



# ŞEHİRİÇİ TOPLU TAŞIMADA ÖLÜ KİLOMETRE MINİMİZASYONU İÇİN BİR UYGULAMA

**Efendi NASİBOĞLU**  
**Uğur ELİİYİ**  
**Mefharet ÖZKILÇIK**  
**Ümit KUVVETLİ**

## ÖZET

Şehir içi toplu ulaşım hizmetlerinin kalitesi modern şehircilik politikalarının gerek planlama, gerekse uygulama süreçleri açısından en önemli performans göstergelerinden biridir. Şehirlerin büyüklükleri ile orantılı olarak bu hizmetlerin ilişkili olduğu faaliyetlerin doğru değerlendirilmesi, iyileştirilmesi ve yeni planların geliştirilmesinin önemi artmaktadır. Taşınan yolcu miktarına bakılarak kâr elde ettikleri düşünülen toplu taşıma hizmeti veren kurumların çoğu elde ettikleri gelirlerle giderlerini karşılamada bile zorluk yaşamaktadır. Araç yakıt tüketimine ait harcamalar bu gider kalemlerinin en önemlilerinden bir tanesini oluşturmaktadır. Büyükşehirlerdeki otobüs hatlarının seferlerindeki mesafeleri için kullanılan yakıt miktarına ek olarak, araçların yolcu taşımadığı, sabah garaj ile servisin başladığı ilk durak ve akşam servisin bittiği son durak ile garaj arasında kat ettiği kilometre olarak tanımlanan “ölü kilometre” mesafeleri için de önemli miktarda yakıt harcanmaktadır. Toplam ölü kilometre miktarı doğal olarak kullanılan garajların kapasitesine, hizmet verilen hat ve hatlardaki araç sayısına, başlangıç ve bitiş duraklarıyla garajlar arasındaki uzaklıklara bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada İzmir Büyükşehir Belediyesi ESHOT Genel Müdürlüğü'nün sahip olduğu 293 hatta çalışan 1,424 otobüsün, 10 garaja ölü kilometreyi minimize edecek şekilde atanması için gerçek kısıtlarla uyumlu matematiksel modeller oluşturulmuş, orta-uzun vade hat planlamalarında kullanılabilecek optimum hat-garaj atama çözümleri elde edilmiştir. Çözümler sonucunda elde edilen iyileştirmenin finansal yönü kadar çevresel faktörlerdeki kazanımlar da çalışmayı önemli kılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Toplu taşıma, Ölü kilometre minimizasyonu, Otobüs atama modeli.

## ABSTRACT

The quality of public transportation services is one of the most important performance indicators of modern urban policies for both planning and implementation aspects. Therefore along with the size of the city, the importance of appropriate evaluation and improvement of all related transportation activities, and development of new plans increases as well. Most of the public transport agencies that are thought to make profit because of their high passenger capacities actually have great difficulty in covering their expenses. One of the most important cost factors is naturally the fuel consumption of the vehicles. In addition to the amount of fuel used for the distance of the services of bus lines in metropolitans, a significant portion of this item is due to the so called “dead mileage” or deadhead trip that is defined as the idle distance covered by the vehicle between the garage and route terminal stops without carrying any passengers. The amount of dead mileage naturally depends on the capacities of the garages, the number of service routes, route vehicle requirements and the distance between the garages and route terminal stops. In this study, we developed mathematical models for minimizing the dead mileage of İzmir Metropolitan Municipality ESHOT General Directorate City Bus service comprised by 293 routes, 1,424 buses and 10 garages to obtain the optimal route bus-garage allocations for medium-to-long-term planning purposes. The environmental gains as well as the



financial benefits to be achieved when the improvement solutions are applied also justify the practical contribution of our study.

**Key Words:** Public transportation, Dead mileage minimization, Bus allocation model.

## 1. GİRİŞ

Bu çalışmada analizini gerçekleştirdiğimiz ve çözüm önerisi sunduğumuz “Ölü Kilometre Minimizasyonu” problemi yapısı gereği toplu taşıma hizmetlerinin en önemli maliyet kalemlerinden birini oluşturan akaryakıt giderlerini doğrudan etkilemektedir. Araçların yolcu taşımadığı, sabah garaj ile servisin başladığı ilk durak ve akşam servisin bittiği son durak ile garaj arasında kat ettiği mesafe ölü kilometre olarak tanımlanmaktadır. Kullanılan araç sayısı ve hizmet verilen bölgenin büyüklüğü arttıkça, oransal olarak önemli gözükmeyecek iyileştirmeler bile önemli bütçe rakamlarına denk gelebilmektedir. Garajların kapasitesine, hizmet verilen hat sayısına ve hatlar ile garajlar arasındaki uzaklıklara bağlı olarak, ölü kilometre yapılırken harcanan akaryakıt miktarı değişmektedir. Yapılan ölü kilometreyi belirlenen kısıtlar altında minimum hale getirmek, harcanan akaryakıt miktarı açısından ciddi bir tasarruf sağlamanın yanı sıra, uzun vadede çevresel bağlamda da olumlu etkileri olacaktır.

Çalışma kapsamında İzmir Büyükşehir Belediyesi ESHOT Genel Müdürlüğü'nün çalıştırdığı 293 otobüs hattında çalışan 1,424 otobüsün, kat edilecek ölü kilometreyi minimum hale getirecek şekilde belirli kapasite ve sayıdaki garajlara atanması için gerçek kısıtlarla uyumlu ve gelecek planlama dönemlerinde kullanılacak esnek modeller geliştirilmiştir. Ölü Kilometre Minimizasyonu için geliştirilmiş bu matematiksel modellerin gerçek verilerle ve en yeni optimizasyon yazılımlarıyla bütünlük olarak çözdürülmesi mevcut durumla anlamlı karşılaştırmalar yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bu sayede optimum hat-garaj atamalarını yapabilecek ve orta-uzun vade hat planlamalarında kullanılacak özel bir karar destek sisteminin temeli olacak yazılım altyapısının model ve veri tabanı yapısı belirlenmiştir.

İzmir'deki otobüs toplu taşıma şirketi özelinde tanımlanan problemin ayrıntılarına geçmeden önce kentsel ulaşım sistemlerinin operasyonel maliyetlerin azaltılması açısından en önemli konularından biri olan ölü kilometre minimizasyonu ile ilgili bilimsel literatürden çalışmalar sunulmaktadır. Sharma ve Prakash, çalışmalarında ilgili garajlara geceleri park edecek otobüslerin optimal sayısına ve garajlarından otobüsleri hatlardaki başlangıç noktalarına götürecek optimal plana karar verme probleminde yer verdiler [1]. Agrawal ve Dhingra, garajların kapasitelerinin artırılması için optimal hat programına, ilgili garajlarda geceleri park edecek araçların sayısına ve bu araçların garajlardan hatlarının başlangıç noktalarına yolculuklarına karar verme problemi üzerine çalıştılar [2]. Prakash ve Saini, birçok potansiyel alan içinden belirtilen kapasitede yeni bir garajın optimal yerini seçen, otobüsleri garajlardan hatlarının başlangıç noktalarına taşıyacak optimal plana karar veren ve bunun yanında yeni bir garaj kurulduktan sonra garajların her birindeki boş kapasiteye de karar veren problemin çözümü ile ilgili çalışmalarını sundular [3]. Sridharan'ın 1991 tarihli çalışması Hindistan'daki MDK şirketi için ölü kilometreyi minimize eden araç atamasını yaparak, 13 garaj için günlük 4,910 kilometre olan ölü kilometre miktarını günde 3,984 kilometreye düşmesini sağladı. Bu miktar, ölü kilometre miktarında %19'luk bir azalışa denk gelmekte idi [4]. Uyeno ve Willoughby Kanada'daki büyük bir kent içi ulaşım sistemi (BC Transit) için garajların yerine, büyüklüğüne ve sayısına karar veren karışık tam sayılı programlama modeli geliştirdiler ve elde ettikleri optimal sonucun uygulanmasıyla yıllık işletim harcamalarında yaklaşık %4 (560,000 \$), ölü kilometre harcamalarında ise yaklaşık %11 bir azalış elde edilmesini sağladılar [5].

Temel otobüs atama problemi, gerekli tamir yerlerinin sayısını optimize eden ve otobüslerin hatlara tip olarak doğru dağılımını sağlayan iki ilişkili problemin birleşmesiyle oluşur. Genel olarak bütünlük problemler (boş çalışma ve tamir optimizasyonu, boş çalışma, tamir optimizasyonu ve otobüs tiplerinin tekrar dağılımı) hiyerarşik olarak veya entegre olarak çözülür. Van der Perre ve Van Oudheusden Bangkok'taki büyük bir otobüs işletmesi (BMTA) için bütünlük problemin boyutları hızla çok yüksek seviyelere ulaştığından temel otobüs atama problemini hiyerarşik yaklaşımla çözdüler. Optimizasyon sonucunda servis dışı harcamaların %42 oranında azalması sağlandı [6]. Prakash vd. otobüsleri



garajlardan hatlarının başlangıç noktalarına atayacak baskın olmayan planların kararı, boş kapasite ve geceleri her bir garaja park edecek otobüs sayısı problemini hiçbirine öncelik vermeden iki amaç aynı anda olmak üzere göz önünde bulundurdu [7]. Willoughby ve Uyeno otobüsleri garajlara belirli bir hattaki otobüsler aynı garaja atanacak şekilde atayan sezgisel bir yöntem geliştirdiler. İlk olarak bir hattın tüm otobüslerini tek bir garaja atama, daha sonra hatları kapasite kısıtlarını sağlamak için alternatif garajlara yerleştirme olmak üzere iki aşamadan oluşan bu yöntemi Kanada'nın en büyük toplu taşıma şirketine (VRTS) uyguladılar [8]. Willoughby, Kanada'daki Vancouver Yerel Ulaşım Sistemi'nin garajlarının yerlerini ve araçların bu garajlara atanmasını analiz etti. Model ölü kilometre maliyetlerinin yanında yeni garaj kurulumları için anapara maliyetlerini de göz önünde bulunduruyordu. Bu modelle toplam harcamalarda %5, ölü kilometre ile ilgili harcamalarda %12 azalış sağladı [9]. Daha güncel bir çalışmada Kepaptsoglou vd. otobüsleri garajlara atarken ölü kilometre maliyetlerini minimize eden ve garajları ideal işletim düzeylerinde tutan karar destek modeli geliştirdiler. Model Atina'daki otobüs işletmesi için uygulandı ve ölü kilometreye bağlı harcamalarda %10 tasarruf sağlanırken, garajlar arası doluluk dengesi de korundu [10].

Şehir içi otobüs taşımacılığıyla ilgili yukarıda özetlenen dünya literatüründeki çalışmalar ve var olan bazı şehir içi toplu taşıma örneklerinde görüldüğü gibi İzmir Büyükşehir Belediyesi'nin ilgili faaliyetlerinde de birden fazla işletici firma vardır. Otobüslerin özellikleri, kapasiteleri ve hatta bakımlarıyla ilgili ihtiyaçlara göre araçların park edildiği garajlar ve bu garajların hangi firma tarafından işletildiği, problemin modellenmesinde bir firma ayrımını gerektirmektedir. Çalışmamız özelinde gözönünde bulundurulmuş 10 garajın 8'i ve araçların yaklaşık %80'i Eshot, kalan garaj ve araçlara İzulaş firması tarafından işletilmektedir.

## 2. MODEL TANIMLARI

Çalışmada tanımlanan modeller işletici firma ayrımının olup olmaması ve garajların kapasite limitlerinin olup olmaması gibi iki kriterle ortaya çıkan dört senaryo kombinasyonundan oluşmaktadır. İlk model Firma Ayrımsız - Kapasite Limitsiz senaryosudur. Bu model otobüs hatlarındaki araçların sadece bir firmaya ait olduğu ve var olan garajların kapasitelerinin istenildiği kadar arttırılabildiği duruma karşılık gelmektedir. Modelin çözümü ile beraber taktik ve stratejik hedeflerde bir limit tanımlanacak, yani olabilecek en düşük ölü kilometre miktarı elde edilecektir. Kısıt açısından en esnek olması sebebiyle beklenildiği gibi bundan sonraki tüm modellerde bu ilk modelde ulaşılan ölü kilometre rakamına ulaşamayacaktır. Sonraki modeller sırasıyla Firma Ayrımsız - Kapasite Limitli, Firma Ayrımlı - Kapasite Limitsiz ve Firma Ayrımlı - Kapasite Limitli senaryolarını içeren modellerdir.

Bu model ve çalışmadaki diğer üç model bağlamında vurgulanması gereken önemli varsayımlardan biri sabahları herhangi bir garajdan bir başlangıç veya bitiş durağına giden otobüslerin, akşamları da aynı duraktan garajlarına dönecekleri varsayımdır. Bu şekilde geliştirilen modellerde sabah ve akşam katedilen ölü kilometre mesafeleri böylelikle eşit kabul edilmektedir.

Geliştirilen model tanımlarına geçmeden önce problemin çözümündeki matematiksel yapıda kullanılan karar değişkenlerini belirleyen ve sınırlayan endeks ve parametreler sunulmakta, karşılık gelen somut kavramlar ve gerçek veri tipleri sırasıyla açıklanmaktadır. Modellerde kullanılan endeks harf ve kümeleri tanımları, modellerin amaç fonksiyon ve kısıtlarında kullanılan parametre ve değişken bilgileri aşağıda verilmektedir.

- Hat endeksi,  $i \in I = \{1, \dots, h\}$  : Otobüs/araç hatları kümesi,  $h$  = toplam hat sayısı.
- Garaj endeksi,  $j \in J = \{1, \dots, g\}$  : Garajlar kümesi,  $g$  = toplam garaj sayısı.
- Durak endeksi,  $k \in K = \{0, 1\}$  : Hatlar için kullanılacak durak kümesi, 0=başlangıç, 1=bitiş durağı.
- İşletici firma endeksi,  $f \in F = \{0, 1\}$  : Araç veya garajları işleten firma kümesi, 0=ESHOT, 1=İZULAŞ.

Modelde kullanılacak ihtiyaç, kapasite ve uzaklık gibi verilere karşılık gelen parametreler aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.



- $d_{ijk}$  :  $i$  hattının  $k$  durağının  $j$  garajına uzaklığı (km),
- $b_{ik}$ :  $i$  hattının  $k$  durağının araç ihtiyacı (adet),
- $b_{ikf}$ :  $i$  hattının  $k$  durağının  $f$  firmasına ait araç ihtiyacı (adet),
- $a_j$  :  $j$  garajının araç kapasitesi (adet), bu ve bir sonraki parametre kullanılabilir net araç sayısını tanımlamaktadır. Eğer garajda duran yedek veya arızalı araçlarla ilgili oran veya sayı verilirse, bunlar düşüldükten sonra kalan kapasite modelde kullanılacaktır.
- $a_{jf}$  :  $j$  garajının  $f$  firmasına ait araç kapasitesi (adet).

## 2.1. Firma Ayrımsız - Kapasite Limitsiz Araç Atama Modeli

Daha önce belirtildiği üzere, ilk olarak kurulan bu esnek modelde araçlarda işletici firma ayrımı yoktur. Garaj kapasiteleri sınırsız varsayılmış sadece hatların başlangıç ve bitiş duraklarının araç ihtiyaçları dikkate alınmıştır. Yukarıdaki değişken ve parametreleri kullanarak oluşturduğumuz en esnek ölü kilometre minimizasyonu modeli aşağıdaki gibidir.

Bu modelde kullandığımız karar değişkeni  $x_{ijk}$ ,  $i$ . hattın  $k$ . durağına  $j$ . garajdan kaç adet araç atandığı bilgisini içermektedir. Diğer bir deyişle, herhangi bir garajda bulunan araçların hangi hattın hangi durağına ne miktarda atandığı bilgisi olarak da ifade edilebilir.

### Model 1:

$$\text{Min } Z_1 = \sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^g \sum_{k \in K} x_{ijk} d_{ijk} \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^g x_{ijk} = b_{ik} \quad , \forall i \in I, \forall k \in K \quad (2)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1, 2, \dots\}, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K \quad (3)$$

(1) numarayla tanımlanmış amaç fonksiyonu  $Z_1$ , tüm hat başlangıç ve bitiş duraklarından, tüm garajlara atanan otobüs miktarlarının, karşılık gelen uzaklıklarla çarpımlarının toplamına karşılık gelen ölü kilometre miktarıdır. Modelin amacı bu miktarı en küçük (minimum) yapacak  $x_{ijk}$  değerlerini bulmaktır. Mevcut ölü kilometre değeriyle karşılaştırırken bu toplamın iki katı kullanılacaktır, çünkü  $Z_1$  toplamının değeri sadece sabah veya akşam katedilen ölü kilometre miktarına eşittir.

(2) numaralı kısıtlar kümesi her hattın ilk ve son duraklarına ait araç ihtiyacını tanımlamaktadır. Yani her hattın başlangıç ve bitiş durak otobüs ihtiyaçlarının tüm garajlardan eşitlik olarak karşılanması gerektiğini ifade eder, ihtiyaç altı miktarları olduğu gibi ihtiyaç fazlasını da reddeder. (3) numaralı kısıt kümesi araç sayılarının negatif olmayan tamsayılar olması varsayımını sağlar. Model 1'in çözümü sonucu ölü kilometre miktarının en düşük limiti için optimum garaj-hat araç atamaları yanında ESHOT Genel Müdürlüğü için ihtiyaçları karşılayan ideal garaj kapasite seviyeleri de belirlenmiş olacaktır.

## 2.2. Firma Ayrımsız - Kapasite Limitli Araç Atama Modeli

Bu ikinci modelin Model 1'den farkı garaj araç kapasite kısıtlarının eklenmesidir. Böylelikle 2.bölümde tanımlanmış  $a_j$  ( $j$  garajının araç kapasitesi) parametrelerinin kullanılması gerekmektedir.

### Model 2:

$$\text{Min } Z_1 = \sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^g \sum_{k \in K} x_{ijk} d_{ijk} \quad (1)$$

s.t.



$$\sum_{j=1}^g x_{ijk} = b_{ik}, \forall i \in I, \forall k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^h \sum_{k \in K} x_{ijk} \leq a_j, \forall j \in J \quad (4)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1, 2, \dots\}, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K \quad (3)$$

(4) numaralı kısıtlar kümesi her garaj için o garajdan hatların ilk ve son duraklarına atanan araç miktarları toplamının o garajın araç kapasitesini (firma ayrımsız) aşmaması gerektiği kısıtını sağlamaktadır. Modelin amaç fonksiyonu ve diğer kısıtlar ilk modeldekilerle aynıdır.

Model 2'nin çözümü ile verilmiş garaj kapasitelerine karşılık gelen optimum garaj-hat araç atamaları bulunacaktır. Bu modelin çözümündeki amaç fonksiyon değeri, yani toplam ölü kilometre miktarı Model 1'dekinden fazla olacaktır. Bunun sebebi de (4) numaralı kısıtta belirtilen garaj araç kapasite kısıtlarının modele eklenmiş olmasıdır.

### 2.3. Firma Ayrımlı - Kapasite Limitsiz Araç Atama Modeli

Model 1 ve Model 2'den farklı olarak bu modelde kullanılan karar değişkeni  $x_{ijkf}$ ,  $i$ . hattın  $k$ . durağının  $j$ . garajdan ve  $f$ . firmaya ait kaç adet araç atandığı bilgisini içermektedir. Karar değişkenine eklediğimiz  $f$  endeksi firma ayrımının modellemedeki sembolik karşılığıdır.

Karar değişkenine ek olarak hatların araç ihtiyaçlarına karşılık gelen  $b_{ikf}$  ( $i$  hattının  $k$  durağının  $f$  firmasına ait araç ihtiyacı) parametreleri de firma ayrımını modellememiz için kullanmamız gerekir. Yeni karar değişkenleriyle farklı bir amaç fonksiyonu ve farklı kısıtlar kümesi içeren üçüncü modelimiz aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

#### Model 3:

$$\text{Min } Z_2 = \sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^g \sum_{k \in K} \sum_{f \in F} x_{ijkf} d_{ijk} \quad (5)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^g x_{ijkf} = b_{ikf}, \forall i \in I, \forall k \in K, \forall f \in F \quad (6)$$

$$x_{ijkf} \in \{0, 1, 2, \dots\}, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K, \forall f \in F \quad (7)$$

(5) numarayla tanımlanmış amaç fonksiyonu  $Z_2$ , tüm hat başlangıç ve bitiş duraklarından, tüm garajlara atanan belli firmalara ait otobüs miktarlarının, karşılık gelen uzaklıklarla çarpımlarının toplamına karşılık gelen ölü kilometre miktarıdır. İlk iki modelden farklı olarak firma ayrımlı toplam ifadesi de eklenmiştir. Modelin amacı benzer şekilde bu toplamı en küçük (minimum) yapacak  $x_{ijkf}$  değerlerini bulmaktır.

(6) numaralı kısıtlar kümesi her hattın ilk ve son duraklarına hangi firmadan kaç araç atanması gerektiğini belirlemektedir. Yani her hattın başlangıç ve bitiş duraklarındaki otobüs ihtiyaçlarının firma ayrımlı olarak tüm garajlardan tam olarak karşılanması gerektiğini ifade eder. (7) numaralı kısıt kümesi  $x_{ijkf}$  araç sayılarının negatif olmayan tamsayılar olması varsayımını sağlar. Bu modelin çözümü ile garaj kapasite limitleri ve garajlara atanacak araçlar hangi firmaya ait olursa olsun hat duraklarındaki firma ayrımlı araç ihtiyacını karşılayan garaj-hat firma araçları atamaları elde edilecektir.



## 2.4. Firma Ayrımlı - Kapasite Limitli Araç Atama Modeli

Bu modelde de 2.3 kısmında tanımlanan modelde kullanılan  $x_{ijkf}$  karar değişkeni kullanılmaktadır. Üçüncü modelden farkı firma ayrımlı garaj araç kapasite kısıtlarının eklenmesidir. Böylelikle 2.bölümde tanımlanmış  $a_{jf}$  ( $j$  garajının  $f$  firmasına ait araç kapasitesi) parametrelerinin kullanılması gerekmektedir. Örneğin bir garaj sadece belli bir firmaya ait araçların park etmesine izin veriyorsa diğer firmalar için  $a_{jf}$  değerleri sıfır kabul edilecektir. Bu parametrelerle belirlenen yeni kısıtların eklendiği son modelimiz aşağıdaki gibidir.

### Model 4:

$$\text{Min } Z_2 = \sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^g \sum_{k \in K} \sum_{f \in F} x_{ijkf} d_{ijk} \quad (5)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^g x_{ijkf} = b_{ikf}, \forall i \in I, \forall k \in K, \forall f \in F \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^h \sum_{k \in K} x_{ijkf} \leq a_{jf}, \forall j \in J, \forall f \in F \quad (8)$$

$$x_{ijkf} \in \{0, 1, 2, \dots\}, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K, \forall f \in F \quad (7)$$

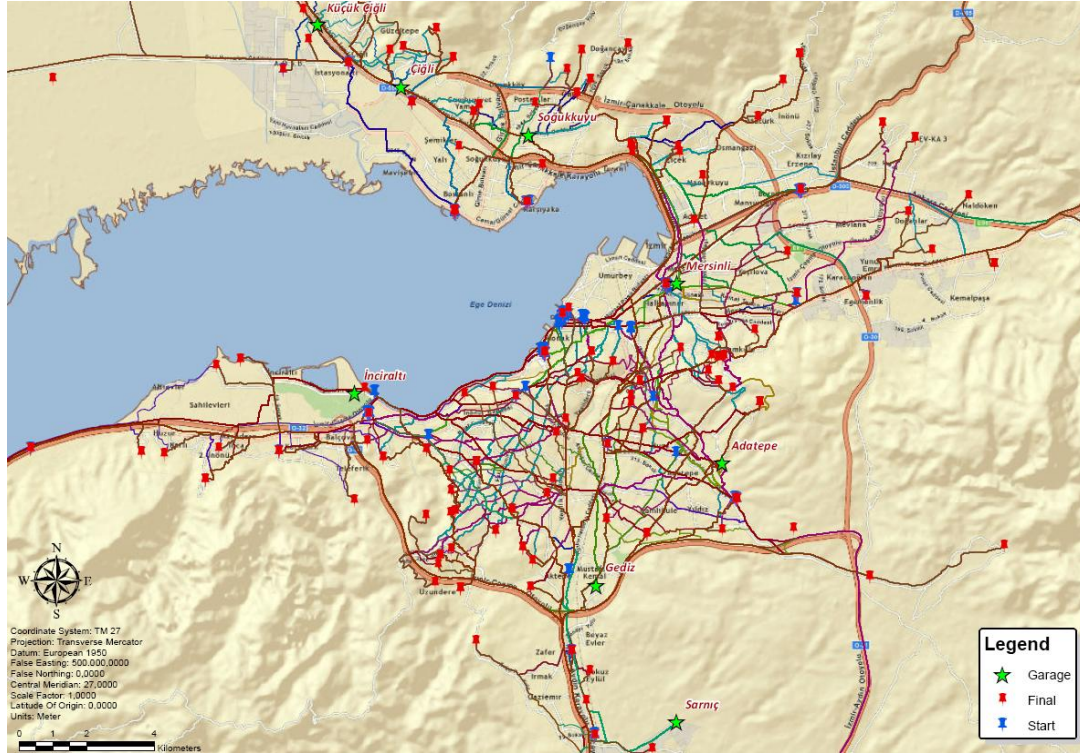
(8) numaralı kısıtlar kümesi her garaj için o garajdan hatların ilk ve son duraklarına atanan belli firmaya ait olan araç miktarları toplamının o garajdaki firma araç kapasitesini aşmaması gerektiği kısıtını sağlamaktadır. Modelin amaç fonksiyonu ve diğer kısıtlar üçüncü modeldekilerle aynıdır. Modelin çözümü ile verilmiş garajdaki firma araç kapasitelerine karşılık gelen optimum garaj-hat firma araçları atamaları bulunacaktır.

Modeller gerçek durumu daha çok yansıttıkça, başka bir deyişle daha çok kısıt koyulduğunda toplam ölü kilometre tasarruf miktarının azalması olağandır. Öte yandan, çözüm sonuçlarının da göstereceği üzere geliştirdiğimiz modellerde bulunan en kötü günlük ölü kilometre değeri bile mevcut duruma oranla önemli bir iyileştirme sağlamaktadır.

## 3. MODEL ÇÖZÜMLERİ

Çalışmanın bu bölümünde elimizdeki en güncel uzaklık, hat araç ihtiyacı ve garaj kapasite verileri ile ikinci bölümde tanımladığımız dört modele ait çözümlerin sayısal sonuçları sunulmaktadır. Garajlar ve hatların başlangıç ve bitiş durakları arasındaki uzaklıklar sayısal haritalar kullanılarak oluşturulan yazılım aracılığıyla en kısa yollar baz alınarak hesaplanmıştır. Garajlar, hatların başlangıç ve bitiş durakları ve garajlar ve baş ve son duraklar arasındaki en kısa yollar Şekil 1'de İzmir şehiriçi haritası üzerinde sunulmaktadır.

Bu uzaklıklar kullanılarak dört modele ait çözümlerin karşılaştırmasında baz olacak mevcut bölge-hat-garaj eşleşmesine ait toplam ölü kilometre miktarı 16,851 km. olarak hesaplanmıştır. En güncel hat araç ihtiyaçlarını karşılayan bu mevcut durum hesabı Tablo 1'de garajlara yapılan araç atama sayıları ve karşılık gelen ölü km miktarlarıyla beraber sunulmaktadır.



**Şekil 1.** Garajlar, Hatların Başlangıç ve Bitiş Durakları ve En Kısa Yollar

**Tablo 1.** Mevcut Durum Ölü Km ve Garaj Kullanım Bilgileri

Garajlar	Mevcut Araç Sayıları			Ölü Km		
	Başlangıç	Bitiş	Toplam	Başlangıç	Bitiş	Toplam
1-Gediz	32	179	211	484.74	2,677.93	3,162.66
2-İnciraltı	94	99	193	706.78	1,493.05	2,199.83
3-Adatepe	42	208	250	143.30	1,572.31	1,715.62
4-Mersinli	71	131	202	509.35	1,953.51	2,462.86
5-Soğukkuyu	7	63	70	99.41	334.46	433.87
6-Çiğli	23	158	181	438.54	2,060.71	2,499.26
7-Urla	0	11	11	0.00	204.50	204.50
8-Torbalı	9	11	20	1.71	112.75	114.47
9-Stad	41	100	141	404.39	1,848.60	2,252.99
10-Belkahve	32	113	145	336.89	1,467.75	1,804.64
			TOPLAM	3,125.12	13,725.58	16,850.70
			ESHOT	2,383.84	10,409.23	12,793.07
			İZULAŞ	741.28	3,316.35	4,057.63

Özetlemek gerekirse, bu çalışma genelinde mevcut durumu temsil etmek için ESHOT ve İZULAŞ atama verilerine dayanan, ESHOT için 12,793 km., İZULAŞ için 4,058 km. ve genel toplamda 16,851 km.lik ölü kilometre değerleri kullanılacaktır. Araç ihtiyaç, garaj-durak uzaklıkları, garaj kapasiteleri gibi model parametreleriyle, hat-garaj atama ve ölü km. sonuçları için MS Excel formatında dosyalar kullanılmış, kullanılan optimizasyon yazılımının girdi ve çıktı veri kaynağını bu dosyalar oluşturmuştur.

Dört modelin çözümünde IBM ILOG CPLEX 12.1 optimizasyon yazılım paketinden yararlanılmıştır. Matematiksel modellerin kodlanmasında ILOG OPL 6.3 model programlama dili kullanılmıştır. Çözümler 3 çekirdekli, 4 GB Ram ve 1.8 GHz işlemciye sahip bir PC üzerinde gerçekleştirilmiştir.



### 3.1. Model 1 (Firma Ayrımsız - Kapasite Limitsiz) Çözümleri

Çalışmanın 2.1 kısmında da belirtildiği gibi tanımlanan kısıtlar açısından en esnek olan bu modelin çözümüyle en düşük günlük ölü kilometre değeri elde edilmiştir (11,564 km). Mevcut duruma göre yaklaşık % 31.4 oranında bir iyileştirme sağlayan bu model, eldeki araç ihtiyacı ve uzaklık verilerine karşılık gelen ideal garaj kapasitelerini ve bu firma ayrımsız garajlara atanan hat-araç sayılarını bulmaktadır. Bu modele göre tüm hatların yaklaşık yarısında (161 hat) başlangıç ya da bitiş durağına atanan garajlar değişmiştir. Tablo 2'de Model 1'in tasarruf miktarları verilmektedir. Bu ve sonraki hesaplamalarda 100 km.de ortalama yakıt tüketiminin 50 litre olduğu varsayılmıştır.

**Tablo 2.** Model 1 Tasarruf Miktarları

	Ölü km miktarı	Ölü km azalış miktarı (Günlük)	Azalış Oranı	Yıllık yakıt tasarruf miktarı
ESHOT+İZULAS	11.564	5.287	%31.4	964.878

Model 1'de önerilen değişiklikler gerçekleştirilirse elde edilecek yıllık akaryakıt tasarruf miktarı yaklaşık 965,000 l. olmaktadır. Akaryakıt maliyet kaleminde neredeyse üçte bir oranında tasarruf imkanı sunan bu rakamlar, garaj kapasitelerindeki artış ve tek firmalı işletmeye geçiş için gerekli değişikliklerin yapılmasını sağlayacak yatırım masraflarının tümünü veya çoğunu kısa vadede karşılayacak gibi gözükmektedir.

### 3.2. Model 2 (Firma Ayrımsız - Kapasite Limitli) Çözümleri

Model 1'de olduğu gibi ESHOT veya İZULAŞ gibi hat ve garaj işletici firma ayrımı gözetmeyen bu çözümde gerçek garaj kapasiteleri dikkate alınmıştır. Bu sebeple ikinci modelin çözüm miktarı 2.2 kısmında da vurgulandığı gibi Model 1'deki ölü kilometre miktarından fazladır (13,198 km). Model 2 ile belirlenen atamalar mevcut duruma oranla ölü kilometre miktarında %21.7'lik bir azalma sağlamaktadır. Model 2'ye ait tasarruf miktarları Tablo 3'de özetlenmektedir.

**Tablo 3.** Model 2 Tasarruf Miktarları

	Ölü km miktarı	Ölü km azalış miktarı (Günlük)	Azalış Oranı	Yıllık yakıt tasarruf miktarı
ESHOT+İZULAS	13,197	3,652	%21.7	666,490

Firmalarda çalışması gereken hatların belirlenmesi ve atama sonuçlarının uygulanmasıyla gerçekleşecek yıllık akaryakıt tasarruf tutarı yaklaşık 670,000 l.dir. İlk aşamada uygulanması zor olsa da uzun vadede bu modelin uygulanması ve hatların firmalar arasında değişiminin sağlanması ciddi miktarda akaryakıt tasarrufu sağlayacaktır.

### 3.3 Model 3 (Firma Ayrımlı - Kapasite Limitsiz) Çözümleri

Model 3 firma ayrımını dikkate almasından dolayı gerçek duruma daha yakın bir çözüm alternatifi sunmaktadır. Garaj kapasitelerini dikkate almayarak firma ayrımlı durumdaki ideal garaj kapasite seviyeleri hakkında bilgi vermektedir. Araçlara ve garajlara ait firma kısıtlarıyla üçüncü modeldeki ölü km miktarı 13,837 km. olarak hesaplanmaktadır. Bu rakama karşılık gelen iyileştirme oranı %17.9'dur (Tablo 4).



**Tablo 4.** Model 3 Tasarruf Miktarları

	Ölü km miktarı	Ölü km azalış miktarı (Günlük)	Azalış Oranı	Yıllık yakıt tasarruf miktarı (l)
ESHOT	10,185	2,608	%20.4	475,960
İZULAS	3,652	406	%10.0	74,095
ESHOT+İZULAS	13,837	3,014	%17.9	550,055

Model 3'te 111 hattın garaj bilgisi değişmekte, yıllık yaklaşık 550,000 l. yakıt tasarrufu elde edilmektedir.

### 3.4. Model 4 (Firma Ayrımlı - Kapasite Limitli ) Çözümleri

Modellerden sonuncusu firma ayrımı ve garaj kapasiteleriyle ilgili kısıtları dikkate alan, dolayısıyla mevcut durumu temsil açısından en gerçekçi modeldir. Bu sebeple tanımlandığı 2.4 kısmında açıklandığı gibi çözümünü elde edilen ölü kilometre miktarı en yüksek olmaktadır.

Mevcut duruma göre %7.8'lik bir iyileştirme sağlayan 15,529 km.lik çözüm ile kapasitelerinin kullanımı açısından en kritik ESHOT ve İZULAS garajları belirlenmiştir. Buna göre ESHOT'un işlettiği araç ve garajlar için bakıldığında Mersinli, Soğukkuyu ve Urla garajları tam kapasite kullanılmaktadır. İZULAS tarafında ise Stad garajı kapasitesi tüm atamalarla tüketilmektedir (Tablo 5).

**Tablo 5.** Model 4 Çözümü

Garajlar	Atanan Araç sayısı	Mevcut Kapasite	Fark (fazla kapasite)
1-Gediz	203	260	57
2-İnciraltı	235	250	15
3-Adatepe	165	300	135
4-Mersinli	240	240	0
5-Soğukkuyu	70	70	0
6-Çiğli	193	250	57
7-Urla	10	10	0
8-Torbalı	22	26	4
9-Stad	170	170	0
10-Belkahve	116	220	104

Bu kısıtlar altında elde edilen çözümde Model 4'ün taahhüt ettiği yıllık akaryakıt tasarruf tutarı yaklaşık 240.000 l.dir (Tablo 6) ve bu tasarruf toplam 49 hattın garaj atamasının değişmesiyle gerçekleştirilir.

Mevcut duruma en yakın model olmasından ve bu açıdan uygulama kolaylığından dolayı firma ayrımı ve garaj kapasite limitinin birlikte göz önünde bulundurulduğu Model 4'ün uygulanmasına karar verilmiştir. Bunun yanı sıra, gelecekte firmalar arası hatların değişimi söz konusu olduğunda firma ayrımsız, kapasite limitli model olan Model 2'nin uygulanması da ölü kilometre azalışını ciddi miktarda arttıracığından (%21.7) oldukça mantıklı gözükmektedir.

**Tablo 6.** Model 4 Tasarruf Miktarları

	Ölü km miktarı	Ölü km azalış miktarı (Günlük)	Azalış Oranı	Yıllık yakıt tasarruf miktarı (l)
ESHOT	11,736	1,057	%8.3	192,903
İZULAS	3,793	265	%6.5	48,363
ESHOT+İZULAS	15,529	1,322	%7.8	241,266

## SONUÇ

Bu çalışmada, İzmir Büyükşehir Belediyesi ESHOT Genel Müdürlüğü'nün otobüslerini ölü kilometreyi minimize edecek şekilde atayacak bir otobüs atama modelleri geliştirilmiş ve çözümleri elde edilmiştir. Modellerin çözümleri sonucunda yakıt tüketimindeki tasarruf miktarları çalışmanın geçerlilik ve gerekliliğini ortaya koymaktadır. Firma ayrımı ve garaj kapasiteleriyle ilgili kısıtları dikkate alan, dolayısıyla mevcut durumu temsil açısından en gerçekçi model olduğundan Model 4'ün uygulanmasına karar verilmiştir. Model 4 ile ölü kilometre miktarı %7.8 azalacak, yakıt tüketiminde yıllık yaklaşık 240,000 l. tasarruf sağlanacaktır. Ancak uzun vadede firmalar arası hat değişimleri uygulanabilir olduğunda Model 2 (Firma Ayrımsız - Kapasite Limitli Model)'den de yararlanılabilecek ve ölü kilometredeki %21.7 azalışla yıllık akaryakıt tasarrufu 667,000 l. seviyelerine ulaşacaktır.

Bunun yanında, çalışmanın çevresel boyutuyla ilgili kazanımlar en az akaryakıt maliyetlerinde beklenen iyileşmeler kadar önemlidir. Çevreyle ilgili çeşitli faktörler gelecekte yapılacak bütünleşik sistem planlama projeleri ve bunların AB Çerçeve programlarına dahil edilebilmesi fırsatlarında kritik değerlendirme ölçütleri olarak proje sahipleri ve karar vericilerin karşısına çıkacaktır. Bu çalışmada sunulan modellerin her birinin uygulanabilir olmasının yanında, dört modelin çözümündeki optimal hat-garaj atamaları ve gereken kapasite değişiklikleri yapıldığında ortalamada yıllık 775 ağaç dikiminden elde edilecek oksijen artışı sağlanacaktır. Diğer taraftan bakılırsa İzmir şehri sakinleri en azından yıllık ortalama 258 ton CO<sub>2</sub> (karbon dioksit) salınımının zararlı etkilerinden kurtulma şansına sahip olacaktır [11]. Çalışmamıza bu bağlamda bakıldığında, uzun vadede yaşanabilir bir kentin çevre şartlarının oluşumuna önemli bir katkı sağlayacak bir problem ortaya konmuş ve sürdürülebilir toplu taşıma sistemlerinin alt yapısının bir halkası için somut bir çözüm sunulmuştur.

Çalışmanın bundan sonraki aşamalarında mevcut durumun daha gerçekçi analizi için firma ayrımına ek olarak hatlarda kullanılan araçların tipleri ve bu araç tiplerine karşılık gelen gerçek garaj kapasitelerinin dahil edildiği modeller ve araçların sabah ve akşam park edildiği garajlar yanında gün içindeki hat-otobüs ihtiyaçlarının dinamik değişkenliğini göz önünde bulunduran ve gün içindeki optimum hat-garaj atamasını içeren modeller ve çözümler üzerine çalışılacaktır.

Bu çalışma, İzmir Büyükşehir Belediyesi ESHOT Genel Müdürlüğü tarafından desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] SHARMA, V., & PRAKASH, S., "Optimizing Dead Mileage in Urban Bus Routes", Journal of Transportation Engineering, Vol.112 No.1, s.121-129, 1986.
- [2] AGRAWAL, A.K., & DHINGRA, S.L., "An Optimal Programme for Augmentation of Capacities of Depots and Shipment of Buses from Depots to Starting Points of Routes", Indian J.Pure Appl. Math 20(2), s.111-120, 1989.
- [3] PRAKASH, S., & SAINI, V., "Selection of Optimal Site for New Depot of Specified Capacity with Two Objectives", Indian J.Pure Appl. Math, 20(5), s.425-432, 1989.



- [4] SRIDHARAN, R., "Allocation of Buses to Depots: A Case Study", Vikalpa 16 No. 2, s.27-32, 1991.
- [5] UYENO, D.H., & WILLOUGHBY, K.A., "Transit Center Location-Allocation Decisions", Transpn. Res.-A. Vol.29A No.4, s.263-272, 1995.
- [6] VAN DER PERRE, P., & VAN OUDHEUSDEN, D., "Reducing depot-related costs of large bus operators a case study in Bangkok", European Journal of Operational Research (96), s.45-53, 1996.
- [7] PRAKASH, S., BALAJI, B.V., & TUTEJA, D., "Optimizing dead mileage in urban bus routes through a nondominated solution approach", European Journal of Operational Research 114, s.465-473, 1999.
- [8] WILLOUGHBY, K.A., & UYENO, D.H., "Resolving splits in location/allocation modeling: a heuristic procedure for transit center decisions", Transportation Research Part E 37, s.71-83, 2001.
- [9] WILLOUGHBY, K.A., "A mathematical programming analysis of public transit systems", Omega 30, s.137-142, 2002.
- [10] KEPAPTSOGLU, K., KARLAFTIS, M.G., & BITSIKAS, T., "Bus to Depot Allocation: Models and Decision Support System", Journal of Transportation Engineering, Vol.136 No.7, s.600-605, 2010.
- [11] TEMA Vakfı (Türkiye Erozyonla Mücadele, Ağaçlandırma ve Doğal Varlıkları Koruma Vakfı), [www.tema.org.tr/Karbonmetre/Karbonmetre.html](http://www.tema.org.tr/Karbonmetre/Karbonmetre.html), [Son erişim 06.05.2011].

## ÖZGEÇMİŞ

### Efendi NASİBOĞLU (NASİBOV)

Lisans ve Yüksek Lisans derecelerini 1983 yılında Azerbaycan Devlet Üniversitesi, Uygulamalı Matematik Bölümü'nden aldı. 1987 yılında Moskova'da SSCB Merkezi Matematiksel Ekonomi Enstitüsü'nde Doktora tezini tamamlayarak Matematiksel Sibernetik alanında Ph.D. ve 2003 yılında Azerbaycan Milli Bilimler Akademisi Sibernetik Entitüsü'nde Bilgisayar Bilimleri alanında Dr.Sc. derecelerini aldı. 1989-1990 yıllarında "AZERBVODSTROY" Uluslararası Şirketinde Bilgisayar Yazılımları Bölüm Başkanı, 2000-2009 yıllarında Azerbaycan MBA Sibernetik Enstitüsü'nde Karar Modelleri ve Sistemleri Bölüm Başkanı, 2003-2006 yıllarında Ege Üniversitesi İstatistik Bölümünde, 2006-2010 yıllarında Dokuz Eylül Üniversitesi İstatistik Bölümü'nde Prof.Dr. olarak çalışmıştır. 2010 yılından bu yana Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Fakültesi bünyesinde Bilgisayar Bilimleri Bölümü'nü kurmuş ve halen bu bölümde Prof.Dr. ve Bölüm Başkanı olarak görev yapmaktadır. Bulanık Karar Sistemleri, Veri Madenciliği ve Bilgisayar Programlama alanlarında çalışmaktadır.

### Uğur ELİYİ

Lisans ve Yüksek Lisans derecelerini 1999 ve 2004 yıllarında sırasıyla Orta Doğu Teknik Üniversitesi Matematik ve Endüstri Mühendisliği Bölümleri'nden almıştır. 1998-2000 yıllarında Ankara'da ve 2005-2009 yılları arasında İzmir'de olmak üzere yazılım, gıda ve eğitim sektörlerindeki çeşitli yerli ve uluslararası firmalarda planlama ve geliştirme uzmanı, teknik danışman, eğitmen ve analist olarak görev aldı. 2000-2004 yılları arasında ODTÜ MODSİMMER'de çoğunlukla savunma sanayi projelerinde olmak üzere araştırma görevlisi olarak çalıştı. 2009 yılından bu yana Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalında Doktora programına devam etmekte ve İzmir Ekonomi Üniversitesi Endüstri Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Ana çalışma alanları Kombinatoriyel Optimizasyon, Algoritmalar, Sezgisel Yöntemler ve Karar Destek Sistemleridir.

### Mefharet ÖZKILÇIK

1983 yılı İzmir doğumludur. 2005 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi İstatistik Bölümü'nden Lisans derecesi, 2007 yılında ise yine aynı bölümden Yüksek Lisans derecesi aldı. 2008 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi İstatistik Bölümü'nde başladığı doktora eğitimini sürdürmektedir. Bununla birlikte, 2007 yılında İzmir Büyükşehir Belediyesi ESHOT Genel Müdürlüğü'nde İstatistikçi olarak başladığı görevine Ulaşım Planlama İstatistik Şube Müdürlüğü'nde devam etmekte, ulaşım planlama ve toplu taşıma



sistemlerinde optimizasyon üzerine çalışmaktadır. Doğrusal Olmayan Zaman Serileri, Kaos ve Tahminleme ana çalışma alanlarıdır.

### **Ümit KUVVETLİ**

1984 yılı İzmir doğumludur. Dokuz Eylül Üniversitesi İstatistik Bölümü'nden 2006 yılında Lisans, 2008 yılında ise Yüksek Lisans derecesi aldı. 2009 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi İstatistik Bölümü'nde başladığı doktora eğitimini sürdürmektedir. Bununla birlikte, 2007 yılında İzmir Büyükşehir Belediyesi ESHOT Genel Müdürlüğü'nde İstatistikçi olarak başladığı görevine Ulaşım Planlama İstatistik Şube Müdürlüğü'nde devam etmekte, ulaşım planlama ve toplu taşıma sistemlerinde optimizasyon üzerine çalışmaktadır. Hizmet Sektöründe Kalitenin Ölçülmesi ve Geliştirilmesi ve Yalın Altı Sigma Metodolojisi temel çalışma konularıdır.