



KENTİÇİ TOPLU TAŞIMA FİLOSU ATAMA VE BOYUTLANDIRMA PROBLEMİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ: ERZURUM İLİ ÖRNEĞİ

A MODEL PROPOSAL FOR URBAN PUBLIC TRANSPORTATION FLEET ALLOCATION AND SIZING PROBLEM: A CASE STUDY OF ERZURUM PROVINCE

Hamit ERDAL¹, Selçuk KORUCUK²



- Doç. Dr., Jandarma ve Sahil Güvenlik Akademisi,
hamit_erdal@hotmail.com,
<https://orcid.org/0000-0001-8352-6427>
- Doç. Dr., Giresun Üniversitesi, Bulancak Kadir
Karabaş Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu,
selcuk.korucuk@giresun.edu.tr,
<https://orcid.org/0000-0003-2471-1950>

Makale Türü Article Type
Araştırma Makalesi Research Article

Başvuru Tarihi Application Date
02.04.2022 04.02.2022

Yayına Kabul Tarihi Admission Date
01.12.2022 12.01.2022

DOI
<https://doi.org/10.30798/makuiibf.1097429>

Öz

Ulaştırma altyapısı bir ülkenin gelişmişlik düzeyini gösteren en önemli faktörlerden biridir. Bu nedenle yaşam kalitesi endeksi yüksek olan şehirlerde ileri düzeyde toplu taşıma sistemleri bulunduğu gözlemlenmektedir. Günümüzde kentlilerin nüfusun artışına paralel olarak insan hareketliliği fazlalaşmış ve toplu taşıma şehir yaşamının en önemli unsurlarından biri haline gelmiştir. Kentlilerin toplu taşıma yatırımlarının yüksek maliyetli olması, karar vericilerin kısa vadede yeni yatırımlara odaklanmalarından ziyade ilave yatırım gerektirmeyen ve mevcut filoların daha etkin kullanılmasını sağlayacak performans artırıcı çalışmalara yönelmelerine neden olmuştur. Bu çalışmada Erzurum Büyükşehir Belediyesi Başkanlığına ait toplamda 29 otobüs hattından oluşan kentlilerin toplu taşıma sistemi incelenerek mevcut sistemin verimliliğinin artırılmasına yönelik bir karışık tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model ile haftaiçi ve haftasonu yolcu talepleri, otobüs tip ve kapasiteleri de göz önüne alınarak, hatlarda hizmet veren otobüs sayıları ile âtil kapasitenin minimizasyonu amaçlanmıştır. Bu kapsamda senaryo çözümlerinin tamamında mevcut duruma kıyasla otobüs sayısında asgari % 20,7'lik ve âtil kapasitede % 74,3'lük bir azalma elde edilebildiği tespit edilmiş ve gerçek hayat problemlerine uygun olarak duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak karar vericilerin geçmiş tecrübelerine ve taleplerine göre matematiksel modelde değişiklikler yapılarak alternatif senaryo ve çözümler üretilebilmesi çalışmanın literatüre katkısı ve farklılığı olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kentlilerin Toplu Taşıma, Optimizasyon, Karışık Tamsayılı Programlama.

Abstract

Transportation infrastructure is one of the most important factors that demonstrate the development level of a country. For this reason, it is observed that the cities with a high quality of life index, have advanced public transportation systems. Today, parallel to the increase in urban population, human mobility has increased and public transportation has become one of the most important elements of urban life. The high cost of urban public transportation investments has led decision makers to focus on performance enhancing studies that do not require additional investments and will enable more efficient use of existing fleets, rather than focusing on new investments in short term. In this study, a mixed integer programming model has been developed to increase the efficiency of the existing system by examining the urban transportation system of the Erzurum Metropolitan Municipality, consisting of 29 bus routes in total. With developed model, it has been aimed to minimize the number of buses, serving on the lines, and the idle capacity, considering the passenger demands on weekdays and weekends, bus types, and capacities. In this context, it has been determined that a minimum 20.7% reduction in the number of buses and a 74.3% reduction in idle capacity can be achieved in all scenario solutions, compared to the current situation, and sensitivity analyzes have been carried out in accordance with real life problems. Consequently, it is considered as the contribution and difference of the study to the literature with producing alternative scenarios and solutions by making changes in the mathematical model according to the past experiences and demands of the decision makers.

Keywords: Urban Public Transportation, Optimization, Mixed Integer Programming.

EXTENDED SUMMARY

Research Problem

In this study, a mixed integer programming model has been developed to increase the efficiency of the existing system by examining the urban transportation system of the Erzurum Metropolitan Municipality, consisting of 29 bus routes in total. With developed model, it has been aimed to minimize the number of buses, serving on the lines, and the idle capacity, considering the passenger demands on weekdays and weekends, bus types, and capacities.

Research Questions

The high cost of urban public transportation investments has led decision makers to focus on performance-enhancing studies that do not require additional investments and will enable more efficient use of existing fleets, rather than focusing on new investments in short term. So that it has been investigated whether it is possible to minimization of the number of buses and idle capacities by reassigning the buses to routes considering the current capacities, bus types and passenger demands.

Literature Review

In the urban public transportation literature, it has been observed that the recent studies have been increasingly focused on new investment decisions in parallel with the invention of electric vehicles, and for the existing public transport systems, it has been observed that the performance-enhancing studies have been leading. The reasons for this were stated by the researchers such as the improvement of existing systems providing a partial solution in short term, not requiring additional costs, and having analysis data from previous years. It has been determined that the most of the quantitative studies on urban public transportation focused on network design, integrated vehicle routing and scheduling problems, and few studies focused on vehicle assigning or fleet sizing problems. There have been limited number of studies, which focused on fleet assignment and sizing problem that handled in this study. In the literature, no other study has been determined in which weekdays and weekend demands were taken into account according to the number of buses serving for the real-life urban public transportation vehicle assignment and fleet sizing problem discussed in this study, as well as aiming at minimizing both the bus numbers and idle capacities. Besides, to the best our knowledge, it is the only study in which quantitative research methods have been used for the Erzurum province within the scope of the urban public transportation system in general, and specifically the vehicle assignment and fleet sizing problem. The fact that the mixed integer mathematical model developed in this study has the flexibility to be adapted quickly according to the changes that may occur in the type and number of buses under different constraints to be determined by the decision makers for each route, and that it can offer solutions with the data of different locations, has been evaluated as valuable in terms of revealing the importance of the study.

Methodology

A mixed integer mathematical model was proposed for resizing the bus fleet and reorganizing the assignment to routes according to scientific principles, while maintaining the current customer satisfaction level, on 29 routes under the management of Erzurum Metropolitan Municipality, and solutions were produced for decision makers under five different scenarios. Besides, sensitivity analyzes have been carried out in accordance with real life problems.

Results and Conclusions

In this study, research has been handled to optimize the efficient use of the capacities of the vehicles in the existing urban public transportation system and the number and types of vehicles in public transportation in the Erzurum province, which has shown a rapid growth trend in recent years. With the mathematical model developed by this means, it is aimed to increase the demand for public transportation by improving the performance of the urban public transportation system, to alleviate the traffic load in the city, and to reduce the environmental problems and spent public resources due to public transportation. In all scenario solutions, it has been determined that a minimum 20.7% reduction in the number of buses and a 74.3% reduction in idle capacity can be achieved compared to the current situation.

1. GİRİŞ

Kentiçi toplu taşıma sistemleri, sürdürülebilir bir şehir planlaması kapsamında son derece önemlidir. Kentlerin büyümesine bağlı olarak kentsel işlev alanları arasındaki mesafelerin artması, yolculuk taleplerini artırırken bu talebi karşılamak için farklı hız ve yolcu kapasitelerine sahip toplu taşıma sistemlerinin kentiçi ulaşımında kullanımını artırmıştır. Yapılan araştırmalar bireylerin hızlı, güvenli, ekonomik, konforlu ve çevreye duyarlı bir biçimde kentiçi hareketliliğinin sağlanabilmesinin toplu taşıma sistemlerinin geliştirilmesine bağlı olduğunu açıkça ortaya koymuştur (Saraçoğlu, 2012).

Kentiçi ulaşım sorununun; maliyet etkin, altyapı sistemlerinin en verimli şekilde kullanılmasına imkân sağlayacak şekilde, kolay ulaşılabilir, hızlı ve konforlu ulaşım sistemlerinin geliştirilerek giderilmesi konusunda her geçen gün daha fazla fikir birliği sağlanmaktadır (Akı, 2012).

Toplu taşıma sistemleri; altyapı yatırımları, toplu taşıma araçları, araç kullanıcıları, araç işletici ve yöneticileri gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Sistemlerin verimliliği, bu bileşenlerden en iyi şekilde faydalanarak, uyumlu ve entegre bir yapının oluşturulmasıyla sağlanabilmektedir (Uludağ, 2010).

Günümüzde belediyeler ve diğer ilgili makamlar, gelişmiş şehirler için önemli bir yaşam kalitesi parametresi olan toplu taşıma kullanım oranının artırılması için kritik görev ve sorumluluklar üstlenmektedir. Toplu taşıma hizmeti için geliştirilen projeler ve bu alandaki yatırımlar son derece yüksek maliyetlidir. Hızlı şehir yaşamını yavaşlatmadan ulaşım projelerini yürütebilmek de ayrıca maliyetlerin katlanarak artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle hızla büyüyen şehirlerde ve genişleyen yaşam alanlarında, yeni yatırımlarla eşgüdümlü olarak mevcut sistemlerin verimliliğini artıracak çözümler üretilebilmesi gerekmektedir (Akad ve Gedizlioğlu, 2007).

Literatürde kentiçi toplu taşıma konusunda yapılan çalışmalarda son yıllarda elektrikli araçların trafiğe çıkmaya başlamasına paralel olarak yeni yatırım kararlarına yönelik çalışmaların sayısında artış olduğu, mevcut toplu taşıma sistemleri içinse performans artırıcı çalışmaların sayısının daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak araştırmacılar tarafından mevcut sistemlerin iyileştirilmesinin kısa vadede kısmi çözüm sağlaması, ilave maliyet gerektirmemesi ve geçmiş yıllara ait analiz verisi bulunması gibi nedenler gösterilmiştir (Özcan, 2018).

Kentiçi toplu taşıma konusunda yapılan nicel çalışmaların büyük bir çoğunluğunun ağ tasarımı, araç rotalama ve çizelgeleme problemleri üzerine odaklandığı, az sayıda çalışmanın araç ataması (Altuntaş vd., 2016; Atan ve Şimşek, 2017; Tsitsokas vd., 2018; Seval vd., 2019; Gkiotsalitis vd., 2019) veya araç filosu boyutlandırma (Ibarra-Rojas vd., 2016; Balac vd., 2020; Zahrani vd., 2021) problemine odaklandığı, bu çalışmada ele alınan araç filosu atama ve boyutlandırma (Topaloglu, H. ve Powell, 2004; Škurić vd., 2020; Shehadeh vd., 2021) probleminin ele alındığı çalışma sayısının ise çok kısıtlı olduğu gözlenmiştir.

Ayrıca son derece önemli ve optimal çözümler üretilmesi gereken kentiçi toplu taşıma konusunda özellikle yurt içinde kısıtlı sayıda yayına rastlanmıştır. Yapılan çalışmaların büyük bir kısmının İstanbul iline odaklandığı (Akad ve Gedizlioğlu, 2007; Akı, 2012; Akyüz, 2015; Ayataç, 2016; Bakioğlu ve Gökaşar, 2018; Öztürk, 2018; Karaman, 2020), Ankara (Şeyda vd., 2017), İzmit (Akman ve Alkan, 2016), Sakarya (Karaca ve Güler, 2017) illeri için de yapılmış nicel çalışmaların bulunduğu tespit edilmiştir.

Tirachini vd. (2013), toplu taşımada yolcu yerleşiminin operasyon hızına, bekleme süresine, yolculuk zamanına ve yolcu konforuna etkisini incelemiştir. Ercan vd. (2015) toplu taşımanın çevresel etkilerini ortaya koymak amacıyla otobüs filosu kombinasyonlarının belirlendiği birçok amaçlı doğrusal programlama modeli önermiştir. Altuntaş vd. (2016), toplu taşımada otobüs seferlerinin ve şoför atamalarının planlanmasında tabu arama algoritması tabanlı bir yazılım geliştirmiştir. Geliştirilen karar destek modeli ve yazılım sayesinde daha düşük yakıt maliyeti ve daha adil görev paylaşımı ortaya konulduğu belirtilmiştir.

Murat vd. (2014) şehir içi otobüs duraklarının konumları ile otobüs sefer sıklığı arasındaki ilişkinin ortaya konulabilmesi amacıyla bulanık optimizasyon ve doğrusal hedef programlama yaklaşımlarını kullanarak toplu taşıma sisteminin performansını artırmak amacıyla bir optimizasyon çalışması gerçekleştirmiştir. Benzer bir çalışma da Murat ve Demirkollu (2017) tarafından gerçekleştirilmiş olup, yazarlar otobüs ile günlük toplu taşıma yolculuklarında ideal sefer sıklığını hedef programlama yöntemi ile değerlendirmiş ve ideal sefer sıklığının toplu taşıma performansı üzerine olan etkisini ortaya koymuşlardır. Gerçekleştirilen bu çalışmalar optimizasyon modellerinin mevcut toplu taşıma sistemlerinin performansının iyileştirilebilmesi için sunulabilecek katkılara değerli birer örnek teşkil etmektedir.

Boyer vd. (2017) kentiçi otobüs ulaşım operasyonlarında sıkça karşılaşılan esnek araç ve personel çizelgeleme problemleri için karışık tamsayı doğrusal programlama ve değişken komşuluk arama sezgiseli geliştirmiştir. Geliştirilen modelde araç tipleri, sürücü özellikleri, her hat için kendine has gereksinimler, işçi düzenlemeleri, şoförlerin sınırlı çalışma zamanları, zorunlu dinlenme süreleri, sınırlı fazla mesai zamanları, artarda araç kullanım yasakları gibi faktörler de dikkate alınmıştır.

Liu vd. (2017) görüntü tarama algoritması ile dinamik otobüs çizelgeleme modeli önermiştir. Otobüs içerisine yerleştirilen kameralarla kullanım yoğunluğu gerçek zamanlı olarak tespit ederek elde edilen veriler sayesinde verimlilik artışı sağlanabileceği vurgulanmıştır. Tekin vd. (2018) Antalya şehir merkezinde hizmet veren 10 otobüs rotası üzerinde müşteri memnuniyeti ve hat verimliliğini artırmak için hedef programlama yöntemi kullanarak çizelgeleme modeli geliştirmiştir. Ceylan ve Özcan (2018) otobüs hatlarındaki sefer sıklıklarını armoni araştırma algoritması kullanarak modellemiştir.

Gkiotsalitis vd. (2019) kentiçi toplu taşıma hizmetleri için operasyonel maliyetlerin ve duraklarda yolcu bekleme sürelerinin azaltılması için kısa otobüs hatları ve yolcu aktarma sistemleri

üzerine genetik algoritma tabanlı, çok amaçlı bir optimizasyon modeli geliştirmiştir. Ibarra-Rojas vd. (2016) toplu taşıma araç çizelgeleme problemi için filo boyutunu ve işletme maliyetlerini en aza indirmek amacıyla bir model geliştirmiştir.

Son yıllarda bilinen modellerden ayrı olarak, kent içi toplu taşıma sektöründe matematiksel modeller kullanılarak çözülen ölü kilometre problemlerinin (yolcusuz hareketlerden kaynaklanan maliyetlerin/kaynakların minimizasyonu) incelendiği bazı çalışmalarla alana yenilik getirilmiştir. Öztop, (2016) bir toplu taşıma idaresinin gerçek hayat probleminden esinlenerek yaptığı çalışmada, önceden belirlenmiş seferler ve araç atamalarından kaynaklanan ölü kilometre seferlerini de dikkate alarak minimum maliyet amacına göre ihtiyaç duyulan farklı tipteki araç ve sürücü sayısını optimal şekilde belirlemeye çalışmıştır. Sevim vd, (2016), İstanbul ilinde çoklu depo araç çizelgeleme problemi için, kullanılan araç sayısı ve toplam ölü kilometrenin minimizasyonunun amaçlandığı bir optimizasyon modeli önermiştir. Sevim (2017), akaryakıt maliyetlerinin önemli bir kısmının ölü kilometrelerden kaynaklandığı tespiti ile kapsamlı bir kuramsal çerçeve ortaya koyduktan sonra İETT Genel Müdürlüğü'nün mevcut hat-garaj eşleştirmesinde değişiklikler yaparak ölü kilometrenin azaltılması amacıyla tamsayı bir doğrusal programlama modeli önermiştir. Yıldız (2019) tarafından son derece kapsamlı bir metrobüs hat optimizasyonu gerçekleştirilmiş olup, ölü kilometre probleminin de ele alındığı modelde âtil kapasite, sefer sayısı, kilometre ve maliyet minimizasyonu amaçları için farklı işletme senaryoları üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır.

Bu çalışmada ele alınan kentiçi toplu taşıma araç filosu atama ve boyutlandırma problemi ile benzer özelliklere sahip çok az sayıda çalışma tespit edilebilmiştir. Topaloğlu ve Powell (2004) dinamik programlama ve filo boyutlandırması uygulamalarının kullanıldığı dinamik araç atama modellerinin duyarlılık analizlerini taramıştır. Škurić vd. (2020) özel sektör feribot filosu atama ve boyutlandırma problemi için işletici firmanın karının maksimizasyonunun amaçlandığı bir karışık tamsayı optimizasyon modeli ile üç sezgisel model geliştirmiştir. Shehadeh vd. (2021) yolcu talebinin belirli olduğu ve olmadığı durumlar altında araç atama ve filo boyutlandırma problemi için stokastik iki model önermiştir. Önerilen modeller ile toplam maliyet, filo boyutu, yolcu bekleme ve seyir süreleri arasındaki dengeler incelenmiştir.

Yapılan literatür araştırmasında bu çalışmada ele alınan gerçek hayat kentiçi toplu taşıma araç atama ve filo boyutlandırma problemi için hizmet veren otobüs sayıları ile âtil kapasitenin minimizasyonunun amaçlandığı, kullanım yoğunluğunun göz önüne alınabilmesi için hafta içi ve hafta sonu kullanımlarının dikkate alındığı, başkaca bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ayrıca literatürde Erzurum ili için genelde kentiçi toplu taşıma sistemi, özelde araç atama ve filo boyutlandırma problemi kapsamında nicel araştırma yöntemlerinin kullanıldığı başkaca bir araştırma tespit edilememiştir. Bu çalışmada geliştirilen karışık tamsayı matematiksel modelin karar vericilerin her bir güzergâh için belirleyeceği farklı kısıtlar altında, otobüs tip ve sayısında yaşanabilecek değişikliklere göre süratle

adapte edilebilecek esnekliğe sahip olması, benzer şekilde farklı lokasyonların verileriyle de çözüm sunabilmesi, çalışmanın önemini ortaya koyması bakımından kıymetli değerlendirilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde Erzurum il merkezi kentiçi toplu taşıma sistemi problemi tanımlanmış ve kavramsal olarak modellenmenin nasıl yapıldığı ortaya konularak karışık tamsayılı bir matematiksel programlama modeli geliştirilmiş, üçüncü bölümde karar vericilere karar alternatifleri oluşturmak maksadıyla, beş farklı senaryo üretilerek matematiksel model ile çözümler üretilmiş, dördüncü bölümde analiz sonuçlarına yönelik değerlendirmelerde bulunularak duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiş, gelecek çalışmalara önerilerin de bulunduğu sonuç bölümüyle çalışma sonlandırılmıştır.

2. PROBLEM TANIMI VE MODELİN GELİŞTİRİLMESİ

Bu bölümde, öncelikle Erzurum il merkezi kentiçi toplu taşıma sistemi problemi tanıtılarak kavramsal olarak modellenmenin nasıl yapıldığı ortaya konulmuş, daha sonra karışık tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir.

Erzurum Büyükşehir Belediyesi Başkanlığı (EBBB) tarafından Erzurum il merkezinde toplam 29 otobüs hattı ile kentiçi ulaşım sağlanmaktadır. EBBB Ulaştırma Daire Başkanlığı Toplu Taşıma Şube Müdürlüğünde görevli personel ile yapılan görüşmeler neticesinde otobüs güzergahlarının, her bir güzergahtaki sefer saat ve sayılarının gözlemsel olarak hesaplandığı ve bunların müşteri memnuniyeti odaklı bir yaklaşımla belirlendiği, fakat otobüslerin kapasitelerine bağlı olarak güzergahlara atanması ile âtil kapasite ve sefer planına bağlı olarak güzergahlara atanan otobüs sayısının bilimsel esaslara göre belirlenmediği öğrenilmiştir. Bu nedenle mevcut müşteri memnuniyet düzeyinin korunarak, otobüs filosunun yeniden boyutlandırılması ve güzergâhlara atanmasının bilimsel esaslara göre yeniden düzenlenmesi gerektiği anlaşılmıştır. Bu kapsamda EBBB’de toplu taşımanın planlanmasında görevli personel ile toplantılar yapılarak problemin detayları ortaya konulmuştur.

Verilerin elde edilmesi sürecinde Covid-19 pandemisinin geçici etkisinin karara yansımını engellemek amacıyla 2016 ve 2018 yılları arasındaki toplu taşıma yolcu, otobüs ve sefer sayılarına ait veriler EBBB’den temin edilmiştir. Elde edilen her bir yıla ait verilerin incelenmesi sonucunda, aralarında %5’i geçmeyen ve ortalama olarak çok benzer bir dağılım olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle yapılan hesaplamalarda bu üç yıllık verilerin ortalaması kullanılmıştır. Sefer sayıları her bir araç için olup, gün içerisinde gerçekleştirilen toplam sefer sayısının belirlenmesi için sefer sayısı ile araç sayısının çarpılması gerekmektedir. Otobüs hatları, otobüs tiplerine göre otobüs sayı ve sefer sayıları ile taşınan yolcu sayılarının (bu çalışmada her hattaki toplam biniş sayısı çift yönlü olarak hesaplanmış ve modele toplam yolcu sayısı dahil edilmiştir.) bulunduğu mevcut hafta içi ve hafta sonu sefer planları Tablo 1. ve Tablo 2.’de sunulmuş olup, sonraki bölümlerinde sunulan tablolarda, kolaylık sağlaması bakımından hat adları sütunu kullanılmamıştır.

Tablo 1. Hafta İçi Günler İçin Sefer Planı

Hat No	Hat Adı	1. Tip Otobüs		2. Tip Otobüs		3. Tip Otobüs		Taşınan Yolcu Sayısı
		Otobüs sayısı	Sefer Sayısı	Otobüs sayısı	Sefer Sayısı	Otobüs sayısı	Sefer Sayısı	
1	B2-Dadaşkent-Şehir Merkezi	8	10	3	10	0	0	6.448
2	B3-Dadaşkent- Şehir Merkezi	8	10	3	11	0	0	7.122
3	B5-Şehir Merkezi-Söğütlü Köyü	0	0	1	7	0	0	352
4	B6-D.Kent-Y.Kent	0	0	0	0	4	8	3.356
5	B7-Ilıca-D.Kent	0	0	6	8	0	0	3.297
6	B1-Ilıca-Erzurum	5	9	6	10	0	0	6.202
7	D1-Yoncalık-M.Efendi	3	13	0	0	0	0	1.156
8	G1-Y.Emre-Üni.	12	13	0	0	0	0	9.332
9	G2-Yonc-Sudeposu	2	12	0	0	0	0	431
10	G3-Y.Kent 10katlılar	14	12	0	0	0	0	9.439
11	G4-Kayakolu-Yenişehir	6	11	0	0	0	0	3.218
12	G5-Yoncalık-K.Yolu	7	11	2	12	0	0	4.636
13	G6-Ync - Yıldızkent	4	10	0	0	0	0	1.202
14	G7-Yoncalık-Yıldızkent	13	12	0	0	0	0	4.510
15	G8-Ync-Dutçu K	2	10	1	11	0	0	1.030
16	G9-H.Kent-Y.Kent	17	8	2	9	1	10	13.391
17	G10-Y.Emre-M.Başı-K.Yurdalan	6	9	1	9	0	0	3.084
18	K1-Dadaşköy-Kan Yolu	0	0	3	13	0	0	2.331
19	K2-İbrahim Hakkı-Teaş	12	9	1	10	0	0	6.280
20	K3-Hilalkent-Tortum Yolu	9	8	1	8	0	0	5.143
21	K4-Yoncalık	0	0	4	13	0	0	3.480
22	K5-Yonc-Şehitler	4	11	0	0	0	0	868
23	K7-Ş.Paşa-A.Üniversite	4	11	0	0	0	0	589
24	K8-Dumlu-Erzurum	0	0	6	7	0	0	3.212
25	G12-Şehir Merkezi-Konaklı Tes	0	0	2	12	0	0	1.037
26	G4-A Mahallebaşı-Terminal	0	0	5	7	0	0	2.510
27	K10-Şükrüpaşa-Uni	6	15	0	0	0	0	1.999
28	K7-A H.Kent Avm	0	0	5	8	0	0	2.678
29	B8-N.Topçu Y.-Erzurum	0	0	4	17	0	0	1.354
Toplam		142	204	56	182	5	18	109.687

Tablo 2. Hafta Sonu Günler İçin Sefer Planı

Hat No	Hat Adı	1. Tip Otobüs		2. Tip Otobüs		3. Tip Otobüs		Taşınan Yolcu Sayısı
		Otobüs sayısı	Sefer Sayısı	Otobüs sayısı	Sefer Sayısı	Otobüs sayısı	Sefer Sayısı	
1	B2-Dadaşkent-Şehir Merkezi	8	10	3	10	0	0	5.446
2	B3-Dadaşkent- Şehir Merkezi	8	10	3	10	0	0	6.150
3	B5-Şehir Merkezi-Söğütlü Köyü	0	0	1	7	0	0	286
4	B6-D.Kent-Y.Kent	0	0	0	0	4	8	1.871
5	B7-Ilıca-D.Kent	0	0	4	8	0	0	2.599
6	B1-Ilıca-Erzurum	5	10	5	10	0	0	4.765
7	D1-Yoncalık-M.Efendi	3	13	0	0	0	0	855
8	G1-Y.Emre-Üni.	10	14	0	0	0	0	5.915
9	G2-Yonc-Sudeposu	4	10	0	0	0	0	335
10	G3-Y.Kent 10katlılar	10	12	0	0	0	0	4.139
11	G4-Kayakolu-Yenişehir	4	11	0	0	0	0	1.600

12	G5-Yoncalık-K.Yolu	6	11	2	12	0	0	3.303
13	G6-Ync - Yıldızkent	4	10	0	0	0	0	802
14	G7-Yoncalık-Yıldızkent	13	12	0	0	0	0	3.625
15	G8-Ync-Dutçu K	2	10	1	11	0	0	684
16	G9-H.Kent-Y.Kent	15	8	2	9	1	10	10.808
17	G10-Y.Emre-M.Başı-K.Yurdalan	4	10	1	9	0	0	1.581
18	K1-Dadaşköy-Kan Yolu	0	0	3	13	0	0	1.263
19	K2-İbrahim Hakkı-Teaş	9	9	1	9	0	0	3.494
20	K3-Hilalkent-Tortum Yolu	6	8	1	9	0	0	2.395
21	K4-Yoncalık	0	0	3	13	0	0	1.721
22	K5-Yonc-Şehitler	3	12	0	0	0	0	422
23	K7-Ş.Paşa-A.Üniversite	3	12	0	0	0	0	401
24	K8-Dumlu-Erzurum	0	0	6	7	0	0	2.361
25	G12-Şehir Merkezi-Konaklı Tes	0	0	2	12	0	0	770
26	G4-A Mahallebaşı-Terminal	0	0	5	7	0	0	1.792
27	K10-Şükrüpaşa-Uni	4	15	0	0	0	0	989
28	K7-A H.Kent Avm	0	0	5	8	0	0	2.623
29	B8-N.Topçu Y.-Erzurum	0	0	4	17	0	0	237
Toplam		121	207	52	181	5	18	73.232

EBBB otobüs envanterinde 3 tip otobüs bulunmaktadır. Her bir otobüste yolcular oturarak ve ayakta taşınabilmektedir. 1. tip otobüsten envantere toplam 142 adet bulunmakta ve her bir seferde toplam (oturarak ve ayakta) 58 yolcu taşınabilmektedir. 2. tip otobüsten envantere toplam 56 adet bulunmakta ve her bir seferde toplam (oturarak ve ayakta) 100 yolcu taşınabilmektedir. 3. tip otobüsten envantere toplam 5 adet bulunmakta ve her bir seferde toplam (oturarak ve ayakta) 140 yolcu taşınabilmektedir.

Mevcut hatlarda görevlendirilen otobüsler sabit olup, özel (futbol müsabakası vb.) veya olumsuz bir durum (arıza nedeniyle otobüsün gayri faal olması vb.) olmadıkça hatlar arasında otobüs kaydırması yapılmamaktadır. Daha önce yapılan sayısal gözlem ve takiplere bağlı olarak hat güzergâhları en az yolcu mağduriyeti oluşturacak şekilde planlanmış ve nüfus, yerleşim vb. kriterler gözetilerek, yıl içerisinde belirli aralıklarla yeniden ölçüm yapılmak suretiyle dinamik fakat sezgilere dayalı bir sistem tasarlanmıştır.

Her bir hatta atanan her bir otobüsün sefer sayısı da yolcu ve güzergâh yoğunluğuna göre otobüs bekleme süresinin makul düzeyde tutulması ve sefer başlama bitiş süreleri arasındaki zaman dilimine bağlı olarak belirlenmiştir. Fakat her bir hatta hangi tip otobüsün atanacağı, otobüs sayısının ve âtil kapasitenin azaltılıp azaltılmayacağı soruları bugüne kadar sezgi ve tecrübe ile ele alındığından optimal bir planlama ortaya konulması ihtiyacı hâsıl olmuştur. Bu sayede yolcu memnuniyet düzeyi korunurken maliyetlerin de azaltılabilmesi hedeflenmiştir.

Yapılacak iyileştirmelerin mevcut imkânlarla sınırlı kalması, aksi takdirde uygulamaya geçirilememesi durumunun oluşabileceği, bu nedenle otobüs garaj sayısı, garajların lokasyonu, otobüs sayı ve tipi, hat güzergâhları (Erzurum ilinde hat güzergâhları ile otobüs tipleri arasındaki ilişkinin

modelde ele alınmasını gerektirecek bazı tip otobüslerin yol darlığı gibi nedenlerle çalışmaması gibi bir durum bulunmamaktadır.), sefer sayı ve saatleri, personel sayısı, işletme ve altyapı olanakları gibi probleme etki edebilecek diğer etmenlerde değişikliğe gidilmemesi mevcut imkân ve olanaklara göre optimal planlamanın yapılması talep edilmiştir.

2.1. Matematiksel Modelin Geliştirilmesi

Kümeler/İndisler

- i : Otobüs Tipleri , $i \in I, i = 1,2,3$
 j : Otobüs Hatları, $j \in J, j = 1, \dots, 29$

Parametreler

- $mintype_j$: j . hatta atanacak en az otobüs tipi sayısı.
 D_j : j . hattaki bir günlük yolcu sayısı.
 $tour_j$: j . hattaki her bir otobüsün günlük sefer sayısı.
 $quant_i$: Envanterde bulunan i . tip otobüs sayısı.
 cap_i : i . tip otobüsün her bir seferde taşıyabileceği toplam (oturarak ve ayakta) yolcu sayısı.
 $minassign_{ij}$: i . otobüs tipinden j . hatta atanabilecek minimum otobüs sayısı.
 p_j : j . hatta atanacak toplam otobüs sayısı için alt sınır.

Karar Değişkenleri

- X_{ij} : i . otobüs tipinden j . hatta atanan otobüs miktarı.
 $idlecap_j$: j . hattın bir günlük âtil kapasitesi
 $Y_{ij} = \begin{cases} 1, & i. tip otobüs j. hatta atanırsa \\ 0, & dd. \end{cases}$

Amaç Fonksiyonları

$$Minz = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ij} \quad (1)$$

$$Minz = \sum_{j \in J} idlecap_j \quad (2)$$

Kısıtlar

$$\sum_{j \in J} X_{ij} \leq quant_i \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$X_{ij} \leq quant_i Y_{ij} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (4)$$

$$X_{ij} \geq minassign_{ij} Y_{ij} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} X_{ij} tour_j cap_i \geq D_j \quad \forall j \in J \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I} Y_{ij} \geq mintype_j \quad \forall j \in J \quad (7)$$

$$idlecap_j = -D_j + \sum_{i \in I} X_{ij} tour_j cap_i \quad \forall j \in J \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I} X_{ij} \geq p_j \quad \forall j \in J \quad (9)$$

$$X_{ij}, idlecap_j \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (10)$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (11)$$

Amaç fonksiyonu (1) gün boyunca sefere çıkarılan otobüs sayısını minimize eder. Amaç fonksiyonu (2) tüm hatlara atanan tüm otobüslerle gün boyu taşınabilecek yolcu sayısından o günkü toplam yolcu sayısının çıkarılması sonucu oluşan âtil kapasiteyi minimize eder. (3) numaralı kısıt tüm otobüs tipinden her bir hatta atanacak toplam otobüs sayısının envanterde bulunan otobüs sayısını aşmamasını sağlar. Böylece otobüs sayısına bağlı kapasite aşılmamış olur. (4) numaralı kısıt her bir otobüs tipinden her bir hatta atanacak otobüs sayısının envanterde bulunan otobüs sayısını aşmamasını sağlar. Ayrıca atama olmayan hatta otobüs planlanmamasını sağlar. (5) numaralı kısıt her bir otobüs tipinden her bir hatta atanabilecek otobüs sayısının belirlenen sayıdan az olmamasını sağlar. Ayrıca atama olmayan hatta otobüs planlanmamasını sağlar. (6) numaralı kısıt tüm otobüs tiplerinden her bir hatta atanacak toplam otobüs sayısı ile bu otobüsün günlük sefer sayısı ve yolcu kapasitesinin çarpılması sonucu elde edilen günlük taşınabilecek yolcu sayısı miktarının o hattaki günlük yolcu sayısından az olmamasını sağlar. Bu sayede taşınmayan yolcu kalmaması garanti edilir. (7) numaralı kısıt belirlenen minimum tipte (ör: en az 2 tip otobüs planlanabilir) otobüsün j. hatta atanmasını sağlar. Bu sayede sefer saat ve sayıları korunarak müşteri memnuniyetinin devamlılığı sağlanır. (8) numaralı kısıt seti j. hatta atanan tüm otobüslerle gün boyu taşınabilecek yolcu sayısından toplam yolcu sayısının çıkarılması sonucu oluşan âtil kapasitenin belirlenmesini sağlar. (9) numaralı kısıt j. hatta atanacak toplam otobüs sayısının belirlenen p_j sayıdan az olmamasını sağlar. Bu sayede hesaplamalar sonucunda hattaki tüm yolcuların daha az sayıda otobüs ile taşınabileceğinin belirlenmesine rağmen herhangi bir olumsuzlukta (kaza, arıza vb.) seferlerin aksamaması sağlanmış olur. (10) numaralı kısıt karar değişkenlerinin pozitif değer almasını sağlar. (11) numaralı kısıt, değişkenlerin 0-1 tamsayı değeri alabileceğini ifade eder.

2.2. Modelin Doğrulaması, Geçerlemesi ve Çözümü

Modelin doğrulaması için, gerçek hayat probleminin detaylarını yansıtacak 5, 10 ve 15 hatlı test problemi oluşturulmuştur. Test problemleri, çeşitli senaryolar altında, parametreler değiştirilerek çalıştırılmış ve beklenen sonuçları verdiği görülmüştür. Bunun üzerine Erzurum il merkezindeki mevcut durum için model çalıştırılmış ve doğru sonuçların elde edildiği test edilmiştir. Modelin geçerlemesine yönelik olarak ise, elde edilen sonuçlar EBBB’de toplu taşımanın planlanmasından sorumlu personelle beraber değerlendirilmiş ve sonuçların gerçek durumu yansıttığı değerlendirilmiştir.

Geliştirilen model, GAMS ile kodlanmış, CPLEX 10.1 çözücüsü ile çözülmüştür. Modelin çözümünde Intel(R) Core(TM) i7-4700MQ CPU @ 2.40GHZ işlemciye sahip dizüstü bilgisayar kullanılmıştır.

3. SENARYO ANALİZLERİ

Karar vericilere karar alternatifleri oluşturmak amacıyla, onların talepleri gözetilerek 5 farklı senaryo üretilmiştir. Bu bölümde, ilk olarak söz konusu senaryolar açıklanmış, daha sonra da senaryo sonuçları değerlendirilmiştir. Senaryolar, otobüs tip ve sayılarına göre atamaların serbest ve sabit olmasına göre oluşturulmuştur. Aşağıda detaylı şekilde açıklanacağı üzere karar vericilerin zaman içerisinde bazı özel veya olumsuz durumlarla karşılaşmaları nedeniyle, hizmetin devamlılığını garanti edecek bazı talepleri olmuştur. Bu taleplerin karşılanması için geliştirilen matematiksel model bazı değerler veya sınırlandırmalar altında çalışmaya zorlanmış ve sınırlandırma durumu için “sabit” ifadesi kullanılmıştır. Serbest durumlarda ise optimal çözümü garanti edecek şekilde, senaryo şartları dahilinde model sınırlandırılmadan çözülmüştür. Otobüs sayısına göre yapılan analizlerde; sabit durumda, her bir hatta atanacak toplam otobüs sayısının belirlenen p_j sayıdan az olmaması durumuna zorlanarak çözülmüştür. Bu sayede hesaplamalar sonucunda hattaki tüm yolcuların daha az sayıda otobüs ile taşınabileceğinin belirlenmesi durumunda bile herhangi bir olumsuzluk nedeniyle (kaza, arıza vb.) seferlerin aksamaması sağlanacaktır. Serbest durumda ise hatlara atanacak otobüs sayılarının optimal çözümü garanti edecek şekilde, model sınırlandırılmadan çözülmesi söz konusudur. Bu durumda yolcu talebini karşılamak şartıyla bir hatta sadece 1 adet otobüs bile planlanması mümkündür. Örneğin 1. tip otobüsten 3, 2. tip otobüsten 3 adet olmak üzere toplam 6 otobüsle, her bir otobüsün 10 sefer ile yaptığı taşımada toplam 60 sefer yapılacaktır. Fakat çözüm sonucunda aynı sayıda yolcuyla 5 otobüsle taşımamızın optimal bir karar olması durumunda toplam sefer sayısı 50’ye düşecek ve yolcuların durakta yaklaşık 10 dakika fazla beklemesine yol açılacaktır.

Otobüs tipine göre yapılan analizlerde; sabit durumda, belirlenen minimum tipte (ör: en az 2 tip otobüs planlanabilir) otobüsün j. hatta atanması sağlanmış olacaktır. Bu sayede sefer saat ve sayıları korunarak müşteri memnuniyetinin devamlılığı sağlanacaktır. Serbest durumda ise hatlara atanacak otobüs tiplerinin optimal çözümü garanti edecek şekilde, model sınırlandırılmadan çözülmesi söz konusudur. Bu durumda yolcu talebini karşılamak şartıyla bir hatta sadece 1 tip otobüs bile planlanması mümkündür. Bu genel çerçevede senaryoların genel yapıları Tablo 3.’te özetlenmiştir.

Tablo 3. Hafta Sonu Günler İçin Sefer Planı

	Mevcut Durum	Senaryo-1	Senaryo-2	Senaryo-3	Senaryo-4
Otobüs Sayısına Göre	<i>Sabit</i>	✓		✓	
	<i>Serbest</i>		✓		✓
Otobüs Tipine Göre	<i>Sabit</i>	✓		✓	
	<i>Serbest</i>		✓	✓	

Analizlerin başlangıcında sadece otobüs sayısının azaltılması amacına göre çözüm elde edilmesi planlanmışken, 2. ve 3. tip otobüslerin kapasitelerinin fazla olması nedeniyle hemen her çözümde bu tip otobüslerin tamamının kullanıldığı, ancak 1. tip otobüsün ise kullanım sayısının doğal olarak azaldığı tespit edilmiştir. Bu kapsamda elde edilen çözümlerde âtl kapasite kullanımında artış gözlenmesi

nedeniyle her bir senaryo aynı esaslar altında, ilave olarak minimum âtil kapasite amacıyla da çözülmüştür. Bu nedenle (1) numaralı amaç fonksiyonu $Minz = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ij}$, (2) numaralı amaç fonksiyonu $Minz = \sum_{j \in J} idlecap_j$ ile değiştirilmiştir. Şimdi, bu senaryoların detayları ve çözüm sonuçları açıklanacaktır.

3.1. Mevcut Toplu Taşıma Sistemi Senaryosu

Bu senaryoda, mevcut toplu taşıma sistemi esas alınarak, sadece mevcut durumu resmetmek ve karşılaştırma yapabilmek için model çözülmüştür. Bu senaryo kapsamında sadece mevcut durumda sefere çıkarılan toplam araç sayısı ve toplam âtil kapasitenin ortaya konulması amaçlandığından mevcut sisteme uygun olarak hatlara atanan otobüs tipleri ve sayıları sabitlenmiştir. Ayrıca matematiksel modelin karar vericilerin talepleri doğrultusunda otobüs sayı ve tiplerine müdahale edilmesini sağlayan (5), (7) ve (9) numaralı kısıtları çözüme dahil edilmemiştir. Mevcut atamalara göre sabitlenerek model çalıştırıldığında 16 no.lu güzergâhta 131 yolcunun taşınmadığı görülmüştür. (6) numaralı kısıtın taşınmayan yolcu kalmamasını garanti etmesi nedeniyle de model hata vermiştir. Bu sorunun giderilebilmesi için 16 no.lu hattın yolcu sayısı 131 kişi azaltılarak model çözülmüştür. Mevcut toplu taşıma sisteminin sabitlenmesiyle elde edilen sonuçlar Tablo 4.'te sunulmuştur.

Tablo 4. Mevcut Durum Senaryosuna Göre Araç Tiplerinin Güzergahlardaki Dağılımı ve Her Bir Güzergahtaki Âtil Kapasiteler

Güzergâhlar (j)	Hafta içi				Hafta sonu			
	i=1	i=2	i=3	Âtil Kapasite (idlecap _j)	i=1	i=2	i=3	Âtil Kapasite (idlecap _j)
1	8	3	0	1.956	8	3	0	2.958
2	8	3	0	1.282	8	3	0	2.254
3	0	1	0	348	0	1	0	414
4	0	0	4	1.124	0	0	4	2.609
5	0	6	0	1.503	0	4	0	601
6	5	6	0	2.698	5	5	0	3.135
7	3	0	0	1.106	3	0	0	1.407
8	12	0	0	412	10	0	0	2.205
9	2	0	0	961	4	0	0	2.217
10	14	0	0	305	10	0	0	2.821
11	6	0	0	958	4	0	0	1.184
12	7	2	0	2.636	6	2	0	3.273
13	4	0	0	1.350	4	0	0	1.750
14	13	0	0	4.538	13	0	0	5.423
15	2	1	0	1.346	2	1	0	1.692
16	17	2	1	0	15	2	1	1.292
17	6	1	0	948	4	1	0	1.739
18	0	3	0	1.869	0	3	0	2.937
19	12	1	0	3.272	9	1	0	2.726
20	9	1	0	455	6	1	0	1.637
21	0	4	0	1.720	0	3	0	2.179
22	4	0	0	1.684	3	0	0	1.666
23	4	0	0	1.963	3	0	0	1.687

24	0	6	0	988	0	6	0	1.839
25	0	2	0	1.363	0	2	0	1.630
26	0	5	0	990	0	5	0	1.708
27	6	0	0	3.569	4	0	0	2.723
28	0	5	0	1.322	0	5	0	1.377
29	0	4	0	5.446	0	4	0	6.563
Toplam	142	56	5	48.112	121	52	5	65.646
	203				178			

3.2. Senaryo-1 (Otobüs Sayısı ve Tipi Serbest)

Bu senaryoda otobüs tip ve sayıları serbest bırakılarak optimal çözümün elde edilebileceği şartlar altında model çözülmüştür. Böylece karar vericilerin hizmette devamlılığı sağlamak amacıyla talep ettiği sınırlamalar olmadığından çözüm sonucunda otobüs sayısı minimize edilebilmiştir. Fakat dolaylı olarak otobüs sayısı ve tipinde azalma yaşanması nedeniyle sefer sayılarında da düşme yaşanmıştır. Bu da duraklarda bekleme süresini mevcut duruma göre arttıracak ve müşteri memnuniyetini olumsuz yönde etkileyecektir. Bu senaryoda da matematiksel modelin karar vericilerin talepleri doğrultusunda otobüs sayı ve tiplerine müdahale edilmesini sağlayan (5), (7) ve (9) numaralı kısıtları çözüme dahil edilmemiştir. Senaryo-1 için minimum otobüs sayısı amacına göre çözüm sonuçları Tablo 5.'te, minimum âtl kapasite sonucuna göre çözüm sonuçları Tablo 6.'da verilmiştir.

Tablo 5. Senaryo-1, Minimum Otobüs Sayısı Amacına Göre Çözüm Sonuçları

Güzergâhlar (j)	Hafta içi				Hafta sonu			
	i=1	i=2	i=3	Âtl Kapasite (idlecapj)	i=1	i=2	i=3	Âtl Kapasite (idlecapj)
1	0	6	0	152	1	3	1	32
2	1	6	0	116	0	0	4	10
3	1	0	0	54	1	0	0	120
4	8	0	0	356	5	0	0	449
5	8	0	0	415	6	0	0	185
6	1	6	0	378	0	5	0	235
7	0	1	0	144	0	1	0	445
8	0	7	0	468	1	4	0	497
9	1	0	0	265	1	0	0	303
10	14	0	0	305	1	3	0	157
11	0	3	0	382	3	0	0	488
12	7	0	0	236	0	3	0	297
13	2	0	0	74	0	1	0	298
14	7	0	0	362	1	3	0	671
15	0	1	0	70	0	1	0	416
16	15	5	0	309	0	11	0	192
17	1	2	1	498	0	2	0	419
18	0	2	0	469	0	1	0	137
19	1	5	0	416	1	3	0	86
20	10	0	0	77	0	3	0	305
21	0	0	2	160	3	0	0	541
22	0	1	0	232	1	0	0	274

23	1	0	0	49	1	0	0	295
24	0	5	0	288	0	4	0	439
25	0	1	0	163	0	1	0	430
26	0	4	0	290	0	3	0	308
27	3	0	0	785	0	1	0	611
28	1	0	2	26	1	3	0	241
29	0	1	0	346	1	0	0	749
Toplam	82	56	5	7.885	28	56	5	9.630
	143				89			

Tablo 6. Senaryo-1, Minimum Âtıl Kapasite Amacına Göre Çözüm Sonuçları

Güzergâhlar (j)	Hafta içi				Hafta sonu			
	i=1	i=2	i=3	Âtıl Kapasite (idlecaj)	i=1	i=2	i=3	Âtıl Kapasite (idlecaj)
1	5	3	0	42	0	5	0	54
2	6	3	0	6	8	1	0	54
3	1	0	0	54	1	0	0	120
4	4	2	0	100	0	1	1	49
5	2	3	0	31	4	1	0	57
6	9	1	0	18	5	2	0	135
7	0	1	0	144	0	1	0	445
8	3	5	0	104	5	0	1	105
9	1	0	0	265	1	0	0	303
10	5	5	0	41	6	0	0	37
11	3	1	0	70	0	0	1	80
12	5	1	0	44	1	1	1	273
13	2	0	0	74	0	1	0	298
14	0	1	2	50	2	2	0	167
15	0	1	0	70	0	1	0	416
16	16	4	0	20	17	1	0	52
17	6	0	0	48	3	0	0	159
18	3	0	0	105	0	1	0	137
19	4	3	0	104	1	3	0	86
20	3	4	0	23	3	1	0	71
21	3	1	0	82	0	0	1	99
22	0	1	0	232	1	0	0	274
23	1	0	0	49	1	0	0	295
24	8	0	0	36	1	3	0	145
25	0	1	0	163	0	1	0	430
26	3	2	0	108	1	2	0	14
27	0	0	1	241	0	1	0	611
28	6	0	0	106	4	1	0	33
29	0	1	0	346	1	0	0	749
Toplam	99	44	3	2.776	66	30	5	5.748
	146				101			

3.3. Senaryo-2 (Otobüs Sayısı Sabit, Otobüs Tipi Serbest)

Bu senaryoda otobüs tipleri serbest bırakılarak her bir hatta atanacak otobüs sayılarına müdahale edilerek model çözülmüştür. Karar vericilerle yapılan görüşmelerde herhangi bir aksaklık durumunda

seferlerin aksamaması için her bir hatta en az iki adet otobüs atanması durumunda oluşacak planın gösterilmesi istenmiştir. Bu senaryoda, atanacak otobüs tipini karar vericilerin talepleri doğrultusunda sınırlandıran (5) ve (7) numaralı kısıtlar modelden çıkarılarak çözüm elde edilmiştir. Senaryo-2 için minimum otobüs sayısı amacına göre çözüm sonuçları Tablo 7.'de, minimum âtil kapasite amacına göre çözüm sonuçları Tablo 8.'de sunulmuştur.

Tablo 7. Senaryo-2, Minimum Otobüs Sayısı Amacına Göre Çözüm Sonuçları

Güzergâhlar (j)	Hafta içi				Hafta sonu			
	i=1	i=2	i=3	Âtil Kapasite (idlecaj)	i=1	i=2	i=3	Âtil Kapasite (idlecaj)
1	2	5	0	328	0	4	1	494
2	1	6	0	116	0	0	4	10
3	2	0	0	460	2	0	0	526
4	5	0	1	84	1	2	0	193
5	5	0	1	143	1	3	0	265
6	3	5	0	538	0	5	0	235
7	2	0	0	352	2	0	0	653
8	2	6	0	692	1	4	0	497
9	2	0	0	961	2	0	0	941
10	11	2	0	617	1	3	0	157
11	3	1	0	70	1	1	0	296
12	5	1	0	44	0	3	0	297
13	2	0	0	74	2	0	0	474
14	4	2	0	674	1	3	0	671
15	2	0	0	246	2	0	0	592
16	5	11	0	509	0	11	0	192
17	6	0	0	48	0	2	0	419
18	2	1	0	693	2	0	0	361
19	2	3	1	392	1	3	0	86
20	3	4	0	23	0	3	0	305
21	3	1	0	82	1	1	0	333
22	2	0	0	408	2	0	0	970
23	2	0	0	687	2	0	0	991
24	2	4	0	400	1	3	0	145
25	2	0	0	355	2	0	0	622
26	4	0	1	94	1	2	0	14
27	1	0	1	1.169	2	0	0	867
28	1	3	0	186	1	3	0	241
29	2	0	0	618	2	0	0	1.735
Toplam	88	55	5	11.063	33	56	5	13.582
	148				94			

Tablo 8. Senaryo-2, Minimum Âtil Kapasite Amacına Göre Çözüm Sonuçları

Güzergâhlar (j)	Hafta içi				Hafta sonu			
	i=1	i=2	i=3	Âtil Kapasite (idlecaj)	i=1	i=2	i=3	Âtil Kapasite (idlecaj)
1	5	3	0	42	0	5	0	54
2	6	3	0	6	8	1	0	54
3	2	0	0	460	2	0	0	526
4	0	3	1	164	1	2	0	193

5	3	1	1	15	4	1	0	57
6	9	1	0	18	0	2	2	35
7	2	0	0	352	2	0	0	653
8	3	5	0	104	5	0	1	105
9	2	0	0	961	2	0	0	941
10	5	5	0	41	2	1	1	133
11	3	1	0	70	1	1	0	296
12	5	1	0	44	0	3	0	297
13	2	0	0	74	2	0	0	474
14	5	1	0	170	2	2	0	167
15	2	0	0	264	2	0	0	592
16	13	3	2	80	12	4	0	152
17	6	0	0	48	3	0	0	159
18	3	0	0	105	2	0	0	361
19	4	3	0	104	1	3	0	86
20	3	4	0	23	3	1	0	71
21	3	1	0	82	1	1	0	333
22	2	0	0	408	2	0	0	970
23	2	0	0	687	2	0	0	991
24	8	0	0	36	0	2	1	19
25	2	0	0	355	2	0	0	622
26	3	2	0	108	1	2	0	14
27	1	1	0	529	2	0	0	867
28	0	2	1	42	4	1	0	33
29	2	0	0	618	2	0	0	1735
Toplam	116	40	5	6.010	70	32	5	10.990
	161				107			

3.4. Senaryo-3 (Otobüs Sayısı Serbest, Otobüs Tipi Sabit)

Bu senaryoda otobüs sayıları serbest bırakılmak ve her bir hatta atanacak otobüs tiplerine müdahale edilmek suretiyle model çözülmüştür. Karar vericiler ile yapılan görüşmeler neticesinde herhangi bir aksaklık durumunda seferlerin aksamaması hem de farklı tipte otobüslerle yapılan planlamanın, dolaylı olarak sefer sayısını arttırması nedeniyle yüksek yolcu memnuniyetinin sağlanabileceği belirtilmiş ve bu senaryo oluşturulmuştur. Özellikle geçmiş tecrübelerle dayanarak 1, 2, 6, 12, 15, 16, 17, 19 ve 20 no.lu güzergâhlarda en az iki farklı tipte otobüs planlanması istenmiştir. Bu senaryoda çözüm için otobüs sayısını sınırlandıran (9) numaralı kısıt modelden çıkarılmıştır. Senaryo-3 için minimum otobüs sayısı amacına göre çözüm sonuçları Tablo 9.'da, minimum âtil kapasite amacına göre çözüm sonuçları Tablo 10.'da sunulmuştur.

Tablo 9. Senaryo-3, Minimum Otobüs Sayısı Amacına Göre Çözüm Sonuçları

Güzergâhlar (j)	Hafta içi				Hafta sonu			
	i=1	i=2	i=3	Âtıl Kapasite (idlecapj)	i=1	i=2	i=3	Âtıl Kapasite (idlecapj)
1	6	1	1	20	2	4	0	230
2	6	3	0	6	2	5	0	626
3	1	0	0	54	1	0	0	120
4	4	1	1	420	1	2	0	193

5	2	3	0	31	1	3	0	265
6	3	5	0	538	0	2	2	35
7	0	1	0	144	0	1	0	445
8	3	5	0	104	3	3	0	721
9	1	0	0	265	1	0	0	303
10	2	7	0	353	1	3	0	157
11	0	2	1	862	0	2	0	800
12	5	1	0	44	4	1	0	681
13	2	0	0	74	0	1	0	298
14	2	3	0	482	0	2	1	455
15	1	1	0	708	1	1	0	1054
16	13	6	0	149	4	9	0	512
17	3	2	0	282	1	0	1	399
18	0	2	0	469	0	1	0	137
19	6	2	0	296	1	3	0	86
20	9	1	0	455	1	1	1	287
21	2	2	0	628	0	2	0	879
22	0	1	0	232	1	0	0	274
23	1	0	0	49	1	0	0	295
24	3	3	0	106	1	3	0	145
25	0	1	0	163	0	1	0	430
26	3	1	1	388	1	2	0	14
27	1	1	0	529	0	1	0	611
28	4	0	1	298	1	3	0	241
29	0	1	0	346	1	0	0	749
Toplam	83	56	5	8.495	30	56	5	11.442
	144				91			

Tablo 10. Senaryo-3, Minimum Âtıl Kapasite Amacına Göre Çözüm Sonuçları

Güzergâhlar (j)	Hafta içi				Hafta sonu			
	i=1	i=2	i=3	Âtıl Kapasite (idleca _{ij})	i=1	i=2	i=3	Âtıl Kapasite (idleca _{ij})
1	5	3	0	42	7	1	0	120
2	6	3	0	6	3	4	0	164
3	1	0	0	54	1	0	0	120
4	4	2	0	100	1	2	0	193
5	2	3	0	31	4	1	0	57
6	9	1	0	18	5	2	0	135
7	0	1	0	144	0	1	0	445
8	3	5	0	104	4	2	0	133
9	1	0	0	265	1	0	0	303
10	5	5	0	41	2	1	1	133
11	3	1	0	70	0	0	1	80
12	5	1	0	44	1	1	1	273
13	2	0	0	74	0	1	0	298
14	0	1	2	50	2	2	0	167
15	1	1	0	708	1	1	0	1054
16	16	4	0	20	5	8	0	92
17	1	3	0	138	2	1	0	579
18	3	0	0	105	0	1	0	137
19	5	1	1	80	1	3	0	86
20	3	4	0	23	3	1	0	71

21	3	1	0	82	0	0	1	99
22	0	1	0	232	1	0	0	274
23	1	0	0	49	1	0	0	295
24	8	0	0	36	0	2	1	19
25	0	1	0	163	0	1	0	430
26	3	2	0	108	1	2	0	14
27	0	0	1	241	0	1	0	611
28	0	2	1	42	4	1	0	33
29	0	1	0	346	1	0	0	749
Toplam	90	47	5	3.416	51	40	5	7.164
	142				96			

3.5. Senaryo-4 (Otobüs Sayısı ve Tipi Sabit)

Bu senaryoda otobüs sayısı ile tipi sabit tutularak ve matematiksel model tanımlanırken belirlenen tüm kısıtlar aynı anda kullanılarak model çözülmüştür. Senaryo-4 için minimum otobüs sayısı amacına göre çözüm sonuçları Tablo 11.'de, minimum âtl kapasite amacına göre çözüm sonuçları Tablo 12.'de sunulmuştur.

Tablo 11. Senaryo-4, Minimum Otobüs Sayısı Amacına Göre Çözüm Sonuçları

Güzergâhlar (j)	Hafta içi				Hafta sonu			
	i=1	i=2	i=3	Âtl Kapasite (idlecapj)	i=1	i=2	i=3	Âtl Kapasite (idlecapj)
1	5	3	0	42	2	4	0	230
2	6	3	0	6	2	5	0	626
3	2	0	0	460	2	0	0	526
4	5	0	1	84	1	2	0	193
5	3	0	2	335	1	3	0	265
6	9	1	0	18	0	4	1	635
7	2	0	0	352	2	0	0	653
8	8	1	1	524	0	5	0	1.085
9	2	0	0	961	2	0	0	941
10	2	7	0	353	0	4	0	661
11	2	2	0	574	1	1	0	296
12	4	2	0	548	1	1	1	273
13	2	0	0	74	2	0	0	474
14	0	4	0	290	0	4	0	1.175
15	1	1	0	708	1	1	0	1.054
16	3	12	0	349	1	9	1	172
17	3	2	0	282	2	1	0	579
18	2	1	0	693	2	0	0	361
19	8	1	0	488	1	2	1	486
20	3	4	0	23	1	1	1	287
21	2	2	0	628	1	1	0	333
22	2	0	0	408	2	0	0	970
23	2	0	0	687	2	0	0	991
24	2	4	0	400	1	3	0	145
25	2	0	0	355	2	0	0	622
26	0	4	0	290	1	2	0	14
27	3	0	0	785	2	0	0	867

28	0	2	1	42	1	3	0	241
29	2	0	0	618	2	0	0	1.735
Toplam	87	56	5	11.377	38	56	5	16.890
	148				99			

Tablo 12. Senaryo-4, Minimum Âtıl Kapasite Amacına Göre Çözüm Sonuçları

Güzergâhlar (j)	Hafta içi				Hafta sonu			
	i=1	i=2	i=3	Âtıl Kapasite (idlecapj)	i=1	i=2	i=3	Âtıl Kapasite (idlecapj)
1	6	1	1	20	2	4	0	230
2	6	3	0	6	2	5	0	626
3	2	0	0	460	2	0	0	526
4	4	2	0	100	0	1	1	49
5	2	3	0	31	4	1	0	57
6	9	1	0	18	2	4	0	395
7	2	0	0	352	2	0	0	653
8	5	1	2	48	4	2	0	133
9	2	0	0	961	2	0	0	941
10	5	5	0	41	6	0	0	37
11	3	1	0	70	1	1	0	296
12	5	1	0	44	1	1	1	273
13	2	0	0	74	2	0	0	474
14	5	1	0	170	3	0	1	143
15	1	1	0	708	1	1	0	1054
16	4	11	0	60	5	8	0	92
17	2	1	1	120	1	0	1	399
18	3	0	0	105	2	0	0	361
19	5	1	1	80	1	3	0	86
20	3	4	0	23	3	1	0	71
21	3	1	0	82	1	1	0	333
22	2	0	0	408	2	0	0	970
23	2	0	0	687	2	0	0	991
24	8	0	0	36	0	2	1	19
25	2	0	0	355	2	0	0	622
26	3	2	0	108	1	2	0	14
27	1	1	0	529	2	0	0	867
28	6	0	0	106	4	1	0	33
29	2	0	0	618	2	0	0	1735
Toplam	105	41	5	6.420	62	38	5	12.482
	151				105			

3.6. Model İstatistikleri

Her bir senaryo kapsamında elde edilen model çözüm istatistikleri Tablo 13.'te sunulmuştur. Senaryo analizlerine göre amaç fonksiyonunun değişmesi veya veri setinin hafta içi/hafta sonu olmasına göre kısıt, sürekli ve tamsayı değişken sayısı ile çözüm süresi değişmemektedir. Bu çerçevede model için elde edilen en kısa çözüm süresi 0,016 en uzun çözüm süresi 0,110 saniye olmuştur.

Tablo 13. Model Çözüm İstatistikleri

	Kısıt Sayısı	Sürekli Değişken Sayısı	0-1 Tamsayı Değişken Sayısı	Çözüm Süresi (saniye)
Mevcut Durum	149	204	87	0,016
Senaryo-1	149	204	174	0,032
Senaryo-2	178	204	174	0,110
Senaryo-3	265	204	174	0,110
Senaryo-4	294	204	174	0,110

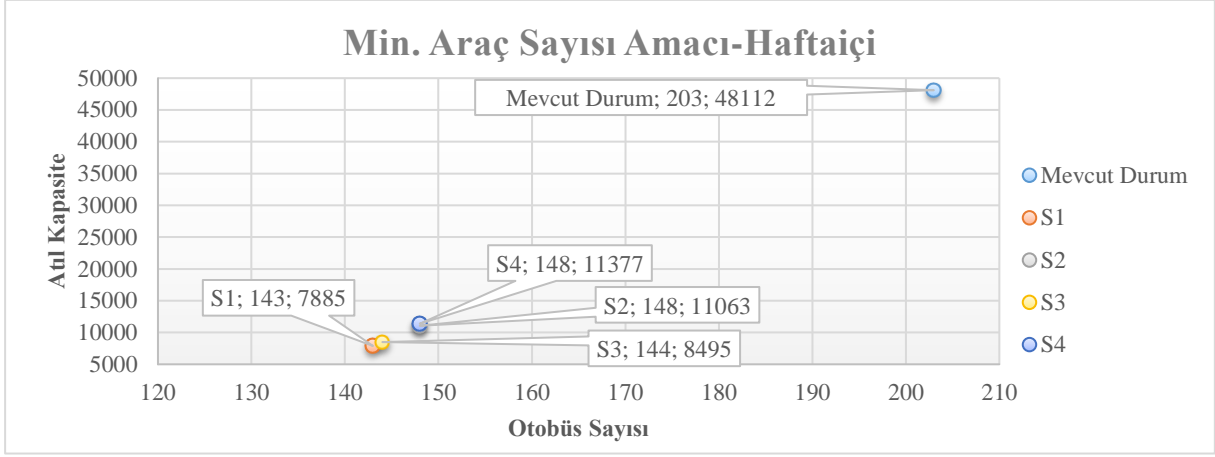
4. ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Senaryo analizleri sonucunda her bir hatta atanan otobüs sayısı ve tipinin yolcu sayısına bağlı olarak otobüs sayısı ve âtil kapasitenin minimize edilmesi amaçlarına göre değişimi ortaya konulmuş ve karar vericilere maliyet faydası sağlanırken, öngörülemeyen durumlar ve yolcu memnuniyetini de göz önüne alacak şekilde karar alternatifleri sunulmuştur. Hafta içi ve hafta sonu günler için yapılacak değerlendirmeler ayrı ayrı çözüm sonuçlarına dahil edilerek çalışma daha da ayrıntılı bir yapıya kavuşturulmuştur. Hafta sonu günler için elde edilen çözüm sonuçlarının diğer özel günler için de kullanılabilmesi değerlendirilmiştir.

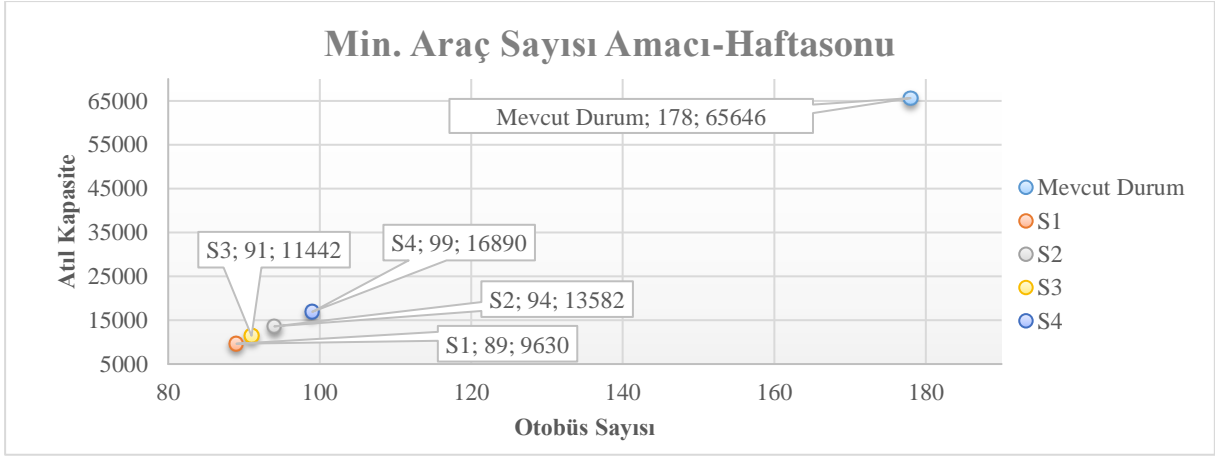
Şekil 1. ve 2.'de minimum araç sayısı amacına göre mevcut durum ve senaryo analizleri karşılaştırması, Şekil 3. ve 4.'te ise minimum âtil kapasite amacına göre mevcut durum ve senaryo analizleri karşılaştırması sunulmuş olup, her bir çözüm için otobüs sayısı x ekseninde, âtil kapasite y ekseninde gösterilmiştir.

Mevcut durumun resmedildiği "Mevcut Toplu Taşıma Sistemi Senaryosu"na bakıldığında hafta içi günlerde toplam 203 araç kullanıldığı ve 48.112 yolculuk âtil kapasite oluştuğu, hafta sonu günlerde toplam ise 178 araç kullanıldığı ve 65.646 yolculuk âtil kapasite oluştuğu, ayrıca 16 no.lu hatta 131 kişinin ise kapasite üstü ayakta taşındığı tespit edilmiştir. Bu senaryodaki âtil kapasiteye bakıldığında, sefer saatlerinin sabit olması nedeniyle yoğun saatler dışındaki seferlerde çok fazla âtil kapasiteye yol açacak fazla sayıda sefer planlandığı belirlenmiştir.

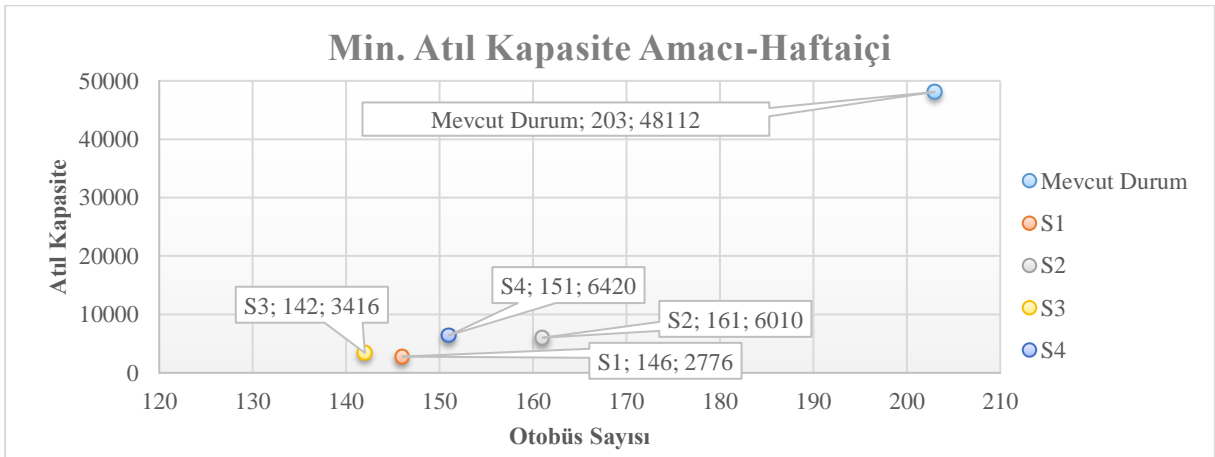
Şekil 1. Hafta içi Minimum Araç Sayısı Mevcut Durum ve Senaryo Analizi Karşılaştırması



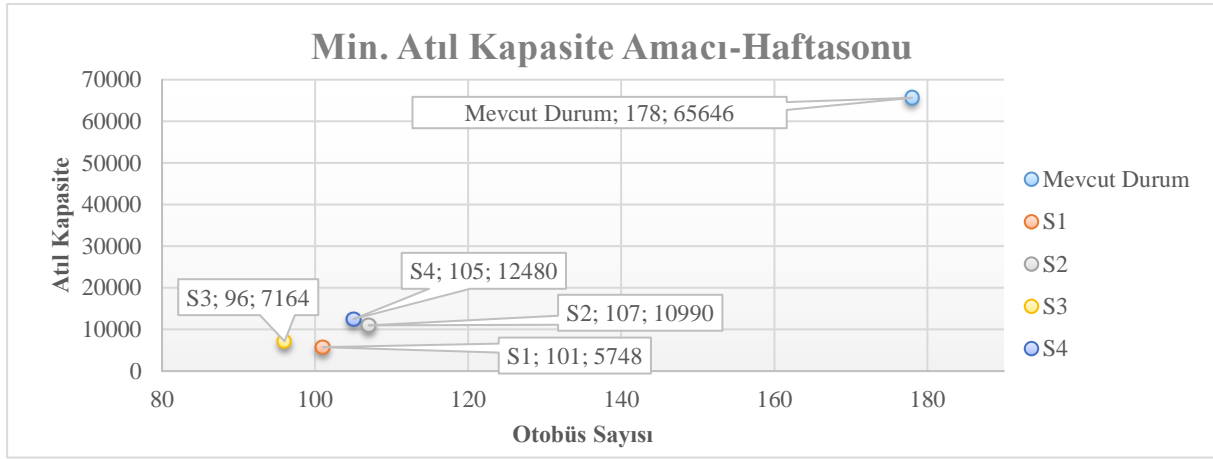
Şekil 2. Hafta Sonu Minimum Araç Sayısı Mevcut Durum ve Senaryo Analizi Karşılaştırması



Şekil 3. Hafta İçi Minimum Atıl Kapasite Sayısı Mevcut Durum ve Senaryo Analizi Karşılaştırması



Şekil 4. Hafta İçi Minimum Âtıl Kapasite Sayısı Mevcut Durum ve Senaryo Analizi Karşılaştırması



Senaryo-1 (Otobüs Sayısı ve Tipi Serbest) çözüm sonuçları incelendiğinde bu senaryonun herhangi bir kötü hal senaryosu gözetilmeden, yolcu sayısına göre optimal çözümün elde edilmesi için otobüs sayı ve tiplerinin model tarafından belirlendiği çözüm olması nedeniyle her iki amaca göre yapılan çözümlerde minimum sonuçları verdiği tespit edilmiştir. Senaryo çözümü kapsamında minimum otobüs sayısı amacına göre ve mevcut duruma kıyasla hafta içi otobüs sayısında % 29,6, âtıl kapasitede % 83,6, hafta sonu otobüs sayısında % 50, âtıl kapasitede % 85,3 azalma elde edilmiştir. Benzer şekilde minimum âtıl kapasite amacına göre ve mevcut duruma kıyasla hafta içi otobüs sayısında % 28,1, âtıl kapasitede % 94,2, hafta sonu otobüs sayısında % 43,3, âtıl kapasitede % 91,2 azalma elde edilmiştir. Bu senaryo kapsamında otobüs sayısı ve tipinde azalma yaşanması nedeniyle sefer sayıları dolayısıyla düşürülecek ve duraklarda bekleme süresini mevcut duruma göre artacaktır. Daha açık bir ifadeyle tüm hatlardaki tüm yolcular için ulaşım sağlanırken, bekleme sürelerinin artmasına bağlı olarak yolcu memnuniyeti azalacaktır.

Senaryo-2 (Otobüs Sayısı Sabit, Otobüs Tipi Serbest) çözüm sonuçları incelendiğinde bu senaryoda, yaşanabilecek olumsuzluklar göz önüne alınarak her bir hatta asgari 2 adet otobüs atanmasına göre optimal çözümün elde edilmesi için otobüs sayı ve tiplerinin model tarafından belirlendiği çözüm elde edilmiştir. Doğal olarak mevcut çözümden iyi fakat Senaryo-1'den kötü sonuçlar elde edilmiştir. Senaryo çözümü kapsamında minimum otobüs sayısı amacına göre ve mevcut duruma kıyasla hafta içi otobüs sayısında % 27,1, âtıl kapasitede % 77, hafta sonu otobüs sayısında % 47,2, âtıl kapasitede % 79,3 azalma elde edilmiştir. Benzer şekilde minimum âtıl kapasite amacına göre ve mevcut duruma kıyasla hafta içi otobüs sayısında % 20,7, âtıl kapasitede % 87,5, hafta sonu otobüs sayısında % 39,9, âtıl kapasitede % 83,3 azalma elde edilmiştir.

Senaryo-3 (Otobüs Sayısı Serbest, Otobüs Tipi Sabit) çözüm sonuçları incelendiğinde bu senaryoda, yaşanabilecek olumsuzluklar göz önüne alınarak karar vericilerin tecrübelerine göre bazı hatlara müdahale edilerek optimal çözümün elde edilmesi için otobüs sayı ve tiplerinin model tarafından

belirlendiği çözüm elde edilmiştir. Bu senaryo karar vericilerin sezgisel ve tecrübeye dayalı kararlarının nicel analizlerle desteklenmesi durumunda sağlayabileceği katkıları göstermesi bakımından önemlidir.

Tecrübelerle bağlı olarak yaşanabilecek olumsuzluklar gözetilirken modelin serbest çalıştığı optimal duruma son derece yakın sonuçlar elde edilmesi bu senaryoyu önemli kılmaktadır. Senaryo çözümü kapsamında minimum otobüs sayısı amacına göre ve mevcut duruma kıyasla hafta içi otobüs sayısında % 29,1, âtil kapasitede % 82,3, hafta sonu otobüs sayısında % 48,9, âtil kapasitede % 82,6 azalma elde edilmiştir. Benzer şekilde minimum âtil kapasite amacına göre ve mevcut duruma kıyasla hafta içi otobüs sayısında % 30, âtil kapasitede % 92,9, hafta sonu otobüs sayısında % 46,1, âtil kapasitede % 89,1 azalma elde edilmiştir.

Senaryo-4 (Otobüs Sayısı ve Tipi Sabit) çözüm sonuçları incelendiğinde bu senaryoda, her bir hatta kullanılan otobüs sayı ve tip sabit tutularak, belirlenen amaca göre minimum çıktının elde edilebileceği sefer sayısı elde edilecek şekilde otobüs sayı ve tiplerinin model tarafından belirlendiği çözüm elde edilmiştir. Bu senaryo kapsamında planlamalarda asgari değişiklik yapılarak maksimum fayda sağlanması amaçlanmıştır. Senaryo çözümü kapsamında minimum otobüs sayısı amacına göre ve mevcut duruma kıyasla hafta içi otobüs sayısında % 27,1, âtil kapasitede % 76,4, hafta sonu otobüs sayısında % 44,4, âtil kapasitede % 74,3 azalma elde edilmiştir. Benzer şekilde minimum âtil kapasite amacına göre ve mevcut duruma kıyasla hafta içi otobüs sayısında % 25,6, âtil kapasitede % 86,7, hafta sonu otobüs sayısında % 41, âtil kapasitede % 81 azalma elde edilmiştir.

Mevcut çözümde elde edilen otobüs sayısı ve âtil kapasite miktarı son derece yüksektir. Elbette ki bu durumun önemli bir nedeni sistemi yöneten yetkililerin ellerinde yeterli veri olması nedeniyle kapsayıcı bir analizin bugüne kadar yapılamamış olmasıdır. Ancak şu da unutulmaması gereken bir gerçektir ki toplu taşıma sisteminin en önemli özelliği bir kamu hizmetinin sunuluyor olmasıdır ve maliyet kaygılarından önce müşteri memnuniyetinin ve şehir yaşamının aksamadan idame ettirilmesinin önemidir. Uzmanlarla yapılan görüşmelerde herhangi bir hatta meydana gelen kaza, arıza vb. durumlarda mümkün olan en kısa süre içerisinde en yakın hareket amirliğinden yedek bir aracın sevk edilmek zorunda olduğu ve hatta İller İdaresi Kanunu kapsamında göreve sevk edilen polis memurlarının nakli, öğrenci gezileri gibi genel bütçeli idarelerin ihtiyaçları için bile belirli bir oranda hemen her gün araç planlandığı öğrenilmiştir. Bu nedenle kamu hizmetlerinin müşteri odaklı yürütülebilmesi tüm kaygıların önündedir.

Daha öncede açıklandığı şekilde yukarıda sıralanan senaryo çözümlerinin tamamı toplu taşıma sistemini işleten karar vericilerin talepleri doğrultusunda oluşturulmuştur. Bir toplu taşıma sisteminde müşteri memnuniyetinin ölçülmesi nicel ve nitel pek çok faktörden etkilenen karmaşık bir problemdir ki odağında insan algıları bulunmaktadır. Bu çalışmada, bu nedenle müşteri memnuniyetinin ölçülmesi konusunda girdi bulunmamaktadır ve bu konu başka çalışmaların konusudur. Bu nedenle verilecek kararlarda Senaryo-2'nin gerçekleştirilecek karşılaştırmalarda referans noktası olması önerilmektedir.

Her ne kadar Senaryo-2 sonucunda elde edilen araç sayısı ve âtil kapasite diğer senaryolara kıyasla maliyet etkin değilse de bu senaryoda otobüs sayı ve seferleri sabit tutularak, sadece hatlara atanan otobüs türlerinin model tarafından belirlenmesine müsaade edilmesi nedeniyle mevcut durakta bekleme sürelerinin aynı kalması sağlanmaktadır. Bu senaryo kapsamında Otobüs sefer süreleri ve durakta bekleme süreleri aynı olduğundan müşteri memnuniyetinin de aynı kalması sağlanmıştır. Aradaki farkta farklı kapasitelerde araçların hatlara atanmasıyla ve otobüslerin kapasitesinin daha etkin kullanılmasıyla sağlanmıştır. Tabii ki bu durumda başka bir çalışmanın konusudur. Çünkü uzmanlarla gerçekleştirilen görüşmelerde toplu taşıma da kullanılan otobüslerin koltuk sayısının yarısı kadar yolcunun da ayakta taşınması esasına göre kapasitelerin belirlendiği, bazı yolcuların ayakta gitmektense veya ayakta sıkışık bir durumda gitmektense bir sonraki seferi beklemeyi tercih edebildiği öğrenilmiştir ki bu da âtil kapasiteyi artırmaktadır. Sonuçta Senaryo-2 çözümünün uygulanması durumunda, durakta beklemeyi esas alan müşteri memnuniyeti sabit kalırken, otobüs doluluk oranlarında mevcut senaryo baz alınarak yapılan hesaplamalarda % 77 ile % 93 arasında değişen bir kapasite kullanım oranı elde edilmiştir. Tabii ki bu durum yoğunluk durumuna göre otobüse binmemeyi tercih eden yolcu olmadığı farz ve kabulüne göre yapılan bir değerlendirmedir. Ayrıca aşağıda gerçek hayat toplu taşıma probleminin doğasına daha uygun olduğu değerlendirilen duyarlılık analizleri sayesinde daha gerçekçi çözümler de elde edilmiştir.

Her ne kadar gerçekleştirilen analizler karar vericilerin talepleri doğrultusunda oluşturulsa da toplu taşıma optimizasyonu için literatürde gerçekleştirilen çalışmalarda bu çalışmada ele alınmayan pek çok farklı bakış açısına göre çözümler üretilmiştir. Bunların bir kısmının duyarlılık analizi kapsamında ele alınmasının çalışmayı zenginleştirileceği değerlendirilmiş ve duyarlılık analizlerine göre elde edilen bulgular aşağıda paylaşılmıştır.

Örneğin karar vericiler tarafından analizlerin hafta içi ve hafta sonu günleri kapsayacak şekilde gruplandırılması talep edilmiş ve senaryo çözümleri bu şekilde oluşturulmuştur. Ancak verilerin incelenmesi neticesinde hafta içi günlerinin birbirine ciddi oranda benzer olduğu ancak cumartesi ve pazar günlerinde toplu taşımanın kullanılmasında önemli sayısal farklılıklar bulunduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle tüm senaryo analizleri hizmet kalitesi aynı tutularak (yani sefer sayıları sabit tutularak) Cumartesi ve Pazar günü için model ayrı ayrı çözülmüş ve karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla eski çözüm sonuçları ile beraber Tablo 14.'te sunulmuştur.

Tablo 14. Cumartesi ve Pazar İçin Model Çözümleri

Taşınan Yolcu Sayısı	Hafta İçi		Hafta Sonu		Cumartesi		Pazar		
	Araç Say.	Atıl Kap.	Araç Say.	Atıl Kap.	Araç Say.	Atıl Kap.	Araç Say.	Atıl Kap.	
Mevcut Durum	203	48.112	178	65.646	198	51.655	178	83.939	
Min. Araç	S1	143	7.885	89	9.630	113	8.871	66	12.341
	S2	148	11.063	94	13.582	120	13.657	80	24.585

	S3	144	8.495	91	11.442	111	7.713	70	13.259
	S4	148	11.377	99	16.890	118	12.667	80	18.979
Min.Atıl Kap.	S1	146	2.776	101	5.748	119	4.537	75	5.277
	S2	161	6.010	107	10.990	125	9.069	90	12.713
	S3	142	3.416	96	7.164	119	5.449	75	6.637
	S4	151	6.420	105	12.480	125	9.559	87	13.991

Karar vericiler tarafından belirlenen hafta sonu gruplandırmasına göre planlama yapılması durumunda Cumartesi günü oluşan talebin karşılanması için güzergâhlarda birer sefer fazladan yapılması veya kapasite üstü yolcu taşınmasının gerektiği, benzer şekilde Pazar günü de büyük oranda gereksiz planlama yapıldığı tespit edilmiştir.

Benzer şekilde çalışmada mevcut sistemin kapasite hesaplama yöntemine sadık kalınarak otobüs tiplerinin kapasiteleri olarak otobüslerin fiziksel kapasiteleri (sırasıyla; 58, 100 ve 140) dikkate alınmıştır fakat uygulamada bu kapasitelerin gerçeği yansıtmadığı ve gerçek hayat toplu taşıma pratiğinde uygulanabilir bir çözüm olmadığı değerlendirilmiştir. Bu nedenle uzmanlarla yapılan görüşmelerde otobüs tiplerinin kapasitelerinin %25 oranında azaltılması durumunda (sırasıyla; 44, 75 ve 105) gerçek durumun daha uygun bir şekilde yansıtılabileceği ve hizmet kalitesi açısından da bu yaklaşımın daha uygun olacağı değerlendirilmiştir. Bu kapsamda minimum araç sayıları ve iyileşme oranlarına göre elde edilen çözüm sonuçları Tablo 15.'te sunulmuştur.

Tablo 15. Otobüs Tiplerinin Kapasitelerinin % 25 Oranında Azaltıldığı Çözüm Sonuçları

		Hafta İçi		Hafta Sonu		Cumartesi		Pazar	
		Araç Say.	İyileşme Oranı	Araç Say.	İyileşme Oranı	Araç Say.	İyileşme Oranı	Araç Say.	İyileşme Oranı
Min.Araç Say.	Mevcut Durum	203	-	178	-	198	-	178	-
	S1	198	2,5%	127	28,7%	161	18,7%	90	49,4%
	S2	201	1,0%	133	25,3%	165	16,7%	95	46,6%
	S3	201	1,0%	125	29,8%	162	18,2%	92	48,3%
	S4	203	0,0%	133	25,3%	166	16,2%	99	44,4%

Mevcut durumda 203 otobüs ile hizmet verilirken, tüm senaryolarda elde edilen sonuçların 142-161 hatta 142-148 arasında değişmesi (Tablo 14) akıllara aynı sayıda araç ile aynı kalitede hizmetin sağlanması mümkün ise mevcut durumda yaklaşık %35 daha fazla otobüs ile hizmet veriliyor olmasının sebebi nedir? sorusunu getirmektedir. Bu çalışmada gerçekleştirilen senaryo analizlerinde sefer sayıları sabit tutulduğundan parkur süresi ve müşteri bekleme süreleri mevcut toplu taşıma sistemi ile aynı olduğundan bu sorunun cevabının (i) kaynakların optimal kullanılmaması ve (ii) senaryo analizlerinde otobüslerin fiziksel kapasitelerinin dikkate alınması olduğu değerlendirilmektedir. Tablo 15'te de açıkça görüldüğü şekilde gerçek hayat toplu taşıma problemine uygun kapasiteler altında senaryoların çalıştırılması durumunda, hafta içi senaryolarında ortalama %2, Cumartesi senaryolarında ortalama % 17,4 ve Pazar senaryolarında ortalama % 47,2 oranında iyileşme sağlanmıştır. Buradan da anlaşılacağı üzere idare tarafından otobüslerin fiziksel kapasitelerine göre değerlendirmeler yapılırsa da gerçek hayat

uygulamasında ayakta giden yolcu sayısı hesaplananın hemen hemen yarısı oranındadır. Bu haliyle hafta içi planlamasında verimlilik sağlanmışken cumartesi ve pazar günleri gereksiz kaynak kullanıldığı aşikârdır.

Son olarak bu çalışmada ele alınan kent içi toplu taşıma araç filosu atama ve boyutlandırma problemi her ne kadar minimum araç sayısı ve minimum âtil kapasite amaçları gözetilerek ve farklı senaryo/duyarlılık analizleri altında çözülsede toplu taşıma hizmetlerinde üzerinde önemle durulması gereken ve maliyet kaleminin en önemli unsurlarından biri olan yakıt tüketiminin de değerlendirmeye alınması son derece önemlidir. Bu kapsamda tüm senaryolarda elde edilen sonuçların yakıt tüketimi açısından mevcut durum ile karşılaştırılmasının faydalı olacağı değerlendirilmiş ve 1'inci, 2'nci ve 3'üncü tip otobüsler için sırasıyla 25lt./100 km., 50 lt./100 km. ve 75 lt./100 km. ortalama yakıt tüketimi üzerinden hesaplamalar yapılarak Tablo 16.'da sunulmuştur.

Tablo 16. Senaryo Çözümleri ile Elde Edilen Yakıt Tüketimi İyileşmeleri

		Hafta İçi		Hafta Sonu		Cumartesi		Pazar	
		Yak.Tük. (bin lt.)	İyi. Oranı	Yak.Tük. (bin lt.)	İyi. Oranı	Yak.Tük. (bin lt.)	İyi. Oranı	Yak.Tük. (bin lt.)	İyi. Oranı
Mevcut Durum		41,71	-	36,69	-	39,32	-	36,69	-
Min.Araç. Sav.	S1	32,01	23,3%	23,39	36,2%	26,86	31,7%	19,55	46,7%
	S2	32,69	21,6%	24,38	33,6%	28,07	28,6%	22,34	39,1%
	S3	32,15	22,9%	23,85	35,0%	26,64	32,2%	19,97	45,6%
	S4	32,28	22,6%	25,28	31,1%	27,48	30,1%	21,05	42,6%

Tablo 16'ya göre yakıt tüketimlerinde hafta içi senaryolarında ortalama %22,6, Cumartesi senaryolarında ortalama %30,7 ve Pazar senaryolarında ortalama %43,5 oranında iyileşme sağlanabilmektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, son yıllarda hızlı bir büyüme eğilimi gösteren Erzurum ilindeki, mevcut kent içi toplu taşıma sistemindeki taşıtların kapasitelerinin etkin kullanımı ve toplu taşımadaki taşıt sayısı ve tipini optimize edecek bir araştırma ortaya konulmuştur. Bu sayede geliştirilen matematiksel model ile kent içi toplu taşıma sisteminin performansı iyileştirilerek toplu taşımaya olan talebin artırılması, kent içindeki trafik yükünün hafifletilmesi ve toplu taşımadan kaynaklı çevresel sorunlar ile harcanan kamu kaynaklarının azaltılması hedeflenmiştir. Senaryo çözümlerinin tamamında mevcut duruma kıyasla otobüs sayısında asgari %20,7'lik ve âtil kapasitede %74,3'lük bir azalma elde edilebildiği tespit edilmiştir.

Çalışmanın sonucunda karar vericilerin talepleri doğrultusunda oluşturulan senaryolara ilave olarak literatürde gerçek hayat kent içi toplu taşıma problemlerinde ele alınan bazı problemler duyarlılık analizi kapsamında incelenmiştir. Bu kapsamda (i) hafta sonu gruplandırmasına göre planlama yapılması durumunda Cumartesi günü oluşan talebin karşılanması için güzergahlarda birer sefer

fazladan yapılması veya kapasite üstü yolcu taşınmasının gerektiği, benzer şekilde Pazar günü de büyük oranda gereksiz planlama yapıldığı, (ii) otobüslerin fiziksel kapasitelerinin %25 oranında azaltılması yoluyla hafta içi senaryolarında ortalama %2, Cumartesi senaryolarında ortalama % 17,4 ve Pazar senaryolarında ortalama % 47,2 oranında iyileşme sağlanabildiği, bu yönüyle hafta içi planlamasında verimlilik sağlandığı ancak Cumartesi ve Pazar günleri gereksiz kaynak kullanıldığı, (iii) Yakıt tüketimlerinde hafta içi senaryolarında ortalama %22,6, Cumartesi senaryolarında ortalama %30,7 ve Pazar senaryolarında ortalama %43,5 oranında iyileşme sağlanabildiği tespit edilmiştir.

Yapılan literatür araştırması sonucunda; (a) bu çalışma ele alınan gerçek hayat kentiçi toplu taşıma araç atama ve filo boyutlandırma problemi için hizmet veren otobüs sayıları ile âtil kapasitenin minimizasyonunun amaçlandığı, (b) kullanım yoğunluğunun göz önüne alınabilmesi için hafta içi ve hafta sonu kullanımlarının dikkate alındığı (c) Erzurum ili için genelde kentiçi toplu taşıma sistemi, özelde araç atama ve filo boyutlandırma problemi kapsamında nicel araştırma yöntemlerinin kullanıldığı başkaca bir araştırma tespit edilememiş olması, (ç) bu çalışmada geliştirilen karışık tamsayılı matematiksel modelin karar vericilerin her bir güzergah için belirleyeceği farklı kısıtlar ile otobüs tip ve sayılarında yaşanabilecek değişikliklere göre süratle adapte edilebilecek esnekliğe sahip olması, (d) farklı lokasyonların verileriyle de geliştirilen modelin çözüm sunabilmesi, çalışmanın önemini ortaya koyması bakımından kıymetli değerlendirilmektedir.

Senaryo çözümlerine göre; (a) mevcut çözüme kıyasla gerek otobüs sayısının, gerek âtil kapasitenin ciddi oranda azaltılabileceği, (b) kullanılan otobüs tipinin değiştirilmesinin çözüm sonuçlarını doğrudan etkilediği, (c) karar vericilerin uzun yıllardır yönettikleri sisteme dair tecrübeleri ve ham verilerin, nicel karar analizlerinde kullanılması durumunda önemli performans artışları sağlanabileceği, (ç) kamu yararı güdülen kentiçi toplu taşıma sisteminin analiz süreçlerinde kötü hal senaryoların da göz önüne alınması gerektiği ve bu durumlara göre de optimal sonuçlara yakın sonuçlar elde edilebileceği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Her çalışmada olduğu gibi bu çalışmanın da belirli sınırlılıkları bulunmaktadır. Erzurum ilinde her bir hatta görevlendirilen otobüslerin günlük yolcu sayılarının kayıt altına alındığı bir sistem bulunmasına rağmen bu hatlardaki duraklarda inen/binen yolcu sayılarının ve inme/binme zamanlarının tespit edilebileceği teknolojik bir altyapı bulunmamaktadır. Bu verinin eksikliği nedeniyle yolcuların her bir durakta inme/binme zamanı ve sayısına göre zaman pencereli bir model önerilememiştir. Benzer şekilde bu verinin eksikliği nedeniyle gün içerisindeki pik/durağan zamanlar için çalışma genişletilememiştir. Bu nedenle de yolcuların durakta bekleme süreleri asgari düzeye indirecek şekilde bir çizelgeleme yapılamamıştır. Aynı zamanda otobüslerin veya hatların ilgili senaryo sonuçlara göre ortalama doluluk oranları ve hizmet düzeyleri ile ilgili bekleme sürelerinin artması müşteri hizmet ve kalite düzeyine olumsuz etkisi olacağı aşikardır. Bu nedenle teknolojik altyapı imkanlarının

geliştirilmesi ve her olası durumun geliştirilecek modellere aktarılması yoluyla gerçekleştirilecek bir ağ tasarımı modeliyle tüm toplu taşıma ağı boyunca ihtiyaç duyulan analizler gerçekleştirilebilecektir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda: (a) Teknolojik altyapının iyileştirilmesine bağlı olarak gün içerisindeki tüm seferler ile her türlü özel gün için durak bazında net yoğunluk bilgisine göre ve gün içerisindeki yolcu talebindeki dalgalanmalara göre zaman pencereli bir model geliştirilebilir. (b) Âtıl kapasitenin tam olarak ortaya konulabilmesi amacıyla başlangıç-varış durakları ile aktarmaları da kapsayacak şekilde model genişletilebilir. (c) Sefer sıklığı, toplam seyahat süresi, aktarma sayısı, duraklarda yaşanacak beklemler, ücretlendirmeler gibi parametre/değişkenlerin yolcu davranış ve seçimleri üzerine etkisi ortaya konulabilir. (ç) Bu çalışmada geliştirilen model ve varsayımlar benzer özelliklere sahip farklı lokasyonlarda kullanılarak karşılaştırmalı bir çalışma yapılabilir. (d) Kentiçi toplu taşıma konusunda farklı ulaştırma modlarının (metro, tramvay, vapur vb.) bulunduğu iller için araç atama ve filo boyutlandırma problemi tüm mevcut ulaştırma modları hat ve kapasitelerinin bütünlük değerlendirilmesi yoluyla genişletilebilir. (e) Mevcut kentiçi toplu taşıma sistemlerinin kısa vadede iyileştirilmesi ile yeni yatırım projelerinin fizibilitesi topyekûn ele alınabilir.

KAYNAKÇA

- Akad, M. ve Gedizlioğlu, E. (2011). Toplu Taşıma Türü Seçiminde Simülasyon Destekli Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı. *İTÜDERGİSİ/d*, 6(1), 88-98.
- Akı, M. (2012). *Kentsel Toplu Taşıma Kapsamında Metrobüs Sisteminin Yaya Erişilebilirliğinin Değerlendirilmesi: İstanbul Örneği*, (Yayımlanmamış Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akman, G. ve Alkan, A. (2016). İzmit Kent İçi Ulaşımında Alternatif Toplu Taşıma Sistemlerinin Aksiyomlarla Tasarım Yöntemi ile Değerlendirilmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(1), 54-63.
- Akyüz, E. (2015). The Solutions To Traffic Congestion in Istanbul. *J. Acad. Soc. Sci*, 3, 442449.
- Altuntaş, C., Sargut, Z. ve Tulazoğlu, D.Ç. (2016). Toplu Taşımada Hatlara Optimum Araç ve Şoför Atama Karar Destek Sistemi. *XVIII. Akademik Bilişim Konferansı*, (pp. 146154), 30 Ocak-5 Şubat 2016, Adnan Menderes Üniversitesi, Didim.
- Atan, M. ve Şimşek, P. (2017). Doğrusal Programlama ile Araç Atama Probleminin Çözümlemesi. *Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 4(11), 339-358.
- Ayataç, H. (2016). Kentsel Ulaşım Planlaması ve İstanbul. *İTÜ Vakfı Dergisi*, 71, 31-35.
- Bakioğlu, G. ve Gökaşar, I. (2018). İstanbul İli İçin Toplu Taşıma Sistemlerinin İncelenmesi: Ulaşım Bağlantısı mı Şehir İçi Trafik Çözümleri mi Hedeflenmeli? (pp. 550-556). *Transist 11. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı*, 8-10 Kasım 2018, İstanbul.
- Balac, M., Hörll, S. ve Axhausen, K. W. (2020). Fleet Sizing for Pooled (automated) Vehicle Fleets. *Transportation Research Record*, 2674(9), 168-176.
- Boyer, V., Ibarra-Rojas, O. J. ve Ríos-Solis, Y. Á. (2018). Vehicle And Crew Scheduling For Flexible Bus Transportation Systems. *Transportation Research Part B: Methodological*, 112, 216-229.

- Ceylan, H. ve Özcan, T. (2018). Otobüs Ağlarındaki Sefer Sıklıklarının Armoni Araştırması Algoritması ile Optimizasyonu: Mandl Test Ağı Üzerine Bir Uygulama. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(6), 1107-1116.
- Ercan, T., Onat, N. C. ve Tatari, O. (2016). Investigating Carbon Footprint Reduction Potential Of Public Transportation in United States: A System Dynamics Approach. *Journal of Cleaner Production*, 133, 1260-1276.
- Gkiotsalitis, K., Wu, Z. ve Cats, O. (2019). A Cost-Minimization Model For Bus Fleet Allocation Featuring The Tactical Generation Of Short-Turning And Interlining Options. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 98, 14-36.
- Ibarra-Rojas, O. J., López-Irarragorri, F. ve Rios-Solis, Y. A. (2016). Multiperiod Bus Timetabling. *Transportation Science*, 50(3), 805-822.
- Karaca, S. ve Güler, H. (2017). Toplu Taşıma Sisteminin Verimliliğinin Artırılmasına Yönelik Optimizasyon Çalışmaları: Sakarya İli İçin Örnek Bir Uygulama. *5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, 29-30 September 2017, ISITES2017, Baku-Azerbaijan.
- Karaman, F. ve Ilıcalı, M. (2020). Toplu Taşıma Hizmetlerindeki Ücretlendirme Sistemleri Değerlendirilerek, İstanbul İçin En Uygun Olanın Seçilmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 2(2), 69-82.
- Liu, X., Li, F., Jiang, S. ve Wan, H. (2017, July). Bus Scheduling Method Based On Image Texture And Color Analysis. *13th International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (ICNC-FSKD)* (pp. 2280-2284). IEEE.
- Murat, Y.Ş., Kutluhan, S. ve Uludağ, N., (2014). Use of Fuzzy Optimization and Linear Goal Programming Approaches in Urban Bus Lines Organization, *Soft Computing in Industrial Applications*. Springer, 223, 277-287.
- Murat, Y.S. ve Demirkollu, M., (2017). Determination of an Ideal Frequency of Daily Bus Trips with Goal Programming Method. *First International Turkish World Engineering and Science Congress*, 7-10 December, Antalya, Turkey, 18- 20.
- Ocak, İ. ve Manisalı, E. (2006). Kentsel Raylı Taşıma Üzerine Bir İnceleme (İstanbul Örneği). *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 51-59.
- Özcan, T. (2018). *Kentiçi Toplu Taşıma Sistemlerinde Sefer Sıklığı Optimizasyonu*, (Yayımlanmamış Yüksek lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Öztop, H. (2016). *Vehicle and Crew Scheduling Problem in Public Bus Transportation*, (Yayımlanmamış Yüksek lisans Tezi). Yaşar Üniversitesi, İzmir.
- Öztürk, Z. (2018). İstanbul'da Karayolu Yolcu Taşımacılığında Elektrikli Araç Kullanımının İncelenmesi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 5(2), 367-386.
- Saraçoğlu, B. (2012). *Toplu Taşıma Sistemlerinin Entegrasyonunda Aktarma Merkezleri: İstanbul Tarihi Kıyı Bölgeleri Örneği*, (Yayımlanmamış Yüksek lisans Tezi). Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Seval, M. T., Ervüz, M. ve Miman, M. (2019). Tam Sayılı Doğrusal Programlama ile Araç Atama Planlanması ve Bir Uygulama. *ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 1(1), 48-54.
- Sevim, İ., Moğulkoç Tekiner., H, Güler, G, M. ve Mutlu, P,Z. (2016). Automated Vehicle Scheduling System: A Case Study of Metrobus System. *Sigma J Eng & Nat Sci* 7 (1), 1-7.

- Sevim, B. (2017). Ölü Kilometre Optimizasyonu Üzerine Bir Çalışma: İstanbul Metrobüs Sistemi Örneği, (Yayımlanmamış Yüksek lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Shehadeh, K. S., Wang, H. ve Zhang, P. (2021). Fleet Sizing and Allocation for On-demand Last-Mile *Transportation Systems*. arXiv preprint arXiv:2107.12523, <https://arxiv.org/abs/2107.12523>.
- Škurić, M., Maraš, V., Davidović, T. ve Radonjić, A. (2020). Optimal Allocating And Sizing Of Passenger Ferry Fleet in Maritime Transport. *Research in Transportation Economics*, 100868. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2020.100868>.
- Şeyda, G. Ü. R., Hamurcu, M. ve Tamer, EREN. (2017). Ankara'da Monoray Projelerinin Analitik Hiyerarşi Prosesi ve 0-1 Hedef Programlama Yöntemleri ile Seçimi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4), 437-443.
- Tekin, S., Köfteci, S., Aydın, M.M. ve Yıldırım, M.S. (2018). Trip Optimization For Public Transportation Systems With Linear Goal Programming (LGP) Method. *Sigma: Journal of Engineering & Natural Sciences*, 36(4), 921-933.
- Tirachini, A., Hensher, D.A. ve Rose, J. M. (2013). Crowding in Public Transport Systems: Effects On Users, Operation and Implications For The Estimation Of Demand. *Transportation research part A: policy and practice*, 53, 36-52.
- Topaloglu, H. ve Powell, W. B. (2004). Sensitivity Analysis of a Dynamic Vehicle Allocation Policy Using Approximate Dynamic Programming and Applications to Fleet Sizing. *TRISTAN V: The Fifth Triennial Symposium on Transportation Analysis*. 13-18 Haziran 2004, Guadeloupe, French West Indies.
- Tsitsokas, D., Saeedmanesh, M., Kouvelas, A. ve Geroliminis, N. (2018). Optimal Allocation of Designated Bus Lanes in Multi-Modal Urban Networks. *18th Swiss Transport Research Conference (STRC 2018)*, 16-18 Mayıs 2018, Monte Verità, Ascona, Switzerland.
- Uludağ, N. (2010). *Bulanık Optimizasyon ve Doğrusal Hedef Programlama Yaklaşımları ile Otobüs Hatlarının Modellenmesi*, (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Yıldız, H. (2019). *Metrobüs Hat Optimizasyonu*, (Yayımlanmamış Yüksek lisans Tezi). Beykent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zahrani, H. K., Nadimi-Shahraki, M. H., ve Sayarshad, H. R. (2021). An Intelligent Social-Based Method For Rail-Car Fleet Sizing Problem. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 17, 100231.