

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTATİSTİK VE BİLGİSAYAR BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

TOPLU TAŞIMA SİSTEMLERİ İÇİN DOĞRUSAL OPTİMİZASYON YAKLAŞIMLARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Beyzanur SİYAH

OCAK 2023  
TRABZON



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İSTATİSTİK VE BİLGİSAYAR BİLİMLERİ ANABİLİM DALI**

**TOPLU TAŞIMA SİSTEMLERİ İÇİN DOĞRUSAL OPTİMİZASYON YAKLAŞIMLARI**

**Beyzanur SİYAH**

**ORCID : - - -**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**  
**"YÜKSEK LİSANS (İSTATİSTİK)"**  
**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 / 12 / 2022**

**Tezin Savunma Tarihi : 09 / 01 / 2023**

**Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Tolga BERBER**  
**ORCID : - - -**

**Trabzon 2023**

## ÖNSÖZ

“Toplu Taşıma Sistemleri için Doğrusal Optimizasyon Yaklaşımları” isimli bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı’nda hazırlanmıştır.

Başta tez çalışma süresince hiçbir desteğini esirgemeyen, her türlü konuda bana hem bilimsel hem manevi yardımcı olan, değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Tolga BERBER’e, lisans eğitiminden bu yana bana her zaman yardımcı olan bölüm hocalarıma, tez çalışmam süresince görüş ve önerilerinden yararlandığım, her koşulda bana yardımcı olan değerli hocam Arş. Gör. Dr. Serkan AKBAŞ’a, tez çalışmamı gerçekleştirmemde büyük yardımları olan arkadaşlarım İsmail Hakkı ŞENGÜL’e, Ercan ÖZTÜRK’e ve Yusuf ALBAYRAK’a teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak bugünlere gelmemde büyük katkısı olan, beni en zor anlarımda daima destekleyen, her başarımda yanımda olan aileme ve bugünlerimin mimarı olan hem öğretmenim hem babam Adnan SİYAH’a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasının, bundan sonraki çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Beyzanur SİYAH

Trabzon 2022

## **TEZ ETİK BEYANNAMESİ**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Toplu Taşıma Sistemleri için Optimizasyon Yaklaşımları” başlıklı çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Tolga BERBER’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 09/01/2023

Beyzanur SİYAH

## İÇİNDEKİLER

|                                                                    | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|--------------------------------------------------------------------|------------------------|
| ÖNSÖZ .....                                                        | III                    |
| TEZ ETİK BEYANNAMESİ .....                                         | IV                     |
| İÇİNDEKİLER .....                                                  | V                      |
| ÖZET .....                                                         | VII                    |
| SUMMARY .....                                                      | VIII                   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                               | IX                     |
| TABLolar DİZİNİ .....                                              | X                      |
| SEMBOLLER DİZİNİ.....                                              | XI                     |
| 1. GENEL BİLGİLER .....                                            | 1                      |
| 1.1. Giriş.....                                                    | 1                      |
| 1.2. Tezin Amacı ve Yapısı.....                                    | 2                      |
| 1.3. Toplu Taşıma Sistemleri .....                                 | 2                      |
| 1.3.1. Ulaşım Planlaması.....                                      | 3                      |
| 1.4. Çok Kriterli Karar Verme .....                                | 4                      |
| 1.4.1. Hedef Programlama Tanımı.....                               | 5                      |
| 1.4.2. Hedef Programlamanın Tarihsel Gelişimi .....                | 5                      |
| 1.4.3. Hedef Programlamanın Yapısı.....                            | 6                      |
| 1.4.4. Hedef Programlamanın Uygulama Alanları .....                | 7                      |
| 1.4.5. Hedef Programlamanın Matematiksel Yapısı .....              | 7                      |
| 1.4.6. Doğrusal Hedef Programlamaya İlişkin Çözüm Teknikleri ..... | 10                     |
| 1.4.6.1. Grafik Tekniği.....                                       | 10                     |
| 1.4.6.2. Sıralı Hedef Programlama Tekniği .....                    | 10                     |
| 1.4.6.3. Çok Aşamalı Simpleks Tekniği .....                        | 11                     |
| 1.4.7. Tamsayılı DHP Çözüm Teknikleri .....                        | 12                     |
| 1.4.7.1. Dal ve Sınır Tekniği.....                                 | 12                     |
| 1.4.7.2. Gomory'nin Düzlem Kesme Tekniği.....                      | 13                     |
| 1.5. Literatürde Yapılan Çalışmalar .....                          | 14                     |
| 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....                                        | 18                     |
| 2.1. Problemin Tanım.....                                          | 18                     |

|          |                                                   |    |
|----------|---------------------------------------------------|----|
| 2.2.     | Veri Toplama .....                                | 23 |
| 2.3.     | Model Oluşturma .....                             | 25 |
| 2.4.     | Modele İlişkin Varsayımlar .....                  | 26 |
| 2.5.     | Karar Değişkenlerinin Oluşturulması .....         | 26 |
| 2.6.     | Sistem Kısıtlarının Belirlenmesi .....            | 27 |
| 2.7.     | Hedef Kısıtlarının Belirlenmesi .....             | 28 |
| 2.8.     | Başarı Fonksiyonlarının Oluşturulması .....       | 29 |
| 2.9.     | Amaç Fonksiyonunun Oluşturulması.....             | 29 |
| 3.       | BULGULAR VE İRDELEME .....                        | 30 |
| 3.1.     | Birinci Model Sonuçlarının Değerlendirilmesi..... | 30 |
| 3.2.     | İkinci Model Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....  | 32 |
| 4.       | SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....                         | 34 |
| 5.       | KAYNAKLAR .....                                   | 36 |
| 6.       | EKLER.....                                        | 40 |
| ÖZGEÇMİş |                                                   |    |

Yüksek Lisans Tezi

## ÖZET

### TOPLU TAŞIMA SİSTEMLERİ İÇİN DOĞRUSAL OPTİMİZASYON YAKLAŞIMLARI

Beyzanur SİYAH

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı  
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Tolga BERBER  
2023, 56 Sayfa, 16 Sayfa Ek

Günümüzde sürekli artan nüfus kentiçi ulaşım için önemli bir sorundur. Bu sorunlar için en iyi çözüm seçeneği toplu taşımacılık sistemleridir. Genel olarak ulaşım sektöründe bir işletmenin amacı, zaman ve maliyet değerlerini en aza indirerek işletmenin karını en yüksek seviyede tutmaktır aynı zamanda halkın taleplerini karşılayacak şekilde uygun çözümlere de sahip olmaktır. Bu tez kapsamında, Trabzon ilindeki kent içi otobüs taşımacılığındaki sefer sayıları, Covid-19 döneminde yolcular için daha iyi ve daha güvenli bir hizmetin olması amacıyla iyileştirilmesi için modeller önerilmiştir. Bu çalışma kapsamında Trabzon ilinde Beşirli durağından seferlerine başlayan dört otobüs hattı incelenmiştir. Hatlara ait yolcu sayıları, sefer süreleri, toplam araç sayısı ve araçların kapasiteleri kullanılarak Doğrusal Hedef Programlama yöntemi ile modeller oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar mevcut durum ile kıyaslanarak değerlendirilmiştir. Tez kapsamında, Covid-19'un yaygın olduğu bir dönem olan Mart 2021-Nisan 2021 tarihlerindeki veriler kullanılmıştır. Sabah (07:00-09:00) saatlerinde her bir otobüs hattının geçtiği her bir duraktan inen ve binen yolcu sayılarının belirlenmesi için bir aylık sayım yapılmış, elde edilen veriler ile taşınan günlük ortalama yolcu sayıları hesaplanarak sistem kısıtları elde edilerek model oluşturulmuştur. Modellerin analizi sonucu mevcut sefer sayılarında ciddi oranda azalmalar olmuştur. Bu durum Covid-19 döneminde sağlık açısından oldukça önemli olmasının yanında gereksiz maliyet ve zaman kaybını da önleyecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Doğrusal Hedef Programlama, Toplu taşımacılık, Sefer sayısı

Master Thesis

SUMMARY

LINEAR OPTIMIZATION APPROACHES FOR PUBLIC TRANSPORTATION  
SYSTEMS

Beyzanur SİYAH

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Statistics and Computer Sciences Graduate Program  
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Tolga BERBER  
2023, 56 Pages, 16 Pages Appendix

Today, the rapid-increasing population is an important problem for urban transportation. One of the acceptable solutions of this issue is developing public transportation systems. Ultimate goal of a public transportation system is answering public demands while maximizing profit and minimizing costs and time. Within the scope of this thesis, four models have been proposed to improve the number of trips in urban bus transportation in Trabzon city to provide a better and safer service for passengers during the Covid-19 period. Hence, four bus lines starting from Beşirli stop in Trabzon province were examined. The models were created by the Linear Goal Programming method by using the number of passengers, voyage times, total number of vehicles and capacities of the lines. Results of the models were evaluated by comparing them with the actual values. The data used in this study is collected between March 2021 and April 2021 period at which Covid-19 epidemic reaches peak levels. Since passengers are using these lines at morning hours (i.e. 07:00-09:00), passenger load of these lines were obtained by manual counting of passengers in one month period. According to the results of the models, there has been a serious decrease in the number of trips. Hence it is shown that mathematical approaches could help to reduce costs in public transportation even at emergency periods like Covid-19 epidemic.

**Key Words:** Linear Goal Programming, Public transportation, Number of trip

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                          | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|----------------------------------------------------------|------------------------|
| Şekil 1. Hatlara ait başlangıç ve bitiş noktaları.....   | 19                     |
| Şekil 2. Beşirli-Tıp gidiş güzergâhı .....               | 19                     |
| Şekil 3. Beşirli-Tıp dönüş güzergâhı.....                | 20                     |
| Şekil 4. Tüm hatlara ait gidiş güzergâhları grafiği..... | 22                     |
| Şekil 5. Tüm hatlara ait dönüş güzergâhları grafiği..... | 22                     |
| Şekil 6. Birinci modelin WinQSB sonucu .....             | 30                     |
| Şekil 7. Birinci modelin OR-Tools sonucu .....           | 31                     |
| Şekil 8. İkinci modelin WinQSB sonucu .....              | 32                     |
| Şekil 9. İkinci modelin OR-Tools sonucu.....             | 33                     |
| Şekil 10. Beşirli-Fatih-Tıp gidiş güzergâhı .....        | 49                     |
| Şekil 11. Beşirli-KTÜ gidiş güzergâhı.....               | 50                     |
| Şekil 12. Beşirli-Kaşüstü gidiş güzergâhı .....          | 51                     |
| Şekil 13. Beşirli-Fatih-Tıp dönüş güzergâhı .....        | 53                     |
| Şekil 14. Beşirli-KTÜ dönüş güzergâhı .....              | 54                     |
| Şekil 15. Beşirli-Kaşüstü dönüş güzergâhı .....          | 55                     |

## TABLÖLAR DİZİNİ

|                                                                       | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Tablo 1. Model varsayımları .....                                     | 2                      |
| Tablo 2. Hedef programlama modeli temel kavramları .....              | 6                      |
| Tablo 3. Hedef kısıt türleri ve sapma değişkenlerinin anlamları ..... | 8                      |
| Tablo 4. Tanımlayıcı başlangıç tablosu.....                           | 11                     |
| Tablo 5. Hatlara ait kodlar ve isimler.....                           | 18                     |
| Tablo 6. Beşirli-Tıp gidiş yönündeki duraklar .....                   | 19                     |
| Tablo 7. Beşirli-Tıp dönüş yönündeki duraklar .....                   | 21                     |
| Tablo 8. Sayımın günlere dağılımı.....                                | 23                     |
| Tablo 9. Örnek veri seti.....                                         | 24                     |
| Tablo 10. Hatlara ait sefer süreleri .....                            | 25                     |
| Tablo 11. Otobüs hatlarına ait kapasite bilgileri .....               | 25                     |
| Tablo 12. Model Varsayımları .....                                    | 26                     |
| Tablo 13. Karar Değişkenleri .....                                    | 27                     |
| Tablo 14. Bazı karar değişkenleri ve anlamları.....                   | 27                     |
| Tablo 15. Model sonuçları .....                                       | 34                     |
| Tablo 16. Beşirli-Fatih-Tıp gidiş yönündeki duraklar .....            | 49                     |
| Tablo 17. Beşirli-KTÜ gidiş yönündeki duraklar .....                  | 50                     |
| Tablo 18. Beşirli-Kaşüstü gidiş yönündeki duraklar.....               | 51                     |
| Tablo 19. Beşirli-Fatih-Tıp dönüş yönündeki duraklar.....             | 53                     |
| Tablo 20. Beşirli-KTÜ dönüş yönündeki duraklar.....                   | 54                     |
| Tablo 21. Beşirli-Kaşüstü dönüş yönündeki duraklar .....              | 55                     |

## SEMBOLLER DİZİNİ

|      |                                                                 |
|------|-----------------------------------------------------------------|
| AAO  | : Armoni Araştırması Optimizasyonu                              |
| AB   | : Ampirik Bağntı                                                |
| AHP  | : Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process)        |
| AKO  | : Arı Koloni Optimizasyonu                                      |
| BO   | : Bulanık Optimizasyon                                          |
| BT   | : Benzetimli Tavlama                                            |
| DHP  | : Doğrusal Hedef Programlama                                    |
| DOP  | : Doğrusal Olmayan Programlama                                  |
| DP   | : Doğrusal Programlama                                          |
| EBT  | : Evrimsel Benzetimli Tavlama                                   |
| GA   | : Genetik Algoritma                                             |
| HP   | : Hedef Programlama                                             |
| ITS  | : Akıllı Ulaşım Sistemleri (Intelligent Transportation Systems) |
| KDP  | : Klasik Doğrusal Programlama                                   |
| KKO  | : Karınca Koloni Optimizasyonu                                  |
| SO   | : Stokastik Optimizasyon                                        |
| TA   | : Tabu Arama                                                    |
| TBB  | : Trabzon Büyükşehir Belediyesi                                 |
| TDHP | : Tamsayılı Doğrusal Hedef Programlama                          |
| TDP  | : Tamsayılı Doğrusal Programlama                                |
| TP   | : Tamsayılı Programlama                                         |

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Günümüzde ulaşım, insanlığın en temel ihtiyaçlarından biridir ve ulaşım bir hizmet sektörü olduğu için kentsel yaşamda önemli bir yer edinmiştir. Bir ülkede ulaşım, altyapısını en iyi şekilde kullanan, hizmet kalitesi yüksek, erişilebilirliği kolay, güvenilir ve çevreye duyarlı bir sistemde geliştirilmelidir (Uludağ, 2010). Ulaşım geliştirmekte olan ülkelere kent içi yaşam için büyük sorunlardan biri haline gelmiştir. Nüfusun ve kentleşmenin artması, kent içi ulaşım sistemlerinin zamanla yetersiz hale gelmesine, özel araç kullanımının artmasına ve bunun sonucunda toplu taşıma talebinin düşmesine neden olmaktadır. Tüm bu sorunlar trafik tıkanıklığı, hava kirliliği ve kaza oranlarında artışa sebep olabilmektedir.

Toplu taşımacılık sistemleri, bu ulaşım sorunları için en büyük çözüm kaynağı olmakla birlikte çevre ve trafik üzerindeki olumsuz etkilerin önlenmesi açısından da oldukça önemlidir (Akbulut, 2016; Uludağ, 2010). Özellikle havanın kirlenmesini önlemek için toplu taşımacılık sistemleri dikkate alınmalıdır ve kullanımının artırılması gerekmektedir.

Günümüzde çeşitli ulaşım şekilleri vardır ve bu ulaşım şekillerine göre birçok toplu taşıma araçları bulunmaktadır. Bu ulaşım çeşitleri; karayolu ulaşımı, demiryolu ulaşımı, denizyolu ulaşımı ve hava yolu ulaşımıdır (Bakırcı, 2020). Karayolu ulaşımı için otobüs, minibüs; demiryolu ulaşımı için metro, tren; denizyolu ulaşımı için vapur ve havayolu ulaşımı için uçak olmak üzere çeşitli toplu taşıma araçları söylenebilir. Ancak günümüzde insanlar tarafından en yaygın olarak kullanılan kent içi toplu taşıma aracı otobüs taşımacılığıdır. Bir karayolu taşımacılığı olan otobüs taşımacılığı diğer toplu taşıma araçlarına göre bazı avantajlara ve dezavantajlara sahip olabilir. Örneğin; belirli güzergahlar için daha hızlı ve esnek yapısının olması, hareket kolaylığına sahip olması avantajları, yüksek maliyetli ve daha az kapasiteye sahip olması dezavantajları olduğu söylenebilir (Köğmen, 2014; Özoğlu ve Demirci, 2021).

Gelişmiş ülkeler için iyi bir ulaşım sistemine sahip olmak birçok fayda sağlayabilir ve otobüs taşımacılığının yaygın kullanılması ile birçok soruna çözüm sağlanabilir. Yapılacak çalışmalar sayesinde otobüs taşımacılığındaki işletmelerin maliyetleri azaltılabilir ve hizmet seviyesi yükseltilebilir.

## 1.2. Tezin Amacı ve Yapısı

Covid-19 dönemi böyle bir salgın ve afet döneminde ulaşımın insan sağlığı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermiştir. Bu yüzden bu gibi olağanüstü hâl dönemlerinde toplu taşımacılıkta sefer sayılarını optimize edecek modeller önerilmesi amaçlanmıştır. Aynı zamanda toplu taşımacılıkta sefer sayılarının talep fazlası olması veya optimal çözümlerin sağlanamaması durumları işletmeler için gereksiz maliyetlere de neden olabilir. Tüm bu amaçlar doğrultusunda oluşturulan modellere ilişkin varsayımlar Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Model varsayımları

| <i>Varsayım</i>                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Her bir otobüs hattının ortalama sefer süreleri bilinmektedir.                                                                                |
| Her bir otobüs hattının günlük taşıdığı ortalama yolcu sayısı bilinmektedir.                                                                  |
| Her bir zaman diliminde her bir hattın sefer sayıları bilinmektedir. Çalışmada 2 saatlik (07:00-09:00) sabah dilimi verileri kullanılacaktır. |
| Günlük ortalama yolcu ve yolculuk sayılarının değişmediği kabul edilmektedir.                                                                 |

## 1.3. Toplu Taşıma Sistemleri

Bir ulaştırma modelinin alt grubunda yer alan toplu taşıma sistemleri kentsel yaşamın vazgeçilmez bir parçasıdır. Ulaştırma modeli, bir ürünün ulaşımından ziyade üretim planlama, tesis yerleşimi, personel veya şoför atama, işlerin makinelerle dağılımı gibi problemlerde değişik teknikler ile ulaştırma problemine dönüştürülebilmekte ve çözülebilmektedir (Karaatlı vd., 2015; Lam vd., 2016).

Ulaştırma modeli ilk kez Hitchcock tarafından 1941 yılında petrol endüstrisinde uygulanarak daha sonraları Koopmans, Dantzig, Cooper ve Charnes’in geliştirdikleri ve halen uygulamada geçerli olan teknikler 1960’larda yaygınca kullanılmaya başlanmıştır (Hamurcu vd., 2017).

İnsanların, ürünlerin veya unsurların yer değiştirmesi ulaştırma sistemleri ile sağlanmaktadır. Günümüzde de insanlar, yürüme mesafesinde olmayan bir yere gidebilmek için büyük ölçüde toplu taşımayı kullanmaktadırlar. Böylece sürdürülebilir ulaşım sistemleri

insanların veya ürünlerin yer değiştirmesini sağlarken aynı zamanda dengeli kentsel gelişimi de desteklemelidir (Shapiro, 2001). Toplu taşıma sistemleri de kendi içinde çeşitli alt sistemlere ayrılır. Bu sistemler; karayolu, demiryolu, denizyolu ve havayolu toplu taşıma sistemleridir. Toplu taşıma sistemleri çok sayıda çeşitli araçlara sahiptir ve bu toplu taşıma araçları da bazı avantajlara ve dezavantajlara sahip olabilmektedir. Çünkü tek tür toplu taşıma araçlarının hiçbirisi aynı anda hem yüksek verimliliği hem de esnekliği sağlayamamaktadır. Kısaca tüm avantajlara sahip birden sahip olamazlar (Taylan, 2013).

Toplu taşıma sistemleri şehir içi zor hareketlilikle alakalı sorunlara çözüm olarak kabul edilir. Bu yüzden iyi bir toplu taşıma sistemi, istasyonlara erişebilirliği, sistemin hareketliliğini ve diğer çeşitli ulaşım sistemleriyle kesintisiz bağlanabilirliği dikkate alması gerekmektedir.

Toplu taşımaların çoğu avantajlarına rağmen şehir içi özel araç kullanımı toplu taşımalara göre fazladır. Bu yüzden toplu taşıma sistemlerinin kullanımını arttırabilmek adına ulaşım sistemi için iyi bir planlama yapılmalı ve iyi bir altyapı sistemi oluşturulmalıdır. Çünkü uygun olmayan bir planlama yolcu sayısının azalmasına ve özel araçların bağımlılığına yol açabilir (Shapiro, 2001). Otobüsler de günümüzde en yaygın olarak kullanılan toplu taşıma araçlarıdır. Dünya genelinde ulaşım hizmeti olan hemen hemen her şehirde otobüs işletmeciliği yapılmaktadır. Aynı zamanda büyük şehirlerde demiryolu ulaşımı genelde daha düşük yolcu yüküne sahip hatlarda işletilmektedir (Karaoğlu ve Altıparmak, 2005).

### **1.3.1. Ulaşım Planlaması**

Gelişen ülkelerde, artan nüfus sonucu oluşan trafik yoğunluğu sebebiyle ulaşım planlaması çözümlenmesi gereken önemli konulardan biri olmuştur. Düzenli ve iyi bir ulaşım sistemi uzun bir süreç gerektirir ve tüm faktörler dikkate alınmalıdır (Mendoza ve Prabhu, 2000).

Ulaşım sektöründe bir işletmenin amacı, zaman ve maliyet değerlerini en aza indirmek, işletmenin kârını en yüksek seviyede tutmak ve aynı zamanda halkın beklentilerine cevap verecek çözümlere sahip olmak olabilir. Bu yüzden bir işletmenin bu gibi amaçlarını gerçekleştirebilmesi için yapılacak işleri ve kimler tarafından ne zaman yapılması gerektiği gibi sorular doğrultusunda bir plan yapmaları gerekmektedir (Greene

vd., 2011). Sağlıklı bir planlamanın yapılabilmesi için ilk olarak doğru bir veri toplama işlemi yapılması gerekir. Başarılı bir toplu ulaşım planlaması için;

1. Yeterli sayıda verinin elde edilmesi,
  2. Verilerin doğru bir şekilde analizi,
  3. Verilen kararların başarılı uygulaması
- işlemleri gereklidir (Karaatlı vd., 2015).

#### **1.4. Çok Kriterli Karar Verme**

Karar verme problemlerinde çok sayıda alternatiflerin olduğu durumda amaca yönelik en iyiyi seçebilme durumu en temel sorunlardan biridir. Tek kriterli karar verme teknikleri bu problemler için bir çözümdür. Bu problemlere örnek olarak herhangi bir üretim firmasının kârını maksimum seviyeye çıkartmak veya maliyetlerini minimum seviyeye indirmek verilebilir. Çok kriterli karar verme ise aynı anda birden çok kriter arasından en uygun tercihin seçilmesini sağlayan karar verme aracıdır (Ho vd., 2006). Başta Doğrusal Programlama (DP) tekniği olmak üzere çok kriterli optimizasyon teknikleri tek kriterli optimizasyon tekniklerine tepki olarak çıkmıştır (Öztürk, 2021). Çok kriterli karar verme, karar vermenin bir alt dalını oluşturur. Karar vericiler için kompleks yapıdaki problemleri basite indirger ve daha kolay karar verebilmelerine olanak sağlar.

Çok kriterli karar verme yöntemleri, çok ölçütlü karar verme ve çok amaçlı karar verme olmak üzere ikiye ayrılır. Çok ölçütlü karar vermede incelenen alternatiflerin sonlu sayıda olduğu ve açıkça tanımlandığı kesikli durumlarda karar verme sürecidir. Aynı zamanda alternatifler önceden belirlenen sayıdadır (Ignizio, 1985). Diğer yandan; çok amaçlı karar verme doğrusal programlamanın bir uzantısıdır ve tıpkı doğrusal programlamada olduğu gibi amaç fonksiyonu ve kısıtlar doğrusal, karar değişkenleri süreklidir. Ancak çok amaçlı karar verme modellerinde aynı anda birden fazla amaç fonksiyonu yer almaktadır (Charnes ve Cooper, 1957). Çünkü gerçek hayat problemlerini ele aldığımızda herhangi bir şirketin veya üretim firmasının birden fazla amacı vardır ve aynı anda tüm bu amaçların gerçekleşmesini istemektedirler. Karar vericilerin belirli kısıtlar altında ve birbirleriyle çelişen birden fazla amacı tatmin edici bir düzeyde gerçekleştirmek istemeleri durumunda çözümler üretmeye çalışan bir karar modelleri kümesi olarak nitelendirilir (Uludağ, 2010).

### 1.4.1. Hedef Programlama Tanımı

Gerçek hayatı göz önüne aldığımızda karşılaşılan çoğu problemlerin tek bir amaca yönelik olmadığı söylenebilir. Gerçekleştirilmek istenen her bir amaç aslında ulaşılmak istenen bir hedefi işaret eder. Bu yüzden karar verme olayı başlı başına oldukça büyük bir öneme sahiptir. Hedef programlama (HP) ise bu karar verme olayını gerçekleştirmek için bir yöntem sunmaktadır.

HP, aynı anda birden fazla amacı gerçekleştirmek için geliştirilmiş bir teknik olup, sistem kısıtlarının tümünün sağlandığı durumda olabildiğince tüm hedeflere ulaşılmak istenen bir çözüm ortaya koyar (Jones ve Tamiz, 2010). Burada DP yöntemindeki gibi tek bir amaç yoktur ancak HP yönteminde tüm amaçların gerçekleştirilmesi durumu her zaman söz konusu değildir. Bu yüzden bir HP modelinde tüm hedeflere ulaşılamaması anında hedef ve hedeflerin elde edilmeye çalışılan değerleri arasındaki sapmalar minimize edilmeye çalışılır (Jones ve Tamiz, 2010; Romero, 1991).

### 1.4.2. Hedef Programlamanın Tarihsel Gelişimi

DP tek bir amaca yönelik olmasından ötürü gerçek hayattaki çoğu problemler için yetersiz kalmaktadır. Çünkü gerçek hayatta herhangi bir şirket yalnızca maliyeti en düşük seviyeye indirmeyi veya kârını en yüksek seviyeye çıkarmayı istememektedir. Bunların yanı sıra bir işletmeci için aynı anda gerçekleştirilmek istenen çok sayıda amaç vardır. DP yöntemi bazı kusurlara, kısıtlamalara sahip olmasına rağmen bilinen ve en yaygın kullanılan bir yöntemdir (Lee ve Olson, 1999). DP'nin bazı problemler üzerindeki muhtemel yetersizliği ve kısıtlamalarından ötürü 1950'lerin başında Charnes ve Cooper tarafından HP tekniği geliştirilmiştir. 1961 yılında Charnes ve Cooper birden çok hedefi içeren “kısıtlı regresyonun” daha genel bir halini tanımlamışlardır. Daha sonraları, her bir amacın hedefe dönüştürülmesine yönelik ve halen yaygın olarak kullanılan üç farklı tür önermişlerdir. HP'nin türleri, temelde hedeften sapmaların minimize edilmesine yöneliktir.

HP, daha sonraları Ignizio, Lee, Tamiz, Romero gibi araştırmacılar tarafından çeşitli çalışmalar yapılarak ileriye taşınmıştır. 1970'lerin başında Doğrusal Hedef Programlamada (DHP) dualite kavramı, Ignizio tarafından HP tekniklerini içeren algoritmalar ve yazılımlar geliştirilerek ortaya çıkmıştır (Alp, 2008; Romero, 1991).

### 1.4.3. Hedef Programlamanın Yapısı

Hedef programlama temelde birden fazla amacı gerçekleştirmek olan hedeften sapmaları minimize etmeye çalışan bir teknik olarak geliştirilmiştir. Genel amacı, bu hedefleri aynı anda tatmin edecek çözümlerin bulunmasıdır. Bir HP modelindeki ilk adım her bir amacın hedeflere dönüştürülerek hedefler kümesinin oluşturulmasıdır (Cinemre, 2004). Matematiksel programlama türlerine göre DP, Tamsayılı Programlama (TP) ve Doğrusal Olmayan Programlama (DOP) modelleri ile ilgili çeşitli çalışmalar da yer almaktadır. HP modeli ile ilgili temel kavramlar Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Hedef programlama modeli temel kavramları

| <i><b>Kavram</b></i>               | <i><b>Açıklama</b></i>                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i><b>Amaçlar</b></i>              | Karar vericilerin isteklerine bağlı olarak belirlenirler. Örneğin; şirket maliyetlerinin minimize veya kârlarının maksimize edilmesi olarak söylenebilir.                                                                           |
| <i><b>Hedefler</b></i>             | Belirli bir amaç için gerçekleşmesi istenen kesin bir ifade ve istenen düzeyde belirlenen amaç olarak tanımlanır.                                                                                                                   |
| <i><b>Karar Değişkenleri</b></i>   | Karar vericilerin belirlemek istediği bilinmeyen değişkenlere denir (Orumie & Ebong, 2014).                                                                                                                                         |
| <i><b>Sistem Kısıtları</b></i>     | Probleme ilişkin geliştirilen ve HP modelinde tam olarak sağlanması gereken, hiçbir sapmaya da izin verilmeyen kısıtlayıcılardır. Klasik Doğrusal Programlama (KDP) modelindeki gibi benzer işlevini gerçekleştirir (Romero, 1991). |
| <i><b>Hedef Kısıtları</b></i>      | Karar vericilerin ulaşmak istediği hedefler HP modelinde hedef kısıtlayıcılardır. Sistem kısıtlarına göre daha esnek bir yapıya sahiptirler (Romero, 1991).                                                                         |
| <i><b>Sapma Değişkenleri</b></i>   | Pozitif ve negatif sapma olarak adlandırılan değişkenler, hedefin üstündeki veya altındaki miktarı belirler (Acharya vd., 2011; Orumie & Ebong, 2014).                                                                              |
| <i><b>Başarı Fonksiyonları</b></i> | Amaçlara yönelik belirlenen hedeflerden olabilecek sapmaların en küçüklenmesini sağlayan fonksiyonlara denir.                                                                                                                       |
| <i><b>Amaç Fonksiyonu</b></i>      | Hedeflerden olabilecek sapmaları en küçüklemektir.                                                                                                                                                                                  |

#### 1.4.4. Hedef Programlamanın Uygulama Alanları

Çok amaçlı karar verme tekniklerinin en önemli yöntemlerinden biri olan HP tekniği günümüzde karşılaşılan çoğu problemlerin çözümünde ve çeşitli birçok alanda kullanılmaktadır. Bu yöntemin kullanıldığı alanların bazıları; Portföy Seçimi, Yatırım Planlaması, Pazarlama, Enerji Planlaması, İşgücü Planlaması, Proje Seçimi ve Yönetimi, Ulaştırma Problemleri, Sağlık Planlaması, Stok Yönetimi, Finansal Planlama, İş Değerlendirme, Hastanelerde Kaynak Planlaması, Tarımsal Üretim ve Yönetim, Reklam Bütçesi Problemleri, Diyet Problemleri, Tedarikçi Seçimi, Beslenme Problemleri, Performans Değerlendirme olarak görülmektedir.

#### 1.4.5. Hedef Programlamanın Matematiksel Yapısı

HP çok amaçlı karar vermenin bir dalıdır. HP tekniği genel olarak hedeflere tam olarak ulaşmasından ziyade hedeflere mümkün olan en yakın sonucu elde edebilmektir. Yani HP'nin amacı, problemin çelişen amaçlarına göre verimli ve tatmin edici bir çözüm sağlamaktır (Mohammed ve Hordofa, 2016). HP'nin matematiksel modelinin kurulmasına yönelik gerekli bazı işlemler önemli bir rol oynamaktadır. HP'nin matematiksel modeli üzerinde gereken bu işlemler genel model ile verilmiş olup Denklem 1'de belirtilmiştir.

$$\text{Min } Z = [P_1 w_1(d_i^-, d_i^+) + \dots + P_k w_k(d_i^-, d_i^+)] \quad (1)$$

Denklem 2'de verilen HP modelinin amaç fonksiyonudur. Burada  $Z$  amaç fonksiyonunun son değeridir,  $P_k$  sapma değişkenlerinin önceliğini belirtir ve  $w_k$  ise aynı önceliğe sahip sapma değişkenlerinin ağırlıklarıdır. Aynı zamanda  $k$ , sapma değişkenlerinin sayısı,  $d_i^-$  ve  $d_i^+$  sapma değişkenleridir. Karar vericiye bağlı olarak oluşturulan kısıtlar dikkate alınarak oluşturulur. Hedef kısıtlarına göre gerekli sapma değişkenleri belirlenmiş ve öncelik durumlarına göre hedef kısıtlarındaki sapma değişkenleri amaç fonksiyonunda minimize edilmeye çalışılmıştır (Uludağ, 2010).

$$\sum_{j=1}^n (a_{ij} X_j + d_i^- - d_i^+) = b_i, \forall i \in \{1, \dots, m\} \quad (2)$$

Denklem 2 de verilen kısıt hedef kısıtlayıcıdır. Burada  $X_j$ 'ler karar değişkenleri olmak üzere, karar vericiler tarafından uygulanacak yönteme ve alanına göre belirlenir. Model oluşturmanın ilk adımı olarak da söylenebilir. Benzer şekilde,  $b_i$ 'ler sağyan değerleridir ve  $d_i^-$ ,  $d_i^+$ 'ler de sapma değişkenleridir.  $d_i^-$ , negatif sapmayı  $d_i^+$  ise pozitif sapmayı temsil etmektedir. Sapma değişkenleri istenen veya istenmeyen olarak da adlandırılabilirler (Deb, 1999). Modeldeki bazı kısıtlara bu değişkenler eklenerek hedef kısıtlara dönüştürülür. Sapma değişkenlerinin eklenmesine bağlı olarak 3 tür hedef kısıtından söz edilebilir. Bu durumlar Tablo 3'de görülmektedir.

Tablo 3. Hedef kısıt türleri ve sapma değişkenlerinin anlamları

| <i>Koşul</i>      | <i>Açıklama</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $f_i(x) \geq b_i$ | $d_i^+$ istenen değişken $d_i^-$ ise istenmeyen değişkendir. Yani $d_i^+$ aşma miktarını ve $d_i^-$ ise altında kalma miktarını belirtmektedir. Böylece bu bağıntıya göre kaynağın $b_i$ değerini aşabilir ancak bu değerin altında kalmaması gerekir. Bu yüzden amaç fonksiyonunda $d_i^-$ sapma değişkeni yani istenmeyen değişken minimize edilmeye çalışılır. |
| $f_i(x) \leq b_i$ | $d_i^-$ istenen değişken $d_i^+$ ise istenmeyen değişkendir. Bu bağıntıya göre de kaynak $b_i$ değerinin altında kalabilir ancak bu değeri aşmamalıdır. Böylece amaç fonksiyonunda $d_i^+$ sapma değişkeni yani istenmeyen değişken minimize edilmeye çalışılır.                                                                                                  |
| $f_i(x) = b_i$    | Her iki sapma değişkenleri de istenmeyen değişkenlerdir. Bu sapma değişkenlerinin sağyan değeri olan $b_i$ değerine eşit olması beklenir. Böylece amaç fonksiyonunda her iki sapma değişkenlerinin de minimize edilmesi gerekir.                                                                                                                                  |

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}X_j = b_i, (\forall i \in \{m+1, \dots, m+p\}) \quad (3)$$

Denklem 3, hiçbir sapmanın yer almadığı sistem kısıtıdır.

$$d_i^-, d_i^+, X_j \geq 0, \forall i \text{ ve } j \quad (4)$$

Denklem 4 ise sapma değişkenlerinin ve karar değişkenlerinin negatif olmama kısıtını ifade etmektedir.

Problemin türüne bağlı olarak karar vericiler tarafından oluşturulabilecek 5 tür amaç fonksiyonu vardır. Bu amaç fonksiyonları aşağıda verildiği gibidir;

Tek Hedefli Doğrusal Programlama Modeli için, Denklem 5 veya Denklem 6 kullanılabilir.

$$\text{Min } Z = d_i^- p_i \quad (5)$$

$$\text{Min } Z = d_i^+ p_i \quad (6)$$

Bu modelde karar verici tarafından gerçekleştirilmek istenen tek bir hedef yer almaktadır.

Eşit Ağırlıklı Çok Hedefli Programlama Modeli için Denklem 7 kullanılır.

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n (d_i^+ + d_i^-) \quad (7)$$

Hedefler bu modelde eşit ağırlıklı yani eşit önceliklidir. Amaç fonksiyonunda istenmeyen sapma değişkenlerinin toplamı minimize edilmeye çalışılır.

Ağırlıklı Çok Hedefli Programlama Modeli için Denklem 8 kullanılır.

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n w_{ik} (d_i^+ + d_i^-) \quad (8)$$

Burada  $w_k$ , i. hedeften oluşan sapma değişkenlerine verilen ağırlık değerleridir. Bu değerler karar vericiler tarafından hedeflerin önemine ilişkin belirlenerek verilmektedir. Amaç fonksiyonunda hedeften sapmaların ağırlıklı toplamı minimize edilir.

Öncelikli Çok Hedefli Programlama Modeli için Denklem 9 kullanılır.

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n p_k (d_i^+ + d_i^-), p_1 \gg \dots \gg p_k \quad (9)$$

Burada  $p_k$ 'lar hedef değerlerine verilen öncelik değerleridir. Bu değerler ulaşılmak istenen hedeflerin önceliğine göre belirlenir.  $p_1 \gg \dots \gg p_k$  şeklinde bir sıralama ile ifade

edilir. Aynı zamanda burada  $p_1$  hedefinin  $p_2$  hedefinden çok daha büyük ve önemli olduğu vurgulanmaktadır (Romero, 1991). Yani bu sıralamaya göre  $p_2$  hedefinin gerçekleşmesi için öncelikle  $p_1$  hedefinin gerçekleşmesi gerekmektedir (Uludağ, 2010).

Ağırlıklı-Öncelikli Çok Hedefli Programlama Modeli için Denklem 10 kullanılır.

$$MinZ = \sum_{i=1}^n w_k p_k (d_i^+ + d_i^-) \quad (10)$$

Eşit önceliğe sahip hedeflerin olması durumunda sapma değişkenlerinin farklı ağırlık değerlerine sahip olması ile bir amaç fonksiyonu oluşturularak sapmaların önemi belirlenmeye çalışılır.

#### 1.4.6. Doğrusal Hedef Programlamaya İlişkin Çözüm Teknikleri

HP modellerindeki karar değişkenlerinin sürekli, kısıtların ve amaç fonksiyonunun doğrusal olması halinde DHP modeline dönüşür. DHP problemlerinin çözümü için de 3 farklı yöntemden bahsetmek mümkündür (Khan, 1989). Bu yöntemler, grafik yöntemi, sıralı hedef programlama yöntemi ve çok aşamalı simpleks yöntemidir.

##### 1.4.6.1. Grafik Tekniği

Bir problemi grafik tekniği ile çözebilmek için değişken sayısının en fazla üç olması gerekmektedir. Grafik tekniğinde ilk olarak tüm denklemler grafik üzerinde belirlenir. Önceliği yüksek olan hedeften başlanır ve buna göre uygun çözüm alanı oluşturulur. Her adımda çözüm alanı kendinden öncelikli olan çözüm alanına uygun olacak şekilde bir yol izlenir. Çözüm alanı içerisinde tek bir nokta kalana kadar gidilir ve böylece en uygun çözüm alanı bulunur (Uludağ, 2010).

##### 1.4.6.2. Sıralı Hedef Programlama Tekniği

Bu yöntem hedefler arasında öncelik durumu söz konusu olduğunda kullanılır. Tüm hedeflerin önem derecesine göre sıralanma esasına dayanarak doğrusal hedef programlama problemine çözüm üretecek bir algoritma sunar (Alp, 2008). Bu algoritma, tüm hedefleri yüksek öncelikli hedeflerle karşılaştırarak başlar. İlk önce yüksek (birinci seviye) önceliğe

sahip hedefler ile ilgili kısıtlamalar dikkate alınır yani bu hedeflerden olabilecek sapma değişkenlerini minimize edecek çözüm üretilir. Bu çözümden elde edilen değerler ve değişkenleri probleme yeni bir kısıt olarak eklenerek mutlak bir amaç fonksiyonu özelliği kazanır (Uludağ, 2010). Alternatif çözümlerin olması durumunda ikinci seviye önceliğe sahip hedefler ile ayrı bir problem gibi çözülür ve böylece amaç yalnızca ikinci seviye hedeflerden sapmaları minimize etmeye dayanır. Özetle, bu yöntem ile HP modellerini sıralı bir şekilde formüle ederek çözmek mümkündür (Vuchic, 1981).

#### 1.4.6.3. Çok Aşamalı Simpleks Tekniği

Çok aşamalı simpleks tekniği, 1947 yılında Dantzig tarafından geliştirilen simpleks tekniğinin değiştirilmiş halidir. DP'deki simpleks tekniğiyle benzerdir ancak birkaç farklılıklar mevcuttur. Böylece simpleks tabanlı HP tekniği “Değiştirilmiş Simpleks Yöntem” olarak da adlandırılır (Cheng ve Chen, 2015). Problemin çözümü için ilk olarak Tablo 4’de görülen başlangıç tablosu oluşturulmalıdır. Başlangıç tablosunda yer alan elemanlar satır ve sütun bazlı olarak Tablo 4’de açıklanmıştır.

Tablo 4. Tanımlayıcı başlangıç tablosu

|     | (1)                                                                                      | (2)                                                    | (3)                                             | (4)                                     | (5)                                                 |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| (1) |                                                                                          |                                                        |                                                 | Karar Değişkenleri<br>$x_1, \dots, x_n$ | Negatif Sapma Değişkenleri<br>$d_1^-, \dots, d_m^-$ |
| (2) |                                                                                          | Z                                                      | Toplam mutlak sapma                             | Amaç fonksiyonu katsayıları             |                                                     |
| (3) | Her bir hedef kısıtlamasının önleyici öncelik faktörleri ve matematiksel ağırlıklandırma | Her bir hedef kısıtlaması için pozitif sapma değişkeni | Her bir hedef kısıtlaması için sağ taraf değeri | Tüm değişkenler için katsayılar         |                                                     |

3. satır 1. sütunda her bir hedef kısıtlamasının önleyici öncelik faktörlerini ve bu faktörlerin matematiksel ağırlıklarını içerir. Daha sonra, hedef kısıtlamaları ile satır satır bu sütuna yerleştirilir. Yani, her bir hedef kısıtlamasının sapma değişkeni, kendisine ait bir önleyici öncelik faktörüne sahip olacaktır ve bu öncelik faktörleri  $wp_k$  gibi matematiksel ağırlıkları ile bu sütunda yer alacaktır. 3. satır 2. sütunda her bir hedef kısıtlaması için pozitif

sapma değişkeni içerir ancak bazıları pozitif sapmaya sahip değildir. Böyle bir durumda pozitif sapma değişkeni oluşturularak bu sütuna yerleştirilir. 2. satır 3. sütunda, 3. satır ve 1. sütunda yer alan ağırlıklar ile 3. satır 3. sütunda yer alan sağ yan değerlerinden elde edilen çarpımların toplamının mutlak değerini içermektedir. Yani her bir tablo çözümündeki toplam sapmayı ifade eder.

3. satır 3. sütunda değişkenler için en uygun çözüm değerlerini içerir. DP problemlerinin çözüm yöntemindeki simpleks yöntemiyle aynıdır. Benzer şekilde, negatif değerler karşılanmamış gereksinimleri temsil ettiğinden sonrasında bu değerler optimal çözümde pozitif veya sıfıra dönüşecektir çünkü temeldeki değişkenler negatif değer alamazlar. 1. Satır 4. ve 5. sütunda problem için karar değişkenleri ve negatif sapma değişkenleri (artan şekilde) yer almaktadır. 2. satır 4. ve 5. sütunda karar değişkenlerinin ve negatif sapma değişkenlerinin amaç fonksiyonundaki katsayılarını içermektedir. Amaç fonksiyonunda görünmeyen karar değişkenleri 0 (sıfır) değerini, negatif sapma değişkenleri ise 0 (sıfır) ağırlık değerlerini alır. 3. Satır 4. ve 5. sütunda ise karar değişkenlerinin ve negatif sapma değişkenlerinin problemdeki katsayılarını içermektedir (Kwak ve Schniederjans, 1987).

#### **1.4.7. Tamsayılı DHP Çözüm Teknikleri**

Gerçek dünya problemlerinde bazı farklı durumlarla karşılaşılabilir ve böyle problemler için bazı karar değişkenleri tamsayı değerler almak durumunda kalabilir. TP ise bu durumdaki problemlerin çözümü için geliştirilmiştir ve modeldeki değişkenlerin bir kısmı veya tamamı tamsayı değerlerden oluşur. DHP modellerinin bu koşulu içermesiyle problem Tamsayılı Doğrusal Hedef Programlama (TDHP) problemine dönüşür.

##### **1.4.7.1. Dal ve Sınır Tekniği**

Bu yöntem ile TDHP modellerinde değişkenlerin tamsayılı olup olmadığına bakılmadan genel DHP yöntemi ile çözülür. DHP modelinin sonucuna göre tamsayılı bir değere ulaşıldığında optimal çözüm elde edilir. Ancak çözümlerden biri bile tamsayı değilse yani değişkenlerden biri bile tamsayılı bir değer almamışsa bu değerlerden biri seçilerek devam edilir ve tamsayılı bir çözüm bulunana kadar devam eder. Aşağıda dal ve sınır tekniğinin adımları kısaca açıklanmıştır (Kwak ve Schniederjans, 1987).

**Adım 1:** HP problemi simpleks yöntem ile çözülür ve çözümde bir veya birden fazla tamsayı olmayan karar değişkeni olması durumunda adım 2 'ye geçilir.

**Adım 2:** En büyük kesre sahip tamsayı olmayan karar değişkeni seçilir ve mutlak kısıtlamalar oluşturulur.

$$\text{Alt sınır problem kısıtlaması: } x_f - d_i^+ = (I + f) - f$$

$$\text{Üst sınır problem kısıtlaması: } x_f - d_i^+ = (I + f) + (1 - f)$$

Burada  $x_f$ , bir miktar kesir ifadesi eklenmiş karar değişkenidir.  $(I + f)$ ,  $x_f$ 'nin tamsayı değeri olan  $I$  ve kesirli değer olan  $f$  bileşenlerine bölünmüş optimal bir değerdir. Yeni kısıtlardaki  $d_i^-$  ve  $d_i^+$  sapma değişkenlerine yüksek bir matematiksel değer verilerek iki ayrı problemin amaç fonksiyonlarındaki öncelikli  $P_0$ 'a yerleştirilir.

**Adım 3:** Oluşturulan yeni hedef problemleri ayrı ayrı çözülür. Her iki problemde de sonuçta tamsayılı değerlere ulaşıyorsa en büyük hedef değerini sağlayan problem seçilir. Eğer sadece bir problemde tamsayılı sonuca ulaşıyorsa diğer problemlerde hedef değeri daha düşük olacağından bu dal tamamlanır. Diğer uygun olmayan çözüme sahip olan probleme aynı şekilde mutlak kısıtlamalar eklenerek yeniden dallandırılarak sonuca ulaşılmaya çalışılır. Her iki problem sonucunda da tamsayılı değere ulaşılmıyorsa 4. adıma geçilir.

**Adım 4:** 2. ve 3. adım tekrarlanır.

**Adım 5:** Her dalın sonunda uygun olmayan çözümler gözlemlenmesi durumunda adım 4 tekrar edilir.

**Adım 6:** Dallandırma işlemi bittiğinde tüm uygun çözümler arasında hedef değeri en yüksek olan çözüm optimal çözüm olarak kabul edilir.

#### 1.4.7.2. Gomory'nin Düzlem Kesme Tekniği

Tamsayılı Doğrusal Programlama (TDP) 'daki teknik ile benzerdir. Karar vericiler mutlak amaçların öncelik düzeylerini belirler ve problem çok aşamalı simpleks tekniği ile çözümlere devam eder. Karar değişkenlerinin hepsi tamsayı değeri aldığı anda optimal çözüme ulaşılmış olunur ancak değilse simpleks tablodan tamsayı olmayan bir değer seçilir ve tamsayılı değişken elde edebilmek için bir düzlem kesme formülasyonu gerçekleştirilir. Bu işlem tüm karar değişkenleri tamsayı değerleri alana kadar devam eder.

### 1.5. Literatürde Yapılan Çalışmalar

Son yıllarda toplu taşımacılık ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu bölümde de toplu taşımacılık sistemleri üzerinde farklı optimizasyon yöntemleri kullanılarak yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Alp, İstanbul ili için özel araç kullanımını azaltmak ve otobüs seferlerini azaltarak maliyet tasarrufu sağlamak adına DHP yöntemini kullanarak 6 model oluşturmuştur. 1. model tek hedefli, 2. model çok hedefli eşit öncelikli, 3. model ile 4. model çok hedefli öncelikli ve 5. model ile 6. model çok hedefli ağırlıklı olarak kurmuştur. En az sefer sayısını 1. modelin verdiği sonucuna ulaşmıştır (Alp, 2008).

Uludağ, İzmir ilinde sefer yoğunluğunun fazla olduğu duraklar arasındaki hatları inceleyerek DHP yöntemi ile sefer sıklık çizelgelerini oluşturmuş, maliyet fonksiyonunu incelemiş, Bulanık Optimizasyon (BO) yöntemi ile de duraklar arası mesafeyi hesaplamış ve sonuçta 3 saatlik bir zaman dilimi için günlük 7.425,95 TL azalma olacağı sonucuna varmıştır (Uludağ, 2010).

Deri, İzmir ili için akıllı kart verilerini kullanarak toplu taşıma yolculuk talebinin belirlenmesi ve sefer çizelgeleme optimizasyonu üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, DHP yöntemi ve Ampirik Bağlantı yöntemini kullanarak belirlemiştir. Elde ettiği sefer sayılarını işletmenin sefer sayıları ile karşılaştırmıştır. Uygulamanın daha düşük sefer sıklığı verdiği ve DHP yönteminin kullanışlı bir yöntem olduğu sonucuna ulaşmıştır (Deri, 2012).

Kıran ve Gündüz, Arı Kolonisi Optimizasyon (AKO) algoritmasını hatta ait seferlerin şoförler için çizelgelenmesi amacıyla kullanmışlar ve sonucu mevcut durum ile karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre şoför sayısı, dinlenme süresi ve yemek molası kriterlerine göre şoför sayılarında 6 kişilik bir azalma olduğu ve sefer aralarında şoförlerin dinlenme süresi ve mesai süresi içerisinde yemek molasına sahip olabileceği sonucuna varmışlardır (Kıran ve Gündüz, 2012).

Öztemiz ve Yeroğlu, Karınca Koloni Optimizasyon (KKO) algoritmasını kullanarak Malatya ilindeki toplu ulaşım araçları için en ideal yapıda yeni güzergâhlar belirlemeye çalışmışlardır. Problemin çözümünde minimum mesafe ve minimum trafik yoğunluğu ile gerçekleştirilmesini hedeflemişlerdir. Minimum trafik yoğunluğu için eşik feromon miktarı ve birden fazla araç için alternatif güzergâhlar belirlenmiştir. Sonuçlara göre güzergâh uzadıkça salgılanan feromon miktarında azalma meydana gelmiştir. Bu çalışma ileriye

hatların kent merkezi dışına, yolcuların rahat ulaşabileceği farklı merkezlere optimum koşullarda yönlendirilebileceği sonucuna ulaşmışlardır (Oztemiz ve Yeroğlu, 2019).

Özcan, Çorlu için sefer sıklıklarını ve otobüslerin güzergâh başlangıçlarından kalkış zamanlarını optimize eden iki seviyeli bir optimizasyon modeli geliştirmiştir. Modelde kullanıcı ve işletmeci maliyetlerini temsil eden amaç fonksiyonu Armoni Araştırması Optimizasyon (AAO) tekniği ile toplu taşıma ataması için zaman çizelgesi tabanlı VISUM yazılımının atama yaklaşımı kullanılmıştır. Probleme ek olarak kalkış zamanı öteleme parametresi ile elde edilen çözümde toplam seyahat süresinde mevcut duruma göre aynı başlangıç zamanlı sistem için % 4,75'lik ve farklı başlangıç zamanlı sistem için % 5,38'lik bir iyileşme olmuştur. Servis-km değerleri için ise sırasıyla % 9,80 ve % 13,36'lık iyileşme oranları elde etmiştir (Özcan, 2018).

Altuntaş ve arkadaşları, hatlara optimum araç ve şoför atama problemini matematiksel olarak modelleyerek Tabu Araması (TA) yöntemini kullanmışlar ve firma kullanıcıları için kendilerine en uygun şekilde amaçları seçebilecekleri, parametrelerini ayarlayabilecekleri ve kendileri için en uygun çözümü elde edebilecekleri bir karar destek sistemi önermişlerdir (Altuntaş vd., 2016).

Muti, otobüs güzergâh atama problemi için matematiksel bir model oluşturmuş ve KKO algoritmasını uygulayarak oluşturulan 4 senaryo ile test etmiştir. Test sonuçlarına göre bir senaryo hariç diğer senaryolar için başarılı sonuçlar elde etmiştir (Muti, 2018).

Ciancio ve arkadaşları, halk otobüs şirketleri için iki vardiyalı bir çizelgeleme problemini çözmek adına bütünleşik bir yaklaşım sunmuşlardır. İlkinde, araçlar için sefer programı ve ikincisinde ise şoförlerin araçlara atamasını çözmeye çalışmışlar ve başlangıç çözümü için Greedy algoritmasını kullanmışlardır. Daha sonra bazı yerel arama tekniklerinden yararlanan Benzetimli Tavlama (BT) tekniklerini kullanarak önerdikleri bu algoritmanın sınırlı bir süre içerisinde hızlı çözümler üretebildiği sonucuna varmışlardır (Ciancio vd., 2018).

Xiaowei ve arkadaşları, kentsel toplu taşıma ağını optimize etmek yani genel maliyeti en aza indirmek ve hizmeti üst seviyeye çıkarmak için bir çalışma yapmışlardır. Toplu taşıma sistemlerindeki niteliksel analizi niceliksel analize dönüştürmüşler ve optimal hedef ağırlığını belirlemek için Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemini ve Entropi yöntemini uygulamışlardır. Daha sonra çalışmada standart indeks karar verme matrisi ile pozitif-negatif ideal karar verme matrisini oluşturmuşlar ve TOPSIS ile analiz modelini araştırmışlardır.

Sonunda bu yöntemin toplu taşıma ağını daha iyi ayarlayabileceği ve sonuçların çok daha makul ve pratik olduğu sonucuna varmışlardır (Li vd., 2010).

Michel ve Chidlovskii, Fransa’da Nancy şehrindeki toplu taşıma verileri ile yolcuların bekleme sürelerini azaltmayı amaçlayan çok modlu bir ulaşım isteminde geçiş programlarının sorununu ele almışlar ve programın yeniden optimizasyonu için iki aşamalı stokastik program kullanmışlardır. İlk olarak problemin deterministik versiyonunu formüle edip sonradan onu stokastik bir versiyon ile genişletmişlerdir. Sonuçta bekleme sürelerinde ciddi bir azalma olmuş ve gelecek çalışmaları için farklı trafik ve mevsimsel koşullar altındaki veriler ile sorunun geri kalan bazı kısıtlamalarının gevşetilmesi konusunu ele almayı amaçlamışlardır (Michel ve Chidlovskii, 2016).

Hamurcu ve Eren, bazı teknikler kullanarak ulaşım planlaması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada monoray projeleri İstanbul’un kentsel ihtiyaçlarına göre AHP yöntemi ile değerlendirilmiş ve 3 farklı bütçe senaryosu altında bir planlama yapılmıştır. Seçim sürecinde de HP yöntemini kullanarak proje seçimini gerçekleştirmişlerdir. İleriki çalışmalar için daha fazla proje değerlendirilmesi veya farklı tekniklerin kullanılması ile faydalı sonuçların alınabileceğini öne sürmüşlerdir (Hamurcu ve Eren, 2018).

Gkiotsalitis ve Kumar, yolcuların bekleme sürelerinin azaltılması ve çeşitli düzenleyici kısıtlamaların optimizasyonu için Genetik Algoritma (GA) yöntemi ile iki seviyeli bir yaklaşım geliştirmişler ve bu yaklaşım Kuzey Avrupa’da büyük bir otobüs işletmecisi tarafından kullanılarak deneysel sonuçlar elde etmişlerdir. Sonuçlara göre gereken kısıtlamalar sağlanmış ancak bu kısıtlamaların sağlanması durumunda yolcuların bekleme sürelerinde %30’luk bir artış görülmüştür. Kısıtlamaların sağlanmasından sonra, 0,298 dakika kadar yolcuların bekleme süreleri iyileştirilmiştir. Gelecek çalışmalarda yolcuların bekleme sürelerini iyileştirebilmek için zaman çizelgesi optimizasyonunun daha da genişletilebileceğini ve Stokastik Optimizasyon (SO) ile zaman çizelgelerinin güvenilirliğini geliştirme potansiyelinin incelenebileceğini öne sürmüşlerdir (Gkiotsalitis ve Kumar, 2018).

Pyrge ve arkadaşları, toplu taşıma sistemlerindeki zaman çizelgesi bilgilerini en kısa yol problemleri olarak modelleyen genişletilmiş zaman ve zamana bağlı olmak üzere iki farklı yaklaşımı ele almışlardır. Gerçek dünya ile ilgili bir veri seti kullanarak performanslarını değerlendirmişlerdir. Zamana bağlı yaklaşım daha iyi performans gösterirken genişletilmiş zaman yaklaşımının daha karmaşık modeller için daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır (Pyrge vd., 2008).

Güner, çok kriterli karar verme teknikleri ile toplu taşıma hizmetinin kalitesini ölçmek için bir yaklaşım önermiştir. İlk olarak hizmet kalitesi nitelikleri arasında bir karşılaştırma yapmak için AHP tekniğini, otobüs güzergâhlarının hizmet kalitesi puanlarının hesaplanması ve sıralanması için TOPSIS tekniğini kullanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre üniversite öğrencilerinin toplu taşıma hizmeti ve konfor konusunda daha az endişeli olduğu, yolcular için ise hizmet nitelikleri arasından sıklık, kapasite ve güzergâh doğrudanlığı olduğu sonucuna varmışlardır (Güner, 2018).

Shiripour ve arkadaşları, ulaşım ağında seyahat eden nüfusun artmasıyla nüfusu dağıtmak için akıllı olasılıklı seyahat süreleri için uygun bir model oluşturmuşlardır. Bu süreyi hesaplamak için bir fonksiyon önermişlerdir. Amaçları beklenen toplam taşıma süresinin minimize edilmesidir. İki çözüm yaklaşımı önermişler; birincisi GA ve yerel aramayı içeren sezgisel algoritma, ikincisi Evrimsel Benzetilmiş Tavlama (EBT) algoritmasıdır. Sonuçta beklenen toplam ulaşım süresi en aza indirilmiştir ve EBT algoritmasının sezgisel algoritmaya göre daha etkili olduğu sonucuna varmışlardır (Shiripour vd., 2017).

Kumar ve arkadaşları, toplu taşıma sistemlerinin zamanında ve doğru seyahat süresi bilgilerini sağlayarak bir tahmin üzerine çalışma yapmışlardır. Bunun için Akıllı Ulaşım Sistemlerinin (ITS) kullanımını araştırmışlardır. Çalışmayı gerçekleştirmek için veri madenciliği yöntemi olan k-NN Sınıflandırma algoritmasını kullanmışlar ve sonuçlar önerdikleri yöntemin ortalama yöntemden daha iyi performans gösterebildiğini göstermiştir (Kumar vd., 2019).

David ve Kresz, şehirlerarası otobüs taşımacılığı için zamanlama atama problemi üzerinde çalışmışlardır. Problem Gurobi MIP çözücüsü ile çözülmüş ve farklı sayıda araç tipi ve önleyici bakımın zaman sınırı için değişen parametrelerin umut verici olduğu sonucuna ulaşmışlardır. İleriki çalışmalar için kısıtlamaları arttırarak karmaşık ihtiyaçları içerecek şekilde modelin daha da genişletilebileceğini önermişlerdir (Dávid ve Krész, 2020).

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Problemin Tanım

Çalışmada Covid-19 gibi olağanüstü hâl dönemlerinde toplu taşımacılıkta sefer sayılarını optimize edecek modeller önerilmesi amaçlanmıştır. Modellerde, Mart 2021-Nisan 2021 Covid-19 döneminde Trabzon Büyükşehir Belediyesi (TBB)'ye bağlı 4 otobüs hattına ait veriler kullanılmıştır. Oluşturulan modellerde Doğrusal Hedef Programlama (DHP) yöntemi kullanılarak hem WinQSB paket programında hem de OR-Tools paket programında analiz edilmiştir. Modellerde kullanılan 4 otobüs hattına ait bilgiler Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Hatlara ait kodlar ve isimler

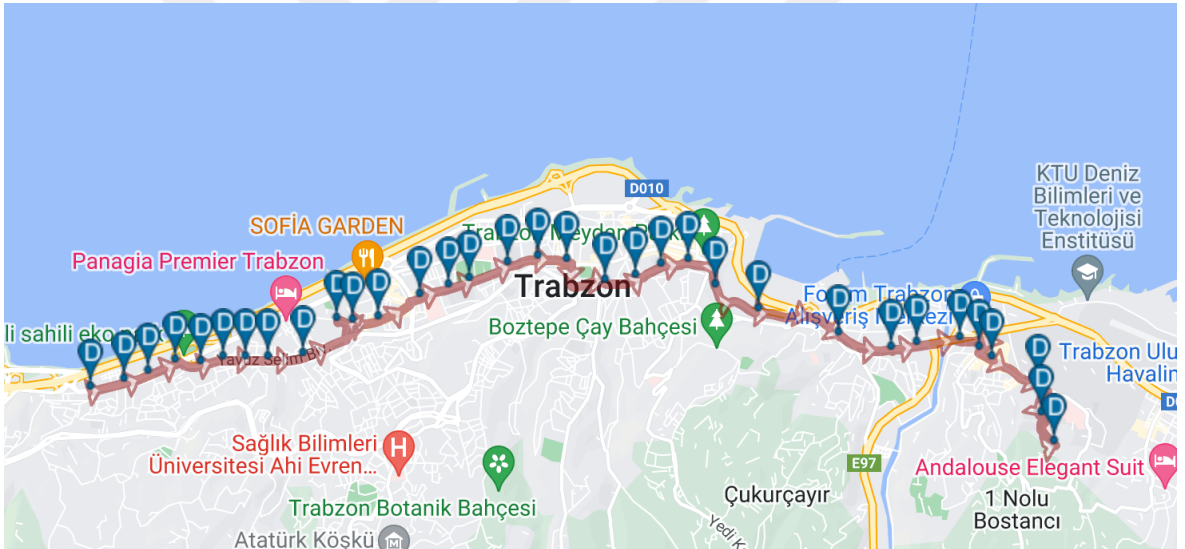
| <i>Hat No</i> | <i>Hat Adı</i>    |
|---------------|-------------------|
| 114           | Beşirli-Tıp       |
| 115           | Beşirli-Fatih-Tıp |
| 120           | Beşirli-KTÜ       |
| 121           | Beşirli-Kaşüstü   |

Otobüs hatları ilk olarak Beşirli otobüs durağından hareket edip KTÜ'ye, Tıp Fakültesi'ne ve Kaşüstü Hastanesi'ne gitmektedir. Beşirli-Tıp (114) ve Beşirli-Fatih-Tıp (115) hatları Tıp Fakültesi'ne gitmekte olup farklı güzergâhlara sahiptir.

Şekil 1'de hatların seferlerine başladığı durak görülmektedir. Örnek olarak Beşirli-Tıp (114) hattının gidiş yönündeki güzergâhı Şekil 2'de dönüş yönündeki güzergâhı ise Şekil 3'de görülmektedir. Ayrıca Beşirli-Tıp (114) hattının gidiş yönündeki durakların kodları ve isimleri Tablo 6'da dönüş yönündeki durakların kodları ve isimleri ise Tablo 7'de görülmektedir. Diğer hatların güzergâhları ve durakları Ekler'de yer almaktadır.



Şekil 1. Hatlara ait başlangıç ve bitiş noktaları



Şekil 2. Beşirli-Tıp gidiş güzergâhı

Tablo 6. Beşirli-Tıp gidiş yönündeki duraklar

| Beşirli-Tıp |                              |    |                                   |
|-------------|------------------------------|----|-----------------------------------|
| 60          | BEŞİRLİ İLK DURAK            | 34 | ATAPARK                           |
| 61          | ÇEVRE ŞEHİRCİLİK MÜDÜRLÜĞÜ 3 | 35 | BAHÇECİK YOL AYRIMI               |
| 62          | IMKB OKUL 1                  | 36 | HACI KASIM CAMİİ 2                |
| 63          | SPOR KOMPLEKSİ 1             | 37 | ZEYTİNLİK                         |
| 64          | İHSAN KOZ İLKOKULU 1         | 39 | BARO                              |
| 65          | TANJANT 4                    | 40 | ESENTEPE AİLE YÖNLENDİRME MERKEZİ |

Tablo 6'nın devamı

| Beşirli-Tıp |                                          |      |                               |
|-------------|------------------------------------------|------|-------------------------------|
| 66          | TANJANT 5                                | 1038 | DEĞİRMENDERE 2                |
| 67          | TANJANT 6                                | 497  | OTOGAR 2                      |
| 68          | TANJANT ELKAF EVLERİ 2                   | 43   | DEMİRKIRLAR<br>SANAYİ SİTESİ  |
| 69          | ADLİYE LOJMANLARI 1                      | 44   | KALKINMA KAVŞAK<br>1          |
| 70          | TANJANT FATİH LİSESİ 3                   | 45   | GENÇLİK MERKEZİ 2             |
| 71          | TANJANT MEHMET AKİF<br>ERSOY ALTGEÇİDİ 2 | 46   | KALKINMA CAMİİ 2              |
| 29          | FATİH HASTANESİ                          | 6    | KALKINMA<br>ECZANELER         |
| 30          | TİCARET LİSESİ                           | 5    | KTÜ B KAPISI 1                |
| 31          | TS AVNİ AKER STADI<br>KARŞISI            | 4    | FARABİ HASTANESİ 1            |
| 32          | TRABZON LİSESİ                           | 3    | FARABİ HASTANESİ<br>SON DURAK |
| 33          | VALİLİK 2                                |      |                               |

Beşirli-Tıp (114) hattına ait dönüş güzergâhı Şekil 3'de verildiği gibidir. Bu hat dönüş güzergâhında toplam 31 duraktan geçmektedir. Beşirli-Tıp (114) hattının dönüş yönünde geçtiği duraklar ve kodları Tablo 7'da verildiği gibidir.

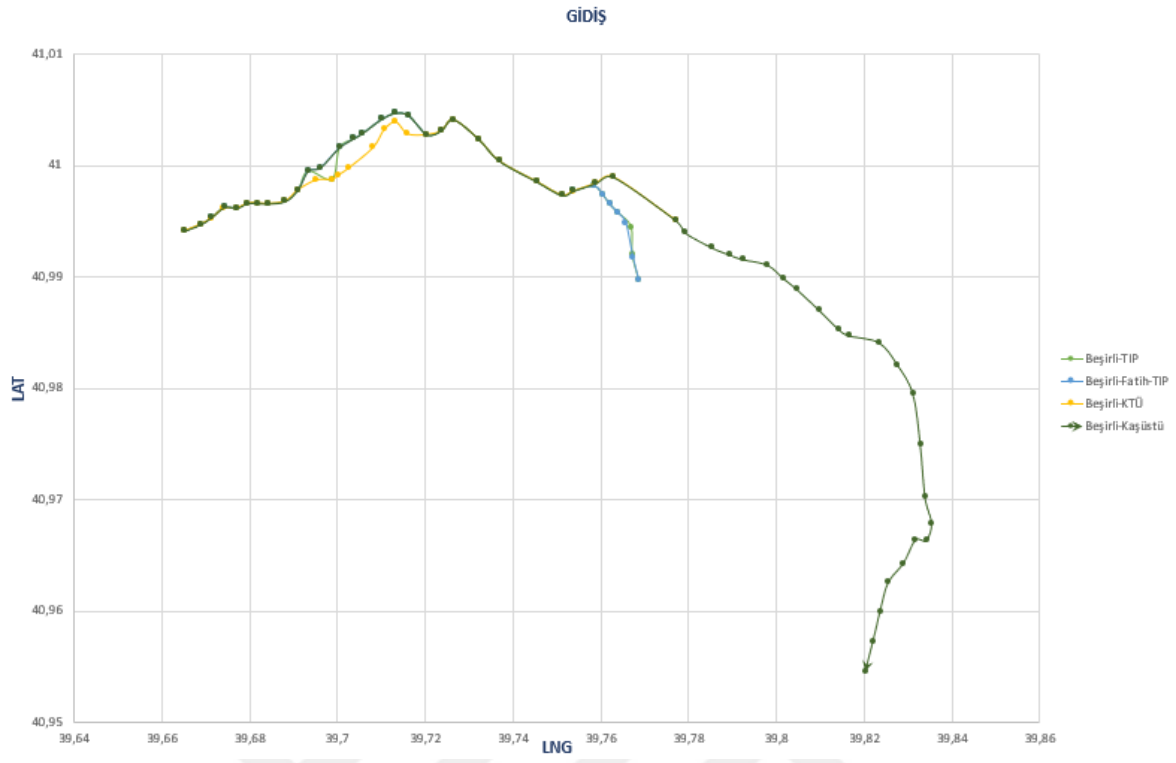


Şekil 3. Beşirli-Tıp dönüş güzergâhı

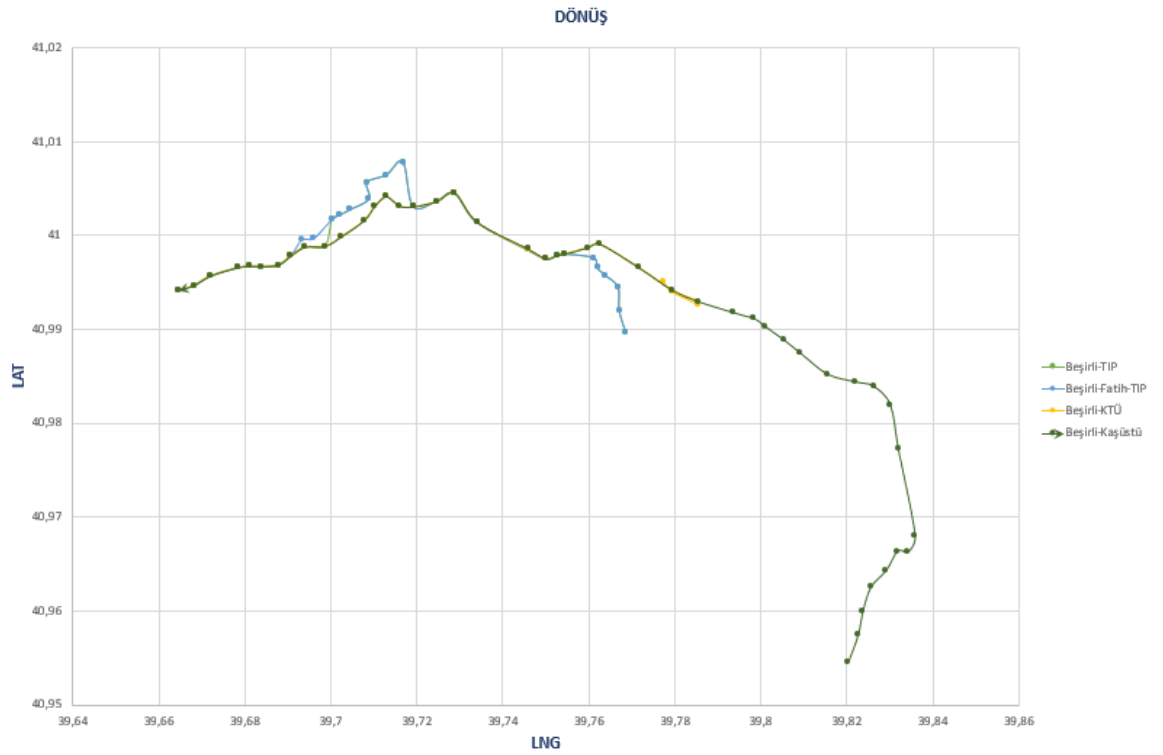
Tablo 7. Beşirli-Tıp dönüş yönündeki duraklar

| Beşirli-Tıp |                            |    |                                       |
|-------------|----------------------------|----|---------------------------------------|
| 3           | FARABİ HASTANESİ SON DURAK | 19 | NUMUNE HASTANESİ 1                    |
| 4           | FARABİ HASTANESİ 1         | 20 | 19 MAYIS KAPALI SPOR SALONU           |
| 5           | KTÜ B KAPISI 1             | 21 | TS AVNİ AKER STADI 1                  |
| 6           | KALKINMA ECZANELER         | 22 | FATİH HASTANESİ 1                     |
| 7           | KALKINMA CAMİİ 1           | 23 | FATİH HASTANESİ 2                     |
| 8           | GENÇLİK MERKEZİ 1          | 50 | TANJANT MEHMET AKİF ERSOY ALTGEÇİDİ 1 |
| 9           | SANAYİİ 1                  | 51 | FATİH LİSESİ 2                        |
| 10          | SANAYİİ 2                  | 52 | ADLİYE LOJMANLARI 2                   |
| 11          | OTOGAR 1                   | 53 | TANJANT ELKAF EVLERİ 1                |
| 12          | DEĞİRMENDERE 1             | 54 | TANJANT 1                             |
| 13          | ARAFİLBOYU                 | 55 | TANJANT 2                             |
| 14          | MEYDAN CAN BAKKAL ÖNÜ      | 56 | TANJANT 3                             |
| 15          | HACI KASIM CAMİİ 1         | 57 | İMKB OKULU 2                          |
| 16          | ORTAHİSAR                  | 58 | ÇEVRE ŞEHİRCİLİK MÜDÜRLÜĞÜ 2          |
| 17          | ŞENOL GÜNEŞ CADDESİ        | 59 | BEŞİRLİ SON DURAK                     |
| 18          | VALİLİK 1                  |    |                                       |

Şekil 4’de verilen grafikte çalışmaya konu olan hatların gidiş yönünde çakıştığı duraklar görülmektedir. Hatlar gidişte Beşirli İlk Durak-Adliye Lojmanları 1 durakları arasından ve Bahçecik Yol Ayrımı-Demirkırlar İş Merkezi durakları arasından geçmektedirler. Şekil 5’de verilen grafikte ise çalışmaya konu olan hatların dönüş yönünde çakıştığı duraklar görülmektedir. Hatlar dönüşte Sanayii 1-Ortahisar durakları arasından ve Adliye Lojmanları 2-Beşirli Son Durak durakları arasından geçmektedirler.



Şekil 4. Tüm hatlara ait gidiş güzergâhları grafiği



Şekil 5. Tüm hatlara ait dönüş güzergâhları grafiği

## 2.2. Veri Toplama

Modeli oluşturmada en önemli kriterlerden biri de veri toplama işlemidir. Amaca yönelik verilerin elde edilmesi problemin çözümlünü çokça etkilemektedir. Problemin amacı ise en uygun sefer sayılarının elde edilmesidir. En uygun sefer sayılarını elde edebilmek için otobüs hatlarına ait bazı bilgilere sahip olmak veya bu bilgileri sağlıklı bir plan ile elde edebilmek gerekir. Modelin düzgün çalışması için başka kriterler de büyük bir önem taşımaktadır. Bunlardan biri; yeterli verilere sahip olmaktır. Yeteri kadar verinin olmadığı bir model doğru bir sonuç vermeyecektir. Diğer işe; verilerin analizini doğru bir şekilde yapmaktır. Öncelikle model için uygun çözüm tekniğı seçilmeli ve teknik ile doğru bir analiz gerçekleştirilmelidir. Bu modeli oluşturabilmek için veri toplama işleminde 4 otobüs hattı için çeşitli gözlemler yapılarak gerekli veriler elde edilmiştir. Verilerin elde edilmesindeki en sağlıklı yöntem otobüs içi sayım olarak belirlenmiş ve yeterli sayıda veri elde edilmesi için de bir ay boyunca her gün belirli saatler arasında sayım gerçekleştirilmiştir. Veriler, Mart 2021-Nisan 2021 Covid-19 döneminde bir ay içerisinde (hafta sonları hariç) hem gidiş hem dönüş olmak üzere Beşirli durağından saat 07:00-09:00 arasında seferlerine başlayan 4 otobüs hattının geçtiğı her bir duraktan binen ve inen yolcu sayıları, otobüs tipi, kapasitesi gibi bilgiler gözlemlenerek elde edilmiştir. Böylelikle her otobüs hattı i Sayım şekline ilişkin bilgiler aşağıda Tablo 8’de ve bu verilere ilişkin bilgiler ise Tablo 9’de verilmiştir.

Tablo 8. Sayımın günlere dağılımı

|                  | <i>1. Hafta</i>            | <i>2. Hafta</i>            | <i>3. Hafta</i>            | <i>4. Hafta</i>            |
|------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <i>Pazartesi</i> | Beşirli-KTÜ<br>(120)       | Beşirli-Tıp<br>(114)       | Beşirli-Fatih-Tıp<br>(115) | Beşirli-Kaşüstü<br>(121)   |
| <i>Salı</i>      | Beşirli-Tıp<br>(114)       | Beşirli-Fatih-Tıp<br>(115) | Beşirli-Kaşüstü<br>(121)   | Beşirli-Ktü<br>(120)       |
| <i>Çarşamba</i>  | Beşirli-Fatih-Tıp<br>(115) | Beşirli-Kaşüstü<br>(121)   | Beşirli-Ktü<br>(120)       | Beşirli-Tıp<br>(114)       |
| <i>Perşembe</i>  | Beşirli-Kaşüstü<br>(121)   | Beşirli-Ktü<br>(120)       | Beşirli-Tıp<br>(114)       | Beşirli-Fatih-Tıp<br>(115) |
| <i>Cuma</i>      | Beşirli-Ktü<br>(120)       | Beşirli-Tıp<br>(114)       | Beşirli-Fatih-Tıp<br>(115) | Beşirli-Kaşüstü<br>(121)   |

Tablo 9. Örnek veri seti

| <i>Sıra</i> | <i>Tarih</i> | <i>Hat</i>      | <i>Sefer<br/>Başlangıç<br/>Saati</i> | <i>Sefer<br/>Bitiş<br/>Saati</i> | <i>Durak<br/>Geliş<br/>Saati</i> | <i>Durak<br/>Kodu</i> | <i>Durak Adı</i>                        | <i>Yön</i> | <i>Binen<br/>Yolcu<br/>Sayısı</i> | <i>İnen<br/>Yolcu<br/>Sayısı</i> | <i>Otobüs Tipi</i> | <i>Kapasite</i> |
|-------------|--------------|-----------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------|------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------|
| 1           | 15.03.2021   | Beşirli-KTÜ     | 07:00                                | 07:30                            | 06:58                            | 60                    | Beşirli İlk Durak                       | Gidiş      | 3                                 | 0                                | Körüksüz           | 34              |
| 2           | 15.03.2021   | Beşirli-KTÜ     | 07:00                                | 07:30                            | 07:00                            | 61                    | Çevre Şehircilik Müdürlüğü <sup>3</sup> | Gidiş      | 1                                 | 0                                | Körüksüz           | 34              |
| 3           | 15.03.2021   | Beşirli-KTÜ     | 07:00                                | 07:30                            | 07:00                            | 62                    | İMKB İlköğretim Okulu Altı              | Gidiş      | 2                                 | 0                                | Körüksüz           | 34              |
| ...         | ...          | ...             | ...                                  | ...                              | ...                              | ...                   | ...                                     | ...        | ...                               | ...                              | ...                | ...             |
| 5993        | 09.04.2021   | Beşirli-Kaşüstü | 10:20                                | 11:05                            | 11:03                            | 57                    | İMKB Okulu 2                            | Dönüş      | 0                                 | 0                                | Körüksüz           | 27              |
| 5994        | 09.04.2021   | Beşirli-Kaşüstü | 10:20                                | 11:05                            | 11:04                            | 58                    | Çevre Şehircilik Müdürlüğü <sup>2</sup> | Dönüş      | 0                                 | 2                                | Körüksüz           | 27              |
| 5995        | 09.04.2021   | Beşirli-Kaşüstü | 10:20                                | 11:05                            | 11:05                            | 59                    | Beşirli Son Durak                       | Dönüş      | 0                                 | 5                                | Körüksüz           | 27              |

### 2.3. Model Oluşturma

Trabzon ilindeki Beşirli durağından seferlerine başlayan 4 otobüs hattına ait veriler kullanılarak modeller oluşturulmuştur. Bu otobüs hatları için en uygun sefer sayılarını veren DHP modelini kurmak için temelde gerekli olan; karar değişkenleri, sistem ve hedef kısıtları, başarı fonksiyonları ve amaç fonksiyonu belirlenmiştir.

Modeli oluşturmak için kullanılacak olan otobüs hatlarına ait sefer süreleri Tablo 10'da , otobüs tip, adedi ve yolcu kapasiteleri gibi bilgiler ise Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 10. Hatlara ait sefer süreleri

| <i>Hatlar</i> | <i>Sefer Süresi<br/>(dk)</i> |
|---------------|------------------------------|
| 114           | 40                           |
| 115           | 40                           |
| 120           | 35                           |
| 121           | 35                           |

Tablo 11. Otobüs hatlarına ait kapasite bilgileri

| <i>Otobüs Tipi</i>               | <i>Adet</i> | <i>Oturan Yolcu<br/>Sayısı</i> | <i>Ayakta<br/>Yolcu<br/>Sayısı</i> | <i>Toplam<br/>kapasite</i> |
|----------------------------------|-------------|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| A Tipi Otobüs<br>(Körüksüz Araç) | 7           | 27                             | 22                                 | 49                         |
| B Tipi Otobüs<br>(Körüksüz Araç) | 5           | 33                             | 22                                 | 55                         |
| C Tipi Otobüs<br>(Körüksüz Araç) | 14          | 34                             | 22                                 | 56                         |
| D Tipi Otobüs<br>(Körüksüz Araç) | 2           | 35                             | 22                                 | 57                         |
| E Tipi Otobüs<br>(Körüklü Araç)  | 5           | 48                             | 22                                 | 70                         |

Tablo 10’da yer alan 114 ve 115. hatların sefer süreleri eşit ve 40 dk., 120 ve 121. hattın da sefer süreleri eşit olup 35 dk. dır. Bu otobüs hatlarının tipi, adeti ve yolcu kapasiteleri de Tablo 11’de görülmektedir. 5 tip otobüs vardır ve bu otobüslerin 4’ü körüksüz 1’i ise körüklüdür. Toplamda 33 otobüs vardır ve her birinin yolcu kapasiteleri farklıdır. Burada otobüste oturabilen yolcu sayıları ve ayakta alınan yolcu sayıları yer almaktadır. Normal şartlarda otobüste ayaktaki yolcu sayıları fazlaydı ancak Covid-19 dönemi olması sebebiyle ayakta alınması gereken yolcu sayısı TBB tarafından 22 olarak belirlenmiştir. Böylece otobüsün toplam kapasitesi Covid-19 dönemi koşullarında hesaplanmış ve modelde bu hali ile kullanılmıştır.

#### 2.4. Modele İlişkin Varsayımlar

Oluşturulan modellere ilişkin varsayımlar Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. Model Varsayımları

| <i>Kısıt Sıra No</i> | <i>Kısıt Açıklamaları</i>                                                                                                                    |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                    | Her bir otobüs hattının ortalama sefer süreleri bilinmektedir.                                                                               |
| 2                    | Her bir otobüs hattının günlük taşıdığı ortalama yolcu sayısı bilinmektedir.                                                                 |
| 3                    | Her bir zaman diliminde her bir hattın sefer sayıları bilinmektedir. Çalışmada 2 saatlik (07:00-09:00) sabah dilimi verileri kullanılmıştır. |
| 4                    | Günlük ortalama yolcu ve yolculuk sayılarının değişmediği kabul edilmektedir.                                                                |

#### 2.5. Karar Değişkenlerinin Oluşturulması

Modeli oluşturmak için gerekli olan karar değişkenleri Tablo 13’de ve kullanılan bazı karar değişkenlerinin açıklamaları ise Tablo 14’de verilmiştir.

Tablo 13. Karar Değişkenleri

| <i>Hat No</i> | <i>Hat Adı</i>    | <i>A Tipi Araç</i> | <i>B Tipi Araç</i> | <i>C Tipi Araç</i> | <i>D Tipi Araç</i> | <i>E Tipi Araç</i> |
|---------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 114           | Beşirli-Tıp       | $X_{114A}$         | $X_{114B}$         | $X_{114C}$         | $X_{114D}$         | $X_{114E}$         |
| 115           | Beşirli-Fatih-Tıp | $X_{115A}$         | $X_{115B}$         | $X_{115C}$         | $X_{115D}$         | $X_{115E}$         |
| 120           | Beşirli-KTÜ       | $X_{120A}$         | $X_{120B}$         | $X_{120C}$         | $X_{120D}$         | $X_{120E}$         |
| 121           | Beşirli-Kaşüstü   | $X_{121A}$         | $X_{121B}$         | $X_{121C}$         | $X_{121D}$         | $X_{121E}$         |

Tablo 14. Bazı karar değişkenleri ve anlamları

| <i>Değişken</i> | <i>Açıklama</i>                                            |
|-----------------|------------------------------------------------------------|
| $X_{114A}$      | 114 nolu hattın A tipi araçla yapması gereken sefer sayısı |
| $X_{114B}$      | 114 nolu hattın B tipi araçla yapması gereken sefer sayısı |
| ...             | ...                                                        |
| $X_{121D}$      | 121 nolu hattın D tipi araçla yapması gereken sefer sayısı |
| $X_{121E}$      | 121 nolu hattın E tipi araçla yapması gereken sefer sayısı |

## 2.6. Sistem Kısıtlarının Belirlenmesi

Çalışmada kullanılan sistem kısıtlarının oluşturulması için Mart 2021-Nisan 2021 Covid-19 döneminde elde edilen verilerde yer alan her bir otobüs durağında inen ve binen yolcu sayıları ile hesaplanarak yolcu yükleri ile 133x20'lik bir matris oluşturulmuştur. Hem gidiş hem dönüş sistem kısıtları çok fazla olduğundan çözüme daha hızlı ulaşabilmek için bu matris 17x20'lik yeni bir matrise dönüştürülmüştür.

Örneğin, gidiş modelinde yer alan sistem kısıtlarından bir tanesi denklem 11'de görülmektedir. Bu kısıta göre, birbirine komşu iki duraktan sadece 114 ve 120 nolu hatların geçtiğini ve bu hatlara atanacak otobüslerin en az 245 yolcu taşıma kapasitesine sahip olması gerektirir. Bu kısıt denklem 11'de görülmektedir.

$$49X_{114A} + 55X_{114B} + 56X_{114C} + 57X_{114D} + 70X_{114E} + 49X_{120A} + 55X_{120B} + 56X_{120C} + 57X_{120D} + 70X_{120E} \geq 245 \quad (11)$$

Karar değişkenlerinin katsayıları olan 49, 55, 56, 57 ve 70, sırasıyla araç tiplerine ait Covid-19 koşulları dahilinde toplam yolcu sayısını göstermektedir. Sağyan değeri olan 245 değeri ise sabah zaman diliminde ilk duraktan ikinci durağa günlük taşınan yolcu sayısını göstermektedir.

Sistem kısıtlarını oluştururken Covid-19 dönemi göz önüne alınarak kapasitelerin yeniden hesaplanması üzerine değişiklik yapılmıştır. Burada hem oturan yolcu sayıları hem de ayakta yolcu sayıları bir  $\alpha$  katsayısı ile çarpılarak yeniden hesaplanmıştır.  $\alpha$  değişkeni, otobüs tiplerine göre ve Covid-19 döneminden ötürü otobüslerdeki kalabalığı önlemek amacıyla tercihen belirlenebilen değişkendir. Bu model için belirlenen kapasiteler denklem 12'deki gibi hesaplanmıştır.

$$C_i = \alpha_o c_o + \alpha_a c_a, i \in \{A, B, C, D, E\} \quad (12)$$

Burada  $C_i$   $i$ . tip otobüs için hesaplanan yeni kapasiteyi,  $\alpha_o$  oturan kişiler için  $\alpha_a$  ise ayaktaki kişiler için gerekli katsayıyı,  $c_o$  ve  $c_a$  ise sırasıyla otobüsün oturan ve ayakta taşıyabileceği kişi sayısını göstermektedir.

Yapılan çalışmada, oturan yolcu sayısı için  $\alpha_o$  değeri 0,80, ayakta yolcu sayısı için  $\alpha_a$  değeri de 0,50 olarak belirlenmiştir.

Böylece denklem 11'de verilen sistem kısıtı denklem 13'teki hale dönüşecektir.

$$\begin{aligned} 32,6X_{114A} + 37,4X_{114B} + 38,2X_{114C} + 39X_{114D} + 49,4X_{114E} + 32,6X_{120A} + \\ 37,4X_{120B} + 38,2X_{120C} + 39X_{120D} + 49,4X_{120E} \geq 245,2 \end{aligned} \quad (13)$$

Aynı zamanda 114, 115 ve 121 nolu hatlar güzergahlarından dolayı E tipi aracı kullanamadıkları için, denklem 14 kullanılarak bu kısıt modele eklenmiştir.

$$X_{114E} + X_{115E} + X_{121E} = 0 \quad (14)$$

## 2.7. Hedef Kısıtlarının Belirlenmesi

Çalışmada oluşturulan modellerde kullanılmak amacıyla süre ve hedef kısıtları olarak iki hedef kısıtı belirlenmiştir. Süre hedef kısıtı denklem 15'te görülmektedir.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^5 \left( \frac{t_i}{T} \right) X_{ij} = N \quad (15)$$

Burada,  $t_i$   $i$ . hattın sefer süresini,  $T$  toplam süreyi,  $X_{ij}$   $i$  hattı için  $j$  araç tipinden yapılması gereken sefer sayısını ve  $N$  toplam otobüs sayısını göstermektedir. Bu denklemde,  $\left(\frac{t_i}{T}\right)$  oranı her bir hat için kullanılacak olan otobüslerin süre kapasite kullanım oranını ifade etmektedir.

Sefer hedef kısıtları ise denklem 16'da görülmektedir.

$$\sum_{i=1}^n t_i X_{ij} = T * O_j, \quad j \in \{1,2,3,4,5\} \quad (16)$$

Burada,  $t_i$   $i$ . hattın sefer süresini,  $T$  toplam süreyi,  $X_{ij}$   $i$  hattı için  $j$  araç tipinden yapılması gereken sefer sayısını ve  $O_j$   $j$  araç tipinden toplam otobüs sayısını ifade etmektedir.

## 2.8. Başarı Fonksiyonlarının Oluşturulması

Modelde kullanılmak üzere sefer hedef kısıtında sadece negatif sapma değişkeni olan  $d_1^-$  kullanılmıştır çünkü pozitif sapma değişkeni  $d_1^+$  fazla kapasiteyi temsil etmektedir ve minimize edilmesi istenen değişken bu değildir. Sefer hedef kısıtındaki negatif sapma değişkeni  $d_1^-$  model sonucunda yapılması gereken sefer sayısına karşılık gelen otobüs sayısının mevcut bulunan otobüs sayısından ne kadar fazla olduğunu temsil ettiğinden bu değişken başarı fonksiyonu olarak belirlenmiştir (Alp, 2008).

## 2.9. Amaç Fonksiyonunun Oluşturulması

Çalışmada tek hedefli bir model oluşturulmuştur ve tek bir hedef kısıtı olduğundan modelde hedeften sapmayı minimum yapacak olan başarı fonksiyonu  $d_1^-$  olarak belirlenmiştir. Amaç fonksiyonu ise bu başarı fonksiyonu kullanılarak oluşturulmaktadır. Böylece amaç fonksiyonu denklem 17'deki gibi olacaktır.

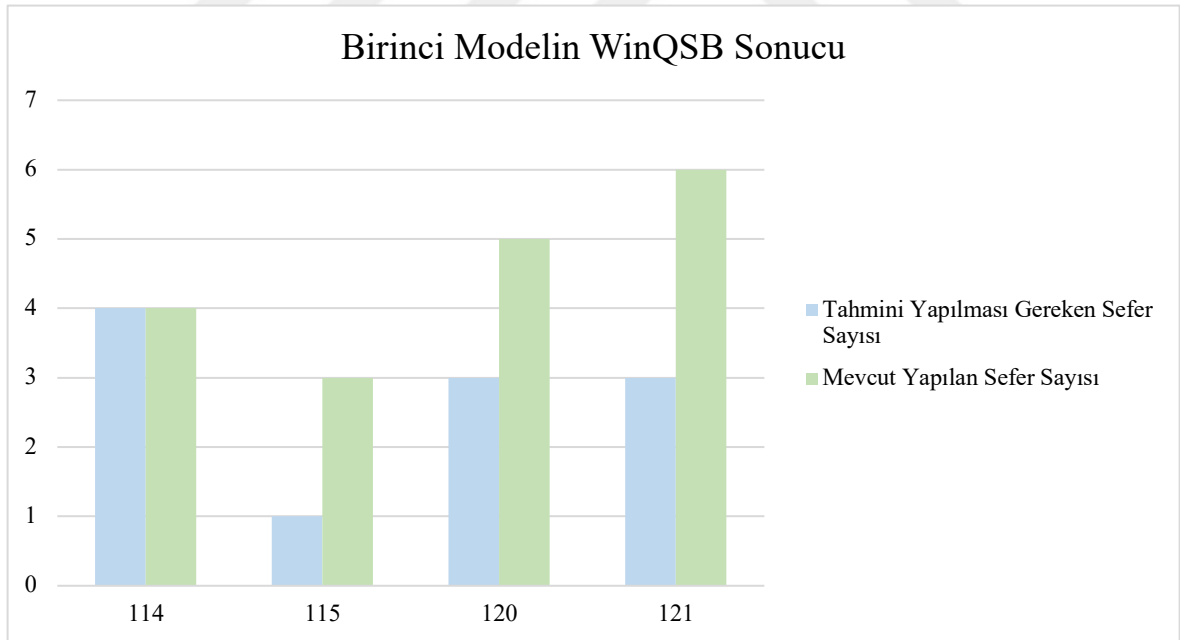
$$\min S = d_1^- \quad (17)$$

### 3. BULGULAR VE İRDELEME

Tez kapsamında birbiri ile kıyaslanmak üzere iki model oluşturulmuştur. Birinci modelde  $\alpha$  değişkeni bulunmazken, ikinci modelde ise  $\alpha$  değişkeni bulunmaktadır. Bu  $\alpha$  değişkeni sistem kısıtlarına eklenerek otobüs kapasitelerini belli bir oranda azalmaktadır. Modellerde DHP yöntemi kullanılarak hem WinQSB paket programında hem de OR-Tools paket programında çözümlenmiştir. Elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Böylece hem modellerdeki  $\alpha$  değişkeninin sonuca etkisi hem de kullanılan programların çözücülerinin birbiri ile farkları görülmektedir.

#### 3.1. Birinci Model Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Tez kapsamında oluşturulan birinci modelde  $\alpha$  değişkeni yer almamaktadır ve birinci modelin WinQSB paket programındaki sonucu Şekil 6’de verilmiştir.

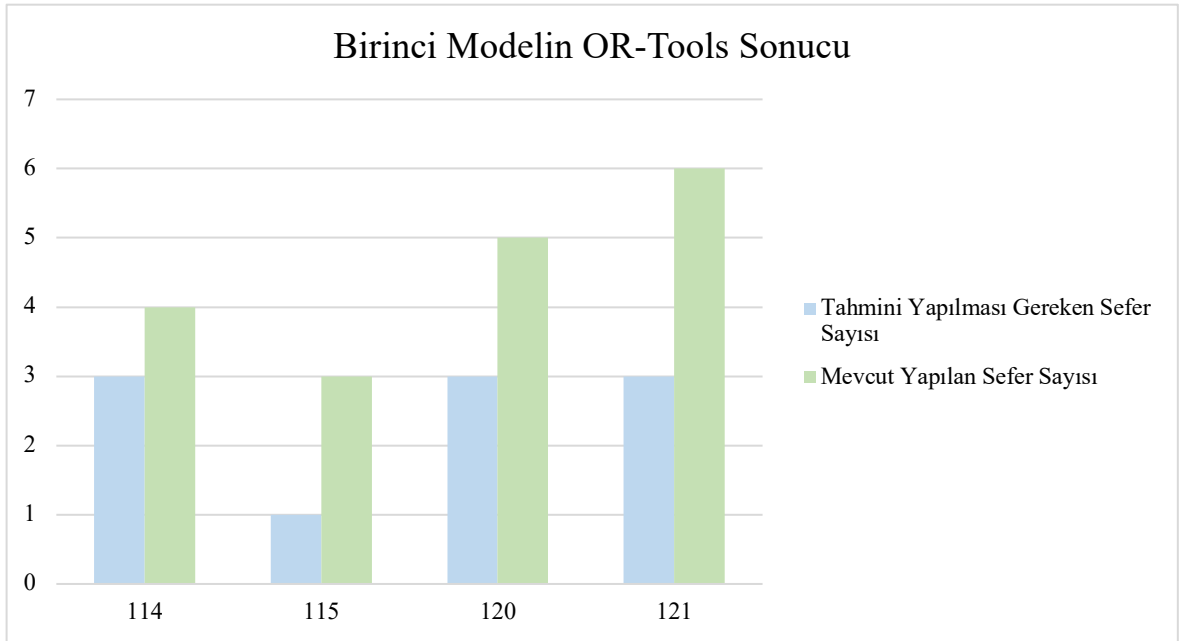


Şekil 6. Birinci modelin WinQSB sonucu

Beşirli-Fatih-Tıp (115), Beşirli-KTÜ (120) ve Beşirli-Kaşüstü (121) hatlarının mevcut yaptıkları sefer sayıları, tahmini yapmaları gereken sefer sayılarına göre daha fazladır.

Örneğin, Beşirli-Fatih-Tıp (115) hattı normalde 3 sefer yaparken model sonucuna göre 1 sefer yapması gerektiği, Beşirli-KTÜ (120) hattı normalde 5 sefer yaparken 3 sefer yapması gerektiği ve Beşirli-Kaşüstü (121) hattı normalde 6 sefer yaparken 3 sefer yapması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Beşirli-Tıp (114) hattının sefer sayılarında herhangi bir değişiklik olmamıştır. Mevcut sefer sayılarında %38,88’lik bir azalma olmuştur. Buradan anlaşılabileceği üzere bu hatların mevcut yapılan sefer sayılarından daha az sefer yaparak problemin optimal çözümüne ulaşılabileceği sonucuna varılabilir.

$\alpha$  değişkeninin yer almadığı birinci modelin OR-Tools sonucu ise Şekil 13’te verilmiştir.

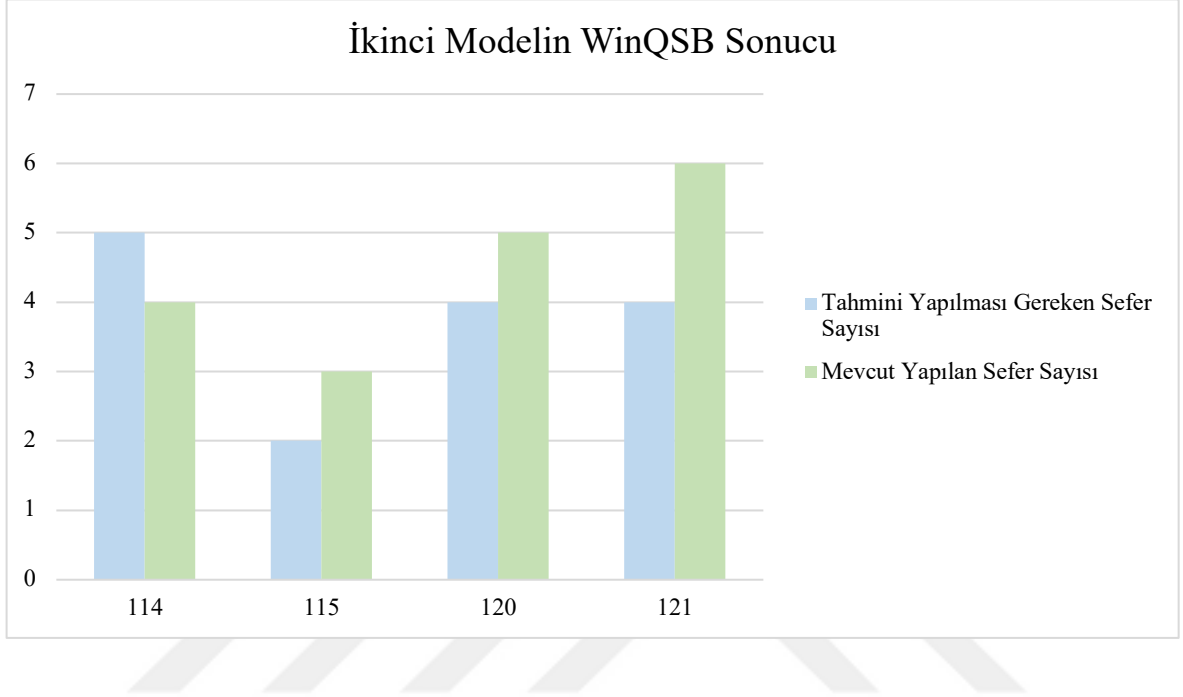


Şekil 7. Birinci modelin OR-Tools sonucu

Şekil 13’te yer alan grafik sonuçlarına göre, tüm hatların normalde yapmaları gereken sefer sayıları mevcut durumda yapılan sefer sayılarından daha düşük çıkmıştır. Beşirli-Kaşüstü (121) hattının sefer sayılarındaki düşüş diğer hatlara göre daha fazladır. Mevcut sefer sayılarında ise %44,44’lük bir azalma olmuştur. Bu durum modelin OR-Tools kütüphanesindeki bir çözücüyle elde edilen sonuçların performansının oldukça iyi olduğunu göstermektedir.

### 3.2. İkinci Model Sonuçlarının Değerlendirilmesi

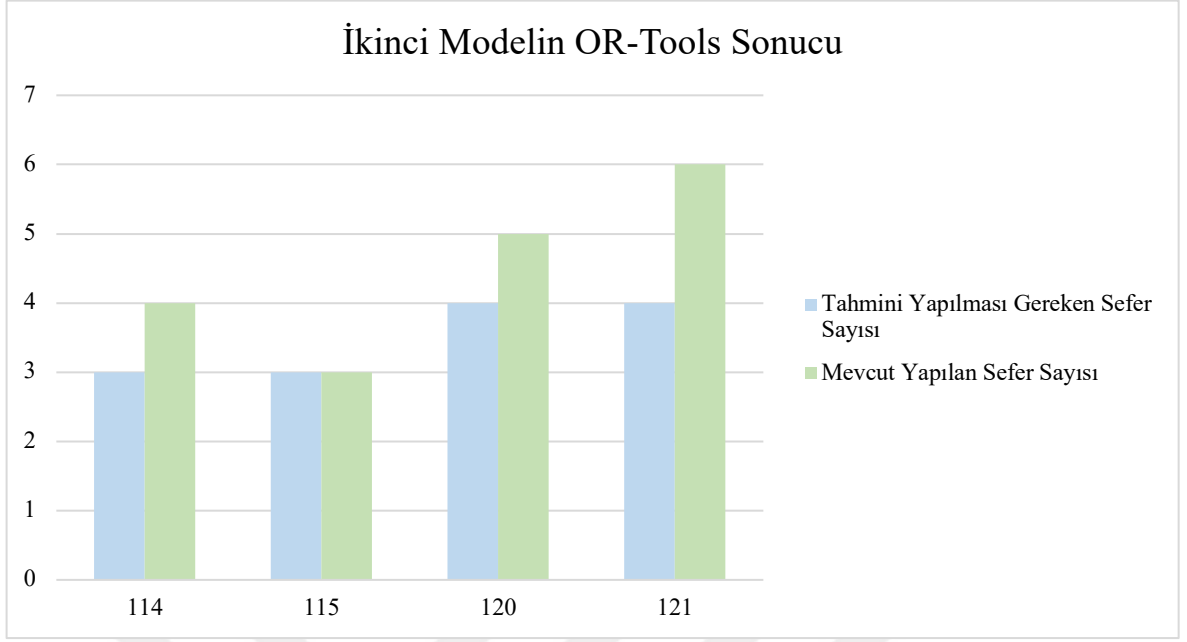
Tez kapsamında oluşturulan ikinci modelde  $\alpha$  değişkeni yer almaktadır ve elde edilen sonuçlar Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. İkinci modelin WinQSB sonucu

Burada, Beşirli-Fatih-Tıp (115), Beşirli-KTÜ (120) ve Beşirli-Kaşüstü (121) hatlarının mevcut sefer sayılarına göre tahmini sefer sayılarında azalma olmuştur. Örneğin, Beşirli-Fatih-Tıp (115) hattı normalde 3 sefer yaparken model sonucuna göre 2 sefer yapması gerektiği, Beşirli-KTÜ (120) hattı normalde 5 sefer yaparken 4 sefer yapması gerektiği ve Beşirli-Kaşüstü (121) hattı normalde 6 sefer yaparken 4 sefer yapması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Burada yalnızca Beşirli-Tıp (114) hattının tahmini yapması gereken sefer sayılarında artış görülmektedir. Mevcut yaptığı sefer sayısı 4 iken model sonucuna göre 5 sefer yapması gerektiği görülmektedir ve genele bakıldığında mevcut sefer sayılarında %16,66’lık bir azalma olmuştur.

$\alpha$  değişkeninin yer aldığı ikinci modelin OR-Tools sonucu Şekil 15’te verilmiştir.



Şekil 9. İkinci modelin OR-Tools sonucu

Şekil 15'teki grafik sonuçlarına göre, Beşirli-Tıp (114), Beşirli-KTÜ (120) ve Beşirli-Kaşüstü (121) hatlarının model sonucuna göre yapmaları gereken sefer sayıları mevcut durumda yaptıkları sefer sayılarından daha düşüktür. Beşirli-Fatih-Tıp (115) hattının sefer sayısı ise aynı kalmıştır. Genele bakıldığında mevcut sefer sayılarında %22,22'lik bir azalma olmuştur. Birinci modelde olduğu gibi bu durumda da OR-Tools kütüphanesindeki bir çözücüyle elde edilen sonuçların performansının daha iyi olduğu görülmektedir.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Artan nüfus ile kent içi yaşamda en büyük sorun haline gelen ulaşım için en iyi çözüm kaynağı toplu taşımacılık sistemleridir. Toplu taşımacılık sistemlerinin doğru ve düzenli kullanımı hem çevre hem trafik üzerindeki olumsuz etkileri azaltacaktır. Örneğin; Toplu taşıma araçlarından biri olan otobüsün gün içinde yaptığı sefer sayısının optimum sayıda olması çevrede meydana gelen olumsuz etkilerin azalmasına yardımcı olur. Diğer yandan hem maliyet açısından hem yolcu talepleri için de olumlu etkileri vardır. Mevcut durumda yapılan sefer sayılarının gerekenden fazla olması durumunda işletmeler için gereksiz maliyete, trafik sıkışıklığına ve gereksiz zaman kaybına yol açabilir.

Çalışmada Covid-19 döneminde Trabzon ilindeki dört otobüs hattının yapmış olduğu sefer sayıları iyileştirilmeye çalışılmıştır. TBB'ye bağlı dört otobüs hattı da Beşirli durağından sabah (07:00-09:00) saatlerinde yoğun talep olması nedeniyle seferlerine başlamaktadır. Bu yüzden bu saatler arasında dört otobüs hattı için gerekli veriler elde edilerek iki model oluşturulmuş, modellerin çözümü için DHP yöntemi kullanılmıştır. Modeller hem WinQSB paket programında hem de OR-Tools paket programında analiz edilmiştir. Birinci modelde otobüslerin o dönemdeki kapasiteleri kullanılmış, ikinci modelde ise Covid-19 dönemi olması sebebiyle yeni bir değişken modele eklenerek kapasite istenen oranda azaltılmıştır. Böylece iki modelden elde edilen sonuçlar karşılaştırılıp gerekli analizler yapılmış ve sonuçlar Tablo 15'de özetlenmiştir.

Tablo 15. Model sonuçları

|                                                                                | <i>WinQSB</i>                                                                                                 | <i>Python</i>                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Model 1</b><br>( <i><math>\alpha</math> modele dahil edilmediği durum</i> ) | Mevcut yapılan sefer sayılarında %38,88'lik bir azalma olmuştur.<br>Yazılım problemi 8 iterasyonda çözmüştür. | Mevcut yapılan sefer sayılarında %44,44'lük bir azalma olmuştur.<br>Yazılım problemi 9 iterasyonda çözülmüştür. |
| <b>Model 2</b><br>( <i><math>\alpha</math> modele dahil edildiği durum</i> )   | Mevcut yapılan sefer sayılarında %16,66'lık bir azalma olmuştur.<br>Yazılım problemi 7 iterasyonda çözmüştür. | Mevcut yapılan sefer sayılarında %22,22'lik bir azalma olmuştur.<br>Yazılım problemi 22 iterasyonda çözmüştür.  |

Sonuçlar birbiri ile kıyaslandığında OR-Tools paket programındaki çözümlerde mevcut sefer sayılarındaki azalmanın daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, programların çözücülerinin birbirinden farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Her iki paket program, optimizasyon modellerini dal-sınır yöntemi ile çözmektedir ancak dal-sınır yönteminin başlangıcında rastgele değişken seçilerek başlanır ve dallanarak birden fazla optimal çözüm bulunabilir. Bu yüzden programlar aynı yöntemi kullanmalarına rağmen farklı optimal çözümlere ulaşılabilir. Aynı zamanda modellerin bazı çözümlerinde Beşirli-Tıp (114) hattının mevcut sefer sayılarında değişim olmamakta veya mevcut sefer sayısına göre tahmini sefer sayısında artış görülmüştür. Bunun sebebi Beşirli-Tıp (114) hattının fazla yolcu yükünden kaynaklanmaktadır.

Diğer yandan  $\alpha$  değişkeninin de eklenmesiyle sonuçlar da bazı farklılıklar ortaya çıkmıştır. Bu değişkenin eklenmesindeki amaç Covid-19 gibi acil durum dönemlerinde otobüs kapasitelerinin normalden daha az olması gerektiğidir. Bu isteği karşılayacak olan  $\alpha$  değişkeninin eklenmesiyle kapasite değerlerinde azalma meydana geldiği için değişkenin eklenmediği modele göre mevcut sefer sayılarındaki azalma oranı daha düşüktür.

WinQSB paket programının modelleri daha az iterasyon sayısı ile çözdüğü görülmektedir. Ancak OR-Tools paket programındaki çözümde mevcut sefer sayılarındaki azalma WinQSB paket programına göre daha fazladır. En başarılı sonuç, modele değişkenin eklenmediği durumda OR-Tools paket programının 9 iterasyonda çözmesiyle elde edilmiştir ve mevcut sefer sayılarında %44,44'lük bir azalma olmuştur. Bu durum hem işletmeler hem de yolcular için daha iyi bir çözüm sunmaktadır. Mevcut sefer sayılarındaki ciddi azalma gereksiz zaman kaybının ve gereksiz maliyetin oluşmasını engelleyebilir.

Bu çalışmanın devamında, farklı optimizasyon yaklaşımları kullanılarak başarımların karşılaştırılması yapılması planlanmaktadır. Ayrıca, bu tez kapsamında yapılan çalışmaya şoför atama, sefer sıklıkları gibi farklı problemler de eklenerek bir şehrin toplu taşıma sisteminin planlanmasına yönelik bir araç geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla, geliştirilen modele yeni kısıtlar eklenmesi ve çoklu amaç fonksiyonlu yaklaşımların denenmesi söz konusudur. Bununla birlikte, akıllı optimizasyon yaklaşımlarının da bu probleme entegre edilerek, hesaplama gereksiniminin azaltılması yapılacak çalışmalar kapsamında planlanmıştır.

## 5. KAYNAKLAR

- Acharya, S., Nanda, S., ve Mishra, B. B. (2011). Solving Multi-Choice Linear Goal Programming Problem with Preemptive Priorities. *OMS*, 30, 52-70.
- Akbulut, F. (2016). Kentsel Ulaşım Hizmetlerinin Planlanması ve Yönetiminde Sürdürülebilir Politika Önerileri. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11, 336-355.
- Alp, S. (2008). *Doğrusal Hedef Programlama Yöntemi Kullanılarak Kentiçi Otobüsle Toplu Taşıma Sistemi için Bir Model Oluşturulması ve Uygulanması* [Doktora Tezi]. Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Altuntaş, C., Sargut, Z., ve Çetin Tulazoğlu, D. (2016). Toplu taşımada hatlara optimum araç ve şoför atama karar destek sistemi. *XVIII. Akademik Bilişim Konferansı*.
- Bakırcı, M. (2020). Ulaşım ve Coğrafya: Türkiye’de Ulaşım Coğrafyası Literatür Analizi. *Türkiye Araştırmaları Literatür Dergisi*, 17(34), 381-420.
- Charnes, A., ve Cooper, W. W. (1957). Management Models and Industrial Applications of Linear Programming. *Management Science*, 4(1), 38-91.
- Cheng, Y. H., ve Chen, S. Y. (2015). Perceived accessibility, mobility, and connectivity of public transportation systems. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77, 386-403.
- Ciancio, C., Laganà, D., Musmanno, R., ve Santoro, F. (2018). An integrated algorithm for shift scheduling problems for local public transport companies. *Omega (United Kingdom)*, 75, 1339-1351.
- Cinemre, N. (2004). *Yöneylem Araştırması* (2. bs). Beta Basım Yayım.
- Dávid, B., ve Krész, M. (2020). Multi-depot bus schedule assignment with parking and maintenance constraints for intercity transportation over a planning period. *Transportation Letters*, 12(1), 66-75.
- Deb, K. (1999). Solving goal programming problems using multi-objective genetic algorithms. *Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation, CEC 1999*, 1, 77-84.
- Deri, A. (2012). *Akıllı Kart Verileri Kullanılarak Toplu Ulaşım Yolculuk Talebinin Belirlenmesi ve Sefer Çizelgeleme Optimizasyonu* [Doktora Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Gkiotsalitis, K., ve Kumar, R. (2018). Bus Operations Scheduling Subject to Resource Constraints Using Evolutionary Optimization. *Informatics*, 5(1), 9.
- Greene, R., Devillers, R., Luther, J. E., ve Eddy, B. G. (2011). GIS-Based Multiple-Criteria Decision Analysis. *Geography Compass*, 5(6), 412-432.
- Güner, S. (2018). Measuring the quality of public transportation systems and ranking the bus transit routes using multi-criteria decision making techniques. *Case Studies on Transport Policy*, 6(2), 214-224. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2018.05.005>
- Hamurcu, M., Alağaç, H. M., ve Eren, T. (2017). Selection Of Rail System Projects with Analytic Hierarchy Process and Goal Programming. *Sigma J Eng & Nat Sci*, 8(4), 291-302.
- Hamurcu, M., ve Eren, T. (2018). Transportation planning with analytic hierarchy process and goal programming. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 02(02), 92-097.
- Ho, W., Dey, P. K., ve Higson, H. E. (2006). Multiple criteria decision-making techniques in higher education. *International Journal of Educational Management*, 20(5), 319-337.
- Ignizio, J. P. (1985). *Introduction to linear goal programming*. Sage Publications.
- Jones, D., ve Tamiz, M. (2010). *Practical Goal Programming* (C. 141). Springer US.
- Karaatlı, M., Ömürbek, N., Budak, İ., ve Dağ, O. (2015). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Yaşanabilir İllerin Sıralanması. *The Journal of Selcuk University Social Sciences Institute*, 33, 215-228.
- Karaoğlu, İ., ve Altıparmak, F. (2005). Konkav Maliyetli Ulaştırma Problemi için Genetik Algoritma Tabanlı Sezgisel Bir Yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(4), 443-445.
- Khan, A. W. (1989). *Integer Goal Programming*. Aligarh Muslim University, Department of Statistics, Hindistan.
- Kıran, M. S., ve Gündüz, M. (2012). Arı Kolonisi Optimizasyon Algoritması Kullanarak Şoför-Hat-Zaman Çizelgeleme. *Selçuk Teknik Dergisi*, 11(2), 71-81.
- Köğmen, Z. (2014). *Karayolu Taşımacılığının Diğer Taşımacılık Modlarıyla Karşılaştırılması ve Sağladığı Avantajlar*. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı.

- Kumar, B. A., Jairam, R., Arkatkar, S. S., ve Vanajakshi, L. (2019). Real time bus travel time prediction using k-NN classifier. *Transportation Letters*, 11(7), 362-372.
- Kwak, N. K., ve Schniederjans, M. J. (1987). *Introduction to Mathematical Programming*. R.E. Krieger Publishing Company.
- Lam, A. Y. S., Leung, Y. W., ve Chu, X. (2016). Autonomous-Vehicle Public Transportation System: Scheduling and Admission Control. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(5), 1210-1226.
- Lee, S. M., ve Olson, D. L. (1999). *Goal Programming* (ss. 203-235).
- Li, X., Chen, H., ve Ma, J. (2010). Method for optimization of urban public transport network based on AHP and entropy. *Proceedings - 2010 International Conference on Optoelectronics and Image Processing, ICOIP 2010, 1*, 699-702.
- Mendoza, G. A., ve Prabhu, R. (2000). Multiple criteria decision making approaches to assessing forest sustainability using criteria and indicators: a case study. *Forest Ecology and Management*, 131(1-3), 107-126.
- Michel, S., ve Chidlovskii, B. (2016, Eylül 30). Stochastic optimization of public transport schedules to reduce transfer waiting times. *IEEE 2nd International Smart Cities Conference: Improving the Citizens Quality of Life, ISC2 2016 - Proceedings*.
- Mohammed, G. T., ve Hordofa, B. G. (2016). The Modified Sequential Linear Goal Programming Method for Solving Multiple Objectives Linear Programming Problems. *Pure and Applied Mathematics Journal*, 5(1), 1.
- Muti, B. Ş. (2018). *Toplu Taşıma Planlamasında Otobüs Atama Optimizasyonu*. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Orumie, U. C., ve Ebong, D. (2014). A Glorious Literature on Linear Goal Programming Algorithms. *American Journal of Operations Research*, 04(02), 59-71.
- Özcan, T. (2018). *Kentiçi Toplu Taşıma Sistemlerinde Sefer Sıklığı Optimizasyonu*. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Özoğlu, B., ve Demirci, S. B. (2021). Türkiye’de karayolu taşımacılığının değerlendirilmesi: Bir literatür taraması. *Academic Review of Economics and Administrative Sciences*, 14(2), 670-687.
- Oztemiz, F., ve Yeroğlu, C. (2019, Ocak 21). Malatya Public Transportation Route Optimization via Ant Colony Algorithm. *2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing, IDAP 2018*.

Öztürk, A. (2021). *Yöneylem Araştırması* (17. bs). Ekin Yayınevi.

Pyrga, E., Schulz, F., Wagner, D., ve Zaroliagis, C. (2008). Efficient models for timetable information in public transportation systems. *ACM Journal of Experimental Algorithmics*, 12.

Romero, C. (1991). *Handbook of Critical Issues in Goal Programming*. Elsevier.

Shapiro, J. F. (2001). Modeling and IT Perspectives on Supply Chain Integration. *Information Systems Frontiers*, 3(4), 455-464.

Shiripour, S., Mahdavi-Amiri, N., ve Mahdavi, I. (2017). A transportation network model with intelligent probabilistic travel times and two hybrid algorithms. *Transportation Letters*, 9(2), 90-122.

Taylan, E. (2013). *Genetik Algoritma İle Toplu Ulaşım Sistemi Hareket Çizelgesi Optimizasyonu: Çanakkale Örneği*. Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Uludağ, N. (2010). *Bulanık Optimizasyon ve Doğrusal Hedef Programlama Yaklaşımları ile Otobüs Hatlarının Modellenmesi*. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

Vuchic, V. R. (1981). *Urban Public Transportation; Systems And Technology*.

## 6. EKLER

### EK-1 SEFER HEDEF KISITI

```

T = 120

expr = None

for hat in hatlar:
    sure = hat["sure"]["gidis"]
    hat_id = hat["hat"]
    for otobus in OtobusModelleri:
        otobus_tur = otobus["model"]
        degisken = otobus_sefer_sayilari[(hat_id, otobus_tur)]

        if expr is None:
            expr = degisken * sure
        else:
            expr += degisken * sure

expr += T * Duzeltme_Degiskenleri[1] - T * Duzeltme_Degiskenleri[0]

solver.Add(expr <= Toplam_Otobus_Sayisi * T)

print("Sefer Süre Kısıtı eklendi!")

```

**EK-2 SEFER SÜRE KISITI**

```
for otobus in OtobusModelleri:
    otobus_tur = otobus["model"]
    otobus_sayisi = otobus["otobus_sayisi"]

    expr = None

    for hat in hatlar:
        hat_id = hat["hat"]
        sure = hat["sure"]["gidis"]
        degisken = otobus_sefer_sayilari[(hat_id, otobus_tur)]

        if expr is None:
            expr = sure * degisken
        else:
            expr += sure * degisken

    solver.Add(expr <= T * otobus_sayisi)

print("Süre hedef kısıtları eklendi!")
```

### EK-3 DURAK KISITLARI

```

for durak in duraklar:
    binen_kisi = math.ceil(durak["binen_kisi"])

    expr = None

    for hat in durak["gecen_hatlar"]:
        for otobus in OtobusModelleri:
            otobus_tur = otobus["model"]
            alpha_1 = 1
            alpha_2 = 1
            oturan = otobus["kapasite"]["oturan"]
            ayakta = otobus["kapasite"]["ayakta"]
            C = (oturan * alpha_1) + (ayakta * alpha_2)

            degisken = otobus_sefer_sayilari[(hat, otobus_tur)]

            if expr is None:
                expr = C * degisken
            else:
                expr += C * degisken

    solver.Add(expr >= binen_kisi)

print("Durak kısıtları eklendi!")

```

**EK-4 KISIT 1**

```
for otobus in OtobusModelleri:
    model = otobus["model"]

    expr = None

    for hat in hatlar:
        hat_no = hat["hat"]

        if expr is None:
            expr = otobus_sefer_sayilari[(hat_no, model)] * 1
        else:
            expr += otobus_sefer_sayilari[(hat_no, model)] * 1

    solver.Add(expr >= 1)
```

**EK-5 KISIT 2**

```
for hat in hatlar:
    hat_no = hat["hat"]

    expr = None

    for otobus in OtobusModelleri:
        model = otobus["model"]

        if expr is None:
            expr = otobus_sefer_sayilari[(hat_no, model)] * 1
        else:
            expr += otobus_sefer_sayilari[(hat_no, model)] * 1

    solver.Add(expr >= 1)
```

**EK-6 AMAÇ FONKSİYONU**

```
amac = None

for hat, otobus in otobus_sefer_sayilari:
    degisken = otobus_sefer_sayilari[(hat, otobus)]

    if amac is None:
        amac = degisken * 1
    else:
        amac += degisken * 1

solver.Minimize(amac)
```



## EK-7 ÇÖZÜM

```

cozum = solver.Solve()

if cozum == pywraplp.Solver.OPTIMAL:
    son_hat = ""
    for hat, otobus in otobus_sefer_sayilari:
        degisken = otobus_sefer_sayilari[(hat, otobus)]
        if hat != son_hat:
            print("HAT : {}".format(hat))
            son_hat = hat
        if degisken.solution_value() > 0:
            print("\tOtobus {} Sefer Sayısı : {}".format(otobus,
degisken.solution_value()))
            print("d1-:", Duzeltme_Degiskenleri[1].solution_value())
            print("d1+:", Duzeltme_Degiskenleri[0].solution_value())

print('\nGelişmiş bilgiler:')
print('Problem %f milisaniyede çözüldü' % solver.wall_time())
print('Problem %d iterasyonda çözüldü' % solver.iterations())
print('Problem %d dallan ve sınırla düğümü ile çözüldü' % solver.nodes())

```

**EK-8 SONUÇ 1**

HAT : 114  
    Otobus B Sefer Sayısı : 1.0  
    Otobus C Sefer Sayısı : 1.0  
    Otobus D Sefer Sayısı : 1.0  
HAT : 115  
    Otobus B Sefer Sayısı : 1.0  
HAT : 120  
    Otobus B Sefer Sayısı : 2.0  
    Otobus E Sefer Sayısı : 1.0  
HAT : 121  
    Otobus A Sefer Sayısı : 1.0  
    Otobus D Sefer Sayısı : 2.0  
d1-: -0.0  
d1+: 83.0

Gelişmiş bilgiler:  
Problem 103.000000 milisaniyede çözüldü  
Problem 9 iterasyonda çözüldü  
Problem 1 dallan ve sınırla düğümü ile çözüldü

**EK-9 SONUÇ 2**

HAT : 114  
    Otobus D Sefer Sayısı : 3.0  
HAT : 115  
    Otobus D Sefer Sayısı : 3.0  
HAT : 120  
    Otobus A Sefer Sayısı : 1.0  
    Otobus B Sefer Sayısı : 1.0  
    Otobus E Sefer Sayısı : 2.0  
HAT : 121  
    Otobus C Sefer Sayısı : 4.0  
d1-: -0.0  
d1+: 83.0

Gelişmiş bilgiler:

Problem 86.000000 milisaniyede çözüldü

Problem 22 iterasyonda çözüldü

Problem 1 dallan ve sınırla düğümü ile çözüldü

## EK-10 BEŞİRLİ-FATİH-TIP GİDİŞ YÖNÜNDEKİ GÜZERGAH BİLGİLERİ



Şekil 10. Beşirli-Fatih-Tıp gidiş güzergâhı

Tablo 16. Beşirli-Fatih-Tıp gidiş yönündeki duraklar

| Beşirli-Fatih-Tıp |                              |      |                                   |
|-------------------|------------------------------|------|-----------------------------------|
| 60                | BEŞİRLİ İLK DURAK            | 34   | ATAPARK                           |
| 61                | ÇEVRE ŞEHİRCİLİK MÜDÜRLÜĞÜ 3 | 35   | BAHÇECİK YOL AYRIMI               |
| 62                | IMKB OKUL 1                  | 36   | HACI KASIM CAMİİ 2                |
| 63                | SPOR KOMPLEKSİ 1             | 37   | ZEYTİNLİK                         |
| 64                | İHSAN KOZ İLKOKULU 1         | 39   | BARO                              |
| 65                | TANJANT 4                    | 40   | ESENTEPE AİLE YÖNLENDİRME MERKEZİ |
| 66                | TANJANT 5                    | 1038 | DEĞİRMENDERE 2                    |
| 67                | TANJANT 6                    | 497  | OTOGAR 2                          |
| 68                | TANJANT ELKAF EVLERİ 2       | 43   | DEMİRKIRLAR SANAYİ SİTESİ         |
| 69                | ADLİYE LOJMANLARI 1          | 44   | KALKINMA KAVŞAK 1                 |
| 25                | FATİH LİSESİ                 | 45   | GENÇLİK MERKEZİ 2                 |
| 28                | FATİH MAHALLESİ 2            | 46   | KALKINMA CAMİİ 2                  |
| 29                | FATİH HASTANESİ              | 6    | KALKINMA ECZANELER                |
| 30                | TİCARET LİSESİ               | 5    | KTÜ B KAPISI 2                    |
| 31                | TS AVNİ AKER STADI KARŞISI   | 4    | FARABİ HASTANESİ 2                |
| 32                | TRABZON LİSESİ               | 3    | FARABİ HASTANESİ SON DURAK        |
| 33                | VALİLİK 2                    |      |                                   |

## EK-11 BEŞİRLİ-KTÜ GİDİŞ YÖNÜNDEKİ GÜZERGAH BİLGİLERİ

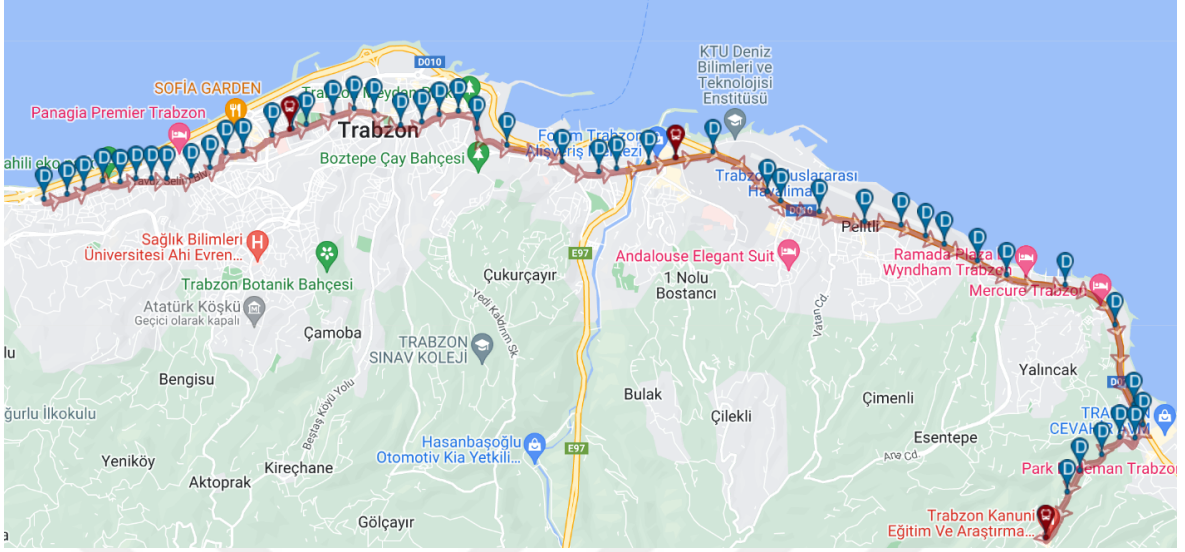


Şekil 11. Beşirli-KTÜ gidiş güzergâhı

Tablo 17. Beşirli-KTÜ gidiş yönündeki duraklar

| Beşirli-KTÜ |                                       |      |                                   |
|-------------|---------------------------------------|------|-----------------------------------|
| 60          | BEŞİRLİ İLK DURAK                     | 193  | 24 SUBAT İLKOGRETİM OKULU 1       |
| 61          | ÇEVRE ŞEHİRCİLİK MÜDÜRLÜĞÜ 3          | 194  | HAMZA PAŞA CAMİİ 2                |
| 62          | IMKB İLKOGRETİM OKULU ALTI            | 195  | ÜLKÜ İLKÖĞRETİM OKULU             |
| 63          | SPOR KOMPLEKSİ 1                      | 35   | BAHÇECİK YOL AYRIMI               |
| 64          | İHSAN KOZ İLKOKULU 1                  | 36   | HACI KASIM CAMİİ 2                |
| 65          | TANJANT 4                             | 37   | ZEYTİNLİK                         |
| 66          | TANJANT 5                             | 39   | BARO                              |
| 67          | TANJANT 6                             | 40   | ESENTEPE AİLE YÖNLENDİRME MERKEZİ |
| 68          | TANJANT ELKAF EVLERİ 2                | 1038 | DEĞİRMENDERE 2                    |
| 69          | ADLİYE LOJMANLARI 1                   | 497  | OTOGAR 2                          |
| 70          | TANJANT FATİH LİSESİ 3                | 43   | DEMİRKIRLAR İŞ MERKEZİ            |
| 71          | TANJANT MEHMET AKİF ERSOY ALTGEÇİDİ 2 | 104  | KALKINMA KAVŞAĞI 2                |
| 190         | KARADENİZ MEDİCAL PARK                | 105  | FORUM AVM 2                       |
| 191         | KAREMAR ÖNÜ FATİH HAST.ÜSTÜ           | 107  | KTÜ C KAPISI 1                    |
| 192         | TANJANT TEVFİK SERDAR ANADOLU LİSESİ  |      |                                   |

## EK-12 BEŞİRLİ-KAŞÜSTÜ GİDİŞ YÖNÜNDEKİ GÜZERGÂH BİLGİLERİ



Şekil 12. Beşirli-Kaşüstü gidiş güzergâhı

Tablo 18. Beşirli-Kaşüstü gidiş yönündeki duraklar

| Beşirli-Kaşüstü |                              |      |                                   |        |                                |
|-----------------|------------------------------|------|-----------------------------------|--------|--------------------------------|
| 60              | BEŞİRLİ İLK DURAK            | 35   | BAHÇECİK YOL AYRIMI               | 114    | PELİTLİ AVRASYA ÜNİVERSİTESİ 1 |
| 61              | ÇEVRE ŞEHİRCİLİK MÜDÜRLÜĞÜ 3 | 36   | HACI KASIM CAMİİ 2                | 115    | ÇİMENLİ YOL AYRIMI 1           |
| 62              | IMKB OKUL 1                  | 37   | ZEYTİNLİK                         | 116    | İLAHİYAT FAKÜLTESİ             |
| 63              | SPOR KOMPLEKSİ 1             | 39   | BARO                              | TABELA |                                |
| 64              | İHSAN KOZ İLKOKULU 1         | 40   | ESENTEPE AİLE YÖNLENDİRME MERKEZİ | 117    | DEVLET MALZEME OFİSİ 1         |
| 65              | TANJANT 4                    | 1038 | DEĞİRMENDERE 2                    | TABELA |                                |
| 66              | TANJANT 5                    | 497  | OTOGAR 2                          | 118    | İLLER BANKASI                  |
| 67              | TANJANT 6                    | 43   | DEMİRKIRLAR SANAYİ SİTESİ         | TABELA |                                |
| 68              | TANJANT ELKAF EVLERİ 2       | 104  | KALKINMA KAVŞAK 2                 | 119    | YALINCAK CAMİİ                 |
| 69              | ADLİYE LOJMANLARI 1          | 105  | FORUM AVM 2                       | 120    | KANUNİ HASTANESİ YOL AYRIMI    |
| 25              | FATİH LİSESİ                 | 107  | KTÜ C KAPISI 1                    | 121    | KAŞÜSTÜ ÇOK PROG.LİSE 1        |
| 28              | FATİH MAHALLESİ 2            | 108  | GAZİ MUSTAFA KEMAL CADDESİ        | 122    | KAŞÜSTÜ KANUNİ HASTANESİ 1     |
| 29              | FATİH HASTANESİ              | 109  | KONAKLAR MAHALLESİ                | 123    | KAŞÜSTÜ KANUNİ HASTANESİ 2     |
| 30              | TİCARET LİSESİ               | 777  | PELİTLİ TEİAŞ                     | 124    | KAŞÜSTÜ KANUNİ HASTANESİ 3     |

Tablo 18'in devamı.

| <b>Beşirli-Kaşüstü</b> |                               |     |           |       |                               |
|------------------------|-------------------------------|-----|-----------|-------|-------------------------------|
| 31                     | TS AVNİ AKER STADI<br>KARŞISI | 111 | PELİTLİ 1 | 125   | KAŞÜSTÜ KANUNİ<br>HASTANESİ 4 |
| 32                     | TRABZON LİSESİ                | 112 | MTA1      | DURAK |                               |
| 33                     | VALİLİK 2                     | 113 | PELİTLİ 3 | 126   | KAŞÜSTÜ KANUNİ<br>HASTANESİ 5 |
| 34                     | ATAPARK                       |     |           |       |                               |

### EK-13 BEŞİRLİ-FATİH-TIP DÖNÜŞ YÖNÜNDEKİ GÜZERGAH BİLGİLERİ

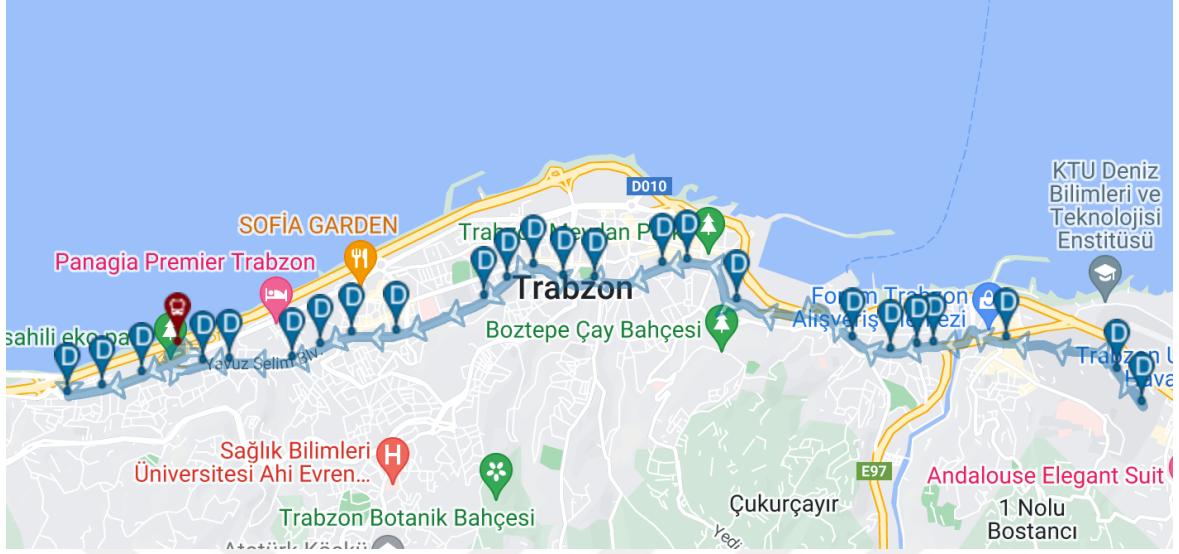


Şekil 13. Beşirli-Fatih-Tip dönüş güzergâhı

Tablo 19. Beşirli-Fatih-Tip dönüş yönündeki duraklar

| Beşirli-Fatih-Tip |                            |    |                              |
|-------------------|----------------------------|----|------------------------------|
| 3                 | FARABİ HASTANESİ SON DURAK | 19 | NUMUNE HASTANESİ 1           |
| 4                 | FARABİ HASTANESİ 1         | 20 | 19 MAYIS KAPALI SPOR SALONU  |
| 5                 | KTÜ B KAPISI 1             | 21 | TS AVNİ AKER STADI 1         |
| 6                 | KALKINMA ECZANELER         | 22 | FATİH HASTANESİ 1            |
| 7                 | KALKINMA CAMİİ 1           | 23 | FATİH HASTANESİ 2            |
| 8                 | GENÇLİK MERKEZİ 1          | 24 | FATİH MAHALLESİ 1            |
| 9                 | SANAYİİ 1                  | 25 | FATİH LİSESİ                 |
| 10                | SANAYİİ 2                  | 52 | ADLİYE LOJMANLARI 2          |
| 11                | OTOGAR 1                   | 53 | TANJANT ELKAF EVLERİ 1       |
| 12                | DEĞİRMENDERE 1             | 54 | TANJANT 1                    |
| 13                | ARAFİLBOYU                 | 55 | TANJANT 2                    |
| 14                | MEYDAN CAN BAKKAL ÖNÜ      | 56 | TANJANT 3                    |
| 15                | HACI KASIM CAMİİ 1         | 57 | IMKB OKULU 2                 |
| 16                | ORTAHİSAR                  | 58 | ÇEVRE ŞEHİRCİLİK MÜDÜRLÜĞÜ 2 |
| 17                | ŞENOL GÜNEŞ CADDESİ        | 59 | BEŞİRLİ SON DURAK            |
| 18                | VALİLİK 1                  |    |                              |

## EK-14 BEŞİRLİ-KTÜ DÖNÜŞ YÖNÜNDEKİ GÜZERGAH BİLGİLERİ

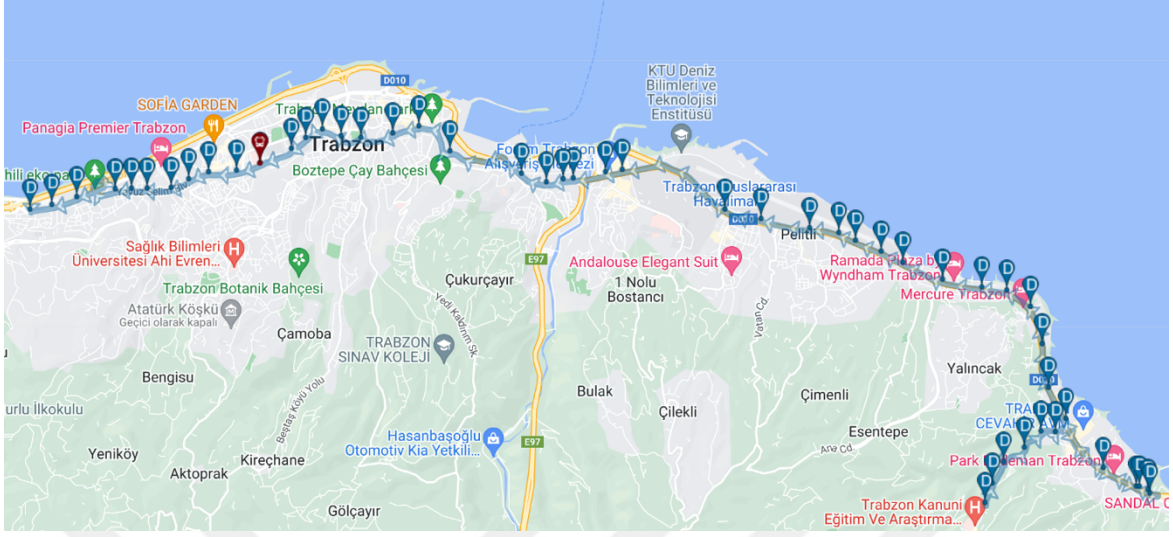


Şekil 14. Beşirli-KTÜ dönüş güzergâhı

Tablo 20. Beşirli-KTÜ dönüş yönündeki duraklar

| Beşirli-KTÜ |                            |       |                                       |
|-------------|----------------------------|-------|---------------------------------------|
| 107         | KTÜ C KAPISI 1             | 146   | GÜLBAHARHATUN CAMİİ                   |
| 108         | GAZİ MUSTAFA KEMAL CADDESİ | 147   | HAMZAPAŞA CAMİİ 1                     |
| 109         | KONAKLAR MAHALLESİ         | 148   | 24 ŞUBAT İLKÖĞRETİM 2                 |
| 141         | HAVAALANI                  | 10000 | TANJANT TEVFIK SERDAR ANADOLU LİSESİ  |
| 142         | HAVAALANI KONAKLAR         | 150   | TANJANT FATİH HASTANESİ               |
| 143         | KTÜ C KAPISI 2             | 50    | TANJANT MEHMET AKİF ERSOY ALTGEÇİDİ 1 |
| 144         | FORUM AVM 1                | 51    | FATİH LİSESİ 2                        |
| 145         | KALKINMA SAPAĞI            | 52    | ADLİYE LOJMANLARI 2                   |
| 9           | SANAYİİ 1                  | 53    | TANJANT ELKAF EVLERİ 1                |
| 10          | SANAYİİ 2                  | 54    | TANJANT 1                             |
| 11          | OTOĞAR 1                   | 55    | TANJANT 2                             |
| 12          | DEĞİRMENDERE 1             | 56    | TANJANT 3                             |
| 13          | ARAFİLBOYU                 | 57    | İMKB OKULU 2                          |
| 14          | MEYDAN CAN BAKKAL ÖNÜ      | 58    | ÇEVRE ŞEHİRCİLİK MÜDÜRLÜĞÜ 2          |
| 15          | HACI KASIM CAMİİ 1         | 59    | BEŞİRLİ SON DURAK                     |
| 16          | ORTAHİSAR                  |       |                                       |

### EK-15 Beşirli-Kaşüstü Dönüş Yönündeki Güzergâh



Şekil 15. Beşirli-Kaşüstü dönüş güzergâhı

Tablo 21. Beşirli-Kaşüstü dönüş yönündeki duraklar

| Beşirli-Kaşüstü |                                |      |                                       |
|-----------------|--------------------------------|------|---------------------------------------|
| 126             | KAŞÜSTÜ KANUNİ HASTANESİ 5     | 9    | SANAYİİ 1                             |
| 127             | KAŞÜSTÜ TOKİ                   | 10   | SANAYİİ 2                             |
| 125             | KAŞÜSTÜ KANUNİ HASTANESİ 4     | 11   | OTOGAR 1                              |
| 124             | KAŞÜSTÜ KANUNİ HASTANESİ 3     | 12   | DEĞİRMENDERE                          |
| 123             | KAŞÜSTÜ KANUNİ HASTANESİ 2     | 13   | ARAFİLBOYU                            |
| 122             | KAŞÜSTÜ KANUNİ HASTANESİ 1     | 14   | MEYDAN CAN BAKKAL ÖNÜ                 |
| 128             | KAŞÜSTÜ ÇOK PROG.LİSE 2        | 15   | HACI KASIM CAMİİ 1                    |
| 129             | CEVAHİR AVM                    | 16   | ORTAHİSAR                             |
| 131             | DSİ LOJMANLARI                 | 146  | GÜLBAHARHATUN CAMİİ                   |
| 132             | DSİ BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ            | 147  | HAMZAPAŞA CAMİİ 1                     |
| 133             | TELEKOM EĞİTİM YERLEŞKESİ      | 148  | 24 ŞUBAT İLKÖĞRETİM 2                 |
| 134             | DEVLET MALZEME OFİSİ 2         | 1000 | TANJANT TEVFİK SERDAR ANADOLU LİSESİ  |
| 135             | ADLİ TIP 1                     | 150  | TANJANT FATİH HASTANESİ               |
| 136             | ÇİMENLİ                        | 50   | TANJANT MEHMET AKİF ERSOY ALTGEÇİDİ 1 |
| 137             | PELİTLİ AVRASYA ÜNİVERSİTESİ 2 | 51   | FATİH LİSESİ 2                        |
| 138             | PELİTLİ 2                      | 52   | ADLİYE LOJMANLARI 2                   |
| 139             | MTA 2                          | 53   | TANJANT ELKAF EVLERİ 1                |
| 140             | PELİTLİ MAHALLESİ              | 54   | TANJANT 1                             |

Tablo 13'ün devamı.

| <b>Beşirli-Kaşüstü</b> |                    |    |                                 |
|------------------------|--------------------|----|---------------------------------|
| 141                    | HAVAALANI          | 55 | TANJANT 2                       |
| 142                    | HAVAALANI KONAKLAR | 56 | TANJANT 3                       |
| 143                    | KTÜ C KAPISI 2     | 57 | İMKB OKULU 2                    |
| 144                    | FORUM AVM 1        | 58 | ÇEVRE ŞEHİRCİLİK<br>MÜDÜRLÜĞÜ 2 |
| 145                    | KALKINMA SAPAĞI 2  | 59 | BEŞİRLİ SON DURAK               |

## ÖZGEÇMİŞ

Beyzanur SİYAH ilköğrenimini Cudibey İlköğretim Okulu'nda bitirdikten sonra lise eğitimini Gazi Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2015 yılında girdiği KTÜ, Fen Fakültesi, İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri Bölümü'nden 2019'da mezun oldu. 2019 yılında KTÜ, Fen Fakültesi, İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri Bölümü'nde yüksek lisans eğitimi alırken 2022 yılında aynı bölümde araştırma görevlisi olarak atandı.

