletilen, şişirme lastik tekerlekleri bulunan araçlardır. Elektrik akımı veren tellerin gittiği yerlere kadar gidebilmektedirler (Döner, 2012).

Raylı sistem taşımacılığı ilk olarak İngiltere'de kullanılmaya başlamıştır. Kent merkezlerine alışveriş veya çalışma alanı olarak gidilmesinden dolayı, insanların hızlı ve ucuz yol seçimleriyle banliyö taşımacılığına ağırlık verilmiştir.

Hafif raylı taşıma sistemleri: Avrupa kentlerinde mevcut tramvay sistemlerinin geliştirilmesiyle 1970'li yılların başında ortaya çıkmıştır. Metroya göre daha düşük ve cadde tramvayından daha yüksek kapasiteye sahiptir (Cirit, 2014).

Metro: Karayolu ile hiçbir noktada kesişmesi olmayan, bölgesel demiryolları ile bağlantıları dışında bağımsız bir kentsel demiryolu ağı bulunmaktadır. Ağırlıklı olarak büyük şehirlerde kullanılmaktadır (Yorulmaz, 2016).

Metro, kapasitesi ve hizmet frekansı yüksek, elektrikli şehir içi büyükşehirlerde sıklıkla ulaşım için kullanılan bir sistemdir. Bu nedenle tünel, viyadük veya yer seviyesi gibi farklı fiziksel ayrımdaki operasyonlar için tasarlanmışlardır. Yüksek kapasiteli bir hat veya ağ hizmeti için uygun bir taşıma sistemi olduğu belirtilmiştir. (Karaca, 2018). Şekil 2.2' de İstanbul Yenikapı-Kirazlı Metro Hattı verilmiştir.



Şekil 2.2 : İstanbul yenikapı-kirazlı metro hattı

(https://www.metro.istanbul/Hatlarimiz?hatturu=metro)

Banliyö: Şehrin merkezi ile merkeze uzak yerleşim yerlerini birleştiren ulaşım sistemidir. Gün içinde yüksek miktarlarda yolcu taşıyan bu sistemlerin işletme giderleri ve enerji tüketimleri düşüktür (Büyükbaş, 2016).

Tramvay: Elektrikle çalışan 80-200 yolcu kapasiteli, 2-3 araçlı genellikle normal tekerlekli araç trafiğine ait caddelerde çalışan raylı ulaşım araçlarıdır. Tramvaylar Şekil 2.3'de görüldüğü üzere genellikle tek ya da dizi vagonlardan oluşmaktadır. 1950'li yıllarda otobüsler daha hızlı ve rahat hareket kabiliyetine sahip olduğu için yerini otobüsler almıştır. Şehirlerin yeniden planlanması ve araçların gelişmesi sonucu raylı sistemler tekrar tercih edilmeye başlanmıştır (Yorulmaz, 2016).



Şekil 2.3: Kabataş-Bağcılar tramvay hattı (https://www.metro.istanbul/Hatlarimiz?hatturu=tramvay)

13 Mart 2009 tarihinde işletmeye açılan Ankara-Eskişehir arasında yüksek hızlı tren(YHT) işletmeciliğine başlanmış, 24 Ağustos 2011 tarihinde Ankara-Konya; 24 Mart 2013 tarihinde Eskişehir-Konya; 25 Temmuz 2014 tarihinde Ankara-İstanbul; 18 Aralık 2014 tarihinde ise Konya-İstanbul arası YHT hattı işletmeye alınmıştır (TCDD,2017).

Mevcut durumda 1.213 km'lik kısmı yüksek hızlı tren demiryolu hattı olmak üzere toplam 12.608 km'lik demiryolu hattında tren işletmeciliği yapılmaktadır (TCDD,2017).

Denizyolu sistemleri, vapur, deniz otobüsü, dolmuş motoru gibi araçlardan oluşmaktadır. Ülkemiz denizyolu ulaşımı açısından elverişli bir yapıya sahiptir. Denizyolu sistemleri, kara ve demiryolları sistemlerinden sonra gelmekte olup yük taşımacılığında daha fazla tercih edilmektedir (Baytar, 2014). Şekil 2.4'de İstanbul Şehir içi Vapur Hattı gösterilmiştir.



Şekil 2.4: İstanbul şehir içi vapur hattı (http://www.sehirhatlari.istanbul/tr/iskelegalerisi.html)

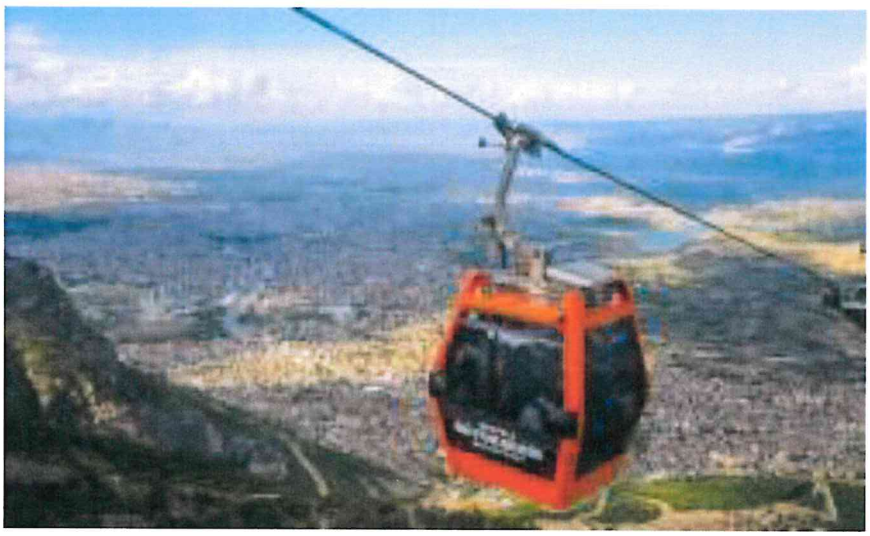
Feribot: Şehir içi ve yakın mesafe araç kullanımında kullanılan vapurların genel adıdır. Feribotlar genellikle İstanbul ve İzmir illerinde şehir içi ulaştırmasında kullanılmaktadır (Büyükbaş, 2016).

Havayolu sistemleri diğer sistemlerden sonra çıkmıştır. Önceki yıllarda kentsel ölçüde hizmet vermekteyken, son yıllarda dikey iniş kalkış yapabilen uçakların geliştirilmesi ve helikopter teknolojilerinin gelişmesi birlikte şehir içi ulaşımda da kullanılmaya başlanmıştır. Araç maliyetlerinin ve yolcu/km maliyetlerinin yüksek olması bu sistemlerin olumsuz özelliğidir (Döner, 2012). Tablo 2.2'de Yıllara Göre Havayollarında Yolcu Taşıma Sayıları verilmiş olup, yıllara göre uçak yolcu sayıları artış göstermiştir.

Tablo 2.2: Türkiye'de yıllara göre havayollarında yolcu taşıma durumu (TÜİK, 2017)

Yıllar	2014	2015	2016	2017
Yolcu(Kişi)	165 720 234	181074 531	173743 537	193 045 343

Teleferik, havada gerilmiş çelik halat üzerinde bağlanarak birbirinden uzak iki yer arasında, yol alan asılı taşıttır. Teleferikler vadi geçişlerinde zeminden yüksek noktalarda çalışmaktadır. Teleferik sistemleri ulaşımların (kara, deniz ve demir yolu ile ulaşılamayan yerler) zor olduğu, güç yükseklikler arasında kurulmaktadır. (Demirkollu, 2017). Şekil 2.5' de Denizli'de bulunan teleferik sistemi gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Denizli teleferik sistemleri (http://www.denizliteleferik.com.tr/galeri/)

2.3 Şehir İçi Ulaşım Sistemlerinin Değerlendirilmesi

Şehir içi toplu taşıma sistemleri teknolojik özellikler, altyapı yapım ve işletme maliyetleri, çevresel etkiler gibi kriterlere göre değerlendirilmektedir. Bu değerlendirmeler bilet ücretleri, alt yapı sistemlerine uygunluk, seyahat süresi, çevre kirliliği, personel ihtiyacı gibi kriterler dikkate alınarak yapılmaktadır (Şenlik, 2013).

Şehir içi ulaşımda güvenlik ve yeterli konfora sahip olma önem taşımaktadır. Taşıtların enerji tüketimi, yolcu kapasitesi, sistemin saatlik kapasitesi, yapısal özerkliği, altyapının jeolojik ve topografik gereksinimleri teknolojik özelliklere bağlı kriterlerdir. Şehir içi toplu taşıma sistemlerinde teknolojik özelliklere bağlı olan hizmet niteliği önemli bir kriterdir. Bu kriterler; sefer sıklığı, araç konforu, bilet almada kolaylık, yaşlı ve engelli bireylere yönelik gruplar için kullanım kolaylığı, yolcu eşyalarını taşımada kolaylığın sağlanması olanaklarıdır (Şenlik, 2013).

Güvenilirlik: Toplu ulaşım sistemleri kullanıcıları tarafından benimsenmesi için ulaşım sistemlerinin güzergâh, zaman ve sefer açısından güvenilir olması gerekmektedir. Sistem kullanıcıları ulaşım sistemlerine her kullandığında güzergâh farklılığı yaşarsa, sefer saatleri değişkenlik gösteriyorsa sisteme olan güvenleri sarsılmaktadır (Bozdoğan, 2018).

Konfor: Toplu taşıma sistemlerini genellikle orta gelir grubu ve altındaki kişilerin kullandığı bilinmektedir. Trafikteki yoğunluğu azaltmak, çevre kirliliğini azaltabilmek için her gün araç kullanan kesimi de toplu taşıma sistemlerine çekebilmek gerekmektedir. Bu sebeple bu kitle seyahat esnasında elde edilen konfor düzeyine dikkat etmektedir. Bu kesimin toplu taşıma sistemine çekilmesinde konfor önemli bir etkendir. En konforlu olan tüm yolcuların oturarak ulaşımını sağlamasıdır. Ancak bu pek mümkün olmamaktadır. Konfor seviyesi belirlenirken 15-20 dakika ve altında olan yolculuk süresinde ayakta giden yolcu sayısı mevcut ise bu sistem konforlu denebilir (Bozdoğan, 2018).

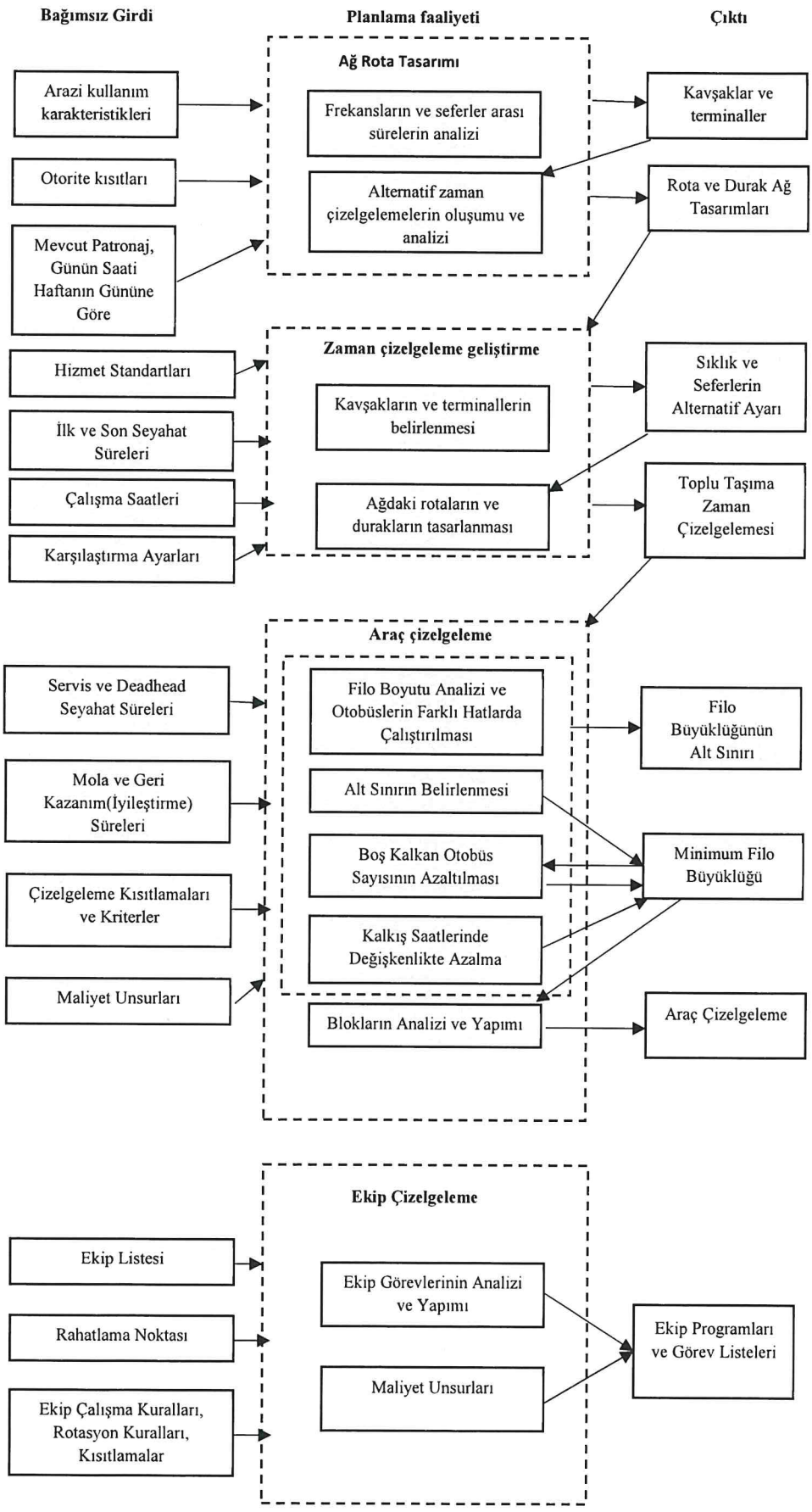
Geçiş Üstünlüğü: Şehir içi ulaşım sisteminin seçimini etkileyen en önemli etkenlerden biri geçiş üstünlüğüdür. Araç kapasitesi, hızı, esnekliği geçiş üstünlüğüne bağlı değişen değerlerdir. Geçiş üstünlüğü açısından toplu taşıma sistemleri; genel trafik içinde hareket eden sistemler (otobüs), kısmen özel yola sahip olan sistemler (tramvay) ve özel yola sahip sistemler (raylı sistemler) olarak sınıflandırılmaktadır (Şenlik, 2013).

Yatırım Maliyetleri: Durak maliyetleri, depo ve atölye maliyetleri, taşıt, sinyalizasyon tesisleri, istasyon maliyetleri, etüt ve mühendislik hizmet maliyetleri ve önceden kestirilemeyen diğer giderlerden oluşmaktadır. Sistem altyapı maliyeti tünel, yol yüzeylerindeki kesimlerin uzunluğuna, zemin cinsine ve inşa yöntemine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Baştürk, 2014).

İşletme maliyetleri oluşturan öğeler, personel giderleri, bakım-onarım ve tadilat masrafları, enerji harcamaları ve yönetim giderleridir. İşletme maliyetleri mesafeye bağlı, zamana bağlı, yola bağlı olarak 3 grupta sınıflandırmıştır (Gökdağ ve Yüksel'den aktaran Baştürk, 2014).

3. ULAŞIM AĞI PLANLAMASI

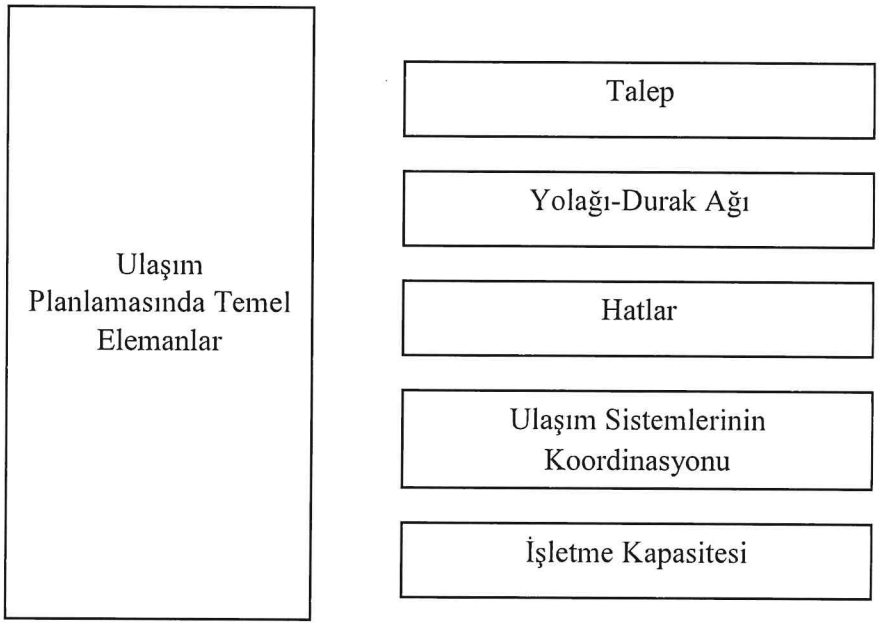
Ulaşım-operasyon planlama süreci genellikle (1) ağ rota tasarımı, (2) ulaşım ağı zaman çizelgelemesi (3) araç çizelgeleme (4) ekip çizelgele olmak üzere dört temel faaliyetin sırayla gerçekleştirilmesini kapsamaktadır. Şekil 3.1'de bu dört faaliyet için gerekli girdiler, planlama faaliyetleri ve çıktılar verilmektedir. Bir faaliyetin çıktısı izleyen faaliyetin önemli bir girdisi olabilmektedir. Bu nedenle bu dört faaliyetin birlikte planlanması sistemin etkinliğini büyük ölçüde arttırmaktadır. Uygulamada genellikle bu dört faaliyet sırasıyla tekrarlanmakta ve her tekrarda elde edilen sonuçlar geri besleme olarak bir sonraki tekrarda kullanılmaktadır. Fakat problem çok karmaşık olduğu için her faaliyet bağımsız olarak ele alınmaktadır (Ceder, 2007).



Şekil 3.1: Operasyonel ulaşım ağı planlama süreci (Ceder, 2007)

3.1 Ulaşım Ağı Tasarımı

Ulaşımın sağlanabileceği, kavşakların, düğümlerin, durakların ve yolların belirli yöntemler seçilerek planlanması ulaşım ağı tasarımını (UAT) oluşturmaktadır. UAT ağırlıklı operatör ve kullanıcı maliyetlerinin en aza indirilmesi gibi belirli hedef işlevlerini optimize etmek amacıyla duraklar arası boşluklar gibi hat düzenlemelerini ve operasyonel özellikleri tanımlamaktadır. Bu stratejik süreçte, frekansların da önceden ayarlanması gerektiğine dikkat edilmelidir. Ulaşım ağının planlanmasında Şekil 3.2'de verilen temel elemanlar dikkate alınmalıdır.



Şekil 3.2: Ulaşım ağı planlamasında temel elemanlar (Çalışkan, 1994)

Ulaşım ağı planlanmasında yapılırken önce ulaşım talepleri belirlenir. Ulaşım talebi iki nokta arasında yolculuk yapmak isteyen yolcu sayısıdır. Mevcut yol ağı ve hat ağı dikkate alınarak iki düğüm arasında bir hat kurulup kurulmamasına karar verilir. Eğer yeni bir hat kurulmasına karar verilir ise bu hattın ulaşım ağı içinde diğer hatlar ile uyumlu bir şekilde koordinasyonunun sağlanması gereklidir.

3.2 Ulaşım Ağı Zaman Çizelgesi

Belirli bir frekansı karşılama, belirli bir talebi karşılama, iyi zamanlanmış yolcu transferlerinin sayısını en üst düzeye çıkarma ve bekleme sürelerini en aza indirme gibi farklı hedeflere ulaşmak için toplu taşıma ağı boyunca tüm duraklarda otobüslerin varış ve kalkış zamanlarının oluşturulması ulaşım ağı zaman çizelgesi olarak tanımlanmaktadır. Bazı durumlarda, sefer sayısı verilirken, diğer problemler de araç kapasitesine ve talep modellerine göre yapılan sefer sayısı belirlenebilmektedir. Ulaşım Ağı Zaman Çizelgesi (UAZÇ) problemlerinde genellikle maliyet minimizasyonu birincil amaç olarak kullanılmaktadır. Bu amacın dışında bekleme sürelerini minimum yapmak gibi hizmet seviyesini arttıracak amaçlar da benimsenmektedir (Eranki, 2004).

3.3 Araç Çizelgeleme Problemi

Araç çizelgeleme problemi, tüm planlanan seferlerin gerçekleştirilmesi için gerekli araçların seferlere atanması ve zamanlarının belirlenmesi faaliyetlerini kapsamaktadır. Bu problemde amaç belli konfor seviyesini sağlayacak şekilde uygun kapasite ve tipteki araçların toplam işletim maliyetini minimum yapacak şekilde seferlere atanmasıdır.

3.4 Ekip Çizelgeleme Problemi

Ekip çizelgeleme problemi belirlenen hatlarda tanımlanmış otobüslere belli kriterlere göre belli bir performans ölçüsünü eniyileyecek şekilde sürücülerin atanmasıdır (Çalışkan,1994). Çizelgeleme yapılırken sürücüler için belirlenen minimum/maksimum çalışma süresi, mola süreleri, fazla mesai süresi ve diğer özel kriterler dikkate alınmaktadır.

3.5 Toplu Taşımada Senkronizasyon Problemi

Toplu taşıma sisteminin ana amacı eldeki sınırlı kaynaklarla yolcuların ulaşım taleplerinin en etkin bir şekilde karşılamaktır (Liu vd. 2007). Şehir içi ulaşımda yolcular seyahatlerini tek bir vasıta ile aktarma yapmadan karşılamak isterler. Toplu taşıma planlayıcılarının ana amaçlarından birisi aktarma sayısını minimum yapacak şekilde hat sayısı ve rotalarının belirlenmesidir. Fakat uygulamada aktarmasız bir şehir içi ulaşım ağı tasarlamak hem çok maliyetli hem de fiziksel olarak mümkün değildir. Özellikle büyük metropollerde iki uzak nokta arasında yolculuklarda çoğu zaman aktarma kaçınılmazdır.

Aktarmaların söz konusu olduğu bir toplu taşıma ağında yolcuların aktarma yapmalarına imkan sağlayacak şekilde zaman çizelgelerinin belirlenmesi senkronizasyon problemi olarak isimlendirilmektedir. Zaman çizelgesinde yapılacak kaydırmalar ve seferler arasındaki sürelerin değiştirilmesi ile otobüslerin aktarma duraklarına daha senkronize bir şekilde gelmesi sağlanabilmektedir. Otobüsler arasında senkranizasyonun artırılması aktarma yapacak yolcuların bekleme süresini büyük ölçüde azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle aktarma yapacak yolcular dikkate alınarak otobüslerin zaman çizelgesi oluşturulması büyük önem arz etmektedir.

Aktarmaların yolcular üzerinde olumsuz etkileri vardır (Akay, 2015):

Aktarım sayısının bekleme süresine etkisi: Aktarım sayısındaki artış yolcuların bir sonraki hat için durakta bekleme sürelerini de artırabilmektedir. Toplam yolculuk süresinde gecikmelere sebep olabilir.

Aktarım Sayısı-Maliyet İlişkisi: Bu uygulama belediyeden belediyeye değişse de, aktarma yapıldıktan sonraki binişlerde indirim uygulanmasına rağmen yolcular için maliyet artışına sebep olmaktadır.

Aktarım sayısı – Zamanlama ilişkisi: Otobüslerin duraklara varış saatleri tahmini olarak hesaplama yapıldığı için sefer saatlerinde ve aktarma saatlerinde bir belirsizlik söz konusudur. Bu yüzden yolculuk planlanan süreden fazla bir sürebilir ve gecikmeler yaşanabilir.

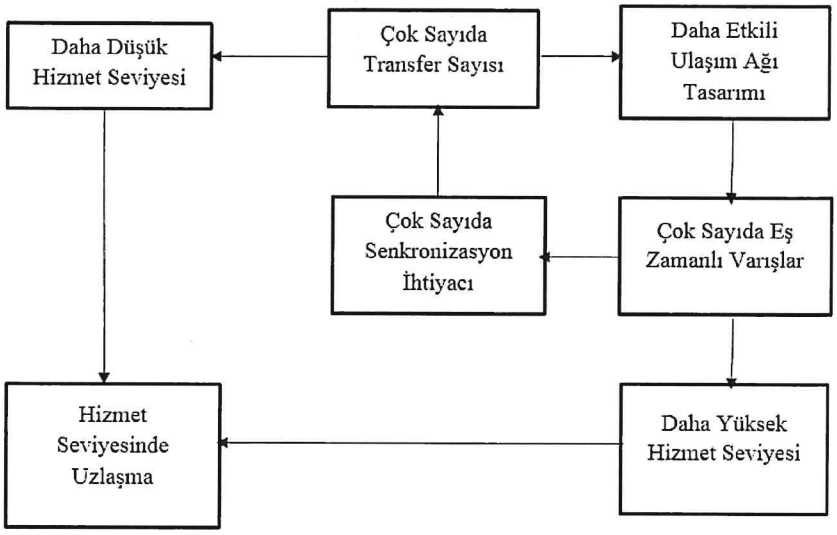
Aktarım sayısı-Yürüme mesafesi ilişkisi: Aktarım yapılacak duraklar başka rotalarda bulunabilir. Bu da yolcular için olumsuz bir durumdur.

Yolcular tek bir araçla varış noktasına ulaşmak istemektedirler. Ancak yol ağı yapısı, maliyet vb. sebepler nedeniyle bu pek mümkün olmamaktadır. Başlangıç ve bitiş noktaların arasında aktarmasız bir ulaşım türünün olmaması veya tek bir ulaşım hizmeti bulunmasına karşılık, aktarmalı bir yolculukla daha fazla avantaj daha düşük maliyet, elde edilebilmesi durumunda aktarma talebi ortaya çıkmaktadır(Candan, 2017).

Toplu taşıma sisteminde hatlar arasında senkronizasyonun sağlanması yolcuların bekleme sürelerini azaltarak toplu taşımaya olan talebi artmasına da neden olacaktır (Teodorović & Lučić, 2005).

Toplu taşıma araçlarında aktarmaların önemi, Şekil 3.3'de gösterildiği gibi çeşitli operasyonel nedenlerle hareket edilmektedir. Büyük toplu taşıma ağlarında çok sayıda aktarma noktası bulunmaktadır ve tek bir rota üzerinden ulaşım olmamaktadır. Çok fazla aktarma noktası olan sistemlerde aktarma duraklarında bekleyen yolcuların bekleme sürelerini en aza indirilmeye çalışıldığında optimum zaman çizelgelemeleri elde edilebilmektedir. Seyahat yollarının sayısını artırmak, ulaşım ağı operasyonel esnekliği ve verimliliği artırmak, sistemi düşük maliyetli hale getirmek ve yüksek hizmet kalitesini-verimli kaynak kullanımını garanti eden ulaştırma altyapısını iyileştirmek transfer sistemlerini geliştirmektedir. Senkronizasyon sağlanamazsa yolcuların aktarmalarında problem yaşanır ve bu da otobüslerin yolcu kaybetmesine sebep olur (Ceder, 2001).

Ulaşım ağları problemlerinde senkronizasyon amaçlı çalışmalar yapılmaktadır. Hem aktarma noktalarındaki bekleme sürelerini minimize eden hem de sefer saatleri ve frekansı belirleyen bir model geliştirilmemiştir. Literatür kısmında bu konu ile ilgili çalışmalar verilmiştir. Hizmet seviyelerinde senkronizasyonu sağlayabilmek için, zaman çizelgeleyiciler sorunsuz bir ulaşım sağlayabilmek adına bir rotadan diğerine bekleme süresi olmasına izin vermeyen senkronizasyon sağlamaya çalışmışlardır. Şekil 3.2'de senkronizasyon yolcu transferlerinin neden olduğu hizmet seviyesi üzerindeki olumsuz etkileri azalttığı ve daha uygun maliyetli ulaşım ağı gerçekleştirildiği gösterilmektedir.



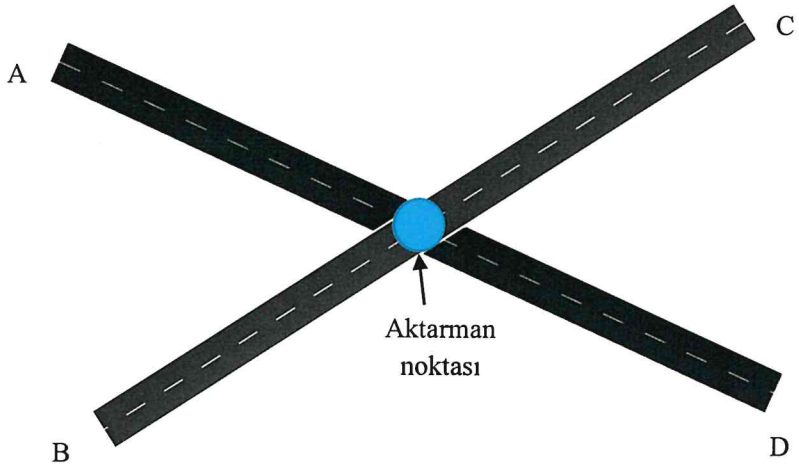
Şekil 3.3: Senkronizasyonun önemi, Ceder (2007)

Toplu taşıma sistemleri arasında senkronizasyon sağlayarak aktarmaların gerçekleşebilmesi için koordineli bir planlama gerekmektedir. Ulaşım ağlarının birçoğunda taşıtların belli zaman aralıklarında buluştukları düğümler bulunmaktadır. Alışveriş merkezleri, hastaneler gibi noktalarda otobüs hatları aktarmalar için aktarma merkezi oluşturmaktadır. Aktarma merkezleri sayesinde yolcular rahat, güvenilir bir biçimde yolculuklarını yapmaktadır (Dişli, 2006).

3.5.1 Aktarma Çeşitleri

Toplu taşıma sistemlerin farklı aktarma sistemi bulunmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda açıklanmaktadır.

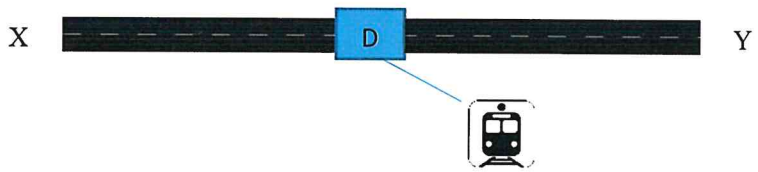
Doğrudan Hizmet Bulunmayan Noktalar Arasında Aktarma Türü (Zorunlu) : Başlangıç ve bitiş çizgileri arasında doğrudan bir hizmet sunan toplu taşıma aracı yok ise yolcu aktarma yapmak zorundadır. Şekil 3.5'de görüldüğü gibi A-D hattındaki bir yolcunun C'ye ya da D'ye ulaşabilmesi için aktarma noktasında aktarma yapması gerekmektedir (Candan, 2017).



Şekil 3.4: Doğrudan hizmet bulunmayan noktalar arasında aktarma (Candan,2017)

Doğrudan Hizmet Bulunan Noktalar Arasında Yapılan Aktarma (Geri Besleme) : Varış noktasına kadar ulaşımı sağlayan bir şebeke olduğu halde aktarma yapılabilmektedir.

Örneğin Şekil 3.5'de görülen X' den Y noktasına aktarma gereksinimi olmadan varabilmesine rağmen, diğer sistemin hız ve diğer avantajından yararlanıp daha kısa sürede yolculuğunu tamamlamak için bir besleyici otobüs hattı kullanarak diğer sisteme aktarma yapabilmektedir.

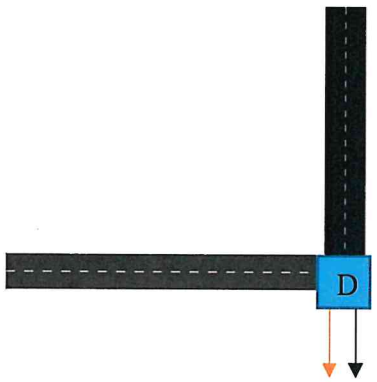


Şekil 3.5: Doğrudan hizmet bulunan noktalar arasında yapılan aktarma (Candan, 2017)

Bazı çalışmalar aktarma merkezlerini ulaşım türlerinin kesişimlerine göre tanımlamaktadır. Bunlar tekil ve çoğul sistemlerdir (Dişli, 2006).

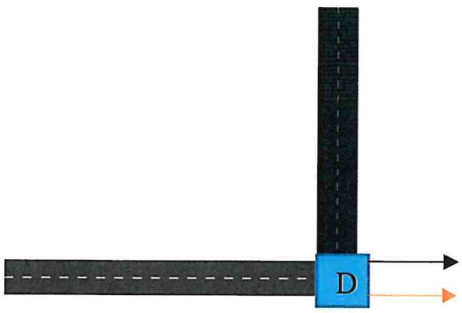
Yolcular bir ulaşım sisteminin türleri arasındaki aktarmalarını tekil, farklı ulaşım türlerindeki aktarmaları çoğul sistemler olarak tanımlamaktadır.

Ibarra Rojas ve Rios-Solis (2015) çalışmalarında 2 çeşit aktarma sistemi olduğunu belirtmişlerdir. İlki sıkışıklık düğümü ikincisi ise aktarma düğümüdür. Sıkışıklık düğümünde iki araç kesiştikleri düğümden sonra aynı güzergahta yol aldıklarında bir sıkışıklık meydana gelmektedir. Şekil 3.6'da bu durum gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Sıkışıklık düğümü

Yolcuların bir hattaki otobüsten diğer hattaki otobüse geçmesi için ortak bir düğümde aktarımın gerçekleştirildiği düğüme aktarma düğümü denilmektedir. Aktarma sistemleri yolcuların memnuniyetini de esas almalıdır. Bazı durumlarda otobüslerin yeterli duraklama alanı olmadığında ve otobüslerin senkronize olduğu durumlarda sıkışıklığa sebep olabilir ve trafiği aksatabilir. Şekil 3.7'de aktarma düğümü gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Aktarma düğümü

Aktarmalar otobüs-otobüs gibi aynı mod da olabileceği gibi otobüs-metro gibi farklı modlarda olabilir. Bu nedenle senkronizasyon konusu ele alınırken toplu taşıma sistemi içinde yer alan tüm modların birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

3.5.2 Senkronizasyon Probleminin Performans Ölçüleri

Senkronizasyon problemlerinde genellikle aşağıdaki performans ölçüleri kullanılmaktadır:

- Senkronize olan sefer sayısını maksimum yapmak. Toplu taşıma sistemi kullanıcıları tek bir sefer ile varış noktasına ulaşmayı hedeflerler. Ancak maliyet vb. kısıtlamalar nedeniyle bu pek mümkün olmamaktadır. Aktarma yaparak varış noktasına varabilmektedirler. Yolculara daha esnek bir hizmet sunabilmek amacıyla, aktarma duraklarında yolcuların bekleme sürelerinin en aza indirilmesi beklenmektedir. Aktarma noktalarında otobüsler dengeli(senkronize) bir şekilde sefer yaptıklarında kullanıcı maliyeti sağlanmış olacaktır.
- Toplam bekleme süresini minimum yapmak, hizmet kalitesini artırmak
- Eş zamanlı varışları sağlamak,
- Seferler arası süreyi (headway) minimum yapmak

Yukarıdaki performans ölçütleri yolcu talepleri veya bazı özel durumlar dikkate alınarak ağırlıklı hale getirilebilir.

3.5.3 Senkronizasyon Problemindeki Kavramlar

Senkronizasyon problemlerinin anlaşılması için aşağıdaki kavramların açıklanması gerekmektedir.

Senkronizasyon: Farklı saatler de transfer duraklarına varan otobüslerin, izin verilen bekleme süresini geçmeden ulaşımın sağlanması

Aktarma Sayısı: İki rota arasında sağlanan ulaşımda değiştirilen araç sayısı

Seferler arası süre (Headway): Başlangıç duraklarında birbirini takip eden iki sefer arasında geçen süre. Uygulamada, seferler arası süreler için farklı stratejiler kullanılmaktadır. Bu stratejiler iki başlık altında incelenebilir.

- **Sabit seferler arası süre:** Gün boyunca iki sefer arasındaki sürenin değişmediği varsayılır. Bu durumda ilk seferin zamanı belirlendiğinde tüm seferlerin zaman

çizelgesi belirlenmiş olur. Sabit süre yönteminde gün içindeki yolculuk taleplerindeki değişimler dikkate alınmadığı için araç kullanım kapasitesi (teknik bir ifade vardır bunun için) sürekli değişim göstermektedir. Diğer taraftan zaman çizelgesi düzenli olduğu için yolcuların bu zaman çizelgesine uyum sağlamalarını neden olmaktadır

- **Değişken seferler arası süre:** İki sefer arasında süre yolcu talebine göre sürekli olarak bir aralıkta değişkenlik gösterir. Talebin fazla olduğu zamanlarda seferler arası süre azaltılırken, az olduğu zamanlarda ise arttırılmaktadır.

Uygulamada bu iki yöntemin karması yöntemlerde kullanılmaktadır.

Sefer frekans sayısı: Belli bir dönem içinde yapılacak toplam sefer sayısı.

Aktarma süresi: Bir yolcunun bir seferden inerek diğer sefere binmesi için gerekli süre. Bazı durumlarda aktarma yapacak yolcuların diğer sefere binmesi için belli bir mesafeyi kat etmesi gerekmektedir.

Aktarma Noktası: Yolcunun içinde bulunduğu mevcut otobüsten başka bir hattın otobüsüne binmek için aktarma yapılan durak

Aktarma Sayısı: İki rota arasında sağlanan ulaşımda değiştirilen araç sayısı

Duruş Süresi: Yolcu iniş-biniş hareketlerinin tümünü ve araç kapılarının açılma-kapanma sürelerini kapsayan ortalama süredir (Uludağ, 2010).

Boşaltma Süresi: Bir otobüsün hızlanarak yükleme alanını boşaltması ve bir sonraki otobüsün yükleme alanına girmesi için gerekli olan süredir. Bu süre, trafikteki herhangi bir problemden doğan gecikme süresini de içermektedir (Uludağ, 2010).

Duruş Süresindeki Değişkenlik: Yükleme alanını kullanan otobüslerin duruş süreleri arasındaki yakınlık ve tutarlılık (Uludağ, 2010).

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Ulaşım ağı planlaması konusu ile ilgili çok geniş bir literatür bulunmaktadır. Bu bölümde ulaşım ağı planlaması içindeki bir alt faaliyet olan senkronizasyon problemi konusundaki literatürde çalışmalar hakkında bilgisi verilecektir.

Klemt ve Stemme (1988) aktarma noktalarında bir tren veya otobüs için bekleyen yolcuların toplam bekleme süresini minimum yapmak için tam sayılı kareli atama problemi benzer bir model geliştirmişlerdir. Problemde aktarma yapacak yolcu sayılarının bilindiği ve seyahat sürelerinin deterministik olduğu varsayılmıştır. Problemin çözümü için bir kurucu sezgisel yöntem önermişleridir.

Domschke (1989) Klemt ve Stemme (1988) tarafından önerilen modelin problemin çözümü için Vogel yaklaşım metoduna benzer bir başlangıç çözüm bulan bir algoritma geliştirmişlerdir. Daha sonra, başlangıç çözümünde kalkış zamanları çifterli olarak değiştirerek toplam bekleme zamanları azaltmaya çalışan iki sezgisel yöntem ve tavlama benzetimi algoritması önermişlerdir.

Bookbinder ve Désilets (1992) aktarma noktalarındaki bekleme sürelerine bağlı olarak üç farklı hoşnutsuzluk fonksiyonu tanımlamışlar ve matematiksel model olarak Klemt ve Stemme (1988) tarafından önerilen formülasyonu kullanmışlardır. Otobüslerin transfer noktalarına varış zamanları rassal değişken olduğu varsayılmış ve varış zamanları için kaydırılmış sınırlı üstel dağılımı fonksiyonunu kullanmışlardır. Birbirini izleyen iki sefer arasında sürenin sabit olduğunu varsayarak her hatta ilk otobüs seferinin kalkış zamanı tespit etmeye çalışılmışlardır.

Daduna ve Voß (1995) bekleme süresini azalmak ve aktarma bölgelerinde varış saatlerini senkronize etmek amacıyla zaman çizelgesi problemi sunmuşlardır. Ayrıca, yazarlar alternatif hedefler üzerinde de çalışmışlardır. (Farklı transferlere dayalı bir ağırlıklı hedef fonksiyonu ve bir transfer bölgesinde maksimum bekleme süresi gibi). Ulaşım ağı zaman çizelgelemesini formüle etmek için kuadratik yarı atamaya dayanan bir matematiksel model kullanılmıştır. Problemin karmaşıklığından dolayı, başlangıç çözümü için sezgisel kullanılmış ve sonrasında benzetim tavlaması algoritması ve tabu aramanın farklı versiyonları geliştirilmiştir.

Chakroborty vd. (1995) toplu taşıma ağı zaman çizelgelemesi için toplam bekleme sürelerini minimize eden doğrusal olmayan bir matematiksel formülasyon geliştirmiştir. Modelde; filo büyüklüğü, varış zamanı sınırları, maksimum sefer değeri ve maksimum aktarım süreleri kısıt olarak belirlenmiştir. Problemin çözümü için genetik algoritma kullanılmıştır.

Ceder vd. (2001) bir otobüs ulaşım ağında belli bir dönemde aktarma duraklarına toplam senkronizasyon sayılarının maksimum yapmak için karma tam sayılı model geliştirmiştir. Hatlarda birbirini izleyen iki sefer arasındaki süre minimum ve maksimum değerler arasında değişken olarak kabul edilmiştir. Otobüs kalkış zamanları bu aralık içinde değiştirilerek toplam senkronizasyon sayısı maksimum yapılmaya çalışılmıştır. Problemin çözüm için bir sezgisel algoritma geliştirilmişler ve bu algoritmayı bir gerçek hayat probleminde uygulamışlarıdır.

Eranki (2004), Ceder vd. (2001) tarafında geliştirilen modeli senkronizasyon tanımını değiştirerek yeniden ele almıştır. Ceder vd. (2001) tarafından geliştirilen modelde iki otobüs aynı anda aktarma noktasına geldiğinde senkronize olarak kabul edilirken, bu çalışmada iki otobüsün belirlenen bir içinde aktarma noktasına geldiğinde senkronize olarak kabul edilmiştir. Problemin çözümü için bir sezgisel yöntem önermişlerdir.

Teodorović ve Lučić (2005) aktarma yapan yolcuların toplam bekleme süresini minimum yapmak için Bulanık Karınca Sistemi olarak isimlendirdikleri bir yaklaşım önermişlerdir. Zaman içinde meydana gelen yolculuk talebi değişimlerini dikkate almak için planlama dönemi daha küçük zaman aralıklarına ayırılmış ve bu aralıklardaki yolculuk taleplerini üçgen bulanık sayılar ile yaklaşık olarak belirlenmiştir. Her aralık için seferler arası sürenin sabit olduğu kabul edilmiş, bu nedenle her aralık için ilk seferin başlama zamanı karar değişkeni olarak kullanılmıştır.

Liu vd. (2007) maksimum senkronizasyonu sağlamak için Ceder vd. (2001) tarafından önerilen problemi ele almış ve problemin çözümü için özel bir Tabu Araması (Nesting Taboo Search) yöntemi geliştirmişlerdir.

Zhi-gang Liu ve Shen (2007) araç atama ve senkronizasyon problemini iki seviyeli programlama problemi olarak ele almışlardır. Üst seviye olan araç

çizelgeleme probleminde belirlenen bir zaman çizelgesi için toplam maliyeti (sabit maliyet ve araç bekleme maliyeti) minimum yapacak şekilde araç atamaları yapılmaktadır. Alt seviyede ise senkronizasyonu maksimum yapacak şekilde zaman çizelgelemesi belirlenmektedir. Problemin çözümü için İçiçe Tabu Araması algoritmasını kullanmışlardır.

Schröder and Solchenbach (2006) toplu taşıma sistemlerinin aktarma kalitesinin iyileştirilmesi amaçlamıştır. Probleminin çözümü için kareli yarı atama modeli geliştirilmiştir. Çalışmada uygun transfer, sabırlı transfer, risk transferi, kıl payı transfer, transferin olmaması gibi farklı transfer çeşitleri tanımlanmıştır. Her transfere yolcuların bekleme sürelerine göre ceza puanları verilmiştir. Problem bir gerçek hayat problemine uygulanmıştır.

Wong vd. (2008) tren seferleri arasındaki beklemeleri minimum yapan bir karma tam sayılı programlama problemi önermişlerdir. Deterministik seyahat sürelerini dikkate alarak, bir sezgisel model önerilmiştir. Bu çözüm algoritması 16 aktarma noktasına kadar olan örnekleri çözebilmektedir.

Guihaire and Hao (2010a) çalışmada toplu taşıma ağlarındaki planlama süreciyle ilgilenmişlerdir. Çalışmada araç ve sürücülerin çizelgelemelerini dikkate alıp ağdaki zaman çizelgelerini değiştirmeyi, yolcuların hizmet kalitesini artırmayı amaçlamışlardır. Çözüm metodu tabu ve komşuluk arama algoritması metoduna dayalı bir model önermişlerdir. Gerçek ulaşım ağındaki denemeler 5 örnekte incelenmiştir. Tasarlanan model de katma değerli bir iyileştirme sağlanmıştır.

Guihaire ve Hao (2010b) ağ zaman çizelgelemesi ve araç planlama problemleri ele alınmıştır. Hizmet kalitesini artırmak ve araç maliyetinde iyileştirme sağlamak amacıyla eş zamanlı bir çözüm yaklaşımı sunulmuştur. Filo büyüklüğü, hatların uzunluğu gibi karar değişkenleri aktarmaların nicelik ve niteliğini etkilediğini vurgulamışlardır. Çalışmada yinelenen yerel arama algoritması kullanılmış, hem hizmet kalitesinde hem de kaynak düzeyinde önemli gelişmeler göstermiştir.

Szeto ve Wu (2011) bu çalışmada Hong Kong'da bir banliyö yerleşim bölgesi olan Tin Shui Wai için bir otobüs ağı tasarımı araştırılmıştır. Bu hizmet, bu banliyö bölgesindeki kökenlerden şehirlerdeki hedeflere kadar olan otobüs hizmetlerini ele

almaktadır. Problemde aktarma sayısı ve kullanıcıların toplam seyahat süresini azaltan mevcut otobüs hizmetlerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Önerilen entegre çözüm yöntemi rota tasarımı ve frekans ayarı sorunlarını çözebilmektedir.

Hassold ve Ceder (2012) bu çalışmada yolcu bekleme süresinin minimizasyonu ve operasyonel verimliliği artırmak üzere ulaşım ağı zaman çizelgelemesi problemi üzerinde çalışmışlardır. Beklenen yolcu bekleme süresinin en aza indirilmesi ve hizmeti iyileştirmeyi amaçlayan ve araç tiplerini belirleyen iki amaçlı ağ akış formülasyonu tasarlamışlardır. Çok amaçlı etiket doğrulama algoritması ile problemi çözmüşlerdir. Çalışma Yeni Zelanda'da gerçekleştirilmiş ve yolcu bekleme sürelerinde %43 tasarruf sağlamasının yanı sıra, tüm araçlarda kabul edilebilir yolcu yükleri de sağlanmıştır.

Ibarra-Rojas ve Rios-Solis (2012) otobüs senkronizasyon zaman çizelgeleme problemi üzerinde çalışılmıştır. Meksika'nın Monterrey'deki otobüs ağı incelenmiştir. Zaman çizelgesi problemi yolcu transferlerini kolaylaştırmak ve ağ boyunca otobüs gruplaşmasını önlemek ve senkronizasyon sayısını maksimize edecek şekilde formüle edilmiştir.

Tilahun ve Ong (2012) seferlerin aktarma bekleme sürelerini minimize etmeyi amaçlamışlardır. Model bir günlük deterministik seyahat süreleri dikkate alınarak bulanık çok amaçlı problem olarak formüle edilmiştir.

Ceder vd. (2014) çalışmada toplu taşıma (PT) ağlarında yolcu aktarmalarını senkronize etmek amacıyla otobüsler için haberleşmeye dayalı bir araç kontrol sistemi önermişlerdir (CBVC-B communication-based vehicle control system for buses). Bu sistem araçlar arası iletişimde kullanılmaktadır. Ayrıca sistem sürücülerin konum, hız, yön ve yolcu bilgilerinin diğer otobüsler ile paylaşmalarını sağlamaktadır. CBVC-B'nin asıl amacı, gerçek zamanlı operasyonda belirli taktikler kullanarak planlanan yolcu aktarmalarının oluşumunu arttırmaktır.

Akay (2015) toplu ulaşım ağları üzerinde yolculuk planlama problemi için TUR isimli yeni bir algoritma geliştirmiştir. Bu algoritma minimum aktarım sayısını amaçlayarak yolculuğu aktarım sayısı ve varış zamanına göre optimize etmiştir. Londra, İstanbul, Ankara, İzmir ve Bursa şehirlerinin toplu ulaşım verileri kullanılmış,

kıyaslanmış ve gerçek dünya uygulamaları ile benzer çözümler üretildiği gözlenmiştir. TUR algoritmasının sorgulama performansı test edilmiş ve algoritmanın, aynı optimizasyon kriterlerini kullanan ön işlem adımsız algoritmalardan yaklaşık 4 kat daha hızlı olduğu görülmüştür.

Nesheli ve Ceder (2015) çalışmada toplu taşıma hizmetinin güvenilirliğini ölçmek ve iyileştirmek için bir sistem güvenilirlik modeli geliştirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada operasyonel taktiklerin nasıl kullanılacağını araştırmışlardır. Araştırmanın amacı, uygun bir performans göstergesi sunarak sistemin verimlilik seviyesini ölçmektir. Seçilen taktikler, bekleme olmadan aktarma sayılarının maksimum olmasını ve araçların durumunu, doğrudan veya eksik aktarma yapıp toplam yolcu seyahat süresini azaltarak toplu taşıma sistemini etkilediğini belirtmişlerdir. Geliştirilen metodoloji Yeni Zelanda'nın Auckland kentinde uygulanmıştır ve taktiksel olmayan performans göstergeleri ile kıyaslandığında %58 bir iyileşme gözlenmiştir.

Nesheli vd. (2015) kaçırılmış aktarmaların yolcuların bekleme ve seyahat sürelerinde artışa sebep olduğu belirtilmiştir. Toplu taşıma sistemlerinin stokastik ve belirsiz olması sebebiyle senkronize aktarmaların her zaman gerçekleşmediğini belirtmişlerdir. Çalışmada toplam yolcu bekleme süresini minimize etmek ve direkt aktarmaları maksimize etme amacıyla yeni bir matematiksel model önermişlerdir. Yeni Zelanda'nın Auckland kentinde bir uygulama yapılmış, toplam yolcu seyahat süresinde %4,7'lik azalma gerçekleşmiş, doğrudan aktarmalarda %150'den fazla bir artış gerçekleşmiştir.

Ibarra-Rojas vd. (2015) diğer çalışmaların aksine her bir hat için belli periyotlar tanımlamış ve çok periyotlu otobüs zaman çizelgelemesi senkronizasyonu için tamsayılı doğrusal programlama formülasyonu önermişlerdir. Gerçek boyutlu örnekler için yüksek kalitede uygulanabilir çözümler elde edilmiştir. Problemin çözümü için yinelen yerel arama ve değişken komşu arama algoritması uygulanmıştır.

Fouilhoux vd. (2016) otobüslerin kalkış sürelerini planlayan bir program oluşturmayı hedeflemişlerdir. Yolcu aktarmalarını kolaylaştıran ve ortak duraklarda otobüslerin tıkanmasını önleyen Senkronizasyon Otobüs Zaman Çizelgesi Problemi

(SBTP) ele alınmıştır. SBTP için literatürde Karma Tamsayı Programlama (MIP) önerilmiştir.

Ibarra Rojas ve Muñoz (2016) farklı hatların ortak duraklarda senkronize edilmesi kapsamında çalışmışlardır. Kalkış saatlerine bağlı otobüslerin hızları karar değişkeni olarak belirlenmiştir. Çalışmada genetik algoritma kullanılmış ve yöntem Şili, Santiago'da Redbus Urbano'nın iki hattına uygulanmıştır.

Liu ve Ceder (2017a) ulaşım koordinasyon problemi için işletme maliyeti, araç içi yolcu maliyeti, yolcu bekleme maliyeti, yolcu aktarma maliyetlerini minimum yapmak için tamsayı-oran seferler arası süresini kullanan genetik algoritmaya dayalı bir çözüm önermişlerdir.

Liu ve Ceder (2017b) senkronizasyon problemleri ile ilgili çalışmalarda sadece aktarma için bekleme süresini minimize etmeyi amaçladıklarını, operasyonel planlama faaliyetlerinin düşünülmediğini belirtmişlerdir. Bu sebeple bu çalışmada kullanıcı talebi dikkate alınarak toplu taşıma kullanıcılarının ve işletmecilerin yararı gözetilmiş, iki-yönlü ve iki seviyeli tamsayı programlama modeli geliştirmişlerdir.

Fonseca vd. (2018) zaman çizelgesi ve araç çizelgelemesi birlikte ele alarak yolcu aktarma senkronizasyonu için bir matematik sezgisel yöntem üzerinde çalışmışlardır. Problemde periyodik olmayan zaman çizelgesi, zamana bağlı yolculuk süreleri ve yolcu talebi verildiğinde seferler arası süre kısıtlarını dikkate alarak ağırlıklı toplam yolcu aktarma süresini ve operasyonel maliyetlerini minimum yapan bir karma tamsayılı model geliştirmişlerdir. Karar değişkeni olarak otobüslerin kalkış zamanları ve ara duraklardaki otobüslerin bekleme süreleri belirlenmiştir. Problemin çözümü için bir mat-sezgisel yöntem geliştirmişler ve Kopenhag'da bir vaka çalışmasında uygulamışlardır.

Gkiotsalitis ve Maslekar (2018) farklı otobüs hatları arasındaki koordinasyonu sağlamaya yönelik çalışmışlardır. Otobüs hizmet düzenliliğinin sağlanması ve yolcu aktarma bekleme sürelerinin azaltılması olmak üzere iki çelişen amacı önüne alınmıştır. Deneysel sonuçlar, hizmet düzenliliğinde %2,8'lik azalmaya karşılık aktarma duraklarındaki potansiyel bekleme süresinde %13'lük iyileşme sağlanmıştır.

Tablo 4.1'de otobüs senkronizasyon problemlerinde literatürde yapılan çalışmalar amaç fonksiyonu ve kullanılan yöntemlere göre özetlenmiştir.

Tablo 4.1 Ulaşım ağı zaman çizelgelemesi çalışmaları (Ibarra Rojas vd. , 2015)

Yıl	Yazar	Amaç Fonksiyonu													Kullanılan Yöntem
		MABS	MBS	MİM	MM	MSS	MMAA	MBSM	ÇOSM	TK	MA	MYBS	EZVM	MAS	
1988	Klemt and Stemme	✓													Sezgisel
1989	Domschke	✓													Sezgisel ve Tavla Benzetimi
1992	Bookbinder and Désilets		✓												Simülasyon ve matematiksel programlama
1995	Daduna and Voß													✓	Tavla Benzetimi
1995,1997	Chakroborty et al.											✓			Genetik Algoritma
2001	Ceder vd.												✓		Sezgisel
2004	Eranki												✓		Sezgisel
2005	Teodorović ve Lučić											✓			Karınca Koloni Sistemi ve Bulanık Mantık
2007	Liu et al.													✓	Tabu Araması

MABS: Minimum Aktarma Bekleme Süresi, **MBS**: Minimum Bekleme Süresi, **MİM**: Minimum İşletme Maliyeti, **MM**: Minimum Maliyet, **MSS**: Maksimum Senkronizasyon Sayısı, **MMAA:** Minimum Maliyetli Araç Atama, **MBSM**: Minimum Bekleme Süresi Maliyeti, **ÇOSM**: Çalışan Otobüs Sayılarının Minimizasyonu, **TK**: Transfer Kalitesi, **MA**: Minimum Aktarma, **MYBS**: Minimum Yolcu Bekleme Süresi, **EZVM**: Eş Zamanlı Varışların Maksimizasyonu, **MAS**: Minimum Aktarma Süresi, **YSSS**: Yolcu Seyahat Sürelerinin Sayısı

Tablo 4.1: Ulaşım ağı zaman çizelgelemesi çalışmaları (Devam)

Yıl	Yazar	Amaç Fonksiyonu													Kullanılan Yöntem
		MABS	MBS	MİM	MM	MSS	MMAA	MBSM	ÇOSM	TK	MA-YSSS	MYBS	EZVM	MAS	
2007	Zhi-gang Liu ve Shen					✓	✓								Tabu arama
2006	Schröder and Solchenbach							✓							CPLEX
2007	Ceder								✓						Sezgisel
2008	Wong et al.		✓												Langrange sezgiseli
2010a	Guihaire and Hao					✓				✓					Tabu Araştırması
2010b	Guihaire and Hao		✓												Tabu Araştırması
2011	Szeto ve Wu										✓				Hibrit Genetik Algoritma
2012	Hassold and Ceder		✓												Sezgisel
2012	Ibarra-Rojas and Rios-Solis					✓									Entegre Lojistik Desteği
2012	Tilahun and Ong		✓												Genetik Algoritma

Tablo 4.1: Ulaşım ağı zaman çizelgelemesi çalışmaları (Devam)

Yıl	Yazar	Amaç Fonksiyonu													Kullanılan Yöntem
		MABS	MBS	MİM	MM	MSS	MMAA	MBSM	ÇOSM	TK	MA-YSSS	MYBS	EZVM	MAS	
2014	Ceder vd.												✓		Pareto Optimal Kullanımı
2015	Akay													✓	TUR Algoritması
2015	Nesheli vd.		✓												Ajan Tabanlı simülasyon
2015	Nesheli ve Ceder		✓												Karar ağacı
2015	Ibarra-Rojas vd.					✓									Yinelen Yerel Arama Ve Değişken Komşu Arama Algoritması
2016	Fouilhoux vd.					✓									Karma Tamsayı Programlama
2016	Ibarra Rojas ve Muñoz					✓									Genetik Algoritma

Tablo 4.1: Ulaşım ağı zaman çizelgelemesi çalışmaları (Devam)

Yıl	Yazar	Amaç Fonksiyonu													Kullanılan Yöntem
		MABS	MBS	MA-MA-MİM	MM	MSS	MMAA	MBSM	ÇOSM	TK	MA-YSSS	MYBS	EZVM	MAS	
2017	Liu ve Ceder		✓												Eksik Fonksiyon Tabanlı Sıralı Arama Yöntemi
2017	Liu ve Ceder				✓										Genetik Algoritma
2018	Fonseca vd.			✓											Metasezgisel
2018	Gkiotsalitis ve Maslekar	✓													Tepe Tırmanma Algoritması

5. PROBLEMİN TANIMI

Bu çalışmada ulaşım ağı zaman çizelgelemesi problemi üzerinde yer alan senkronizasyon problemi incelenmektedir. Problemde aktarma yapacak yolcuların günlük toplam bekleme zamanlarının minimum yapacak şekilde bir matematiksel model önerilmiştir. Problemde otobüslerin ilk sefere başlama zamanları ve birbirini izleyen iki sefer arasında geçen süre karar değişkeni olarak kullanılmıştır. Problemde amaç, otobüslerin ilk sefere başlama zamanlarında seferler arasında sürelerde ufak değişiklikler yaparak otobüslerin aktarma duraklarına mümkün olduğunda eş zamanlı olarak varmalarını sağlayarak aktarma yapacak yolcuların bekleme sürelerini azaltmaktır (Ceder, 2001).

Problemin matematiksel modeli oluşturulurken aşağıdaki varsayımlar dikkate alınmıştır.

- Aynı hattaki otobüslerin seferler arası süresi sabittir. Bu varsayım günlük süre homojen zaman aralıklarına ayrılarak, her zaman aralığı için sabit seferler arası süre belirlenerek esnetilebilir.
- Seyahat süreleri deterministiktir, bu nedenle otobüslerin duraklara varış zamanları kesin olarak bilinmektedir.
- Duraktaki yolcular aktarma için tek bir hattı beklemektedir.
- Otobüslerin kalkış zamanlarının değişmesi yolculuk seyahat taleplerini etkilememektedir
- Duraklara aynı anda gelen otobüs sayısı için bir sınırlama yoktur.
- Eğer aktarma durakları yürüme mesafesinde iki farklı durakta ise yolcuların aktarma noktasına transfer süresi kesin olarak biliniyor.
- Otobüsler durakta bekleyen tüm yolcuları alacak kadar yeterli kapasiteye sahiptir. Bu nedenle problemde araç kapasitesi kısıt olarak dikkate alınmamıştır.
- Otobüslerin duraklarda yolcu indirme bindirme süresi için ortalama bir süre belirlenmiş, her durak için sabit olarak alınmış ve seyahat sürelerine eklenmiştir.

5.1 Matematiksel Model

Problemin çözümü için karma tamsayılı doğrusal bir matematiksel model geliştirilmiştir. Benzer bir model Wong (2008) tarafından tren yolların trenlerin senkronizasyonu için geliştirilmiştir. Problemde kullanılan indisler, kümeler, parametreler ve karar değişkenleri aşağıda tanımlanmaktadır.

Kümeler ve İndisler

K: Hatlarkümesi

$S_k = \{s_1^k, s_2^k, \dots, s_{m_k}^k\}$ k hattındaki aktarma noktaları

X: Senkronize olması istenen hatlar kümesi $X \subseteq K \times K$

$N(k, k')$: k ve k' hatlarındaki transfer noktaları kümesi

k: Hat indisi $k \in K$

q: Sefer indisi

Parametreler

H_{min}^k: k hattında ardışık iki sefer arasındaki minimum süre

H_{mak}^k: k hattında ardışık iki sefer arasındaki maksimum süre

t_{kj}: k hattında başlangıç noktasından j. aktarma noktasına seyahat süresi (otobüslerin yolcu indirme ve bindirme esnasındaki bekleme süreleri dahil)

T= Planlama dönemi (Saat 6:00-23:59 arası)

Karar Değişkenleri

x_k= k hattındaki ilk seferin kalkış zamanı

r_k= k hattındaki iki sefer arasında geçen süre

A_j^{kq}: k hattında q. seferin s_j^k aktarma noktasına varış zamanı

$y_{kq}^{k'q'}$: 1 eğer k hattından q seferi ile gelen yolcular k' hattındaki q' seferine transfer olur ise; 0 diğer durumda

$w_{jq}^{kk'}$: k hattından k' hattına j aktarma noktasında q seferindeki transfer olmak isteyen yolcuların bekleme süresi

Otobüs ilk seferine iki sefer arası için belirlenen maksimum süre içinde başlamalıdır. Bu kısıt (5.1)'deki gibi ifade edilir.

$$x_k \leq H_{mak}^k \qquad \forall k \in K \tag{5.1}$$

Birbirini izleyen iki sefer arasında geçen süre belirlenen minimum ve maksimum değerler arasında olmalıdır. Bu kısıt (5.2)'deki gibi ifade edilir.

$$H_{min}^k \leq r_k \leq H_{mak}^k \tag{5.2}$$

Aktarma duraklarındaki beklemeleri bulmak için otobüslerin aktarma duraklarına varış zamanlarının belirlenmesi gerekir. k hattında q. seferi yapan otobüsün j. aktarma durağına varış zamanı ise (5.3)'deki gibi hesaplanır.

$$A_j^{kq} = x_k + (q-1)r_k + t_{kj} \qquad \forall j \in S_k \tag{5.3}$$

Aktarmaların hangi seferler arasında olduğunu ve bekleme sürelerini tespit etmek için (5.4) ve (5.5) kısıtları kullanılır. Bu kısıtların $(k, k') \in X, j \in N(k, k'), q = 1,2, \ldots F_k$ ve $q' = 1,2, \ldots F_{k'}$ için yazılması gerekir.

$$M\left(y_{kq}^{k'q'} - 1\right) \leq A_j^{k'q'} - A_j^{kq} \leq M y_{kq}^{k'q'} \tag{5.4}$$

$$A_j^{k'q'} - A_j^{kq} - M\left(1 - y_{kq}^{k'q'}\right) \leq w_{jq}^{kk'} \tag{5.5}$$

Problemde amaç otobüslerin sefer süreleri içinde toplam bekleme sürelerini minimum yapmaktır. Bu amaç fonksiyonu (5.6)'da verilmektedir.

$$Enk\ z = \sum_j \sum_q \sum_k \sum_{k\prime} w_{jq}^{kk\prime} \tag{5.6}$$

Son olarak karar değişkenlerinin işaret kısıtları aşağıdaki gibidir

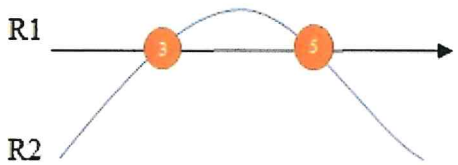
$$x_k \geq 0 \qquad \forall k \in K \tag{5.7}$$

$$w_{jq}^{kk'} \geq 0 \;\; \forall (k,k') \in X, j \in N(k,k'), q = 1,\dots,F_k \; q' = 1,\dots,F_{k'} \tag{5.8}$$

$$y_{kq}^{k'q'} \in \{0,1\} \;\; \forall (k,k') \in X, q = 1,\dots,F_k \; q' = 1,\dots,F_{k'} \tag{5.9}$$

5.2 Örnek Problem

Problemin daha iyi anlaşılması için iki hat ve iki aktarma noktası olan küçük bir örnek problem ele alınmıştır. Şekil 5.1'de hatlar ve aktarma noktaları grafik olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.1: Örnek hatların düğüm noktası

Tablo 5.1 de R1 ve R2 hatlarında yer alan duraklar ve otobüslerin iki durak arası seyahat süreleri verilmektedir.

Tablo 5.1: R1 ve R2 hatlarındaki duraklar ve otobüslerin duraklar arası seyahat süreleri

Hatlar	**Durak No (Seyahat Süreleri, Dakika)**					
R1	1 (0)	2 (5)	3 (2)	4 (2)	5(4)	6(5)
R2	7 (0)	8 (5)	3 (4)	5 (2)		

Her iki hat için ilk sefere başlama zamanı 0 ve seferler arası süre 10 dakika olarak alındığında R1 ve R2 hatlarının duraklara varış zamanları Tablo 5.2 ve Tablo 5.3'de verilmektedir.

Tablo 5.2: R1 hattındaki seferlerin duraklara varış süreleri

	Duraklara varış zamanları (Dakika)					
Seferler	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
S1	0	5	7	9	13	18
S2	10	15	17	19	23	28
S3	20	25	27	29	33	38
S4	30	35	37	39	43	48
S5	40	45	47	49	53	58
S6	50	55	57	59	63	68
S7	60	65	67	69	73	78

Tablo 5.3 R2 hattındaki seferlerin duraklara varış süreleri

	Duraklara varış zamanları (Dakika)			
Seferler	**7**	**8**	**3**	**5**
S1	0	5	9	11
S2	10	15	19	21
S3	20	25	29	31
S4	30	35	39	41
S5	40	45	49	51
S6	50	55	59	61
S7	60	65	69	71

Tablo 5.4'de sadece tek yön (gidiş yönü) dikkate alındığında R1 ve R2 hatlarındaki bekleme süreleri gösterilmiştir. 3 nolu aktarma durağında R1 hattındaki ilk sefer 7. dakikada, R2 hattındaki ilk sefer ise 9. dakikada ulaşmıştır. Bu nedenle R1 hattındaki yolcular R2 hattına aktarma yapabilmeleri için 2 dakika beklemiştir. 5 nolu aktarma durağında R1 hattındaki ilk sefer durağına 13. dakikada gelmiş ancak R2 hattındaki birinci seferi kaçırmış, ikinci sefer 21. dakikada geldiği için 8 dakika beklemiştir. Diğer seferlerdeki beklemeler benzer şekilde hesaplandığında toplam bekleme süresi 124 dakika olarak bulunmuştur.

Tablo 5.4: R1 ve R2 hatlarının bekleme süreleri

Sefer No	R1 hattında R2'yi bekleme süresi		R2 hattında R1'i bekleme süresi	
	Durak 3	Durak 5	Durak 3	Durak5
1	2	8	8	2
2	2	8	8	2
3	2	8	8	2
4	2	8	8	2
5	2	8	8	2
6	2	8	8	2
7	2			2
Toplam	**124**			

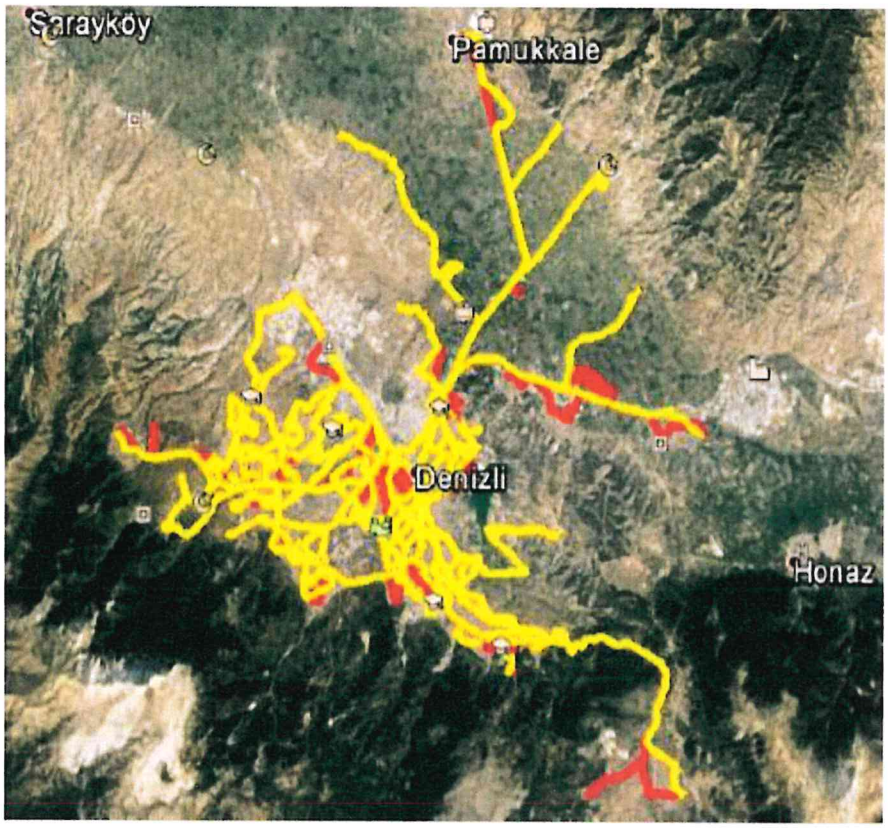
Tablo 5.5'de GAMS programı ile çözümü gerçekleştirilmiş iyileştirme sağlanmış bekleme süreleri verilmiştir. R1 hattı 2. Dakikada ve R3 hattı sıfırıncı dakikada başlar ise aktarma duraklarına geliş zamanlar aşağıdaki tabloda verilmiştir. Bekleme süresi 64 dakikaya inmiştir.

Tablo 5.5: GAMS programı ile yapılan iyileştirme sonuçları

Sefer No	R1 hattında R2'yi bekleme süresi		R2 hattında R1'i bekleme süresi	
	Durak 3	Durak 5	Durak 3	Durak5
1	0	6	0	4
2	0	6	0	4
3	0	6	0	4
4	0	6	0	4
5	0	6	0	4
6	0	6	0	4
7	0		0	4
Toplam	**64**			

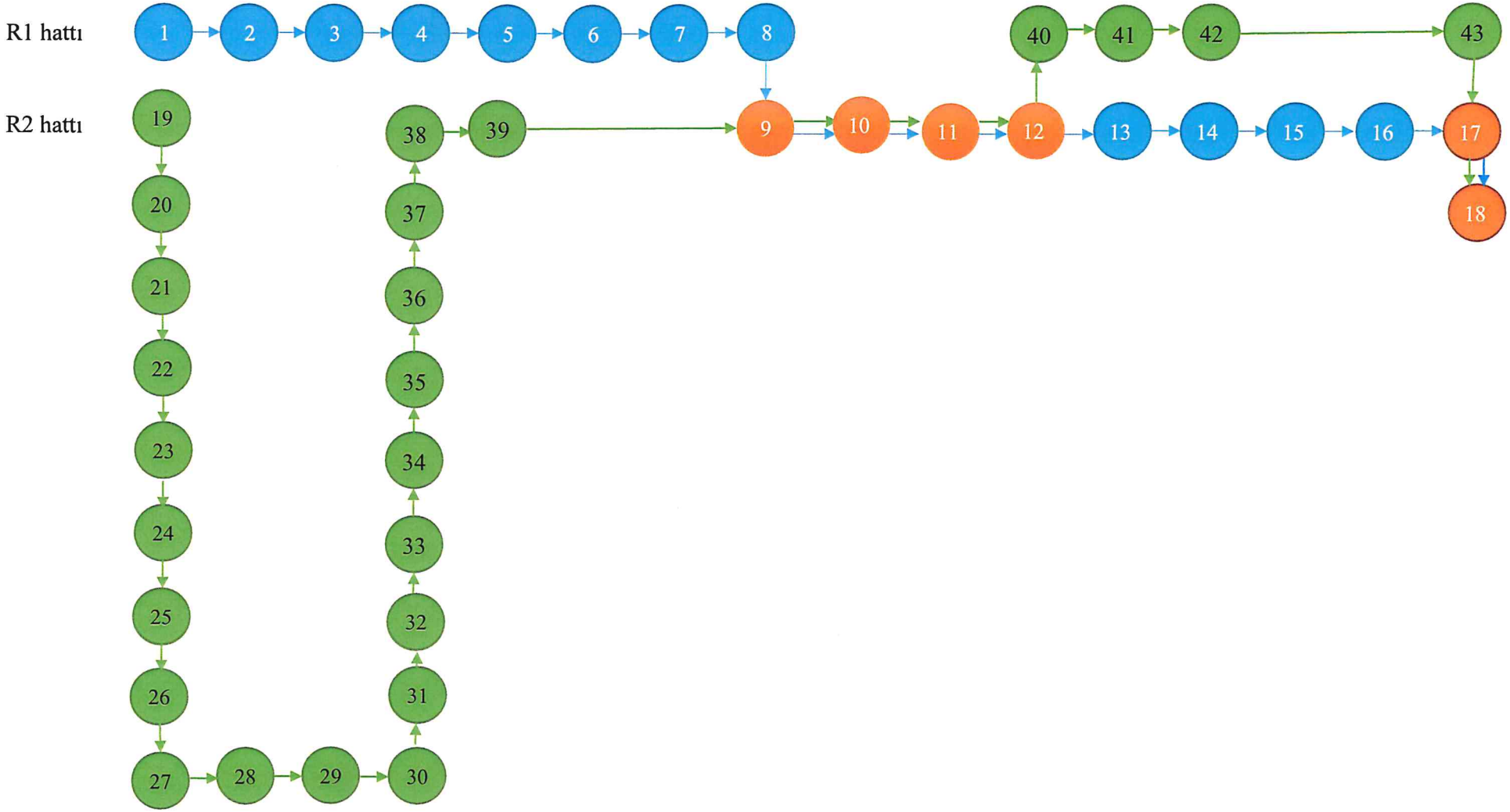
5.3 Uygulama

Bu problemin gerçek hayat uygulaması olarak Denizli'de aktarmanın sık olduğu iki hat ele alınmıştır. Şekil 5.2'de Denizli'deki otobüs ulaşım ağı verilmektedir. Problem NP-zor sınıfında yer aldığından Denizli'deki tüm hatlar dikkate alınmamıştır.

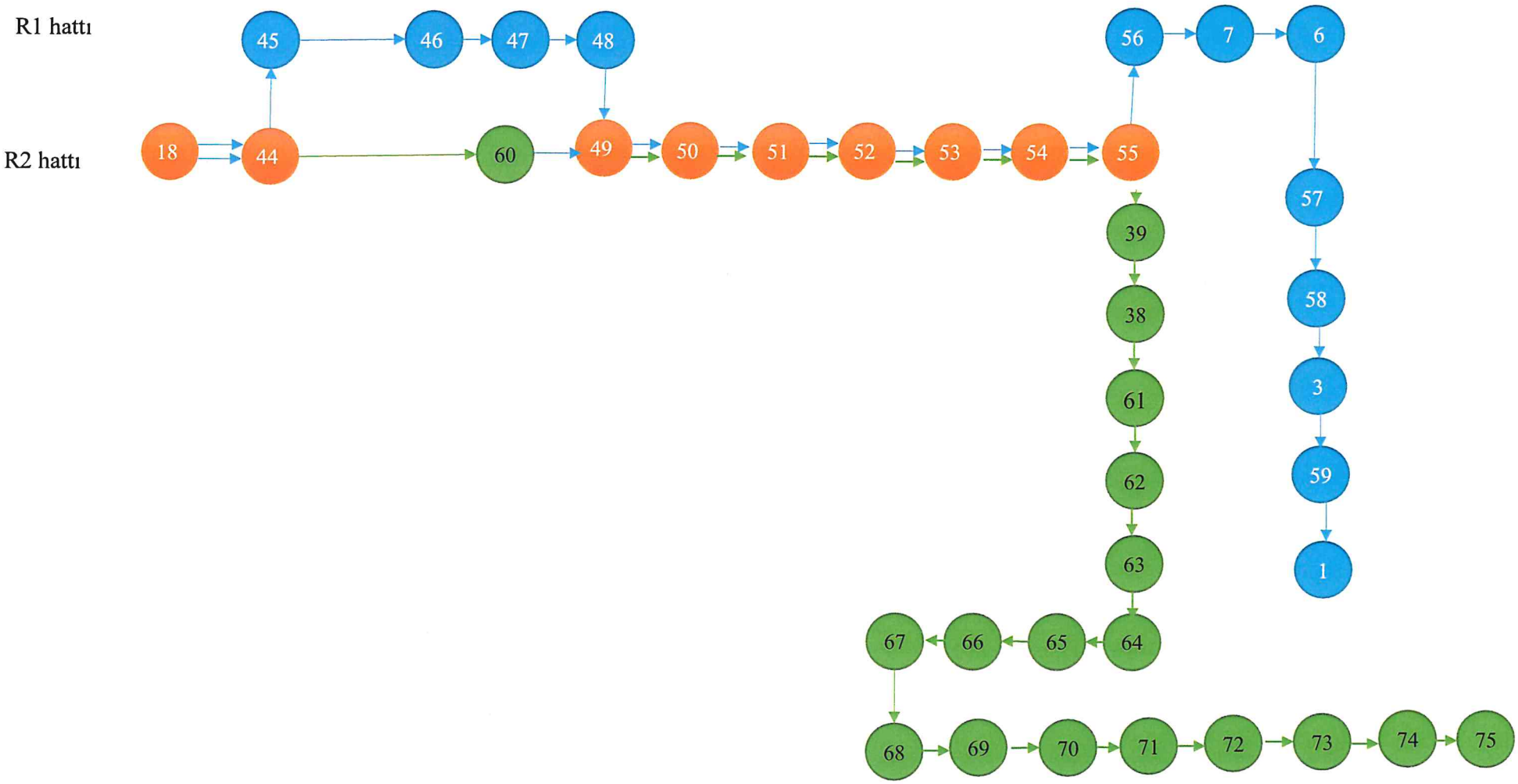


Şekil 5.2: Denizli Ulaşım A.Ş. otobüs ulaşım ağı (Demirkollu,2017)

Şekil 5.3 ve 5.4'de bu iki hattaki duraklar ve aktarma noktaları gösterilmektedir. Şekil 5.3'de gidiş yönünde duraklar, Şekil 5.4'de ise dönüş yönündeki duraklar verilmektedir. Mavi renkle gösterilen duraklar R1 hattına, yeşil ile gösterilen duraklar R2 hattına aittir. Turuncu renkle gösterilen duraklar ise her iki hattın kesiştiği aktarma noktalarını temsil etmektedir.



Şekil 5.3: R1 ve R2 hatlarının gidiş yönündeki durakları



Şekil 5.4: R1 ve R2 hatlarının dönüş yönündeki durakları

Tablo 5.6' ve Tablo 5.7 de R1 ve R2 hatlarının gidiş ve dönüş yönündeki durakları ve otobüslerin bir sonraki duraklara ortalama varış süreleri verilmiştir. Otobüslerin duraklara varış süreleri ortalama bir hıza göre Google Maps yardımıyla hesaplanmıştır.

Gidiş yönündeki aktarma durakları 9, 10, 11, 12, 17, 18 ve dönüş yönündeki aktarma noktaları ise 18, 44, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55 numaralı duraklardır. Mevcut durumda seferler her iki hatta saat 6:00 başlamakta ve gece 23:59 kadar devam etmektedir. R1 hattında seferler arası süre 20 dakika R2 hattında 30 dakika olarak belirlenmiştir.

Tablo 5.6: R1 ve R2 hatlarının gidiş yönündeki durakları ve duraklar arası ortalama süreleri

R1 Hattı			R2 Hattı		
Durak No	**Durak İsmi**	**Süre (dk)**	**Durak No**	**Durak İsmi**	**Süre (dk)**
1	Bayramyeri 5	0	19	Denizli Toptancı Hali	0
2	Kurşunlu Camii	2	20	Hacıeyüplü 5	2
3	Sırakapılar 8	1	21	Hacıeyüplü 6	2
4	Milli Eğitim	2	22	Gençlik Spor İl Müd.	2
5	Değirmenönü 1	2	23	Akçeşme Kavşağı	3
6	Çaybaşı Camii	1	24	Akçeşme 13	3
7	Değirmenönü Camii	1	25	Gümüşçay 17	2
8	Denizli Lisesi 3	1	26	Gümüşçay 16	2
9	Kasap Camii 2	2	27	Yeni Mahalle 10	2
10	Diş Hst.2	2	28	Bakırlı Kavşağı 1	2
11	Mehmetçik 20	2	29	İlbade 10	2
12	Demokrasi Meydanı 1	2	30	Sümer Kavşağı	5
13	Siteler 6	2	31	Saraylar 14	1
14	Siteler 8	2	32	Saraylar 15	1
15	Çamlaraltı 10	3	33	Özel İdare	2
16	Çamlaraltı 11	1	34	Maliye	2
17	Atatürk Endüstri Meslek Lisesi 2	1	35	Sanat Merkezi	2
18	Kampüs	3	36	Yeni Camii	2
			37	Sulu Köprü 2	1
			38	Fesleğen 3	2
			39	Fesleğen 2	2
			9	Kasap Camii 2	1
			10	Diş Hst.2	1
			11	Mehmetçik 20	2
			12	Demokrasi Meydanı 1	2
			40	Mehmetçik 8	2
			41	Çamlaraltı 2	1
			42	Çamlaraltı 6	1
			43	Çamlaraltı 8	2
			17	Atatürk Endüstri Meslek Lisesi 2	2
			18	Kampüs	4

Tablo 5.7: R1 ve R2 hatlarının dönüş yönü için duraklar arası ortalama süreleri

R1 Hattı			R2 Hattı		
Durak No	**Durak İsmi**	**Süre (dk)**	**Durak No**	**Durak İsmi**	**Süre (dk)**
18	Üniversite 6	0	18	Üniversite 6	0
44	Atatürk Endüstri Meslek Lisesi 1	3	44	Atatürk Endüstri Meslek Lisesi 1	4
45	Yaptırma Yaşatma İ. Ö	1	60	Çamlaraltı 7	2
46	Sırmalı Camii	1	49	Siteler 11	1
47	Evliya Camii 1	1	50	Siteler 12	2
48	Siteler 10	1	51	Siteler 1	1
49	Siteler 11	2	52	Demokrasi Meydanı 2	2
50	Siteler 12	2	53	Mehmetçik 9	2
51	Siteler 1	1	54	Diş Hst.1	2
52	Demokrasi Meydanı 2	2	55	Kasap Camii 1	2
53	Mehmetçik 9	1	39	Fesleğen 2	2
54	Diş Hst.1	2	38	Fesleğen 3	1
55	Kasap Camii 1	2	61	Sulu Köprü 1	2
56	Denizli Lisesi 4	2	62	Hürriyet İlköğretim	2
7	Değirmenönü Cami	2	63	Esnaf Sarayı	1
6	Çaybaşı Camii	1	64	Merkez Kapalı Spor Salonu	2
57	Altıntop 4	1	65	Valilik	3
58	Arif Yalınkaya İ.Ö	1	66	Topraklık 1	1
3	Sırakapılar 8	1	67	Topraklık 2	1
59	Sağlık Müdürlüğü	2	68	Tren Garı	2
1	Bayramyeri 5	1	69	Sümer 12	3
			70	Bakırlı Kavşağı 2	4
			71	Zafer 1	2
			72	Zafer 2	2
			73	Zafer 3	2
			74	Akçeşme 9	7
			75	Bozburun 4	2
			19	Denizli Toptancı Hali	3

Aktarma duraklarında gün boyunca oluşan toplam bekleme sürelerini tespit etmek için Tablo 5.5 ve Tablo 5.6'daki veriler ve seferler arası bekleme süreleri kullanılarak her sefer için aktarma noktalarına varış zamanı belirlenmiştir. Tablo 5.8'de mevcut durumda gidiş ve dönüş yönünde aktarma noktalarındaki günlük toplam bekleme süreleri verilmektedir. R1 hattı gidiş ve dönüş yönündeki ilk sefer 06:00:00'da başlamaktadır seferler arası süre 20 dakika, R2 hattı gidiş ve dönüş yönündeki ilk sefere 06:15:00'da başlamaktadır, seferler arası süre 30 dakikadır.

Tablo 5.8: Aktarma noktalarında yolcuların bekleme süresi (saat)

Aktarma Durağı	Bekleyen Hat	Toplam Bekleme Süresi (Gidiş Yönü)	Aktarma Durağı	Bekleyen Hat	Toplam Bekleme Süresi (Dönüş Yönü)
8	R1	16:42:00	18	R1	13:30:00
8	R2	03:58:00	18	R2	05:45:00
9	R1	15:48:00	44	R1	14:24:00
9	R2	04:32:00	44	R2	05:21:00
10	R1	15:48:00	49	R1	11:42:00
10	R2	04:32:00	49	R2	06:55:00
11	R1	15:48:00	50	R1	11:42:00
11	R2	04:32:00	50	R2	06:55:00
17	R1	13:06:00	51	R1	11:42:00
17	R2	06:14:00	51	R2	06:55:00
18	R1	16:42:00	52	R1	13:28:00
18	R2	03:58:00	52	R2	06:55:00
			53	R1	12:36:00
			53	R2	05:12:00
			54	R1	12:08:00
			54	R2	06:20:00
			55	R1	12:36:00
			55	R2	06:20:00
Günlük Toplam Bekleme Süresi: 291:56:00					

Tablo 5.8'den görüldüğü gibi iki hat üzerindeki aktarma duraklarındaki günlük toplam bekleme süresi gidiş yönünde 121:40:00 saat, dönüş yönünde 170:16:00 olmak üzere günlük toplam bekleme süresi 291:56:00 saat olarak bulunmuştur.

Aktarma noktalarında günlük toplam bekleme süresini azaltmak için iki hattaki otobüslerin ilk sefere başlama zamanları ve seferler arasındaki sürelerini bulmak için problem GAMS ile çözülmüştür. Ancak problem 0-1 tamsayılı bir problem olduğundan en iyi çözüm elde edilememiştir. Bu nedenle 0-1 tamsayı kısıtlarını sağlayan bir alt çözüm elde edilmiştir. Tablo 5.9'da iyileştirme sonucundaki gidiş ve dönüş yönü için aktarma duraklarındaki günlük bekleme süreleri verilmektedir. R1 hattı gidiş yönündeki ilk sefere 06:30:00'da, R2 hattı ilk sefere 06:15:00'de başlamıştır. Dönüş yönünde R1 hattı 06:00:30'da başlarken, R2 hattı 06:14:27'de sefere başlamıştır. Gidiş yönünde seferler arası süre R1 hattı için 21:11 dakika, R2 hattı için 27:49 dakika, dönüş yönünde R1 hattı için 20:01 dakika, R2 hattı için 29:58 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözüme göre gidiş yönünde 116:06:05 saat ve dönüş

yönünde 164:24:23 saat olmak üzere günlük toplam bekleme süresi 280:30:28 saat olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre günlük bekleme süresinde toplam 11:25:32 saatlik bir iyileştirme sağlanmıştır.

Tablo 5.9: Aktarma noktalarında yolcuların iyileştirilmiş bekleme süresi

Aktarma Durağı	**Bekleyen Hat**	**Toplam Bekleme Süresi (Gidiş Yönü)**	**Aktarma Durağı**	**Bekleyen Hat**	**Toplam Bekleme Süresi (Dönüş Yönü)**
8	R1	12:31:31	18	R1	11:40:31
8	R2	07:01:58	18	R2	06:55:25
9	R1	12:05:20	44	R1	12:34:31
9	R2	07:20:47	44	R2	06:31:25
10	R1	12:05:20	49	R1	09:52:31
10	R2	07:20:47	49	R2	08:05:25
11	R1	12:05:20	50	R1	09:52:31
11	R2	07:20:47	50	R2	08:05:25
17	R1	13:05:48	51	R1	09:52:31
17	R2	06:31:20	51	R2	08:05:25
18	R1	12:31:31	52	R1	09:52:31
18	R2	06:05:36	52	R2	08:05:25
			53	R1	10:46:31
			53	R2	07:30:25
			54	R1	10:46:31
			54	R2	07:30:25
			55	R1	10:46:31
			55	R2	07:30:25
Günlük Toplam Bekleme Süresi: 280:30:28					

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Nüfus artışı ve sosyo-ekonomik sebeplerle kentleşme hem dünyada hem de ülkemizde hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu artışın sonucunda yerleşim alanları plansız bir şekilde genişlemekte ve yeni ulaşım talepleri ortaya çıkmaktadır. En temel sorunlardan biriside şehirlerin çok büyük olmasından kaynaklı, yolcuların tek bir hatla ulaşımını gerçekleştirilememesidir. Bu sebeple yolcular aktarma yaparak ulaşımını gerçekleştirmek zorunda kalmaktadır.

Bu çalışmada otobüs senkronizasyon problemi incelenmiştir. Otobüsler arası aktarma yapacak yolcuların durakta bekleme sürelerini azaltmak için eş zamanlı otobüslerin gelişlerin artırılması (senkronizasyon) amaçlanmıştır. Bu problem çözümü için bir karma tam sayılı bir matematiksel model geliştirilmiştir.

Problemin uygulaması için Denizli Belediyesi'nden iki otobüs hattı incelenmiştir. Hatlardaki duraklar ve aktarma durakları tespit edilmiş ve duraklar arası süreler Google Maps aracılığı ile hesaplanmıştır. Mevcut durumda R1 hattı gidiş ve dönüş yönündeki ilk sefer 06:00:00'da başlamaktadır seferler arası süre 20 dakika, R2 hattı gidiş ve dönüş yönündeki ilk sefere 06:15:00'da başlamaktadır, seferler arası süre 30 dakikadır. İki hat üzerindeki aktarma duraklarındaki günlük toplam bekleme süresi gidiş yönünde 121:40:00 saat, dönüş yönünde 170:16:00 olmak üzere günlük toplam bekleme süresi 291:56:00 saat olarak belirlenmiştir.

Aktarma noktalarında günlük toplam bekleme süresini azaltmak için iki hattaki otobüslerin ilk sefere başlama zamanları ve seferler arasındaki sürelerini bulmak için problem GAMS ile çözülmüştür. İyileştirme sonucunda R1 hattı gidiş yönündeki ilk sefere 06:30:00'da, R2 hattı ilk sefere 06:15:00'de başlamıştır. Dönüş yönünde R1 hattı 06:00:30'da başlarken, R2 hattı 06:14:27'de sefere başlamıştır. Gidiş yönünde seferler arası süre R1 hattı için 21:11 dakika, R2 hattı için 27:49 dakika, dönüş yönünde R1 hattı için 20:01 dakika, R2 hattı için 29:58 dakika olarak bulunmuştur. Bu çözüme göre gidiş yönünde 116:06:05 saat ve dönüş yönünde 164:24:23 saat olmak üzere günlük toplam bekleme süresi 280:30:28 saat olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre günlük bekleme süresinde toplam 11:25:32 saatlik bir iyileştirme sağlanmıştır.

Ele alınan problem 0-1 tamsayılı bir problem ve çok sayıda kısıt ve değişken olduğundan en iyi çözüm elde edilememiştir. Bu nedenle problemin çözümü için meta sezgisel yöntemler kullanılması gerekmektedir. Bu çalışmada aktarma duraklarında bekleyen yolcu sayıları hakkında veri olmadığı için dikkate alınmamıştır. Amaç fonksiyonunda bekleme süreleri bekleyen yolcu sayıları ile çarpılarak ağırlıklı toplam bekleme süreleri bulunabilir. Son olarak, otobüs sayıları ve kapasiteleri dikkate alınarak daha gerçekçi bir model oluşturulabilir. İleri çalışmalarda bu konular üzerinde çalışma yapılması planlanmaktadır.

7. KAYNAKLAR

Akay, A., "Toplu taşıma ağları üzerinde güzergâh optimizasyonu problemine en az aktarım odaklı bir çözüm yaklaşımı", Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi *Sosyal Bilimler Enstitüsü*, *Ekonometri Anabilim Dalı*, Trabzon (2015).

Baştürk, G., "Kent içi raylı toplu taşıma sistemleri incelemesi ve dünya örnekleri ile karşılaştırılması [online]", (29.04.2019), http://www.udhb.gov.tr/images/hizlierisim/d38e678334e19c8.pdf, Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi, Ulaştırma, Denizcilik Ve Haberleşme Bakanlığı, Ankara, (2014).

Baytar, İ., "Van'da ulaşım sistemleri ve ulaşım sistemlerinin tarihi gelişimi", Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, *Sosyal Bilimler Enstitüsü*, *Coğrafya Anabilim Dalı*, Van (2014).

Bookbinder, J. H., ve Désilets, A., "Transfer optimization in a transit network", *Transportation Science*, 26(2), 106–118, (1992).

Bozdoğan., R., "Kent içi ulaşımda entegrasyon", *Mimar ve Mühendisler Grubu*, 103, s.50, (2018).

Büyükbaş, N., "Toplu taşıma kullanımını artırıcı uygulamalar ve kayseri örneği", Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı,* İstanbul, (2016).

Camkesen, D., "Toplu taşıma aktarma merkezleri ve sistem entegrasyonu", Transist Ulusal Toplu Ulaşım Sempozyumu, İETT Genel Müdürlüğü:İstanbul, (http://www.iett.istanbul/webimage/file/sempozyumlar/transist2010bildiri.pdf), (2010).

Candan, S., "Ulaşım sistemlerinin entegrasyon ihtiyacı", *Transist Ulusal Toplu Ulaşım Sempozyumu*, İETT Genel Müdürlüğü: İstanbul, (http://transist.net/wp-content/uploads/2017/12/Transist-2017-Akademik-Bildiri-Kitab%C4%B1.pdf), (2017).

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

Ceder, A. (Avi)., Public transit planning and operation theory, *Modelling and Practice (1st Editio)*, *Butterworth-Heinemann Elsevier*, (2007).

Ceder, A. A., Hassold, S., & Dano, B. Approaching even-load and even-headway transit timetables using different bus sizes. *Public transport*, *5*(3), 193-217, (2013).

Ceder, A., " Designing public transport network and routes" (eds: W. Lam, M. Bell), Advanced modeling for transit operations and service planning, pergamon ımprint, *Elsevier Science Ltd Pub.*, 59–91, (2003).

Çalışkan, F., "Belediye otobüs işletmeciliğinde sefer tarifesinin belirlenmesine yönelik bir matematiksel model önerisi", Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, *Sosyal Bilimler Enstitüsü*, *İşletme Anabilim Dalı,* Kayseri, (1994).

Chakroborty, P., Deb, K., Subrahmanyam, P.S., "Optimal scheduling of urban transit systems using genetic algorithms", *Journal of Transportation Engineering*, 121, 544–553, (1995).

Cirit, F., "Sürdürülebilir şehir içi ulaşım politikaları ve toplu taşıma sistemlerinin karşılaştırılması", Uzmanlık Tezi, T.C. Kalkınma Bakanlığı Yayın No: 2891, Ankara, (2014).

Daduna, J.R., ve Voß, S., "Practical experiences in schedule synchronization" (eds: J. Daduna, I. Branco, J. Paixão), *Computer-Aided Scheduling of Public Transport, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 430, 39–55, (1995).

Demirkollu, M., "Toplu ulaşım sistemlerinde karar destek analizleri", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi,*Fen Bilimleri Enstitüsü*, *İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Denizli, (2017).

Dişli, Y., E., "Toplu taşıma sistemleri entegrasyonu ve şişli mecidiyeköy uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, *İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı,* İstanbul (2006).

Domschke, W., "Schedule synchronization for public transit networks", *Operations-Research-Spektrum*, 11(1), 17–24, (1989).

Döner, M. A., "Otobüsle toplu taşımada yolcu hareketlerinin analizi ile hat planlama; izmir için bir örnek çalışma", Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, *Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı,* İstanbul (2012).

Eranki A., "A model to create bus timetables to attain maximum synchronization considering waiting times at transfer stops", *Graduate Theses and Dissertations*, Florida, (2004).

Fouilhoux, P., Ibarra-Rojas, O. J., Kedad-Sidhoum, S., & Rios-Solis, Y. A. Valid inequalities for the synchronization bus timetabling problem ", *Eurliuopean Journal of Operational Research,* 251(2), 442-450, (2016).

Fonseca, J. P., van der Hurk, E., Roberti, R., & Larsen, A., "A matheuristic for transfer synchronization through integrated timetabling and vehicle scheduling". *Transportation Research Part B: Methodological,* 109, 128-149, (2018).

Gkiotsalitis, K., & Maslekar, N., Towards transfer synchronization of regularity-based bus operations with sequential hill-climbing, *Public transport*, 10(2), 335-361, (2018).

Gökdağ M., Yüksel F., 1999, Enerji verimliliği açısından demiryollarının önemi ve geliştirilmesi, *Ulusal Enerji Verimliliği*, Ankara, (1999).

Guihaire, V., and Hao, J. K., "Improving timetable quality in scheduled transit networks", In *International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems*, Berlin: Heidelberg, Springer, 21-30, (2010).

Guihaire, V., & Hao, J. K. "Transit network timetabling and vehicle assignment for regulating authorities", *Computers & Industrial Engineering*, 59(1), 16-23, (2010).

Hassold, S., and Ceder, A., Multiobjective approach to creating bus timetables with multiple vehicle types, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2276), 56-62, (2012).

Ibarra-Rojas, O. J., and Rios-Solis, Y. A. Synchronization of bus timetabling. *Transportation Research Part B: Methodological*, 46(5), 599-614, (2012).

Ibarra-Rojas, O. J., López-Irarragorri, F., & Rios-Solis, Y. A. "Multiperiod bus timetabling", *Transportation Science*, *50*(3), 805-822, (2015).

Ibarra-Rojas, O. J., Delgado, F., Giesen, R., & Muñoz, J. C., "Planning, operation, and control of bus transport systems: A literature

review", *Transportation Research Part B: Methodological*, 77, 38-75, (2015).

Karadayı, E., *Karayolu ulaşımı, ulaştırma sistemleri,* Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları, (2012).

Kaya, M., Malatya merkez bölgesindeki otobüs hatlarının iyileştirilmesine yönelik bir öneri", Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi,*Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Sistemler Ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı*, İstanbul, (2014).

Karaca, S., "Toplu taşıma sisteminin verimliliğinin artırılmasına yönelik planlama çalışmaları: Sakarya uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı,* Sakarya (2018).

Klemt, W.D., ve Stemme, W., Schedule synchronization for public transit network*s*, *Computer-Aided Transit Scheduling*, Springer, Berlin, Heidelberg, 327-335, (1988).

Liu, Z., & Shen, J., Regional bus operation bi-level programming model ıntegrating timetabling and vehicle scheduling, *Systems Engineering - Theory & Practice*, *27*(11), 135–141. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187486510860071X, (2007).

Liu, Z., Shen, J., Wang, H., & Yang, W., regional bus timetabling model with synchronization, *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, *7*(2), 109–112. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S157066720760018X, (2007).

Liu, T., & Ceder, A., "A note on transit coordination using integer-ratio headways", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(6), 1654-1656, (2017).

Liu, T., & Ceder, A. A., "Integrated public transport timetable synchronization and vehicle scheduling with demand assignment: A bi- objective bi-level model using deficit function approach.", *Transportation research procedia*, 23, 341-361, (2017).

Liu, T., Ceder, A. A., Ma, J., & Guan, W., "CBVC-B: A system for synchronizing public-transport transfers using vehicle-to-vehicle

communication", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 138, 241-250, (2014).

Nesheli, M. M., Ceder, A. A., & Liu, T., "A robust, tactic-based, real-time framework for public-transport transfer synchronization", *Transportation Research Procedia*, 9, 246-268, (2015).

Nesheli, M. M., & Ceder, A. A.,"Improved reliability of public transportation using real-time transfer synchronization", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 60, 525-539, (2015).

Szeto, W., Wu, Y., A simultaneous bus route desing and frequency setting problem for Tin Shui Wai, Honk Kong", *European Journal of Operational Research*, 209, (2011).

Schröder, M., "Solchenbach, I., Optimization of transfer quality in regional public transit", Technical Report 84, Berichte des Fraunhofer Instituts for Techno-und Wirtschafts, (2006).

Şenlik İ., "Kent içi raylı ulaşım sistemleri", *Elektrik Mühendisleri Odası Dergisi*, Mart 2013 Sayısı, (2013).

Şişman, V., "Toplu taşımacılıkta verimlilik yönetimi: İETT hatlarının diğer toplu taşıma türleriyle entegrasyonu üzerine araştırma", Yüksek Lisans Tezi, Nişantaşı Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, *İşletme Yönetimi Anabilim Dalı,* İstanbul, (2015).

Teodorović, D., Lučić, P., "Schedule synchronisation in public transit using the fuzzy ant system", *Transp Planning Techno*l, (28)1,47-76, (2005).

TCDD Taşımacılık A.Ş. Genel Müdürlüğü, Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, 2017 Faaliyet Raporu, Ankara, (2017).

Tilahun, S. L., & Ong, H. C., "Bus timetabling as a fuzzy multiobjective optimization problem using preference-based genetic algorithm", Promet-Traffic&Transportation, 24(3), 183-191, (2012).

Teodorović, D., & Lučić, P., Schedule synchronization in public transit using the fuzzy ant system. *Transportation Planning and Technology*, *28*(1), 47–76. https://doi.org/10.1080/0308106052000340387, (2005).

Uludağ, N., "Bulanık optimizasyon ve doğrusal hedef programlama yaklaşımları ile otobüs hatlarının modellenmesi", Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, *Fen Bilimler Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Denizli, (2010).

Wong, R. C. W., Yuen, T. W. Y., Fung, K. W., & Leung, J. M. Y., optimizing timetable synchronization for rail mass transit, *Transportation Science, 42*(1), 57–69, (2008).

Yardım, S., Kent içi ulaşımda otobüsle toplu taşıma için işletmecilik şeklinin belirlenmesine yönelik bir matematiksel model, Yıldız Teknik Üniversitesi, *Fen bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı,* İstanbul, (2002).

Yorulmaz, E. E., "Adana toplu taşıma sisteminin yapısı ve sürdürülebilir bir toplu taşıma sistemi için yeni öneriler", Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı,* İstanbul (2016).

Zhao, F., and Zeng, X., "Optimization of transit route network, vehicle headways and timetables for large-scale transit networks", *European Journal of Operational Research*, 186(2), 841-855, (2008).

Zhigang, L., Jinsheng, S., Haixing, W., and Wei, Y. "Regional bus timetabling model with synchronization", *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 7(2), 109-112(2007).

Wong, R. C., Yuen, T. W., Fung, K. W., and Leung, J. M., "Optimizing timetable synchronization for rail mass transit", *Transportation Science*, 42(1), 57-69, (2008).

http://www.kgm.gov.tr/sitecollectiondocuments/kgmdocuments/trafik/kanunyonetmelik/trafikyonetmelik.pdf, (29.04.2019), 2017).

http://www.tcddtasimacilik.gov.tr/files/3/Strateji/Faaliyet_Raporlari/faaliyet_raporu_2017.pdf, [online], (29.04.2019), 2017).

(http://www.denizliteleferik.com.tr/galeri/), [Online], 29.04.2019

(http://www.sehirhatlari.istanbul/tr/iskelegalerisi.html), [Online], 29.04.2019.

(https://www.metro.istanbul/Hatlarimiz?hatturu=tramvay),[Online], 29.04.2019.

(https://www.metro.istanbul/Hatlarimiz?hatturu=metro),[Online], 29.04.2019.

EKLER

8. EKLER

EK A KESİŞEN DURAKLARDAKİ ZAMAN ÇİZELGELEMESİ

EK A.1 GİDİŞ ROTASI İÇİN R1 HATTI AKTARMA DURAKLARINDAKİ ZAMAN ÇİZELGELEMESİ

İlk sefer zamanı	06:00:00
Seferler arası sure	00:20:00

Aktarma Durağına Varış Süresi	00:10:00	00:12:00	00:14:00	00:16:00	00:27:00	00:30:00
	8 nolu	9 nolu	10 nolu	11 nolu	17 nolu	18 nolu
1	06:10:00	06:12:00	06:14:00	06:16:00	06:27:00	06:30:00
2	06:30:00	06:32:00	06:34:00	06:36:00	06:47:00	06:50:00
3	06:50:00	06:52:00	06:54:00	06:56:00	07:07:00	07:10:00
4	07:10:00	07:12:00	07:14:00	07:16:00	07:27:00	07:30:00
5	07:30:00	07:32:00	07:34:00	07:36:00	07:47:00	07:50:00
6	07:50:00	07:52:00	07:54:00	07:56:00	08:07:00	08:10:00
7	08:10:00	08:12:00	08:14:00	08:16:00	08:27:00	08:30:00
8	08:30:00	08:32:00	08:34:00	08:36:00	08:47:00	08:50:00
9	08:50:00	08:52:00	08:54:00	08:56:00	09:07:00	09:10:00
10	09:10:00	09:12:00	09:14:00	09:16:00	09:27:00	09:30:00
11	09:30:00	09:32:00	09:34:00	09:36:00	09:47:00	09:50:00
12	09:50:00	09:52:00	09:54:00	09:56:00	10:07:00	10:10:00
13	10:10:00	10:12:00	10:14:00	10:16:00	10:27:00	10:30:00
14	10:30:00	10:32:00	10:34:00	10:36:00	10:47:00	10:50:00
15	10:50:00	10:52:00	10:54:00	10:56:00	11:07:00	11:10:00
16	11:10:00	11:12:00	11:14:00	11:16:00	11:27:00	11:30:00
17	11:30:00	11:32:00	11:34:00	11:36:00	11:47:00	11:50:00
18	11:50:00	11:52:00	11:54:00	11:56:00	12:07:00	12:10:00
19	12:10:00	12:12:00	12:14:00	12:16:00	12:27:00	12:30:00
20	12:30:00	12:32:00	12:34:00	12:36:00	12:47:00	12:50:00
21	12:50:00	12:52:00	12:54:00	12:56:00	13:07:00	13:10:00
22	13:10:00	13:12:00	13:14:00	13:16:00	13:27:00	13:30:00
23	13:30:00	13:32:00	13:34:00	13:36:00	13:47:00	13:50:00

EK A.1 GİDİŞ ROTASI İÇİN R1 HATTI AKTARMA DURAKLARINDAKİ ZAMAN ÇİZELGELEMESİ (devam)

İlk sefer zamanı	06:00:00
Seferler arası süre	00:20:00

Aktarma Durağına Varış Süresi	00:10:00	00:12:00	00:14:00	00:16:00	00:27:00	00:30:00
24	13:50:00	13:52:00	13:54:00	13:56:00	14:07:00	14:10:00
25	14:10:00	14:12:00	14:14:00	14:16:00	14:27:00	14:30:00
26	14:30:00	14:32:00	14:34:00	14:36:00	14:47:00	14:50:00
27	14:50:00	14:52:00	14:54:00	14:56:00	15:07:00	15:10:00
28	15:10:00	15:12:00	15:14:00	15:16:00	15:27:00	15:30:00
29	15:30:00	15:32:00	15:34:00	15:36:00	15:47:00	15:50:00
30	15:50:00	15:52:00	15:54:00	15:56:00	16:07:00	16:10:00
31	16:10:00	16:12:00	16:14:00	16:16:00	16:27:00	16:30:00
32	16:30:00	16:32:00	16:34:00	16:36:00	16:47:00	16:50:00
33	16:50:00	16:52:00	16:54:00	16:56:00	17:07:00	17:10:00
34	17:10:00	17:12:00	17:14:00	17:16:00	17:27:00	17:30:00
35	17:30:00	17:32:00	17:34:00	17:36:00	17:47:00	17:50:00
36	17:50:00	17:52:00	17:54:00	17:56:00	18:07:00	18:10:00
37	18:10:00	18:12:00	18:14:00	18:16:00	18:27:00	18:30:00
38	18:30:00	18:32:00	18:34:00	18:36:00	18:47:00	18:50:00
39	18:50:00	18:52:00	18:54:00	18:56:00	19:07:00	19:10:00
40	19:10:00	19:12:00	19:14:00	19:16:00	19:27:00	19:30:00
41	19:30:00	19:32:00	19:34:00	19:36:00	19:47:00	19:50:00
42	19:50:00	19:52:00	19:54:00	19:56:00	20:07:00	20:10:00
43	20:10:00	20:12:00	20:14:00	20:16:00	20:27:00	20:30:00
44	20:30:00	20:32:00	20:34:00	20:36:00	20:47:00	20:50:00
45	20:50:00	20:52:00	20:54:00	20:56:00	21:07:00	21:10:00
46	21:10:00	21:12:00	21:14:00	21:16:00	21:27:00	21:30:00
47	21:30:00	21:32:00	21:34:00	21:36:00	21:47:00	21:50:00
48	21:50:00	21:52:00	21:54:00	21:56:00	22:07:00	22:10:00
49	22:10:00	22:12:00	22:14:00	22:16:00	22:27:00	22:30:00
50	22:30:00	22:32:00	22:34:00	22:36:00	22:47:00	22:50:00
51	22:50:00	22:52:00	22:54:00	22:56:00	23:07:00	23:10:00
52	23:10:00	23:12:00	23:14:00	23:16:00	23:27:00	23:30:00
53	23:30:00	23:32:00	23:34:00	23:36:00	23:47:00	23:50:00
54	23:50:00	23:52:00	23:54:00	23:56:00	00:07:00	00:10:00

EK A.2. GİDİŞ ROTASI İÇİN R2 HATTI AKTARMA DURAKLARINDAKİ ZAMAN ÇİZELGELEMESİ

İlk sefer zamanı	06:00:00
Seferler arası süre	00:30:00

Aktarma Durağına Varış Süresi	00:43:00	00:44:00	00:46:00	00:48:00	00:56:00	01:03:00
Sefer no	8 nolu	9 nolu	10 nolu	11 nolu	17 nolu	18 nolu
1	06:58:00	06:59:00	07:01:00	07:03:00	07:11:00	07:18:00
2	07:28:00	07:29:00	07:31:00	07:33:00	07:41:00	07:48:00
3	07:58:00	07:59:00	08:01:00	08:03:00	08:11:00	08:18:00
4	08:28:00	08:29:00	08:31:00	08:33:00	08:41:00	08:48:00
5	08:58:00	08:59:00	09:01:00	09:03:00	09:11:00	09:18:00
6	09:28:00	09:29:00	09:31:00	09:33:00	09:41:00	09:48:00
7	09:58:00	09:59:00	10:01:00	10:03:00	10:11:00	10:18:00
8	10:28:00	10:29:00	10:31:00	10:33:00	10:41:00	10:48:00
9	10:58:00	10:59:00	11:01:00	11:03:00	11:11:00	11:18:00
10	11:28:00	11:29:00	11:31:00	11:33:00	11:41:00	11:48:00
11	11:58:00	11:59:00	12:01:00	12:03:00	12:11:00	12:18:00
12	12:28:00	12:29:00	12:31:00	12:33:00	12:41:00	12:48:00
13	12:58:00	12:59:00	13:01:00	13:03:00	13:11:00	13:18:00
14	13:28:00	13:29:00	13:31:00	13:33:00	13:41:00	13:48:00
15	13:58:00	13:59:00	14:01:00	14:03:00	14:11:00	14:18:00
16	14:28:00	14:29:00	14:31:00	14:33:00	14:41:00	14:48:00
17	14:58:00	14:59:00	15:01:00	15:03:00	15:11:00	15:18:00
18	15:28:00	15:29:00	15:31:00	15:33:00	15:41:00	15:48:00
19	15:58:00	15:59:00	16:01:00	16:03:00	16:11:00	16:18:00
20	16:28:00	16:29:00	16:31:00	16:33:00	16:41:00	16:48:00
21	16:58:00	16:59:00	17:01:00	17:03:00	17:11:00	17:18:00
22	17:28:00	17:29:00	17:31:00	17:33:00	17:41:00	17:48:00
23	17:58:00	17:59:00	18:01:00	18:03:00	18:11:00	18:18:00
24	18:28:00	18:29:00	18:31:00	18:33:00	18:41:00	18:48:00
25	18:58:00	18:59:00	19:01:00	19:03:00	19:11:00	19:18:00
26	19:28:00	19:29:00	19:31:00	19:33:00	19:41:00	19:48:00
27	19:58:00	19:59:00	20:01:00	20:03:00	20:11:00	20:18:00
28	20:28:00	20:29:00	20:31:00	20:33:00	20:41:00	20:48:00
29	20:58:00	20:59:00	21:01:00	21:03:00	21:11:00	21:18:00
30	21:28:00	21:29:00	21:31:00	21:33:00	21:41:00	21:48:00
31	21:58:00	21:59:00	22:01:00	22:03:00	22:11:00	22:18:00
32	22:28:00	22:29:00	22:31:00	22:33:00	22:41:00	22:48:00
33	22:58:00	22:59:00	23:01:00	23:03:00	23:11:00	23:18:00

EK A.2. GİDİŞ ROTASI İÇİN R2 HATTI AKTARMA DURAKLARINDAKİ ZAMAN ÇİZELGELEMESİ (devam)

İlk sefer zamanı	06:00:00
Seferler arası sure	00:30:00

Aktarma Durağına Varış Süresi	00:43:00	00:44:00	00:46:00	00:48:00	00:56:00	01:03:00
34	23:28:00	23:29:00	23:31:00	23:33:00	23:41:00	23:48:00
35	23:58:00	23:59:00	00:01:00	00:03:00	00:11:00	00:18:00

EK A.3. DÖNÜŞ ROTASI İÇİN R1 HATTI ORTAK DURAKLARDAKİ ZAMAN ÇİZELGELEMESİ

İlk sefer zamanı	06:00:00
Seferler arası sure	00:20:00

Aktarma Durağına Varış Süresi	00:00:00	00:03:00	00:09:00	00:11:00	00:12:00	00:14:00	00:15:00	00:17:00	00:19:00
Sefer no	18	44	49	50	51	52	53	54	55
1	06:00:00	06:03:00	06:09:00	06:11:00	06:12:00	06:14:00	06:15:00	06:17:00	06:19:00
2	06:20:00	06:23:00	06:29:00	06:31:00	06:32:00	06:34:00	06:35:00	06:37:00	06:39:00
3	06:40:00	06:43:00	06:49:00	06:51:00	06:52:00	06:54:00	06:55:00	06:57:00	06:59:00
4	07:00:00	07:03:00	07:09:00	07:11:00	07:12:00	07:14:00	07:15:00	07:17:00	07:19:00
5	07:20:00	07:23:00	07:29:00	07:31:00	07:32:00	07:34:00	07:35:00	07:37:00	07:39:00
6	07:40:00	07:43:00	07:49:00	07:51:00	07:52:00	07:54:00	07:55:00	07:57:00	07:59:00
7	08:00:00	08:03:00	08:09:00	08:11:00	08:12:00	08:14:00	08:15:00	08:17:00	08:19:00
8	08:20:00	08:23:00	08:29:00	08:31:00	08:32:00	08:34:00	08:35:00	08:37:00	08:39:00
9	08:40:00	08:43:00	08:49:00	08:51:00	08:52:00	08:54:00	08:55:00	08:57:00	08:59:00
10	09:00:00	09:03:00	09:09:00	09:11:00	09:12:00	09:14:00	09:15:00	09:17:00	09:19:00
11	06:00:00	06:03:00	06:09:00	06:11:00	06:12:00	06:14:00	06:15:00	06:17:00	06:19:00
12	09:40:00	09:43:00	09:49:00	09:51:00	09:52:00	09:54:00	09:55:00	09:57:00	09:59:00
13	10:00:00	10:03:00	10:09:00	10:11:00	10:12:00	10:14:00	10:15:00	10:17:00	10:19:00
14	10:20:00	10:23:00	10:29:00	10:31:00	10:32:00	10:34:00	10:35:00	10:37:00	10:39:00
15	10:40:00	10:43:00	10:49:00	10:51:00	10:52:00	10:54:00	10:55:00	10:57:00	10:59:00
16	11:00:00	11:03:00	11:09:00	11:11:00	11:12:00	11:14:00	11:15:00	11:17:00	11:19:00
17	11:20:00	11:23:00	11:29:00	11:31:00	11:32:00	11:34:00	11:35:00	11:37:00	11:39:00
18	11:40:00	11:43:00	11:49:00	11:51:00	11:52:00	11:54:00	11:55:00	11:57:00	11:59:00
19	12:00:00	12:03:00	12:09:00	12:11:00	12:12:00	12:14:00	12:15:00	12:17:00	12:19:00
20	12:20:00	12:23:00	12:29:00	12:31:00	12:32:00	12:34:00	12:35:00	12:37:00	12:39:00
21	12:40:00	12:43:00	12:49:00	12:51:00	12:52:00	12:54:00	12:55:00	12:57:00	12:59:00
22	13:00:00	13:03:00	13:09:00	13:11:00	13:12:00	13:14:00	13:15:00	13:17:00	13:19:00
23	13:20:00	13:23:00	13:29:00	13:31:00	13:32:00	13:34:00	13:35:00	13:37:00	13:39:00
24	13:40:00	13:43:00	13:49:00	13:51:00	13:52:00	13:54:00	13:55:00	13:57:00	13:59:00
25	14:00:00	14:03:00	14:09:00	14:11:00	14:12:00	14:14:00	14:15:00	14:17:00	14:19:00
26	14:20:00	14:23:00	14:29:00	14:31:00	14:32:00	14:34:00	14:35:00	14:37:00	14:39:00
27	14:40:00	14:43:00	14:49:00	14:51:00	14:52:00	14:54:00	14:55:00	14:57:00	14:59:00
28	15:00:00	15:03:00	15:09:00	15:11:00	15:12:00	15:14:00	15:15:00	15:17:00	15:19:00
29	15:20:00	15:23:00	15:29:00	15:31:00	15:32:00	15:34:00	15:35:00	15:37:00	15:39:00
30	15:40:00	15:43:00	15:49:00	15:51:00	15:52:00	15:54:00	15:55:00	15:57:00	15:59:00
31	16:00:00	16:03:00	16:09:00	16:11:00	16:12:00	16:14:00	16:15:00	16:17:00	16:19:00
32	16:20:00	16:23:00	16:29:00	16:31:00	16:32:00	16:34:00	16:35:00	16:37:00	16:39:00
33	16:40:00	16:43:00	16:49:00	16:51:00	16:52:00	16:54:00	16:55:00	16:57:00	16:59:00

EK A.4. DÖNÜŞ ROTASI R1 HATTI ORTAK DURAKLARDAKİ ZAMAN ÇİZELGELEMESİ (devam)

İlk sefer zamanı	06:00:00
Seferler arası süre	00:20:00

Aktarma Durağına Varış Süresi	00:00:00	00:03:00	00:09:00	00:11:00	00:12:00	00:14:00	00:15:00	00:17:00	00:19:00
Sefer no	18	44	49	50	51	52	53	54	55
34	17:00:00	17:03:00	17:09:00	17:11:00	17:12:00	17:14:00	17:15:00	17:17:00	17:19:00
35	17:20:00	17:23:00	17:29:00	17:31:00	17:32:00	17:34:00	17:35:00	17:37:00	17:39:00
36	17:40:00	17:43:00	17:49:00	17:51:00	17:52:00	17:54:00	17:55:00	17:57:00	17:59:00
37	18:00:00	18:03:00	18:09:00	18:11:00	18:12:00	18:14:00	18:15:00	18:17:00	18:19:00
38	18:20:00	18:23:00	18:29:00	18:31:00	18:32:00	18:34:00	18:35:00	18:37:00	18:39:00
39	18:40:00	18:43:00	18:49:00	18:51:00	18:52:00	18:54:00	18:55:00	18:57:00	18:59:00
40	19:00:00	19:03:00	19:09:00	19:11:00	19:12:00	19:14:00	19:15:00	19:17:00	19:19:00
41	19:20:00	19:23:00	19:29:00	19:31:00	19:32:00	19:34:00	19:35:00	19:37:00	19:39:00
42	19:40:00	19:43:00	19:49:00	19:51:00	19:52:00	19:54:00	19:55:00	19:57:00	19:59:00
43	20:00:00	20:03:00	20:09:00	20:11:00	20:12:00	20:14:00	20:15:00	20:17:00	20:19:00
44	20:20:00	20:23:00	20:29:00	20:31:00	20:32:00	20:34:00	20:35:00	20:37:00	20:39:00
45	20:40:00	20:43:00	20:49:00	20:51:00	20:52:00	20:54:00	20:55:00	20:57:00	20:59:00
46	21:00:00	21:03:00	21:09:00	21:11:00	21:12:00	21:14:00	21:15:00	21:17:00	21:19:00
47	21:20:00	21:23:00	21:29:00	21:31:00	21:32:00	21:34:00	21:35:00	21:37:00	21:39:00
48	21:40:00	21:43:00	21:49:00	21:51:00	21:52:00	21:54:00	21:55:00	21:57:00	21:59:00
49	22:00:00	22:03:00	22:09:00	22:11:00	22:12:00	22:14:00	22:15:00	22:17:00	22:19:00
50	22:20:00	22:23:00	22:29:00	22:31:00	22:32:00	22:34:00	22:35:00	22:37:00	22:39:00
51	22:40:00	22:43:00	22:49:00	22:51:00	22:52:00	22:54:00	22:55:00	22:57:00	22:59:00
52	23:00:00	23:03:00	23:09:00	23:11:00	23:12:00	23:14:00	23:15:00	23:17:00	23:19:00
53	23:20:00	23:23:00	23:29:00	23:31:00	23:32:00	23:34:00	23:35:00	23:37:00	23:39:00
54	23:40:00	23:43:00	23:49:00	23:51:00	23:52:00	23:54:00	23:55:00	23:57:00	23:59:00

EK A.4. DÖNÜŞ ROTASI R2 HATTI AKTARMA DURAKLARINDAKİ ZAMAN ÇİZELGELEMESİ

İlk sefer zamanı	06:15:00
Seferler arası sure	00:30:00

Aktarma Durağına Varış Süresi	00:00:00	00:04:00	00:07:00	00:09:00	00:10:00	00:12:00	00:14:00	00:16:00	00:18:00
Sefer no	18	44	49	50	51	52	53	54	55
1	06:15:00	06:19:00	06:22:00	06:24:00	06:25:00	06:27:00	06:29:00	06:31:00	06:33:00
2	06:45:00	06:49:00	06:52:00	06:54:00	06:55:00	06:57:00	06:59:00	07:01:00	07:03:00
3	07:15:00	07:19:00	07:22:00	07:24:00	07:25:00	07:27:00	07:29:00	07:31:00	07:33:00
4	07:45:00	07:49:00	07:52:00	07:54:00	07:55:00	07:57:00	07:59:00	08:01:00	08:03:00
5	08:15:00	08:19:00	08:22:00	08:24:00	08:25:00	08:27:00	08:29:00	08:31:00	08:33:00
6	08:45:00	08:49:00	08:52:00	08:54:00	08:55:00	08:57:00	08:59:00	09:01:00	09:03:00
7	09:15:00	09:19:00	09:22:00	09:24:00	09:25:00	09:27:00	09:29:00	09:31:00	09:33:00
8	09:45:00	09:49:00	09:52:00	09:54:00	09:55:00	09:57:00	09:59:00	10:01:00	10:03:00
9	10:15:00	10:19:00	10:22:00	10:24:00	10:25:00	10:27:00	10:29:00	10:31:00	10:33:00
10	10:45:00	10:49:00	10:52:00	10:54:00	10:55:00	10:57:00	10:59:00	11:01:00	11:03:00
11	11:15:00	11:19:00	11:22:00	11:24:00	11:25:00	11:27:00	11:29:00	11:31:00	11:33:00
12	11:45:00	11:49:00	11:52:00	11:54:00	11:55:00	11:57:00	11:59:00	12:01:00	12:03:00
13	12:15:00	12:19:00	12:22:00	12:24:00	12:25:00	12:27:00	12:29:00	12:31:00	12:33:00
14	12:45:00	12:49:00	12:52:00	12:54:00	12:55:00	12:57:00	12:59:00	13:01:00	13:03:00
15	13:15:00	13:19:00	13:22:00	13:24:00	13:25:00	13:27:00	13:29:00	13:31:00	13:33:00
16	13:45:00	13:49:00	13:52:00	13:54:00	13:55:00	13:57:00	13:59:00	14:01:00	14:03:00
17	14:15:00	14:19:00	14:22:00	14:24:00	14:25:00	14:27:00	14:29:00	14:31:00	14:33:00
18	14:45:00	14:49:00	14:52:00	14:54:00	14:55:00	14:57:00	14:59:00	15:01:00	15:03:00
19	15:15:00	15:19:00	15:22:00	15:24:00	15:25:00	15:27:00	15:29:00	15:31:00	15:33:00
20	15:45:00	15:49:00	15:52:00	15:54:00	15:55:00	15:57:00	15:59:00	16:01:00	16:03:00
21	16:15:00	16:19:00	16:22:00	16:24:00	16:25:00	16:27:00	16:29:00	16:31:00	16:33:00
22	16:45:00	16:49:00	16:52:00	16:54:00	16:55:00	16:57:00	16:59:00	17:01:00	17:03:00
23	17:15:00	17:19:00	17:22:00	17:24:00	17:25:00	17:27:00	17:29:00	17:31:00	17:33:00
24	17:45:00	17:49:00	17:52:00	17:54:00	17:55:00	17:57:00	17:59:00	18:01:00	18:03:00
25	18:15:00	18:19:00	18:22:00	18:24:00	18:25:00	18:27:00	18:29:00	18:31:00	18:33:00
26	18:45:00	18:49:00	18:52:00	18:54:00	18:55:00	18:57:00	18:59:00	19:01:00	19:03:00
27	19:15:00	19:19:00	19:22:00	19:24:00	19:25:00	19:27:00	19:29:00	19:31:00	19:33:00
28	19:45:00	19:49:00	19:52:00	19:54:00	19:55:00	19:57:00	19:59:00	20:01:00	20:03:00
29	20:15:00	20:19:00	20:22:00	20:24:00	20:25:00	20:27:00	20:29:00	20:31:00	20:33:00
30	20:45:00	20:49:00	20:52:00	20:54:00	20:55:00	20:57:00	20:59:00	21:01:00	21:03:00
31	21:15:00	21:19:00	21:22:00	21:24:00	21:25:00	21:27:00	21:29:00	21:31:00	21:33:00
32	21:45:00	21:49:00	21:52:00	21:54:00	21:55:00	21:57:00	21:59:00	22:01:00	22:03:00
33	22:15:00	22:19:00	22:22:00	22:24:00	22:25:00	22:27:00	22:29:00	22:31:00	22:33:00

EK A.4. DÖNÜŞ ROTASI R2 HATTI AKTARMA DURAKLARINDAKİ ZAMAN ÇİZELGELEMESİ (devam)

İlk sefer zamanı	06:15:00
Seferler arası sure	00:30:00

Aktarma Durağına Varış Süresi	00:00:00	00:04:00	00:07:00	00:09:00	00:10:00	00:12:00	00:14:00	00:16:00	00:18:00
Sefer No	18	44	49	50	51	52	53	54	55
34	22:45:00	22:49:00	22:52:00	22:54:00	22:55:00	22:57:00	22:59:00	23:01:00	23:03:00
35	23:15:00	23:19:00	23:22:00	23:24:00	23:25:00	23:27:00	23:29:00	23:31:00	23:33:00
36	23:45:00	23:49:00	23:52:00	23:54:00	23:55:00	23:57:00	23:59:00	00:01:00	00:03:00

9. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	: Işıl Baysal
Doğum Yeri ve Tarihi	: Denizli-21.06.1991
Lisans Üniversite	: Pamukkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği
Elektronik posta	: isil_baysal@hotmail.com