

T.C.  
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

**YENİ HAT AÇILIMINDA OPTİMUM FAYDA  
SAĞLANMASI VE BİR ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ  
UYGULAMASI**

(Yüksek Lisans Tezi)

Tezi Hazırlayan:

**Hasan BAŞARAN**

İstanbul, 2018

T.C.  
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

**YENİ HAT AÇILIMINDA OPTİMUM FAYDA  
SAĞLANMASI VE BİR ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ  
UYGULAMASI**  
(Yüksek Lisans Tezi)

Tezi Hazırlayan:

**Hasan BAŞARAN**

Öğrenci No:

140792003

Danışman:

Yrd. Doç. Dr. Sebahattin Kerem AYTULUN

İstanbul, 2018

## YEMİN METNİ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Yeni Hat Açılımlında optimum Fayda Sağlanması ve Bir Araç Rotalama Problemi Uygulaması” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmamın içinde kullanıldıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım. 06.02.2018

Aday: **Hasan BAŞARAN**



T.C.  
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ SAVUNMA SINAVI SONUÇ TUTANAĞI

Beykent Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Aşağıda tez adı belirtilen yüksek lisans öğrencisi 160292003 no'lu Hasan Borazan in 6.12.18 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda 53 dakika süreyle sunduğu ve savunduğu tezi hakkında oybirliğiyle, Kabul kararı verilmiştir.

Bilgilerinize saygularımızla arz ederiz.

Anabilim Dalı : Enstitü Mh.  
Programı : Enstitü Mh.  
Tez Başlığı : Yeni Hat Akımında Optimum Foyda Sor. ve Bir Araç Katalama Problemi Uygulaması

Tez Sınav Jürisi

Öğretim Üyesi

Danışman : Yrd. Doç. Dr. K. AYDULUN  
Üye : Prof. Dr. Semra BİRGİN  
Üye : Yrd. Doç. Dr. Sezgin KILIC

İmza

1 Jüri üyeleri söz konusu tezin kendilerine teslim edildiği tarihten itibaren en geç bir ay içinde toplanarak öğrenciyi tez savunma sınavına alır. Belirlenen günde yapılamayan jüri toplantısı, katılanların hazırladığı bir tutanakla enstitü yönetimine bildirilir. Bu durumda jüri en geç onbeş gün içinde toplanarak adayı tez savunma sınavına alır. Tez savunma sınav süresi en az 45 dakikadır. Yüksek lisans tez savunma sınavı, tez çalışmasının sunulması ve bunu izleyen soru-yanıt bölümlerinden oluşur ve dinleyiciye açıktır. (Beykent Lisansüstü eğitim ve Öğretim Yönetmeliği-Madde30-3)

2 Tez sınavının tamamlanmasından sonra jüri, tez hakkında "kabul", "düzeltme" veya "red" kararı verir. Jüri başkanı, jüri üyelerince imzalanmış sınav tutanağını, tez sınavını izleyen üç gün içinde ilgili enstitü yönetimine teslim eder. Tezi başansız bulunan öğrencinin Enstitü ile ilişkisi kesilir. Tezi hakkında düzeltme kararı verilen öğrenci en geç üç ay içinde gerekli düzeltmeleri yaparak ve yönetmelikte belirtilen usullere uygun olarak tezini aynı jüri önünde yeniden savunur. Bu savunma sınavında da tezi kabul edilmeyen öğrencinin enstitü ile ilişkisi kesilir. (Beykent Lisansüstü eğitim ve Öğretim Yönetmeliği-Madde30-4)

3 İlerde doğabilecek aksaklıkların engellenmesi için tezin başlığının yazılması gerekmektedir.

**Adı ve Soyadı** : Hasan BAŞARAN  
**Danışmanı** : Yrd. Doç. Dr. Sebahattin Kerem AYTULUN  
**Türü ve Tarihi** : Yüksek Lisans, 2018  
**Alanı** : Endüstri Mühendisliği  
**Anahtar Kelimeler** : Araç Rotalama Problemi, Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama, Hat Planlama, Ulaşım

## ÖZ

### YENİ HAT AÇILIMINDA OPTİMUM FAYDA SAĞLANMASI VE BİR ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ UYGULAMASI

Bu çalışmada, İstanbul gibi kalabalık bir şehrin toplu ulaşımında araç rotalaması üzerine bir problem ele alınmıştır. Yeni açılacak hatların kapasiteleri göz önünde alınarak bu araçlara rota planlamaya çalışılmıştır.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi entegre toplu ulaşımın getirdiği faydaları göz önüne alarak, İstanbul'un Avrupa yakasına 15 adet aktarma merkezi oluşturmayı planlamaktadır. Yeni açılacak 3. Havalimanı için bu aktarma noktalarından açılacak hatlar ele alınmıştır.

Açılacak yeni hatlar optimize edilmeye çalışılmış ve en uygun rota belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışma sonucunda bu aktarma noktalarından çıkan araçlar, birden fazla noktaya uğrayarak yolculuk talebine cevap vermiştir. 4 farklı rota önerilmiştir. Araç kapasitesi ve yolculuk talebi değişkendir.

**Name and Surname** : Hasan BAŞARAN  
**Supervisor** : Assist. Prof. D.Sebahattin Kerem AYTULUN  
**Degree and Date** : Master, 2018  
**Major** : Industrial Engineering  
**KeyWords** : Problem of Routing Vehicles, Routing Vehicle with Limited Capacity, Planning Routes, Transportation

## **ABSTRACT**

### **PROVIDING OPTIMUM BENEFIT DURING PLANNING THE NEW ROUTES AND ONE IMPLEMENTATION**

This article addresses one certain problem on planning the new routes in a crowded city such as Istanbul. It is tried to organize the routes for the vehicles considering the capacity of the new routes that will be provided.

Istanbul Metropolitan Municipality is planning to establish fifteen (15) new transfer station in European Side of the city by considering the advantages of the integrated urban transportation. The routes to be directed from such transfer stations for the Airport 3 will be taken account in this article.

The new routes to be established will be tried to optimize and specify the most convenient route for abovementioned directing operation.

As a result of this article, the vehicles directed from such transfer points have been answered to the demand of transportation by visiting more than one station. Four different routes have been proposed. The capacity of the vehicles and demand of the transportation have been varied.

## İÇİNDEKİLER

|  |     |
|--|-----|
| <b>ÖZ</b> .....  | i   |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | ii  |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....   | v   |
| <b>TABLO LİSTESİ</b> .....   | vi  |
| <b>KISALTMALAR</b> .....   | vii |
| <b>1.GİRİŞ</b> .....   | 1   |
| <b>2. LİTERATÜR TARAMASI</b> .....   | 3   |
| <b>3.ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ</b> .....  | 4   |
| <b>4. ARAÇ ROTALAMA PROBLEM TÜRLERİ</b> .....                                | 8   |
| 4.1. Dinamik ve Statik Çevre Durumuna Göre Araç Rotalama Problemleri .....   | 9   |
| 4.1.1. Statik Araç Rotalama Problemi .....                                   | 9   |
| 4.1.2. Dinamik Araç Rotalama Problemleri .....                               | 10  |
| 4.2. Rotaların Durumlarına Göre Araç Rotalama Problemleri .....              | 10  |
| 4.2.1. Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemleri.....                            | 10  |
| 4.2.2. Açık Uçlu Araç Rotalama Problemleri.....                              | 10  |
| 4.3. Kısıtlarına Göre Araç Rotalama Problemleri.....                         | 11  |
| 4.3.1. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi .....                         | 11  |
| 4.3.2. Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi.....                            | 12  |
| 4.3.3. Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi .....                          | 12  |
| 4.3.4. Müşteri Tipi Farklı Araç Rotalama Problemi.....                       | 13  |
| 4.3.5. Karma Yükleme Araç Rotalama Problemi.....                             | 13  |
| 4.4. Yolların Durumuna Göre Araç Rotalama Problemleri .....                  | 13  |
| 4.4.1. Simetrik Yollu Araç Rotalama Problemleri .....                        | 13  |
| 4.4.2. Asimetrik Yollu Araç Rotalama Problemleri .....                       | 13  |
| <b>5. KAPASİTE KISITLI ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ UYGULAMASI VE ÇÖZÜMÜ</b> ..... | 14  |
| 5.1. Problemin Tanımı.....   | 14  |
| 5.2. Problemin Çözümü.....   | 17  |
| <b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....  | 19  |
| 6.1. Program Çıktısı .....   | 19  |
| 6.2. Sonuç.....  | 26  |

|                       |    |
|-----------------------|----|
| <b>7. SONUÇ</b> ..... | 27 |
| <b>KAYNAKÇA</b> ..... | 30 |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b> ..... | 31 |





## ŞEKİL LİSTESİ

|   |    |
|---|----|
| <b>Şekil 1:</b> Lojistik Sistemi Bileşenleri.....                                 | 4  |
| <b>Şekil 2:</b> Araç Rotalama Problemi.....                                       | 5  |
| <b>Şekil 3:</b> Araç Rotalama Problemi Çeşitleri .....                            | 9  |
| <b>Şekil 4:</b> Kapalı ve Açık Uçlu Rotalama Problemleri 11                       |    |
| <b>Şekil 5:</b> İstanbul Aktarma Noktaları ve 3. Havalimanı .....                 | 14 |
| <b>Şekil 6:</b> İstanbul Avrupa Yakası İlçe Merkezleri .....                      | 15 |
| <b>Şekil 7:</b> İstanbul Avrupa Yakası İlçe Merkezleri ve Aktarma Noktaları ..... | 15 |
| <b>Şekil 8:</b> Aktarma noktaları ve havalimanı koordinatları .....               | 18 |
| <b>Şekil 9:</b> Önerilen Rota .....   | 25 |

## TABLO LİSTESİ

|  |    |
|--|----|
| <b>Tablo 1:</b> İlçeler ve atanan aktarma noktaları..... | 16 |
| <b>Tablo 2:</b> Program girdisi .....                    | 18 |
| <b>Tablo 3:</b> Program Çıktısı.....                     | 25 |



## KISALTMALAR

|               |  |
|---------------|--|
| <b>ARP</b>    | : Araç rotalama problemi                     |
| <b>AUARP</b>  | : Açık Uçlu Araç Rotalama Problemleri        |
| <b>AYARP</b>  | : Asimetrik Yollu Araç Rotalama Problemleri  |
| <b>DARP</b>   | : Dinamik Araç Rotalama Problemleri          |
| <b>İBB</b>    | : İstanbul Büyükşehir Belediyesi             |
| <b>İETT</b>   | : İstanbul Elektrik Tünel Tranvay            |
| <b>KKARP</b>  | : Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi    |
| <b>KUARP</b>  | : Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemleri      |
| <b>KYARP</b>  | : Karma Yüklemeli Araç Rotalama Problemi     |
| <b>MKARP</b>  | : Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi      |
| <b>MTFARP</b> | : Müşteri Tipi Farklı Araç Rotalama Problemi |
| <b>SARP</b>   | : Statik Araç Rotalama Problemi              |
| <b>SYARP</b>  | : Simetrik Yollu Araç Rotalama Problemleri   |
| <b>ZPARP</b>  | : Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi     |

## 1.GİRİŞ

Araç rotalama problemleri günümüz şartlarında neredeyse her konuda karşımıza çıkmaktadır. İşletmelerin maliyetlerini düşürmek, müşteri taleplerine zamanında cevap vermek, rekabet konusunda güçlü olabilmek için çok iyi planlama yapmaları gerekmektedir.

Planlamanın önemi küresel ekonomide hayati rol oynamaktadır. Ulaşım alternatifleri geliştikçe, müşteriye ulaşma imkanı artmış dünyanın dört bir yanından pazara ulaşımlarının önü açılmıştır.

ARP işletmelerin problemlerine cevap ararken sadece yük taşımacılığı değil insan taşımacılığı ve ulaşım hizmetinde çalışan araçların rotalarının da planlanması için kullanılmaktadır. Ulaşım araçlarının sefer ve hat planlaması önemli bir problem oluşturmakta günümüzün dinamik şartlarında ve yüksek maliyetlerinde işletilmesi zor bir sistem meydana getirmektedir.

Bu çalışmada İBB bünyesinde hizmet veren İETT kuruluşunun oluşturacağı yeni hatların araç ihtiyacını karşılamaya yönelik problem ele alınmıştır.

İstanbul Avrupa yakasında 15 adet aktarma merkezinin oluşturulması planlanmaktadır. Bu aktarma merkezleri; uzun hatların kısaltılması, araçların kapasitesinin çok altında sefer yapmalarının engellenmesi, araçların boş bir şekilde başlangıç noktalarına dönmesinin engellenmesi(ölü kilometre), optimum sefer sayısı ve optimum araç sayısının sağlanması ve en önemlisi de tüm ulaşım modlarının entegrasyonu için (lastik tekerlekli taşımacılık, raylı sistemler ve deniz ulaşımı) oluşturulmaktadır.

İstanbul iline 2019 da açılacak 3. Havaalanı yapılmaktadır. Planlanan 3. havaalanının kapasitesi oldukça yüksek olacak ve yıllık 90.000.000 yolculuk beklenmektedir. Bu yolculukların, transit yolcuların sayısı çıkıldıktan sonra büyük bir kısmı İstanbul Toplu Taşıma modları ile karşılanacaktır.

Bu çalışmada; oluşturulan aktarma merkezlerinden, yeni havaalanına günlük tek yönlü 20.000 yolculuk olacağı düşünülmüştür. Aktarma merkezleri arasında ulaşımın ve havaalanı arasındaki ulaşımın sağlanması için çözüm aranmıştır.

15 aktarma istasyonu ve 16. nokta olarak havaalanı düşünölmüş ve bu 16 nokta çift yönlü olarak ulaşımın sağlanması için gerekli sefer sayısının bulunması amaçlanmıştır.

Bu problem, ARP olarak değeriendirilmiş ve mesafe kısıtına eş olarak zaman kısıtı eklenmiş kapasite kısıtlı araç rotalama problemi oolarak değeriendirilmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde ARP nin tanımını yapılmaya çalışılmış, konu ile ilgili kaynaklardan bilgi aktarılmaya çalışılmıştır.

İkinci bölümde Zaman Kısıtlı Araç Rotalama Problemlerini ilişkin literatür taraması yapılmıştır.

Üçüncü ve dördüncü bölümde araç rotalama problemi türlerinden bahsedilmiştir. Türlerine göre sınıflandırılan problem türleri kısaca açıklanmıştır.

Beşinci bölümde problem ve problemin çözümü anlatılmaktadır. Problemin girdileri aktarılmış, çözüm yönteminden bahsedilmiştir.

Son bölümde ise değeriendirme ve sonuç bölümü yer almaktadır.

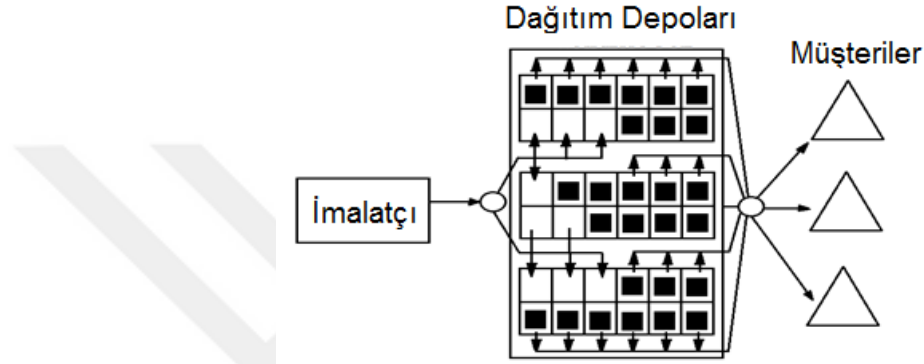
## 2. Literatür Taraması

İşletmelerin herhangi farklı bir noktaya ürün ya da araç ulaştırma problemleri üzerine yapılan çalışmalar araç rotalama problemi olarak değerlendirilmiştir. Araçların kapasitesini dikkate alan rota çözümlemesi (Braysy ve Gendreau, 2005; Mazzeo vd., 2004; Ralphs T.K., 2003), müşteri siparişlerinin zaman kısıtı dahilinde karşılanması araç rotalama problemi (Alveranga vd., 2007; Azi vd., 2007; Calvetea vd., 2007), dağıtımla beraber aynı zamanda toplama işleminin yapıldığı araç rotalama (Ganesh vd., 2007; Mosheiova, 1998; Katoh ve Yano, 2006), talep, seyahat zamanı, müşteri sayısı gibi araç rotalamayı etkileyen parametrelerin dikkate alındığı stokastik araç rotalama (Swihart ve Papastavrou, 1999; Shangyao vd., 2006, Swihart ve Papastavrou, 1999) ve müşteri siparişinin farklı araçlarla karşılandığı araç rotalama (Dror vd., 1994; Frizzelle ve Giffin, 1995; Ho ve Haugland, 2004) gibi problemlerin çözümleri için bir çok çalışma mevcuttur.

Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi ile ilgili çeşitli zamanlarda literatür araştırmaları yapılmıştır. Toth ve Vigo (2002b) dal ve sınır, Naddef ve Rinaldi (2002) dal ve kesme ve Bramel ve Simchi-Levi (2002)'de küme kapsama yöntemleri ile ilgili olarak literatür araştırması yapmıştır. Laporte ve Nobert (1987), Cordeau vd. (2007) ve Baldacci vd. (2007, 2010) analitik yöntemlerle ilgili olarak yapılan diğer çalışmalardır. Laporte ve Semet (2002) ve Laporte (2007, 2009) klasik sezgisel yöntemler, Gendreau vd. (2002, 2008), Cordeau vd. (2004, 2005) meta sezgisel yöntemlerle ilgili literatür araştırması yapmıştır.

### 3.Araç Rotalama Problemi

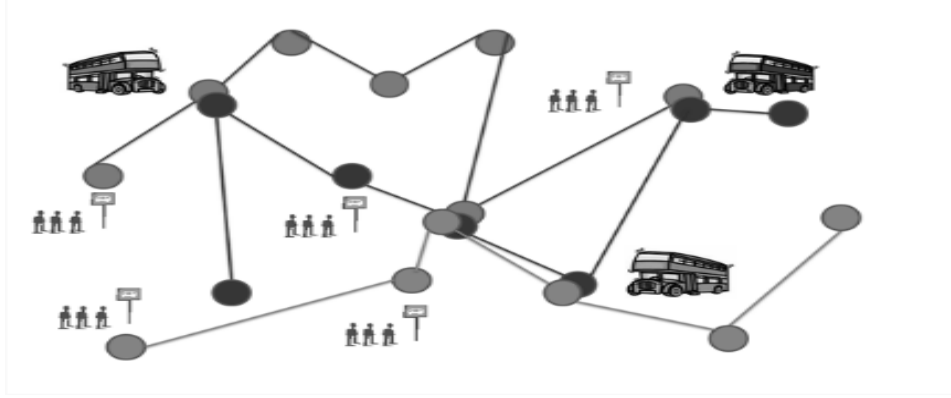
Araç rotalama problemi, belirli bir noktadan(depo, aktarma noktası) aynı veya farklı kapasiteye sahip araçlar filosunun, her biri farklı noktalarda bulunan müşteri veya uğranması gereken herhangi bir noktaya en yakın mesafe veya en kısa sürede ulaşma sorununu minimum maliyetle çözen ve araçların tekrar geri dönmesini sağlayan problemlerin genel halidir. Bu problem ilk defa Dantzig ve Ramser tarafından 1959 yılında tanımlanmıştır(Dantzig and Ramser 1959).



Şekil 1:Lojistik Sistemi Bileşenleri (Keskintürk, Topuk, and Özyeşil 2015)

Araştırmacılar akaryakıt tankerlerinin dağıtım ağını kurmak için ilk matematiksel modeli kurmuşlardır. Daha sonra 1964 yılında Clarke ve Wright probleme sezgisel bir çözüm önermiş ve bu çalışmadan sonra literatürde ARP'ye ilgi daha da artarak büyümüştür. (Toth ve Vigo 2002)

Uğranması gereken noktalar düğüm noktaları ve bu noktalar arası mesafeleri gösteren oklar ARP nin temel bileşenleridir (Toth ve Vigo 2002).



Şekil 2: Araç Rotalama Problemi

ARP' de amaç, minimum maliyetle taşıma veya ulaşım ağının istenilen standartlarda kurulmasıdır. İşletme ihtiyaçlarını karşılamak için çeşitli amaç fonksiyonları geliştirilebilir.

1950'li yıllarda bilim insanlarının ilgi alanına giren araç rotalama konusu 1970'li yıllarda petrol krizi ve bu krizin etkisiyle taşımacılıktaki gelişmeler işletme ve maliyet açısından dağıtım sorununa olan ilgiyi arttırmıştır.1980'li yıllarda artan rekabet işletmeleri farklı çözüm arayışına itmiş maliyetlerini düşürme konusunda çalışmalarını hızlandırma mecburiyetinde bırakmıştır.

İşletmelerin dağıtım ve depolama maliyetlerinin gelirlerinin önemli bir kısmını oluşturması sebebiyle dağıtım ağını ve personel sayısını doğru planlaması işletme yöneticileri açısından çok önemli bir konudur. Maliyetleri azaltmak ve müşteri memnuniyetini arttırmak sürekli gündemde olan bir konu haline gelmiştir. En uygun rota, en uygun araç, en uygun depo yeri gibi lojistik faaliyetler sürekli çalışılır hale gelmiştir. İşletmeler bu çalışmalarını yaparken aşağıdaki unsurları göz önüne almalıdır:

- Müşterilerin tamamının talepleri eksiksiz karşılanmalıdır.
- Dağıtım esnasında araçlar bir noktaya bir sefer uğramalı boşuna fazla km yapmamalıdır.
- Araç turunu depoda tamamlamalıdır.
- Araç rotası üzerindeki müşterilerin talepleri araç kapasitesinden fazla olmamalıdır.



- Araç rotaları toplam mesafenin minimum edilmiş hali ile oluşturulmalıdır.

Araç rotalama problemlerindeki temel kavramlar şöyle açıklanabilir:

**Planlamanın Yapıldığı Rotalar:** ARP' de işletme ve müşteri noktaları (antrepo, bayi, aktarma istasyonu) bir grafik üzerindeki noktalar ile gösterilmekte olup, bu noktalar arasındaki mesafeler veya yolların gösterildiği çizgiler ARP de alternatif rota ya da bu rotaya bağlı maliyetleri göstermektedir. Bu grafikte yer alan her nokta veya yol amaç fonksiyonunu etkilemekte maliyet veya zamanı değiştirmektedir.

**Müşteriler (Talep Noktaları):**Çözülme istenen problemde müşterilerin(talep noktaları, aktarma noktaları) belirli bir noktaları ve alınacak veya verilecek yükleri göstermektedir. Her nokta arası mesafe bilinmektedir. Bir ARP probleminin çözümünün başarılı sayılabilmesi için tüm noktaların ihtiyacının karşılanması gerekir.

**İşletme Noktası:** Talep noktalarının ihtiyacının karşılandığı rotanın başladığı noktalardır. Araçlar bu noktadan hareketlerine başlayıp tekrar bu noktaya geri dönerler. İşletme noktaları depolar, dağıtım merkezleri, bayi, aktarma noktaları vb. üniteleridir. Problemin olduğu duruma göre birden fazla işletme noktası olabilir. Birden fazla işletme noktasının bulunduğu problemlerde kapasite kısıtı da (karşılayabileceği maksimum talep miktarı) göz önüne alınmalıdır.

**Araç Filosu:** Problemden kullanılacak araçlar ve bu araçların kapasitesi ile orantılı olarak maliyet değişmektedir. Dolayısıyla araç filosu ve kapasitesi iyi planlanmalıdır.

**Sürücüler:** Araç filosunun hareketini sağlayacak personelin çalışma süresi mesaisi iyi planlamalı, mesai kısıtı sebebiyle rota yarım kalmamalıdır.

Çözümümü aranan probleme göre değişiklik gösterebilmekte fakat ARP' de genellikle kullanılan kısıtlar:

- Rotaya atanan araçların gidebileceği mesafe (Mesafe Kısıtı),
- Her noktaya bir araç uğramalı(Genel Atama Kısıtı),
- Bir aracın, turunu tamamladıktan sonra başladığı noktaya dönmesi (Kapalı Döngü Kısıtı)

- Rota üzerindeki nokta taleplerinin karşılanma oranına bağlı araç kapasitesi (Araç kapasitesi kısıtı)
- Maliyete bağlı olarak araç sayısı (Araç sayısı kısıtı / Güzergâh sayısı kısıtı)
- Rota üzerindeki araçların sadece bir rotada çalışması (Araç Atama Kısıtı)
- Müşteriye servis (araç yükleme, boşaltma zamanları) süresi kısıtı (Servis Süresi Kısıtı) - Müşteriye belirli zaman aralıklarında ulaşma kısıtı (Zaman Penceresi Kısıtı)
- İki düğüm arasında geçen taşıma süresi kısıtı (Taşıma Süresi Kısıtı)
- Depo sayısının bir veya birden fazla olması kısıtı (Depo sayısı kısıtı)
- Depodan bağımsız turların oluşmasını engelleyen kısıtlardır (Alt Tur Kısıtı) (Murat ve ŞİMŞEK 2017) (Dantzig ve Ramser 1959)

ARP' nin çözümüne ulaşmak için müşteriler ve işletme yerini gösteren noktalar ve bu noktalar arasındaki rotalardan oluşan kümeler elde edilir. Bu kümeler arasındaki bağlantıları sağlayacak rotalar, dolayısı ile maliyet ve zaman minimize edilmeye çalışılır. Müşteriler negatif olmayan taleplere sahiptir. Kapasitesi ve sayısı belli araçlardan oluşan filo merkezde bulunmaktadır. Araç rotalama problemlerinde amaç minimum sayıda rota oluşturarak maliyeti minimize etmektir. Tek merkezden oluşan alışıla gelmiş bir rotalama problemi aşağıdaki gibi formülize edilebilir:

M: Araç sayısı

N: Müşteri sayısı

$d_{ij}$ : Nokta i ve nokta j arasındaki mesafe

$q_i$ : Müşteri'nin talep miktarı

$$X_{ijk}: i \in \{1, \dots, N\} \text{ için } \sum_{k=1}^M \sum_{j=0, J \neq i}^N X_{ijk} = 1 \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ eğer } k \text{ nolu araç } i \text{ noktasına hareketederse} \\ 0, \text{ aksitaktirde} \end{array} \right\}$$

$$\text{Amaç Fonksiyonu: } \text{Min}Z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0, J \neq i}^N \sum_{k=1}^M d_{ij} X_{ijk} \quad (1.1)$$

Aşağıdaki kısıtlara göre:

$$i=0 \text{ için } \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ijk} = M \quad (1.2)$$

$$i \in \{1, \dots, N\} \text{ için } \sum_{k=1}^M \sum_{j=0, j \neq i}^N X_{ijk} = 1 \quad (1.3)$$

$$j \in \{1, \dots, N\} \text{ için } \sum_{k=1}^M \sum_{j=0, j \neq i}^N X_{ijk} = 1 \quad (1.4)$$

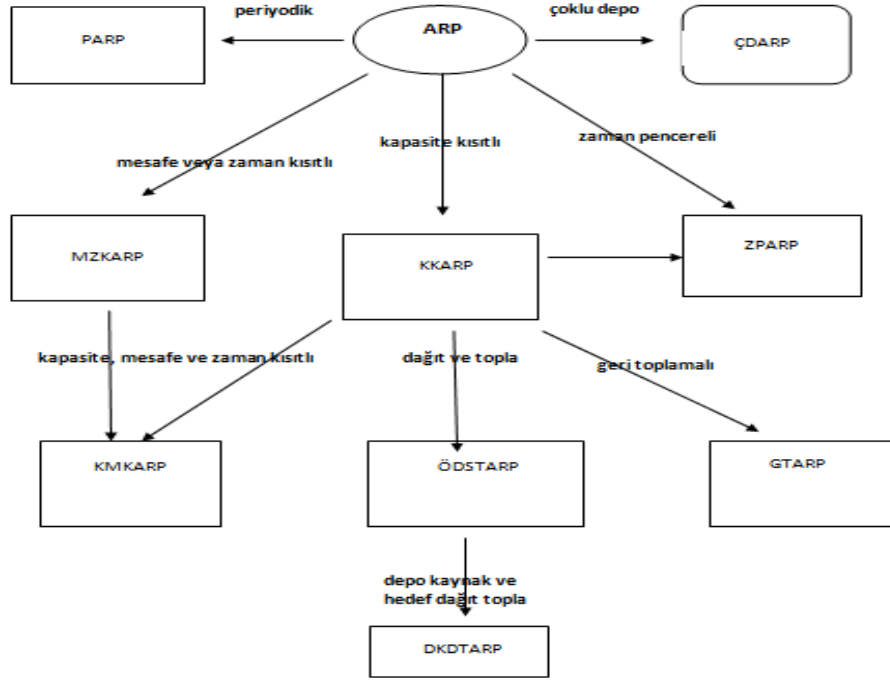
$$k \in \{1, \dots, M\} \text{ için } \sum_{i=0}^N X_{i0k} \leq 1 \quad (1.5)$$

$$k \in \{1, \dots, M\} \text{ için } \sum_{i=1}^N q_i \sum_{j=0, j \neq i}^N X_{ijk} \leq C \quad (1.6)$$

Çözüm fonksiyonu (1.1) toplam rota uzunluğunun, maliyet ve sürenin optimum olmasını göstermektedir. 1.2 no lu kısıt çıkış noktasında bulunan araç sayısını göstermektedir. 1.3 ve 1.4 nolu kısıt tüm müşterilerin taleplerinin tek bir araç tarafından karşılanmasını ve talepleri karşılayacak araçların sadece bir tanesinin bir araç rotasında bulunması gerektiğini ifade etmektedir. 1.5 nolu kısıt bir aracın bir defa hareket noktasından çıkış yapacağını göstermektedir. 1.6 nolu kısıt araç kapasitesini göstermektedir. (Cordeau et al. 2005)

#### 4. Araç Rotalama Problem Türleri

ARP, lojistik faaliyetlerin son aşamasında ortaya çıkan ürün dağıtımında çözüm aranan optimizasyon problemleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Optimum çözümü bulmak için çeşitli çözümler ve bu çözümlere uygun yaklaşımlar üretilmektedir. Probleme uygun kısıtların oluşturulması çözüm için önemli rol oynar. Bu kısıtlara bağlı olarak problemin tanımı ve çözüm yöntemi değişir. Araç rotalama problemi çeşitleri aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 3: Araç Rotalama Problemi Çeşitleri (Keskintürk, Topuk, and Özyeşil 2015)

Araç rotalama problemleri çeşitli kriterlere göre farklılık göstermektedir. Bunlar müşterinin, rotanın, ürünün ve zamanın özelliklerine göre değişir.

#### 4.1. Dinamik ve Statik Çevre Durumuna Göre Araç Rotalama Problemleri

ARP türlerini sınıflandırmak için en fazla başvurulan yöntemlerden biridir. Problemleri oluşturan değişkenlerin çözüm esnasında değişkenlik göstermesi veya göstermemesine göre çözümün sınıflandırılması durumudur. Bu kriterlere göre Araç Rotalama Problemleri, Statik Araç Rotalama Problemi ve Dinamik Araç Rotalama Problemi olarak ikiye ayrılır:

##### 4.1.1. Statik Araç Rotalama Problemi

Statik Araç Rotalama problemlerinde, problem çözümüne başlanmadan önce gerekli bilgiler bilinmektedir. Problem çözümünde kullanılacak veriler (maliyet, zaman, talep vb.) çözüm aşamasında da değişiklik göstermez. Gerçek hayatta SARP çözüm yöntemleri, önceden miktarı ve zamanı bilinen talepler için sıkça kullanılmaktadır.

#### 4.1.2. Dinamik Araç Rotalama Problemleri

Dinamik Araç Rotalama Problemi (DARP) adından da anlaşılacağı gibi süreç ilerlerken talepte, talep miktarında, müşteri noktalarında oluşan değişikliğe aniden cevap verme durumlarında karşımıza çıkar. ARP'nin dinamik değişkenlik gösteren parametrelerinin, müşteri taleplerinin trafiğe bağlı ulaşım süresi değişikliklerinin sistemi etkilememesi için önemlidir. (Potvin, Xu, and Benyahia 2006).

#### 4.2. Rotaların Durumlarına Göre Araç Rotalama Problemleri

Araç Rotalama Problemleri, bir servis güzergâhında bulunan aracın turunu nasıl tamamlayacağına göre ikiye ayrılır. Araç rotada başladığı noktaya dönmek zorunda olabilir veya en son müşteride seferini sonlandırabilir. Bu durumda araç için rotalama problemi açık veya kapalı uçlu olmak üzere ikiye ayrılır.

##### 4.2.1. Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemleri

Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemlerinde (KUARP) oluşturulacak her rota işletmede başlayıp işletmede bitmeli veya başladığı noktaya geri dönmelidir. Bu kısıtın sağlanması için yukarıda kurulan modele aşağıdaki kısıt eklenmelidir.

$$k \in \{1, \dots, M\} \text{ için } \sum_{j=1}^N X_{0jk} = \sum_{i=1}^N X_{ik} \leq 1 \quad (1.7)$$

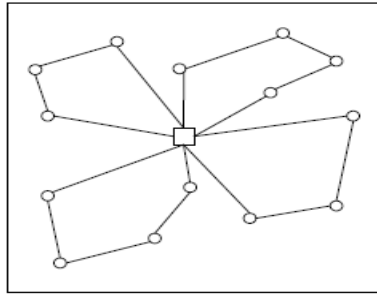
0 nolu nokta aracın çıkış noktasını gösterdiği için bu noktadan sefere başlayan aracın bu noktaya dönmesi gerekmektedir. (1.7) nolu denklemde bu nokta ile başlayan ve bu nokta ile biten,  $X$  karar değişkenlerinin değerlerinin birbirine eşitlenerek sağlanır.

##### 4.2.2. Açık Uçlu Araç Rotalama Problemleri

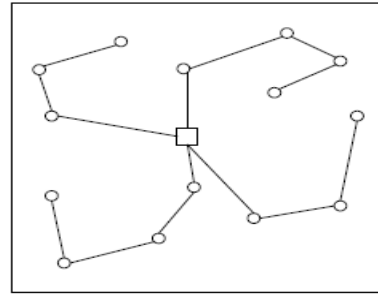
Açık Uçlu Araç Rotalama Problemlerinde (AUARP) rotalar hareket noktasından başlamakta ve talebin olduğu son noktada sona ermektedir. Bu şartın sağlanması için modelin değiştirilmesine gerek yoktur. Ulaşılabilecek sonuç zaten, harekete başlayan aracı geri döndürmeyerek açık uçlu rotalar oluşturacaktır. Ancak rotanın son talep noktasında sona ermesi için aşağıdaki kısıtın eklenmesi gerekmektedir:

$$k \in \{1, \dots, M\} \text{ için } \sum_{j=1}^N X_{0jk} + \sum_{i=1}^N X_{i0k} = 1 \quad (1.8)$$

Bu denklemle 0 noktasından harekete başlayan aracın ilgili X değişkenlerinden sadece biri 1 değerini alır. Bu şekilde harekete başlayan aracın geri dönmemesi garantilenmiş olur. (Brandão 2004).



Kapalı Uçlu ARP



Açık Uçlu ARP

□ İşletme Birimi (Depo)    ○ Müşteri (Talep Noktası)

Şekil 4: Kapalı ve Açık Uçlu Rotalama Problemleri (Erol 2006)

### 4.3. Kısıtlarına Göre Araç Rotalama Problemleri

ARP' de işletme şartlarında oluşturulan lojistik sistemlerin tamamen uygulamaya geçirilmesi zor olduğu için bazı değişkenler ihmal edilerek kısıtlar belirlenir ve gerçeğe en yakın optimum sonuçlar bulunmaya çalışılmaktadır. Bu kısıtlardan önemlileri kapasite, iki nokta arası uzaklık, sefer süreleri ve araç yükleme boşaltma durumudur. Bundan dolayı ARP göz önüne alınan kısıtların isimleri ile beraber anılmakta, kısıtlarla ARP türlerine ayrılmaktadır.

#### 4.3.1. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi

Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KKARP) bir veya birden çok hareket noktası bulunan sistemin talepleri belli farklı sayıda müşterisine hizmet götürebilmesi için, kapasiteleri belirli sistemin işlemesi için kapasite sorunu bulunan araçlara rota planlanması problemidir. Genelde tüm ARP problemlerinde kapasite kısıtı bulunmaktadır. KKARP' de bir rotada yer alan müşterilerin toplam talebi araç kapasitesi C'yi geçmemelidir. ARP modelinde bu kısıt 1.6 nolu denklem ile gösterilmektedir.

### 4.3.2. Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi

Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Probleminde (MKARP) rotalara atanan araçların gidebileceği mesafelere sınır konularak kısıt oluşturulur. Genellikle personel ve işletme maliyetlerini düşürmek amaçlanır. Yukarıdaki modele ek olarak aşağıdaki 1.9 nolu kısıt eklenerek mesafe kısıtı denkleme eklenmiş olur. Denklemden rota üzerindeki araçların gidebileceği en fazla rota uzunluğu ifade edilmektedir. L harfi ile gösterilmiştir.

$$k \in \{1, \dots, M\} \text{ için } \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N d_{ij} \sum_{j=0, j \neq i}^N X_{ijk} \leq L \quad (1.9)$$

Literatürde KKARP' de olduğu gibi MKARP' nin de farklı versiyonları bulunabilmektedir. Örneğin farklı araçlara farklı mesafe kısıtları ( $L_k$ ,  $k=1, \dots, M$ ) uygulanabilir. Bu kısıttan farklı olarak mesafe yerine sürede kullanılabilir. Hareket süresi (sefer süresi) kısıtı kullanılabilir. Bu durumda araç her müşteriye uğradığında  $s_i$  servis süresi kadar bekleyecektir. Bu tip problemlerde 2.9 nolu kısıt aşağıdaki hali olacaktır (Toth and Vigo 2002):

$$k \in \{1, \dots, M\} \text{ için } \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N d_{ij} \sum_{j=0, j \neq i}^N pX_{ijk} + \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \frac{s_i + s_j}{2} \sum_{j=0, j \neq i}^N X_{ijk} \leq T \quad (1.10)$$

Denklemden p, güzergahta bulunan araçların seyahat süresini uzaklık ile hesaplamaya yarayan değişkendir. Seyahat sürelerinin ( $s_i$ ) yarsının alınmasının nedeni ise gidiş ve geliş mesafesini kapsamasıdır. (Erel 1995).

### 4.3.3. Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi

Zaman Pencere Araç Rotalama Probleminde (ZPARP) rota üzerindeki talep noktalarına belirli bir saat takvimine göre hizmet veya ürün götürülmesi gerekmektedir. Burada yer alan  $[a_i, b_i]$  ifadesine zaman penceresi denilmektedir. Bu problem türünde araçlar hareket noktalarından 0 zamanında hareket edecek ve müşteriye uğradığında belirli bir zaman aralığından sonra çıkış yapacaktır.

Aracın müşterilere uğrama zamanı belirli bir zamanda olmalıdır. Eğer araçlar talep noktalarına daha erken uğrarlarsa erken geldiği zaman kadar o noktada beklemelidir. (Erel 1995).

#### **4.3.4. Müşteri Tipi Farklı Araç Rotalama Problemi**

Müşteri Tipi Farklı Araç Rotalama Probleminde (MTFARP) iki farklı talep noktası bulunmaktadır. Buradaki müşterilerin talepleri ürün almak ve ürün vermek olabilir. Yani araçlar bir müşteriye ürün bırakırken diğer müşteriden ürün alımı yapacaktır. Bu sebeple ilk olarak ürün verilecek müşteriye uğranmalı sonra ürün alınacak müşteriye uğranmalıdır. Çözümde eksi ve artı yönlü olarak ürün trafiği gösterilir. (Toth ve Vigo 2002).

#### **4.3.5. Karma Yüklemeli Araç Rotalama Problemi**

Karma Yüklemeli Araç Rotalama Probleminde (KYARP) bir talep noktasından hem ürün alımı hem ürün teslimatı yapılmaktadır. Müşterinin talepleri ve teslim edeceği ürün miktarları bellidir. Bu nedenle müşteriye gidecek araçtaki ürün miktarı müşteri talebine göre kontrol edilmelidir.

#### **4.4. Yolların Durumuna Göre Araç Rotalama Problemleri**

ARP iki nokta arasındaki yol mesafelerinin gelis ve gidis yönüne göre aynı kalıp kalmamasına göre ikiye ayrılmaktadır:

##### **4.4.1. Simetrik Yollu Araç Rotalama Problemleri**

Bu problem türünde araçların gidiş ve dönüş rotası birbirine eşittir. Literatürde böyle problemler Simetrik Araç Rotalama Problemleri (SYARP) olarak belirtilmektedir.

##### **4.4.2. Asimetrik Yollu Araç Rotalama Problemleri**

Bazı rotalama problemlerinde araçların gidiş ve geliş rotalarının uzunlukları birbirilerine eşit olmayabilir. Bu rotalama problemlerinde araçların önce hangi müşteriye uğraması gerektiği önem kazanmaktadır. Bu tip problemlere Asimetrik Yollu Araç Rotalama Problemleri (AYARP) denmektedir.



## 5. Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi uygulaması ve çözümü

### 5.1. Problemin Tanımı

İstanbul Avrupa yakası için açılması planlanan aktarma noktaları aşağıdaki harita görselinde gösterilmiştir.



Şekil 5: İstanbul Aktarma Noktaları ve 3. Havalimanı

Yukarıda belirtilen harita görselinde açılması planlanan aktarma noktalarının 3. Havalimanına ulaşmasını sağlayacak rotaların planlanması problemi tanımlamaktadır.

Oluşturulan 15 adet aktarma noktasından kapasite kısıtı kullanarak en uygun rota planlamasına çalışılacaktır. Bu aktarma noktasının ürettiği yolculuklar sefer sıklığına göre değişeceği için, araçlar birden fazla noktaya uğramalı aynı araç bu noktaların yolculuk talebini karşılamalıdır.

Oluşacak yüksek talebi planlamak ve aktarma noktalarında oluşacak yolculukları atamak için ilçe nüfusları baz alınmıştır. İlçe nüfuslarının İstanbul nüfusuna oranı ile yolculuk ağırlıklandırılması yapılmıştır.

İlçe merkezlerinde belediye binaları referans noktası seçilmiş ve bu binalara en yakın aktarma noktası belirlenerek bu ilçelerin belirlenen aktarma noktalarına yolculuk oluşturacağı düşünülmüştür.



Şekil 6: İstanbul Avrupa Yakası İlçe Merkezleri



Şekil 7: İstanbul Avrupa Yakası İlçe Merkezleri ve Aktarma Noktaları

| <i>Avrupa Yakası İlçeler</i> | <i>Aktarma İstasyonları</i> |
|------------------------------|-----------------------------|
| Arnavutköy                   | Mescidi selam               |
| Avcılar                      | Avcılar                     |
| Bağcılar                     | Kirazlı                     |
| Bahçelievler                 | Yenibosna                   |
| Bakırköy                     | İncirli                     |
| Başakşehir                   | Bahçeşehir                  |
| Bayrampaşa                   | Edirnekapı                  |
| Beşiktaş                     | Zincirlikuyu                |
| Beylikdüzü                   | Tüyap                       |
| Beyoğlu                      | Kabataş                     |
| Büyükçekmece                 | Tüyap                       |
| Çatalca                      | Tüyap                       |
| Esenler                      | Mahmutbey                   |
| Esenyurt                     | Bahçeşehir                  |
| Eyüp                         | Edirnekapı                  |
| Fatih                        | Edirnekapı                  |
| Gaziosmanpaşa                | Alibeyköy                   |
| Güngören                     | İncirli                     |
| Kâğıthane                    | Alibeyköy                   |
| Küçükçekmece                 | Halkalı                     |
| Sarıyer                      | Haciosman                   |
| Silivri                      | Tüyap                       |
| Sultangazi                   | Mescidiselam                |
| Şişli                        | zincirlikuyu                |
| Zeytinburnu                  | İncirli                     |

*Tablo 1: İlçeler ve atanan aktarma noktaları*

Yukarıdaki tablodaki gibi atamalar yapılarak, sabit kapasiteli araçlarla problem çözülmeye çalışılmıştır.

## 5.2. Problemin Çözümü

Problemde amaç mesafeyi en aza indirmek olsa da araç kapasiteleri çözüm için belirleyici rol oynamaktadır. Amaç fonksiyonu bu şekilde oluşturulmuştur.

$$\text{Min } \sum_i \sum_j c_{ij} y_{ij}; \quad (1)$$

$$\sum_{i \neq j}^n y_{ij} = 1 \quad j=1 \text{ için}; \quad (2)$$

$$\sum_{j \neq i}^n y_{ij} = 1 \quad i=1 \text{ için}; \quad (3)$$

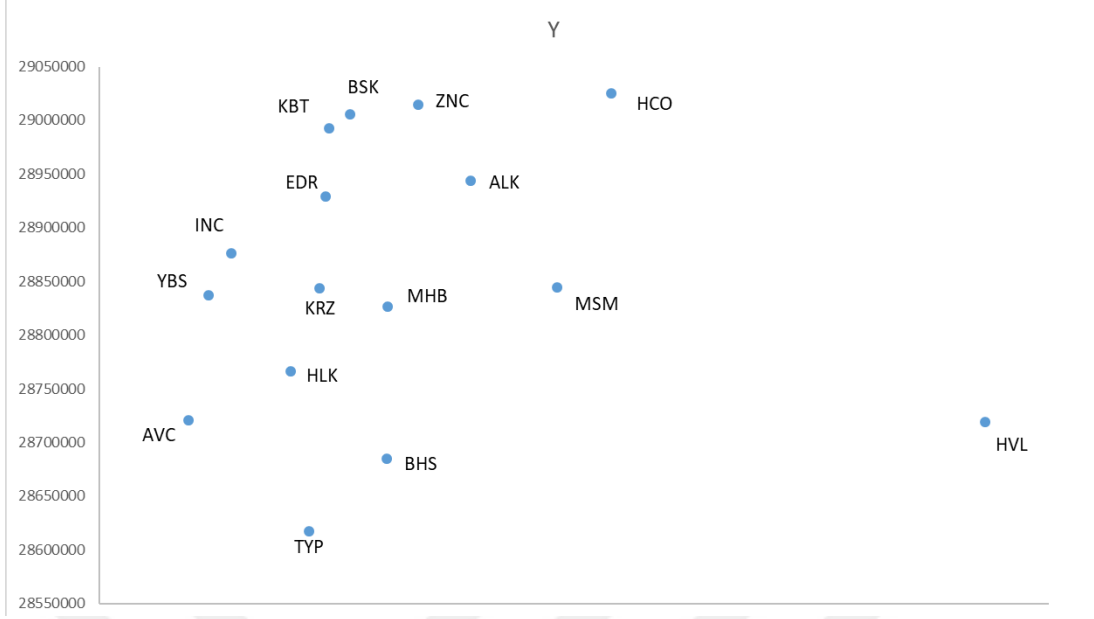
$$y_{ij} = 0 \text{ veya } 1 \text{ için}; i=1,2,\dots,n, j=1,2,\dots,n \quad i \neq j \quad (4)$$

$$\sum_{i,j \in S} y_{ij} \leq |S| - 1 \quad (5)$$

$$u_j \geq u_i + 1 - (1 - y_{ij})n ; i=1,2,\dots,n, j=2,3,\dots,n \quad i \neq j \quad (6)$$

(1) Denklemi problemin amaç fonksiyonunu oluşturmaktadır. (2) numaralı denklem her bir noktaya bir defa uğramak için oluşturulan kısıt, (3) numaralı denklem her bir noktadan bir defa çıkış yapmak için kullanılan kısıttır.(4) numaralı denklem ise alt tur oluşmaması için eklenen kısıt, (6) numaralı denklem kümülatif yükü göstermektedir.

Problem tanımlanıp kısıtlar belirlendikten sonra LİNGO programı yardımıyla çözüm bulunmuştur. Aktarma noktaları ondalık koordinat sistemi şeklinde programa girilmiş ve sonuca ulaşılmıştır.



Şekil 8: Aktarma noktaları ve havalimanı koordinatları

SETS:

ISTASYON/ HVL HCO EDR MHB ALK MSM KRZ TYP AVC BSK INC YBS HLK BHS ZNC KBT /: Q, U;  
BAGLANTI(ISTASYON,ISTASYON): MESAFE, X;

ENDSETS

DATA:

| Q=        | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |       |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| !         | HVL   | HCO   | EDR   | MHB   | ALK   | MSM   | KRZ   | TYP   | AVC   | BSK   | INC   | YBS   | HLK   | BHS   | ZNC   | KBT;  |       |
| MESAFE= 0 | 42.90 | 46.00 | 35.90 | 38.8  | 30    | 39.8  | 37.3  | 48.8  | 49.5  | 53.7  | 50    | 42    | 37    | 46.1  | 49.1  | !HVL; |       |
|           | 0     | 0     | 19.80 | 25.50 | 16.30 | 38.50 | 28.70 | 46.40 | 42.00 | 11.90 | 24.90 | 27.60 | 31.30 | 34.60 | 10.20 | 14.40 | !HCO; |
|           | 0     | 19.80 | 0     | 15.90 | 8.40  | 23.90 | 14.40 | 33.90 | 24.50 | 12.10 | 9.50  | 13.10 | 21.70 | 25.00 | 9.90  | 7.70  | !EDR; |
|           | 0     | 25.50 | 14.70 | 0     | 15.60 | 14.50 | 3.80  | 29.10 | 19.70 | 22.90 | 14.40 | 11.60 | 8.80  | 17.40 | 20.70 | 19.00 | !MHB; |
|           | 0     | 16.30 | 8.40  | 15.60 | 0     | 16.10 | 19.00 | 38.10 | 33.10 | 17.50 | 15.90 | 23.20 | 22.40 | 25.40 | 11.90 | 11.30 | !ALK; |
|           | 0     | 38.50 | 23.90 | 14.50 | 16.10 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | !MSM; |
|           | 0     | 28.70 | 14.40 | 3.80  | 19.00 | 0     | 0     | 27.80 | 18.50 | 22.80 | 6.50  | 5.40  | 9.60  | 19.00 | 20.60 | 18.90 | !KRZ; |
|           | 0     | 46.40 | 33.90 | 29.10 | 38.10 | 0     | 27.80 | 0     | 14.60 | 45.10 | 27.70 | 24.90 | 22.40 | 19.60 | 42.90 | 41.50 | !TYP; |
|           | 0     | 42.00 | 24.50 | 19.70 | 33.10 | 0     | 18.50 | 14.60 | 0     | 32.30 | 14.90 | 12.10 | 9.60  | 16.10 | 30.10 | 32.50 | !AVC; |
|           | 0     | 11.90 | 12.10 | 22.90 | 17.50 | 0     | 22.80 | 45.10 | 32.30 | 0     | 18.20 | 21.00 | 30.00 | 31.80 | 3.60  | 1.50  | !BSK; |
|           | 0     | 24.90 | 9.50  | 14.40 | 15.90 | 0     | 6.50  | 27.70 | 14.90 | 18.20 | 0     | 3.90  | 13.90 | 26.40 | 15.20 | 13.80 | !INC; |
|           | 0     | 27.60 | 13.10 | 11.60 | 23.20 | 0     | 5.40  | 24.90 | 12.10 | 21.00 | 3.90  | 0     | 9.20  | 27.40 | 18.80 | 17.40 | !YBS; |
|           | 0     | 31.30 | 21.70 | 8.80  | 22.40 | 0     | 9.60  | 22.40 | 9.60  | 30.00 | 13.90 | 9.20  | 0     | 16.60 | 29.80 | 28.80 | !HLK; |
|           | 0     | 34.60 | 25.00 | 17.40 | 25.40 | 0     | 19.00 | 19.60 | 16.10 | 31.80 | 26.40 | 27.40 | 16.60 | 0     | 46.70 | 51.50 | !BHS; |
|           | 0     | 10.20 | 9.90  | 20.70 | 11.90 | 0     | 20.60 | 42.90 | 30.10 | 3.60  | 15.20 | 18.80 | 29.80 | 46.70 | 0     | 7.10  | !ZNC; |
|           | 0     | 14.40 | 7.70  | 19.00 | 11.30 | 0     | 18.90 | 41.50 | 32.50 | 1.50  | 13.80 | 17.40 | 28.80 | 51.50 | 7.10  | 0;    | !KBT; |

VCAP=4;  
ENDDATA

MIN = @SUM( BAGLANTI: MESAFE \* X);

@FOR( ISTASYON( K) | K #GT# 1: X( K, K) = 0;

@SUM( ISTASYON( I) | I #NE# K #AND# ( I #EQ# 1 #OR# Q( I) + Q( K) #LE# VCAP): X( I, K) = 1;

@SUM( ISTASYON( J) | J #NE# K #AND# ( J #EQ# 1 #OR# Q( J) + Q( K) #LE# VCAP): X( K, J) = 1;

@BND( Q( K), U( K), VCAP);

@FOR( ISTASYON( I) | I #NE# K #AND# I #NE# 1: U( K) >= U( I) + Q( K) - VCAP + VCAP\*( X( K, I) + X( I, K) ) - ( Q( K) + Q( I) ) \* X( K, I);

U( K) <= VCAP - ( VCAP - Q( K) ) \* X( 1, K);

U( K) >= Q( K) + @SUM( ISTASYON( I) | I #GT# 1: Q( I) \* X( I, K));

@FOR( BAGLANTI( I, J): @BIN( X( I, J) );

@SUM( ISTASYON( J) | J #GT# 1: X( 1, J) ) >= @FLOOR((@SUM( ISTASYON( I) | I #GT# 1: Q( I) ) / VCAP) + .999);

END

Tablo 2: Program girdisi

## 6. Sonuç ve Öneriler

Çözülen probleme ilişkin program çıktıları ve nihai durum bu ve bundan sonraki bölümler altında incelenmiştir.

### 6.1. Program Çıktısı

|                          |          |
|--------------------------|----------|
| Objective value:         | 214.1000 |
| Objective bound:         | 214.1000 |
| Infeasibilities:         | 0.000000 |
| Extended solver steps:   | 2263     |
| Total solver iterations: | 40136    |

Global optimal solution found.

| <i>Variable</i> | <i>Value</i> | <i>Reduced Cost</i> |
|-----------------|--------------|---------------------|
| X( HVL, HVL)    | 0.000000     | 0.000000            |
| X( HVL, HCO)    | 0.000000     | 42.90000            |
| X( HVL, EDR)    | 0.000000     | 46.00000            |
| X( HVL, MHB)    | 1.000000     | 35.90000            |
| X( HVL, ALK)    | 1.000000     | 38.80000            |
| X( HVL, MSM)    | 0.000000     | 30.00000            |
| X( HVL, KRZ)    | 0.000000     | 39.80000            |
| X( HVL, TYP)    | 1.000000     | 37.30000            |
| X( HVL, AVC)    | 0.000000     | 48.80000            |
| X( HVL, BSK)    | 0.000000     | 49.50000            |
| X( HVL, INC)    | 0.000000     | 53.70000            |
| X( HVL, YBS)    | 0.000000     | 50.00000            |
| X( HVL, HLK)    | 0.000000     | 42.00000            |
| X( HVL, BHS)    | 1.000000     | 37.00000            |
| X( HVL, ZNC)    | 0.000000     | 46.10000            |
| X( HVL, KBT)    | 0.000000     | 49.10000            |
| X( HCO, HVL)    | 1.000000     | 0.000000            |
| X( HCO, HCO)    | 0.000000     | 0.000000            |
| X( HCO, EDR)    | 0.000000     | 19.80000            |
| X( HCO, MHB)    | 0.000000     | 25.50000            |
| X( HCO, ALK)    | 0.000000     | 16.30000            |
| X( HCO, MSM)    | 0.000000     | 38.50000            |
| X( HCO, KRZ)    | 0.000000     | 28.70000            |

|              |          |          |
|--------------|----------|----------|
| X( HCO, TYP) | 0.000000 | 46.40000 |
| X( HCO, AVC) | 0.000000 | 42.00000 |
| X( HCO, BSK) | 0.000000 | 11.90000 |
| X( HCO, INC) | 0.000000 | 24.90000 |
| X( HCO, YBS) | 0.000000 | 27.60000 |
| X( HCO, HLK) | 0.000000 | 31.30000 |
| X( HCO, BHS) | 0.000000 | 34.60000 |
| X( HCO, ZNC) | 0.000000 | 10.20000 |
| X( HCO, KBT) | 0.000000 | 14.40000 |
| X( EDR, HVL) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( EDR, HCO) | 0.000000 | 19.80000 |
| X( EDR, EDR) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( EDR, MHB) | 0.000000 | 15.90000 |
| X( EDR, ALK) | 0.000000 | 8.400000 |
| X( EDR, MSM) | 0.000000 | 23.90000 |
| X( EDR, KRZ) | 0.000000 | 14.40000 |
| X( EDR, TYP) | 0.000000 | 33.90000 |
| X( EDR, AVC) | 0.000000 | 24.50000 |
| X( EDR, BSK) | 0.000000 | 12.10000 |
| X( EDR, INC) | 0.000000 | 9.500000 |
| X( EDR, YBS) | 0.000000 | 13.10000 |
| X( EDR, HLK) | 0.000000 | 21.70000 |
| X( EDR, BHS) | 0.000000 | 25.00000 |
| X( EDR, ZNC) | 0.000000 | 9.900000 |
| X( EDR, KBT) | 1.000000 | 7.700000 |
| X( MHB, HVL) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( MHB, HCO) | 0.000000 | 25.50000 |
| X( MHB, EDR) | 0.000000 | 14.70000 |
| X( MHB, MHB) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( MHB, ALK) | 0.000000 | 15.60000 |
| X( MHB, MSM) | 0.000000 | 14.50000 |
| X( MHB, KRZ) | 1.000000 | 3.800000 |
| X( MHB, TYP) | 0.000000 | 29.10000 |
| X( MHB, AVC) | 0.000000 | 19.70000 |
| X( MHB, BSK) | 0.000000 | 22.90000 |
| X( MHB, INC) | 0.000000 | 14.40000 |
| X( MHB, YBS) | 0.000000 | 11.60000 |
| X( MHB, HLK) | 0.000000 | 8.800000 |
| X( MHB, BHS) | 0.000000 | 17.40000 |
| X( MHB, ZNC) | 0.000000 | 20.70000 |
| X( MHB, KBT) | 0.000000 | 19.00000 |
| X( ALK, HVL) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( ALK, HCO) | 0.000000 | 16.30000 |
| X( ALK, EDR) | 1.000000 | 8.400000 |
| X( ALK, MHB) | 0.000000 | 15.60000 |

|              |          |          |
|--------------|----------|----------|
| X( ALK, ALK) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( ALK, MSM) | 0.000000 | 16.10000 |
| X( ALK, KRZ) | 0.000000 | 19.00000 |
| X( ALK, TYP) | 0.000000 | 38.10000 |
| X( ALK, AVC) | 0.000000 | 33.10000 |
| X( ALK, BSK) | 0.000000 | 17.50000 |
| X( ALK, INC) | 0.000000 | 15.90000 |
| X( ALK, YBS) | 0.000000 | 23.20000 |
| X( ALK, HLK) | 0.000000 | 22.40000 |
| X( ALK, BHS) | 0.000000 | 25.40000 |
| X( ALK, ZNC) | 0.000000 | 11.90000 |
| X( ALK, KBT) | 0.000000 | 11.30000 |
| X( MSM, HVL) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( MSM, HCO) | 0.000000 | 38.50000 |
| X( MSM, EDR) | 0.000000 | 23.90000 |
| X( MSM, MHB) | 0.000000 | 14.50000 |
| X( MSM, ALK) | 0.000000 | 16.10000 |
| X( MSM, MSM) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( MSM, KRZ) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( MSM, TYP) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( MSM, AVC) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( MSM, BSK) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( MSM, INC) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( MSM, YBS) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( MSM, HLK) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( MSM, BHS) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( MSM, ZNC) | 1.000000 | 0.000000 |
| X( MSM, KBT) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( KRZ, HVL) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( KRZ, HCO) | 0.000000 | 28.70000 |
| X( KRZ, EDR) | 0.000000 | 14.40000 |
| X( KRZ, MHB) | 0.000000 | 3.800000 |
| X( KRZ, ALK) | 0.000000 | 19.00000 |
| X( KRZ, MSM) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( KRZ, KRZ) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( KRZ, TYP) | 0.000000 | 27.80000 |
| X( KRZ, AVC) | 0.000000 | 18.50000 |
| X( KRZ, BSK) | 0.000000 | 22.80000 |
| X( KRZ, INC) | 0.000000 | 6.500000 |
| X( KRZ, YBS) | 1.000000 | 5.400000 |
| X( KRZ, HLK) | 0.000000 | 9.600000 |
| X( KRZ, BHS) | 0.000000 | 19.00000 |
| X( KRZ, ZNC) | 0.000000 | 20.60000 |
| X( KRZ, KBT) | 0.000000 | 18.90000 |
| X( TYP, HVL) | 0.000000 | 0.000000 |



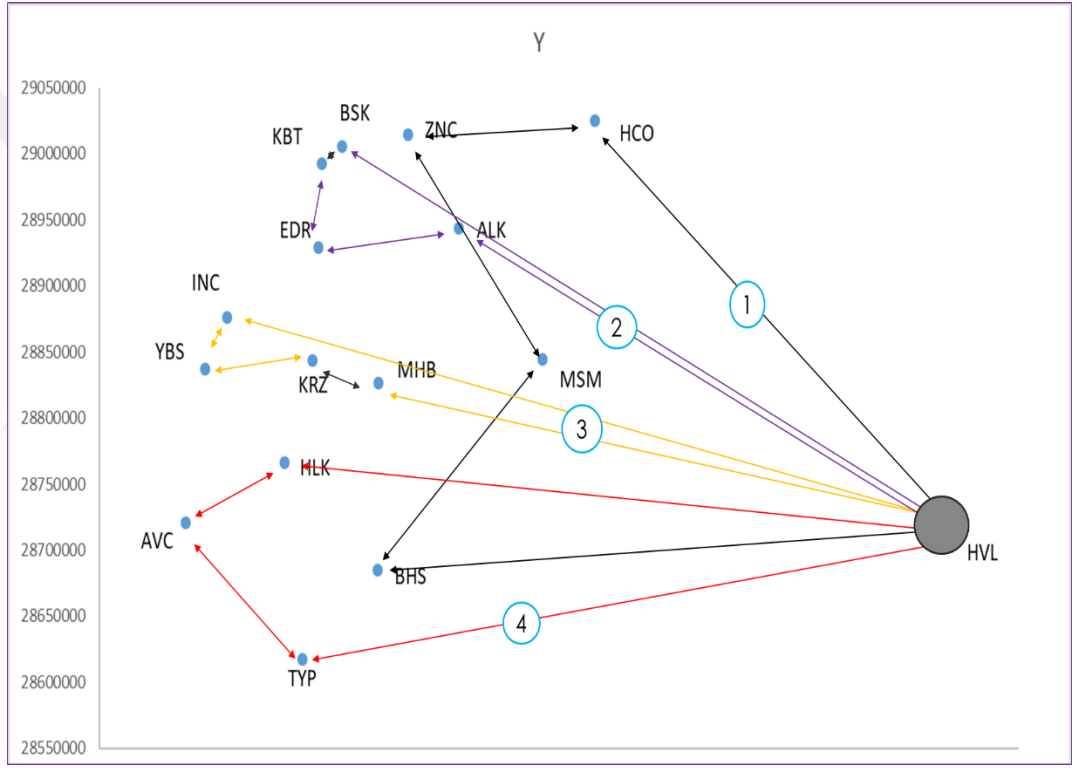
|              |          |          |
|--------------|----------|----------|
| X( TYP, HCO) | 0.000000 | 46.40000 |
| X( TYP, EDR) | 0.000000 | 33.90000 |
| X( TYP, MHB) | 0.000000 | 29.10000 |
| X( TYP, ALK) | 0.000000 | 38.10000 |
| X( TYP, MSM) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( TYP, KRZ) | 0.000000 | 27.80000 |
| X( TYP, TYP) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( TYP, AVC) | 1.000000 | 14.60000 |
| X( TYP, BSK) | 0.000000 | 45.10000 |
| X( TYP, INC) | 0.000000 | 27.70000 |
| X( TYP, YBS) | 0.000000 | 24.90000 |
| X( TYP, HLK) | 0.000000 | 22.40000 |
| X( TYP, BHS) | 0.000000 | 19.60000 |
| X( TYP, ZNC) | 0.000000 | 42.90000 |
| X( TYP, KBT) | 0.000000 | 41.50000 |
| X( AVC, HVL) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( AVC, HCO) | 0.000000 | 42.00000 |
| X( AVC, EDR) | 0.000000 | 24.50000 |
| X( AVC, MHB) | 0.000000 | 19.70000 |
| X( AVC, ALK) | 0.000000 | 33.10000 |
| X( AVC, MSM) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( AVC, KRZ) | 0.000000 | 18.50000 |
| X( AVC, TYP) | 0.000000 | 14.60000 |
| X( AVC, AVC) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( AVC, BSK) | 0.000000 | 32.30000 |
| X( AVC, INC) | 0.000000 | 14.90000 |
| X( AVC, YBS) | 0.000000 | 12.10000 |
| X( AVC, HLK) | 1.000000 | 9.600000 |
| X( AVC, BHS) | 0.000000 | 16.10000 |
| X( AVC, ZNC) | 0.000000 | 30.10000 |
| X( AVC, KBT) | 0.000000 | 32.50000 |
| X( BSK, HVL) | 1.000000 | 0.000000 |
| X( BSK, HCO) | 0.000000 | 11.90000 |
| X( BSK, EDR) | 0.000000 | 12.10000 |
| X( BSK, MHB) | 0.000000 | 22.90000 |
| X( BSK, ALK) | 0.000000 | 17.50000 |
| X( BSK, MSM) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( BSK, KRZ) | 0.000000 | 22.80000 |
| X( BSK, TYP) | 0.000000 | 45.10000 |
| X( BSK, AVC) | 0.000000 | 32.30000 |
| X( BSK, BSK) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( BSK, INC) | 0.000000 | 18.20000 |
| X( BSK, YBS) | 0.000000 | 21.00000 |
| X( BSK, HLK) | 0.000000 | 30.00000 |
| X( BSK, BHS) | 0.000000 | 31.80000 |

|              |          |           |
|--------------|----------|-----------|
| X( BSK, ZNC) | 0.000000 | 3.600000  |
| X( BSK, KBT) | 0.000000 | 1.500000  |
| X( INC, HVL) | 1.000000 | 0.000000  |
| X( INC, HCO) | 0.000000 | 24.900000 |
| X( INC, EDR) | 0.000000 | 9.500000  |
| X( INC, MHB) | 0.000000 | 14.400000 |
| X( INC, ALK) | 0.000000 | 15.900000 |
| X( INC, MSM) | 0.000000 | 0.000000  |
| X( INC, KRZ) | 0.000000 | 6.500000  |
| X( INC, TYP) | 0.000000 | 27.700000 |
| X( INC, AVC) | 0.000000 | 14.900000 |
| X( INC, BSK) | 0.000000 | 18.200000 |
| X( INC, INC) | 0.000000 | 0.000000  |
| X( INC, YBS) | 0.000000 | 3.900000  |
| X( INC, HLK) | 0.000000 | 13.900000 |
| X( INC, BHS) | 0.000000 | 26.400000 |
| X( INC, ZNC) | 0.000000 | 15.200000 |
| X( INC, KBT) | 0.000000 | 13.800000 |
| X( YBS, HVL) | 0.000000 | 0.000000  |
| X( YBS, HCO) | 0.000000 | 27.600000 |
| X( YBS, EDR) | 0.000000 | 13.100000 |
| X( YBS, MHB) | 0.000000 | 11.600000 |
| X( YBS, ALK) | 0.000000 | 23.200000 |
| X( YBS, MSM) | 0.000000 | 0.000000  |
| X( YBS, KRZ) | 0.000000 | 5.400000  |
| X( YBS, TYP) | 0.000000 | 24.900000 |
| X( YBS, AVC) | 0.000000 | 12.100000 |
| X( YBS, BSK) | 0.000000 | 21.000000 |
| X( YBS, INC) | 1.000000 | 3.900000  |
| X( YBS, YBS) | 0.000000 | 0.000000  |
| X( YBS, HLK) | 0.000000 | 9.200000  |
| X( YBS, BHS) | 0.000000 | 27.400000 |
| X( YBS, ZNC) | 0.000000 | 18.800000 |
| X( YBS, KBT) | 0.000000 | 17.400000 |
| X( HLK, HVL) | 1.000000 | 0.000000  |
| X( HLK, HCO) | 0.000000 | 31.300000 |
| X( HLK, EDR) | 0.000000 | 21.700000 |
| X( HLK, MHB) | 0.000000 | 8.800000  |
| X( HLK, ALK) | 0.000000 | 22.400000 |
| X( HLK, MSM) | 0.000000 | 0.000000  |
| X( HLK, KRZ) | 0.000000 | 9.600000  |
| X( HLK, TYP) | 0.000000 | 22.400000 |
| X( HLK, AVC) | 0.000000 | 9.600000  |
| X( HLK, BSK) | 0.000000 | 30.000000 |
| X( HLK, INC) | 0.000000 | 13.900000 |

|              |          |          |
|--------------|----------|----------|
| X( HLK, YBS) | 0.000000 | 9.200000 |
| X( HLK, HLK) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( HLK, BHS) | 0.000000 | 16.60000 |
| X( HLK, ZNC) | 0.000000 | 29.80000 |
| X( HLK, KBT) | 0.000000 | 28.80000 |
| X( BHS, HVL) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( BHS, HCO) | 0.000000 | 34.60000 |
| X( BHS, EDR) | 0.000000 | 25.00000 |
| X( BHS, MHB) | 0.000000 | 17.40000 |
| X( BHS, ALK) | 0.000000 | 25.40000 |
| X( BHS, MSM) | 1.000000 | 0.000000 |
| X( BHS, KRZ) | 0.000000 | 19.00000 |
| X( BHS, TYP) | 0.000000 | 19.60000 |
| X( BHS, AVC) | 0.000000 | 16.10000 |
| X( BHS, BSK) | 0.000000 | 31.80000 |
| X( BHS, INC) | 0.000000 | 26.40000 |
| X( BHS, YBS) | 0.000000 | 27.40000 |
| X( BHS, HLK) | 0.000000 | 16.60000 |
| X( BHS, BHS) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( BHS, ZNC) | 0.000000 | 46.70000 |
| X( BHS, KBT) | 0.000000 | 51.50000 |
| X( ZNC, HVL) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( ZNC, HCO) | 1.000000 | 10.20000 |
| X( ZNC, EDR) | 0.000000 | 9.900000 |
| X( ZNC, MHB) | 0.000000 | 20.70000 |
| X( ZNC, ALK) | 0.000000 | 11.90000 |
| X( ZNC, MSM) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( ZNC, KRZ) | 0.000000 | 20.60000 |
| X( ZNC, TYP) | 0.000000 | 42.90000 |
| X( ZNC, AVC) | 0.000000 | 30.10000 |
| X( ZNC, BSK) | 0.000000 | 3.600000 |
| X( ZNC, INC) | 0.000000 | 15.20000 |
| X( ZNC, YBS) | 0.000000 | 18.80000 |
| X( ZNC, HLK) | 0.000000 | 29.80000 |
| X( ZNC, BHS) | 0.000000 | 46.70000 |
| X( ZNC, ZNC) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( ZNC, KBT) | 0.000000 | 7.100000 |
| X( KBT, HVL) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( KBT, HCO) | 0.000000 | 14.40000 |
| X( KBT, EDR) | 0.000000 | 7.700000 |
| X( KBT, MHB) | 0.000000 | 19.00000 |
| X( KBT, ALK) | 0.000000 | 11.30000 |
| X( KBT, MSM) | 0.000000 | 0.000000 |
| X( KBT, KRZ) | 0.000000 | 18.90000 |
| X( KBT, TYP) | 0.000000 | 41.50000 |

|              |          |          |
|--------------|----------|----------|
| X( KBT, AVC) | 0.000000 | 32.50000 |
| X( KBT, BSK) | 1.000000 | 1.500000 |
| X( KBT, INC) | 0.000000 | 13.80000 |
| X( KBT, YBS) | 0.000000 | 17.40000 |
| X( KBT, HLK) | 0.000000 | 28.80000 |
| X( KBT, BHS) | 0.000000 | 51.50000 |
| X( KBT, ZNC) | 0.000000 | 7.100000 |
| X( KBT, KBT) | 0.000000 | 0.000000 |

Tablo 3: Program Çıktısı



Şekil 9: Önerilen Rota

## 6.2. Sonuç

Çözümde oluşan rotalar bir tam tur için yaklaşık 120 km dir. Bu tek yön için 60 km demektir. İşletme şartları düşünüldüğünde 1 saatte yolcu havalimanına ulaşmaktadır.

Planlanan rotalar için farklı kapasitede araçlar kullanılarak rotalar değiştirilebilir. Program ve model talep, kapasite durumuna göre değişiklik göstermektedir.

Ulaşım operatörü burada kullanacağı araç türüne göre tekrar optimizasyon yaparak rotayı değiştirebilir.

| VCAP 4 214.10 4 döngü |                |       |  |            |            |       |
|-----------------------|----------------|-------|--|------------|------------|-------|
| Nokta 1               | Nokta 2        | KM    |  | Nokta 1    | Nokta 2    | KM    |
| Havaalanı             | TÜYAP          | 35,90 |  | Havaalanı  | MAHMUTBEY  | 35,90 |
| TÜYAP                 | AVCILAR        | 14,60 |  | MAHMUTBEY  | KİRAZLI    | 3,8   |
| AVCILAR               | HALKALI        | 9,60  |  | KİRAZLI    | YENİBOSNA  | 5,4   |
| HALKALI               | Havaalanı      | 42,00 |  | YENİBOSNA  | İNCİRLİ    | 3,9   |
|                       |                |       |  | İNCİRLİ    | Havaalanı  | 53,7  |
| Nokta 1               | Nokta 2        | KM    |  | Nokta 1    | Nokta 2    | KM    |
| Havaalanı             | BAHÇEŞEHİR     | 37    |  | Havaalanı  | ALİBEYKÖY  | 38,80 |
| BAHÇEŞEHİR            | MESCİD-İ SELAM | 20,4  |  | ALİBEYKÖY  | EDİRNEKAPI | 8,40  |
| MESCİD-İ SELAM        | ZİNCİRLİKUYU   | 23,8  |  | EDİRNEKAPI | KABATAŞ    | 7,70  |
| ZİNCİRLİKUYU          | HACIOSMAN      | 10,2  |  | KABATAŞ    | BEŞİKTAŞ   | 1,5   |
| HACIOSMAN             | Havaalanı      | 42,90 |  | BEŞİKTAŞ   | Havaalanı  | 49,50 |

Tablo 4: Önerilen Rota kilometreleri

## 7. Sonuç

İstanbul gibi büyük metropollerin ulaşım konusu ciddi bir problemdir. Toplu ulaşım konusu, yolcuların taleplerine göre şekil alırken aynı zamanda trafiği de etkilemektedir. Bu sebeple toplu ulaşım için hizmet veren kurumlar aynı zamanda trafiği de düşünmelidir.

Toplu ulaşımında trafik ve yolculuk talebi değerlendirmesi bir arada planlanmalıdır. Bu sebeple yeni hat açılması, hat planlanması ve açılacak hatların rotalaması oldukça önemlidir. Toplu ulaşımında kullanılacak araçların kapasitesi, bu araçların mola vermesi ve diğer ulaşım şekillerine (raylı sistem, deniz yolu, lastik tekerlekli taşıma) entegrasyonu bir arada değerlendirilmeli ve maliyeti ayrıca düşünülmelidir.

Toplu taşıma konusunda İstanbul halkına hizmet veren İBB ve İETT etkin ve entegre bir toplu ulaşım hizmeti verebilmek için İstanbul Avrupa yakasına lastik tekerlekli araçların mola vermesini sağlamak, boş kilometre yapmasını önlemek, entegre bir toplu ulaşım ağı kurmak ve bu noktalardan oluşacak yolculuk talebini karşılamak adına 15 adet aktarma noktası oluşturmayı planlanmıştır.

Ayrıca İstanbul iline 2019 yılında açılması planlanan yüksek kapasiteli bir havalimanı yapılmakta ve bu havalimanının oluşturacağı yolculuk talebini karşılamak için ayrı çalışmalar yürütülmektedir.

Bu çalışmada oluşturulacak aktarma merkezinden, açılacak yeni havalimanına olan yolculuk talebine cevap verecek araçların rotaları üzerine çalışılmıştır.

Araç rotalarının hem aktarma noktalarının taleplerine cevap vermeli hem de maliyet ve süre kısıtına göre uygulanabilir olmalıdır.

Problem, bu çalışma çerçevesinde araç rotalama problemi olarak düşünülmüş kapasite kısıtlı araç rotalama problemi olarak çözüm aranmıştır.

İstanbul Avrupa yakasındaki aktarma noktalarına yolculuk talebi aktarması yapılırken, İstanbul'un Avrupa yakası ilçelerinin nüfusları alınmış İstanbul'un

nüfusuna oranlanmış bu orana göre aktarma noktalarının yolculukları ağırlıklandırılmıştır.

Hangi ilçenin hangi aktarma noktasına yolculuk talebi oluşturacağı ise ilçe merkezlerinin aktarma noktalarına olan uzaklıkları alınarak (ilçe belediye binalarının aktarma noktasına olan uzaklığı) en yakın ilçe en yakın aktarma noktasına atanarak probleme çözüm aranmıştır.

Problem çözümünde araç sefer sıklığı ve araç kapasiteleri ayrı bir problem olarak düşünülmüş olup, bu durumların çözümlenmesi yapılacak diğer araştırmalara bırakılmıştır.

Aktarma noktalarının bir araç için oluşturacağı yolculuk sayısı 4 olarak alınmış ve problemin çözümüne gidilmiştir. Bunun sebebi, incelenen istasyonlar arasında seyahat süresinin kabul edilebilir (örneğin 60 dakika gibi) bir sürede gerçekleştirilmesini sağlamaktır.

Çözüm için oluşturulan amaç fonksiyonuna; alt tur oluşmaması için kısıt ve kapasite kısıtı eklenmiştir.

Problem çözümü için aktarma noktaları koordinatları ondalık olarak alınmış, LİNGO programında çözülmüştür.

Çözüm olarak 4 farklı araç rotası oluşmuştur. Araçlar aynı anda ve konumdan sefere başlayıp farklı aktarma noktalarına uğrayarak yolculuk taleplerine cevap vermektedir. Araçlar birden fazla aktarma noktalarına uğramakta ve sefer sayısı bu şekilde azalmaktadır. Ortalama rota uzunluğu 115 km olarak çözüm önerilmiştir. Ortalama hız 50 km/sa alınmıştır. Rota uzunluğu gidiş ve geliş olarak hesaplandığından tek yön yolculuk süresi yaklaşık olarak 1 saattir. Bu süre İstanbul şartlarında ideal bir süredir.

Bu çalışma aktarma noktaları ve havalimanı arasındaki çalışacak lastik tekerlekli araçların rotaları için uygulanabilirliği göz önünde bulundurularak bir çözüm önermektedir. Toplu taşıma işletmesi yapacak kurum veya şirketler araç

kapasitesi, sefer sıklığı ve rota düzenlemesi yaparak farklı şekilde işletme yoluna gidebilir.





## KAYNAKÇA

- Brandão, José. 2004. "A tabu search algorithm for the open vehicle routing problem." *European Journal of Operational Research* 157 (3):552-564.
- Cordeau, Jean-François, Michel Gendreau, Alain Hertz, Gilbert Laporte, and Jean-Sylvain Sormany. 2005. "New heuristics for the vehicle routing problem." *Logistics systems: design and optimization*:279-297.
- Dantzig, George B, and John H Ramser. 1959. "The truck dispatching problem." *Management science* 6 (1):80-91.
- Erel, Rezzan. 1995. "Taşıt rotalaması ve çizelgelemesi: Otobüsle kentlerarası yolcu taşımacılığı için bir model." YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Erol, Vural. 2006. "Araç rotalama problemleri için populasyon ve komşuluk tabanlı metasezgisel bir algoritmanın tasarımı ve uygulaması."
- Keskintürk, Timur, Nihan Topuk, and Okan Özyeşil. 2015. "Araç Rotalama Problemleri ve Çözüm Yöntemleri." *The Journal of Business Science* 3 (2):77-107.
- Murat, ATAN, and Pınar ŞİMŞEK. 2017. "DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE ARAÇ ATAMA PROBLEMİNİN ÇÖZÜMLENMESİ." *Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* 4 (11):339-358.
- Potvin, Jean-Yves, Ying Xu, and Ilham Benyahia. 2006. "Vehicle routing and scheduling with dynamic travel times." *Computers & Operations Research* 33 (4):1129-1137.
- Toth, Paolo, and Daniele Vigo. 2002. *The vehicle routing problem*: SIAM.
- <https://users.cs.cf.ac.uk/C.L.Mumford/Research%20Topics/UTRP/Outline.html>

## ÖZGEÇMİŞ

30.07.1988 tarihinde Yalova’da doğmuştur. İlk ve orta öğretimini İstanbul ili Kartal ilçesinde 50. Yıl General Rafet Bele İlköğretim Okulu’nda tamalamıştır(2002). Lise öğrenimini Yalova Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesinde tamalamıştır. 2008 yılında yılında Fırat Üniversitesi Kimya Bölümüne başlamıştır. 2013 yılında lisans bölümünden mezun olmuştur. 2014 yılında Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 2013 yılından beri İETT kurumunda çalışmaktadır.

Yabancı dili İngilizce olup becardır.

**Hasan Başaran**