

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
SAYISAL YÖNTEMLER BİLİM DALI

ÖLÜ KİLOMETRE OPTİMİZASYONU ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA: İSTANBUL METROBÜS SİSTEMİ ÖRNEĞİ

Yüksek Lisans Tezi

BURAK SEVİM

İstanbul, 2017

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
SAYISAL YÖNTEMLER BİLİM DALI

ÖLÜ KİLOMETRE OPTİMİZASYONU ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA: İSTANBUL METROBÜS SİSTEMİ ÖRNEĞİ

Yüksek Lisans Tezi

BURAK SEVİM

DANIŞMAN: YRD. DOÇ. DR. MEHMET NURİ İNEL

İstanbul, 2017



T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

TEZ ONAY BELGESİ

İŞLETME Anabilim Dalı SAYISAL YÖNTEMLER Bilim Dalı TEZLİ YÜKSEK LİSANS öğrencisi Burak Sevim'nin ÖLÜ KİLOMETRE OPTİMİZASYONU ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA: İSTANBUL METROBÜS SİSTEMİ ÖRNEĞİ adlı tez çalışması, Enstitümüz Yönetim Kurulunun 15.05.2017 tarih ve 2017-11/23 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi 08.06.2017

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

1.	Tez Danışmanı	Yrd. Doç. Dr. MEHMET NURİ İNEL	
2.	Jüri Üyesi	Prof. Dr. HAKAN YILDIRIM	
3.	Jüri Üyesi	Doç. Dr. NİHAN YILDIRIM	

GENEL BİLGİLER

İsim ve Soyadı	: Burak SEVİM
Anabilim Dalı	: İşletme
Programı	: Sayısal Yöntemler
Tez Danışmanı	: Yrd. Doç. Dr. Mehmet Nuri İNEL
Tez Türü ve Tarihi	: Yüksek Lisans – Haziran 2017
Anahtar Kelimeler	: Optimizasyon, Ölü Kilometre

ÖZET

ÖLÜ KİLOMETRE OPTİMİZASYONU ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA: İSTANBUL METROBÜS SİSTEMİ ÖRNEĞİ

Kent içi lastikli toplu taşımacılıkta gider kalemlerinin en büyüklerinden biri akaryakıt maliyetleridir. Akaryakıtın pahalı olması bir yana, yolcusuz hareketlerden (garajdan hat başı/hat sonuna ya da hat başı/hat sonundan garaja gidişler) kaynaklanan ve literatürde ölü kilometre olarak tabir edilen maliyetlerin varlığı akaryakıt maliyetlerinin yüksek olmasında önemli etkenlerden biridir.

İETT (İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel) İşletmeleri Genel Müdürlüğü'nden alınan verilere göre gerçekleştirilen kilometrelerin önemli bir kısmını ölü kilometreler oluşturmaktadır. Bu çalışma ile optimizasyon tekniklerinin kullanılmasıyla hat-garaj eşleştirmesinde değişiklikler yapılarak ölü kilometrenin azaltılması hedeflenmiştir. Çalışmanın kapsamı İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü'nün yürütüm, yönetim ve denetiminde yer alan ve BRT (Bus Rapid Transit-Metrobüs) sisteminde toplu ulaşım hizmeti veren hatlar ve garajlardır.

GENERAL KNOWLEDGE

Name and Surname	: Burak SEVİM
Field	: Business Administration
Programme	: Quantitative Methods
Supervisor	: Assist. Prof. Mehmet Nuri İNEL (Ph.D)
Degree Awarded and Date	: Master – June 2017
Keywords	: Optimization, Dead Kilometer

ABSTRACT

A STUDY ON DEAD KILOMETER OPTIMIZATION:EXAMPLE OF ISTANBUL METROBUS SYSTEM

Fuel cost is one of the biggest expense item in urban wheeled public transport. Aside from the fuel being very expensive, expenses created by movements without passengers (journeys from the depot to the beginning of the line/the end of the line, and vice versa), and the presence of expenses referred to as dead kilometer in the literature are important factors that result in fuel costs to be high.

According to the data obtained from General Directorate of IETT (Istanbul Electricity Tramway Tunnel) Operations, dead kilometers comprise a significant portion of the kilometers that are realized. With this study, it has been aimed to reduce dead kilometers by making changes in the line-depot matching by using optimization techniques. Scope of the study is the lines and depots under the execution, management and control of General Directorate of IETT Operations that provide public transport service on the BRT (Bus Rapid Transit-Metrobus) system.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
TABLO LİSTESİ	I
ŞEKİL LİSTESİ	III
KISALTMALAR	IV
1. GİRİŞ	1
2. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA	3
2.1. Doğrusal Programlamanın Tanımı	3
2.2. Doğrusal Programlamanın Varsayımları	3
2.3. Doğrusal Programlama Modelinin Unsurları	4
2.3.1. Karar Değişkenleri	5
2.3.2. Amaç Fonksiyonu	6
2.3.3. Kısıtlar.....	6
2.4. Tam Sayılı Doğrusal Programlama	8
3. LASTİK TEKERLEKLİ TOPLU TAŞIMACILIKTA ÖLÜ KİLOMETRELER	10
3.1. Ölü Kilometrelerin Tanımı	10
3.1.1. İlk Ya Da Son Hareketten Oluşan Ölü Kilometreler	10
3.1.2. Garaj Faaliyetlerinden Kaynaklanan Ölü Kilometreler	11
3.2. Ölü Kilometre Unsurları	12
3.2.1. Hat	12
3.2.2. Garaj.....	14
3.2.3. Başlangıç (A) ve Bitiş (B) Noktaları.....	15
3.3. Ölü Kilometre Optimizasyonu	17
4. TAM SAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA METODU İLE ÖLÜ KİLOMETRE OPTİMİZASYONU	22
4.1. Uygulamanın Konusu	22
4.2. Uygulamanın Amacı.....	22
4.3. Uygulamanın Önemi	22
4.4. Uygulamanın Yöntemi Ve Kısıtları.....	22
4.5. Uygulamanın Aşamaları	23

4.5.1. Mevcut Durum Analizi	24
4.5.1.1. Hatlar	25
4.5.1.2. Garajlar	26
4.5.1.3. Başlangıç Noktaları	27
4.5.1.4. Mevcut Durum Ölü Kilometre Hesabı	29
4.5.2. Tam Sayılı Doğrusal Programlama İle Optimizasyon	33
4.5.2.1. Amaç Fonksiyonu	34
4.5.2.2. Başlangıç Noktalarından Başlayacak Otobüs Sayısı Kısıtı	36
4.5.2.3. Garajların Kapasite Kısıtları	39
4.5.2.4. Uç Noktalardaki Garajlardan Uç Noktalardaki Başlangıç Noktalarına Otobüs Göndermeme Kısıtı	41
4.5.2.5. Dinlenmeli Ve Gareli Çalışan Otobüslerin Sabah Ve Akşam Garajlarından Çıkış Eşitliğini Sağlayan Kısıt	44
4.5.2.6. Pozitiflik Kısıtı	46
4.5.2.7. Tam Sayı Olma Kısıtı	46
4.5.2.8. Modelin Çalıştırılması	47
4.6. Bulgular	50
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	77
EKLER	87
KAYNAKLAR.....	133

TABLO LİSTESİ

Sayfa No.

Tablo 1	:BRT Hatlarının Çalışma Şekillerine Göre Otobüs Sayıları	25
Tablo 2	:BRT Hatlarının Garaj Ve Başlangıç Nokta Bazlı Otobüs Dağılımı	27
Tablo 3	:BRT Sistemindeki Hatların A Ve B Noktalarının Garajlara Uzaklığı (km)	29
Tablo 4	:Mevcut Durum Çalışma Şekillerine Göre Ölü Kilometre Dağılımı	32
Tablo 5	:Hat Bazlı Ölü Kilometre Verileri.....	32
Tablo 6	:Başlangıç Noktalarına Göre Hatların Otobüs Sayıları.....	37
Tablo 7	:Garaj Kapasite Kısıtları	39
Tablo 8	:Uç Garajlardan Uç Noktalara Otobüs Atanma Kuralı	43
Tablo 9	:Optimizasyon Sonucu Oluşan Yeni BRT Hat-Garaj Dağılımı	49
Tablo 10	:Yeni Durum Çalışma Şekillerine Göre Hat Bazında Ölü Kilometre Dağılımı	51
Tablo 11	:Mevcut Durum İle Yeni Durumun Hat Bazında Kırılımlı Ölü Kilometre Mukayesesi (Dinlenmeli Ve Gareli Mükerrerliği Var)...	52
Tablo 12	:Yeni Dağılım Hat Bazlı Ölü Kilometre Verileri.....	60
Tablo 13	:Mevcut Durum İle Yeni Durumun Hat Bazında Kırılımlı Araç Başı Ölü Kilometre Mukayesesi (Dinlenmeli Ve Gareli Mükerrerliği Birleştirilmiş)	61
Tablo 14	:Hatların Mevcut Durum İle Optimum Durumdaki Garaj Bazlı Otobüs Çıkarma Oranı	62
Tablo 15	:A Noktası İlk Kalkışlı Otobüslerinin Mevcut Durum İle Optimum Durum Mukayesesi	66
Tablo 16	:B Noktası İlk Kalkışlı Otobüslerinin Mevcut Durum İle Optimum Durum Mukayesesi	67
Tablo 17	:Mevcut Durumda Garajlardan Çalışma Şekillerine Göre Çıkan Otobüs Sayıları.....	67
Tablo 18	:Optimal Durumda Garajlardan Çalışma Şekillerine Göre Çıkan Otobüs Sayıları.....	68

Tablo 19 :Mevcut Durum Servislerini Gerçekleştirmek İçin Gerekli şoför Sayısı.....	70
Tablo 20 :Optimal Durum Servislerini Gerçekleştirmek İçin Gerekli şoför Sayısı.....	70
Tablo 21 :Akaryakıt Maliyetlerinin Hesaplanma Aşamaları Ve Mevcut Durum İle Optimal Durum Mukayesesi	74
Tablo 22 :İşçilik Maliyetlerinin Hesaplanma Aşamaları Ve Mevcut Durum İle Optimal Durum Mukayesesi	74
Tablo 23 :Ölü Kilometre Kaynaklı Toplam Maliyet Ve Maliyet Kalemleri İle Mevcut Durum Optimal Durum Mukayesesi.....	75
Tablo 24 :Ölü Kilometre Kaynaklı Toplam CO ₂ Gazı Salınımlarının Hesaplama Aşamaları İle Mevcut Durum Optimal Durum Mukayesesi	76

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No.

Şekil 1	:Bir Garajın Temel Bileşenleri.....	14
Şekil 2	:İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü 34G Numaralı Metrobüs Hattı Güzergahı	16
Şekil 3	:İstanbul BRT Aksı Ve BRT Garajlarının Lokasyonları	26



KISALTMALAR

AVC	İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü Avcılar Garajı
BDZ	İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü Beylikdüzü Garajı
BRT	Bus Rapid Transit-Hızlı Otobüs (Metrobüs)
EDK	İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü Edirnekapı Garajı
HSP	İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü Hasanpaşa Garajı
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İETT	İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri



1. GİRİŞ

Günümüzde toplu taşımacılık büyük, küçük birçok şehrin önemli problemlerinden biridir. Toplu taşımacılık sorununu tamamen ya da büyük ölçüde çözen şehirler kabul edilmelidir ki büyük şehirlerdir. Paris, Londra, Seul bu söyleme örnek şehirlerdendir.

Toplu taşımacılık sisteminin kurulması, işletilmesi, yönetilmesi yüksek maliyet gerektiren durumlardır. Bu maliyetlerin başlıca kalemleri; altyapı, araç, personel, bakım ve akaryakıt gibi kalemlerdir. Kent içi lastikli toplu taşımacılıkta en önemli gider kalemlerinden biri, akaryakıt maliyetleridir.

Akaryakıt maliyetleri toplu taşımacılığa hizmet eden otobüslerin hareket ederek kilometre kat etmesinden ötürü oluşmaktadır. Bir otobüsün kilometre doğurduğu üç tip hareketi vardır. Birinci hareket, otobüslerin bağlı bulundukları garajlardan hat başı/ hat sonu noktalarına ya da tersi hareketlerden kaynaklı kilometreler, yani hat başı/hat sonu noktalarından bağlı bulundukları garajlara yolcusuz kat ettikleri kilometrelerdir. Bu yolcusuz hareketlerden oluşan kilometrelere ölü kilometre denmektedir ve bu kilometrelerin minimize edilmesi bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. İkinci hareket ise planlanan seferlerin gerçekleştirilmesiyle oluşan kilometrelerdir. Üçüncü hareket şekli ise garaj içerisindeki bakım, onarım ve temizlik gibi temel faaliyetlerin gerçekleştirilmesi için otobüs garaj içerisindeki faaliyet alanlarında seyir etmesidir.

Toplu taşımacılıkta tasarruf sağlamak için metotlardan birisi kilometrelerin minimize edilmesidir. İkinci tip hareket olan sefer hareketleri, optimum bir plan ışığında gerçekleştirildiğinden bu hareketlerden tasarruf sağlamak yani seferlerin azaltılması pek mümkün değildir. Bu noktada ölü kilometrelerin minimize edilmesinden faydalanmak gerekecektir. Ölü kilometreleri minimize etmenin önemi de bu noktada devreye girmektedir.

İETT Genel Müdürlüğü'ne bağlı Metrobüs sisteminde mevcut durumda toplam 499 adet BRT (Bus Rapid Transit-Metrobüs) otobüsü, 4 farklı garajdan 7 farklı hatta hizmet vererek hat başlarına (A noktaları) ya da hat sonlarına (B noktaları) gitmektedirler.

Çalışma ile garaj-hat dağılımlarında optimumluk sağlanması hedeflenmekte ve minimal düzeyde ölü kilometre ile çalışılması arzulanmaktadır.

Bu kapsamda çalışmanın ikinci bölümünde, ölü kilometreyi minimize ederken kullanacağımız metot olan doğrusal programlama metoduna değinilecek, doğrusal programlamanın kullanım alanlarından bahsedilecek ve yorumlanacaktır.

Üçüncü bölümde ölü kilometrelerin tanımı yapılacak ve toplu taşıma sistemlerinde ölü kilometrenin önemi vurgulanacaktır. Yine bu bölümde, ölü kilometrelerin optimize edildiği yerel ve global çalışmalardaki metotlar incelenecek ve sonuçlar yorumlanacaktır.

Dördüncü bölümde uygulamaya girilerek, İstanbul BRT sistemindeki mevcut hat-garaj eşleştirmeleri, yeni bir hat-garaj eşleştirme modeliyle değiştirilerek ölü kilometreler minimize edilecektir. Bu yeni eşleştirme modeli tam sayılı doğrusal programlama metoduyla belirlenecektir. Belirlenen amaç fonksiyonu ve kısıtlar ışığında oluşan çıktılar, yeni garaj-hat dağılımını verecektir.

Beşinci bölümde tam sayılı doğrusal programlama neticesinde oluşan yeni hat-garaj dağılımıyla ölü kilometrelerin mevcut durumdaki ölü kilometreler mukayesesi incelenecek ve bu değişim miktarları akaryakıt (lt), akaryakıt tutarı (TL) ve çevreye salınan CO₂ gazı (kg) değişimleri bakımından incelenerek kazanılan tasarruflar yorumlanacaktır.

2. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA

2.1.Doğrusal Programlamanın Tanımı

Doğrusal programlama, kısıt olan kaynakların kullanım verimliliğini optimize etmek için geliştirilmiş bir matematiksel modelleme metodudur.^{1 2 3 4 5}

Bir doğrusal programlama modelinde amaç, verilen sınır değerlerini (kısıtlar) aşmadan araştırma konusu olan fonksiyonun (amaç fonksiyonu) maksimize ya da minimize edilebilmesi için kısıtları oluşturan değişkenlerin optimum düzeyde hangi pozitif değerde olması gerektiğinin bulunmasıdır.^{6 7 8}

Birçok bilimsel disiplin ve çeşitli mühendislik dallarında yaygın olarak kullanılan doğrusal programlama; kar, gelir, verim gibi en yüksek düzeylerde ya da zarar, maliyet gibi en düşük seviyelerde olması istenen çalışma konularının gerçekleştirilmesi için kullanılabilen özelleşmiş bir matematiksel modeldir.^{9 10 11 12}

2.2.Doğrusal Programlamanın Varsayımları

Doğrusal programlama çalışmalarındaki sınır değerleri ile amaç fonksiyonu arasında doğrusal bir ilişki olduğu varsayılır. Bu varsayım doğrusal programlamanın

¹ Nazif Gürdoğan, **Üretim Planlamasında Doğrusal Programlama ve Demir Çelik Endüstrisinde Bir Uygulama**, Ankara: Ankara Üniversitesi Basım Evi, 1981, s.29

² Meltem Karaatlı, Nuri Ömürebek ve Hasan Yılmaz, “Mobilya Sektöründe Bulanık Doğrusal Programlama Tekniği İle Üretim Planlaması Uygulaması”, **Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi**, Cilt 10, Sayı 22, (2004), s.97

³ S. M. Sinha, **Mathematical Programming Theory And Methods**, 1.Baskı, New Delhi: Elsevier Publish, 2006, s.116-117

⁴ S.L. Tang, **Linear Optimization In Applications**, 1.Baskı, Hong Kong: Hong Kong University Press, 1999, s.1

⁵ Kenan Özden ve Sait Gül, **Yöneylem Araştırması I (Bilgisayar Destekli Doğrusal ve Parametrik Programlama)**, 1.Basım, Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık, 2014, s.41-42

⁶ İmdat Kara, **Doğrusal Programlama**, 2.Baskı, Eskişehir: Bilim Teknik Yayınevi, 2000, s.1-2

⁷ İbrahim Doğan, **Yöneylem Araştırması Teknikleri ve İşletme Uygulamaları**, 2.Baskı, Eskişehir: Bilim Teknik Yayınevi, 1995, s.1-2

⁸ Mehpare Timor, **Yöneylem Araştırması**, İstanbul: Türkmen Kitabevi, 2010, s.39-40

⁹ Hamdy A. Taha, **Yöneylem Araştırması**, Ş.Alp Baray ve Şakir Esnaf (çev.), İstanbul: Literatür Yayınları, 2017, s.11-12

¹⁰ Ahmet Öztürk, **Yöneylem Araştırması**, 16.Baskı, Bursa: Ekin Basın Yayın Dağıtım, 2016, s.31-32

¹¹ Aydın Ulucan, **Yöneylem Araştırması İşletmecilik Uygulamalı Bilgisayar Destekli Modelleme**, 2.Baskı, Ankara: Siyasal Kitabevi, 2007, s.21-23

¹² Harun Taşkın, “Yöneylem Araştırması”, Ercan Öztemel (Ed.), **Endüstri Mühendisliğine Giriş** içinde (239-266), İstanbul: Papatya Yayıncılık, 2009, s.244

amaç fonksiyonunu oluşturan karar değişkenlerinin birinci dereceden olmasından ötürüdür.¹³

Doğrusal programlamanın bir diğer varsayımı da belirliliktir. Belirlilik varsayımı, doğrusal programlama modelindeki parametrelerin sabit olduğunu ifade etmektedir ve bu kabul doğrusal programlama probleminin çözümünü kolaylaştırmaktadır.¹⁴

Doğrusal programlamanın toplanabilirlik varsayımı, amaç fonksiyonu ve kısıt denklemlerindeki değerlerin, bu denklemlere bağlı karar değişkenlerinin değerlerinin toplanması ile elde edilebileceğini ifade eder.¹⁵

Doğrusal programlamanın orantısallık varsayımı, karar değişkenlerinin değişiminin, bağlı bulunduğu amaç fonksiyonu ya da kısıtlardaki ilgili parametresine orantılı olduğunu ifade eder. Söz gelimi bir maliyet probleminde 1.tip ürünün 1 birim üretilmesinin maliyeti 10 TL ise, 2 birim üretilmesinin maliyeti 20 TL olacaktır. Ürünün üretilmesinin amaç fonksiyonuna olan katkısı, maliyet parametresi ile orantısaldır.¹⁶

Doğrusal programlamada bir diğer varsayım ise bölünebilirlik varsayımıdır. Bu varsayım karar değişkenlerinin sadece bir tam sayı değil kesirli bir sayı da olabileceğini ifade eder. Model optimum çözüme ulaşmak için karar değişkenlerine kesirli sayılar atayabilir. Ancak gerçek hayattaki bazı problemlerde karar değişkenleri personel sayısı, otobüs sayısı gibi kesirli sayılarla ifade edilemeyecek kavramları ifade edebilir. Bu gibi durumlarda tam sayılı doğrusal programlama metodu kullanılmaktadır.¹⁷

2.3.Doğrusal Programlama Modelinin Unsurları

Doğrusal programlama üç temel unsurdan oluşmaktadır. Bu unsurlar; karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve kısıtlardır. Bu unsurlar ile doğrusal programlama modeli kurulabilmektedir.

¹³ Doğrusal Programlama. (t.y.), [http://web.itu.edu.tr/~cebife/DP_model\(2\).pdf](http://web.itu.edu.tr/~cebife/DP_model(2).pdf), (27 Mart 2017)

¹⁴ Özden ve Gül, s.45

¹⁵ Kara, s.14

¹⁶ Timor, s.44

¹⁷ Öztürk, s.33

Doğrusal programlama, çalışma konusunun optimal düzeyde kalabilmesi için modeli oluşturan her bir değişken değerinin hangi düzeyde olacağına karar verir. Bu sebepten ötürü bu değişkenler karar değişkenleri olarak bilinmektedir.¹⁸

Çalışma konusu, karar değişkenleri ile bu karar değişkenlerini orantısallık varsayımı ile etkileyen ve çarpan değerleri olarak da kabul edilen parametrelerden oluşan doğrusal bir fonksiyondur. Bu doğrusal fonksiyon amaç fonksiyonu adını almaktadır. Bu fonksiyon, verim, kar gibi konularda maksimizasyon fonksiyonu, maliyet vb. durumlarda minimizasyon fonksiyonudur. Amaç fonksiyonun gerçekleştirilerek optimal düzeye gelebilmesi çalışma konusunun sınırlarına bağlıdır.¹⁹

Amaç fonksiyonunu sınırlayan bu doğrusal fonksiyonlar, kısıtlar adını almaktadır. Kısıtlar çalışma konusuna göre kapasite, iş gücü, üretim seviyesi vb. kavramlar olabilir.²⁰

2.3.1. Karar Değişkenleri

Karar değişkenleri, doğrusal programlama problemlerinde optimal sonucun bulunabilmesi için 0 ya da 0'dan büyük değerler alan, bir başka deyişle negatif değer almayan değişkenlerdir. Karar değişkenlerinin ifade ettiği değerler fiziki varlıklar olduğu için negatif değerlerin kullanılması uygun değildir. Karar değişkenlerinin aldığı değerler ile optimum sonuç bulunmaktadır. Karar değişkenleri çalışmanın konusuna göre üretim miktarı ya da satın alma düzeyi gibi kavramların optimum seviyede hangi düzeyde olması gerektiğine karar verebilmek için kullanılan değişkenlerdir.^{21 22 23}

Genel olarak karar değişkenleri;

$$x_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

¹⁸ Kara, s.1

¹⁹ Özden ve Gül, s.42

²⁰ Ulucan, s.22

²¹ Robert J. Vanderbei, **Linear Programming: Foundations And Extensions**, 2.Baskı, A.B.D: Springer, 2001, s.6

²² Gerard Cornuejols ve Michael Trick, "Quantitative Methods For The Management Sciences 45-760 Course Notes", (t.y.), Carnegie Mellon University, Tepper School of Business, <http://mat.gsia.cmu.edu/classes/QUANT/NOTES/notes.pdf> (27 Mart 2017)

²³ Öztürk, s.34

şeklinde gösterilmektedir.²⁴

2.3.2. Amaç Fonksiyonu

Çözölmeye çalışılan bir doğrusal programlama probleminin konusuna göre maksimum ya da minimum olma gibi bir amacı vardır. Araştırmalarda amaç kar, gelir gibi konuları maksimize etmek, maliyet, zarar gibi konuları ise minimize etmektir. Karar değişkenleri ve bu karar değişkenlerinin çarpanı şeklindeki sabit parametrelerden oluşan ve amacı çalışmanın konusuna göre maksimum ya da minimum olmak olan bu doğrusal fonksiyonlara amaç fonksiyonları denir. Amaç fonksiyonları genellikle Z harfi ile gösterilmektedir.^{25 26 27 28 29}

Genel olarak amaç fonksiyonları;

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{i=1}^m c_i x_i$$

şeklinde gösterilir. Buradaki x değerleri karar değişkenlerini, c ise karar değişkenlerini etkileyen sabit katsayıları ifade etmektedir.^{30 31}

2.3.3. Kısıtlar

Çalışmanın konusuna göre maksimum ya da minimum seviyede olması istenen bir amaç fonksiyonunun bu amacını gerçekleştirilmesi için karar değişkenlerinin kurulacak doğru model ile doğru değerleri alması gerekmektedir. Ancak karar değişkenlerinin alabileceği değerleri doğrudan etkileyen kavramlar söz konusu olabilir. Kaynakların kıt ve sınırlı olmasından dolayı karar değişkenlerini sınırlayan bu kavramlar kısıtlar olarak

²⁴ Özden ve Gül, s.22

²⁵ Thomas S. Ferguson, "Linear Programming A Concise Introduction", (t.y.), University of California, Department of Mathematics, <https://www.math.ucla.edu/~tom/LP.pdf> (27 Mart 2017)

²⁶ Yöneyem Araştırması Ders Notları-1, 2011, <http://enm.blogcu.com/yoneylem-arastirmasi-ders-notlari-1/9448971> (21 Aralık 2016)

²⁷ Robert Fourer, David M. Gay ve Brian W. Kernighan, **A Modelling Language For Mathematical Programming**, 2.Baskı, Kanada: Duxbury Thomson, 2003, s.134

²⁸ Ulucan, s.24

²⁹ Fredrick S.Hillier ve Gerald J Lieberman, **Introduction To Operation Research**, 7.Baskı, ABD: McGraw Hill Higher Education, 2001, s.11

³⁰ Vanderbei, s.6

³¹ Doğan, s.11

adlandırılmaktadır. Söz gelimi, karı maksimize etmek için kurulmuş olan bir amaç fonksiyonunda eğer kısıtlar olmasaydı karın sonsuz olması istenirdi. Bu durumda karar değişkenleri sonsuz olacağından karar değişkenlerine dolayısıyla doğrusal programlama metoduna gerek duyulmayacaktı. Ancak kısıtların varlığı ile karar değişkenleri imkanlar ve sınırlamalar dahilinde daha gerçek değerler almaktadırlar. Kapasite, ham madde, sermaye, enerji gibi kavramlar çalışma konusuna göre modelin kısıtlarına örnek olarak verilebilir. ^{32 33 34 35 36}

Doğrusal programlamada orantısallık varsayımı anlatılırken amaç fonksiyonu ve kısıtlarda karar değişkenlerinin çarpanı şeklinde yazılan sabit değerlerden bahsedilmişti. Bu sabit değerlerin karar değişkenlerine çarpan şeklinde yazılarak ifade edilen kısıtlar eşitlik ya da eşitsizlik biçiminde gösterilmektedir. Söz gelimi üretilecek bir ürün türünün adedi, ürünün depolanacağı deponun kapasitesini geçemeyeceğinden bu karar değişkeninin maksimum alacağı değer deponun kapasitesi kadar olabilir. Dolayısıyla bu kısıt ifade edilirken “≤” eşitsizliği kullanılır. Benzer şekilde bir ürünün üretim miktarının belli bir seviyenin altında kalmaması istenebilir. Bu durumda bu üretim miktarını ifade eden karar değişkeni minimum istenen üretim seviyesi kadar olacaktır. Bu gibi örneklerde ise kısıtlar “≥” eşitsizliği ile ifade edilir. Bazı durumlarda ise üretim miktarının özellikle belli bir seviyede tutulması gerekebilir. Buradan eşitlik anlaşılağı için bu gibi örneklerde karar değişkeninin kısıta eşit olması istenir. Bu durumda “=” işareti kullanılmaktadır. Genel olarak kısıtlar;

$$\sum_{i=1}^m \sum_{i=1}^m c_i x_i (\leq, =, \geq) b_i$$

³² Catherine Lewis, “Linear Programming: Theory And Applications”, 2008, Whitman College, Mathematics Department, <https://www.whitman.edu/Documents/Academics/Mathematics/lewis.pdf> (27 Mart 2017)

³³ Dimitris Bertsimas ve John N. Tsitsiklis, **Introduction To Linear Optimization**, A.B.D: Athena Scientific, 1997, s.3

³⁴ Mokhtar S. Bazaraa, John J. Jarvis ve Hanif D. Sherali, **Linear Programming And Network Flows**, 4.Baskı, A.B.D: A John Wiley & Sons Inc. Publication, 2010, s.2

³⁵ David G. Luenberger ve Yinyu Ye, **Linear And Nonlinear Programming**, 4.Baskı, ABD: Springer, 2015, s.20-21

³⁶ Timor, s.40-42

şeklinde gösterilir. Buradaki x değerleri karar değişkenlerini c değerleri ise karar değişkenlerini etkileyen sabit değişkenleri gösterirken, b değerleri ise kısıta konu olan sayısal değerleri ifade etmektedirler.^{37 38}

Karar değişkenlerinin pozitif olması gerektiği karar değişkenleri bölümünde anlatılmıştı. Bunun anlamı; modeli oluşturan her bir karar değişkeninin en az 0 olabileceği kısıtların modele eklenmesi gerektiğidir. Karar değişkenlerinin çalışmanın konusuna göre üretim miktarı ya da satın alma düzeyi gibi kavramlar olduğu göz önünde bulundurulursa, bu kavramların negatif bir değer ile ifade edilmesi mümkün değildir. Söz gelimi bir üründen -5 adet üretilmesi mümkün değildir. Dolayısıyla doğrusal programlamada bu özel kısıtlar geliştirilmiştir. Eğer bu kısıtlar olmasaydı model optimalliği sağlamak için karar değişkenlerine negatif değerler atayabilirdi. Bu da kabul edilebilir bir durum değildir.^{39 40 41 42}

Genel olarak bu kısıtlar;

$$\forall x_i \geq 0 \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

şeklinde gösterilmektedir.⁴³

2.4.Tam Sayılı Doğrusal Programlama

Karar değişkenlerinin bir kısmının ya da tamamının tam sayılı değerlerle ifade edilmesi istenen doğrusal programlama modellerine tam sayılı doğrusal programlama denir. Gerçek hayatta karşılaşılan problemlere konu olan karar değişkenleri genellikle kesikli değişkenlerdir. Söz gelimi istihdam edilecek personel sayısını, imal edilecek bilgisayar sayısını ya da satın alınması gereken makine adedini ifade eden karar değişkenlerinin kesirli sayılar ile ifade edilmesi çok anlamlı değildir. Eğer çalışılan karar

³⁷ Kara, s.4

³⁸ Gürdoğan, s.31

³⁹ Jiří Matoušek ve Bernd Gärtner, **Understanding And Using Linear Programming**, Almanya: Springer, 2006, s.41-42

⁴⁰ A. K. Sharma, **Textbook Of Linear Programming-II**, 1.Baskı, Hindistan: Discovery Publishing House, 2005, s.20

⁴¹ C. B. Gupta, **Optimization Techniques In Operations Research**, Hindistan: I. K. International Publishing House, 2008, s.2

⁴² Timor, s.44

⁴³ Taha, Baray ve Esnaf (çev.), s.13

değişkenlerinin tam sayı olması gerektiği modele belirtilmezse, model doğrusal programlama modeli olarak çalışacaktır ve optimalliğin sağlanması için karar değişkenlerine kesirli sayıların atanma olasılığı olacaktır. İlk bakışta bu kesirli sayıların tam sayıya yuvarlanması akla gelse de bu yöntemle belirlenecek karar değişkenlerinin optimum çözüm olacağının garantisi yoktur.^{44 45 46 47}

Son olarak tam sayılı programlama modelinin doğrusal programlama modelinin özel bir biçimi olduğundan bahsetmekte fayda vardır. Tam sayılı doğrusal programlama modelinde doğrusal programlama modelinden farklı olarak, karar değişkenlerinin tam sayı olması gerektiğini ifade eden özel bir kısıt grubu vardır. Bu kısıt grubu;

$$\forall x_i \in Z^+ \cup \{0\} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

şeklinde ifade edilir.^{48 49 50}

Bu çalışmanın uygulama kısmında, İstanbul'un metrobüs sistemindeki mevcut hat-garaj eşleştirmesinden dolayı oluşan ölü kilometreyi minimize etmek için bir doğrusal programlama modeli dizayn edilecektir. Modeli oluşturan karar değişkenleri garajlardan çıkması gereken otobüs sayılarını ifade edecektir. Karar değişkenlerinin otobüs sayılarını ifade etmesinden ötürü bu değişkenlerin kesirli sayı olması kabul edilebilir bir durum olmadığı için uygulamada doğrusal programlama yerine tam sayılı doğrusal programlama metodu seçilmiştir. Tam sayılı doğrusal programlama yerine doğrusal programlamaya başvurulması durumunda modelin optimalliği sağlayabilmek adına karar değişkenlerine kesirli değerler ataması olasıdır.

⁴⁴ J. Cole Smith ve Z. Caner Taşkın, "A Tutorial Guide To Mixed-Integer Programming Models And Solution Techniques" Boğaziçi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, http://www.ie.boun.edu.tr/~taskin/pdf/IP_tutorial.pdf (30 Mart 2017)

⁴⁵ R. K. Gupta, **Linear Programming**, 22.Baskı, Hindistan: Krishna Prakashan Media, 2009, s.305-306

⁴⁶ H. A. Eiselt ve Carl- Louis Sandblom, **Integer Programming And Network Models**, Almanya: Springer, 2000, s.87

⁴⁷ Taha, Baray ve Esnaf (çev.), s.361

⁴⁸ Timor, s.251

⁴⁹ Öztürk, s.301

⁵⁰ Ulucan, s.230

3. LASTİK TEKERLEKLİ TOPLU TAŞIMACILIKTA ÖLÜ KİLOMETRELER

3.1.Ölü Kilometrelerin Tanımı

Ölü kilometre, en temel tanımı ile toplu taşımacılık yapılan hatlarda hizmetin devam ettirilebilmesi için yolcusuz kat edilen ve gelir elde edilmeyen kilometreler olarak ifade edilebilir. Yolcusuz kilometre kat etmenin sebebi toplu taşımacılık hizmeti verilen hatların başlangıç ya da bitiş noktalarının (A ve B noktaları) garajlara belli bir mesafede olmasından kaynaklanmaktadır. Garajlara bağlı otobüslerin sabahları garajdan hat başlarına ya da hat sonlarına, akşamları ise hat başları ya da hat sonlarından garajlarına yolcusuz gitmeleri durumu söz konusudur. Yolcusuz kilometre kat etmenin bir diğer sebebi ise garaj içerisindeki faaliyetlerdir. Otobüslerin garaj içerisinde bakım, yıkama/temizlik, akaryakıt ikmali gibi temel faaliyetlerini gerçekleştirebilmesi için garaj içerisinde yolcusuz olarak lokasyon değiştirmesi gerekmektedir. Bu durumun sebebi, bu temel faaliyetlerin garajın farklı lokasyonlarında gerçekleştirilmesindendir.^{51 52 53}

Toplu taşımacılıkta önemli bir maliyet kalemini oluşturan akaryakıt maliyetleri, kat edilen kilometreler ile doğru orantılıdır. Toplu taşımacılıkta sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi adına yukarıda tanımı yapılan ölü kilometrelerin optimum seviyede kalması önem arz etmektedir.

3.1.1. İlk Ya Da Son Hareketten Oluşan Ölü Kilometreler

Toplu taşımada ölü kilometrelerin genel olarak yolcusuz kat edilen kilometreler olduğu yukarıdaki kısımda anlatılmıştı. Bu bölümde ölü kilometrelerin büyük kalemini oluşturan garajdan ilk çıkışta hat başına ya da hat sonuna giderken veya son seferinden sonra son hareketini hat başından ya da hat sonundan garaja dönerken kat edilen kilometreler aktarılacaktır.

⁵¹ Efendi Nasiboğlu ve Diğerleri, “Şehir içi Toplu Taşımada Ölü Kilometre Minimizasyonu İçin Bir Uygulama”, **Endüstri Mühendisliği Yazılımları Ve Uygulamaları Kongresi**, İzmir: Makine Mühendisleri Odası İzmir Şube Yöneticiliği, 30 Eylül-1/2 Ekim 2011, s.135

⁵² **İETT Terimler Sözlüğü**, “Ölü Kilometre”, İstanbul: A4 Grafik Matbaacılık, 2012, s.17

⁵³ İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü, **Akyolbil Filo Yönetim El Kitabı**, İstanbul, 2015, s.8

İleriki kısımlarda aktarılaacağı üzere toplu taşıma sistemleri belli bir plan ile taşımacılık hizmeti veren hatlar aracılığıyla işletilir. Hatların özelliklerinden birisi de altyapıya sahip olmalarıdır. Burada altyapının parametrelerinden birisi olan duraklar, özelinde de ilk ve son duraklar ele alınacaktır. Toplu taşımacılıkta hatların ilk durakları hat başı ya da A noktası, son durakları ise hat sonu ya da B noktası olarak ifade edilebilir. Toplu taşıma planı yapılırken yolcu karakteristiğine göre dizayn edilen hat güzergahlarında çalışan otobüsler ilk seferlerini genellikle A ve B noktalarından yapmaktadırlar. A ve B noktalarından başlaması gereken otobüs sayıları yolcu yoğunluklarına göre belirlenmektedir ve bu sayılar toplu taşıma planı ile sabittir. Aynı şekilde, yine yolcu yoğunluklarına göre akşam son seferini gerçekleştiren bir toplu taşıma otobüsü, seferini bitirdikten sonra A ya da B noktalarından birinde kalır. Bu noktalardan birinde kalan bir otobüsün garaja dönerken yolcusuz kat ettiği bir kilometre de söz konusudur. Yine bu noktalarda kalan otobüs sayıları da plan ile sabittir. Bu anlatımdan hareket ile A noktası ya da B noktası kaynaklı ölü kilometreler;

- Garaj-A noktası arası ölü kilometreler
- Garaj-B noktası arası ölü kilometreler
- A noktası-garaj arası ölü kilometreler
- B noktası-garaj arası ölü kilometreler

şeklinde dört gruba ayrılabilir.^{54 55 56}

Çalışmaya konu olan uygulama kısmında bu gruba giren ve ölü kilometrelerin büyük kısmını oluşturan bu ölü kilometreler optimize edilmeye çalışılacaktır.

3.1.2. Garaj Faaliyetlerinden Kaynaklanan Ölü Kilometreler

Bu bölümde toplu taşımacılığın getirmiş olduğu ölü kilometrelerin daha küçük kalemini oluşturan garaj faaliyetleri kaynaklı oluşan ölü kilometreler aktarılacaktır. Bu

⁵⁴ Peter White, “The Roles Of ‘Conventional’ And Demand-Responsive Bus Services”, Corinne Mulley ve John D. Nelson (Ed.), **Paratransit Shaping The Flexible Transport Future** içinde (307-332), Birleşik Krallık: Emerald Group Publishing, 2016, s.316

⁵⁵ Bus Depots. (t.y.), [https://ppiaf.org/sites/ppiaf.org/files/documents/toolkits/UrbanBusToolkit/assets/3/3.1/35\(vii\)b.html](https://ppiaf.org/sites/ppiaf.org/files/documents/toolkits/UrbanBusToolkit/assets/3/3.1/35(vii)b.html), (29 Nisan 2017)

⁵⁶ Paul Fawcett, **Managing Passenger Logistics The Comprehensive Guide To People And Transport**, 1.Baskı, İngiltere: Kogan Page Limited, 2000, s.112

kısımda oluşan ölü kilometreler, bir önceki kısımda anlatılan garaj ile hat başı/hat sonu ya da tersi kaynaklı oluşan ölü kilometrelere nispeten daha küçük değerler olduğu için çalışmaya konu olan uygulama kısmında bu ölü kilometreler göz ardı edilmiştir.

Garaj faaliyet kaynaklı ölü kilometreler isminde de anlaşılacağı üzere otobüslerin servis dışında, garajdaki temel faaliyetlerinden kaynaklanan ölü kilometrelerdir. Bir garajın temel faaliyetleri; bakım-onarım, akaryakıt ikmali, yıkama ve temizlik olarak belirtilebilir. Garaj içerisinde bu temel faaliyetlerin gerçekleştirildiği alanlar birbirlerinden bağımsız olarak farklı lokasyonlarda bulunmaktadır. Garağa giren bir otobüsün sırasıyla bakım faaliyetleri, akaryakıt ikmali ve son olarak temizlik işlemleri tamamlanarak otobüs servise hazır hale getirilir. Bu işlemler sırasında otobüs küçük de olsa (garaj içerisinde) yolcusuz olarak kilometre kat eder. Bu durumda kat edilen ölü kilometreler garaj faaliyeti kaynaklı ölü kilometre olarak adlandırılır.⁵⁷

3.2.Ölü Kilometre Unsurları

Önceki bölümde ölü kilometrenin tanımı yapılarak ölü kilometrenin oluşma kaynaklarından bahsedilmiştir. Bu bölümde bu çalışmaya konu olan ilk ve son hareketlerden kaynaklanan ölü kilometreyi oluşturan unsurlar olan hat, garaj ve başlangıç (A) ile bitiş (B) noktalarının literatürdeki tanımları ifade edilecektir.

3.2.1. Hat

Toplu taşımacılıkta hat, etkin ve verimli bir şekilde yolcu taşımak için önceden belirlenmiş bir zaman çizelgesinde ve önceden belirlenmiş sabit bir güzergahta çalışan araçlar ile verilen taşımacılık hizmetini ve bu hizmetin gerçekleştirilebilmesi için ihtiyaç duyulan altyapıyı ifade eder. Burada altyapı ile kastedilen yolun sağında (trafiğin soldan

⁵⁷ İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü, *Akyolbil Filo Yönetim El Kitabı*, İstanbul, 2015, s.8

aktığı ülkelerde solunda) yer alan duraklar ve toplu taşımacılık hizmeti veren araçların fiziki yollarıdır.^{58 59 60 61}

Yukarıdaki tanımdan hareketle toplu taşımacılıkta bir hizmetin hat sayılabilmesi için olması gerekenler;

- Araçlar (Otobüs, metro, tren vb.)
- Zaman çizelgesi
- Sabit güzergâh
- Altyapı (Durak, yol, ray vb.)
- Yolcu

şeklinde sıralanabilir. Herhangi bir yolcu taşımacılığı hizmetinin hat sayılabilmesi için bu beş kavrama sahip olması gereklidir.⁶²

Hatlar hat kodları ile ifade edilmektedir. Hatların hangi lokasyonlar arasında toplu taşıma hizmeti verdiğini gösteren, bir hattı diğer hatlardan ayıran numerik ya da alfa numerik değerlerden oluşan ve hattın bilinirliğine yardımcı olan bu değerler, literatürde hat kodları olarak tanımlanmaktadır. Hat kodları bir nevi hatların kimlikleri olarak düşünülebilir.⁶³

Hatların ölü kilometre kavramına etkisi, hatlarda bulunan otobüs sayılarının korunması gerektiğinden önem arz etmektedir. Çünkü hatlarda olması gereken otobüs sayısı yapılan plan ile sabittir. Ölü kilometre ile ilgili yapılacak optimizasyon

⁵⁸ Vukan R. Vuchic, **Urban Transit Operations, Planning And Economics**, A.B.D: A John Wiley & Sons Inc. Publication, 2005, s.4

⁵⁹ Ronghui Liu ve Shalini Sinha, “Modelling Urban Bus Service And Passenger Reliability”, **The Third International Symposium On Transportation Network Reliability**, Hollanda, 19-20 Temmuz 2007, s.3

⁶⁰ O. P. Agrawal, “Urban Transport”, **India Infrastructure Report 2006**, Hindistan, 2006, s.121

⁶¹ William J. Mallet, “Federal Public Transportation Program: An Overview”, Jordan G. Clark ve Ian R. Rodriguez (Ed.), **U.S. Transit, Transportation And Infrastructure Considerations And Developments Volume 4** içinde (23-33), A.B.D: Nova Publishers, 2014, s.24

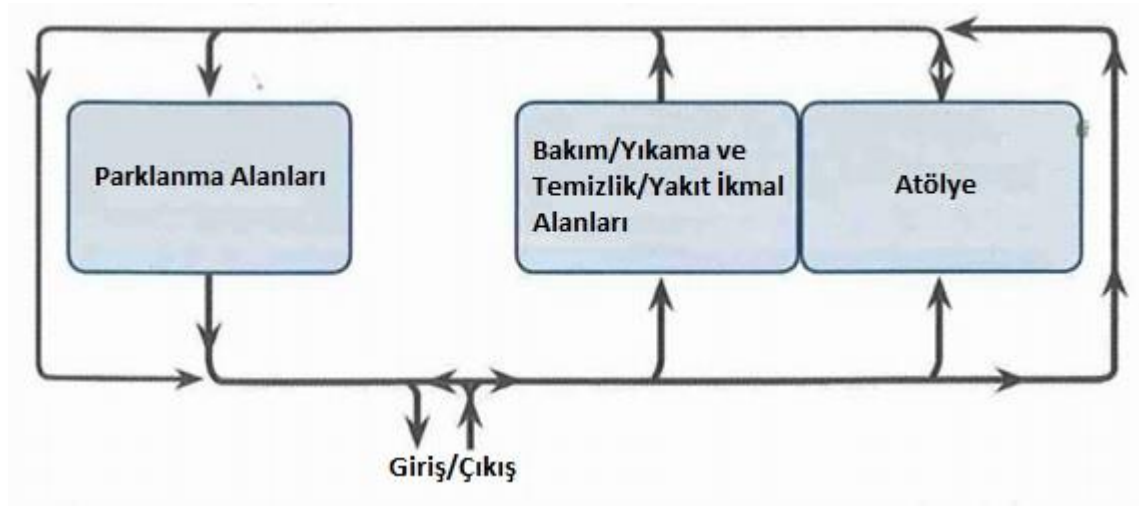
⁶² Hatice Gül Önder ve Murat Önder, “Ulaşımın Bütünleştirilmesinde Akılcı Başlangıçlar: Toplu Ulaşımın Hat Optimizasyonu İle Türler Arası Entegrasyon”, **Transist 2014 7.Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı**, İstanbul: İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 19-20 Aralık 2014, s.316

⁶³ Burak Sevim ve Köksal Altunkaynak, “Zon Bazlı Hat Kodlama Sistemi”, **Transist 2014 7.Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı**, İstanbul: İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 19-20 Aralık 2014, s.193

çalışmalarında önceden planlanmış olan hatlardaki otobüs sayılarının korunması ve bu kavramın bir kısıt olarak ele alınması gerekmektedir.

3.2.2. Garaj

Toplu taşımacılıkta garajlar, servis hizmetini veren araçların bakımlarının, yıkama ve temizliklerinin, akaryakıt ikmallerinin yapılabildiği, servis hizmeti verilmediği anlarda ise bu araçların parklanmalarının yapılabildiği, birden fazla aracı parklandırabilecek kapasitesi olan alanlar olarak ifade edilebilir.^{64 65 66 67}



Şekil 1: Bir Garajın Temel Bileşenleri

Kaynak:http://www.tramstore21.eu/sites/default/files/knowhow/reader/Capacity_of_the_tram_stabling_and_maintenance_area.pdf (27 Nisan 2017)

Şekil 1’de bir garajın temel bileşenleri gösterilmiştir. Bu temel bileşenler, garajlarda yapılan bakım, yıkama, temizlik, akaryakıt ikmal ve parklanma gibi temel işlemleri ifade etmektedir.

⁶⁴ *Considerations For Depot Design*, 2015, <http://www.tautonline.com/considerations-for-depot-design/> (18 Nisan 2017)

⁶⁵ Anouj Mehta (Ed.), **Tool Kit For Public-Private Partnerships In Urban Bus Transport For The State Of Maharashtra, India**, Filipinler: Asian Development Bank, 2011, s.11

⁶⁶ Nobuhiko Kimijima ve Diğerleri, “New Urban Transport System For Middle East Monorail System For Dubai Palm Jumeirah Transit System”, **Hitachi**, Vol.59, No. 1, (2010), s.48

⁶⁷ Rolf Gillebo ve Diğerleri, “Public Transport In Lahore”, **SIDA Evaluation Report, Infrastructure, Pakistan**, Pakistan: SIDA, 1986, s.47

Garajların ölü kilometre kavramına etkisi, ilerleyen kısımlarda detaylıca aktarılacağı üzere, uygulamanın yapıldığı birimde uzmanlarla yapılan görüşmeler neticesinde genel olarak, sabah ilk servisini yapacak olan bir otobüsün garajdan çıkarken ya da akşam son servisini gerçekleştirmiş olan bir otobüsün garaja dönerken garaj ile hat başı/hat sonu arasında yolcusuz olarak kat ettiği kilometrelerden kaynaklanır şeklinde ifade edilebilir. Ölü kilometrelere doğrudan etkisi olan garajların lokasyonlarının ulaşım ağına göre doğru bir noktada belirlenmesi önem arz etmektedir. Ayrıca garajların optimal düzeyde parklandırabileceği otobüs sayıları bellidir. Garaj kapasitesi olarak bilinen bu kavrama göre bir garaja kapasitesinin üzerinde otobüs parklanabilmesi mümkün değildir. Ölü kilometre ile ilgili yapılacak optimizasyon çalışmalarında önceden garajlardan çıkabilecek otobüs sayılarının, garajların kapasitelerine göre birer kısıt olarak kullanılabilmesi uygun olabilir.

3.2.3. Başlangıç (A) ve Bitiş (B) Noktaları

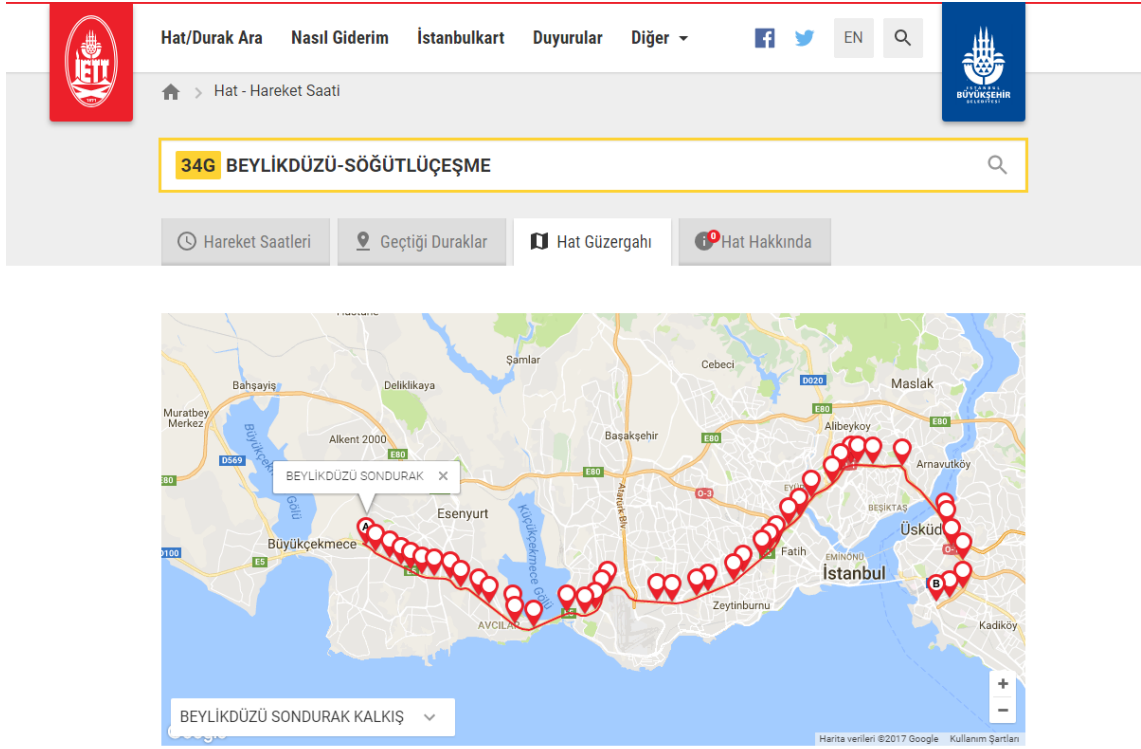
Başlangıç ve bitiş noktaları, toplu taşıma sistemlerinde hatların seferlerine başladıkları ya da seferlerini bitirdikleri noktalar olarak kabul edilir. Daha önceki kısımda hatların tanımı yapılırken hatları oluşturan unsurlardan birinin de altyapı içerisinde geçen duraklar olduğu belirtilmiştir. Başlangıç ve bitiş noktaları hatların sıralı durakları içerisindeki ilk ve son duraklarıdır. Literatürde bir hattın ilk durağı A noktası, son durağı ise B noktası olarak da geçmektedir.^{68 69 70 71}

⁶⁸ Vuchic, s.6

⁶⁹ Jean-Paule Rodrigue, Claude Comtois ve Brian Slack, **The Geography Of Transport Systems**, 1.Baskı, A.B.D: Routledge Taylor&Francis Group, 2006, s.47-48

⁷⁰ Edward J. Taaffe, Howard L. Gauthier ve Morton E. O'Kelly, **Geography Of Transportation**, 2.Baskı, A.B.D: Prentice Hall, 1996, s.12

⁷¹ Ennio Cascetta, **Transportation Systems Engineering: Theory And Methods**, 1.Baskı, A.B.D: Springer, 2001, s.25-28



Şekil 2: İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü 34G Numaralı Metrobüs Hattı Güzergahı

Kaynak: İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü Web Sitesi (6 Mayıs 2017)

Şekil 2’de İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü’nün yürütümünde olan ve İstanbul’da toplu taşımacılık hizmeti veren metrobüs hatlarından 34G numaralı hattın güzergâh haritası verilmiştir. 34G numaralı Beylikdüzü Sondurak-Zincirlikuyu hattının görselden de anlaşılacağı üzere, A noktası Beylikdüzü Sondurak, B noktası ise Söğütlüçeşme’dir. Sabah ilk çıkışta bu hattın önceden belirlenmiş plana göre A ve B noktalarından başlaması gereken otobüsler, bağlı bulundukları garajlardan Beylikdüzü Sondurak ve Söğütlüçeşme’ye yolcusuz bir şekilde gitmektedirler. Aynı mantıktan hareketle, plana göre son seferini bitirdikten sonra A ve B noktasında kalan otobüsler Beylikdüzü Sondurak ve Söğütlüçeşme’den yolcusuz bir şekilde garajlarına dönmektedirler.

Başlangıç ve bitiş noktalarının ölü kilometre kavramına etkisi, hatların A ve B noktasında bulunan otobüs sayılarından kaynaklanmaktadır. Eğer sistemde birden fazla garaj varsa optimalliğin sağlanabilmesi için bir hattın A ya da B noktasına farklı

garajlardan otobüs atanabilir. Ancak plan ile sabit olan A ve B noktalarında olması gereken otobüs sayıları plandaki sayıyı geçmemesi gerekmektedir. Ölü kilometre ile ilgili yapılacak optimizasyon çalışmalarında her bir hattın A ve B noktasından başlaması gereken otobüs sayısı plandaki sayıyı geçemeyecek şekilde bir kısıt haline getirilerek modele ilave edilmelidir.

3.3.Ölü Kilometre Optimizasyonu

Bu kısımda, çalışmanın yöntem ve sonuçlarına geçmeden önce bu alanda yapılarak ölü kilometreyi azaltmak için kullanılmış olan benzer teknikler, yerel ve global kaynaklar yardımıyla incelenecektir.

Nasibov, Ellişi, Özkılçık ve Kuvvetli İzmir şehri için yapmış oldukları ölü kilometre optimizasyon çalışmasını dört farklı senaryoda ele almıştır. ESHOT ve İzulaş olarak iki farklı otorite ile toplu taşımacılık hizmeti verilen İzmir şehri için yapılan çalışmada ilk senaryo firma ayrımsız ve garaj kapasitesi limitsiz olarak, ikinci senaryo firma ayrımsız ve garaj kapasitesi limitli olarak, üçüncü senaryo firma ayrımlı ve garaj kapasitesi limitsiz olarak ve son olarak dördüncü senaryo firma ayrımlı ve garaj kapasitesi limitli olarak ele alınmıştır. Yapılan çalışma neticesinde ilk senaryoda %31,4 oranında ve günlük 5.287 kilometrelik ve yıllık 964.878 litrelik akaryakıt tasarrufu sonucu çıkmıştır. İlk senaryoda firma ayrımı olmadığından elde edilen tasarruf ESHOT ve İzulaş firmalarının toplam tasarruf değerleridir. İkinci senaryoda %21,7 oranında günlük 3.652 kilometrelik ve yıllık 666.490 litrelik akaryakıt tasarrufu sonucu çıkmıştır. Aynı şekilde bu değerler iki firmanın toplam tasarrufudur. Üçüncü senaryoda ESHOT firmasının %20,4 oranında günlük 2.608 kilometrelik ve yıllık 475.960 litrelik akaryakıt tasarrufu sonucu çıkarken İzulaş firmasının %10 oranında günlük 406 kilometrelik ve yıllık 74.095 litrelik akaryakıt tasarrufu sonucu çıkmıştır. Dördüncü ve son senaryoda ESHOT firmasının %8,3 oranında günlük 1.057 kilometrelik ve yıllık 192.903 litrelik akaryakıt tasarrufu sonucu çıkarken İzulaş firmasının %6,5 oranında günlük 265 kilometrelik ve yıllık 48.363 litrelik akaryakıt tasarrufu sonucu çıkmıştır.⁷²

⁷² Efendi Nasibov ve Diğerleri, “Deadhead Trip Minimization In City Bus Transportation: A Real Life Application”, **PROMET- Traffic&Transportation**, Vol.25, No.2, (2013), s.137-145

Djiba, Balde, Ndiaye, Faye ve Seck, Senegal Dakar’da Dakar Dem Dikk firması verileri ile yapmış olduğu çalışmada, Thiaroye ve Ouakam garajları arasındaki optimal garaj-hat dağılımını yaptıktan sonra ölü kilometrelerde aylık yaklaşık 78.393 €’ya denk gelen ve günlük 2.613,1 kilometreye denk gelen tasarruf sağlamışlardır.⁷³

Kepaptsoglou, Karlaftis ve Bitsikas Yunanistan Atina toplu ulaşımında test ettikleri ve ölü kilometreyi optimal düzeyde tutacak bir şekilde otobüsleri garajlara atayan bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir.⁷⁴

Agrawal ve Dhingra ölü kilometrelerin azaltılması için garaj kapasitelerini arttırmaya odaklanmışlardır. Optimal garaj-hat dağılımını oluşturmak için hangi garajda kaç adet otobüs parklanacağına, hat başı ve hat sonu noktaları ile garajların uzaklık bilgilerini göz önünde bulundurarak karar vermişlerdir.⁷⁵

Mahadikar, Mulangi ve Sitharam Hindistan Bengalaru şehrinde toplu taşıma hizmeti veren BMTC firmasına bağlı garajlar ile yaptıkları çalışmalarında, kurdukları optimal model ile 7, 13, 18, 25 ve 28 numaralı garajlara ait toplam ölü kilometreyi 3.573,9 kilometreden 2.381,9 kilometreye indirerek 1.192 kilometrelik tasarruf sağlamışlardır. Mevcut durumda günlük ölü kilometresi 365,1 kilometre olan 7 numaralı garajın ölü kilometresi 123 kilometreye, günlük ölü kilometresi 1.115,9 kilometre olan 13 numaralı garajın ölü kilometresi 927,4 kilometreye, günlük ölü kilometresi 1.048 kilometre olan 25 numaralı garajın ölü kilometresi 657,7 kilometreye, günlük ölü kilometresi 818,9 kilometre olan 28 numaralı garajın ölü kilometresi 364,5 kilometreye düşerek, günlük ölü kilometresi 226 kilometre olan 18 numaralı garajın ölü kilometresi 309,3 kilometreye çıkarak optimallik sağlanmıştır.⁷⁶

Uyeno ve Willoughby Kanada Vancouver’da Vancouver Regional Transit System firması verileri ile tam sayılı programlama modeli geliştirerek garajların lokasyon

⁷³ Cheik B. Djiba ve Diğerleri, “Optimizing Dead Mileage In Urban Bus Routes. Dakar Dem Dikk Case Study”, **Journal of Transportation Technologies**, Vol.2, No.3, (2012), s.241-247

⁷⁴ Konstantinos Kepaptsoglou, Matthew G. Karlaftis ve Tilemaxos Bitsikas, “Bus-To-Depot Allocation: Models And Decision Support System”, **Journals of Transportation Engineering**, Vol.136, No.7, (2010), s.600-605

⁷⁵ Anil Kumar Agrawal ve S. L. Dhingra, “An Optimal Programme For Augmentation Of Capacities Of Depots And Shipment Of Buses From Depots To Starting Points Of Routes”, **Indian Journal of Pure and Applied Mathematics**, Vol.20, No.2, (1989), s.111-120

⁷⁶ Jagadish Mahadikar, Raviraj H. Mulangi ve Thallak G. Sitharam, “Optimization Of Bus Allocation To Depots By Minimizing Dead Kilometers”, **Journal of Advanced Transportation**, Vol.49, No.8, (2015), s.901-912

ve kapasitelerini ölü kilometreyi optimum seviyede tutacak şekilde belirlemeye çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmanın sonunda optimal düzeyde işletme giderlerini %3,77 oranında azaltarak yıllık 560.000 \$'lık tasarruf sağlamışlardır. Ayrıca çalışma sonunda ölü kilometre kaynaklı maliyetlerde %10,73 oranında tasarruf söz konusudur.⁷⁷

Waters, Wirasinghe, Babalola ve Marion yaptıkları çalışma ile yeni kurulacak garajların lokasyonlarını belirlemek için ölü kilometreden kaynaklanan maliyetleri minimize edecek şekilde bir model geliştirmişlerdir.⁷⁸

Sridharan, Hindistan menşeli MDK şirketine ait garajlardan 13 adetinden almış olduğu veriler ile oluşturduğu yeni hat-garaj atama modelinde %18,84 oranında ölü kilometre tasarrufu sağlayarak mevcutta günlük 4.909,6 kilometre olan ölü kilometreyi günlük 3.984 kilometreye düşürmüştür.⁷⁹

Van der Perre ve Van Oudheusden Bangkok'da toplu ulaşım hizmeti veren BMTA otobüs firmasının verileri ile hiyerarşik yaklaşımlı bir optimizasyon modeli geliştirmiştir. Yapılan çalışma neticesinde servis dışı kilometre maliyetlerinde %42 oranında tasarruf sağlanmıştır. Bu tasarruf yıllık 10.431.000 kilometreye denk gelmektedir.⁸⁰

Sharma ve Prakash gece garajlarda parklanacak otobüs sayılarını ve bu garajlardan hat başlarına gidecek optimal plan ile ilgili sayısal bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu işlemleri gerçekleştirirken garaj kapasitelerini de göz önünde bulundurmuşlardır.⁸¹

Prakash ve Saini yeni kurulacak bir garajın hatların başlangıç noktalarına göre optimal yerini belirleyen ve yeni garaj kurulduktan sonra her bir garajda ne kadarlık boş kapasite kalması gerektiğiyle ilgili probleme karar veren bir çalışma yapmışlardır.⁸²

⁷⁷ Dean H. Uyeno ve Keith A. Willoughby, "Transit Centre Location-Allocation Decisions", **Transportation Research Part A: Policy&Practice**, Vol.29A, No.4, (1995), s.263-272

⁷⁸ N. M. Waters ve Diğerleri, "Location Of Bus Garages", **Journal of Advanced Transportation**, Vol.20, No.2, (1986), s.133-150

⁷⁹ R Sridharan, "Allocation Of Buses Depots: A Case Study", **Vikalpa**, Vol.16, No.2, (1991), s.27-32

⁸⁰ Peter P. G. Van der Perre ve Dirk D. L. Van Oudheusden, "Reducing Depot-Related Costs Of Large Bus Operators: A Case Study In Bangkok", **European Journal of Operational Research**, Vol.96, No.1, (1997), s.45-53

⁸¹ Vijay Sharma ve Satya Prakash, "Optimizing Dead Mileage In Urban Bus Routes", **Journal of Transportation Engineering**, Vol.112, No.1, (1986), s.121-129

⁸² Satya Prakash ve Vivek Saini, "Selection Of Optimal Site For New Depot Of Specified Capacity With Two Objectives", **Indian Journal Of Pure And Applied Mathematics**, Vol.20, No.5, (1989), s.425-432

Willoughby Kanada Vancouver toplu taşıma sisteminde otobüsleri atarken maliyetleri minimize etme yaklaşımları ile ölü kilometre kaynaklı maliyetleri yıllık 14.528.000 \$'dan 12.772.845 \$'a düşürmüştür. Çalışmasının içeriğinde Vancouver'daki mevcut garajlara, 5 adet aday garaj içerisinde yeni bir garaj daha eklemek suretiyle ölü kilometreleri minimize etmek vardır. Yapılan çalışmada önerilen yeni garajın kurulum maliyeti, elde edilen ölü kilometre tasarrufundan çıkarıldığında o yıl için elde edilen tasarrufun yıllık yaklaşık 700.000 \$ seviyesine düşmesi söz konusudur.⁸³

Willoughby ve Uyeno hatlara bağlı otobüslerin aynı garajlardan çıkmasını sağlayacak sezgisel bir metotla başladıkları çalışmalarında, daha sonra garajların kapasite kısıtlarını da göz önünde bulundurarak alternatif garajlara dağılım yapmak suretiyle ölü kilometre açısından optimum durumu bulmaya çalıştılar.⁸⁴

Pepin, Desaulniers, Hertz ve Huisman, birden fazla garajı olan toplu taşıma sistemleri için kaliteli ve hızlı çözüm üreten 5 adet sezgisel yöntem üzerinde durmuşlardır.⁸⁵

Prakash, Balaji ve Tuteja öncelik gözetmeksizin hatların başlangıç noktalarına göre garajlara park edecek optimum otobüs sayısı ve garajların hangi seviyede boş kapasite ile kalmasını göz önünde bulundurdular.⁸⁶

Nagraj doktora tezinde, Hindistan Bengalaru şehrinin ulaşım otoritesi olan BMTC firması verileri ile ölü kilometreyi optimize etmek için hatların başlangıç noktalarına göre en optimal şekilde garaj dağılımı sağlayacak modeli ulaştırma modeli ile kolaylıkla formülize etmiştir. Oluşturduğu formülasyonu en hızlı modelleyecek olan sezgisel algoritmalar ile çalıştırmıştır. Çalışmasında, BMTC firmasına ait garajlardaki doluluk dengesini korumaya odaklanarak ölü kilometrenin en aza inmesini hedeflemiştir.

⁸³ Keith A. Willoughby, "A Mathematical Programming Analysis Of Public Transit Systems", **Omega The International Journal of Management Science**, Vol.30, No.3, (2002), s.137-142

⁸⁴ Keith A. Willoughby ve Dean H. Uyeno, "Resolving Splits In Location/Allocation Modelling: A Heuristic Procedure For Transit Center Decisions", **Transportation Research Part E Logistics and Transportation Review**, Vol.37, No.1, (2001), s.71-83

⁸⁵ Ann-Sophie Pepin, Guy Desaulniers, Alain Hertz ve Dennis Huisman, "Comparison Of Heuristic Approaches For The Multiple Depot Vehicle Scheduling Problem", **Econometric Institute Reports 2006**, Hollanda: Erasmus School of Economics, 2006, s.1-23

⁸⁶ Satya Prakash, B. V. Balaji ve Deepak Tuteja, "Optimizing Dead Mileage In Urban Bus Routes Through A Nondominated Solution Approach", **European Journal of Operational Research**, Vol.114, No.3, (1999), s.463-475

Ayrıca kullandığı “Vogel Yaklaşımı (VAM)” ile yapmış olduğu çözümün optimal çözüme yakın olmasının yüksek olasılıklı olduğu sonucunu çıkarmıştır. VAM ile yapmış olduğu çözüm ile günlük 1.440,7 kilometrelik ölü kilometre tasarrufu sağlanmıştır.⁸⁷

Bu ana bölümün son alt kısmı olan bu kısımda uygulamaya konu olan ölü kilometre optimizasyonuna benzeyen çalışmaların literatür araştırması yapılmıştır. Yapılan çalışmaların metoduna ve sonuçlarına değinilen bu kısmın hemen akabinde yeni bir ana bölüm başlatılarak uygulama kısmı aktarılacaktır.



⁸⁷ Guruprasad Nagraj, “An Evaluation Of Heuristic Algorithm In Reduction Of Dead Mileage And Optimal Scheduling For Urban Transit System Study Of BMTC (Bangalore Metropolitan Transport Corporation)”, **(Yayımlanmamış Doktora Tezi**, Department Of Computer Science & Engineering Educational And Research Institute University, 2011), s.1-127

4. TAM SAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA METODU İLE ÖLÜ KİLOMETRE OPTİMİZASYONU

4.1.Uygulamanın Konusu

Uygulamanın konusu, İstanbul'da toplu taşımacılık hizmeti veren BRT sistemindeki otobüslerin planlı seferleri dışında, ölü kilometre olarak tabir edilen, garaj hat başı/hat sonu ya da tersi kaynaklı kilometreleri azaltmaktır.

4.2.Uygulamanın Amacı

Uygulamanın amacı, tam sayılı doğrusal programlama metodunu kullanarak mevcut durumdaki hat-garaj dağılımını revize edip yeni dağılım ile ölü kilometrelerin minimize edilmesidir. Bu minimizasyon işlemi ile azalan ölü kilometreler; akaryakıt sarfiyatı, karbon salınımı gibi konular bakımından değerlendirilecektir.

4.3.Uygulamanın Önemi

Uygulamanın önemi, mevcut durumda hat-garaj dağılımına tam sayılı doğrusal programlama metodu ile yeni bir yaklaşım geliştirmek ve sisteme dahil olan otobüslerin hangi garaja ya da sistemden çıkacak otobüslerin hangi garajdan olacağına karar veren bir kural oluşturmaktır. Ayrıca, günümüzde akaryakıt maliyetlerinin yüksek olduğu da göz önünde bulundurulursa yapılacak ölü kilometre tasarrufu ile, ilgili kuruma ekonomik anlamda önemli kazanımlar sağlamak amaçlanmıştır. Uygulamanın önemli katkılarından biri de çevreye olan katkılarıdır. Toplu taşımacılıkta sarf edilen her bir kilometre, çevreye sera gazı olarak dönmektedir. Yapılacak minimizasyon işlemi ile çevreye salınacak sera gazı da azaltılacaktır.

4.4.Uygulamanın Yöntemi Ve Kısıtları

Uygulamada İstanbul'da toplu taşımacılık hizmeti veren BRT hatlarının otobüsleri, garajları ve başlangıç noktaları seçilmiştir. Öncelikle BRT sisteminin çalışma türleri incelenmiş, bu çalışma şekillerine göre hangi hatta hangi garajdan kaç adet otobüs çıktığı bilgisine ulaşılmıştır. Daha sonra hatların başlangıç noktalarında çalışma şekillerine göre ve bağlı bulunduğu garajlara göre kaç adet otobüsü olduğu bilgisine

erişilmiştir. Bunun sebebi ölü kilometrelerin oluşma sebebinin garaj-hat başı/hat sonu ya da tersi hareketlerden olmasıdır.

Bu bilgiler ışığında tam sayılı doğrusal programlama modeli ile ölü kilometrelerin minimize edilmesi hedeflenmektedir. İETT yöneticileri ile yapılan beyin fırtınası yöntemiyle, toplam ölü kilometreyi minimize edecek amaç fonksiyonuna;

- Her bir hattın her bir başlangıç noktasında olması gereken otobüs sayısı kısıtı
- Her bir garajın kapasite kısıtı
- Uç noktalardaki garajlardan, uç noktadaki başlangıç noktalarına otobüs verilmesin kısıtı
- Çalışma şekillerinden, garajdan iki kere çıkış yapılmasını ve garaja iki kere giriş yapılmasını sağlayan, dinlenmeli ve gareli çalışma şekillerinin sabah ve akşam garajdan çıkan otobüslerinin aynı otobüs olmasını sağlayan kısıt
- Dağılım yapılacak her bir otobüsün pozitif değer almasını sağlayan kısıt
- Dağılım yapılacak her bir otobüsün tam sayı almasını sağlayan kısıt

şeklinde, yukarıda yer alan 6 kısıt grubunun eklenmek suretiyle ölü kilometrenin minimizasyonunun sağlanmasına karar verilmiştir.

4.5.Uygulamanın Aşamaları

Uygulamanın birinci bölümünde, mevcut durumda İstanbul BRT sistemindeki hatlardan, bu hatların bağlı bulundukları garajlardan ve sistemdeki hatların başlangıç noktalarından bahsedilerek mevcut durumdaki ölü kilometre hesaplanacaktır. Bu bölümde BRT sistemindeki çalışma şekillerinden de bahsedilerek bu çalışma şekillerinin ölü kilometreye etkileri ele alınacaktır.

İkinci kısımda ise tam sayılı doğrusal programlama modeli ile ölü kilometrelerin minimize edilebilmesi için kurulacak amaç fonksiyonu ve kısıtlar ayrı ayrı değerlendirilecek ve modelin önerdiği yeni hat-garaj dağılımı ile optimal dağılım durumundaki toplam ölü kilometre bulunacaktır.

Bir sonraki bölüm olan Bulgular kısmında optimizasyon sonucunda çıkan veriler ile yeni hat-garaj dağılımı oluşturulacak ve yeni durumun ekonomik ve çevresel getirileri ifade edilecektir.

4.5.1. Mevcut Durum Analizi

İstanbul'da BRT işletmeciliğini İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne (İBB) bağlı İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü gerçekleştirmektedir. İETT, İstanbul'daki lastik tekerlekli toplu taşımacılık hizmeti sağlayan otobüslerden sorumlu otoritedir. İETT yöneticilerinden alınan bilgiler ışığında, İstanbul'da BRT sistemi, özel tahsis edilmiş, trafikten izole bir şekilde, ayrılmış yolda giden otobüsler aracılığıyla işletilmektedir. Dolayısıyla BRT sistemi de İETT'nin bünyesinde işletilmektedir.

İETT, BRT otobüslerini 3 tip çalışma şekli ile işletmektedir. Bu çalışma şekilleri;

- Normal
- Dinlenmeli
- Gareli

çalışma şekilleridir. Normal çalışma şekli, bağlı bulunduğu garajdan 8 saatlik mesai tanımlı bir şoför tarafından hatta çıkarılan otobüsün, 8 saat sonunda hat üzerinde yine 8 saatlik mesai tanımlı başka bir şoföre devredilmesiyle toplam 16 saatlik çalışma biçimini ifade eder. Bir otobüs, 2 şoför tarafından kullanılır. Normal çalışma şeklinde bir otobüs, sabah garajdan çıkışından ve akşam garaja dönüşünden kaynaklı 2 seviye ölü kilometre doğurur.

Dinlenmeli çalışma şekli, bağlı bulunduğu garajdan 8 saatlik mesai tanımlı bir şoför tarafından hatta çıkarılan otobüsün, yolculukların yoğun olduğu pik saatlerde çalıştırılmasını ifade eder. Dinlenmeli çalışan bir otobüs sabah yoğun saatlerde yaklaşık 4 saat, akşam yoğun saatlerde yaklaşık 4 saat olmak üzere toplam 8 saat çalışmaktadır. Bir dinlenmeli otobüs tek şoför personel tarafından kullanılır. Dinlenmeli çalışma şekli;

- Sabah garaj çıkışından kaynaklı,

- Sabah pik saat bittikten sonra, bulunduğu noktadan bağlı garajına dönmesi kaynaklı,
- Akşam pik saat başlamadan önce ilk hareketini yapacağı noktaya garajından çıkması kaynaklı
- Akşam planlı son hareketini bitirdikten sonra garajına dönmesi kaynaklı

4 seviye ölü kilometre doğurur.

Gareli çalışma, şekli itibariyle normal ve dinlenmeli çalışma şekillerinin karması gibidir. Normal çalışma şekli gibi 2 şoför tarafından 16 saat boyunca çalıştırılır. Ancak dinlenmeli çalışma gibi, otobüs 8 saatlik mesaisini bitiren birinci şoför tarafından bağlı bulunduğu garajına getirilir. İkinci şoför normal çalışma şeklinde olduğu gibi gareli çalışan otobüsü hattın üzerinden değil, bağlı bulunduğu garajından alır. Bu sebepten ötürü, gareli çalışmada da dinlenmeli çalışmada var olan 4 seviye ölü kilometre mevcuttur.

4.5.1.1.Hatlar

Bu bölümde uygulamadaki hatlara ait, çalışma şekillerine göre araç sayıları bilgileri üzerinde durulacaktır.

No	Hat Kodu	Hat Adı	Dinlenmeli	Gareli	Normal	Toplam
1	34	Avcılar-Zincirlikuyu	34	0	21	55
2	34A	Cevizlibağ-Söğütlüçeşme	0	0	0	0
3	34AS	Avcılar-Söğütlüçeşme	42	28	82	152
4	34BZ	Beylikdüzü-Zincirlikuyu	23	14	116	153
5	34C	Beylikdüzü-Cevizlibağ	57	0	13	70
6	34G	Beylikdüzü-Söğütlüçeşme	0	0	15	15
7	34Z	Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme	43	0	11	54
Toplam			199	42	258	499

Tablo 1: BRT Hatlarının Çalışma Şekillerine Göre Otobüs Sayıları

İstanbul’da işletilen BRT sisteminde, bir gün boyunca toplam 499 adet otobüs çalıştırılmaktadır. Tablo 1’de verilen 7 adet hatta çalıştırılan 499 adet otobüsün 199 tanesi dinlenmeli, 42 tanesi gareli ve 258 tanesi normal çalışma şekli ile çalışmaktadır. 34A

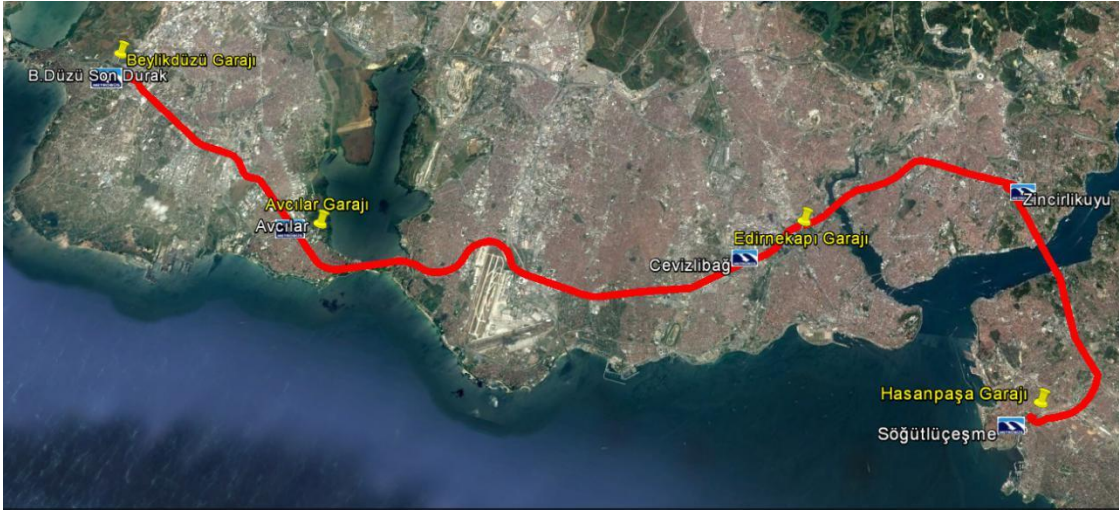
numaralı hat resmiyette olmasına rağmen işletme verimliliği açısından bu hatta otobüs çalıştırılmadığı İETT yetkilileri tarafından bildirilmiştir.

4.5.1.2. Garajlar

İETT'nin BRT işletmeciliğini yaptığı otobüslerinin bakım, onarım, yıkama, ikmal gibi işlemleri 4 adet garajda yapılmaktadır. Bu garajlar;

- Edirnekapı
- Avcılar
- Beylikdüzü
- Hasanpaşa

garajlarıdır.



Şekil 3: İstanbul BRT Aksı Ve BRT Garajlarının Lokasyonları

Şekil 3'deki görselden anlaşılabacağı üzere İstanbul'un batısından doğusuna sırasıyla Beylikdüzü, Avcılar, Edirnekapı ve Hasanpaşa garajları konuşlanmışlardır. En batıdaki Beylikdüzü ve Avcılar garajları bir uç, en doğudaki Hasanpaşa garajı ise diğer uç kabul edilmektedir. Bu garajlar uç garajlar olarak da adlandırılır. BRT aksına çok yakın konuşlanmış bu garajlardan Edirnekapı garajının kapasitesi 224, Avcılar garajının

kapasitesi 101, Beylikdüzü garajının kapasitesi 40 ve Hasanpaşa garajının kapasitesi 140 otobüslüktür.

4.5.1.3. Başlangıç Noktaları

Hatların başlangıç noktalarının garajlara olan uzaklığı ile ölü kilometrelerin doğru orantılı olduğu aşıkardır. Ölü kilometre optimizasyonu çalışmalarında, başlangıç noktalarının önemi otobüslerin garajdan çıkarken hangi noktaya gitmesi gerektiği ya da garaja hangi noktadan dönmesi gerektiği bilgilerinin öneminden kaynaklanmaktadır.

Tip	No	Hat kodu	EDİRNEKAPI				AVCILAR				BEYLİKDÜZÜ				HASANPAŞA				Toplam
			A	DÖNÜŞ	B	DNŞ	A	DNŞ	B	DNŞ	A	DNŞ	B	DNŞ	A	DNŞ	B	DNŞ	
Dinlenmeli	1	34(sabah)	17	B	10	A	7	A		A		A		A		B		B	34
	2	34(akşam)	13	B	14	A	7	A		A		A		A		B		B	34
	3	34A(sabah)		A		A		A		A		A		A		B		B	0
	4	34A(akşam)		A		A		A		A		A		A		B		B	0
	5	34AS(sabah)	15	A		A	17	A		A		A		A		B	10	B	42
	6	34AS(akşam)	7	B	8	A	17	A		A		A		A		B	10	B	42
	7	34BZ(sabah)	4	B	1	A	5	A		A	9	A		A		B	4	B	23
	8	34BZ(akşam)	3	B	2	A	5	A		A	9	A		A		B	4	B	23
	9	34C(sabah)		B	28	B	1	A	8	A	20	A		A		B		B	57
	10	34C(akşam)		B	28	B		A	9	A	20	A		A		B		B	57
	11	34G(sabah)		B		B		A		A		A		A		B		B	0
	12	34G(akşam)		B		B		A		A		A		A		B		B	0
	13	34Z(sabah)	16	B		B		A		A		A		A		B	27	B	43
	14	34Z(akşam)	16	B		B		A		A		A		A		B	27	B	43
Gareli	15	34(sabah)		B		B		A		A		A		A		B		B	0
	16	34(akşam)		B		B		A		A		A		A		B		B	0
	17	34A(sabah)		A		A		A		A		A		A		B		B	0
	18	34A(akşam)		A		A		A		A		A		A		B		B	0
	19	34AS(sabah)	15	B		B	1	A		A		A		A		B	12	B	28
	20	34AS(akşam)	13	A	2	B	1	A		A		A		A		B	12	B	28
	21	34BZ(sabah)	2	B	1	B	8	A		A	3	A		A		B		B	14
	22	34BZ(akşam)	1	B	2	A		A	8	A	3	A		A		B		B	14
	23	34C(sabah)		B		B		A		A		A		A		B		B	0
	24	34C(akşam)		B		B		A		A		A		A		B		B	0
	25	34G(sabah)		B		B		A		A		A		A		B		B	0
	26	34G(akşam)		B		B		A		A		A		A		B		B	0
	27	34Z(sabah)		B		B		A		A		A		A		B		B	0
	28	34Z(akşam)		B		B		A		A		A		A		B		B	0
Normal	29	34	17	B		B		A		A		A		A		B	4	B	21
	30	34A		A		A		A		A		A		A		B		B	0
	31	34AS	28	A		A	17	A		A		A		A		B	37	B	82
	32	34BZ	46	B	4	B	27	A		A	9	A		A		B	30	B	116
	33	34C		B	6	B	5	A		A	2	A		A		B		B	13
	34	34G	3	B	4	A	4	A		A		A		A		B	4	B	15
	35	34Z		B		B		A		A		A		A		B	11	B	11

Tablo 2: BRT Hatlarının Garaj Ve Başlangıç Nokta Bazlı Otobüs Dağılımı

Başlangıç noktaları, hatların planlarına göre ilk hareketlerini yaptıkları A ve B noktalarıdır. İstanbul BRT sisteminde 7 adet hat vardır. Bu hatlardaki başlangıç noktaları batıdan doğuya Beylikdüzü, Avcılar, Cevizlibağ, Zincirlikuyu ve Söğütluçeşme'dir. Söz gelimi 34 numaralı Avcılar-Zincirlikuyu hattının A noktası Avcılar ve B noktası Zincirlikuyu'dur.

Tablo 2'de görüldüğü üzere 7 adet hattın otobüslerinin hangi garajlardan çıktığı ve ilk hareketine hangi noktalarından başladığı bilgisi mevcuttur. Söz gelimi 29.sırada yer alan normal çalışan 34 hattının otobüslerinin ilk hareketini A noktasından yapan 17 adet otobüsü Edirnekapı garajından çıkmaktadır. Dönüş sütunun altına bakıldığında B harfi görünmektedir. Bunun anlamı bu 17 adet otobüs, son seferini gerçekleştirdikten sonra B noktasından yani Zincirlikuyu'dan Edirnekapı garajına dönmektedir. Yine aynı satırda görüldüğü üzere 4 adet otobüs, normal çalışan 34 hattına Hasanpaşa garajından çıkarak hattın B noktasına gitmekte ve son seferinden sonra yine B noktasından Hasanpaşa garajına dönmektedir. 34 hattının normal çalışan otobüslerinin ölü kilometresi;

$$\text{Ölü Kilometre} = 17 \times [(\text{Edirnekapı-Avcılar mesafesi}) + (\text{Zincirlikuyu-Edirnekapı mesafesi})] + 4 \times [(\text{Hasanpaşa-Zincirlikuyu mesafesi}) + (\text{Zincirlikuyu-Hasanpaşa mesafesi})]$$

formülü ile hesaplanabilir.

Tablo 2'de görüldüğü üzere; normal, dinlenmeli ve gareli çalışma şekillerinde otobüs sayıları ayrı ayrı verilmiştir. Bunun nedeni ölü kilometreyi hesaplama kolaylığıdır. Bir sonraki adımda dinlenmeli ve gareli çalışan otobüslerin sabah ve akşam olarak ayrı ayrı yazıldığı da gözükmemektedir. Daha önce de belirtildiği gibi dinlenmeli ve gareli çalışan otobüslerin 4, normal çalışan otobüslerin 2 düzey ölü kilometresi vardır. Tabloyu dinlenmeli ve garelilerin sabah ve akşam ayrı ele alınması şekline getirdiğimizde her bir satırı normal çalışan hat gibi düşünebilir, sadece garajdan ilk çıkış ve garaja son girişten kaynaklanan ölü kilometreleri kolaylıkla hesaplayabiliriz.

4.5.1.2. bölümün sonunda uç garajlardan bahsedilmiştir. Başlangıç noktalarında ise uç noktalar vardır. Bu uç noktalar 34, 34AS, 34BZ ve 34C hatlarının A noktaları olan

Avcılar ve Beylikdüzü ile 34AS ve 34Z hatlarının B noktası olan Söğütluçeşme'dir. Uç noktalar ve uç garajlar bilgileri optimizasyon kısmında birer kısıt olarak kullanılacaktır.

4.5.1.4.Mevcut Durum Ölü Kilometre Hesabı

İstanbul'daki BRT sisteminin mevcut ölü kilometresinin hesaplanabilmesi için öncelikle hatların her bir başlangıç noktasının her bir garaja olan uzaklığı bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Tablo 2'de hangi hattın hangi başlangıç noktasına kaç adet otobüsünün hangi garajdan çıktığı bilgisi verilmişti. Burada dinlenmeli ve gareli çalışan otobüslerin sabah ve akşam olarak neden ayrıldığı da daha önce anlatılmıştı. Bu sebeple tablodaki her bir satır normal çalışan bir hat gibi düşünülebilir ve her bir satırdaki hattın sadece sabah çıkıştan ve akşam garaja dönüşten kaynaklı ölü kilometre doğurduğu kabulü kolaylıkla yapılabilir.

Hat kodu	EDİRNEKAPI		AVCILAR		BEYLİKDÜZÜ		HASANPAŞA	
	A	B	A	B	A	B	A	B
34	21	10,1	0	31,2	10	39,9	42,5	13,1
34A	2,4	21,4	19,9	42,5	28,6	51,2	24,1	0
34AS	22,3	21,4	0	42,5	10	51,2	42,5	0
34BZ	31	10,1	10	31,2	0	39,9	51,2	13,1
34C	31	0	10	19,9	0	31	51,2	24,1
34G	31	21,4	10	42,5	0	51,2	51,2	0
34Z	10,1	21,4	31,2	42,5	39,9	51,2	13,1	0

Tablo 3: BRT Sistemindeki Hatların A Ve B Noktalarının Garajlara Uzaklığı (km)

Tablo 3'de hatların başlangıç noktalarına uzaklıkları verilmiştir. Daha önce 34 numaralı hattın normal çalışan otobüslerinin ölü kilometresini hesaplarken;

$$\text{Ölü Kilometre} = 17 \times [(\text{Edirnekapi-Avcılar mesafesi}) + (\text{Zincirlikuyu-Edirnekapi mesafesi})] + 4 \times [(\text{Hasanpaşa-Zincirlikuyu mesafesi}) + (\text{Zincirlikuyu-Hasanpaşa mesafesi})]$$

şeklinde bir formülasyon verilmişti. Bu formülasyona mesafe değerleri eklenirse;

$$\text{Ölü Kilometre} = 17 \times [21 + 10,1] + 4 \times [13,1 + 13,1] = 633,50 \text{ km}$$

eşitliği bulunur.

Bu formülasyondan hareketle, mevcut toplam ölü kilometreyi hesaplamak için Tablo 2’deki her bir hattın Tablo 3’deki mesafelerle birleştirilmesiyle aşağıdaki genel formülasyon elde edilir.

$$\text{Mevcut Durum Tüm Sistemin Ölü Kilometresi} = \sum_{i=1}^{35} \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^2 x_{ijk} \cdot (d_{ijk} + e_{ijk})$$

Yukarıdaki formülasyon aracılığıyla toplam ölü kilometreyi hesaplamak için indislerden faydalanılmaktadır.

- Hat indisi, $i \in I = \{1, 2, \dots, 35\}$, Tablo 2’de toplam 35 adet hat vardır.
- Garaj indisi, $j \in J = \{1, 2, 3, 4\}$, BRT sisteminde toplam 4 adet garaj vardır.
- İlk nokta indisi, $k \in K = \{1, 2\}$, sistemde A ve B olmak üzere iki nokta vardır.

Tüm sistemin toplam ölü kilometresi hesaplanırken sadece indislerden değil aşağıdaki değişkenlerden de faydalanılmaktadır.

- x_{ijk} : i numaralı hattın, j numaralı garajından çıkarak ilk hareketini k noktasına yapan otobüs sayısı
- d_{ijk} : i numaralı hattın, j numaralı garajından çıkarak ilk hareketini k noktasına yapan otobüslerin kat ettiği ölü kilometre
- e_{ijk} : i numaralı hattın, j numaralı garaja dönerken son hareketini k noktasından yapan otobüslerin kat ettiği ölü kilometre

Bu formülasyondan hareketle, daha önce 34 hattının normal çalışan otobüslerinin ölü kilometresini hesapladığımız gibi, Tablo 2’de yer alan 35 adet hattın ölü kilometresini ayrı ayrı bulup topladıktan sonra mevcut durumdaki toplam ölü kilometreyi 13.123,50 kilometre olarak buluruz. Detaylı hesaplamalar EK 1’de ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Bu hesaplamanın anlamı, İstanbul’daki BRT sisteminde, İETT’nin mevcut

hat-garaj dağılımından ötürü günlük yolcusuz kat ettiği kilometrenin günlük 13.123,50 kilometre olmasıdır. Yapılacak uygulama ile bu kilometre düşürülmeye çalışılacaktır.

Tablo 4’de, Tablo 2’de yer alan her bir hattın ölü kilometresi verilmiştir. Burada daha önce açıklandığı üzere dinlenmeli ve gareli olan hatların ölü kilometresi mükerrer verilmiştir. Hatların toplam ölü kilometresini mükerrerlik olmaksızın görmek için Tablo 5 hazırlanmış ve mükerrerlikler toplanarak hat bazlı ölü kilometreler bulunmuştur.

Tablo 5 detaylı incelendiğinde hat bazında en fazla ölü kilometre 4.883,3 kilometre ile 34BZ numaralı hat tarafından oluşmaktadır. Bu durumun temel nedeni, 34BZ hattının A noktası olan Beylikdüzü’nden ilk hareketini yapan 34BZ otobüslerinden dinlenmeli ve gareli çalışanlarının sabah 31 adet, akşam ise 21 adet olması ve normal çalışan otobüslerinin ise 82 adet olmasıdır. 34BZ hattının A noktası olan Beylikdüzü’ne en yakın garaj olan Beylikdüzü garajının otobüs kapasitesinin 40 olduğu göz önünde bulundurulursa bu durum mevcut hat-garaj dağılımı ile beklenen bir durumdur. Öte yandan 34C numaralı hattın A noktası da Beylikdüzü’dür. 34C hattının A noktasından başlayan otobüslerinin bir kısmının da Beylikdüzü garajından çıktığı göz önünde bulundurulursa 34BZ hattının, Beylikdüzü garaj kapasitesinin üstünde kalan otobüs sayılarının fazla olması bu hattın en fazla ölü kilometre oluşturmaya sebebiyet vermektedir.

Tip	No	Hat kodu	ölü km
Dinlenmeli	1	34(sabah)	839,7
	2	34(akşam)	839,7
	3	34A(sabah)	0
	4	34A(akşam)	0
	5	34AS(sabah)	669
	6	34AS(akşam)	655,5
	7	34BZ(sabah)	410,3
	8	34BZ(akşam)	410,3
	9	34C(sabah)	259,2
	10	34C(akşam)	269,1
	11	34G(sabah)	0
	12	34G(akşam)	0
	13	34Z(sabah)	504
	14	34Z(akşam)	504
Gareli	15	34(sabah)	0
	16	34(akşam)	0
	17	34A(sabah)	0
	18	34A(akşam)	0
	19	34AS(sabah)	655,5
	20	34AS(akşam)	665,4
	21	34BZ(sabah)	262,4
	22	34BZ(akşam)	452,9
	23	34C(sabah)	0
	24	34C(akşam)	0
	25	34G(sabah)	0
	26	34G(akşam)	0
	27	34Z(sabah)	0
	28	34Z(akşam)	0
Normal	29	34	633,5
	30	34A	0
	31	34AS	1248,8
	32	34BZ	3297,4
	33	34C	100
	34	34G	446,8
	35	34Z	0
Toplam			13123,5

Tablo 4: Mevcut Durum Çalışma Şekillerine Göre Ölü Kilometre Dağılımı

Hat	Hat Adı	Dinlenmeli	Gareli	Normal	Toplam	Toplam Ölü Km	Araç Başı Ölü Km
34	Avcılar-Zincirlikuyu	34	0	21	55	2312,9	42,05
34A	Cevizlibağ-Söğütlüçeşme	0	0	0	0	0	0,00
34AS	Avcılar-Söğütlüçeşme	42	28	82	152	3894,2	25,62
34BZ	Beylikdüzü-Zincirlikuyu	23	14	116	153	4833,3	31,59
34C	Beylikdüzü-Cevizlibağ	57	0	13	70	628,3	8,98
34G	Beylikdüzü-Söğütlüçeşme	0	0	15	15	446,8	29,79
34Z	Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme	43	0	11	54	1008	18,67
Toplam		199	42	258	499	13123,5	26,30

Tablo 5: Hat Bazlı Ölü Kilometre Verileri

Tablo 5’deki hat bazlı araç başı ölü kilometre verisine bakıldığında ise 42,05 kilometre ile bir hattaki bir otobüsün ortalama olarak en çok ölü kilometreyi doğurduğu hattın 34 numaralı hat olduğu görünmektedir. Bu durum, 34 numaralı hattın A noktası olan Avcılar’ın kendisine uzaklığı 0 kilometre olan Avcılar garajından yeterince beslenemediğini göstermektedir.

4.5.2. Tam Sayılı Doğrusal Programlama İle Optimizasyon

Mevcut durum analizi ile İstanbul BRT sisteminde mevcut hat-garaj dağılımından kaynaklı ölü kilometrenin 13.123,50 kilometre olduğu hesaplanmıştı. Bu bölümde tam sayılı doğrusal programlama metodu ile optimizasyon işlemi gerçekleştirilecek ve yeni bir hat-garaj dağılımı elde edilecektir. Bu metotla BRT sisteminde hat-garaj dağılımından kaynaklanan günlük ölü kilometre minimize edilecektir.

Bu metot uygulanırken öncelikle ölü kilometreyi minimize edecek bir amaç fonksiyonu belirlenecektir. Ölü kilometrelerin varlığı, BRT sistemine bir maliyet olduğu için bu problemin bir minimizasyon problemi olduğu aşikardır.

Amaç fonksiyonu belirlendikten sonra modeldeki kısıtlar belirlenecektir. İlk olarak İstanbul’daki BRT sistemini işleten otorite olan İETT’nin BRT sistemi ile ilgili yapmış olduğu sefer planlarında yer alan, hatların ilk hareketini nereden yapması gerektiği bilgisine göre, başlangıç noktalarından başlayacak otobüs sayısı kısıt grubu oluşturulacaktır.

İkinci kısıt grubu ise BRT sistemine otobüs sağlayan garajların kapasite kısıtlarıdır. Her bir garajdan çıkması gereken otobüs sayıları bu kısıt grubuna göre belirlenecektir.

Üçüncü kısıt grubu ise uç noktalardaki garajlardan, uç noktalardaki başlangıç noktalarından başlayan hatlara otobüs gönderilmeme kısıtıdır. Bu kısıt grubunun kurulabilmesi için gerekli olan uç garajların ve uç başlangıç noktalarının hangileri olduğu daha önceki bölümlerde anlatılmıştı.

Dördüncü kısıt grubu çalışma şekillerinden dinlenmeli ve gareli çalışan otobüslerle ilgili kısıtlardır. Dinlenmeli ve gareli çalışma şekilleri normal çalışma şekline farklı olarak 4 seviyede ölü kilometre doğurmaktadır. Bu sebepten bu çalışma şekillerindeki otobüsler, Tablo 2’de sabah ve akşam ayrı bir hat gibi düşünüldü ve ölü kilometreleri normal çalışma şekli gibi 2 seviyeye düşürüldü ve mevcut durum ölü kilometresi kolaylıkla hesaplandı. Ancak Tablo 2’de, dinlenmeli ve gareli çalışma şekillerindeki sabah ve akşam ayrı gösterilen otobüs sayılarının model sonunda aynı sayıda çıkması gerekmektedir. Çünkü sabah ve akşam ayrı olarak belirtilen bu otobüsler aslında hat bazında aynı otobüslerdir. Bu kısıt grubu, Tablo 2’de ayrı belirtilen dinlenmeli ve gareli çalışan hatların tekrar birleştirildiği kısım olarak da düşünülebilir.

Beşinci ve altıncı kısıt grubu ise pozitiflik ve tam sayı olma durumu kısıtlarıdır. Hatlara atayacağımız otobüs sayısı negatif olamayacağından pozitiflik kısıtı, kesirli bir sayı olamayacağından ise tam sayı olma kısıtları türetilmiştir.

4.5.2.1.Amaç Fonksiyonu

Amaç fonksiyonu, bir problemde amaçlanan durum ya da varılması istenen hedefdir. Bu çalışmada İstanbul BRT sistemindeki ölü kilometrelerin minimize edilmesi amaçlanmaktadır.

Bu problemin amaç fonksiyonu belirlenirken, modelin problemi minimize etmek için herhangi bir garajdan herhangi bir hattın herhangi bir başlangıç noktasına (A veya B noktası) atama yapabileceği göz önünde bulundurularak tüm hatların başlangıç noktalarının tüm garajlara olan uzaklığından faydalanılır. Bu bilgi Tablo 3’de yer almaktadır.

Daha önce mevcut durumun ölü kilometresini hesaplarken kullanılan formülün model için gerekli olan amaç fonksiyonuna dönüştürülmesi gerekmektedir.

$$\text{MIN } Z_1 = \sum_{i=1}^{35} \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^2 x_{ijk} \cdot (d_{ijk} + e_{ijk})$$

Yukarıdaki formülasyonda görüldüğü üzere amaç fonksiyonu genel bir formülasyon ile ifade edilmiştir. Burada yer alan indis ve parametrelerin anlamları, mevcut durum ölü kilometresi hesaplanırken ifade edilmişti. Amaç fonksiyonunda yer alan ve hatları ifade eden i indisinin aldığı değerler Tablo 2'deki satırlarla gösterilen hat sıralaması ile aynıdır. Söz gelimi $i=1$ olma durumu Tablo 2'de yer alan 34 numaralı hattın dinlenmeli çalışan otobüslerinin sabah çıkış yapanlarının sayısını ifade eder.

Amaç fonksiyonunun genel formülasyonunda yer alan ve garajları ifade eden j indisinin aldığı değerler yine Tablo 2'deki sütunlarla gösterilen garaj sıralaması ile aynıdır. Bu sıralamaya göre $j=1$ Edirnekapı garajı, $j=2$ Avcılar garajı, $j=3$ Beylikdüzü garajı ve $j=4$ Hasanpaşa garajı olma durumlarını ifade eder. Söz gelimi $i=1, j=1$ durumu dinlenmeli çalışan 34 numaralı hattın sabah ilk çıkışını Edirnekapı garajından yapan otobüs sayısını ifade eder.

Amaç fonksiyonunun genel formülasyonunda yer alan ve başlangıç noktalarını ifade eden k indisinin aldığı değerler hatların A ve B noktaları olan başlangıç noktalarını ifade etmektedir. Buna göre $k=1$ A noktasını ve $k=2$ B noktasını ifade etmektedir. Söz gelimi $i=1, j=1$ ve $k=1$ durumu, dinlenmeli çalışan 34 numaralı hattın sabah ilk çıkışını Edirnekapı garajından yapıp A noktasından seferlerine başlayan otobüs sayısını ifade eder. Mevcut durumda bu sayı aşağıdaki formülasyonda ifade edildiği gibi 17'dir.

$$x_{111} = 17$$

Amaç fonksiyonunun genel olarak ifade edilmiş formülasyonun açık bir şekilde gösterimi EK 2'de gösterilmiştir. Mevcut durum ölü kilometreleri, EK 1'de verilmiş olan aşamalardan geçilerek hesaplatılmıştı. Bu aşamalarda mevcut durum analizi yapıldığı için karar değişkenleri yerine fiili olarak çalışan otobüs sayıları girildi ve doğrudan hesaplama yapıldı. Tam sayılı doğrusal programlama metodu ile gerçekleştirilecek optimizasyon işleminden sonra yeni bir hat-garaj eşleştirme modeli beklenildiği için, amaç fonksiyonu oluşturulurken bu genel formülasyonda fiili otobüs sayıları yerine karar değişkenleri kullanılmıştır. Bunlardan farklı olarak, problemin bir minimizasyon problemi olduğunu amaç fonksiyonunda belirtmek için eşitliğin sol tarafında $\text{MIN } Z_1$ ifadesi kullanılmıştır.

Yukarıdaki kısımlarda genel formülasyonu, EK 2’de ise açık olarak yazılmış şekli verilen amaç fonksiyonun x_{ijk} biçiminde yazılan değişkenleri karar değişkenleridir. Model bu x_{ijk} değişkenlerine optimizasyonu sağlamak için uygun değerler atayacak ve bu atama işlemi sonunda yeni bir hat-garaj dağılımı oluşacaktır. Bu x_{ijk} karar değişkenlerinin önündeki sabit kat sayılar ise söz konusu karar değişkeninin sabah garajdan çıkarken ve akşam garaja girerken sisteme getirmiş olduğu ilave ölü kilometreyi ifade etmektedir. Söz gelimi, 34 numaralı hattın dinlenmeli çalışıp, Edirnekapı garajından çıkarak ilk hareketini A noktasından yapan otobüs sayısı bir birim artarsa, sistemde buna karşılık ilave olarak 31,1’lik ölü kilometre artışı olacaktır. EK 2’de x_{111} karar değişkeninin sabit katsayısının 31,1 olması bu durumu açıklamaktadır.

4.5.2.2. Başlangıç Noktalarından Başlayacak Otobüs Sayısı Kısıtı

Optimizasyon modelinin kurulabilmesi için amaç fonksiyonunun belirlenmesinden sonra kısıtların yazılması gerekmektedir. Bir önceki aşamada amaç fonksiyonu belirlenmiştir. Bu bölümde birinci kısıt grubu olan başlangıç noktalarından başlaması gereken otobüs sayısı kısıtı ele alınacaktır.

İstanbul’daki BRT sistemini işleten İETT kurumu, yolculuk analizlerine göre bir sefer planı yapmıştır. Bu sefer planında hangi garajdan hangi hatta kaç adet otobüs gideceği ve bu otobüslerin hangi başlangıç noktasından başlayacağı bilgisi bellidir. Daha önce Tablo 2’de genel bir formda verilen bu bilgiyi, i indisi olan hat indislerine göre, A ve B noktasından kaç adet otobüs başlaması gerektiği bilgisi Tablo 6’da yer almaktadır.

	i	Hat kodu	Toplam Otobüs Sayısı	A Noktasından Başlayan Otobüs Sayısı	B Noktasından Başlayan Otobüs Sayısı
Dinlenmeli	1	34(sabah)	34	24	10
	2	34(akşam)	34	20	14
	3	34A(sabah)	0	0	0
	4	34A(akşam)	0	0	0
	5	34AS(sabah)	42	32	10
	6	34AS(akşam)	42	24	18
	7	34BZ(sabah)	23	18	5
	8	34BZ(akşam)	23	17	6
	9	34C(sabah)	57	21	36
	10	34C(akşam)	57	20	37
	11	34G(sabah)	0	0	0
	12	34G(akşam)	0	0	0
	13	34Z(sabah)	43	16	27
	14	34Z(akşam)	43	16	27
Gareli	15	34(sabah)	0	0	0
	16	34(akşam)	0	0	0
	17	34A(sabah)	0	0	0
	18	34A(akşam)	0	0	0
	19	34AS(sabah)	28	16	12
	20	34AS(akşam)	28	14	14
	21	34BZ(sabah)	14	13	1
	22	34BZ(akşam)	14	4	10
	23	34C(sabah)	0	0	0
	24	34C(akşam)	0	0	0
	25	34G(sabah)	0	0	0
	26	34G(akşam)	0	0	0
	27	34Z(sabah)	0	0	0
	28	34Z(akşam)	0	0	0
Normal	29	34	21	17	4
	30	34A	0	0	0
	31	34AS	82	45	37
	32	34BZ	116	82	34
	33	34C	13	7	6
	34	34G	15	7	8
	35	34Z	11	0	11

Tablo 6: Başlangıç Noktalarına Göre Hatların Otobüs Sayıları

Söz gelimi $i=1$, $k=1$ olduğu durumda, yani 34 numaralı hattın dinlenmeli çalışıp sabah çıkan ve ilk hareketini A noktasından yapan otobüs sayısı 24'dür. Bunun anlamı $i=1$ ve $k=1$ iken j indisine (garaj indisi) gelecek her değer için otobüs sayısı toplamı 24'dür. Aynı şekilde $i=1$, $k=2$ olduğu durumda toplam 10 adet otobüs olması gerekir. Bu durum aşağıdaki iki kısıt ile örneklendirilmiştir.

$$x_{111} + x_{121} + x_{131} + x_{141} = 24$$

$$x_{112} + x_{122} + x_{132} + x_{142} = 10$$

Yukarıda iki örnekle anlatılan bu kısıt grubunun genel bir formülasyon ile gösterimi aşağıda yer almaktadır.

$$\sum_{j=1}^4 x_{ijk} = n_{ik}, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K$$

- n_{ik} : i hattının, k noktasında olması gereken otobüs sayısı
- Hat indisi, $i \in I = \{1, 2, \dots, 35\}$, Tablo 2’de toplam 35 adet hat vardır.
- Garaj indisi, $j \in J = \{1, 2, 3, 4\}$, BRT sisteminde toplam 4 adet garaj vardır.
- İlk nokta indisi, $k \in K = \{1, 2\}$, sistemde A ve B olmak üzere iki nokta vardır.

Bu kısıtın önemi, Tablo 2’de yer alan her bir hattın güne başlarken hangi noktadan başlaması gerektiği bilgisinin öneminden gelmektedir. Yapılacak optimizasyon çalışmasının İETT kurumunun sefer planı ile çelişmemesi için bu kısıt kullanılmak durumundadır. Atama sonunda herhangi bir hattın A ve B noktasındaki toplam otobüs sayısı değişemez. İETT’nin planına sadık kalınması gerekmektedir. Bunun nedeni bu çalışmanın konusunun BRT sisteminin sefer planlarında iyileştirme ya da revizyon değil, BRT sistemindeki ölü kilometrelerin minimize edilmesi olmasıdır.

Başlangıç noktası bazlı kurulan bu kısıt grubunda, Tablo 2’de verilen her bir hattın A ve B noktasında olması gereken otobüs sayıları, İETT’nin yapmış olduğu plana göre belirlenmektedir. Genel olarak yazılan bu kısıt grubunun formülasyonu EK 3’deki denklemlerle açık olarak yazılmıştır. Denklemler hatların başlangıç noktalarına göre ayrı ayrı ifade edilmiştir. Sol kısımdaki sütun A noktası kısıtları ($k=1$), sağ kısımdaki sütun ise B noktası ($k=2$) kısıtlarıdır.

4.5.2.3. Garajların Kapasite Kısıtları

BRT sisteminde ölü kilometrenin optimize edilmesinde akla ilk gelen kısıt gruplarından biri garaj kapasite kısıtlarıdır. Bu kısıt sayesinde hangi garaja en fazla kaç tane otobüs atanabileceği bilgisine erişilmektedir.

Tablo 7’de BRT sistemindeki her bir garajın otobüs kapasiteleri verilmiştir. Söz gelimi, yapılacak optimizasyon sonunda yeni hat-garaj atamasında Edirnekapı garajına atanacak otobüs sayısı 224 adeti geçemez. Burada j indisleri devreye girmektedir. Edirnekapı garajı ile ilgili verilecek bir örnekte $j=1$ olma durumuna bakılır. Bunun anlamı, $j=1$ olduğunda i ve k indislerinin her değerleri için otobüs sayısı toplamı en fazla 224 olur.

Garaj No	Garaj Adı	Otobüs Kapasitesi (Adet)
1	Edirnekapı	224
2	Avcılar	101
3	Beylikdüzü	40
4	Hasanpaşa	140

Tablo 7: Garaj Kapasite Kısıtları

Ancak burada daha önce de ifade edildiği gibi dinlenmeli ve gareli çalışan otobüsler, Tablo 2’de sabahçı ve akşamcı olmak üzere iki kere gösterilmiştir. Bu şekilde çalışan ve hesaplama kolaylığı için sabah ve akşam ayrı hat olarak tanımlanan bu otobüsler, aslında sabah ve akşam aynı otobüs olarak garajlarından çıkmaktadır. Eğer Tablo 2’de verilen hatlara göre, 35 adet hat için garaj indisine göre toplama yapılırsa, garajlarda mükerrerlik olur ve hatalı sonuç bulunur. Bunu önlemek için garaj kapasite kısıtları oluşturulurken dinlenmeli ve gareli çalışan otobüslerin sabahçıları ile normal çalışanlar ve dinlenmeli ve gareli çalışan otobüslerin akşamcıları ile normal çalışanlar toplanarak ayrı ayrı değerlendirilir. Bu durum her garajın kapasite kısıtının iki kere yazılmasını gerektirir. Bu şekilde hem sabahçı çalışan dinlenmeli ve gareli otobüsleri ifade eden, hem de akşamcı çalışan dinlenmeli ve gareli otobüsleri ifade eden karar değişkenlerinin garaj kapasite kısıtı ile etkileşimi sağlanmıştır. Aşağıdaki iki genel kısıt grubunda garaj kapasite kısıtları gösterilmiştir.

$$\sum_{i=1}^{27} \sum_{k=1}^2 x_{ijk} + \sum_{t=29}^{35} \sum_{k=1}^2 x_{tjk} \leq g_j \quad i = 2n + 1, n = \{0,1 \dots 13\}, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K, \forall t \in T$$

$$\sum_{i=1}^{27} \sum_{k=1}^2 x_{i+1,jk} + \sum_{t=29}^{35} \sum_{k=1}^2 x_{tjk} \leq g_j \quad i = 2n + 1, n = \{0,1 \dots 13\}, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K, \forall t \in T$$

- g_j : j garajının maksimum alabileceği otobüs sayısı
- Normal çalışan hat otobüsleri indisi, $t \in T = \{29,30 \dots 35\}$

Garaj kapasitesi kısıtı için yukarıda bahsedildiği üzere dinlenmeli ve gareli çalışan otobüslerin sabahçıları ve akşamcıları ayrı ayrı değerlendirilecektir. Hem sabah hem akşam incelemesinde normal çalışan otobüsler aynı şekilde gösterilmelidir. Tablo 2'deki hat sıralamasında normal çalışan otobüsler 29.sıradan itibaren yer aldığı için normal çalışan otobüsleri ifade eden ve 29'dan başlayıp 35'e kadar giden tam sayılardan oluşan bir t indisi geliştirilmiştir.

Bu kısıtla beraber modele yeni bir parametre girmiştir. Bu parametre g harfi ile ifade edilmekte ve j numaralı garajın otobüs kapasitesini ifade etmektedir.

Yukarıda genel formülasyon ile gösterilen garaj kapasite kısıtlarının açık olarak yazılmış hali EK 4'de ifade edilmiştir.

$$X_{111} + X_{112} + X_{311} + X_{312} + X_{511} + X_{512} + X_{711} + X_{712} + X_{911} + X_{912} + X_{1111} + X_{1112} + X_{1311} + X_{1312} + X_{1511} + X_{1512} + X_{1711} + X_{1712} + X_{1911} + X_{1912} + X_{2111} + X_{2112} + X_{2311} + X_{2312} + X_{2511} + X_{2512} + X_{2711} + X_{2712} + X_{2911} + X_{2912} + X_{3011} + X_{3012} + X_{3111} + X_{3112} + X_{3211} + X_{3212} + X_{3311} + X_{3312} + X_{3411} + X_{3412} + X_{3511} + X_{3512} \leq 224$$

$$X_{211} + X_{212} + X_{411} + X_{412} + X_{611} + X_{612} + X_{811} + X_{812} + X_{1011} + X_{1012} + X_{1211} + X_{1212} + X_{1411} + X_{1412} + X_{1611} + X_{1612} + X_{1811} + X_{1812} + X_{2011} + X_{2012} + X_{2211} + X_{2212} + X_{2411} + X_{2412} + X_{2611} + X_{2612} + X_{2811} + X_{2812} + X_{2911} + X_{2912} + X_{3011} + X_{3012} + X_{3111} + X_{3112} + X_{3211} + X_{3212} + X_{3311} + X_{3312} + X_{3411} + X_{3412} + X_{3511} + X_{3512} \leq 224$$

Söz gelimi, sabahçı çalışan dinlenmeli ve gareli otobüsler ile normal çalışan otobüslerin Edirnekapı garajından çıkan otobüslerinin sayısı 224 adeti geçemez. Aynı

şekilde akşamcı çalışan dinlenmeli ve gareli otobüsler ile normal çalışan otobüslerin Edirnekapı garajından çıkan otobüslerinin sayısı 224'ü geçemez. Bu iki kısıt yukarıda örneklendirilmiştir. Edirnekapı garaj kapasite kısıtının iki kere yazılmasının sebebi sabahcı ve akşamcı ayrı olarak çıkış yapan dinlenmeli ve gareli çalışan otobüslerin aslında aynı otobüsler olmasıdır. Bu otobüsleri ifade eden karar değişkenlerinin garaj kapasite kısıtı ile etkileşimlerinin sağlanması için garaj kapasite kısıtları ikişer kez yazılmıştır.

4.5.2.4.Uç Noktalardaki Garajlardan Uç Noktalardaki Başlangıç Noktalarına Otobüs Göndermeme Kısıtı

Mevcut durum analizi yapılırken, garajlar ve başlangıç noktaları konusunda uç garajlar ve uç noktaların varlığından bahsedilmişti. Bu tanımlar bu çalışma için geliştirilmiş kavramlardır. Bu tanımları geliştirme ihtiyacı, şoför personelin mesaisine başladığında en hızlı şekilde otobüslerle yolcuları buluşturma gereksiniminden doğmuştur. İETT’de çalışan bir şoför personelin mesaisi 8 saattir. Mesaisine başlayan bir şoför, ölü kilometreleri kat ederek ne kadar kısa sürede yolcu ile otobüsü buluşturursa 8 saatlik mesaisinde o kadar fazla sefer gerçekleştirilir. Eğer uç garaj ve uç noktalar kavramı geliştirilmeseydi, modelin ataması sonucunda ölü kilometre minimizasyonun gerçekleştirilmesi için istenmeyen durumlar oluşacaktı. Söz gelimi, minimizasyon için Beylikdüzü garajından 34AS ve 34Z hatlarının B noktası olan Söğütlüçeşme’ye otobüs atanması olasıydı. Bu kısıt grubunun yokluğunda belki de ölü kilometre bu kısıtın varlığına nazaran daha düşük çıkacaktır. Ancak bu istenen bir durum değildir. Çünkü Beylikdüzü garajından Söğütlüçeşme’ye olası araç atanma örneği ile bir şoför 52 kilometre boyunca ölü kilometre kat edecek ve bu mesaisinin yaklaşık 1 saatlik zaman dilimini alacaktır. Bunun anlamı, Metrobüs sisteminin 1 şoförün 1 saatlik hizmetinden mahrum kalacak olmasıdır.

Bu durumun önüne geçmek için uç garajlar ve uç noktalar tanımları geliştirilmiştir. Beylikdüzü ve Avcılar garajlarının bir uç garaj grubu, Hasanpaşa garajının diğer uç garaj olduğu, yine 34BZ, 34C, 34 ve 34AS hatlarının A noktaları olan Beylikdüzü ve Avcılar’ın bir uç nokta grubu, 34AS ve 34Z hatlarının B noktası olan Söğütlüçeşme’nin diğer uç nokta olduğu belirtilmiştir. Geliştirilen bu tanımlarla Beylikdüzü ve Avcılar garajlarından Söğütlüçeşme’ye, Hasanpaşa garajından Beylikdüzü

ve Avcılar noktalarına otobüs çıkmaz kabulü yapılacaktır. Bu kabul ile şoför personellerin mesailerini ölü kilometreler ile harcamalarının önüne geçilerek BRT sisteminde yer alan otobüslerin daha fazla sefer yapabilmesi hedeflenmiştir.

Öte yandan üretilen bu kısıtlarla, optimizasyon neticesinde, son seferini yapan bir BRT otobüsü, Beylikdüzü ya da Avcılar garajının otobüsüken seferlerini Söğütluçeşme’de ya da Hasanpaşa garajının otobüsüken Beylikdüzü ya da Avcılar noktalarında bitirebilir. Şoför personel 8 saatlik mesaisini bu noktalarda bitirmiş ve otobüsün garaja getirilmesi için 8 saatin üzerine çalışma yapılması gerekmektedir. Bu durumda şoför personele fazla mesai ödenecektir. İETT’nin hizmet amaçlı, kâr amacı gütmeyen bir kurum olmasından ötürü, daha fazla sefer yapmak için bu mesai maliyetlerine katlanmak olağandır. Bu kısıtlarla ödenecek fazla mesai yolcuya hizmet edilen zaman dilimine değil, yolculukların sona erdiği son saatlere kaydırılacak, şoför personelin normal mesaisi yolculuğun yoğun olduğu saatlerde tüketilecektir.

Tip	No	Hat kodu	Hat Adı (Başlangıç Noktaları)	Edirnekapı		Avcılar		Beylikdüzü		Hasanpaşa	
				A	B	A	B	A	B	A	B
Dinlenmeli	1	34(sabah)	Avcılar-Zincirlikuyu	1	1	1	1	1	1	0	1
	2	34(akşam)	Avcılar-Zincirlikuyu	1	1	1	1	1	1	0	1
	3	34A(sabah)	Cevizlibağ-Söğütlüçeşme	1	1	1	0	1	0	1	1
	4	34A(akşam)	Cevizlibağ-Söğütlüçeşme	1	1	1	0	1	0	1	1
	5	34AS(sabah)	Avcılar-Söğütlüçeşme	1	1	1	0	1	0	0	1
	6	34AS(akşam)	Avcılar-Söğütlüçeşme	1	1	1	0	1	0	0	1
	7	34BZ(sabah)	Beylikdüzü-Zincirlikuyu	1	1	1	1	1	1	0	1
	8	34BZ(akşam)	Beylikdüzü-Zincirlikuyu	1	1	1	1	1	0	0	1
	9	34C(sabah)	Beylikdüzü-Cevizlibağ	1	1	1	1	1	1	0	1
	10	34C(akşam)	Beylikdüzü-Cevizlibağ	1	1	1	1	1	1	0	1
	11	34G(sabah)	Beylikdüzü-Söğütlüçeşme	1	1	1	0	1	0	0	1
	12	34G(akşam)	Beylikdüzü-Söğütlüçeşme	1	1	1	0	1	0	0	1
	13	34Z(sabah)	Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme	1	1	1	0	1	0	1	1
	14	34Z(akşam)	Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme	1	1	1	0	1	0	1	1
Gareli	15	34(sabah)	Avcılar-Zincirlikuyu	1	1	1	1	1	1	0	1
	16	34(akşam)	Avcılar-Zincirlikuyu	1	1	1	1	1	1	0	1
	17	34A(sabah)	Cevizlibağ-Söğütlüçeşme	1	1	1	0	1	0	1	1
	18	34A(akşam)	Cevizlibağ-Söğütlüçeşme	1	1	1	0	1	0	1	1
	19	34AS(sabah)	Avcılar-Söğütlüçeşme	1	1	1	0	1	0	0	1
	20	34AS(akşam)	Avcılar-Söğütlüçeşme	1	1	1	0	1	0	0	1
	21	34BZ(sabah)	Beylikdüzü-Zincirlikuyu	1	1	1	1	1	1	0	1
	22	34BZ(akşam)	Beylikdüzü-Zincirlikuyu	1	1	1	1	1	0	0	1
	23	34C(sabah)	Beylikdüzü-Cevizlibağ	1	1	1	1	1	1	0	1
	24	34C(akşam)	Beylikdüzü-Cevizlibağ	1	1	1	1	1	1	0	1
	25	34G(sabah)	Beylikdüzü-Söğütlüçeşme	1	1	1	0	1	0	0	1
	26	34G(akşam)	Beylikdüzü-Söğütlüçeşme	1	1	1	0	1	0	0	1
	27	34Z(sabah)	Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme	1	1	1	0	1	0	1	1
	28	34Z(akşam)	Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme	1	1	1	0	1	0	1	1
Normal	29	34	Avcılar-Zincirlikuyu	1	1	1	1	1	1	0	1
	30	34A	Cevizlibağ-Söğütlüçeşme	1	1	1	0	1	0	1	1
	31	34AS	Avcılar-Söğütlüçeşme	1	1	1	0	1	0	0	1
	32	34BZ	Beylikdüzü-Zincirlikuyu	1	1	1	1	1	1	0	1
	33	34C	Beylikdüzü-Cevizlibağ	1	1	1	1	1	1	0	1
	34	34G	Beylikdüzü-Söğütlüçeşme	1	1	1	0	1	0	0	1
	35	34Z	Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme	1	1	1	0	1	0	1	1

Tablo 8: Uç Garajlardan Uç Noktalara Otobüs Atanma Kuralı

Geliştirilen bu kuralla hangi hattın hangi başlangıç noktalarına hangi garajlardan otobüs atanabilip atanamayacağını gösteren bilgiler Tablo 8’de gösterilmektedir. Değeri

1 olan kısımlar otobüs ataması yapılabileceğini, 0 olan kısımlar ise otobüs ataması yapılamayacağını ifade etmektedir. Söz gelimi dinlenmeli çalışan 34 numaralı hattın sabahçı otobüslerinin B noktasına dört garajdan da atama yapılması mümkün iken, A noktasına ise Hasanpaşa garajından otobüs atanması yukarıda bahsedilen nedenlerden ötürü istenmemektedir. Bu durumun kısıt olarak modele eklenmiş hali aşağıda görülmektedir.

$$X_{141} = 0$$

Bu kısıt grubunun oluşturulabilmesi için yukarıda verilen örnekteki gibi, Tablo 8’de yer alan ve değeri 0 olan her bir karar değişkeninin 0’a eşitlenmesi gerekmektedir. Bu durum özel bir kural olduğu için, bu kısıt grubu genel bir formülasyon ile gösterilememektedir. Bunun yerine EK 5’de gösterildiği gibi açık olarak ifade edilmektedir.

4.5.2.5.Dinlenmeli Ve Gareli Çalışan Otobüslerin Sabah Ve Akşam Garajlarından Çıkış Eşitliğini Sağlayan Kısıt

BRT sisteminde ölü kilometre optimizasyonu çalışmasında çalışma şekillerinden dinlenmeli ve gareli çalışma şekillerindeki otobüslerin normal çalışma şekline farklı olarak garaja iki kere çıkış ve iki kere giriş yaptığı ve 4 seviyede ölü kilometre doğurduğu daha önce ifade edilmişti. Ölü kilometre seviyelerini 2 seviye ile tek tip yapmak için Tablo 2’de dinlenmeli ve gareli çalışan otobüslerin sabahçı ve akşamcılarının ayrı ayrı değerlendirilmesi ile hem mevcut durum ölü kilometrelerinin hesaplanması kolaylaştırılmış, hem de optimizasyonun daha kolay bir şekilde yapılmasına olanak sağlanmıştır. Ancak bu durumun hesaplama kolaylığı sağlamasının yanında, modelin bu çalışma şekillerindeki hatları gerçekten ayrı bir hat olarak görüp sabah bir garajdan çıkan otobüslerin akşam başka bir garajdan çıkacak şekilde bir atama yapması çok olasıdır.

Bu riski ortadan kaldırmak için bir kısıt üretilme ihtiyacı doğmuştur. Her ne kadar Tablo 2’de sabahçı ve akşamcı çalışan dinlenmeli ve gareli çalışanlar ayrı hat olarak görünse de aslında sabah ve akşam aynı garajdan aynı sayıda otobüsler çıkmaktadır. Sabahdan akşama geçecek tek şey başlangıç noktalarına gidecek otobüs sayısı olabilir

ki bu da sefer planı ile sabittir. Bu noktada üretilecek kısıt Tablo 2’de ayrı hat olarak gösterilen dinlenmeli ve gareli otobüslerin tekrar birleştirilerek tek hatta dönüştürüldüğü bölüm olarak da düşünülebilir. Eğer bu kısıt üretilmemiş olsaydı, sabahçı ve akşamcı çalışan dinlenmeli ve gareli otobüslerin eşitliği, başlangıç noktalarından başlayacak otobüs sayısı kısıtı ile korunacak olmasına rağmen sabah ve akşam garajlardan çıkan otobüs sayıları birbirini tutamayabilecekti. Söz gelimi atama sonunda sabah 34 numaralı hattın sabahçı dinlenmeli otobüslerinin 17’si Edirnekapı, 4’ü ise Hasanpaşa garajlarından, akşam ise 21 otobüs de Hasanpaşa garajından gibi durumların olması olasıdır. Böyle bir senaryoda Edirnekapı garajında şoförlük yapan ve dinlenmeli çalışan bir şoför personel sabah kendi garajından otobüs alacakken, akşamında ise Hasanpaşa garajından otobüs alması gerektiği kendisine söylenecekti. Bu istenmeyen bir durumdur. Her garajın şoförü sabah ve akşam kendi garajından otobüs almalıdır. Bu durumu sağlayan yani dinlenmeli ve gareli çalışan otobüslerin sabah ve akşam aynı garajdan aynı sayıda çıkmasını sağlayan kısıtın genel formülasyonu aşağıda verilmiştir.

$$\sum_{k=1}^2 x_{ijk} = \sum_{k=1}^2 x_{i+1,jk}, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K \quad i = 2n + 1, n = \{0,1 \dots 13\}$$

Dinlenmeli ve gareli çalışan otobüsler Tablo 2’de ilk 28 sırada yer aldığı için bu kısıt i indisinin 27’ye kadar olan kısmı için geçerlidir. Yani bu kısıt sadece dinlenmeli ve gareli otobüsleri ilgilendirir, normal çalışan otobüsleri etkilemez. Söz gelimi Edirnekapı garajından çıkan 34 numaralı hattın dinlenmeli çalışan sabahçı otobüslerinin akşam da aynı garajdan aynı sayıda çıkması için modele aşağıdaki eşitlik eklenmelidir.

$$x_{111} + x_{112} = x_{211} + x_{212}$$

Genel bir ifade ile gösterilen bu kısıt grubunun açık olarak ifadesi EK 6’da yer almaktadır.

Bu kısıt grubu modelleme programına girilirken, aşağıda görüldüğü gibi, eşitliğin sağındaki değerler sola negatif olarak alınıp 0’a eşitlenecektir.

$$x_{111} + x_{112} - x_{211} - x_{212} = 0$$

4.5.2.6.Pozitiflik Kısıtı

BRT sistemindeki ölü kilometre neticesinde, karar değişkenleri olan bütün x_{ijk} değişkenleri, indislerine göre bağlı bulunduğu garajlardan ilgili başlangıç noktalarına ve ilgili hatta kaç adet otobüs gitmesi gerektiğini bildirirler. Bunun anlamı bütün x_{ijk} değişkenlerine optimizasyon sonunda bir otobüs adeti atanacak olmasıdır. Atanacak değerın yani otobüs sayısının negatif olabilme gibi bir durumu söz konusu olamayacağından modele pozitiflik kısıt grubu eklenmiştir. Bu durum doğrusal programlama unsurlarından olan karar değişkenlerinin negatif olmama durumu ile de açıklanabilir.

BRT sistemindeki her bir değişkenin pozitif olmasını açıklayan kısıt grubunun genel ifadesi aşağıda gösterilmektedir.

$$x_{ijk} \geq 0, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K$$

Söz gelimi, atama sonucunda modelin 34 numaralı hattın sabahçı olarak dinlenmeli çalışan ve A noktasına giden otobüs sayısının 0 ya da daha büyük bir değer alacağını gösteren kısıt aşağıda verilmiştir.

$$x_{111} \geq 0$$

Genel şekli verilen pozitiflik kısıt grubunun her bir karar değişkeni için uygulanmış şekli EK 7’de açık olarak verilmiştir.

4.5.2.7.Tam Sayı Olma Kısıtı

BRT sisteminde ölü kilometre optimizasyonu yapılırken atama sonucunda her bir karar değişkenin bir otobüs sayısını ifade edeceği bir önceki bölümde verilmişti. Otobüs sayılarını ifade eden karar değişkenlerinin bir önceki bölümde ifade edildiği gibi negatif bir değer olamayacağı gibi kesirli bir değer alması da beklenmez. Kesikli bir değişken olan otobüs sayısını ifade eden karar değişkenleri bir tam sayı olmak durumundadır.

Çalışmanın tam sayılı doğrusal programlama modeliyle çözülmesinin nedenlerinden biri olan bu durum için tam sayı olma kısıt grubu oluşturulmuştur. Aşağıda bu kısıt grubu genel bir form ile ifade edilmiştir.

$$x_{ijk} \in Z^+ \cup \{0\}, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K$$

Genel hali verilen bu kısıt grubundan hareketle, söz gelimi, Edirnekapi garajından çıkan, ilk hareketini A noktasından yapan sabahçı dinlenmeli otobüs sayısını ifade eden karar değişkeninin bir tam sayı olmasını ifade eden kısıt aşağıda gösterilmiştir.

$$x_{111} \in Z^+ \cup \{0\}$$

Genel hali verilen tam sayı olma kısıt grubunun her bir karar değişkeni için uygulanmış hali EK 8’de yer almaktadır.

4.5.2.8. Modelin Çalıştırılması

Uygulamanın bu bölümünde daha önceki bölümlerde verilen amaç fonksiyonu ve kısıt grupları modelleme programı olan LINDO 6.1 programına girilerek, İstanbul BRT sistemindeki ölü kilometreleri minimize etmek için kurulmuş olan tam sayılı doğrusal programlama problemi çözümlenecektir.

LINDO (Linear, Interactive, Discrete, Optimizer) doğrusal programlama problemlerinin çözümü için kullanılan bir yazılımdır. LINDO programının çalışma mantığı, küçük düzeltme ve değişimli iterasyonlar yani tekrarlamalar aracılığıyla optimum çözümü bulmaktır. Basit bir ara yüzü olması ve kullanıcıya hızlı yanıtlar verebilmesi sebebiyle çok tercih edilen bir programdır. LINDO programının amacı çalışma konusu olan problemin optimum çözümünü sağlamak ve problemin analiz edilebilecek bir duruma getirilmesini sağlamaktır.

Ölü kilometrelerin minimizasyonu için önceki bölümlerde verilen amaç fonksiyonu ve kısıtların LINDO 6.1 programına işlenmiş şekli EK 9’da yer almaktadır. EK 9 detaylı incelendiğinde daha önceki bölümlerde anlatılan modelin amaç fonksiyonunun ve modeli sınırlayan kısıtların, LINDO 6.1 programının istemiş olduğu formatta modele işlendiği görülecektir. İlk bakışta tam sayı olma kısıt grubu

görünemeyebilir. Her bir karar değişkeninin tam sayı olması gerektiği bilgisi, LINDO 6.1 programına GIN komutu ile girilmektedir. EK 9’da kısıt grubu bittikten sonra end ibaresi yer almaktadır. Her bir karar değişkeni end ibaresinden sonra GIN komutu ile verilmiştir.

EK 9’da yer alan program girdileri neticesinde oluşan model çıktısı EK 10’da verilmiştir. EK 10’da verilen verilerden hareketle oluşan yeni atamanın hat bazında dağılmış hali Tablo 9’da verilmiştir. Eğer mevcut hat-garaj dağılımı, optimizasyon neticesinde Tablo 9’da yer alan hat-garaj dağılımına dönüştürülürse İstanbul’daki BRT sistemini işleten İETT kurumunun BRT işletmeciliğinden kaynaklanan ölü kilometreleri günlük 13.123,50 kilometreden 8.640,30 kilometreye getirme imkânı bulunacaktır. Eğer İETT kurumu, belirlenen amaç fonksiyonu ve modeli sınırlayan kısıtlar doğrultusunda mevcut durumdan yeni atamaya geçmesi durumunda BRT sisteminde, ölü kilometrelerde günlük 4.483,20 kilometrelik bir tasarruf sağlayacaktır.

Bir sonraki bölümde bulgular hat bazında detaylı bir şekilde incelenecek, 4.483,20 kilometrelik tasarrufun ekonomik yönden, çevresel yönden gibi çeşitli karşılıkları incelenip faydalarından bahsedilecektir. Sistemin kazanımları bu bölümde yorumlanıp değerlendirilecektir.

Tip	No	Hat kodu	EDİRNEKAPI				AVCILAR				BEYLİKDÜZÜ				HASANPAŞA				Toplam
			A	DÖNÜŞ	B	DNŞ	A	DNŞ	B	DNŞ	A	DNŞ	B	DNŞ	A	DNŞ	B	DNŞ	
Dinlenmeli	1	34(sabah)	4	B		A	20	A		A		A		A		B	10	B	34
	2	34(akşam)		B	4	A	20	A		A		A		A		B	10	B	34
	3	34A(sabah)		A		A		A		A		A		A		B		B	0
	4	34A(akşam)		A		A		A		A		A		A		B		B	0
	5	34AS(sabah)	8	A		A	24	A		A		A		A		B	10	B	42
	6	34AS(akşam)		B	8	A	24	A		A		A		A		B	10	B	42
	7	34BZ(sabah)	1	B		A		A		A	17	A		A		B	5	B	23
	8	34BZ(akşam)		B	1	A		A		A	17	A		A		B	5	B	23
	9	34C(sabah)	2	B	36	B		A		A	19	A		A		B		B	57
	10	34C(akşam)	1	B	37	B		A		A	19	A		A		B		B	57
	11	34G(sabah)		B		B		A		A		A		A		B		B	0
	12	34G(akşam)		B		B		A		A		A		A		B		B	0
	13	34Z(sabah)		B		B		A		A		A		A	16	B	27	B	43
	14	34Z(akşam)		B		B		A		A		A		A	16	B	27	B	43
Gareli	15	34(sabah)		B		B		A		A		A		A		B		B	0
	16	34(akşam)		B		B		A		A		A		A		B		B	0
	17	34A(sabah)		A		A		A		A		A		A		B		B	0
	18	34A(akşam)		A		A		A		A		A		A		B		B	0
	19	34AS(sabah)	2	B		B	14	A		A		A		A		B	12	B	28
	20	34AS(akşam)		A	2	B	14	A		A		A		A		B	12	B	28
	21	34BZ(sabah)	9	B		B		A		A	4	A		A		B	1	B	14
	22	34BZ(akşam)		B	9	A		A		A	4	A		A		B	1	B	14
	23	34C(sabah)		B		B		A		A		A		A		B		B	0
	24	34C(akşam)		B		B		A		A		A		A		B		B	0
	25	34G(sabah)		B		B		A		A		A		A		B		B	0
	26	34G(akşam)		B		B		A		A		A		A		B		B	0
	27	34Z(sabah)		B		B		A		A		A		A		B		B	0
	28	34Z(akşam)		B		B		A		A		A		A		B		B	0
Normal	29	34	17	B	4	B		A		A		A		A		B		B	21
	30	34A		A		A		A		A		A		A		B		B	0
	31	34AS	2	A		A	43	A		A		A		A		B	37	B	82
	32	34BZ	82	B	34	B		A		A		A		A		B		B	116
	33	34C	7	B	6	B		A		A		A		A		B		B	13
	34	34G	7	B		A		A		A		A		A		B	8	B	15
	35	34Z		B		B		A		A		A		A		B	11	B	11

Tablo 9: Optimizasyon Sonucu Oluşan Yeni BRT Hat-Garaj Dağılımı

4.6.Bulgular

Bu uygulamada tam sayılı doğrusal programlama metodu kullanılarak İstanbul'daki BRT sistemindeki ölü kilometreler 13.123,50 kilometreden 8.640,30 kilometreye düşürülerek 4.483,20 kilometrelik tasarruf sağlanmıştır. Uygulamada tam sayılı doğrusal programlama metodunun seçilmesinin sebebi, karar değişkenlerinin tamamının bir garajdan bir noktaya giden bir otobüs sayısı olmaları, yani kesikli değişkenler olmalarıdır. Eğer bu çalışma tam sayılı doğrusal programlama yerine doğrusal programlama metoduyla çözülmüş olsaydı, optimizasyon sonunda karar değişkenlerinin bazıları ya da tamamı kesirli değerler alabilirdi. Bu durum istenmeyen durumdur. Söz gelimi, Edirnekapı garajından ilk hareketini yapan 34 numaralı hattın sabahçı çalışan dinlenmeli otobüslerinin sayısı 4,2 olması kabul edilebilir bir çözüm değildir.

Uygulamada BRT sisteminde herhangi bir garajdan çıkıp, Tablo 2'deki herhangi bir hattın herhangi bir başlangıç noktasına ilk hareketini yapan otobüs sayılarını ifade eden karar değişkenlerinin kesikli olması sebebiyle kullanılan tam sayılı doğrusal programlama neticesinde karar değişkenlerinin bir tam sayı ifade etmesi beklenmektedir. EK 10'da görüldüğü üzere, LINDO 6.1 çıktısı olan bütün karar değişkenleri tam sayılı bir değeri ifade etmektedir. Bu değerlerin karar değişkenlerinden arındırılarak hat bazında gösterilmiş hali ise Tablo 9'da yer almaktadır. EK 10'daki karar değişkenlerinin değerleri ya da Tablo 9'daki hatların garajlardan çıkan ve başlangıç noktalarına giden otobüs sayılarını gösteren değerlerin tamamı tam sayılı bir değerdir. Bu durumun sebebi yukarıda da bahsedildiği gibi uygulamada tam sayılı doğrusal programlama metodunun kullanılmasıdır.

Mevcut durum analizi yapılırken hat bazında ölü kilometreler Tablo 4'de dinlenmeli ve gareli çalışanların mükerrerliğiyle, yine Tablo 5'de bu mükerrerliğin birleştirilerek hat bazında gerçek ölü kilometrelerin gösterilmesi aracılığıyla sağlanmıştı. Tam sayılı doğrusal programlama metoduyla ortaya çıkan optimizasyon durumundaki hat-garaj dağılımı Tablo 9'da verilmektedir. Bu dağılıma göre, yeni durumun hat bazında ölü kilometreleri dinlenmeli ve gareli mükerrerliği ile Tablo 10'da verilmiştir.

Yapılan optimizasyon sonunda, dinlenmeli ve gareli çalışan otobüslerin sabah ve akşam vardiyalarının ayrıştırılmış halleriyle ve normal çalışan otobüslerin olduğu gibi ifade edilmesiyle oluşturulan hatların oluşturdukları ölü kilometrelerin hat bazında incelenmesi ve mevcut durumla mukayese edilebilmesi için Tablo 11 oluşturulmuş ve mevcut durum-yeni durum mukayesesi Tablo 11’de yapılmıştır.

Tip	No	Hat kodu	ölü km
Dinlenmeli	1	34(sabah)	386,4
	2	34(akşam)	386,4
	3	34A(sabah)	0
	4	34A(akşam)	0
	5	34AS(sabah)	356,8
	6	34AS(akşam)	349,6
	7	34BZ(sabah)	172,1
	8	34BZ(akşam)	172,1
	9	34C(sabah)	62
	10	34C(akşam)	31
	11	34G(sabah)	0
	12	34G(akşam)	0
	13	34Z(sabah)	209,6
	14	34Z(akşam)	209,6
Gareli	15	34(sabah)	0
	16	34(akşam)	0
	17	34A(sabah)	0
	18	34A(akşam)	0
	19	34AS(sabah)	87,4
	20	34AS(akşam)	85,6
	21	34BZ(sabah)	396,1
	22	34BZ(akşam)	396,1
	23	34C(sabah)	0
	24	34C(akşam)	0
	25	34G(sabah)	0
	26	34G(akşam)	0
	27	34Z(sabah)	0
	28	34Z(akşam)	0
Normal	29	34	609,5
	30	34A	0
	31	34AS	89,2
	32	34BZ	4057
	33	34C	217
	34	34G	366,8
	35	34Z	0
Toplam			8640,3

Tablo 10: Yeni Durum Çalışma Şekillerine Göre Hat Bazında Ölü Kilometre Dağılımı

Tablo 10’da optimizasyon neticesinde oluşan yeni hat-garaj dağılımı ile oluşan 8.640,30 kilometrelik ölü kilometrenin hat bazında kırılımı verilmektedir. Yapılan yeni dağılımın hatlara indirgenmiş hali olan bu tabloda hangi hattın kaç kilometrelik ölü kilometresi olduğu (dinlenmeli ve gareli mükerrerliği ile) bilgisine kolaylıkla erişebilmek mümkündür. Tablo 11 ise optimizasyon yapılmadan önceki mevcut durumun hat bazında kırılımlı ölü kilometreleri ile Tablo 10’da yer alan yeni durum hat bazında kırılımlı ölü kilometrelerinin farkları ve değişim yüzdeleri bakımından ifade edilmesi durumlarını göstermektedir. Bu tablo optimizasyonun hatlara yansımaları olarak ifade edilebilir.

Tip	No	Hat Kodu	Mevcut Durum Ölü Km	Yeni Durum Ölü Km	Fark	Yüzde
Dinlenmeli	1	34(sabah)	839,7	386,4	-453,3	-53,98%
	2	34(akşam)	839,7	386,4	-453,3	-53,98%
	3	34A(sabah)	0	0	0	
	4	34A(akşam)	0	0	0	
	5	34AS(sabah)	669	356,8	-312,2	-46,67%
	6	34AS(akşam)	655,5	349,6	-305,9	-46,67%
	7	34BZ(sabah)	410,3	172,1	-238,2	-58,06%
	8	34BZ(akşam)	410,3	172,1	-238,2	-58,06%
	9	34C(sabah)	259,2	62	-197,2	-76,08%
	10	34C(akşam)	269,1	31	-238,1	-88,48%
	11	34G(sabah)	0	0	0	
	12	34G(akşam)	0	0	0	
	13	34Z(sabah)	504	209,6	-294,4	-58,41%
	14	34Z(akşam)	504	209,6	-294,4	-58,41%
Gareli	15	34(sabah)	0	0	0	
	16	34(akşam)	0	0	0	
	17	34A(sabah)	0	0	0	
	18	34A(akşam)	0	0	0	
	19	34AS(sabah)	655,5	87,4	-568,1	-86,67%
	20	34AS(akşam)	665,4	85,6	-579,8	-87,14%
	21	34BZ(sabah)	262,4	396,1	133,7	50,95%
	22	34BZ(akşam)	452,9	396,1	-56,8	-12,54%
	23	34C(sabah)	0	0	0	
	24	34C(akşam)	0	0	0	
	25	34G(sabah)	0	0	0	
	26	34G(akşam)	0	0	0	
	27	34Z(sabah)	0	0	0	
	28	34Z(akşam)	0	0	0	
Normal	29	34	633,5	609,5	-24	-3,79%
	30	34A	0	0	0	
	31	34AS	1248,8	89,2	-1159,6	-92,86%
	32	34BZ	3297,4	4057	759,6	23,04%
	33	34C	100	217	117	117,00%
	34	34G	446,8	366,8	-80	-17,91%
	35	34Z	0	0	0	
Toplam			13123,5	8640,3	-4483,2	-34,16%

Tablo 11: Mevcut Durum İle Yeni Durumun Hat Bazında Kırılımlı Ölü Kilometre Mukayesesi (Dinlenmeli Ve Gareli Mükerrerliği Var)

Tablo 11 detaylı incelendiğinde fark sütununun en alt satırında -4.483,20 değeri görülmektedir. Buradan optimizasyon sonunda elde edilen tasarrufun kilometre değeri anlaşılmaktadır. Negatif bir değerle gösterilmesinin sebebi yeni durumdaki ölü kilometreden mevcut durumdaki ölü kilometrenin çıkarılmasıdır. Optimizasyon sonucunda ölü kilometre mevcut ölü kilometreye göre azaldığı için negatif bir değer çıkması anlamlıdır. Bu mantıktan hareketle yüzde sütunun en alt satırına bakıldığında %-34,16 değeri yeşile boyanarak gösterilmiştir. Bu değer her ne kadar negatif gösterilse de aslında tüm sistemdeki ölü kilometrenin düşme oranını ifade etmektedir. Bu durum sistemdeki tasarrufu ifade ettiği için yeşil renkle ifade edilmiştir.

Yukarıda bahsedilen mantığı toplamdan hatlara indirgediğimizde hem miktar olarak hem de oran olarak en çok ölü kilometre tasarrufu 31 hat indisli 34AS hattında olmuştur. 34AS numaralı normal çalışan otobüslerin ölü kilometresi 1.248,80 kilometreden 89,2 kilometreye düşerek, %92,86'ya denk gelen 1.159,60 kilometrelik hat bazlı tasarruf sağlanmıştır. 1.159,60 kilometrelik tasarruf toplamda 4.483,20 kilometre olan tasarrufun %25,87'sini oluşturmaktadır. Yani yapılan tasarrufun yaklaşık dörtte biri 34AS numaralı hattın normal çalışan otobüslerinden sağlanmaktadır. Toplamda 35 tane hat (dinlenmeli ve gareli mükerrerliğiyle) olduğu göz önünde bulundurulursa bu ciddi bir tasarruf miktarıdır.

Bu durumun temel sebebi, 34AS numaralı hattın A noktası olan Avcılar'ın Avcılar garajına ve B noktası olan Söğütluçeşme'nin Hasanpaşa garajına 0 kilometre uzaklıkta olmasına rağmen, mevcut durumda ilk hareketini A noktasından yapan otobüslerinin öncelikli Avcılar garajından, ilk hareketini B noktasından yapan otobüslerinin öncelikli Hasanpaşa garajından verilmemesidir. 31 hat indisli hat olan 34AS hattının 82 adet otobüsünün mevcut durumda 17 adet otobüsü Avcılar garajından Avcılar'a çıkmakta ve yine bu 17 adet otobüs gün sonunda Avcılar'dan Avcılar garajına dönüş yapmaktadır. Bu 17 adet otobüsün hatta vermiş olduğu ölü kilometre miktarı 0'dır. Diğer 37 adet otobüsü ise Hasanpaşa garajından Söğütluçeşme'ye çıkmakta ve gün sonunda Söğütluçeşme'den Hasanpaşa garajına dönmektedir. Bu 37 adet otobüsün ölü kilometre miktarı da 0'dır. 1.248,80 kilometrenin tamamı 82 otobüsten kalan 28 adet otobüsten yani Edirnekapı garajından çıkıp Avcılara giden ve gün sonunda yine

Avcılar'dan Edirnekapı garajına dönen otobüslerin varlığından kaynaklanmaktadır. Her bir otobüs Edirnekapı garajı ile Avcılar arasındaki mesafeyi 2 kere aldığı için 34AS hattının normal çalışan otobüslerinin ölü kilometrelerinin toplamı;

$$\text{Ölü kilometre} = 28 \times 22,3 \times 2 = 1.248,8 \text{ km}$$

olarak hesaplanır. Yukarıdaki eşitlikte 22,3 km değeri Tablo 3'de de verilmiş olan Edirnekapı garajı ile 34AS numaralı hattın A noktası olan Avcılar arasındaki mesafedir.

31 numaralı hat indisi ile gösterilen 34AS hattının normal çalışan 82 adet otobüsünün optimizasyon sonunda 43 tanesi Avcılar garajından A noktasına, 37 tanesi Hasanpaşa garajından B noktasına ve kalan 2 tanesi ise Edirnekapı garajından A noktasına gidecek şekilde atanmıştır. Avcılar garajından verilecek 43 adet otobüs gün sonunda Avcılar'dan Avcılar garajına, Hasanpaşa garajından verilecek 37 adet otobüs gün sonunda Söğütluçeşme'den Hasanpaşa garajına gideceği için toplamda 80 adet olan bu otobüslerin bu hatta vermiş olduğu ölü kilometre miktarı 0 kilometredir. Optimizasyon sonunda 34AS hattının normal çalışan otobüsleri için oluşan toplam 89,2 kilometrelik ölü kilometrenin sebebi, modelin 34AS hattında normal çalışan otobüslerinin 2 adedinin Edirnekapı garajından olmasındandır. Bu bilgidен hareketle;

$$\text{Ölü kilometre} = 2 \times 22,3 \times 2 = 89,2 \text{ km}$$

eşitliğine ulaşmak mümkündür. 34AS hattına ait ölü kilometrenin miktar ve oran olarak bu denli düşüşünün temel sebebi modelin 34AS hattı için A noktasından ilk hareketini yapan otobüslere mümkün mertebe Avcılar garajından, B noktasından ilk hareketine yapan otobüslere mümkün mertebe Hasanpaşa garajından otobüs atama isteğinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 11'de toplam ölü kilometresi optimizasyon neticesinde artan 3 adet hat gözükmemektedir. Bu hatlar sırasıyla; 21 hat indisli gareli çalışan 34BZ hattının sabahçı otobüsleri, 32 hat indisli 34BZ hattının normal çalışan otobüsleri ve 33 hat indisli 34C hattının normal çalışan otobüsleridir. Bu hatlarda hat bazında ölü kilometre artışı olduğu için fark sütununun altında kalan değerleri pozitif olarak gösterilmiştir. Yine bu ölü

kilometreler hat bazında bir artış gösterdiği için yüzde sütununun altında yer alan değişim oranları kırmızı renkle renklendirilmiştir.

Hat bazında ölü kilometrenin miktar olarak en çok artış gösterdiği hat, 32 hat indisli 34BZ hattının normal çalışan otobüsleridir. Buradaki ölü kilometre toplamı %23,04 oranında artarak 3.297,4 kilometreden 4.057 kilometreye yükselmiştir. Bu hattaki ölü kilometrenin artış miktarı 759,6 kilometredir. Bu artışın temel nedeni Beylikdüzü garaj kapasitesinin düşüklüğünden kaynaklanmaktadır. Model, kapasitesi 40 olan Beylikdüzü garajına ilk hareketini Beylikdüzü'nden yapan 34BZ ve 34C numaralı hatlara öncelikli otobüs atama eğilimindedir. Ancak ilk hareketini bu noktadan yapan bu hatlara ait otobüslerin sayısının fazla olmasına karşılık Beylikdüzü garaj kapasitesinin sınırlı olması bu hattaki ölü kilometreyi arttırmaktadır. Optimizasyon sonunda hat bazında ölü kilometre artışına sahip olan hatlara bakıldığı zaman sadece bu iki hatta artış olduğu gözükmemektedir. Model, Beylikdüzü garajını doldurduktan sonra ilk kalkışını Beylikdüzü'nden yapacak otobüsler için Beylikdüzü'ne en yakın garaj olan Avcılar garajından otobüs atama eğiliminde olsa da Avcılar garajına en yakın başlangıç noktası olan 34 ve 34AS hatlarının A noktası yani Avcılar'dan kalkan otobüsleri Avcılar garajından atama, model için daha önceliklidir. Bu sebepten dolayı Beylikdüzü ve Avcılar'dan 34BZ ve 34C hatlarının A noktası için atanamayan otobüsler üçüncü en yakın garaj olan Edirnekapı garajından atanmıştır. Optimizasyon öncesindeki mevcut durumda 32 hat indisli 34BZ hattının normal çalışan ve ilk hareketini A noktasından yani Beylikdüzü'nden yapan otobüslerinin 9 tanesi Beylikdüzü garajından, 27 tanesi Avcılar garajından ve 46 tanesi Edirnekapı garajından çıkmaktadır ve ilk hareketini A noktasından yapan toplam otobüs sayısı 82'dir. Mevcut duruma göre, Tablo 3'deki mesafe bilgilerinden hareketle, Beylikdüzü garajından çıkan 9 adet otobüsün ölü kilometresi 0 kilometredir. Bu hattın A noktasına en yakın ikinci garaj olan Avcılar garajından çıkan 27 adet otobüsün ölü kilometresi yine Tablo 3'deki bilgilerden hareketle;

$$\text{Ölü kilometre} = 27 \times 10 \times 2 = 540 \text{ km}$$

olarak hesaplanmaktadır. Bu eşitlikteki 10 değeri Beylikdüzü ile Avcılar garajı arası mesafeyi ifade ettiği için ve 2 değeri de bu 27 adet otobüsün gün sonunda yine Beylikdüzü'nden Avcılar garajına geldiği için kullanılmıştır. Son olarak bu hattın A

noktasına en yakın üçüncü garaj olan Edirnekapı garajından çıkan 46 adet otobüsün ölü kilometresi;

$$\text{Ölü kilometre} = 46 \times (31 + 10,1) = 1.890,60 \text{ km}$$

olarak hesaplanır. Bu eşitlikte önceki garaj-başlangıç noktası bazlı ölü kilometre hesabından farklı bir yolla hesaplama yapılmıştır. Önceki hesaplamada ilk hareketini A noktasından yapan ve Avcılar garajından çıkan otobüslerin gün sonunda yine A noktasından Avcılar garajına dönme durumu olduğu için eşitlikte 2 çarpanı kullanılmıştır. Bu hesaplamada ise ilk hareketini A noktasından yapan ve Edirnekapı garajından çıkan otobüsler gün sonunda B noktasından yani Zincirlikuyu'dan Edirnekapı garajına döndüğü için bu durumda olan otobüs sayısı çarpan olarak kullanılmış ve Edirnekapı garajı ile A noktası arasında kalan mesafe ile Edirnekapı garajı ile B noktası arasında kalan mesafe toplanılmıştır. Tablo 3 incelendiğinde, Edirnekapı garajı ile 34BZ hattının A noktası yani Beylikdüzü arasındaki mesafenin 31 kilometre, Edirnekapı garajı ile 34BZ hattının B noktası yani Zincirlikuyu arasındaki mesafenin 10,1 kilometre olduğu görülmektedir.

Optimizasyon sonunda 34BZ hattının A noktası olan Beylikdüzü'nden ilk hareketini yapıp, bu noktaya en yakın üçüncü garaj olan Edirnekapı garajından çıkan otobüs sayısı 46'dan 82 'ye yükselmiştir. Mevcut durumda ilk hareketini A noktasından yapan toplam 82 adet otobüs Edirnekapı, Avcılar ve Beylikdüzü garajlarından çıkarken optimizasyon sonucunda oluşan durumda model A noktası kalkışlı 82 adet otobüsü Edirnekapı garajından atamıştır. Mevcut durumdaki A noktası kalkışlı otobüslerin ölü kilometresi;

$$\text{A noktası bazlı ölü kilometre} = 540 + 1.890,6 = 2.430,6 \text{ km}$$

şeklinde hesaplanırken optimizasyon sonucunda oluşan yeni atamadaki A noktası kalkışlı otobüslerin ölü kilometresi;

$$\text{A noktası bazlı ölü kilometre} = 82 \times (31 + 10,1) = 3.370,2 \text{ km}$$

olarak hesaplanır.

Öte yandan, 32 hat indisli 34BZ hattının normal çalışan otobüslerinin ilk hareketini B noktasından yani Zincirlikuyu'dan yapması gereken 34 adet otobüs mevcuttur. Mevcut durumda bu 34 adet otobüsün 4 tanesi Edirnekapı garajından, 30 tanesi ise Hasanpaşa garajından çıkmaktadır. Edirnekapı garajından çıkan ve 34BZ hattının B noktasına giden 4 adet otobüs, gün sonunda yine B noktasından Edirnekapı garajına döndüğü için bu garajdan çıkan otobüslerin ölü kilometresi;

$$\text{Ölü kilometre} = 4 \times 10,1 \times 2 = 80,8 \text{ km}$$

olarak hesaplanır. Hasanpaşa garajından çıkıp 34BZ hattının B noktasına giden 30 adet otobüs gün sonunda yine B noktasından Hasanpaşa garajına döner. Hasanpaşa garajından çıkıp B noktasına giden otobüslerden kaynaklanan ölü kilometre ise;

$$\text{Ölü kilometre} = 30 \times 13,1 \times 2 = 786 \text{ km}$$

olarak hesaplanır. Mevcut durumda 32 hat indisli 34BZ hattının B noktası bazlı ölü kilometresi;

$$\text{B noktası bazlı ölü kilometre} = 80,8 + 786 = 866,8 \text{ km}$$

olarak hesaplanır.

Optimizasyon sonucunda 32 hat indisli 34BZ hattının B noktası ilk kalkışlı 34 adet otobüsü de Edirnekapı garajından atandığı için yeni durumdaki B noktası bazlı ölü kilometre;

$$\text{B noktası bazlı ölü kilometre} = 34 \times 10,1 \times 2 = 686,8 \text{ km}$$

olarak hesaplanır. Her ne kadar 32 hat indisli 34BZ hattının B noktası bazlı ölü kilometresinde optimizasyon sonunda düşüş olsa da A noktası bazlı ölü kilometresinde yüksek miktarda artış olduğu için, bu hat optimizasyon neticesinde ölü kilometresi miktar olarak en çok artış gösteren hat olmuştur.

Bu durumu özetlemek gerekirse, Beylikdüzü garaj kapasitesinin üstünde olan Beylikdüzü kalkışlı otobüsler Beylikdüzü garajından atanamadığından ve Beylikdüzü'ne en yakın ikinci garaj olan Avcılar garajı ise öncelikle Avcılar ilk kalkışlı otobüslere

otobüs atama eğiliminde olduğundan Edirnekapı garajından bu noktaya atanan otobüs sayıları arttığı için bu hat, miktar olarak en çok artışı göstermiştir.

Tablo 11'deki bilgilerden hareketle, optimizasyon neticesinde oran olarak en yüksek ölü kilometre artışını %117 ile 33 hat indisli 34C hattının normal çalışan otobüsleri göstermiştir. Bu hattaki mevcut ölü kilometre 100 kilometre iken optimizasyon neticesinde bu değer 217 kilometreye yükselmiştir. Toplam 13 adet otobüsü olan 33 hat indisli 34C hattının A noktası kalkışlı otobüs sayısı 7 ve B noktası kalkışlı otobüs sayısı 6'dır. Mevcut durumda 7 adet otobüsün 5 tanesi Avcılar garajından, 2 tanesi ise Beylikdüzü garajından çıkmaktadır. Beylikdüzü garajından çıkan ve A noktasına giden otobüslerin oluşturduğu ölü kilometre Tablo 3'deki bilgilerden hareketle 0'dır. Avcılar garajından çıkan ve A noktasına giden otobüslerin oluşturduğu ölü kilometre ise;

$$\text{Ölü kilometre} = 5 \times 10 \times 2 = 100 \text{ km}$$

olarak hesaplanır.

Optimizasyon sonucunda 33 hat indisli 34C hattının A kalkışlı otobüslerinin 7'si de Edirnekapı garajından atandığı için oluşan ölü kilometre;

$$\text{Ölü kilometre} = 7 \times (31+0) = 217 \text{ km}$$

olarak hesaplanır. 34C hattının normal çalışan otobüslerinin A noktasına Edirnekapı garajından çıkanları gün sonunda B noktasından yani Cevizlibağ'dan Edirnekapı garajına dönmektedirler. Tablo 3'den hareketle Edirnekapı garajı ile Beylikdüzü arasındaki mesafenin 31 kilometre, Edirnekapı garajı ile Cevizlibağ arasındaki mesafenin 0 kilometre olduğu gözükmemektedir.

Hem mevcut durumda hem de optimizasyon neticesinde 33 hat indisli 34C hattının B noktasından kalkan 6 adet otobüsü de Edirnekapı garajından atanmaktadır. Bu 6 adet otobüs gün sonunda Cevizlibağ'dan Edirnekapı garajına dönmektedirler ve Cevizlibağ ile Edirnekapı garajı arasındaki mesafe 0 kilometre olduğu için B noktasından kaynaklanan ölü kilometre 0 kilometredir.

33 hat indisli 34C hattının optimizasyon neticesinde ölü kilometrelerinin artış sebebi, 32 hat indisli 34BZ hattındaki ölü kilometrelerin artış sebebi ile aynıdır. Yani temel problem Beylikdüzü garajının kapasitesinin düşük olmasına rağmen Beylikdüzü'nden ilk kalkışlı otobüs sayısı fazladır. 33 hat indisli 34C hattının oransal olarak %117 artış göstermesi, mevcut durumda A noktası ilk kalkışlı otobüslerin, Beylikdüzü'ne sırasıyla en yakın iki garaj olan Beylikdüzü ve Avcılar garajlarından çıkarken, optimizasyon sonucunda en yakın üçüncü garaj olan Edirnekapı garajına atanmasından kaynaklanmaktadır.

Optimizasyon sonucunda diğer artış gösteren hat, 21 hat indisli gareli çalışan 34BZ hattının sabahçı otobüsleridir. Bu hattaki mevcut durum ölü kilometreleri 262,4 kilometredir. Optimizasyon sonucunda yeni atama ile bu ölü kilometre miktarı 396,1 kilometreye yükselerek %50,95 oranında artış göstermiştir. Bu hattaki artış da yukarıda bahsedilen iki hat ile aynı sebeplerden kaynaklanmaktadır.

Optimizasyon sonucunda 17 adet hatta ölü kilometre azalması olmuştur. Azalış gösteren bu ölü kilometrelerin toplamı 5.493,50 kilometredir. 3 adet hatta ise ölü kilometre artışı olmuştur. Bu 3 adet hattaki ölü kilometre artışı ise 1.010,3 kilometredir. Bu iki değer farkı optimizasyon sonucunda elde edilen tasarruf miktarı olan 4.483,2 kilometreyi vermektedir. Kalan 15 adet hatta ise ölü kilometre değişimi olmamıştır. Bu durumun sebebi bu hatlarda otobüs çalışmamasıdır. Yani ölü kilometre değişimi olmayan hatlardaki ölü kilometre miktarı 0 kilometredir.

Uygulamanın mevcut durumu anlatılırken ölü kilometrelerin hat bazında kırılımlı dağılımı (dinlenmeli ve gareli mükerrerliğinin birleştirilmiş hali) Tablo 5'de verilmişti. Tablo 5'deki değerler, Tablo 4'de oluşturulan dinlenmeli ve gareli mükerrerliği ile hat bazında ölü kilometreler bilgisinden oluşturulmuştur. Yukarıdaki kısımda optimizasyon sonucu oluşan yeni hat-garaj dağılımının dinlenmeli ve gareli mükerrerliği ile hat bazında gösterimi Tablo 10'da verilmişti. Tablo 10'dan hareketle, hatlardaki mükerrerliğin birleştirilmiş hali, yani hatların toplam ölü kilometrelerinin gösterildiği bilgiler Tablo 12'de yer almaktadır. Bu şekli ile mevcut durumda Tablo 4'de gösterilen bilgiler yeni dağılım ile Tablo 10'da, mevcut durumda Tablo 5'de gösterilen bilgiler ise yeni dağılım ile Tablo 12'de gösterilmektedir. Tablo 12'de oluşturulan ve

toplam ölü kilometre sütununun altında kalan değerler, ilgili hattın dinlenmeli ve gareli mükerrerliğinin birleştirilmiş halini yani gerçek ölü kilometresini göstermektedir. Araç başı ölü kilometre ise hattın ölü kilometresinin hatta çalışan toplam otobüs sayısına bölünmesiyle oluşan değer yani bir adet otobüsün ortalama olarak gerçekleştirmiş olduğu ölü kilometredir.

Hat Kodu	Hat Adı	Dinlenmeli	Gareli	Normal	Toplam	Toplam Ölü Kilometre	Araç Başı Ölü Kilometre
34	Avcılar-Zincirlikuyu	34	0	21	55	1382,3	25,13
34A	Cevizlibağ-Söğütlüçeşme	0	0	0	0	0	0,00
34AS	Avcılar-Söğütlüçeşme	42	28	82	152	968,6	6,37
34BZ	Beylikdüzü-Zincirlikuyu	23	14	116	153	5193,4	33,94
34C	Beylikdüzü-Cevizlibağ	57	0	13	70	310	4,43
34G	Beylikdüzü-Söğütlüçeşme	0	0	15	15	366,8	24,45
34Z	Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme	43	0	11	54	419,2	7,76
Toplam		199	42	258	499	8640,3	26,30

Tablo 12: Yeni Dağılım Hat Bazlı Ölü Kilometre Verileri

Optimizasyon sonunda mevcut durum ile yeni durum arasındaki dinlenmeli ve gareli mükerrerliğini içeren hat bazında ölü kilometre mukayesesi Tablo 11’de yapılmıştı. Toplam kilometreler burada mukayese edildiği için optimizasyon sonunda Tablo 12’de oluşan dinlenmeli ve gareli otobüslerin mükerrerliğinin birleştirilmiş şekli ile hat bazında ölü kilometrelerin verildiği bilgiler mevcut durum ile mukayese edilmeyecektir. Çünkü bu mukayese bir önceki kısımda yapılmıştır. Bu bölümde araç başına düşen ölü kilometrelerin mukayesesi yapılacaktır. Bu mukayese için Tablo 13’de mevcut durum ve optimizasyon durumunda hat bazlı (dinlenmeli ve gareli mükerrerliğinin birleştirilmiş hali) toplam ölü kilometre ve araç başı ölü kilometre bilgileri oluşturulmuştur.

Hat Kodu	Hat Adı	Toplam Otobüs Sayısı	Mevcut Durum		Optimal Durum		Fark	Değişim Oranı
			Toplam Ölü Kilometre	Araç Başı Ölü Kilometre	Toplam Ölü Kilometre	Araç Başı Ölü Kilometre		
34	Avcılar-Zincirlikuyu	55	2312,9	42,05	1382,3	25,13	-16,92	-40%
34A	Cevizlibağ-Söğütlüçeşme	0	0		0		0,00	
34AS	Avcılar-Söğütlüçeşme	152	3894,2	25,62	968,6	6,37	-19,25	-75%
34BZ	Beylikdüzü-Zincirlikuyu	153	4833,3	31,59	5193,4	33,94	2,35	7%
34C	Beylikdüzü-Cevizlibağ	70	628,3	8,98	310	4,43	-4,55	-51%
34G	Beylikdüzü-Söğütlüçeşme	15	446,8	29,79	366,8	24,45	-5,33	-18%
34Z	Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme	54	1008	18,67	419,2	7,76	-10,90	-58%
Toplam		499	13123,5	26,30	8640,3	17,32	-8,98	-34%

Tablo 13: Mevcut Durum İle Yeni Durumun Hat Bazında Kırılımlı Araç Başı Ölü Kilometre Mukayesesi (Dinlenmeli Ve Gareli Mükerrerliği Birleştirilmiş)

Tablo 13’de araç başı ölü kilometrenin, miktar ve oran olarak en büyük düşüşün olduğu hattın 34AS numaralı hat olduğu görülmektedir. Bu hatta araç başı ölü kilometre 25,62 kilometreden 6,37 kilometreye düşmüştür. Bu düşüşün oransal miktarı %75 seviyesindedir. Yapılan optimizasyon neticesinde bir hatta bağlı bir aracın ortalama olarak ölü kilometresinin %75 oranında düşmesi önemli bir düşüştür. Araç başına düşüşün miktar ve yüzde olarak en fazla bu hatta olmasının sebebi 34AS hattının başlangıç noktaları ile ilgilidir. 34AS hattının A noktası yani Avcılar, Avcılar garajına 0 kilometre mesafede, B noktası yani Söğütlüçeşme, Hasanpaşa garajına 0 kilometre mesafededir. Dolayısıyla ilk hareketini A noktasından yapan otobüsler mümkün mertebe Avcılar garajından, B noktasından yapan otobüsler ise mümkün mertebe Hasanpaşa garajından verilmelidir. Kurulan model bu eğilimdedir. Ancak mevcut durumda 93 tanesi A noktasından, 59 tanesi B noktasından başlayan 34AS numaralı hattın A noktasından başlayan ve Edirnekapı garajından çıkan otobüslerinin sayısı 58 adettir. Kalan 35 adet otobüs ise Avcılar garajından çıkarak A noktasına yani Avcılara gitmektedir. Edirnekapı garajından çıkan 58 adet otobüsün optimizasyon sonunda 46 tanesi Avcılar garajına atandığı için 46 tane otobüsün her biri günün başlangıcında, Tablo 3’de yer alan mesafe bilgisinden hareketle, 21 kilometre ölü kilometre kat etmekten kurtulmuştur. Bu durum bu hattaki ölü kilometreyi azaltmış, dolayısıyla araç başına düşen ölü kilometre azalmıştır.

Öte yandan 34AS hattının ilk hareketini B noktasından yapan otobüslerde mevcut durum ile optimizasyon sonrası oluşan yeni durum özdeşdir. İki durumda da ilk hareketini B noktasından yapan otobüsler Hasanpaşa garajından çıkmaktadır yani ilk hareketten dolayı yapmış oldukları ölü kilometre 0 kilometredir.

Tablo 13’de 34BZ hattında araç başı ortalama ölü kilometrenin %7 artarak her bir otobüste 2,35 kilometre arttığı gözükmemektedir. Bu durum, daha önceki kısımlarda anlatılan 34BZ numaralı hattın hat bazında ölü kilometre artışının bir otobüse düşen yansımasıdır.

Optimizasyon neticesinde elde edilen tasarrufları yorumlamak için bir diğer önemli araç da mevcut durumdaki hatların hangi oranda BRT garajlarından otobüs çıkardığı ile optimum durumdaki hatların hangi oranda BRT garajlarından otobüs çıkardığı bilgilerinin mukayese edilmesidir. Bu mukayesenin yapılabilmesi için Tablo 14’de mevcut durum ile optimal durumdaki hatların garajlardan hangi oranda otobüs çıkardığı bilgisi üretilmiştir. Bu tablodaki oranlardan hareketle, ölü kilometrelerin hat bazında nasıl minimize edildiği bilgisine garajlardan otobüs çıkarma oranı yaklaşımı ile yorumlar getirilecektir. Bu yorumlar daha sonra Tablo 15 ve Tablo 16’da üretilen nokta bazlı (A ve B noktaları) mevcut durum ile optimal durumdaki araç değişimleri bilgileri ile güçlendirilecektir.

Hat Kodu	Hat Adı	Mevcut				Optimum			
		EDK	AVC	BDZ	HSP	EDK	AVC	BDZ	HSP
34	Avcılar-Zincirlikuyu	80%	13%	0%	7%	45%	36%	0%	18%
34AS	Avcılar-Söğütlüçeşme	38%	23%	0%	39%	8%	53%	0%	39%
34BZ	Beylikdüzü-Zincirlikuyu	38%	26%	14%	22%	82%	0%	14%	4%
34C	Beylikdüzü-Cevizlibağ	49%	20%	31%	0%	73%	0%	27%	0%
34G	Beylikdüzü-Söğütlüçeşme	47%	27%	0%	27%	47%	0%	0%	53%
34Z	Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme	30%	0%	0%	70%	0%	0%	0%	100%

Tablo 14: Hatların Mevcut Durum İle Optimum Durumdaki Garaj Bazlı Otobüs Çıkarma Oranı

34 numaralı hat mevcut durumda %80 oranında Edirnekapı garajından, %13 oranında Avcılar garajından ve %7 oranında Hasanpaşa garajından otobüs çıkarmaktadır.

Model ölü kilometreleri azaltmak için A noktası yani Avcılar ilk kalkışlı otobüsleri mümkün mertebe Avcılar garajından çıkarma eğilimindedir. Optimizasyon sonunda Edirnekapı garajından otobüs çıkarma seviyeleri %80 seviyesinden %45 seviyesine düşerken, Avcılar garajından otobüs çıkarma seviyeleri %13 seviyesinden %36 seviyesine çıkmıştır. Hasanpaşa garajından mevcut durumda %7 oranında otobüs çıkarılırken optimizasyon sonunda bu oran %18 seviyesine çıkmıştır. Bu durum tüm sistemdeki optimizasyonu sağlamak için modelin Zincirlikuyu'ya en yakın garaj olan Edirnekapı garajı yerine ikinci yakın garaj olan Hasanpaşa garajından otobüs çıkarma durumundan kaynaklanmaktadır.

34AS numaralı hat mevcut durumda %38 oranında Edirnekapı garajından, %23 oranında Avcılar garajından ve %39 oranında Hasanpaşa garajından otobüs çıkarmaktadır. Hattın A noktası olan Avcılar, Avcılar garajına 0 kilometre, B noktası olan Söğütluçeşme, Hasanpaşa garajına 0 kilometredir. Dolayısıyla kurulan modelin A noktası ilk kalkışlı otobüsleri mümkün mertebe Avcılar garajına, B noktası ilk kalkışlı otobüsleri mümkün mertebe Hasanpaşa garajına ataması beklenir. Yapılan optimizasyon sonunda 34AS numaralı hattın Edirnekapı garajından otobüs çıkarma seviyesi %38 seviyesinden %8 seviyesine düştü ve Avcılar garajından otobüs çıkarma seviyesi %23 seviyesinden %53 seviyesine çıktı. Böylece Edirnekapı'dan Avcılar ilk kalkışını yapmak için boş olarak Avcılar'a gelen otobüsler artık Avcılar garajından çıkarak ölü kilometre minimizasyonu gerçekleştirdi. Öte yandan bu hattın Hasanpaşa garajından otobüs çıkarma oranında herhangi bir değişiklik gözükmemektedir. Bu durum hattın B noktasından çıkan 59 adet otobüsünün hem mevcut durumda hem de optimal durumda değişmeden B noktası yani Söğütluçeşme'ye 0 kilometre mesafedeki Hasanpaşa garajından çıkmasından kaynaklanmaktadır.

34BZ numaralı hat mevcut durumda %38 oranında Edirnekapı garajından, %26 oranında Avcılar garajından, %14 oranında Beylikdüzü garajından ve %22 oranında Hasanpaşa garajından otobüs çıkarmaktadır. Kurulan model A noktası yani Beylikdüzü ilk kalkışlı otobüsleri mümkün mertebe bu noktaya 0 kilometre mesafede olan Beylikdüzü garajından çıkarma ve B noktası yani Zincirlikuyu ilk kalkışlı otobüsleri mümkün mertebe bu noktaya en yakın garaj olan Edirnekapı garajından çıkarma

eğilimindedir. Ancak daha önceki kısımlarda mevcut durum ile optimal durumdaki ölü kilometre değişimi hat bazında incelendiğinde tek artış gösteren hattın 34BZ numaralı hat olduğu anlatılmıştı. Bu durumun temel sebebi hat bazında optimizasyon değil tüm sistemin optimize edilmesinin söz konusu olmasıdır. Optimal durumda 34BZ numaralı hattın Edirnekapı garajından otobüs çıkarma oranı %38 seviyesinden %82 seviyesine çıkmış, Avcılar garajından otobüs çıkarma oranı %26'dan %0'a düşmüştür. Model yeni atamada 34BZ numaralı hatta Avcılar garajından otobüs atamamıştır. Beylikdüzü garajından otobüs çıkarma oranı %14 olarak durumunu korumuş ve Hasanpaşa garajından %22 olan otobüs çıkarma oranı %4 seviyesine düşmüştür. 34BZ numaralı hattaki hat bazlı ölü kilometrenin artış sebebi mevcut durumda Avcılar garajından çıkan A noktası yani Beylikdüzü ilk kalkışlı otobüsler optimal durumda Avcılar garajından daha uzak bir garaj olan Edirnekapı garajından çıkmaktadır. Bu durum 34BZ hattının ölü kilometresini arttırmaktadır. Bu durumun temel sebebi, modelin, ilk kalkışını Avcılar garajına 0 kilometre mesafede olan Avcılar'dan yapacak olan hatların otobüslerine garajda yer bırakma eğiliminde olmasıdır. Bu durumda, Avcılar garajında 34 ve 34AS numaralı hatların A noktasından yani Avcılar'dan ilk kalkışını yapan otobüs sayısında artış beklenir. Bu duruma da 34 ve 34AS numaralı hatların garajlardan otobüs çıkarma oranlarındaki mevcut durum ve optimal durum mukayesesi anlatılırken değinilmişti.

34C numaralı hat mevcut durumda %49 oranında Edirnekapı garajından, %20 oranında Avcılar garajından ve %31 oranında Beylikdüzü garajından otobüs çıkarmaktadır. Yapılan optimizasyon neticesinde Edirnekapı garajından çıkan otobüs oranı %49 seviyesinden %73 seviyesine artmış ve Beylikdüzü garajından çıkan otobüs seviyesi ise %31 oranından %27 seviyesine düşmüştür. Optimizasyon sonunda artık 34C numaralı hatta Avcılar garajından otobüs çıkarılmamaktadır. Her ne kadar Beylikdüzü garajından çıkan ve bu garaja 0 kilometre mesafede olan A noktası yani Beylikdüzü ilk kalkışlı otobüs oranında düşüş olsa da Edirnekapı garajından çıkan ve bu garaja 0 kilometre mesafede olan B noktası yani Cevizlibağ ilk kalkışlı otobüs oranındaki büyük artış hattın ölü kilometresini azaltma yönüne gitmiştir. Öte yandan optimizasyon sonunda artık Avcılar garajından otobüs çıkarılmamasının temel sebebi, daha önceki kısımda anlatıldığı gibi 34AS ve 34 numaralı hatların A noktası yani Avcılar'ın bu garaja 0

kilometre mesafede olması ve modelin Avcılar garajını öncelikle bu durumdaki otobüslere tahsis etmek istemesidir.

34G numaralı hat mevcut durumda %47 oranında Edirnekapı garajından, %27 oranında Avcılar garajından ve %27 oranında Beylikdüzü garajından otobüs çıkarmaktadır. Yapılan optimizasyon sonunda Edirnekapı garajından çıkan otobüs oranında bir değişiklik olmazken, Avcılar garajından çıkan otobüs oranı %27 seviyesinden %0 seviyesine düşmüştür. Hasanpaşa garajından çıkan otobüs seviyesi ise %27 seviyesinden %54 seviyesine çıkartılmıştır. Avcılar garajından çıkan otobüs sayısının 0 adete düşürülmesinin gerekçesi yukarıdaki sebepler ile aynıdır. Model, toplam 15 adet otobüsü olan bu hattın A noktası ilk kalkışlı otobüslerini Edirnekapı garajından ve B noktası ilk kalkışlı otobüslerini Hasanpaşa garajından çıkacak şekilde atayarak hat bazlı ölü kilometreyi düşürmüştür. Mevcut durumda A noktası ilk kalkışlı otobüslerin 3 adeti Edirnekapı garajından, 4 adeti Avcılar garajından çıkmaktadır. B noktası ilk kalkışlı otobüslerin 4 tanesi Edirnekapı garajından, 4 tanesi ise Hasanpaşa garajından çıkmaktadır. Optimizasyon neticesinde, mevcut durumda Avcılar garajından çıkıp A noktası yani Beylikdüzü'nden ilk kalkışını yapan 4 adet otobüs, optimal durumda Edirnekapı garajına giderek ölü kilometreyi arttırsa da Edirnekapı garajından çıkarak B noktası yani Söğütluçeşme ilk kalkışını yapan 4 adet otobüs optimal durumda artık bu noktaya 0 kilometre mesafedeki garaj olan Hasanpaşa garajından çıkacaktır. B noktası kaynaklı ölü kilometre düşüşü, A noktası kaynaklı ölü kilometre artışından fazla olduğu için hat bazlı ölü kilometrede düşüş söz konusudur.

34Z numaralı hat mevcut durumda %30 oranında Edirnekapı garajından ve %70 oranında Hasanpaşa garajından otobüs çıkarmaktadır. Optimizasyon neticesinde hattın tüm otobüsleri Hasanpaşa garajından çıkmaktadır. Mevcut durumda hattın A noktasından ilk kalkışını yapan 16 adet otobüsü Edirnekapı garajından, B noktasından ilk kalkışını yapan 38 adet otobüsü Hasanpaşa garajından çıkış yapmaktadır. Optimum durumda hem A noktası ilk kalkışlı 16 adet otobüs hem de B noktası ilk kalkışlı 38 adet otobüs Hasanpaşa garajından çıkmaktadır. A noktası ilk kalkışlı otobüslerin A noktasına daha yakın olan Edirnekapı garajından Hasanpaşa garajına verilmesine rağmen ölü kilometrede hat bazlı azalma olmuştur. Tablo 2 ve Tablo 9'da hatların son hareketini

hangi noktadan yaparak garaja geldiği bilgisi olan dönüş sütunu bilgisinden faydalanıldığında Edirnekapı garajından çıkıp A noktasına yani Zincirlikuyu'ya giden otobüsler B noktasından yani Söğütlüçeşme'den Edirnekapı garajına dönerler. Yani bu şekildeki bir otobüsün ölü kilometresi;

$$\text{Ölü kilometre} = (\text{Edirnekapı Garajı-Zincirlikuyu}) + (\text{Söğütlüçeşme-Edirnekapı garajı})$$

$$\text{Ölü Kilometre} = (10,1 + 21,4) = 31,5 \text{ km}$$

olarak hesaplanır. Öte yandan Hasanpaşa garajından çıkan ve ilk hareketini A noktasından yapan bir otobüsler son hareketini B noktasından yani Söğütlüçeşme'den Hasanpaşa garajına yaparlar. Dolayısıyla ölü kilometre;

$$\text{Ölü kilometre} = (\text{Hasanpaşa garajı-Zincirlikuyu}) + (\text{Söğütlüçeşme-Hasanpaşa garajı})$$

formülü ile hesaplanır. Söğütlüçeşme ile Hasanpaşa garajı 0 kilometre mesafede olduğu için;

$$\text{Ölü kilometre} = (13,1 + 0) = 13,1 \text{ km}$$

Bu bilgiden hareketle, Edirnekapı garajından Hasanpaşa garajına verilen A noktası ilk kalkışlı her bir otobüs hattın ölü kilometresini düşürmektedir.

34A numaralı hat resmiyette olmasına rağmen işletme verimliliği açısından İETT kurumu tarafından çalıştırılmadığı için bu hatta Tablo 14'de değinilmedi ve bu hat oransal olarak yorumlanmadı.

Hat Kodu	Hat Adı	A Noktası Mevcut				A Noktası Optimum			
		EDK	AVC	BDZ	HSP	EDK	AVC	BDZ	HSP
34	Avcılar-Zincirlikuyu	34	7			21	20		
34AS	Avcılar-Söğütlüçeşme	58	35			12	81		
34BZ	Beylikdüzü-Zincirlikuyu	52	40	21		92		21	
34C	Beylikdüzü-Cevizlibağ		6	22		9		19	
34G	Beylikdüzü-Söğütlüçeşme	3	4			7			
34Z	Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme	16							16

Tablo 15: A Noktası İlk Kalkışlı Otobüslerinin Mevcut Durum İle Optimum Durum Mukayesesi

Hat Kodu	Hat Adı	B Noktası Mevcut				B Noktası Optimum			
		EDK	AVC	BDZ	HSP	EDK	AVC	BDZ	HSP
34	Avcılar-Zincirlikuyu	10			4	4			10
34AS	Avcılar-Söğütlüçeşme				59				59
34BZ	Beylikdüzü-Zincirlikuyu	6			34	34			6
34C	Beylikdüzü-Cevizlibağ	34	8			42			
34G	Beylikdüzü-Söğütlüçeşme	4			4				8
34Z	Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme				38				38

Tablo 16: B Noktası İlk Kalkışlı Otobüslerinin Mevcut Durum İle Optimum Durum Mukayesesi

Tablo 14’de hatların mevcut durum ile optimum durumdaki garaj bazlı otobüs çıkarma oranı mukayesesinden hareketle, her bir hattaki mevcut durum-optimal durum garaj bazlı otobüs çıkarma oranı değişimleri yorumlandı. Yapılan yorumların sayısal olarak değişimleri Tablo 15 ve Tablo 16’da yer almaktadır. Yapılan yorumlar ile Tablo 15 ve Tablo 16’da verilmiş olan bilgiler örtüşmektedir.

İETT kurumu BRT sistemini 4 adet garajdan 499 adet otobüs çıkararak işletmektedir. Mevcut durumda BRT otobüslerinin hat bazında çalışma şekillerine göre otobüs sayıları Tablo 1’de verilmişti. Buna göre 499 adet otobüsün 199 adeti dinlenmeli, 42 adeti gareli ve 258 adeti normal çalışma şekillerinde çalıştırılmaktadır. Tablo 1’de hat bazında verilen çalışma şekillerine göre otobüs sayıları, Tablo 17’de garaj bazında verilmiştir.

Garaj	Edirnekapı			Avcılar			Beylikdüzü			Hasanpaşa		
	Dinlenmeli	Gareli	Normal	Dinlenmeli	Gareli	Normal	Dinlenmeli	Gareli	Normal	Dinlenmeli	Gareli	Normal
Adet	91	18	108	38	9	53	29	3	11	41	12	86
Yüzde	41,94%	8,29%	49,77%	38,00%	9,00%	53,00%	67,44%	6,98%	25,58%	29,50%	8,63%	61,87%
Toplam	217			100			43			139		

Tablo 17: Mevcut Durumda Garajlardan Çalışma Şekillerine Göre Çıkan Otobüs Sayıları

Yapılan optimizasyon sonunda oluşan yeni hat-garaj dağılımına göre garajların çalışma şekillerine göre çıkardıkları otobüs sayıları ise Tablo 18’de verilmiştir.

Garaj	Edirnekapı			Avcılar			Beylikdüzü			Hasanpaşa		
Çalışma Şekli	Dinlenmeli	Gareli	Normal	Dinlenmeli	Gareli	Normal	Dinlenmeli	Gareli	Normal	Dinlenmeli	Gareli	Normal
Adet	51	11	159	44	14	43	36	4	0	68	13	56
Yüzde	23,08%	4,98%	71,95%	43,56%	13,86%	42,57%	90,00%	10,00%	0,00%	49,64%	9,49%	40,88%
Toplam	221			101			40			137		

Tablo 18: Optimal Durumda Garajlardan Çalışma Şekillerine Göre Çıkan Otobüs Sayıları

Mevcut durumda garaj kapasitesi 221 olan Edirnekapı garajı 217 adet otobüs çıkarmaktadır. Bu otobüslerin %41,94’ü dinlenmeli, %8,29’u gareli ve %49,77’si normal çalışma şekillerinde çalışmaktadır. Optimizasyon sonunda, mevcut durumda kapasitesinin altında otobüs çıkaran Edirnekapı garajı kapasitesinde otobüs çıkararak 221 adete ulaşmıştır. Optimal durumda Edirnekapı garajından çıkan otobüslerin %23,08’i dinlenmeli, %4,98’i gareli ve %71,95’i normal çalışma şekillerinde çalıştırılmaktadır. Model, ölü kilometre optimizasyonunu sağlamak için bu garajdan dinlenmeli ve gareli çalışma şekillerindeki otobüs adetini düşürerek normal çalışma şeklindeki otobüs sayısını arttırmıştır.

Mevcut durumda garaj kapasitesi 101 olan Avcılar garajı 100 adet otobüs çıkarmaktadır. Bu otobüslerin %38’i dinlenmeli, %9’u gareli ve %53’ü normal çalışma şekillerinde çalışmaktadır. Optimizasyon sonunda, mevcut durumda kapasitesinin altında otobüs çıkaran Avcılar garajı kapasitesinde otobüs çıkararak 101 adete ulaşmıştır. Optimal durumda Avcılar garajından çıkan otobüslerin %43,56’sı dinlenmeli, %13,86’sı gareli ve %42,57’si normal çalışma şekillerinde çalıştırılmaktadır. Model, ölü kilometre optimizasyonunu sağlamak için bu garajdan dinlenmeli ve gareli çalışma şekillerindeki otobüs adetini arttırarak normal çalışma şeklindeki otobüs sayısını azaltmıştır.

Mevcut durumda garaj kapasitesi 40 olan Beylikdüzü garajı 43 adet otobüs çıkarmaktadır. Bu otobüslerin %67,44’ü dinlenmeli, %6,98’i gareli ve %25,58’i normal çalışma şekillerinde çalışmaktadır. Optimizasyon sonunda, mevcut durumda kapasitesinin üstünde otobüs çıkaran Beylikdüzü garajı kapasitesinde otobüs çıkararak 40

adete ulaşmıştır. Mevcut durumda bu garajdan kapasitesinin üzerinde otobüs çıkarılablmesinin sebebinin garajda bakım ve onarım için yedek olarak bekletilen, servise verilmeyen ve servise verilmiş herhangi bir otobüste ağır bakım ihtiyacı olması durumunda devreye giren yedek otobüslerin serviste kullanılması olduğunun bilgisi İETT garaj yöneticilerinden alınmıştır. Optimal durumda Beylikdüzü garajından çıkan otobüslerin %90'ı dinlenmeli ve %10'u gareli çalışma şekillerinde çalıştırılmaktadır. Model, ölü kilometre optimizasyonunu sağlamak için bu garajdan dinlenmeli ve gareli çalışma şekillerindeki otobüs adetini arttırarak normal çalışma şeklindeki otobüs 0 adete indirmiştir.

Mevcut durumda garaj kapasitesi 137 olan Hasanpaşa garajı 139 adet otobüs çıkarmaktadır. Bu otobüslerin %29,50'si dinlenmeli, %8,63'ü gareli ve %61,87'si normal çalışma şekillerinde çalışmaktadır. Optimizasyon sonunda, mevcut durumda kapasitesinin üstünde otobüs çıkaran Hasanpaşa garajı kapasitesinde otobüs çıkararak 137 adete ulaşmıştır. Mevcut durumda bu garajdan kapasitesinin üzerinde otobüs çıkarılablmesinin sebebi ile mevcut durumda Beylikdüzü garajından kapasitesinin üzerinde otobüs çıkarılablmesinin sebebi aynıdır yani normalde servise verilmeyen yedek otobüslerin serviste kullanılmasıdır. Optimal durumda Hasanpaşa garajından çıkan otobüslerin %49,64'ü dinlenmeli, %9,49'u gareli ve %40,88'i normal çalışma şekillerinde çalıştırılmaktadır. Model, ölü kilometre optimizasyonunu sağlamak için bu garajdan dinlenmeli ve gareli çalışma şekillerindeki otobüs adetini arttırarak normal çalışma şeklindeki otobüs sayısını azaltmıştır.

Tablo 17 ve Tablo 18'deki garajların çalışma şekline göre otobüs çıkarma adetleri bilgisinden hareketle yukarıdaki garaj bazlı yorumlar yapılmıştır. Tablo 17'den Tablo 18'e geçilmesi durumunda ölü kilometre optimizasyonu sağlanabilecektir. Ancak burada önemli bir kriter garajların şoför adetleridir. Tablo 19'da mevcut durumda servislerin çıkarılablmesi için garaj bazında günlük ihtiyaç duyulan şoför sayısı bilgisi verilmiştir. Burada, tek şoför ile işletilen dinlenmeli çalışma şeklindeki otobüsler tekli sütununun altında, iki şoför ile işletilen gareli ve normal çalışma şekillerindeki otobüsler çiftli sütununun altında gösterilmiştir. Toplam şoför sayısının hesaplanması için tekli

sütununun altındaki otobüsler 1 ile, çiftli sütununun altındaki otobüsler 2 ile çarpılarak toplanmıştır.

Garaj	Edirnekapi		Avcılar		Beylikdüzü		Hasanpaşa	
Şoför Durumu	Tekli	Çiftli	Tekli	Çiftli	Tekli	Çiftli	Tekli	Çiftli
Otobüs Sayısı	91	126	38	62	29	14	41	98
Şoför Sayısı	91	252	38	124	29	28	41	196
Toplam Şoför	343		162		57		237	

Tablo 19: Mevcut Durum Servislerini Gerçekleştirmek İçin Gerekli Şoför Sayısı

Optimal durumda, garajlardan çalışma şekillerine göre otobüs adetleri değiştiği ihtiyaç duyulan şoför adetinde de değişiklikler beklenmektedir. Optimal durumda ihtiyaç duyulan şoför sayısı Tablo 20’de verilmiştir.

Garaj	Edirnekapi		Avcılar		Beylikdüzü		Hasanpaşa	
Şoför Durumu	Tekli	Çiftli	Tekli	Çiftli	Tekli	Çiftli	Tekli	Çiftli
Otobüs Sayısı	51	170	44	57	36	4	68	69
Şoför Sayısı	51	340	44	114	36	8	68	138
Toplam Şoför	391		158		44		206	

Tablo 20: Optimal Durum Servislerini Gerçekleştirmek İçin Gerekli Şoför Sayısı

Tablo 19’dan Tablo 20’ye geçişte Edirnekapi garajının şoför sayısının 343’den 391’e çıktığı, Avcılar garajının şoför sayısının 162’den 158’e düştüğü, Beylikdüzü garajının şoför sayısının 57’den 44’e düştüğü ve Hasanpaşa garajının 237’den 206’ya düştüğü gözükmemektedir. Bu durumda Edirnekapi garajı dışında kalan garajlar şoförlerini Tablo 20’deki seviyeye getirerek azalttıkları şoför sayısını Edirnekapi garajına göndermek durumundadırlar. Edirnekapi garajındaki şoför ihtiyacı artarken diğer garajlarda azalmasının sebebi, optimizasyon sonunda diğer garajlarda çift şoför çalıştırılan normal çalışma şeklindeki otobüs sayısının düşüp tek şoför çalıştırılan dinlenmeli çalışma şeklindeki otobüs sayısının artmasıdır. Buna karşılık, optimal durumda Edirnekapi garajındaki dinlenmeli çalışan otobüs sayısı düşerek, normal çalışan otobüs sayısı artmıştır. Optimal durumdaki hat-garaj ataması bu şekilde gerçekleştiği için

Edirnekapı garajının şoför ihtiyacı artmış, diğer garajlardaki şoför sayısı fazla kalmıştır. Şoförlerin garajlarının değiştirilmemesi için garajlardaki şoför sayıları da tıpkı garaj kapasitesi gibi bir kısıt olarak kullanılabilir ve garajlardaki şoför sayıları korunabilirdi. Ancak bu durumda ölü kilometredeki azalma çok daha az miktarda olacaktı. Eklenen her bir kısıtın sonucu etkilediği unutulmamalıdır.

Optimizasyon sonunda karar değişkenlerine atanan otobüs sayılarının hat bazında derlendiği bilgiler Tablo 9’da verilmiştir. Optimizasyon öncesi hat bazında dağılım Tablo 2’de verilmişti. Tablo 2’deki hat-garaj dağılımından Tablo 9’daki hat-garaj dağılımına geçilmesi durumunda ölü kilometrede mevcut durumdaki günlük 13.123,50 kilometrelik ölü kilometreden 8.640,30 kilometreye düşme sağlanarak 4.483,20 kilometrelik tasarruf sağlanması söz konusudur. İETT kurumunun garaj yöneticileri ile yapılan görüşmeler neticesinde, BRT sisteminde çalışan bir adet otobüsün bir kilometre kat ettiğinde, ortalama 0,561 litre akaryakıt harcadığı bilgisine erişilmiştir. 0,561 lt/km akaryakıt sarfiyatı bilgisinden hareketle, yapılan optimizasyon neticesinde kurumun ölü kilometre kaynaklı akaryakıt sarfiyatındaki değişim, aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

$$13.123,50 \times 0,561 = 7.362,28 \text{ lt}$$

$$8.640,30 \times 0,561 = 4.847,21 \text{ lt}$$

$$4.483,20 \times 0,561 = 2.515,07 \text{ lt}$$

Bu üç eşitliğe göre, İETT kurumu mevcut durumda günde 7.362,28 litrelik akaryakıtı ölü kilometreden dolayı sarf etmektedir. Yapılan optimizasyon neticesinde yeni oluşturulan dağılıma göre bu değer 4.847,21 litreye düşürülerek, ölü kilometre kaynaklı akaryakıt sarfiyatında 2.515,07 litrelik tasarruf sağlanmıştır.

İETT kurumunun enerji yöneticileri ile yapılan görüşme neticesinde kurumun akaryakıtın litre fiyatını pompa fiyatından %13,5 iskonto ile aldığı bilgisine erişilmiştir. 15 Şubat 2017 tarihi için yapılan sorguda otobüslerde akaryakıt olarak kullanılan motorinin litre fiyatının 4,64 TL olduğu gözükmemektedir.⁸⁸ Pompa fiyatı 4,64 TL olan

⁸⁸ Aytemiz Arşiv Fiyat Listesi. (t.y.), <http://www.aytemiz.com.tr/faaliyet-alanlari-hizmetler/istasyonlar-hakkinda/akaryakit-ve-pompa-fiyatları/arsiv-fiyat-listesi> (20 Şubat 2017)

akaryakıtın İETT kurumuna litre maliyeti 4,01 TL'dir. Mevcut durumda İETT kurumu ölü kilometre kaynaklı 7.362,28 litre akaryakıt sarf etmektedir. Yapılan optimizasyon bu sarfiyatın 4.847,21 litreye düşerek 2.515,07 litrelik tasarrufun olabileceğini göstermektedir. Bu durumun parasal karşılığının hesaplanması aşağıdaki üç eşitlik ile gösterilmiştir.

$$7.362,28 \times 4,01 = 29.522,74 \text{ TL}$$

$$4.847,21 \times 4,01 = 19.437,31 \text{ TL}$$

$$2.515,08 \times 4,01 = 10.085,43 \text{ TL}$$

Bu üç eşitlik İETT kurumunun mevcut durumda ölü kilometre kaynaklı akaryakıt maliyetinin 29.522,74 TL'den yapılan optimizasyon ile 19.437,31 TL'ye düşerek günlük 10.085,43 TL'lik akaryakıt tasarrufunun sağlanabileceğini göstermektedirler.

İETT kurumunun ölü kilometreden kaynaklanan ve parasal bir karşılığı olan tek parametresi sarf edilen akaryakıt maliyetleri değildir. Ölü kilometreden kaynaklanan ve parasal karşılığı olan bir diğer parametre ise ölü kilometre için harcanan toplam işçilik saatlerinin ekonomik maliyetleridir. Bu değerın hesaplanabilmesi için öncelikle ölü kilometreye harcanan toplam işçilik saatlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplamayı yapabilmek için İETT kurumunun BRT işletmecileri ile yapılan görüşmeler neticesinde kurumun bir BRT otobüsünün ortalama ticari hızının 35 km/saat olduğu bilgisine erişilmiştir. Ticari hız, işletmecilik yapılırken bir adet BRT otobüsünün ortalama hızını ifade etmektedir. Bu değerın içerisinde istasyonlardaki duraksamalar, hızlanmalar ve yavaşlamalar da mevcuttur. Kat edilen kilometre, ticari hıza bölündüğünde bu kat edilen kilometrenin kaç saatte kat edildiği bilgisine erişilmektedir. Dolayısıyla aşağıdaki üç eşitlik incelendiğinde mevcut durumda ve optimum durumda ölü kilometre için harcanan iş gücü toplam saatinin hesaplanması görülmektedir.

$$13.123,50 / 35 = 374,96 \text{ saat}$$

$$8.640,30 / 35 = 246,86 \text{ saat}$$

$$4.483,20 / 35 = 128,10 \text{ saat}$$

Ticari hız bilgisinin yardımıyla, mevcut durumda 13.123,50 kilometrelik ölü kilometreyi kat etmek için 374,96 saatlik iş gücü ihtiyacı olduğu ve yapılan optimizasyon ile ölü kilometrenin 8.640,30 kilometreye düşmesinden ötürü bu ihtiyacın 246,86 saate düştüğü gözükmemektedir. Optimum duruma geçilmesi durumunda ölü kilometredeki 4.483,20 kilometrelik tasarrufun iş gücü saati bakımından karşılığı günlük 128,10 saattir. Optimal durumda 128,10 saatlik iş gücü tasarrufu söz konusudur.

Yukarıda yapılan işlemler mevcut durum ile optimal durumdaki ölü kilometre kaynaklı harcanan iş gücü saatinin mukayesesi için yapılmıştır. BRT işletme yöneticileri ile yapılan görüşmeler neticesinde bir personelin bir saatlik ortalama 45 TL'lik maliyeti olduğu bilgisine erişilmiştir. Yukarıda mevcut durumda ölü kilometreye harcanan 374,96 saatlik iş gücünün yapılan optimizasyon çalışması ile 246,86 saate düşeceği ve 128,10 saatlik iş gücü tasarrufunun olacağı belirtilmiştir. Bu durumun parasal karşılıkları aşağıdaki üç eşitlikte gösterilmiştir.

$$374,96 \times 45 = 16.873,20 \text{ TL}$$

$$246,86 \times 45 = 11.108,70 \text{ TL}$$

$$128,10 \times 45 = 5.764,50 \text{ TL}$$

Görüldüğü üzere mevcut durumda ölü kilometreden kaynaklanan iş gücü maliyeti mevcut durumda 16.873,20 TL iken yapılan optimizasyon ile bu maliyet 11.108,70 TL'ye düşerek 5.764,50 TL'lik tasarruf sağlanmaktadır. Bu tasarruf aslında şoför personele ödenen işçilik maliyetlerindeki azalmayı ifade etmemektedir. Mevcut durumda ve optimal durumda işçilik maliyetleri plan dışı durumlar olmaması durumunda hemen hemen aynıdır. Daha önce de ifade edildiği gibi ölü kilometreler şoför personellerin 8 saatlik mesailerinde içinde kat edilmekte ve bu durum şoför personellerin halka hizmet verdiği etkin saatleri azaltmaktadır. Yapılan optimizasyon sonucunda ölü kilometre azalmasından ötürü ölü kilometreye harcanan işçilik saati de düşecektir. Şoför personellerin ölü kilometresinde harcadıkları mesai azalacağından vatandaşa vereceği toplu taşımacılık süresinde artış meydana gelecektir. Dolayısıyla tasarruf edilen 5.764,50

TL’lik iş gücü tasarrufu ile toplamda daha verimli bir hizmet sunulabilmektedir. Ayrıca elde edilen 128,10 saatlik kazanım sefer sayılarını arttırmak yerine fazla mesailerin azaltılması noktasında da değerlendirilebilir. Bu tamamen kurumun tercihi olacaktır.

Tablo 21, akaryakıt maliyetlerinin hesaplanma aşamalarını verirken mevcut durum ile optimal durumun akaryakıt maliyetleri açısından mukayesesine de imkân vermektedir.

Birim	Mevcut	Optimizasyon	Tasarruf
Ölölü Kilometre (km)	13.123,50	8.640,30	4.483,20
Km Başı Akaryakıt Sarfıyatı (lt/km)	0,561		
Akaryakıt Sarfıyatı (lt)	7.362,28	4.847,21	2.515,08
Birim Akaryakıt Fıyatı (TL/lt)	4,01		
Akaryakıt Maliyeti (TL)	29.522,74	19.437,31	10.085,43

Tablo 21: Akaryakıt Maliyetlerinin Hesaplanma Aşamaları Ve Mevcut Durum İle Optimal Durum Mukayesesi

Tablo 22, işçilik saati maliyetlerinin aşamalarını verirken mevcut durum ile optimal durumun işçilik saati maliyetleri açısından mukayesesine de imkân vermektedir.

Birim	Mevcut	Optimizasyon	Tasarruf
Ölölü Kilometre (km)	13.123,50	8.640,30	4.483,20
Ticari Hız (km/saat)	35		
Toplam İşçilik Saati (saat)	374,96	246,86	128,10
Birim Saat İşçilik Maliyeti (TL/saat)	45		
Toplam İşçilik Maliyeti (TL)	16.873,20	11.108,70	5.764,50

Tablo 22: İşçilik Maliyetlerinin Hesaplanma Aşamaları Ve Mevcut Durum İle Optimal Durum Mukayesesi

Ekonomik değeri olan akaryakıt ve işçilik maliyetlerinin toplamda parasal gösterimi Tablo 23’de yer almaktadır. İETT kurumu BRT sisteminde bir iş gününde mevcut durumda 29.522,74 TL’si akaryakıt maliyeti kaynaklı, 16.873,20 TL’si işçilik maliyeti kaynaklı toplam 46.395,94 TL’lik maliyete katlanmakta iken yapılan optimizasyon neticesinde bu maliyet optimal durumda 19.437,31 TL’si akaryakıt maliyeti kaynaklı, 11.108,70 TL’si işçilik maliyeti kaynaklı toplam 30.546,01 TL’ye düşmüştür.

Sağlanan tasarruf 10.085,43 TL'si akaryakıt maliyeti ve 5.764,50 TL'si işçilik maliyeti kaynaklı olmak üzere toplamda 15.848,93 TL'dir.

Birim	Mevcut	Optimizasyon	Tasarruf
Akaryakıt Maliyeti (TL)	29.522,74	19.437,31	10.085,43
Toplam İşçilik Maliyeti (TL)	16.873,20	11.108,70	5.764,50
Toplam Maliyet	46.395,94	30.546,01	15.849,93

Tablo 23: Ölü Kilometre Kaynaklı Toplam Maliyet Ve Maliyet Kalemleri İle Mevcut Durum Optimal Durum Mukayesesi

Yapılan optimizasyon çalışmasının bir önemli faydası da çevreye olan katkılarıdır. Akaryakıt kullanımı ile kat edilen kilometrelerden kaynaklı CO₂ gazı salınımı söz konusudur. Akaryakıt kullanım kaynaklı bu salınım bir adet BRT otobüsünde ortalama 1,43 kg/km'dir.⁸⁹

Kat edilen 1 kilometrede çevreye salınan CO₂ gazının 1,43 kg olduğu bilgisinden hareketle, mevcut durumda 13.123,50 km'lik ölü kilometre var iken yapılan optimizasyon çalışması ile bu değer 8.640,30 km'ye düşerek 4.483,20 km'lik tasarruf sağlanmıştır. Bu ölü kilometre kaynaklı kat edilen km'lerin çevreye salınan CO₂ gazı miktarı aşağıdaki üç eşitlikte hesaplanmıştır.

$$13.123,50 \times 1,43 = 18.766,61 \text{ kg}$$

$$8.640,30 \times 1,43 = 12.355,63 \text{ kg}$$

$$4.483,20 \times 1,43 = 6.410,98 \text{ kg}$$

Mevcut durumda ölü kilometreden kaynaklanan CO₂ gazı salınımı 18.766,61 kg iken yapılan optimizasyon çalışması ile optimal durumda ölü kilometre kaynaklı CO₂ gazı salınımı 12.255,63 kg'a düşmüştür. Yapılan optimizasyon çalışması, ölü kilometreden kaynaklanan ve çevreye salınan CO₂ gazında 6.410,98 kg azalma sağlayarak çevreye

⁸⁹ İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü, İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü 2014-2015 Sürdürülebilirlik Raporu, İstanbul, 2016, s.78

katkı sağlamıştır. Tablo 24, CO₂ gazının hesaplanma aşamalarını verirken mevcut durum ile optimal durumun CO₂ salınım miktarı açısından da mukayesesine imkân vermektedir.

Birim	Mevcut	Optimizasyon	Tasarruf
Ölü Kilometre (km)	13.123,50	8.640,30	4.483,20
Kilometre Başına CO ₂ Gazı Emisyonu (kg/km)	1,43		
Toplam CO ₂ Gazı Emisyonu (kg)	18.766,61	12.355,63	6.410,98

Tablo 24: Ölü Kilometre Kaynaklı Toplam CO₂ Gazı Salınımlarının Hesaplama Aşamaları İle Mevcut Durum Optimal Durum Mukayesesi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, İstanbul'da toplu taşımacılık hizmeti veren İETT kurumunun BRT taşımacılığı ile verilen toplu ulaşım hizmeti icra edilirken oluşan ölü kilometreleri minimize etmek hedeflenmiştir. Toplu taşımacılıkta en büyük maliyet kalemleri akaryakıt ve işçilik maliyetleridir. Ölü kilometrede yapılacak en küçük iyileştirme bu iki kaleme doğrudan etki edecektir. Bu optimizasyon çalışmasının önemli gerekçelerinden birisi de ölü kilometreleri kat etmek için akaryakıt yakılmasından dolayı çevreye salınan CO₂ gazını minimize etmektir.

Ölü kilometreler garajlar ile hat başları arasında yolcusuz kat edilen kilometreler olduğu için sistemde fazladan kat edilen her bir ölü kilometre, toplu taşımacılık hizmeti veren kuruluşlara akaryakıt maliyeti olarak dönmektedir. Planlı seferlerin kilometreleri değişmeyeceğinden akaryakıt maliyetlerini düşürmek için azaltılması gereken kilometreler ölü kilometrelerdir. Bu azaltılmanın gerçekleştirilmesi iyi bir optimizasyon modelinden geçmektedir.

Ölü kilometrelerin varlığı, toplu taşımacılığın diğer önemli maliyet kalemi olan işçilik maliyetlerine de doğrudan yansımaktadır. Toplu taşımacılıkta şoför personelin mesaisi garajdan çıkarmak için otobüsünü çalıştırması anında başlar. Bir otobüsün günün başında ya da günün sonunda hat başı ile garaj arasında yolcusuz bir şekilde kat ettiği mesafe olan ölü kilometre ne kadar fazlaysa, o otobüsü kullanan şoförün yolculu yaptığı seferler o kadar azdır. İETT kurumunda bir şoför personelin mesai süresi fazla mesailer dışında 8 saattir. Söz gelimi fazla mesaisi olmayan bir personelin günde 1 saati ölü kilometreleri kat etmekle geçiyorsa bu personelin yolculu yaptığı ve vatandaşa doğrudan yansıyan mesaisi 7 saattir. Bu durumun iki anlamı vardır. Birinci anlam şoför personele ölü kilometre varlığından ötürü yolcu taşımadan 1 saatlik ödeme yapıldığıdır. İkinci anlamı ise toplu taşımacılık hizmeti gören halka bu personelin 1 saat eksik hizmet vermesi durumudur.

Günümüzde çevre sorunu ciddi bir sorundur. Günden güne kirlenen havaya çeşitli ortamlardan salınan CO₂ gazının azaltılması için bazı dernek ve kuruluşlar ile çevre bilinci olan şirketler önemli kampanyalar yapmaktadır. Birçok kuruluşun misyon ve

vizyonunda yer alan kavram olan çevreye toplu taşımacılık hizmeti veren otobüslerde akaryakıt yakılmasından ötürü yüksek miktarda CO₂ gazı salınmaktadır. Ülkemizde ve yurtdışında toplu taşımacılık hizmeti veren bazı kurumlar çevreye olan sorumlulukları kapsamında 0 emisyon salınımı yapan çevre dostu elektrikli otobüsler kullanmaktadır. Çalışmanın konusu olan İETT İstanbul BRT sistemindeki otobüsler elektrikli değil akaryakıtla çalışan otobüslerdir. Bu durumda CO₂ gazı salınımı sıfırlanamayacağından minimize edilmesi çevreye önemli bir hizmet olacaktır.

Yukarıda bahsedilen ve ciddi parasal karşılıkları olan iki maliyet kaleminin minimize edilmesi, toplu taşımacılık hizmeti veren kurum ya da kuruluşlar için önemlidir. Öte yandan çevre bilinci olan toplu taşıma kurumları da akaryakıt yakılmasından dolayı çevreye salınan CO₂ gazı salınımının azalmasını önemserler. Bu çalışma ile yukarıdaki önemli durumlar da göz önünde bulundurularak İETT kurumunun bu iki kalemdaki maliyetlerinde ve çevreye salınan CO₂ gazı miktarında optimizasyon yöntemleri ile önemli düşüşler sağlanmıştır.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için tam sayılı doğrusal programlama metodu seçilmiştir. Bu seçimin öncelikli sebebi, atama sonunda otobüsleri ifade eden karar değişkenlerinin tam sayı olma ihtiyacındandır. Çünkü otobüs sayıları kesikli değişkenlerdir ve tam bir sayı ifade etmelidir. Eğer burada tam sayılı doğrusal programlama değil de doğrusal programlama metodu kullanılsaydı atama sonunda otobüsleri ifade eden karar değişkenleri kesirli sayılar çıkabilirdi. Bu durum geçerli bir çözüm olmazdı. Öte yandan BRT işletmeciliğindeki ölü kilometrenin oluşmasına sebep olan durumlar ve kısıtlamalar, uygulama kısmında verilen kısıtlarda da görüldüğü üzere tam sayılı doğrusal programlamanın temel bileşeni olan kısıtlara çok uyduğu için bu metod seçilmiştir.

Tam sayılı doğrusal programlama metodu ile gerçekleştirilen çalışma ile İETT kurumunun ölü kilometresi 13.123,50 kilometreden 8.640,30 kilometreye düşürülerek aynı işin 4.483,20 kilometre daha az kilometre kat edilmesiyle yapılabileceği gösterilmiştir. 4.483,20 kilometrelik tasarruf ile İETT kurumu 1 iş gününde 29.522,74 TL ödediği ölü kilometre kaynaklı akaryakıtta 19.437,31 TL ödeyerek 10.085,43 TL tutarında tasarruf edebilmektedir.

Yapılan iyileştirme ile 4.483,20 kilometrelik tasarrufun işçilik maliyetlerine yansımaları ise 16.873,20 TL'den 11.108,70 TL'ye düşülmesiyle 5.764,50 TL'lik tasarruf edilebilmesi şeklinde olmuştur.

Toplu taşımacılığın önemli iki maliyet kalemi olan akaryakıt ve işçilik maliyetlerine İETT kurumu BRT sisteminde mevcut durumda ölü kilometreden kaynaklı olarak 46.395,94 TL ödemektedir. Yapılan tam sayılı doğrusal programlama yöntemiyle tasarruf edilen 4.483,20 kilometrelik tasarruf, bu maliyeti 30.546,01 TL'ye düşebilir ve bu durumda 15.849,93 TL'lik maliyet azalması söz konusudur. Bu tasarruf, toplu taşımacılık için gerçekten de yüksek bir bedeldir. Kabaca ayda yaklaşık olarak 500.000 TL'ye gelen bu tasarruf, yılda 6.000.000 TL gibi önemli parayı İETT kurumunun kasasında tutabilir.

Öte yandan tam sayılı doğrusal programlama yöntemi ile elde edilen 4.483,20 kilometrelik tasarruf, ölü kilometreden ötürü salınan CO₂ gazının, mevcutta 18.766,61 kg olan değerini 12.355,63 kg'a düşürerek çevreye 6.410,98 kg daha az CO₂ gazı salınımı gerçekleştirebilir. Bu kazanım, çevreyi önemseyen bir kurum olan İETT kurumunun amaçlarıyla doğrudan örtüşen bir kazanımdır.

Yapılan optimizasyon çalışmasında İstanbul'daki BRT sisteminin toplam ölü kilometresi 13.123,50 kilometreden 8.640,30 kilometreye düşerek yaklaşık %34 oranında bir düşüş sağlanmıştır. Bu düşüşün hat bazlı dağılımı;

- 34 numaralı hatta 2.312,90 kilometreden 1.382,30 kilometreye %40'lık düşüş,
- 34AS numaralı hatta 3.894,20 kilometreden 968,60 kilometreye %75'lik düşüş,
- 34BZ numaralı hatta 4.833,30 kilometreden 5.193,40 kilometreye %7'lik artış,
- 34C numaralı hatta 628,30 kilometreden 310 kilometreye %51'lik düşüş,
- 34G numaralı hatta 446,80 kilometreden 366,80 kilometreye %18'lik düşüş,

- 34Z numaralı hatta 1.008 kilometreden 419,20 kilometreye %58'lik düşüş,

şeklindedir. Hatlar tek tek analiz edildiğinde sadece 34BZ numaralı hatta ölü kilometre artışı olduğu görünmektedir. Tüm sistemin optimize edilebilmesi için yapılan atamada 34BZ numaralı hattın ölü kilometresinde bir miktar artış oluşmuştur. Bu durumun sebepleri önceki kısımlarda anlatılmıştı. Ölü kilometrelerdeki düşüş ile verimli mesai süresi artacak olan şoförler, hatlarda daha fazla sefer gerçekleştirecektir. Bu pencereden bakıldığında 34AS numaralı hatta yapılan optimizasyon sonunda 2.925,60 kilometrelik ölü kilometre azalması gerçekleşeceğinden sefer sayılarında ciddi bir artış beklenmektedir.

Yapılan optimizasyon sonunda oluşan hat-garaj eşleştirmesinde görüldü ki model mümkün mertebe garaja en yakın başlangıç noktasına otobüs atama eğilimindedir. Atama yapılan garaj kapasitesi dolduğunda ise söz konusu başlangıç noktasına ikinci garaja otobüs atama durumunu seçer. Burada da öncelikli olarak ikinci yakın garajın başka bir başlangıç noktasından başlaması gereken otobüslerin bu garaja yakın olma durumuna bakılır. Eğer böyle bir durum var ise bu durumda üçüncü yakın garajdan otobüs atanır. Bu duruma örnek olarak, 34BZ numaralı hattın A noktası kalkışlı otobüsleri incelenebilir. Tablo 15’de yer alan bilgiden hareketle mevcut durumda 34BZ numaralı hattın ilk hareketini A noktasından yapması gereken otobüs sayılarından 52 tanesi Edirnekapı garajından, 40 tanesi Avcılar garajından ve 21 tanesi ise Beylikdüzü garajından çıkmaktadır. Yapılan optimizasyon ile model bu hattın A noktası olan Beylikdüzü’ne en yakın garaj olan Beylikdüzü garajından çıkan otobüs sayısını değiştirmeden 21 olarak belirlemiştir. Kalan 92 adet otobüs ise Edirnekapı garajından önerilmektedir. Burada beklenen ilk olarak bu otobüslerin Beylikdüzü garajından atanmasıdır. Ancak Beylikdüzü garajının kapasitesi 40’dır ve ilk hareketini Beylikdüzü’nden yapması gereken çok otobüs vardır. Dolayısıyla model optimizasyonu sağlamak için bu hattın sadece 21 adet otobüsünü bu garajdan atamıştır. Öte yandan kalan 92 adet otobüsün öncelikle Avcılar garajından verilmesi beklenir. Ama bakıldığı zaman model, 92 adet otobüsü de bu hattın A noktası olan Beylikdüzü’ne en yakın üçüncü garaj olan Edirnekapı garajından önermektedir. Bu durumun sebebi 34 ve 34AS numaralı hattın

A noktası olan Avcılar'dan başlaması gereken otobüs sayısının mümkün mertebe bu başlangıç noktasına en yakın garaj olan Avcılar garajından atanma önceliğindedir.

İETT kurumunda çalışma şekillerinden dinlenmeli çalışma şekli şoförler tarafından yoğun olarak talep edilen bir çalışma biçimidir. Bu durumun sebebi bu çalışma şeklinde çalışan şoförlerin 3 saatlik fazla mesai ödemesi almasıdır. Yapılan optimizasyon ile garaj bazlı dinlenmeli çalışma değişimleri;

- Edirnekapı garajında 91 adetten 51 adete düşme,
- Avcılar garajında 38 adetten 44 adete artma,
- Beylikdüzü garajında 29 adetten 36 adete artma,
- Hasanpaşa garajında 41 adetten 68 adete artma

şeklindedir. Bu durum Edirnekapı garajında dinlenmeli çalışma şekli ile çalışan şoförleri memnuniyetsizliğe sevk ederken, diğer üç garajdaki şoförlerde ise memnuniyet artışı olacaktır. Daha önce de belirtildiği gibi garajların dinlenmeli seviyeleri de birer kısıt gibi kullanılarak modele işlenebilirdi. Ancak bu durumda ölü kilometreden sağlanan tasarruf daha az olacaktı. Bunun yerine dinlenmeli olarak çalışmak isteyen şoförlere, bu çalışma şeklinde artış olan garajlardan iş alma teklif edilmelidir. Yapılan optimizasyon ile elde edilen atamanın uygulanmak istenmesi durumunda şoförlerin garajlar arasındaki değişimleri zaten bir zaruret olacaktır. Çünkü Tablo 19 ve Tablo 20'de yer alan mevcut durum şoför ihtiyacı ve optimal durum şoför ihtiyacı bilgilerine göre Edirnekapı garajının şoför ihtiyacı 343'den 391'e çıkacak, Avcılar garajının şoför ihtiyacı 162'den 158'e düşecek, Beylikdüzü garajının şoför ihtiyacı 57'den 44'e düşecek ve Hasanpaşa garajının şoför ihtiyacı 237'den 206'ya düşecektir. Bu durumun anlamı Avcılar, Beylikdüzü ve Hasanpaşa garajlarından şoförler alınarak Edirnekapı garajına verilme ihtiyacı doğduğudur. Bu durum Edirnekapı garajında bir otobüste tek şoför çalışması esasına göre çalışan dinlenmeli otobüslerin azalarak diğer garajlarda artmasına bağlı olarak oluşmuştur. Çünkü diğer çalışma şekilleri olan gareli ve normal çalışma şekillerinde iki şoför hizmet vermektedir. Bu durumu toparlamak gerekirse, bir garajda dinlenmeli servis sayısının azalarak normal ve gareli servis sayısının artması o garajda ihtiyaç duyulan şoför sayısını arttır yorumu yapılabilir. Bu durumun tersi de geçerlidir.

Çalışmada ölü kilometreyi yüksek seviyede tutan önemli dar boğazlardan birisi de Beylikdüzü garaj kapasitesinin düşük olmasıdır. Kapasitesi 40 olan bu garaj hatların başlangıç noktasındaki araç sayılarına bakıldığında çok stratejik bir garajdır. Ancak kapasitesinin düşük olması sebebiyle, bu garaja yakın başlangıç noktalarından başlayan otobüs sayılarının fazla olmasından ötürü bu başlangıç noktalarına otobüs vermekte yetersiz kalmakta ve ölü kilometre doğmaktadır. 34BZ, 34C ve 34G numaralı hatların A noktası Beylikdüzü'dür. Beylikdüzü ile Beylikdüzü garajı arasındaki mesafe 0 kilometredir. Sabah ilk garaj çıkışı itibariyle bu hattın A noktası olan Beylikdüzü'ne gitmesi gereken otobüs sayısı 148 adettir. Bu otobüslerin Beylikdüzü garajından verilmesi durumunda bu otobüslerin oluşturacağı ölü kilometre 0 olacaktır. Bu bilgiden hareketle, öneri olarak Beylikdüzü garajının kapasitesinin 40 adetten 148 adete çıkarılması gerekmektedir. Yapılacak fizibilite çalışması ile Beylikdüzü garajına bitişik arsaların talep edilerek garaj bünyesine katılması ve garaj kapasitesinin artırılması önem arz etmektedir. Garaja bitişik olarak yaklaşık 25 dönümlük boş arazi mevcuttur. Arazi sahibinin/sahiplerinin tespit edilerek bu kişi ya da kişilerle anlaşılması ve bu 25 dönümlük arazinin ölü kilometreyi düşürmek için 148 tane otobüs alacak şekilde bir kısmının ya da geleceğe dönük yapılacak olası hat uzatmalarına karşı tamamının İETT bünyesine katılması sağlanmalıdır.

148 sayısı belirlenirken 34BZ, 34C ve 34G hatlarının sabah ilk çıkışlarına bakılmıştır. Bu sayı sabah A noktasına gidecek otobüslerin ölü kilometresini 0 seviyesine düşürmektedir. Ancak bu durum bu 148 adet otobüsün toplam ölü kilometresinin 0 kilometre olması anlamına gelmez. Çünkü sabah A noktasına giden dinlenmeli ya da gareli otobüsler akşam B noktasına gidebilir. Söz gelimi 34BZ numaralı hattın dinlenmeli çalışan 23 adet otobüsünün sabah ilk hareketini A noktasından yapması gereken otobüs sayısı 18, B noktasından yapması gereken otobüs sayısı 5'dir. Akşam çıkışlarında ise ilk hareketini A noktasından yapması gereken otobüs sayısı 17, B noktasından yapması gereken otobüs sayısı 6'dır. 148 sayısını oluşturmak için 34BZ hattının dinlenmeli otobüslerinden gelen sayı 18 adettir. Ancak akşam çıkışlarında bu sayı yani ilk hareketini A noktasına yapacak otobüs sayısı 17 adete düşmektedir. Kalan 1 adet otobüs B noktasına gideceği için bir ölü kilometre doğmaktadır. Dolayısıyla 148 adet otobüsün Beylikdüzü garajından çıkması bu 148 adet otobüsün toplam ölü kilometresinin 0 kilometre olmasını

ifade etmez. Sadece sabah çıkışlarından ötürü doğan ölü kilometrenin 0 kilometre olmasını ifade eder. Bu şartlarda toplam ölü kilometreyi 0 kilometre yapmak için garajlarda esnek parklanma modeline geçilmelidir. Esnek parklanma sabah bir garajdan çıkan otobüsün akşam başka bir garajda bakım ve ikmalinin yapılarak parklanması esasına dayanmaktadır. Esnek parklanmanın uygulanması ve Beylikdüzü garaj kapasitesinin 148 adete getirilmesi durumunda, sabah ilk hareketini A noktasından yapan 148 adet otobüsün akşam ilk hareketini B noktasından yapan kısmı B noktasına en yakın garajlara parklandırılabilir ve bu 148 adet otobüsün toplam ölü kilometresi 0 kilometre seviyesine düşecektir.

Yukarıdaki kısımda 148 adet otobüsün toplam ölü kilometresinin 0 kilometre seviyesine çekilme aşamaları anlatılmıştır. Tüm sistemin ölü kilometresinin sıfır kilometreye çekilmesinin temel felsefesi hatların başlangıç noktaları olan Beylikdüzü, Avcılar, Cevizlibağ, Zincirlikuyu ve Söğütluçeşme noktalarından başlaması gereken otobüs sayısının bu noktalara 0 kilometre olan garajlardan atanmasıdır. Bu felsefenin gerçekleştirilebilmesi için yukarıda belirtildiği gibi Beylikdüzü garaj kapasitesi artırılmalı ve esnek parklanma modeline geçilmelidir. Bununla birlikte garajdan ilk hareketini Zincirlikuyu başlangıç noktasına yapan ya da Zincirlikuyu'dan son hareketini bağlı bulunduğu garaja yapan 34 ve 34Z numaralı hatlardaki otobüslerin doğurduğu ölü kilometrelerden ötürü Zincirlikuyu başlangıç noktasında parklanma alanının sağlanarak bu hatların bu noktaları ile ilgili otobüsler yeni düzenlenen parklanma alanından sağlanmalıdır. Mevcut durumda Zincirlikuyu başlangıç noktasına en yakın garajlar olan Edirnekapı garajının bu noktaya uzaklığı 10,1 kilometre, Hasanpaşa garajının bu noktaya uzaklığı 13,1 kilometredir. Günün başında Zincirlikuyu'dan başlayacak bir otobüs ya da günün sonunda Zincirlikuyu'dan bu iki garajdan birine gidecek olan bir otobüs 10,1 veya 13,1 kilometrelik ölü kilometreye katlanmak durumundadır. Zincirlikuyu'da önerilen parklanma alanının gerçekleştirilmesi durumunda ilk hareketini Zincirlikuyu'dan yapan otobüsler Edirnekapı ya da Hasanpaşa garajı yerine bu yeni alandan atanacaktır. Aynı şekilde son hareketini Zincirlikuyu ile garaj arasında yolcusuz yapan otobüsler yeni yapılan parklanma alanında hiç kilometre kat etmeden bırakılacaktır. Böylece Zincirlikuyu kaynaklı ölü kilometre 0 kilometre düzeyine inecektir. Esnek parklanma önerisi ile birlikte bir garajdan çıkan bir otobüs gün sonunda ölü kilometre kat etmemek

için bulunduğu başlangıç noktasına 0 kilometredeki garaj ya da Zincirlikuyu’da önerilen yeni parklanma alanında bırakılacaktır.

34BZ, 34C ve 34G hatlarının A noktası kalkışlı otobüsleri sabah kapasitesi arttırılması önerilen Beylikdüzü garajından atanmalıdır. Bu hatlardaki bazı otobüslerin sefer planları B noktasında bitebilir. Bu durumda otobüsler o B noktasına 0 kilometre mesafede olan garaj ya da önerilen parklanma alanında bırakılmalıdır. 34BZ hattının B noktası Zincirlikuyu olduğundan planı burada biten otobüsler tekrar Beylikdüzü garajına dönerek ölü kilometre oluşturmaması adına Zincirlikuyu’da önerilen parklanma alanında bırakılmalıdır. 34C numaralı hattın B noktası Cevizlibağ’dır. Bu başlangıç noktasına 0 kilometre mesafede olan garaj Edirnekapı garajıdır. Sefer planı Cevizlibağ’da biten otobüsler tekrar Beylikdüzü garajına gelerek ölü kilometre oluşturmamalıdır. Bunun yerine bu otobüsler Edirnekapı garajına dönmelidir. 34G hattının B noktası Söğütlüçeşme’dir. Bu başlangıç noktasına 0 kilometre mesafede olan garaj Hasanpaşa garajıdır. Sefer planı Söğütlüçeşme’de biten otobüsler tekrar Beylikdüzü garajına gelerek ölü kilometre oluşturmamalıdır. Bunun yerine bu otobüsler Hasanpaşa garajına dönmelidir.

Beylikdüzü garaj kapasitesinin artması Avcılar, Edirnekapı ve Hasanpaşa garajlarından servise verilen otobüs sayılarının azalması anlamına gelmektedir. Çünkü 499 adetlik servis sayısının korunması için bu durumun gerçekleşmesi gerekmektedir.

Avcılar garajının 0 kilometre mesafede olduğu başlangıç noktası Avcılar’dır. Bu başlangıç noktası 34 ve 34AS numaralı hatların A noktasıdır. İlk hareketini Avcılar’dan yapacak olan bu hatların otobüsleri Avcılar garajından çıkarılmalıdır. 34 numaralı hattın sefer planı B noktasında yani Zincirlikuyu’da biten otobüsleri tekrar Avcılar garajına değil Zincirlikuyu’da önerilen parklanma alanına bırakılmalıdır. 34AS numaralı hattın B noktasında yani Söğütlüçeşme’de biten otobüsleri tekrar Avcılar garajına değil Hasanpaşa garajına bırakılmalıdır.

Edirnekapı garajının 0 kilometre mesafede olduğu başlangıç noktası Cevizlibağ’dır. Bu başlangıç noktası 34C numaralı hattın B noktasıdır. 34C numaralı hatta, ilk hareketini B noktasından yapan otobüs sayısı 42’dir. Mevcut durumda kapasitesi

224 olan Edirnekapı garajındaki bu önerilen düşüş ciddi bir düşüştür. Oluşan boşluklara toplu taşımacılıkta iç hatlarda hizmet veren otobüsler parklanabilir ve ilk hareketine Edirnekapı garajına yakın bir lokasyondan başlayan otobüslerin ölü kilometresi minimize edilebilir. Ancak yine de BRT otobüslerinden boş kalan tüm kapasite iç hatlara ayrılmamalıdır. Çünkü Zincirlikuyu’da önerilen yeni parklanma yerinin sisteme ilave edilmesi kolay değildir. İstanbul’un önemli akslarından olan D-100 yolunda viyadük üzerinde kurulu olan Zincirlikuyu istasyonuna yeni alan tahsis edilmesi zor bir iştir. Bunun yerine Zincirlikuyu’da mevcut durumdaki alana gece maksimum düzeyde otobüs parklandırılmalı ve ihtiyaç duyulan kalan otobüs bu noktaya en yakın garaj olan Edirnekapı garajından verilmelidir. 34C hattının ilk hareketini B noktasından yani Cevizlibağ’dan yapıp sefer planı A noktasında yani Beylikdüzü’nde biten otobüsler gün sonunda yolcusuz bir şekilde Edirnekapı garajına dönmek yerine Beylikdüzü garajında bırakılması tercih edilmelidir.

Zincirlikuyu’da önerilen parklanma alanının yapılması ya da yapılamayarak mevcut alanın maksimum düzeyde gece kullanımına açılması durumunda otobüsler burada parklanabilir. Önerilen bu parklanma noktasına en yakın başlangıç noktası 34 numaralı hattın B noktası, 34Z numaralı hattın A noktası olan Zincirlikuyu’dur. 34 numaralı hattın ilk hareketini B noktasından yapan otobüsleri Zincirlikuyu’da önerilen alandan verilmelidir. Bu hattın gün sonunda A noktasında yani Avcılar’da sefer planı biten otobüsleri yolcusuz bir şekilde Zincirlikuyu’da önerilen yeni alana dönmemelidirler. Bunun yerine bu noktaya 0 kilometre mesafede olan Avcılar garajına bırakılmalıdırlar. Aynı şekilde 34Z numaralı hattın ilk hareketini A noktasından yapan otobüsleri Zincirlikuyu’da önerilen alandan verilmelidirler. Bu hattın gün sonunda B noktasında yani Söğütluçeşme’de biten otobüsleri yolcusuz bir şekilde Zincirlikuyu’da önerilen yeni alana dönmemelidirler. Bunun yerine bu noktaya 0 kilometre mesafede olan Hasanpaşa garajına bırakılmalıdırlar.

0 kilometre esasına göre son olarak ilk hareketini 34G, 34AS ve 34Z numaralı hatların B noktası olan Söğütluçeşme’den yapan otobüsler bu noktaya 0 kilometre mesafede olan Hasanpaşa garajından atanmalıdırlar. Gün başında Söğütluçeşme’den başlayan ve Hasanpaşa garajından atanması önerilen 34G numaralı hattın sefer planı A

noktasında yani Beylikdüzü'nde biten otobüsleri yolcusuz bir şekilde Hasanpaşa garajına dönmemelidir. Bunun yerine bu hattın A noktasına 0 kilometre mesafede olan Beylikdüzü garajına bırakılmalıdırlar. Gün başında Söğütlüçeşme'den başlayan ve Hasanpaşa garajından atanması önerilen 34AS numaralı hattın sefer planı A noktasında yani Avcılar'da biten otobüsleri yolcusuz bir şekilde Hasanpaşa garajına dönmemelidir. Bunun yerine hattın A noktasına 0 kilometre mesafede olan Avcılar garajına bırakılmalıdırlar. Gün başında Söğütlüçeşme'den başlayan ve Hasanpaşa garajından atanması önerilen 34Z numaralı hattın sefer planı A noktası yani Zincirlikuyu'da biten otobüsleri yolcusuz bir şekilde Hasanpaşa garajına dönmemelidir. Bunun yerine A noktasına 0 kilometre mesafede olan önerilen Zincirlikuyu parklanma alanında bırakılmalıdırlar.

Yukarıdaki kısımlarda detayları verildiği üzere, Beylikdüzü garaj kapasitesinin artırılması, esnek parklanma modeline geçilmesi ve Zincirlikuyu'da yeni bir parklanma alanının oluşturulması durumunda ölü kilometreyi 0 kilometre düzeyine getirmek mümkündür. Bu şartların tamamen sağlanamaması durumunda, sağlandığı oranda ölü kilometrede azalma olacaktır. Bunun anlamı, bu şartlar gerçekleştirildiğinde oluşan değerin yapılan optimizasyon çalışması ile elde edilen değerden daha düşük bir değer olacağıdır.

EKLER

EK 1: Mevcut Durum Ölü Kilometresinin Hesaplanma Aşamaları

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{35} \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^2 x_{ijk} \cdot (d_{ijk} + e_{ijk}) = & 17 \times (21 + 10,1) + 10 \times (10,1 + 21) + 7 \times (0 + 0) \\ & + 0 \times (31,2 + 0) + 0 \times (10 + 10) + 0 \times (39,9 + 10) + 0 \times (42,5 + 13,1) + 0 \times (13,1 + 13,1) + 13 \times \\ & (21 + 10,1) + 14 \times (10,1 + 21) + 7 \times (0 + 0) + 0 \times (31,2 + 0) + 0 \times (10 + 10) + 0 \times (39,9 + 10) + 0 \\ & \times (42,5 + 13,1) + 0 \times (13,1 + 13,1) + 0 \times (2,4 + 2,4) + 0 \times (21,4 + 2,4) + 0 \times (19,9 + 19,9) + 0 \times \\ & (42,5 + 19,9) + 0 \times (28,6 + 28,6) + 0 \times (51,2 + 28,6) + 0 \times (24,1 + 0) + 0 \times (0 + 0) + 0 \times (2,4 + \\ & 2,4) + 0 \times (21,4 + 2,4) + 0 \times (19,9 + 19,9) + 0 \times (42,5 + 19,9) + 0 \times (28,6 + 28,6) + 0 \times (51,2 + \\ & 28,6) + 0 \times (24,1 + 0) + 0 \times (0 + 0) + 15 \times (22,3 + 22,3) + 0 \times (21,4 + 22,3) + 17 \times (0 + 0) + 0 \times \\ & (42,5 + 0) + 0 \times (10 + 10) + 0 \times (51,2 + 10) + 0 \times (42,5 + 0) + 10 \times (0 + 0) + 7 \times (22,3 + 21,4) + \\ & 8 \times (21,4 + 22,3) + 17 \times (0 + 0) + 0 \times (42,5 + 0) + 0 \times (10 + 10) + 0 \times (51,2 + 10) + 0 \times (42,5 + 0) \\ & + 10 \times (0 + 0) + 4 \times (31 + 10,1) + 1 \times (10,1 + 31) + 5 \times (10 + 10) + 0 \times (31,2 + 10) + 9 \times (0 + 0) \\ & + 0 \times (39,9 + 0) + 0 \times (51,2 + 13,1) + 4 \times (13,1 + 13,1) + 3 \times (31 + 10,1) + 2 \times (10,1 + 31) + 5 \times \\ & (10 + 10) + 0 \times (31,2 + 10) + 9 \times (0 + 0) + 0 \times (39,9 + 0) + 0 \times (51,2 + 13,1) + 4 \times (13,1 + 13,1) \\ & + 0 \times (31 + 0) + 28 \times (0 + 0) + 1 \times (10 + 10) + 8 \times (19,9 + 10) + 20 \times (0 + 0) + 0 \times (31 + 0) + 0 \times \\ & (51,2 + 24,1) + 0 \times (24,1 + 24,1) + 0 \times (31 + 0) + 28 \times (0 + 0) + 0 \times (10 + 10) + 9 \times (19,9 + 10) + \\ & 20 \times (0 + 0) + 0 \times (31 + 0) + 0 \times (51,2 + 24,1) + 0 \times (24,1 + 24,1) + 0 \times (31 + 21,4) + 0 \times (21,4 + \\ & 21,4) + 0 \times (10 + 10) + 0 \times (42,5 + 10) + 0 \times (0 + 0) + 0 \times (51,2 + 0) + 0 \times (51,2 + 0) + 0 \times (0 + \\ & 0) + 0 \times (31 + 21,4) + 0 \times (21,4 + 21,4) + 0 \times (10 + 10) + 0 \times (42,5 + 10) + 0 \times (0 + 0) + 0 \times (51,2 \\ & + 0) + 0 \times (51,2 + 0) + 0 \times (0 + 0) + 16 \times (10,1 + 21,4) + 0 \times (21,4 + 21,4) + 0 \times (31,2 + 31,2) + \\ & 0 \times (42,5 + 31,2) + 0 \times (39,9 + 39,9) + 0 \times (51,2 + 39,9) + 0 \times (13,1 + 0) + 27 \times (0 + 0) + 16 \times \\ & (10,1 + 21,4) + 0 \times (21,4 + 21,4) + 0 \times (31,2 + 31,2) + 0 \times (42,5 + 31,2) + 0 \times (39,9 + 39,9) + 0 \times \\ & (51,2 + 39,9) + 0 \times (13,1 + 0) + 27 \times (0 + 0) + 0 \times (21 + 10,1) + 0 \times (10,1 + 10,1) + 0 \times (0 + 0) + \\ & 0 \times (31,2 + 0) + 0 \times (10 + 10) + 0 \times (39,9 + 10) + 0 \times (42,5 + 13,1) + 0 \times (13,1 + 13,1) + 0 \times (21 \\ & + 10,1) + 0 \times (10,1 + 10,1) + 0 \times (0 + 0) + 0 \times (31,2 + 0) + 0 \times (10 + 10) + 0 \times (39,9 + 10) + 0 \times \\ & (42,5 + 13,1) + 0 \times (13,1 + 13,1) + 0 \times (2,4 + 2,4) + 0 \times (21,4 + 2,4) + 0 \times (19,9 + 19,9) + 0 \times \\ & (42,5 + 19,9) + 0 \times (28,6 + 28,6) + 0 \times (51,2 + 28,6) + 0 \times (24,1 + 0) + 0 \times (0 + 0) + 0 \times (2,4 + \\ & 2,4) + 0 \times (21,4 + 2,4) + 0 \times (19,9 + 19,9) + 0 \times (42,5 + 19,9) + 0 \times (28,6 + 28,6) + 0 \times (51,2 + \\ & 28,6) + 0 \times (24,1 + 0) + 0 \times (0 + 0) + 15 \times (22,3 + 21,4) + 0 \times (21,4 + 21,4) + 1 \times (0 + 0) + 0 \times \\ & (42,5 + 0) + 0 \times (10 + 10) + 0 \times (51,2 + 10) + 0 \times (42,5 + 0) + 12 \times (0 + 0) + 13 \times (22,3 + 22,3) + \\ & 2 \times (21,4 + 21,4) + 1 \times (0 + 0) + 0 \times (42,5 + 0) + 0 \times (10 + 10) + 0 \times (51,2 + 10) + 0 \times (42,5 + 0) \\ & + 12 \times (0 + 0) + 2 \times (31 + 10,1) + 1 \times (10,1 + 10,1) + 8 \times (10 + 10) + 0 \times (31,2 + 10) + 3 \times (0 + 0) \\ & + 0 \times (39,9 + 0) + 0 \times (51,2 + 13,1) + 0 \times (13,1 + 13,1) + 1 \times (31 + 10,1) + 2 \times (10,1 + 31) + 0 \times \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (10 + 10) + 8 \times (31,2 + 10) + 3 \times (0 + 0) + 0 \times (39,9 + 0) + 0 \times (51,2 + 13,1) + 0 \times (13,1 + 13,1) \\
& + 0 \times (31 + 0) + 0 \times (0 + 0) + 0 \times (10 + 10) + 0 \times (19,9 + 10) + 0 \times (0 + 0) + 0 \times (31 + 0) + 0 \times \\
& (51,2 + 24,1) + 0 \times (24,1 + 24,1) + 0 \times (31 + 0) + 0 \times (0 + 0) + 0 \times (10 + 10) + 0 \times (19,9 + 10) + \\
& 0 \times (0 + 0) + 0 \times (31 + 0) + 0 \times (51,2 + 24,1) + 0 \times (24,1 + 24,1) + 0 \times (31 + 21,4) + 0 \times (21,4 + \\
& 21,4) + 0 \times (10 + 10) + 0 \times (42,5 + 10) + 0 \times (0 + 0) + 0 \times (51,2 + 0) + 0 \times (51,2 + 0) + 0 \times (0 + \\
& 0) + 0 \times (31 + 21,4) + 0 \times (21,4 + 21,4) + 0 \times (10 + 10) + 0 \times (42,5 + 10) + 0 \times (0 + 0) + 0 \times (51,2 \\
& + 0) + 0 \times (51,2 + 0) + 0 \times (0 + 0) + 0 \times (10,1 + 21,4) + 0 \times (21,4 + 21,4) + 0 \times (31,2 + 31,2) + 0 \\
& \times (42,5 + 31,2) + 0 \times (39,9 + 39,9) + 0 \times (51,2 + 39,9) + 0 \times (13,1 + 0) + 0 \times (0 + 0) + 0 \times (10,1 + \\
& 21,4) + 0 \times (21,4 + 21,4) + 0 \times (31,2 + 31,2) + 0 \times (42,5 + 31,2) + 0 \times (39,9 + 39,9) + 0 \times (51,2 + \\
& 39,9) + 0 \times (13,1 + 0) + 0 \times (0 + 0) + 17 \times (21 + 10,1) + 0 \times (10,1 + 10,1) + 0 \times (0 + 0) + 0 \times (31,2 \\
& + 0) + 0 \times (10 + 10) + 0 \times (39,9 + 10) + 0 \times (42,5 + 13,1) + 4 \times (13,1 + 13,1) + 0 \times (2,4 + 2,4) + \\
& 0 \times (21,4 + 2,4) + 0 \times (19,9 + 19,9) + 0 \times (42,5 + 19,9) + 0 \times (28,6 + 28,6) + 0 \times (51,2 + 28,6) + \\
& 0 \times (24,1 + 0) + 0 \times (0 + 0) + 28 \times (22,3 + 22,3) + 0 \times (21,4 + 22,3) + 17 \times (0 + 0) + 0 \times (42,5 + \\
& 0) + 0 \times (10 + 10) + 0 \times (51,2 + 10) + 0 \times (42,5 + 0) + 37 \times (0 + 0) + 46 \times (31 + 10,1) + 4 \times (10,1 \\
& + 10,1) + 27 \times (10 + 10) + 0 \times (31,2 + 10) + 9 \times (0 + 0) + 0 \times (39,9 + 0) + 0 \times (51,2 + 13,1) + 30 \\
& \times (13,1 + 13,1) + 0 \times (31 + 0) + 6 \times (0 + 0) + 5 \times (10 + 10) + 0 \times (19,9 + 10) + 2 \times (0 + 0) + 0 \times \\
& (31 + 0) + 0 \times (51,2 + 24,1) + 0 \times (24,1 + 24,1) + 3 \times (31 + 21,4) + 4 \times (21,4 + 31) + 4 \times (10 + 10) \\
& + 0 \times (42,5 + 10) + 0 \times (0 + 0) + 0 \times (51,2 + 0) + 0 \times (51,2 + 0) + 4 \times (0 + 0) + 0 \times (10,1 + 21,4) \\
& + 0 \times (21,4 + 21,4) + 0 \times (31,2 + 31,2) + 0 \times (42,5 + 31,2) + 0 \times (39,9 + 39,9) + 0 \times (51,2 + 39,9) \\
& + 0 \times (13,1 + 0) + 11 \times (0 + 0)
\end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^{35} \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^2 x_{ijk} \cdot (d_{ijk} + e_{ijk}) = 13.123,50$$

EK 2: Model Amaç Fonksiyonu

$$\begin{aligned} \text{Min } Z_1 = & 31,1 x_{111} + 31,1 x_{112} + 0 x_{121} + 31,2 x_{122} + 20 x_{131} + 49,9 x_{132} + 55,6 x_{141} + 26,2 x_{142} + 31,1 x_{211} + 31,1 x_{212} + 0 x_{221} + 31,2 x_{222} + 20 x_{231} + 49,9 x_{232} + 55,6 x_{241} \\ & + 26,2 x_{242} + 4,8 x_{311} + 23,8 x_{312} + 39,8 x_{321} + 62,4 x_{322} + 57,2 x_{331} + 79,8 x_{332} + 24,1 x_{341} \\ & + 0 x_{342} + 4,8 x_{411} + 23,8 x_{412} + 39,8 x_{421} + 62,4 x_{422} + 57,2 x_{431} + 79,8 x_{432} + 24,1 x_{441} + 0 x_{442} + 44,6 x_{511} + 43,7 x_{512} + 0 x_{521} + 42,5 x_{522} + 20 x_{531} + 61,2 x_{532} + 42,5 x_{541} + 0 x_{542} \\ & + 43,7 x_{611} + 43,7 x_{612} + 0 x_{621} + 42,5 x_{622} + 20 x_{631} + 61,2 x_{632} + 42,5 x_{641} + 0 x_{642} + 41,1 x_{711} + 41,1 x_{712} + 20 x_{721} + 41,2 x_{722} + 0 x_{731} + 39,9 x_{732} + 64,3 x_{741} + 26,2 x_{742} + 41,1 x_{811} \\ & + 41,1 x_{812} + 20 x_{821} + 41,2 x_{822} + 0 x_{831} + 39,9 x_{832} + 64,3 x_{841} + 26,2 x_{842} + 31 x_{911} + 0 x_{912} + 20 x_{921} + 29,9 x_{922} + 0 x_{931} + 31 x_{932} + 75,3 x_{941} + 48,2 x_{942} + 31 x_{1011} + 0 x_{1012} + 20 x_{1021} + 29,9 x_{1022} + 0 x_{1031} + 31 x_{1032} + 75,3 x_{1041} + 48,2 x_{1042} + 52,4 x_{1111} + 42,8 x_{1112} \\ & + 20 x_{1121} + 52,5 x_{1122} + 0 x_{1131} + 51,2 x_{1132} + 51,2 x_{1141} + 0 x_{1142} + 52,4 x_{1211} + 42,8 x_{1212} + 20 x_{1221} + 52,5 x_{1222} + 0 x_{1231} + 51,2 x_{1232} + 51,2 x_{1241} + 0 x_{1242} + 31,5 x_{1311} + 42,8 x_{1312} \\ & + 62,4 x_{1321} + 73,7 x_{1322} + 79,8 x_{1331} + 91,1 x_{1332} + 13,1 x_{1341} + 0 x_{1342} + 31,5 x_{1411} + 42,8 x_{1412} + 62,4 x_{1421} + 73,7 x_{1422} + 79,8 x_{1431} + 91,1 x_{1432} + 13,1 x_{1441} + 0 x_{1442} + 31,1 x_{1511} + 20,2 x_{1512} + 0 x_{1521} + 31,2 x_{1522} + 20 x_{1531} + 49,9 x_{1532} + 55,6 x_{1541} + 26,2 x_{1542} + 31,1 x_{1611} \\ & + 20,2 x_{1612} + 0 x_{1621} + 31,2 x_{1622} + 20 x_{1631} + 49,9 x_{1632} + 55,6 x_{1641} + 26,2 x_{1642} + 4,8 x_{1711} + 23,8 x_{1712} + 39,8 x_{1721} + 62,4 x_{1722} + 57,2 x_{1731} + 79,8 x_{1732} + 24,1 x_{1741} + 0 x_{1742} + 4,8 x_{1811} + 23,8 x_{1812} + 39,8 x_{1821} + 62,4 x_{1822} + 57,2 x_{1831} + 79,8 x_{1832} + 24,1 x_{1841} + 0 x_{1842} + 43,7 x_{1911} + 42,8 x_{1912} + 0 x_{1921} + 42,5 x_{1922} + 20 x_{1931} + 61,2 x_{1932} + 42,5 x_{1941} + 0 x_{1942} + 44,6 x_{2011} + 42,8 x_{2012} + 0 x_{2021} + 42,5 x_{2022} + 20 x_{2031} + 61,2 x_{2032} + 42,5 x_{2041} + 0 x_{2042} + 41,1 x_{2111} + 20,2 x_{2112} + 20 x_{2121} + 41,2 x_{2122} + 0 x_{2131} + 39,9 x_{2132} + 64,3 x_{2141} + 26,2 x_{2142} + 41,1 x_{2211} + 41,1 x_{2212} + 20 x_{2221} + 41,2 x_{2222} + 0 x_{2231} + 39,9 x_{2232} + 64,3 x_{2241} + 26,2 x_{2242} + 31 x_{2311} + 0 x_{2312} + 20 x_{2321} + 29,9 x_{2322} + 0 x_{2331} + 31 x_{2332} + 75,3 x_{2341} + 48,2 x_{2342} + 31 x_{2411} + 0 x_{2412} + 20 x_{2421} + 29,9 x_{2422} + 0 x_{2431} + 31 x_{2432} + 75,3 x_{2441} + 48,2 x_{2442} + 52,4 x_{2511} + 42,8 x_{2512} + 20 x_{2521} + 52,5 x_{2522} + 0 x_{2531} + 51,2 x_{2532} + 51,2 x_{2541} + 0 x_{2542} + 52,4 x_{2611} + 42,8 x_{2612} + 20 x_{2621} + 52,5 x_{2622} + 0 x_{2631} + 51,2 x_{2632} + 51,2 x_{2641} + 0 x_{2642} + 31,5 x_{2711} + 42,8 x_{2712} + 62,4 x_{2721} + 73,7 x_{2722} + 79,8 x_{2731} + 91,1 x_{2732} + 13,1 x_{2741} + 0 x_{2742} + 31,5 x_{2811} + 42,8 x_{2812} + 62,4 x_{2821} + 73,7 x_{2822} + 79,8 x_{2831} + 91,1 x_{2832} + 13,1 x_{2841} + 0 x_{2842} + 31,1 x_{2911} + 20,2 x_{2912} + 0 x_{2921} + 31,2 x_{2922} + 20 x_{2931} + 49,9 x_{2932} + 55,6 x_{2941} + 26,2 x_{2942} + 4,8 x_{3011} + 23,8 x_{3012} + 39,8 x_{3021} + 62,4 x_{3022} + 57,2 x_{3031} + 79,8 x_{3032} + 24,1 x_{3041} + 0 x_{3042} + 44,6 x_{3111} + 43,7 x_{3112} + 0 x_{3121} + 42,5 x_{3122} + 20 x_{3131} + 61,2 x_{3132} + 42,5 x_{3141} + 0 x_{3142} + 41,1 x_{3211} + 20,2 x_{3212} + 20 x_{3221} + 41,2 x_{3222} + 0 x_{3231} + 39,9 x_{3232} + 64,3 x_{3241} + 26,2 x_{3242} + 31 x_{3311} + 0 x_{3312} + 20 x_{3321} + 29,9 x_{3322} + 0 x_{3331} + 31 x_{3332} + 75,3 x_{3341} + 48,2 x_{3342} + 52,4 x_{3411} + 52,4 x_{3412} + 20 x_{3421} + 52,5 x_{3422} + 0 x_{3431} + 51,2 x_{3432} + 51,2 x_{3441} + 0 x_{3442} + 31,5 x_{3511} + 42,8 x_{3512} + 62,4 x_{3521} + 73,7 x_{3522} + 79,8 x_{3531} + 91,1 x_{3532} + 13,1 x_{3541} + 0 x_{3542} \end{aligned}$$

EK 3: Başlangıç Noktalarından Başlayacak Otobüs Sayısı Kısıtı

$$\begin{aligned}X_{111} + X_{121} + X_{131} + X_{141} &= 24 \\X_{211} + X_{221} + X_{231} + X_{241} &= 20 \\X_{311} + X_{321} + X_{331} + X_{341} &= 0 \\X_{411} + X_{421} + X_{431} + X_{441} &= 0 \\X_{511} + X_{521} + X_{531} + X_{541} &= 32 \\X_{611} + X_{621} + X_{631} + X_{641} &= 24 \\X_{711} + X_{721} + X_{731} + X_{741} &= 18 \\X_{811} + X_{821} + X_{831} + X_{841} &= 17 \\X_{911} + X_{921} + X_{931} + X_{941} &= 21 \\X_{1011} + X_{1021} + X_{1031} + X_{1041} &= 20 \\X_{1111} + X_{1121} + X_{1131} + X_{1141} &= 0 \\X_{1211} + X_{1221} + X_{1231} + X_{1241} &= 0 \\X_{1311} + X_{1321} + X_{1331} + X_{1341} &= 16 \\X_{1411} + X_{1421} + X_{1431} + X_{1441} &= 16 \\X_{1511} + X_{1521} + X_{1531} + X_{1541} &= 0 \\X_{1611} + X_{1621} + X_{1631} + X_{1641} &= 0 \\X_{1711} + X_{1721} + X_{1731} + X_{1741} &= 0 \\X_{1811} + X_{1821} + X_{1831} + X_{1841} &= 0 \\X_{1911} + X_{1921} + X_{1931} + X_{1941} &= 16 \\X_{2011} + X_{2021} + X_{2031} + X_{2041} &= 14 \\X_{2111} + X_{2121} + X_{2131} + X_{2141} &= 13 \\X_{2211} + X_{2221} + X_{2231} + X_{2241} &= 4 \\X_{2311} + X_{2321} + X_{2331} + X_{2341} &= 0 \\X_{2411} + X_{2421} + X_{2431} + X_{2441} &= 0 \\X_{2511} + X_{2521} + X_{2531} + X_{2541} &= 0 \\X_{2611} + X_{2621} + X_{2631} + X_{2641} &= 0 \\X_{2711} + X_{2721} + X_{2731} + X_{2741} &= 0 \\X_{2811} + X_{2821} + X_{2831} + X_{2841} &= 0 \\X_{2911} + X_{2921} + X_{2931} + X_{2941} &= 17 \\X_{3011} + X_{3021} + X_{3031} + X_{3041} &= 0 \\X_{3111} + X_{3121} + X_{3131} + X_{3141} &= 45 \\X_{3211} + X_{3221} + X_{3231} + X_{3241} &= 82 \\X_{3311} + X_{3321} + X_{3331} + X_{3341} &= 7 \\X_{3411} + X_{3421} + X_{3431} + X_{3441} &= 7 \\X_{3511} + X_{3521} + X_{3531} + X_{3541} &= 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}X_{112} + X_{122} + X_{132} + X_{142} &= 10 \\X_{212} + X_{222} + X_{232} + X_{242} &= 14 \\X_{312} + X_{322} + X_{332} + X_{342} &= 0 \\X_{412} + X_{422} + X_{432} + X_{442} &= 0 \\X_{512} + X_{522} + X_{532} + X_{542} &= 10 \\X_{612} + X_{622} + X_{632} + X_{642} &= 18 \\X_{712} + X_{722} + X_{732} + X_{742} &= 5 \\X_{812} + X_{822} + X_{832} + X_{842} &= 6 \\X_{912} + X_{922} + X_{932} + X_{942} &= 36 \\X_{1012} + X_{1022} + X_{1032} + X_{1042} &= 37 \\X_{1112} + X_{1122} + X_{1132} + X_{1142} &= 0 \\X_{1212} + X_{1222} + X_{1232} + X_{1242} &= 0 \\X_{1312} + X_{1322} + X_{1332} + X_{1342} &= 27 \\X_{1412} + X_{1422} + X_{1432} + X_{1442} &= 27 \\X_{1512} + X_{1522} + X_{1532} + X_{1542} &= 0 \\X_{1612} + X_{1622} + X_{1632} + X_{1642} &= 0 \\X_{1712} + X_{1722} + X_{1732} + X_{1742} &= 0 \\X_{1812} + X_{1822} + X_{1832} + X_{1842} &= 0 \\X_{1912} + X_{1922} + X_{1932} + X_{1942} &= 12 \\X_{2012} + X_{2022} + X_{2032} + X_{2042} &= 14 \\X_{2112} + X_{2122} + X_{2132} + X_{2142} &= 1 \\X_{2212} + X_{2222} + X_{2232} + X_{2242} &= 10 \\X_{2312} + X_{2322} + X_{2332} + X_{2342} &= 0 \\X_{2412} + X_{2422} + X_{2432} + X_{2442} &= 0 \\X_{2512} + X_{2522} + X_{2532} + X_{2542} &= 0 \\X_{2612} + X_{2622} + X_{2632} + X_{2642} &= 0 \\X_{2712} + X_{2722} + X_{2732} + X_{2742} &= 0 \\X_{2812} + X_{2822} + X_{2832} + X_{2842} &= 0 \\X_{2912} + X_{2922} + X_{2932} + X_{2942} &= 4 \\X_{3012} + X_{3022} + X_{3032} + X_{3042} &= 0 \\X_{3112} + X_{3122} + X_{3132} + X_{3142} &= 37 \\X_{3212} + X_{3222} + X_{3232} + X_{3242} &= 34 \\X_{3312} + X_{3322} + X_{3332} + X_{3342} &= 6 \\X_{3412} + X_{3422} + X_{3432} + X_{3442} &= 8 \\X_{3512} + X_{3522} + X_{3532} + X_{3542} &= 11\end{aligned}$$

EK 4: Garaj Kapasite Kısıtı

$$\begin{aligned} &X_{111} + X_{112} + X_{311} + X_{312} + X_{511} + X_{512} + X_{711} + X_{712} + X_{911} + X_{912} + X_{1111} + X_{1112} + X_{1311} + \\ &X_{1312} + X_{1511} + X_{1512} + X_{1711} + X_{1712} + X_{1911} + X_{1912} + X_{2111} + X_{2112} + X_{2311} + X_{2312} + X_{2511} + \\ &X_{2512} + X_{2711} + X_{2712} + X_{2911} + X_{2912} + X_{3011} + X_{3012} + X_{3111} + X_{3112} + X_{3211} + X_{3212} + X_{3311} + \\ &X_{3312} + X_{3411} + X_{3412} + X_{3511} + X_{3512} \leq 224 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &X_{211} + X_{212} + X_{411} + X_{412} + X_{611} + X_{612} + X_{811} + X_{812} + X_{1011} + X_{1012} + X_{1211} + X_{1212} + X_{1411} + \\ &X_{1412} + X_{1611} + X_{1612} + X_{1811} + X_{1812} + X_{2011} + X_{2012} + X_{2211} + X_{2212} + X_{2411} + X_{2412} + X_{2611} + \\ &X_{2612} + X_{2811} + X_{2812} + X_{2911} + X_{2912} + X_{3011} + X_{3012} + X_{3111} + X_{3112} + X_{3211} + X_{3212} + X_{3311} + \\ &X_{3312} + X_{3411} + X_{3412} + X_{3511} + X_{3512} \leq 224 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &X_{121} + X_{122} + X_{321} + X_{322} + X_{521} + X_{522} + X_{721} + X_{722} + X_{921} + X_{922} + X_{1121} + X_{1122} + X_{1321} + \\ &X_{1322} + X_{1521} + X_{1522} + X_{1721} + X_{1722} + X_{1921} + X_{1922} + X_{2121} + X_{2122} + X_{2321} + X_{2322} + X_{2521} + \\ &X_{2522} + X_{2721} + X_{2722} + X_{2921} + X_{2922} + X_{3021} + X_{3022} + X_{3121} + X_{3122} + X_{3221} + X_{3222} + X_{3321} + \\ &X_{3322} + X_{3421} + X_{3422} + X_{3521} + X_{3522} \leq 101 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &X_{221} + X_{222} + X_{421} + X_{422} + X_{621} + X_{622} + X_{821} + X_{822} + X_{1021} + X_{1022} + X_{1221} + X_{1222} + X_{1421} + \\ &X_{1422} + X_{1621} + X_{1622} + X_{1821} + X_{1822} + X_{2021} + X_{2022} + X_{2221} + X_{2222} + X_{2421} + X_{2422} + X_{2621} + \\ &X_{2622} + X_{2821} + X_{2822} + X_{2921} + X_{2922} + X_{3021} + X_{3022} + X_{3121} + X_{3122} + X_{3221} + X_{3222} + X_{3321} + \\ &X_{3322} + X_{3421} + X_{3422} + X_{3521} + X_{3522} \leq 101 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &X_{131} + X_{132} + X_{331} + X_{332} + X_{531} + X_{532} + X_{731} + X_{732} + X_{931} + X_{932} + X_{1131} + X_{1132} + X_{1331} + \\ &X_{1332} + X_{1531} + X_{1532} + X_{1731} + X_{1732} + X_{1931} + X_{1932} + X_{2131} + X_{2132} + X_{2331} + X_{2332} + X_{2531} + \\ &X_{2532} + X_{2731} + X_{2732} + X_{2931} + X_{2932} + X_{3031} + X_{3032} + X_{3131} + X_{3132} + X_{3231} + X_{3232} + X_{3331} + \\ &X_{3332} + X_{3431} + X_{3432} + X_{3531} + X_{3532} \leq 40 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &X_{231} + X_{232} + X_{431} + X_{432} + X_{631} + X_{632} + X_{831} + X_{832} + X_{1031} + X_{1032} + X_{1231} + X_{1232} + X_{1431} + \\ &X_{1432} + X_{1631} + X_{1632} + X_{1831} + X_{1832} + X_{2031} + X_{2032} + X_{2231} + X_{2232} + X_{2431} + X_{2432} + X_{2631} + \\ &X_{2632} + X_{2831} + X_{2832} + X_{2931} + X_{2932} + X_{3031} + X_{3032} + X_{3131} + X_{3132} + X_{3231} + X_{3232} + X_{3331} + \\ &X_{3332} + X_{3431} + X_{3432} + X_{3531} + X_{3532} \leq 40 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &X_{141} + X_{142} + X_{341} + X_{342} + X_{541} + X_{542} + X_{741} + X_{742} + X_{941} + X_{942} + X_{1141} + X_{1142} + X_{1341} + \\ &X_{1342} + X_{1541} + X_{1542} + X_{1741} + X_{1742} + X_{1941} + X_{1942} + X_{2141} + X_{2142} + X_{2341} + X_{2342} + X_{2541} + \\ &X_{2542} + X_{2741} + X_{2742} + X_{2941} + X_{2942} + X_{3041} + X_{3042} + X_{3141} + X_{3142} + X_{3241} + X_{3242} + X_{3341} + \\ &X_{3342} + X_{3441} + X_{3442} + X_{3541} + X_{3542} \leq 140 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &X_{241} + X_{242} + X_{441} + X_{442} + X_{641} + X_{642} + X_{841} + X_{842} + X_{1041} + X_{1042} + X_{1241} + X_{1242} + X_{1441} + \\ &X_{1442} + X_{1641} + X_{1642} + X_{1841} + X_{1842} + X_{2041} + X_{2042} + X_{2241} + X_{2242} + X_{2441} + X_{2442} + X_{2641} + \\ &X_{2642} + X_{2841} + X_{2842} + X_{2941} + X_{2942} + X_{3041} + X_{3042} + X_{3141} + X_{3142} + X_{3241} + X_{3242} + X_{3341} + \\ &X_{3342} + X_{3441} + X_{3442} + X_{3541} + X_{3542} \leq 140 \end{aligned}$$

**EK 5: Uç Noktalardaki Garajlardan Uç Noktalardaki Başlangıç Noktalarına
Otobüs Göndermeme Kısıtı**

$$\begin{aligned}x_{141} &= 0 \\x_{241} &= 0 \\x_{322} &= 0 & x_{332} &= 0 \\x_{422} &= 0 & x_{432} &= 0 \\x_{522} &= 0 & x_{532} &= 0 & x_{541} &= 0 \\x_{622} &= 0 & x_{632} &= 0 & x_{641} &= 0 \\x_{741} &= 0 \\x_{841} &= 0 \\x_{941} &= 0 \\x_{1041} &= 0 \\x_{1122} &= 0 & x_{1132} &= 0 & x_{1141} &= 0 \\x_{1222} &= 0 & x_{1232} &= 0 & x_{1241} &= 0 \\x_{1322} &= 0 & x_{1332} &= 0 \\x_{1422} &= 0 & x_{1432} &= 0 \\x_{1541} &= 0 \\x_{1641} &= 0 \\x_{1722} &= 0 & x_{1732} &= 0 \\x_{1822} &= 0 & x_{1832} &= 0 \\x_{1922} &= 0 & x_{1932} &= 0 & x_{1941} &= 0 \\x_{2022} &= 0 & x_{2032} &= 0 & x_{2041} &= 0 \\x_{2141} &= 0 \\x_{2241} &= 0 \\x_{2341} &= 0 \\x_{2441} &= 0 \\x_{2522} &= 0 & x_{2532} &= 0 & x_{2541} &= 0 \\x_{2622} &= 0 & x_{2632} &= 0 & x_{2641} &= 0 \\x_{2722} &= 0 & x_{2732} &= 0 \\x_{2822} &= 0 & x_{2832} &= 0 \\x_{2941} &= 0 \\x_{3022} &= 0 & x_{3032} &= 0 \\x_{3122} &= 0 & x_{3132} &= 0 & x_{3141} &= 0 \\x_{3241} &= 0 \\x_{3341} &= 0 \\x_{3422} &= 0 & x_{3432} &= 0 & x_{3441} &= 0 \\x_{3522} &= 0 & x_{3532} &= 0\end{aligned}$$

**EK 6: Dinlenmeli Ve Gareli Çalışan Otobüslerin Sabah Ve Akşam
Garajlarından Çıkış Eşitliğini Sağlayan Kısıt**

$$\begin{array}{ll}
 X_{111} + X_{112} - X_{211} - X_{212} = 0 & X_{1511} + X_{1512} - X_{1611} - X_{1612} = 0 \\
 X_{121} + X_{122} - X_{221} - X_{222} = 0 & X_{1521} + X_{1522} - X_{1621} - X_{1622} = 0 \\
 X_{131} + X_{132} - X_{231} - X_{232} = 0 & X_{1531} + X_{1532} - X_{1631} - X_{1632} = 0 \\
 X_{141} + X_{142} - X_{241} - X_{242} = 0 & X_{1541} + X_{1542} - X_{1641} - X_{1642} = 0 \\
 X_{311} + X_{312} - X_{411} - X_{412} = 0 & X_{1711} + X_{1712} - X_{1811} - X_{1812} = 0 \\
 X_{321} + X_{322} - X_{421} - X_{422} = 0 & X_{1721} + X_{1722} - X_{1821} - X_{1822} = 0 \\
 X_{331} + X_{332} - X_{431} - X_{432} = 0 & X_{1731} + X_{1732} - X_{1831} - X_{1832} = 0 \\
 X_{341} + X_{342} - X_{441} - X_{442} = 0 & X_{1741} + X_{1742} - X_{1841} - X_{1842} = 0 \\
 X_{511} + X_{512} - X_{611} - X_{612} = 0 & X_{1911} + X_{1912} - X_{2011} - X_{2012} = 0 \\
 X_{521} + X_{522} - X_{621} - X_{622} = 0 & X_{1921} + X_{1922} - X_{2021} - X_{2022} = 0 \\
 X_{531} + X_{532} - X_{631} - X_{632} = 0 & X_{1931} + X_{1932} - X_{2031} - X_{2032} = 0 \\
 X_{541} + X_{542} - X_{641} - X_{642} = 0 & X_{1941} + X_{1942} - X_{2041} - X_{2042} = 0 \\
 X_{711} + X_{712} - X_{811} - X_{812} = 0 & X_{2111} + X_{2112} - X_{2211} - X_{2212} = 0 \\
 X_{721} + X_{722} - X_{821} - X_{822} = 0 & X_{2121} + X_{2122} - X_{2221} - X_{2222} = 0 \\
 X_{731} + X_{732} - X_{831} - X_{832} = 0 & X_{2131} + X_{2132} - X_{2231} - X_{2232} = 0 \\
 X_{741} + X_{742} - X_{841} - X_{842} = 0 & X_{2141} + X_{2142} - X_{2241} - X_{2242} = 0 \\
 X_{911} + X_{912} - X_{1011} - X_{1012} = 0 & X_{2311} + X_{2312} - X_{2411} - X_{2412} = 0 \\
 X_{921} + X_{922} - X_{1021} - X_{1022} = 0 & X_{2321} + X_{2322} - X_{2421} - X_{2422} = 0 \\
 X_{931} + X_{932} - X_{1031} - X_{1032} = 0 & X_{2331} + X_{2332} - X_{2431} - X_{2432} = 0 \\
 X_{941} + X_{942} - X_{1041} - X_{1042} = 0 & X_{2341} + X_{2342} - X_{2441} - X_{2442} = 0 \\
 X_{1111} + X_{1112} - X_{1211} - X_{1212} = 0 & X_{2511} + X_{2512} - X_{2611} - X_{2612} = 0 \\
 X_{1121} + X_{1122} - X_{1221} - X_{1222} = 0 & X_{2521} + X_{2522} - X_{2621} - X_{2622} = 0 \\
 X_{1131} + X_{1132} - X_{1231} - X_{1232} = 0 & X_{2531} + X_{2532} - X_{2631} - X_{2632} = 0 \\
 X_{1141} + X_{1142} - X_{1241} - X_{1242} = 0 & X_{2541} + X_{2542} - X_{2641} - X_{2642} = 0 \\
 X_{1311} + X_{1312} - X_{1411} - X_{1412} = 0 & X_{2711} + X_{2712} - X_{2811} - X_{2812} = 0 \\
 X_{1321} + X_{1322} - X_{1421} - X_{1422} = 0 & X_{2721} + X_{2722} - X_{2821} - X_{2822} = 0 \\
 X_{1331} + X_{1332} - X_{1431} - X_{1432} = 0 & X_{2731} + X_{2732} - X_{2831} - X_{2832} = 0 \\
 X_{1341} + X_{1342} - X_{1441} - X_{1442} = 0 & X_{2741} + X_{2742} - X_{2841} - X_{2842} = 0
 \end{array}$$

EK 7: Pozitiflik Kısıtı

X111	≥	0	X611	≥	0	X1111	≥	0	X1611	≥	0	X2111	≥	0	X2611	≥	0	X3111	≥	0
X112	≥	0	X612	≥	0	X1112	≥	0	X1612	≥	0	X2112	≥	0	X2612	≥	0	X3112	≥	0
X121	≥	0	X621	≥	0	X1121	≥	0	X1621	≥	0	X2121	≥	0	X2621	≥	0	X3121	≥	0
X122	≥	0	X622	≥	0	X1122	≥	0	X1622	≥	0	X2122	≥	0	X2622	≥	0	X3122	≥	0
X131	≥	0	X631	≥	0	X1131	≥	0	X1631	≥	0	X2131	≥	0	X2631	≥	0	X3131	≥	0
X132	≥	0	X632	≥	0	X1132	≥	0	X1632	≥	0	X2132	≥	0	X2632	≥	0	X3132	≥	0
X141	≥	0	X641	≥	0	X1141	≥	0	X1641	≥	0	X2141	≥	0	X2641	≥	0	X3141	≥	0
X142	≥	0	X642	≥	0	X1142	≥	0	X1642	≥	0	X2142	≥	0	X2642	≥	0	X3142	≥	0
X211	≥	0	X711	≥	0	X1211	≥	0	X1711	≥	0	X2211	≥	0	X2711	≥	0	X3211	≥	0
X212	≥	0	X712	≥	0	X1212	≥	0	X1712	≥	0	X2212	≥	0	X2712	≥	0	X3212	≥	0
X221	≥	0	X721	≥	0	X1221	≥	0	X1721	≥	0	X2221	≥	0	X2721	≥	0	X3221	≥	0
X222	≥	0	X722	≥	0	X1222	≥	0	X1722	≥	0	X2222	≥	0	X2722	≥	0	X3222	≥	0
X231	≥	0	X731	≥	0	X1231	≥	0	X1731	≥	0	X2231	≥	0	X2731	≥	0	X3231	≥	0
X232	≥	0	X732	≥	0	X1232	≥	0	X1732	≥	0	X2232	≥	0	X2732	≥	0	X3232	≥	0
X241	≥	0	X741	≥	0	X1241	≥	0	X1741	≥	0	X2241	≥	0	X2741	≥	0	X3241	≥	0
X242	≥	0	X742	≥	0	X1242	≥	0	X1742	≥	0	X2242	≥	0	X2742	≥	0	X3242	≥	0
X311	≥	0	X811	≥	0	X1311	≥	0	X1811	≥	0	X2311	≥	0	X2811	≥	0	X3311	≥	0
X312	≥	0	X812	≥	0	X1312	≥	0	X1812	≥	0	X2312	≥	0	X2812	≥	0	X3312	≥	0
X321	≥	0	X821	≥	0	X1321	≥	0	X1821	≥	0	X2321	≥	0	X2821	≥	0	X3321	≥	0
X322	≥	0	X822	≥	0	X1322	≥	0	X1822	≥	0	X2322	≥	0	X2822	≥	0	X3322	≥	0
X331	≥	0	X831	≥	0	X1331	≥	0	X1831	≥	0	X2331	≥	0	X2831	≥	0	X3331	≥	0
X332	≥	0	X832	≥	0	X1332	≥	0	X1832	≥	0	X2332	≥	0	X2832	≥	0	X3332	≥	0
X341	≥	0	X841	≥	0	X1341	≥	0	X1841	≥	0	X2341	≥	0	X2841	≥	0	X3341	≥	0
X342	≥	0	X842	≥	0	X1342	≥	0	X1842	≥	0	X2342	≥	0	X2842	≥	0	X3342	≥	0
X411	≥	0	X911	≥	0	X1411	≥	0	X1911	≥	0	X2411	≥	0	X2911	≥	0	X3411	≥	0
X412	≥	0	X912	≥	0	X1412	≥	0	X1912	≥	0	X2412	≥	0	X2912	≥	0	X3412	≥	0
X421	≥	0	X921	≥	0	X1421	≥	0	X1921	≥	0	X2421	≥	0	X2921	≥	0	X3421	≥	0
X422	≥	0	X922	≥	0	X1422	≥	0	X1922	≥	0	X2422	≥	0	X2922	≥	0	X3422	≥	0
X431	≥	0	X931	≥	0	X1431	≥	0	X1931	≥	0	X2431	≥	0	X2931	≥	0	X3431	≥	0
X432	≥	0	X932	≥	0	X1432	≥	0	X1932	≥	0	X2432	≥	0	X2932	≥	0	X3432	≥	0
X441	≥	0	X941	≥	0	X1441	≥	0	X1941	≥	0	X2441	≥	0	X2941	≥	0	X3441	≥	0
X442	≥	0	X942	≥	0	X1442	≥	0	X1942	≥	0	X2442	≥	0	X2942	≥	0	X3442	≥	0
X511	≥	0	X1011	≥	0	X1511	≥	0	X2011	≥	0	X2511	≥	0	X3011	≥	0	X3511	≥	0
X512	≥	0	X1012	≥	0	X1512	≥	0	X2012	≥	0	X2512	≥	0	X3012	≥	0	X3512	≥	0
X521	≥	0	X1021	≥	0	X1521	≥	0	X2021	≥	0	X2521	≥	0	X3021	≥	0	X3521	≥	0
X522	≥	0	X1022	≥	0	X1522	≥	0	X2022	≥	0	X2522	≥	0	X3022	≥	0	X3522	≥	0
X531	≥	0	X1031	≥	0	X1531	≥	0	X2031	≥	0	X2531	≥	0	X3031	≥	0	X3531	≥	0
X532	≥	0	X1032	≥	0	X1532	≥	0	X2032	≥	0	X2532	≥	0	X3032	≥	0	X3532	≥	0
X541	≥	0	X1041	≥	0	X1541	≥	0	X2041	≥	0	X2541	≥	0	X3041	≥	0	X3541	≥	0
X542	≥	0	X1042	≥	0	X1542	≥	0	X2042	≥	0	X2542	≥	0	X3042	≥	0	X3542	≥	0

EK 8: Tam Sayı Olma Kısıtı

[illegible]

EK 9: BRT Sistemi Ölü Kilometre Optimizasyon Modelinin LINDO 6.1 Programı İle Modellenmesi

MIN 31.1 x111 + 31.1 x112 + 0 x121 + 31.2 x122 + 20 x131 + 49.9 x132 + 55.6 x141 + 26.2 x142 + 31.1 x211 + 31.1 x212 + 0 x221 + 31.2 x222 + 20 x231 + 49.9 x232 + 55.6 x241 + 26.2 x242 + 4.8 x311 + 23.8 x312 + 39.8 x321 + 62.4 x322 + 57.2 x331 + 79.8 x332 + 24.1 x341 + 0 x342 + 4.8 x411 + 23.8 x412 + 39.8 x421 + 62.4 x422 + 57.2 x431 + 79.8 x432 + 24.1 x441 + 0 x442 + 44.6 x511 + 43.7 x512 + 0 x521 + 42.5 x522 + 20 x531 + 61.2 x532 + 42.5 x541 + 0 x542 + 43.7 x611 + 43.7 x612 + 0 x621 + 42.5 x622 + 20 x631 + 61.2 x632 + 42.5 x641 + 0 x642 + 41.1 x711 + 41.1 x712 + 20 x721 + 41.2 x722 + 0 x731 + 39.9 x732 + 64.3 x741 + 26.2 x742 + 41.1 x811 + 41.1 x812 + 20 x821 + 41.2 x822 + 0 x831 + 39.9 x832 + 64.3 x841 + 26.2 x842 + 31 x911 + 0 x912 + 20 x921 + 29.9 x922 + 0 x931 + 31 x932 + 75.3 x941 + 48.2 x942 + 31 x1011 + 0 x1012 + 20 x1021 + 29.9 x1022 + 0 x1031 + 31 x1032 + 75.3 x1041 + 48.2 x1042 + 52.4 x1111 + 42.8 x1112 + 20 x1121 + 52.5 x1122 + 0 x1131 + 51.2 x1132 + 51.2 x1141 + 0 x1142 + 52.4 x1211 + 42.8 x1212 + 20 x1221 + 52.5 x1222 + 0 x1231 + 51.2 x1232 + 51.2 x1241 + 0 x1242 + 31.5 x1311 + 42.8 x1312 + 62.4 x1321 + 73.7 x1322 + 79.8 x1331 + 91.1 x1332 + 13.1 x1341 + 0 x1342 + 31.5 x1411 + 42.8 x1412 + 62.4 x1421 + 73.7 x1422 + 79.8 x1431 + 91.1 x1432 + 13.1 x1441 + 0 x1442 + 31.1 x1511 + 20.2 x1512 + 0 x1521 + 31.2 x1522 + 20 x1531 + 49.9 x1532 + 55.6 x1541 + 26.2 x1542 + 31.1 x1611 + 20.2 x1612 + 0 x1621 + 31.2 x1622 + 20 x1631 + 49.9 x1632 + 55.6 x1641 + 26.2 x1642 + 4.8 x1711 + 23.8 x1712 + 39.8 x1721 + 62.4 x1722 + 57.2 x1731 + 79.8 x1732 + 24.1 x1741 + 0 x1742 + 4.8 x1811 + 23.8 x1812 + 39.8 x1821 + 62.4 x1822 + 57.2 x1831 + 79.8 x1832 + 24.1 x1841 + 0 x1842 + 43.7 x1911 + 42.8 x1912 + 0 x1921 + 42.5 x1922 + 20 x1931 + 61.2 x1932 + 42.5 x1941 + 0 x1942 + 44.6 x2011 + 42.8 x2012 + 0 x2021 + 42.5 x2022 + 20 x2031 + 61.2 x2032 + 42.5 x2041 + 0 x2042 + 41.1 x2111 + 20.2 x2112 + 20 x2121 + 41.2 x2122 + 0 x2131 + 39.9 x2132 + 64.3 x2141 + 26.2 x2142 + 41.1 x2211 + 41.1 x2212 + 20 x2221 + 41.2 x2222 + 0 x2231 + 39.9 x2232 + 64.3 x2241 + 26.2 x2242 + 31 x2311 + 0 x2312 + 20 x2321 + 29.9 x2322 + 0 x2331 + 31 x2332 + 75.3 x2341 + 48.2 x2342 + 31 x2411 + 0 x2412 + 20 x2421 + 29.9 x2422 + 0 x2431 + 31 x2432 + 75.3 x2441 + 48.2 x2442 + 52.4 x2511 + 42.8 x2512 + 20 x2521 + 52.5 x2522 + 0 x2531 + 51.2 x2532 + 51.2 x2541 + 0 x2542 + 52.4 x2611 + 42.8 x2612 + 20 x2621 + 52.5 x2622 + 0 x2631 + 51.2 x2632 + 51.2 x2641 + 0 x2642 + 31.5 x2711 + 42.8 x2712 + 62.4 x2721 + 73.7 x2722 + 79.8 x2731 + 91.1 x2732 + 13.1 x2741 + 0 x2742 + 31.5 x2811 + 42.8 x2812 + 62.4 x2821 + 73.7 x2822 + 79.8 x2831 + 91.1 x2832 + 13.1 x2841 + 0 x2842 + 31.1 x2911 + 20.2 x2912 + 0 x2921 + 31.2 x2922 + 20 x2931 + 49.9 x2932 + 55.6 x2941 + 26.2 x2942 + 4.8 x3011 + 23.8 x3012 + 39.8 x3021 + 62.4 x3022 + 57.2 x3031 + 79.8 x3032 + 24.1 x3041 + 0 x3042 + 44.6 x3111 + 43.7 x3112 + 0 x3121 + 42.5 x3122 + 20 x3131 + 61.2 x3132 + 42.5 x3141 + 0 x3142 + 41.1 x3211 + 20.2 x3212 + 20 x3221 + 41.2 x3222 + 0 x3231 + 39.9 x3232 + 64.3 x3241 + 26.2 x3242 + 31 x3311 + 0 x3312 + 20 x3321 + 29.9 x3322 + 0 x3331 + 31 x3332 + 75.3 x3341 + 48.2 x3342 + 52.4 x3411 + 52.4 x3412 + 20 x3421 + 52.5 x3422 + 0 x3431 + 51.2 x3432 + 51.2 x3441 + 0 x3442 + 31.5 x3511 + 42.8 x3512 + 62.4 x3521 + 73.7 x3522 + 79.8 x3531 + 91.1 x3532 + 13.1 x3541 + 0 x3542

st

$$\begin{aligned}
&x_{111} + x_{121} + x_{131} + x_{141} = 24 \\
&x_{211} + x_{221} + x_{231} + x_{241} = 20 \\
&x_{311} + x_{321} + x_{331} + x_{341} = 0 \\
&x_{411} + x_{421} + x_{431} + x_{441} = 0 \\
&x_{511} + x_{521} + x_{531} + x_{541} = 32 \\
&x_{611} + x_{621} + x_{631} + x_{641} = 24 \\
&x_{711} + x_{721} + x_{731} + x_{741} = 18 \\
&x_{811} + x_{821} + x_{831} + x_{841} = 17 \\
&x_{911} + x_{921} + x_{931} + x_{941} = 21 \\
&x_{1011} + x_{1021} + x_{1031} + x_{1041} = 20 \\
&x_{1111} + x_{1121} + x_{1131} + x_{1141} = 0 \\
&x_{1211} + x_{1221} + x_{1231} + x_{1241} = 0 \\
&x_{1311} + x_{1321} + x_{1331} + x_{1341} = 16 \\
&x_{1411} + x_{1421} + x_{1431} + x_{1441} = 16 \\
&x_{1511} + x_{1521} + x_{1531} + x_{1541} = 0 \\
&x_{1611} + x_{1621} + x_{1631} + x_{1641} = 0 \\
&x_{1711} + x_{1721} + x_{1731} + x_{1741} = 0 \\
&x_{1811} + x_{1821} + x_{1831} + x_{1841} = 0 \\
&x_{1911} + x_{1921} + x_{1931} + x_{1941} = 16 \\
&x_{2011} + x_{2021} + x_{2031} + x_{2041} = 14 \\
&x_{2111} + x_{2121} + x_{2131} + x_{2141} = 13 \\
&x_{2211} + x_{2221} + x_{2231} + x_{2241} = 4 \\
&x_{2311} + x_{2321} + x_{2331} + x_{2341} = 0 \\
&x_{2411} + x_{2421} + x_{2431} + x_{2441} = 0 \\
&x_{2511} + x_{2521} + x_{2531} + x_{2541} = 0 \\
&x_{2611} + x_{2621} + x_{2631} + x_{2641} = 0 \\
&x_{2711} + x_{2721} + x_{2731} + x_{2741} = 0 \\
&x_{2811} + x_{2821} + x_{2831} + x_{2841} = 0 \\
&x_{2911} + x_{2921} + x_{2931} + x_{2941} = 17 \\
&x_{3011} + x_{3021} + x_{3031} + x_{3041} = 0 \\
&x_{3111} + x_{3121} + x_{3131} + x_{3141} = 45 \\
&x_{3211} + x_{3221} + x_{3231} + x_{3241} = 82 \\
&x_{3311} + x_{3321} + x_{3331} + x_{3341} = 7 \\
&x_{3411} + x_{3421} + x_{3431} + x_{3441} = 7 \\
&x_{3511} + x_{3521} + x_{3531} + x_{3541} = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&x_{112} + x_{122} + x_{132} + x_{142} = 10 \\
&x_{212} + x_{222} + x_{232} + x_{242} = 14 \\
&x_{312} + x_{322} + x_{332} + x_{342} = 0 \\
&x_{412} + x_{422} + x_{432} + x_{442} = 0 \\
&x_{512} + x_{522} + x_{532} + x_{542} = 10 \\
&x_{612} + x_{622} + x_{632} + x_{642} = 18 \\
&x_{712} + x_{722} + x_{732} + x_{742} = 5 \\
&x_{812} + x_{822} + x_{832} + x_{842} = 6 \\
&x_{912} + x_{922} + x_{932} + x_{942} = 36 \\
&x_{1012} + x_{1022} + x_{1032} + x_{1042} = 37
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& x_{1112} + x_{1122} + x_{1132} + x_{1142} = 0 \\
& x_{1212} + x_{1222} + x_{1232} + x_{1242} = 0 \\
& x_{1312} + x_{1322} + x_{1332} + x_{1342} = 27 \\
& x_{1412} + x_{1422} + x_{1432} + x_{1442} = 27 \\
& x_{1512} + x_{1522} + x_{1532} + x_{1542} = 0 \\
& x_{1612} + x_{1622} + x_{1632} + x_{1642} = 0 \\
& x_{1712} + x_{1722} + x_{1732} + x_{1742} = 0 \\
& x_{1812} + x_{1822} + x_{1832} + x_{1842} = 0 \\
& x_{1912} + x_{1922} + x_{1932} + x_{1942} = 12 \\
& x_{2012} + x_{2022} + x_{2032} + x_{2042} = 14 \\
& x_{2112} + x_{2122} + x_{2132} + x_{2142} = 1 \\
& x_{2212} + x_{2222} + x_{2232} + x_{2242} = 10 \\
& x_{2312} + x_{2322} + x_{2332} + x_{2342} = 0 \\
& x_{2412} + x_{2422} + x_{2432} + x_{2442} = 0 \\
& x_{2512} + x_{2522} + x_{2532} + x_{2542} = 0 \\
& x_{2612} + x_{2622} + x_{2632} + x_{2642} = 0 \\
& x_{2712} + x_{2722} + x_{2732} + x_{2742} = 0 \\
& x_{2812} + x_{2822} + x_{2832} + x_{2842} = 0 \\
& x_{2912} + x_{2922} + x_{2932} + x_{2942} = 4 \\
& x_{3012} + x_{3022} + x_{3032} + x_{3042} = 0 \\
& x_{3112} + x_{3122} + x_{3132} + x_{3142} = 37 \\
& x_{3212} + x_{3222} + x_{3232} + x_{3242} = 34 \\
& x_{3312} + x_{3322} + x_{3332} + x_{3342} = 6 \\
& x_{3412} + x_{3422} + x_{3432} + x_{3442} = 8 \\
& x_{3512} + x_{3522} + x_{3532} + x_{3542} = 11
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& x_{111} + x_{112} + x_{311} + x_{312} + x_{511} + x_{512} + x_{711} + x_{712} + x_{911} + x_{912} + \\
& x_{1111} + x_{1112} + x_{1311} + x_{1312} + x_{1511} + x_{1512} + x_{1711} + x_{1712} + x_{1911} + x_{1912} + \\
& x_{2111} + x_{2112} + x_{2311} + x_{2312} + x_{2511} + x_{2512} + x_{2711} + x_{2712} + x_{2911} + x_{2912} + \\
& x_{3011} + x_{3012} + x_{3111} + x_{3112} + x_{3211} + x_{3212} + x_{3311} + x_{3312} + x_{3411} + x_{3412} + \\
& x_{3511} + x_{3512} \leq 224
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& x_{211} + x_{212} + x_{411} + x_{412} + x_{611} + x_{612} + x_{811} + x_{812} + x_{1011} + x_{1012} + \\
& x_{1211} + x_{1212} + x_{1411} + x_{1412} + x_{1611} + x_{1612} + x_{1811} + x_{1812} + x_{2011} + x_{2012} + \\
& x_{2211} + x_{2212} + x_{2411} + x_{2412} + x_{2611} + x_{2612} + x_{2811} + x_{2812} + x_{2911} + x_{2912} + \\
& x_{3011} + x_{3012} + x_{3111} + x_{3112} + x_{3211} + x_{3212} + x_{3311} + x_{3312} + x_{3411} + x_{3412} + \\
& x_{3511} + x_{3512} \leq 224
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& x_{121} + x_{122} + x_{321} + x_{322} + x_{521} + x_{522} + x_{721} + x_{722} + x_{921} + x_{922} + \\
& x_{1121} + x_{1122} + x_{1321} + x_{1322} + x_{1521} + x_{1522} + x_{1721} + x_{1722} + x_{1921} + x_{1922} + \\
& x_{2121} + x_{2122} + x_{2321} + x_{2322} + x_{2521} + x_{2522} + x_{2721} + x_{2722} + x_{2921} + x_{2922} + \\
& x_{3021} + x_{3022} + x_{3121} + x_{3122} + x_{3221} + x_{3222} + x_{3321} + x_{3322} + x_{3421} + x_{3422} + \\
& x_{3521} + x_{3522} \leq 101
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& x_{221} + x_{222} + x_{421} + x_{422} + x_{621} + x_{622} + x_{821} + x_{822} + x_{1021} + x_{1022} + \\
& x_{1221} + x_{1222} + x_{1421} + x_{1422} + x_{1621} + x_{1622} + x_{1821} + x_{1822} + x_{2021} + x_{2022} + \\
& x_{2221} + x_{2222} + x_{2421} + x_{2422} + x_{2621} + x_{2622} + x_{2821} + x_{2822} + x_{2921} + x_{2922} +
\end{aligned}$$

$x_{3021} + x_{3022} + x_{3121} + x_{3122} + x_{3221} + x_{3222} + x_{3321} + x_{3322} + x_{3421} + x_{3422} + x_{3521} + x_{3522} \leq 101$

$x_{131} + x_{132} + x_{331} + x_{332} + x_{531} + x_{532} + x_{731} + x_{732} + x_{931} + x_{932} + x_{1131} + x_{1132} + x_{1331} + x_{1332} + x_{1531} + x_{1532} + x_{1731} + x_{1732} + x_{1931} + x_{1932} + x_{2131} + x_{2132} + x_{2331} + x_{2332} + x_{2531} + x_{2532} + x_{2731} + x_{2732} + x_{2931} + x_{2932} + x_{3031} + x_{3032} + x_{3131} + x_{3132} + x_{3231} + x_{3232} + x_{3331} + x_{3332} + x_{3431} + x_{3432} + x_{3531} + x_{3532} \leq 40$

$x_{231} + x_{232} + x_{431} + x_{432} + x_{631} + x_{632} + x_{831} + x_{832} + x_{1031} + x_{1032} + x_{1231} + x_{1232} + x_{1431} + x_{1432} + x_{1631} + x_{1632} + x_{1831} + x_{1832} + x_{2031} + x_{2032} + x_{2231} + x_{2232} + x_{2431} + x_{2432} + x_{2631} + x_{2632} + x_{2831} + x_{2832} + x_{2931} + x_{2932} + x_{3031} + x_{3032} + x_{3131} + x_{3132} + x_{3231} + x_{3232} + x_{3331} + x_{3332} + x_{3431} + x_{3432} + x_{3531} + x_{3532} \leq 40$

$x_{141} + x_{142} + x_{341} + x_{342} + x_{541} + x_{542} + x_{741} + x_{742} + x_{941} + x_{942} + x_{1141} + x_{1142} + x_{1341} + x_{1342} + x_{1541} + x_{1542} + x_{1741} + x_{1742} + x_{1941} + x_{1942} + x_{2141} + x_{2142} + x_{2341} + x_{2342} + x_{2541} + x_{2542} + x_{2741} + x_{2742} + x_{2941} + x_{2942} + x_{3041} + x_{3042} + x_{3141} + x_{3142} + x_{3241} + x_{3242} + x_{3341} + x_{3342} + x_{3441} + x_{3442} + x_{3541} + x_{3542} \leq 140$

$x_{241} + x_{242} + x_{441} + x_{442} + x_{641} + x_{642} + x_{841} + x_{842} + x_{1041} + x_{1042} + x_{1241} + x_{1242} + x_{1441} + x_{1442} + x_{1641} + x_{1642} + x_{1841} + x_{1842} + x_{2041} + x_{2042} + x_{2241} + x_{2242} + x_{2441} + x_{2442} + x_{2641} + x_{2642} + x_{2841} + x_{2842} + x_{2941} + x_{2942} + x_{3041} + x_{3042} + x_{3141} + x_{3142} + x_{3241} + x_{3242} + x_{3341} + x_{3342} + x_{3441} + x_{3442} + x_{3541} + x_{3542} \leq 140$

$x_{141} = 0$

$x_{241} = 0$

$x_{322} = 0$

$x_{332} = 0$

$x_{422} = 0$

$x_{432} = 0$

$x_{522} = 0$

$x_{532} = 0$

$x_{541} = 0$

$x_{622} = 0$

$x_{632} = 0$

$x_{641} = 0$

$x_{741} = 0$

$x_{841} = 0$

$x_{941} = 0$

$x_{1041} = 0$

$x_{1122} = 0$

$x_{1132} = 0$

$x_{1141} = 0$

$x_{1222} = 0$

x1232 = 0
x1241 = 0
x1322 = 0
x1332 = 0
x1422 = 0
x1432 = 0
x1541 = 0
x1641 = 0
x1722 = 0
x1732 = 0
x1822 = 0
x1832 = 0
x1922 = 0
x1932 = 0
x1941 = 0
x2022 = 0
x2032 = 0
x2041 = 0
x2141 = 0
x2241 = 0
x2341 = 0
x2441 = 0
x2522 = 0
x2532 = 0
x2541 = 0
x2622 = 0
x2632 = 0
x2641 = 0
x2722 = 0
x2732 = 0
x2822 = 0
x2832 = 0
x2941 = 0
x3022 = 0
x3032 = 0
x3122 = 0
x3132 = 0
x3141 = 0
x3241 = 0
x3341 = 0
x3422 = 0
x3432 = 0
x3441 = 0
x3522 = 0
x3532 = 0

$$\begin{aligned}
&x_{111} + x_{112} - x_{211} - x_{212} = 0 \\
&x_{121} + x_{122} - x_{221} - x_{222} = 0 \\
&x_{131} + x_{132} - x_{231} - x_{232} = 0 \\
&x_{141} + x_{142} - x_{241} - x_{242} = 0 \\
&x_{311} + x_{312} - x_{411} - x_{412} = 0 \\
&x_{321} + x_{322} - x_{421} - x_{422} = 0 \\
&x_{331} + x_{332} - x_{431} - x_{432} = 0 \\
&x_{341} + x_{342} - x_{441} - x_{442} = 0 \\
&x_{511} + x_{512} - x_{611} - x_{612} = 0 \\
&x_{521} + x_{522} - x_{621} - x_{622} = 0 \\
&x_{531} + x_{532} - x_{631} - x_{632} = 0 \\
&x_{541} + x_{542} - x_{641} - x_{642} = 0 \\
&x_{711} + x_{712} - x_{811} - x_{812} = 0 \\
&x_{721} + x_{722} - x_{821} - x_{822} = 0 \\
&x_{731} + x_{732} - x_{831} - x_{832} = 0 \\
&x_{741} + x_{742} - x_{841} - x_{842} = 0 \\
&x_{911} + x_{912} - x_{1011} - x_{1012} = 0 \\
&x_{921} + x_{922} - x_{1021} - x_{1022} = 0 \\
&x_{931} + x_{932} - x_{1031} - x_{1032} = 0 \\
&x_{941} + x_{942} - x_{1041} - x_{1042} = 0 \\
&x_{1111} + x_{1112} - x_{1211} - x_{1212} = 0 \\
&x_{1121} + x_{1122} - x_{1221} - x_{1222} = 0 \\
&x_{1131} + x_{1132} - x_{1231} - x_{1232} = 0 \\
&x_{1141} + x_{1142} - x_{1241} - x_{1242} = 0 \\
&x_{1311} + x_{1312} - x_{1411} - x_{1412} = 0 \\
&x_{1321} + x_{1322} - x_{1421} - x_{1422} = 0 \\
&x_{1331} + x_{1332} - x_{1431} - x_{1432} = 0 \\
&x_{1341} + x_{1342} - x_{1441} - x_{1442} = 0 \\
&x_{1511} + x_{1512} - x_{1611} - x_{1612} = 0 \\
&x_{1521} + x_{1522} - x_{1621} - x_{1622} = 0 \\
&x_{1531} + x_{1532} - x_{1631} - x_{1632} = 0 \\
&x_{1541} + x_{1542} - x_{1641} - x_{1642} = 0 \\
&x_{1711} + x_{1712} - x_{1811} - x_{1812} = 0 \\
&x_{1721} + x_{1722} - x_{1821} - x_{1822} = 0 \\
&x_{1731} + x_{1732} - x_{1831} - x_{1832} = 0 \\
&x_{1741} + x_{1742} - x_{1841} - x_{1842} = 0 \\
&x_{1911} + x_{1912} - x_{2011} - x_{2012} = 0 \\
&x_{1921} + x_{1922} - x_{2021} - x_{2022} = 0 \\
&x_{1931} + x_{1932} - x_{2031} - x_{2032} = 0 \\
&x_{1941} + x_{1942} - x_{2041} - x_{2042} = 0 \\
&x_{2111} + x_{2112} - x_{2211} - x_{2212} = 0 \\
&x_{2121} + x_{2122} - x_{2221} - x_{2222} = 0 \\
&x_{2131} + x_{2132} - x_{2231} - x_{2232} = 0 \\
&x_{2141} + x_{2142} - x_{2241} - x_{2242} = 0 \\
&x_{2311} + x_{2312} - x_{2411} - x_{2412} = 0 \\
&x_{2321} + x_{2322} - x_{2421} - x_{2422} = 0 \\
&x_{2331} + x_{2332} - x_{2431} - x_{2432} = 0
\end{aligned}$$

$x_{2341} + x_{2342} - x_{2441} - x_{2442} = 0$
 $x_{2511} + x_{2512} - x_{2611} - x_{2612} = 0$
 $x_{2521} + x_{2522} - x_{2621} - x_{2622} = 0$
 $x_{2531} + x_{2532} - x_{2631} - x_{2632} = 0$
 $x_{2541} + x_{2542} - x_{2641} - x_{2642} = 0$
 $x_{2711} + x_{2712} - x_{2811} - x_{2812} = 0$
 $x_{2721} + x_{2722} - x_{2821} - x_{2822} = 0$
 $x_{2731} + x_{2732} - x_{2831} - x_{2832} = 0$
 $x_{2741} + x_{2742} - x_{2841} - x_{2842} = 0$

$x_{111} \geq 0$
 $x_{112} \geq 0$
 $x_{121} \geq 0$
 $x_{122} \geq 0$
 $x_{131} \geq 0$
 $x_{132} \geq 0$
 $x_{141} \geq 0$
 $x_{142} \geq 0$
 $x_{211} \geq 0$
 $x_{212} \geq 0$
 $x_{221} \geq 0$
 $x_{222} \geq 0$
 $x_{231} \geq 0$
 $x_{232} \geq 0$
 $x_{241} \geq 0$
 $x_{242} \geq 0$
 $x_{311} \geq 0$
 $x_{312} \geq 0$
 $x_{321} \geq 0$
 $x_{322} \geq 0$
 $x_{331} \geq 0$
 $x_{332} \geq 0$
 $x_{341} \geq 0$
 $x_{342} \geq 0$
 $x_{411} \geq 0$
 $x_{412} \geq 0$
 $x_{421} \geq 0$
 $x_{422} \geq 0$
 $x_{431} \geq 0$
 $x_{432} \geq 0$
 $x_{441} \geq 0$
 $x_{442} \geq 0$
 $x_{511} \geq 0$
 $x_{512} \geq 0$
 $x_{521} \geq 0$

x522 >= 0
x531 >= 0
x532 >= 0
x541 >= 0
x542 >= 0
x611 >= 0
x612 >= 0
x621 >= 0
x622 >= 0
x631 >= 0
x632 >= 0
x641 >= 0
x642 >= 0
x711 >= 0
x712 >= 0
x721 >= 0
x722 >= 0
x731 >= 0
x732 >= 0
x741 >= 0
x742 >= 0
x811 >= 0
x812 >= 0
x821 >= 0
x822 >= 0
x831 >= 0
x832 >= 0
x841 >= 0
x842 >= 0
x911 >= 0
x912 >= 0
x921 >= 0
x922 >= 0
x931 >= 0
x932 >= 0
x941 >= 0
x942 >= 0
x1011 >= 0
x1012 >= 0
x1021 >= 0
x1022 >= 0
x1031 >= 0
x1032 >= 0
x1041 >= 0
x1042 >= 0
x1111 >= 0
x1112 >= 0

x1121 >= 0
x1122 >= 0
x1131 >= 0
x1132 >= 0
x1141 >= 0
x1142 >= 0
x1211 >= 0
x1212 >= 0
x1221 >= 0
x1222 >= 0
x1231 >= 0
x1232 >= 0
x1241 >= 0
x1242 >= 0
x1311 >= 0
x1312 >= 0
x1321 >= 0
x1322 >= 0
x1331 >= 0
x1332 >= 0
x1341 >= 0
x1342 >= 0
x1411 >= 0
x1412 >= 0
x1421 >= 0
x1422 >= 0
x1431 >= 0
x1432 >= 0
x1441 >= 0
x1442 >= 0
x1511 >= 0
x1512 >= 0
x1521 >= 0
x1522 >= 0
x1531 >= 0
x1532 >= 0
x1541 >= 0
x1542 >= 0
x1611 >= 0
x1612 >= 0
x1621 >= 0
x1622 >= 0
x1631 >= 0
x1632 >= 0
x1641 >= 0
x1642 >= 0
x1711 >= 0

x1712 >= 0
x1721 >= 0
x1722 >= 0
x1731 >= 0
x1732 >= 0
x1741 >= 0
x1742 >= 0
x1811 >= 0
x1812 >= 0
x1821 >= 0
x1822 >= 0
x1831 >= 0
x1832 >= 0
x1841 >= 0
x1842 >= 0
x1911 >= 0
x1912 >= 0
x1921 >= 0
x1922 >= 0
x1931 >= 0
x1932 >= 0
x1941 >= 0
x1942 >= 0
x2011 >= 0
x2012 >= 0
x2021 >= 0
x2022 >= 0
x2031 >= 0
x2032 >= 0
x2041 >= 0
x2042 >= 0
x2111 >= 0
x2112 >= 0
x2121 >= 0
x2122 >= 0
x2131 >= 0
x2132 >= 0
x2141 >= 0
x2142 >= 0
x2211 >= 0
x2212 >= 0
x2221 >= 0
x2222 >= 0
x2231 >= 0
x2232 >= 0
x2241 >= 0
x2242 >= 0

x2311 >= 0
x2312 >= 0
x2321 >= 0
x2322 >= 0
x2331 >= 0
x2332 >= 0
x2341 >= 0
x2342 >= 0
x2411 >= 0
x2412 >= 0
x2421 >= 0
x2422 >= 0
x2431 >= 0
x2432 >= 0
x2441 >= 0
x2442 >= 0
x2511 >= 0
x2512 >= 0
x2521 >= 0
x2522 >= 0
x2531 >= 0
x2532 >= 0
x2541 >= 0
x2542 >= 0
x2611 >= 0
x2612 >= 0
x2621 >= 0
x2622 >= 0
x2631 >= 0
x2632 >= 0
x2641 >= 0
x2642 >= 0
x2711 >= 0
x2712 >= 0
x2721 >= 0
x2722 >= 0
x2731 >= 0
x2732 >= 0
x2741 >= 0
x2742 >= 0
x2811 >= 0
x2812 >= 0
x2821 >= 0
x2822 >= 0
x2831 >= 0
x2832 >= 0
x2841 >= 0

x2842 >= 0
x2911 >= 0
x2912 >= 0
x2921 >= 0
x2922 >= 0
x2931 >= 0
x2932 >= 0
x2941 >= 0
x2942 >= 0
x3011 >= 0
x3012 >= 0
x3021 >= 0
x3022 >= 0
x3031 >= 0
x3032 >= 0
x3041 >= 0
x3042 >= 0
x3111 >= 0
x3112 >= 0
x3121 >= 0
x3122 >= 0
x3131 >= 0
x3132 >= 0
x3141 >= 0
x3142 >= 0
x3211 >= 0
x3212 >= 0
x3221 >= 0
x3222 >= 0
x3231 >= 0
x3232 >= 0
x3241 >= 0
x3242 >= 0
x3311 >= 0
x3312 >= 0
x3321 >= 0
x3322 >= 0
x3331 >= 0
x3332 >= 0
x3341 >= 0
x3342 >= 0
x3411 >= 0
x3412 >= 0
x3421 >= 0
x3422 >= 0
x3431 >= 0
x3432 >= 0

```
x3441 >= 0
x3442 >= 0
x3511 >= 0
x3512 >= 0
x3521 >= 0
x3522 >= 0
x3531 >= 0
x3532 >= 0
x3541 >= 0
x3542 >= 0
```

```
end
```

```
GIN x111
GIN x112
GIN x121
GIN x122
GIN x131
GIN x132
GIN x141
GIN x142
GIN x211
GIN x212
GIN x221
GIN x222
GIN x231
GIN x232
GIN x241
GIN x242
GIN x311
GIN x312
GIN x321
GIN x322
GIN x331
GIN x332
GIN x341
GIN x342
GIN x411
GIN x412
GIN x421
GIN x422
GIN x431
GIN x432
GIN x441
```

GIN x442
GIN x511
GIN x512
GIN x521
GIN x522
GIN x531
GIN x532
GIN x541
GIN x542
GIN x611
GIN x612
GIN x621
GIN x622
GIN x631
GIN x632
GIN x641
GIN x642
GIN x711
GIN x712
GIN x721
GIN x722
GIN x731
GIN x732
GIN x741
GIN x742
GIN x811
GIN x812
GIN x821
GIN x822
GIN x831
GIN x832
GIN x841
GIN x842
GIN x911
GIN x912
GIN x921
GIN x922
GIN x931
GIN x932
GIN x941
GIN x942
GIN x1011
GIN x1012
GIN x1021
GIN x1022
GIN x1031
GIN x1032

GIN x1041
GIN x1042
GIN x1111
GIN x1112
GIN x1121
GIN x1122
GIN x1131
GIN x1132
GIN x1141
GIN x1142
GIN x1211
GIN x1212
GIN x1221
GIN x1222
GIN x1231
GIN x1232
GIN x1241
GIN x1242
GIN x1311
GIN x1312
GIN x1321
GIN x1322
GIN x1331
GIN x1332
GIN x1341
GIN x1342
GIN x1411
GIN x1412
GIN x1421
GIN x1422
GIN x1431
GIN x1432
GIN x1441
GIN x1442
GIN x1511
GIN x1512
GIN x1521
GIN x1522
GIN x1531
GIN x1532
GIN x1541
GIN x1542
GIN x1611
GIN x1612
GIN x1621
GIN x1622
GIN x1631

GIN x1632
GIN x1641
GIN x1642
GIN x1711
GIN x1712
GIN x1721
GIN x1722
GIN x1731
GIN x1732
GIN x1741
GIN x1742
GIN x1811
GIN x1812
GIN x1821
GIN x1822
GIN x1831
GIN x1832
GIN x1841
GIN x1842
GIN x1911
GIN x1912
GIN x1921
GIN x1922
GIN x1931
GIN x1932
GIN x1941
GIN x1942
GIN x2011
GIN x2012
GIN x2021
GIN x2022
GIN x2031
GIN x2032
GIN x2041
GIN x2042
GIN x2111
GIN x2112
GIN x2121
GIN x2122
GIN x2131
GIN x2132
GIN x2141
GIN x2142
GIN x2211
GIN x2212
GIN x2221
GIN x2222

GIN x2231
GIN x2232
GIN x2241
GIN x2242
GIN x2311
GIN x2312
GIN x2321
GIN x2322
GIN x2331
GIN x2332
GIN x2341
GIN x2342
GIN x2411
GIN x2412
GIN x2421
GIN x2422
GIN x2431
GIN x2432
GIN x2441
GIN x2442
GIN x2511
GIN x2512
GIN x2521
GIN x2522
GIN x2531
GIN x2532
GIN x2541
GIN x2542
GIN x2611
GIN x2612
GIN x2621
GIN x2622
GIN x2631
GIN x2632
GIN x2641
GIN x2642
GIN x2711
GIN x2712
GIN x2721
GIN x2722
GIN x2731
GIN x2732
GIN x2741
GIN x2742
GIN x2811
GIN x2812
GIN x2821

GIN x2822
GIN x2831
GIN x2832
GIN x2841
GIN x2842
GIN x2911
GIN x2912
GIN x2921
GIN x2922
GIN x2931
GIN x2932
GIN x2941
GIN x2942
GIN x3011
GIN x3012
GIN x3021
GIN x3022
GIN x3031
GIN x3032
GIN x3041
GIN x3042
GIN x3111
GIN x3112
GIN x3121
GIN x3122
GIN x3131
GIN x3132
GIN x3141
GIN x3142
GIN x3211
GIN x3212
GIN x3221
GIN x3222
GIN x3231
GIN x3232
GIN x3241
GIN x3242
GIN x3311
GIN x3312
GIN x3321
GIN x3322
GIN x3331
GIN x3332
GIN x3341
GIN x3342
GIN x3411
GIN x3412

GIN x3421
GIN x3422
GIN x3431
GIN x3432
GIN x3441
GIN x3442
GIN x3511
GIN x3512
GIN x3521
GIN x3522
GIN x3531
GIN x3532
GIN x3541
GIN x3542



EK 10: LINDO 6.1 Program Çıktısı

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 62

OBJECTIVE VALUE = 8640.29980

64

NEW INTEGER SOLUTION OF 8640.29980 AT BRANCH 0 PIVOT

BOUND ON OPTIMUM: 8640.300

ENUMERATION COMPLETE. BRANCHES= 0 PIVOTS= 64

LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND
RE-INSTALLING BEST SOLUTION...

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 8640.300

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X111	4.000000	31.100000
X112	0.000000	31.100000
X121	20.000000	0.000000
X122	0.000000	31.200001
X131	0.000000	20.000000
X132	0.000000	49.900002
X141	0.000000	55.599998
X142	10.000000	26.200001
X211	0.000000	31.100000
X212	4.000000	31.100000
X221	20.000000	0.000000
X222	0.000000	31.200001
X231	0.000000	20.000000
X232	0.000000	49.900002
X241	0.000000	55.599998
X242	10.000000	26.200001
X311	0.000000	4.800000
X312	0.000000	23.799999
X321	0.000000	39.799999
X322	0.000000	62.400002
X331	0.000000	57.200001
X332	0.000000	79.800003
X341	0.000000	24.100000
X342	0.000000	0.000000
X411	0.000000	4.800000
X412	0.000000	23.799999
X421	0.000000	39.799999
X422	0.000000	62.400002

X431	0.000000	57.200001
X432	0.000000	79.800003
X441	0.000000	24.100000
X442	0.000000	0.000000
X511	8.000000	44.599998
X512	0.000000	43.700001
X521	24.000000	0.000000
X522	0.000000	42.500000
X531	0.000000	20.000000
X532	0.000000	61.200001
X541	0.000000	42.500000
X542	10.000000	0.000000
X611	0.000000	43.700001
X612	8.000000	43.700001
X621	24.000000	0.000000
X622	0.000000	42.500000
X631	0.000000	20.000000
X632	0.000000	61.200001
X641	0.000000	42.500000
X642	10.000000	0.000000
X711	1.000000	41.099998
X712	0.000000	41.099998
X721	0.000000	20.000000
X722	0.000000	41.200001
X731	17.000000	0.000000
X732	0.000000	39.900002
X741	0.000000	64.300003
X742	5.000000	26.200001
X811	0.000000	41.099998
X812	1.000000	41.099998
X821	0.000000	20.000000
X822	0.000000	41.200001
X831	17.000000	0.000000
X832	0.000000	39.900002
X841	0.000000	64.300003
X842	5.000000	26.200001
X911	2.000000	31.000000
X912	36.000000	0.000000
X921	0.000000	20.000000
X922	0.000000	29.900000
X931	19.000000	0.000000
X932	0.000000	31.000000
X941	0.000000	75.300003
X942	0.000000	48.200001
X1011	1.000000	31.000000
X1012	37.000000	0.000000
X1021	0.000000	20.000000

X1022	0.000000	29.900000
X1031	19.000000	0.000000
X1032	0.000000	31.000000
X1041	0.000000	75.300003
X1042	0.000000	48.200001
X1111	0.000000	52.400002
X1112	0.000000	42.799999
X1121	0.000000	20.000000
X1122	0.000000	52.500000
X1131	0.000000	0.000000
X1132	0.000000	51.200001
X1141	0.000000	51.200001
X1142	0.000000	0.000000
X1211	0.000000	52.400002
X1212	0.000000	42.799999
X1221	0.000000	20.000000
X1222	0.000000	52.500000
X1231	0.000000	0.000000
X1232	0.000000	51.200001
X1241	0.000000	51.200001
X1242	0.000000	0.000000
X1311	0.000000	31.500000
X1312	0.000000	42.799999
X1321	0.000000	62.400002
X1322	0.000000	73.699997
X1331	0.000000	79.800003
X1332	0.000000	91.099998
X1341	16.000000	13.100000
X1342	27.000000	0.000000
X1411	0.000000	31.500000
X1412	0.000000	42.799999
X1421	0.000000	62.400002
X1422	0.000000	73.699997
X1431	0.000000	79.800003
X1432	0.000000	91.099998
X1441	16.000000	13.100000
X1442	27.000000	0.000000
X1511	0.000000	31.100000
X1512	0.000000	20.200001
X1521	0.000000	0.000000
X1522	0.000000	31.200001
X1531	0.000000	20.000000
X1532	0.000000	49.900002
X1541	0.000000	55.599998
X1542	0.000000	26.200001
X1611	0.000000	31.100000
X1612	0.000000	20.200001

X1621	0.000000	0.000000
X1622	0.000000	31.200001
X1631	0.000000	20.000000
X1632	0.000000	49.900002
X1641	0.000000	55.599998
X1642	0.000000	26.200001
X1711	0.000000	4.800000
X1712	0.000000	23.799999
X1721	0.000000	39.799999
X1722	0.000000	62.400002
X1731	0.000000	57.200001
X1732	0.000000	79.800003
X1741	0.000000	24.100000
X1742	0.000000	0.000000
X1811	0.000000	4.800000
X1812	0.000000	23.799999
X1821	0.000000	39.799999
X1822	0.000000	62.400002
X1831	0.000000	57.200001
X1832	0.000000	79.800003
X1841	0.000000	24.100000
X1842	0.000000	0.000000
X1911	2.000000	43.700001
X1912	0.000000	42.799999
X1921	14.000000	0.000000
X1922	0.000000	42.500000
X1931	0.000000	20.000000
X1932	0.000000	61.200001
X1941	0.000000	42.500000
X1942	12.000000	0.000000
X2011	0.000000	44.599998
X2012	2.000000	42.799999
X2021	14.000000	0.000000
X2022	0.000000	42.500000
X2031	0.000000	20.000000
X2032	0.000000	61.200001
X2041	0.000000	42.500000
X2042	12.000000	0.000000
X2111	9.000000	41.099998
X2112	0.000000	20.200001
X2121	0.000000	20.000000
X2122	0.000000	41.200001
X2131	4.000000	0.000000
X2132	0.000000	39.900002
X2141	0.000000	64.300003
X2142	1.000000	26.200001
X2211	0.000000	41.099998

X2212	9.000000	41.099998
X2221	0.000000	20.000000
X2222	0.000000	41.200001
X2231	4.000000	0.000000
X2232	0.000000	39.900002
X2241	0.000000	64.300003
X2242	1.000000	26.200001
X2311	0.000000	31.000000
X2312	0.000000	0.000000
X2321	0.000000	20.000000
X2322	0.000000	29.900000
X2331	0.000000	0.000000
X2332	0.000000	31.000000
X2341	0.000000	75.300003
X2342	0.000000	48.200001
X2411	0.000000	31.000000
X2412	0.000000	0.000000
X2421	0.000000	20.000000
X2422	0.000000	29.900000
X2431	0.000000	0.000000
X2432	0.000000	31.000000
X2441	0.000000	75.300003
X2442	0.000000	48.200001
X2511	0.000000	52.400002
X2512	0.000000	42.799999
X2521	0.000000	20.000000
X2522	0.000000	52.500000
X2531	0.000000	0.000000
X2532	0.000000	51.200001
X2541	0.000000	51.200001
X2542	0.000000	0.000000
X2611	0.000000	52.400002
X2612	0.000000	42.799999
X2621	0.000000	20.000000
X2622	0.000000	52.500000
X2631	0.000000	0.000000
X2632	0.000000	51.200001
X2641	0.000000	51.200001
X2642	0.000000	0.000000
X2711	0.000000	31.500000
X2712	0.000000	42.799999
X2721	0.000000	62.400002
X2722	0.000000	73.699997
X2731	0.000000	79.800003
X2732	0.000000	91.099998
X2741	0.000000	13.100000
X2742	0.000000	0.000000

X2811	0.000000	31.500000
X2812	0.000000	42.799999
X2821	0.000000	62.400002
X2822	0.000000	73.699997
X2831	0.000000	79.800003
X2832	0.000000	91.099998
X2841	0.000000	13.100000
X2842	0.000000	0.000000
X2911	17.000000	31.100000
X2912	4.000000	20.200001
X2921	0.000000	0.000000
X2922	0.000000	31.200001
X2931	0.000000	20.000000
X2932	0.000000	49.900002
X2941	0.000000	55.599998
X2942	0.000000	26.200001
X3011	0.000000	4.800000
X3012	0.000000	23.799999
X3021	0.000000	39.799999
X3022	0.000000	62.400002
X3031	0.000000	57.200001
X3032	0.000000	79.800003
X3041	0.000000	24.100000
X3042	0.000000	0.000000
X3111	2.000000	44.599998
X3112	0.000000	43.700001
X3121	43.000000	0.000000
X3122	0.000000	42.500000
X3131	0.000000	20.000000
X3132	0.000000	61.200001
X3141	0.000000	42.500000
X3142	37.000000	0.000000
X3211	82.000000	41.099998
X3212	34.000000	20.200001
X3221	0.000000	20.000000
X3222	0.000000	41.200001
X3231	0.000000	0.000000
X3232	0.000000	39.900002
X3241	0.000000	64.300003
X3242	0.000000	26.200001
X3311	7.000000	31.000000
X3312	6.000000	0.000000
X3321	0.000000	20.000000
X3322	0.000000	29.900000
X3331	0.000000	0.000000
X3332	0.000000	31.000000
X3341	0.000000	75.300003

X3342	0.000000	48.200001
X3411	7.000000	52.400002
X3412	0.000000	52.400002
X3421	0.000000	20.000000
X3422	0.000000	52.500000
X3431	0.000000	0.000000
X3432	0.000000	51.200001
X3441	0.000000	51.200001
X3442	8.000000	0.000000
X3511	0.000000	31.500000
X3512	0.000000	42.799999
X3521	0.000000	62.400002
X3522	0.000000	73.699997
X3531	0.000000	79.800003
X3532	0.000000	91.099998
X3541	0.000000	13.100000
X3542	11.000000	0.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	0.000000	0.000000
3)	0.000000	0.000000
4)	0.000000	0.000000
5)	0.000000	0.000000
6)	0.000000	0.000000
7)	0.000000	0.000000
8)	0.000000	0.000000
9)	0.000000	0.000000
10)	0.000000	0.000000
11)	0.000000	0.000000
12)	0.000000	0.000000
13)	0.000000	0.000000
14)	0.000000	0.000000
15)	0.000000	0.000000
16)	0.000000	0.000000
17)	0.000000	0.000000
18)	0.000000	0.000000
19)	0.000000	0.000000
20)	0.000000	0.000000
21)	0.000000	0.000000
22)	0.000000	0.000000
23)	0.000000	0.000000
24)	0.000000	0.000000
25)	0.000000	0.000000
26)	0.000000	0.000000
27)	0.000000	0.000000
28)	0.000000	0.000000

29)	0.000000	0.000000
30)	0.000000	0.000000
31)	0.000000	0.000000
32)	0.000000	0.000000
33)	0.000000	0.000000
34)	0.000000	0.000000
35)	0.000000	0.000000
36)	0.000000	0.000000
37)	0.000000	0.000000
38)	0.000000	0.000000
39)	0.000000	0.000000
40)	0.000000	0.000000
41)	0.000000	0.000000
42)	0.000000	0.000000
43)	0.000000	0.000000
44)	0.000000	0.000000
45)	0.000000	0.000000
46)	0.000000	0.000000
47)	0.000000	0.000000
48)	0.000000	0.000000
49)	0.000000	0.000000
50)	0.000000	0.000000
51)	0.000000	0.000000
52)	0.000000	0.000000
53)	0.000000	0.000000
54)	0.000000	0.000000
55)	0.000000	0.000000
56)	0.000000	0.000000
57)	0.000000	0.000000
58)	0.000000	0.000000
59)	0.000000	0.000000
60)	0.000000	0.000000
61)	0.000000	0.000000
62)	0.000000	0.000000
63)	0.000000	0.000000
64)	0.000000	0.000000
65)	0.000000	0.000000
66)	0.000000	0.000000
67)	0.000000	0.000000
68)	0.000000	0.000000
69)	0.000000	0.000000
70)	0.000000	0.000000
71)	0.000000	0.000000
72)	3.000000	0.000000
73)	3.000000	0.000000
74)	0.000000	0.000000
75)	0.000000	0.000000

76)	0.000000	0.000000
77)	0.000000	0.000000
78)	3.000000	0.000000
79)	3.000000	0.000000
80)	0.000000	0.000000
81)	0.000000	0.000000
82)	0.000000	0.000000
83)	0.000000	0.000000
84)	0.000000	0.000000
85)	0.000000	0.000000
86)	0.000000	0.000000
87)	0.000000	0.000000
88)	0.000000	0.000000
89)	0.000000	0.000000
90)	0.000000	0.000000
91)	0.000000	0.000000
92)	0.000000	0.000000
93)	0.000000	0.000000
94)	0.000000	0.000000
95)	0.000000	0.000000
96)	0.000000	0.000000
97)	0.000000	0.000000
98)	0.000000	0.000000
99)	0.000000	0.000000
100)	0.000000	0.000000
101)	0.000000	0.000000
102)	0.000000	0.000000
103)	0.000000	0.000000
104)	0.000000	0.000000
105)	0.000000	0.000000
106)	0.000000	0.000000
107)	0.000000	0.000000
108)	0.000000	0.000000
109)	0.000000	0.000000
110)	0.000000	0.000000
111)	0.000000	0.000000
112)	0.000000	0.000000
113)	0.000000	0.000000
114)	0.000000	0.000000
115)	0.000000	0.000000
116)	0.000000	0.000000
117)	0.000000	0.000000
118)	0.000000	0.000000
119)	0.000000	0.000000
120)	0.000000	0.000000
121)	0.000000	0.000000
122)	0.000000	0.000000

123)	0.000000	0.000000
124)	0.000000	0.000000
125)	0.000000	0.000000
126)	0.000000	0.000000
127)	0.000000	0.000000
128)	0.000000	0.000000
129)	0.000000	0.000000
130)	0.000000	0.000000
131)	0.000000	0.000000
132)	0.000000	0.000000
133)	0.000000	0.000000
134)	0.000000	0.000000
135)	0.000000	0.000000
136)	0.000000	0.000000
137)	0.000000	0.000000
138)	0.000000	0.000000
139)	0.000000	0.000000
140)	0.000000	0.000000
141)	0.000000	0.000000
142)	0.000000	0.000000
143)	0.000000	0.000000
144)	0.000000	0.000000
145)	0.000000	0.000000
146)	0.000000	0.000000
147)	0.000000	0.000000
148)	0.000000	0.000000
149)	0.000000	0.000000
150)	0.000000	0.000000
151)	0.000000	0.000000
152)	0.000000	0.000000
153)	0.000000	0.000000
154)	0.000000	0.000000
155)	0.000000	0.000000
156)	0.000000	0.000000
157)	0.000000	0.000000
158)	0.000000	0.000000
159)	0.000000	0.000000
160)	0.000000	0.000000
161)	0.000000	0.000000
162)	0.000000	0.000000
163)	0.000000	0.000000
164)	0.000000	0.000000
165)	0.000000	0.000000
166)	0.000000	0.000000
167)	0.000000	0.000000
168)	0.000000	0.000000
169)	0.000000	0.000000

170)	0.000000	0.000000
171)	0.000000	0.000000
172)	0.000000	0.000000
173)	0.000000	0.000000
174)	0.000000	0.000000
175)	0.000000	0.000000
176)	0.000000	0.000000
177)	0.000000	0.000000
178)	0.000000	0.000000
179)	0.000000	0.000000
180)	0.000000	0.000000
181)	0.000000	0.000000
182)	0.000000	0.000000
183)	0.000000	0.000000
184)	0.000000	0.000000
185)	0.000000	0.000000
186)	0.000000	0.000000
187)	0.000000	0.000000
188)	0.000000	0.000000
189)	0.000000	0.000000
190)	0.000000	0.000000
191)	0.000000	0.000000
192)	0.000000	0.000000
193)	0.000000	0.000000
194)	0.000000	0.000000
195)	0.000000	0.000000
196)	0.000000	0.000000
197)	0.000000	0.000000
198)	0.000000	0.000000
199)	0.000000	0.000000
200)	0.000000	0.000000
201)	4.000000	0.000000
202)	0.000000	0.000000
203)	20.000000	0.000000
204)	0.000000	0.000000
205)	0.000000	0.000000
206)	0.000000	0.000000
207)	0.000000	0.000000
208)	10.000000	0.000000
209)	0.000000	0.000000
210)	4.000000	0.000000
211)	20.000000	0.000000
212)	0.000000	0.000000
213)	0.000000	0.000000
214)	0.000000	0.000000
215)	0.000000	0.000000
216)	10.000000	0.000000

217)	0.000000	0.000000
218)	0.000000	0.000000
219)	0.000000	0.000000
220)	0.000000	0.000000
221)	0.000000	0.000000
222)	0.000000	0.000000
223)	0.000000	0.000000
224)	0.000000	0.000000
225)	0.000000	0.000000
226)	0.000000	0.000000
227)	0.000000	0.000000
228)	0.000000	0.000000
229)	0.000000	0.000000
230)	0.000000	0.000000
231)	0.000000	0.000000
232)	0.000000	0.000000
233)	8.000000	0.000000
234)	0.000000	0.000000
235)	24.000000	0.000000
236)	0.000000	0.000000
237)	0.000000	0.000000
238)	0.000000	0.000000
239)	0.000000	0.000000
240)	10.000000	0.000000
241)	0.000000	0.000000
242)	8.000000	0.000000
243)	24.000000	0.000000
244)	0.000000	0.000000
245)	0.000000	0.000000
246)	0.000000	0.000000
247)	0.000000	0.000000
248)	10.000000	0.000000
249)	1.000000	0.000000
250)	0.000000	0.000000
251)	0.000000	0.000000
252)	0.000000	0.000000
253)	17.000000	0.000000
254)	0.000000	0.000000
255)	0.000000	0.000000
256)	5.000000	0.000000
257)	0.000000	0.000000
258)	1.000000	0.000000
259)	0.000000	0.000000
260)	0.000000	0.000000
261)	17.000000	0.000000
262)	0.000000	0.000000
263)	0.000000	0.000000

264)	5.000000	0.000000
265)	2.000000	0.000000
266)	36.000000	0.000000
267)	0.000000	0.000000
268)	0.000000	0.000000
269)	19.000000	0.000000
270)	0.000000	0.000000
271)	0.000000	0.000000
272)	0.000000	0.000000
273)	1.000000	0.000000
274)	37.000000	0.000000
275)	0.000000	0.000000
276)	0.000000	0.000000
277)	19.000000	0.000000
278)	0.000000	0.000000
279)	0.000000	0.000000
280)	0.000000	0.000000
281)	0.000000	0.000000
282)	0.000000	0.000000
283)	0.000000	0.000000
284)	0.000000	0.000000
285)	0.000000	0.000000
286)	0.000000	0.000000
287)	0.000000	0.000000
288)	0.000000	0.000000
289)	0.000000	0.000000
290)	0.000000	0.000000
291)	0.000000	0.000000
292)	0.000000	0.000000
293)	0.000000	0.000000
294)	0.000000	0.000000
295)	0.000000	0.000000
296)	0.000000	0.000000
297)	0.000000	0.000000
298)	0.000000	0.000000
299)	0.000000	0.000000
300)	0.000000	0.000000
301)	0.000000	0.000000
302)	0.000000	0.000000
303)	16.000000	0.000000
304)	27.000000	0.000000
305)	0.000000	0.000000
306)	0.000000	0.000000
307)	0.000000	0.000000
308)	0.000000	0.000000
309)	0.000000	0.000000
310)	0.000000	0.000000

311)	16.000000	0.000000
312)	27.000000	0.000000
313)	0.000000	0.000000
314)	0.000000	0.000000
315)	0.000000	0.000000
316)	0.000000	0.000000
317)	0.000000	0.000000
318)	0.000000	0.000000
319)	0.000000	0.000000
320)	0.000000	0.000000
321)	0.000000	0.000000
322)	0.000000	0.000000
323)	0.000000	0.000000
324)	0.000000	0.000000
325)	0.000000	0.000000
326)	0.000000	0.000000
327)	0.000000	0.000000
328)	0.000000	0.000000
329)	0.000000	0.000000
330)	0.000000	0.000000
331)	0.000000	0.000000
332)	0.000000	0.000000
333)	0.000000	0.000000
334)	0.000000	0.000000
335)	0.000000	0.000000
336)	0.000000	0.000000
337)	0.000000	0.000000
338)	0.000000	0.000000
339)	0.000000	0.000000
340)	0.000000	0.000000
341)	0.000000	0.000000
342)	0.000000	0.000000
343)	0.000000	0.000000
344)	0.000000	0.000000
345)	2.000000	0.000000
346)	0.000000	0.000000
347)	14.000000	0.000000
348)	0.000000	0.000000
349)	0.000000	0.000000
350)	0.000000	0.000000
351)	0.000000	0.000000
352)	12.000000	0.000000
353)	0.000000	0.000000
354)	2.000000	0.000000
355)	14.000000	0.000000
356)	0.000000	0.000000
357)	0.000000	0.000000

358)	0.000000	0.000000
359)	0.000000	0.000000
360)	12.000000	0.000000
361)	9.000000	0.000000
362)	0.000000	0.000000
363)	0.000000	0.000000
364)	0.000000	0.000000
365)	4.000000	0.000000
366)	0.000000	0.000000
367)	0.000000	0.000000
368)	1.000000	0.000000
369)	0.000000	0.000000
370)	9.000000	0.000000
371)	0.000000	0.000000
372)	0.000000	0.000000
373)	4.000000	0.000000
374)	0.000000	0.000000
375)	0.000000	0.000000
376)	1.000000	0.000000
377)	0.000000	0.000000
378)	0.000000	0.000000
379)	0.000000	0.000000
380)	0.000000	0.000000
381)	0.000000	0.000000
382)	0.000000	0.000000
383)	0.000000	0.000000
384)	0.000000	0.000000
385)	0.000000	0.000000
386)	0.000000	0.000000
387)	0.000000	0.000000
388)	0.000000	0.000000
389)	0.000000	0.000000
390)	0.000000	0.000000
391)	0.000000	0.000000
392)	0.000000	0.000000
393)	0.000000	0.000000
394)	0.000000	0.000000
395)	0.000000	0.000000
396)	0.000000	0.000000
397)	0.000000	0.000000
398)	0.000000	0.000000
399)	0.000000	0.000000
400)	0.000000	0.000000
401)	0.000000	0.000000
402)	0.000000	0.000000
403)	0.000000	0.000000
404)	0.000000	0.000000

405)	0.000000	0.000000
406)	0.000000	0.000000
407)	0.000000	0.000000
408)	0.000000	0.000000
409)	0.000000	0.000000
410)	0.000000	0.000000
411)	0.000000	0.000000
412)	0.000000	0.000000
413)	0.000000	0.000000
414)	0.000000	0.000000
415)	0.000000	0.000000
416)	0.000000	0.000000
417)	0.000000	0.000000
418)	0.000000	0.000000
419)	0.000000	0.000000
420)	0.000000	0.000000
421)	0.000000	0.000000
422)	0.000000	0.000000
423)	0.000000	0.000000
424)	0.000000	0.000000
425)	17.000000	0.000000
426)	4.000000	0.000000
427)	0.000000	0.000000
428)	0.000000	0.000000
429)	0.000000	0.000000
430)	0.000000	0.000000
431)	0.000000	0.000000
432)	0.000000	0.000000
433)	0.000000	0.000000
434)	0.000000	0.000000
435)	0.000000	0.000000
436)	0.000000	0.000000
437)	0.000000	0.000000
438)	0.000000	0.000000
439)	0.000000	0.000000
440)	0.000000	0.000000
441)	2.000000	0.000000
442)	0.000000	0.000000
443)	43.000000	0.000000
444)	0.000000	0.000000
445)	0.000000	0.000000
446)	0.000000	0.000000
447)	0.000000	0.000000
448)	37.000000	0.000000
449)	82.000000	0.000000
450)	34.000000	0.000000
451)	0.000000	0.000000

452)	0.000000	0.000000
453)	0.000000	0.000000
454)	0.000000	0.000000
455)	0.000000	0.000000
456)	0.000000	0.000000
457)	7.000000	0.000000
458)	6.000000	0.000000
459)	0.000000	0.000000
460)	0.000000	0.000000
461)	0.000000	0.000000
462)	0.000000	0.000000
463)	0.000000	0.000000
464)	0.000000	0.000000
465)	7.000000	0.000000
466)	0.000000	0.000000
467)	0.000000	0.000000
468)	0.000000	0.000000
469)	0.000000	0.000000
470)	0.000000	0.000000
471)	0.000000	0.000000
472)	8.000000	0.000000
473)	0.000000	0.000000
474)	0.000000	0.000000
475)	0.000000	0.000000
476)	0.000000	0.000000
477)	0.000000	0.000000
478)	0.000000	0.000000
479)	0.000000	0.000000
480)	11.000000	0.000000

NO. ITERATIONS= 65
BRANCHES= 0 DETERM.= 1.000E 0

KAYNAKLAR

Kitaplar

Bazaraa, Mokhtar S., John J. Jarvis ve Hanif D. Sherali, **Linear Programming And Network Flows**, 4.Baskı, A.B.D: A John Wiley & Sons Inc. Publiction, 2010

Bertsimas, Dimitris ve John N. Tsitsiklis, **Introduction To Linear Optimization**, A.B.D: Athena Scientific, 1997

Cascetta, Ennio, **Transportation Systems Engineering: Theory And Methods**, 1.Baskı, A.B.D: Springer, 2001

Doğan, İbrahim, **Yöneylem Araştırması Teknikleri ve İşletme Uygulamaları**, 2.Baskı, Eskişehir: Bilim Teknik Yayınevi, 1995

Eiselt, H. A., ve Carl- Louis Sandblom, **Integer Programming And Network Models**, Almanya: Springer, 2000,

Fawcett, Paul, **Managing Passenger Logistics The Comprehensive Guide To People And Transport**, 1.Baskı, İngiltere: Kogan Page Limited, 2000

Fourer, Robert, David M. Gay ve Brian W. Kernighan, **A Modelling Language For Mathematical Programming**, 2.Baskı, Kanada: Duxbury Thomson, 2003

Gupta, C. B., **Optimization Techniques In Operations Research**, Hindistan: I. K. International Publishing House, 2008

Gupta, R. K., **Linear Programming**, 22.Baskı, Hindistan: Krishna Prakashan Media, 2009

Gürdoğan, Nazif, **Üretim Planlamasında Doğrusal Programlama Ve Demir Çelik Endüstrisinde Bir Uygulama**, Ankara: Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Yayınları, 1981

Hillier, Fredrick S. ve Gerald J Lieberman, **Introduction To Operation Research**, 7.Baskı, ABD: McGraw Hill Higher Education, 2001

İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü, **Akyolbil Filo Yönetim El Kitabı**, İstanbul, 2015

Kara, İmdat, **Doğrusal Programlama**, 2.Baskı, Eskişehir: Bilim Teknik Yayınevi, 2000

Luenberger, David G. ve Yinyu Ye, **Linear And Nonlinear Programming**, 4.Baskı, ABD: Springer, 2015

Mallet, William J., “Federal Public Transportation Program: An Overview”, Jordan G. Clark ve Ian R. Rodriguez (Ed.), **U.S. Transit, Transportation And Infrastructure Considerations And Developments Volume 4** içinde, A.B.D: Nova Publishers, 2014, ss. 23-33

Matoušek, Jiří ve Bernd Gärtner, **Understanding And Using Linear Programming**, Almanya: Springer, 2006

Mehta, Anouj (Ed.), **Tool Kit For Public-Private Partnerships In Urban Bus Transport For The State Of Maharashtra, India**, Filipinler: Asian Development Bank, 2011

Özden, Kenan ve Sait Gül, **Yöneylem Araştırması I (Bilgisayar Destekli Doğrusal ve Parametrik Programlama)**, 1.Basım, Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık, 2014

Öztürk, Ahmet, **Yöneylem Araştırması**, 16.Baskı, Bursa: Ekin Basın Yayın Dağıtım, 2016

Rodrigue, Jean-Paule, Claude Comtois ve Brian Slack, **The Geography Of Transport Systems**, 1.Baskı, A.B.D: Routledge Taylor&Francis Group, 2006

Sharma, A. K., **Textbook Of Linear Programming-II**, 1.Baskı, Hindistan: Discovery Publishing House, 2005

Sinha, S.M., **Mathematical Programming Theory And Methods**, 1.Baskı, New Delhi: Elsevier Publish, 2006

Taaffe, Edward J., Howard L. Gauthier ve Morton E. O’Kelly, **Geography Of Transportation**, 2.Baskı, A.B.D: Prentice Hall, 1996

Taha, Hamdy A., **Yöneylem Araştırması**, Ş. Alp Baray ve Şakir Esnaf (çev.), İstanbul: Literatür Yayınları, 2011

Tang, S.L., **Linear Optimization In Applications**, 1.Baskı, Hong Kong: Hong Kong University Press, 1999

Taşkın, Harun, “Yöneylem Araştırması”, Ercan Öztemel (Ed.), **Endüstri Mühendisliğine Giriş** içinde, İstanbul: Papatya Yayıncılık, 2009, ss. 239-266

Timor, Mehpere, **Yöneylem Araştırması**, İstanbul: Türkmen Kitabevi, 2010

Ulucan, Aydın, **Yöneylem Araştırması İşletmecilik Uygulamalı Bilgisayar Destekli Modelleme**, 2.Baskı, Ankara: Siyasal Kitabevi, 2007

Vanderbei, Robert J., **Linear Programming: Foundations And Extensions**, 2.Baskı, A.B.D: Springer, 2001

Vuchic, Vukan R., **Urban Transit Operations, Planning And Economics**, A.B.D: A John Wiley & Sons Inc. Publication, 2005

White, Peter, “The Roles Of ‘Conventional’ And Demand-Responsive Bus Services”, Corinne Mulley ve John D. Nelson (Ed.), **Paratransit Shaping The Flexible Transport Future** içinde, Birleşik Krallık: Emerald Group Publishing, 2016, ss. 307-332

Süreli Yayınlar

Agrawal, Anil Kumar ve S. L. Dhingra, “An Optimal Programme For Augmentation Of Capacities Of Depots And Shipment Of Buses From Depots To Starting Points Of Routes”, **Indian Journal of Pure and Applied Mathematics**, Vol.20, No.2, 1989, ss.111-120

Djiba, Cheik B., Mamadou Balde, Babacar M. Ndiaye, Roger M. Faye ve Diaraf Seck, “Optimizing Dead Mileage In Urban Bus Routes. Dakar Dem Dikk Case Study”, **Journal of Transportation Technologies**, Vol.2, No.3, 2012, ss.241-247

Karaatlı, Meltem, Nuri Ömürbek ve Hasan Yılmaz, “Mobilya Sektöründe Bulanık Doğrusal Programlama Tekniği İle Üretim Planlaması Uygulaması”, **Uluslararası Yönetim İktisat Ve İşletme Dergisi**, Cilt 10, Sayı 22, 2014, ss.95-118

Kepaptsoglou, Konstantinos, Matthew G. Karlaftis ve Tilemaxos Bitsikas, “Bus-To-Depot Allocation: Models And Decision Support System”, **Journals of Transportation Engineering**, Vol.136, No.7, 2010, ss.600-605

Kimijima, Nobuhiko, Hikaru Takahashi, Iko Kawabata ve Shigehiro Matsuo, “New Urban Transport System For Middle East Monorail System For Dubai Palm Jumeirah Transit System”, **Hitachi**, Vol.59, No. 1, 2010, ss.47-51

Mahadikar, Jagadish, Raviraj H. Mulangi ve Thallak G. Sitharam, “Optimization Of Bus Allocation To Depots By Minimizing Dead Kilometers”, **Journal of Advanced Transportation**, Vol.49, No.8, 2015, ss.901-912

Nasibov, Efendi, Uğur Eliyi, Mefharet Özkılçık Ertaç ve Ümit Kuvvetli, “Deadhead Trip Minimization In City Bus Transportation: A Real Life Application”, **PROMET-Traffic&Transportation**, Vol.25, No.2, 2013, ss.137-145

Prakash, Satya, B. V. Balaji ve Deepak Tuteja, “Optimizing Dead Mileage In Urban Bus Routes Through A Nondominated Solution Approach”, **European Journal of Operational Research**, Vol.114, No.3, 1999, ss.463-475

Prakash, Satya ve Vivek Saini, “Selection Of Optimal Site For New Depot Of Specified Capacity With Two Objectives”, **Indian Journal Of Pure And Applied Mathematics**, Vol.20, No.5, 1989, ss.425-432

Sharma, Vijay ve Satya Prakash, “Optimizing Dead Mileage In Urban Bus Routes”, **Journal of Transportation Engineering**, Vol.112, No.1, 1986, ss.121-129

Sridharan, R., “Allocation Of Buses Depots: A Case Study”, **Vikalpa**, Vol.16, No.2, 1991, ss.27-32

Uyeno, Dean H. ve Keith A. Willoughby, “Transit Centre Location-Allocation Decisions”, **Transportation Research Part A: Policy&Practice**, Vol.29A, No.4, 1995, ss.263-272

Van der Perre, Peter P. G. ve Dirk D. L. Van Oudheusden, “Reducing Depot-Related Costs Of Large Bus Operators: A Case Study In Bangkok”, **European Journal of Operational Research**, Vol.96, No.1, 1997, ss.45-53

Waters, N. M., S. C. Wiransinghe, A. Babalola ve K. E. D. Marion, “Location Of Bus Garages”, **Journal of Advanced Transportation**, Vol.20, No.2, 1986, ss.133-150

Willoughby, Keith A., “A Mathematical Programming Analysis Of Public Transit Systems”, **Omega The International Journal of Management Science**, Vol.30, No.3, 2002, ss.137-142

Willoughby, Keith A., ve Dean H. Uyeno, “Resolving Splits In Location/Allocation Modelling: A Heuristic Procedure For Transit Center Decisions”, **Transportation Research Part E Logistics and Transportation Review**, Vol.37, No.1, 2001, ss.71-83

Diğer Yayınlar

Agrawal, O. P., “Urban Transport”, **India Infrastructure Report 2006**, Hindistan, 2006

Aytemiz Arşiv Fiyat Listesi. (t.y.), <http://www.aytemiz.com.tr/faaliyet-alanlari-hizmetler/istasyonlar-hakkinda/akaryakit-ve-pompa-fiyatlari/arsiv-fiyat-listesi>, (20 Şubat 2017)

Bus Depots. (t.y.), [https://ppiaf.org/sites/ppiaf.org/files/documents/toolkits/UrbanBusToolkit/assets/3/3.1/35\(vii\)b.html](https://ppiaf.org/sites/ppiaf.org/files/documents/toolkits/UrbanBusToolkit/assets/3/3.1/35(vii)b.html) (29 Nisan 2017)

Considerations For Depot Design, 2015, <http://www.tautonline.com/considerations-for-depot-design/> (18 Nisan 2017)

Cornuejols, Gerard ve Michael Trick, “Quantitative Methods For The Management Sciences 45-760 Course Notes”, (t.y.), Carnegie Mellon University, Tepper School of Business, <http://mat.gsia.cmu.edu/classes/QUANT/NOTES/notes.pdf> (27 Mart 2017)

Doğrusal Programlama. (t.y.), [http://web.itu.edu.tr/~cebife/DP_model\(2\).pdf](http://web.itu.edu.tr/~cebife/DP_model(2).pdf), (27 Mart 2017)

Ferguson, Thomas S., “Linear Programming A Concise Introduction”, (t.y.), University of California, Department of Mathematics, <https://www.math.ucla.edu/~tom/LP.pdf> (27 Mart 2017)

Gillebo, Rolf, Bernt Nielsen, Roar Skarbøe ve Börje Wallberg, “Public Transport In Lahore”, **SIDA Evaluation Report, Infrastructure, Pakistan**, Pakistan: SIDA, 1986

İETT Terimler Sözlüğü, “Ölü Kilometre”, İstanbul: A4 Grafik Matbaacılık, 2012

İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü, **İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü 2014-2015 Sürdürülebilirlik Raporu**, İstanbul, 2016

Lewis, Catherine, “Linear Programming: Theory And Applications”, 2008, Whitman College, Mathematics Department, <https://www.whitman.edu/Documents/Academics/Mathematics/lewis.pdf> (27 Mart 2017)

Liu, Ronghui ve Shalini Sinha, “Modelling Urban Bus Service And Passenger Reliability”, **The Third International Symposium On Transportation Network Reliability**, Hollanda, 19-20 Temmuz 2007

Nagraj, Guruprasad, “An Evaluation Of Heuristic Algorithm In Reduction Of Dead Mileage And Optimal Scheduling For Urban Transit System Study Of BMTC (Bangalore Metropolitan Transport Corporation)”, **Yayımlanmamış Doktora Tezi**. Department Of Computer Science & Engineering Educational And Research Institute University, 2011

Nasiboğlu, Efendi, Uğur Eliyi, Mefharet Özkılçık ve Ümit Kuvvetli, “Şehiriçi Toplu Taşımada Ölü Kilometre Minimizasyonu İçin Bir Uygulama”, **Endüstri Mühendisliği**

Yazılımları Ve Uygulamaları Kongresi, İzmir: Makine Mühendisleri Odası İzmir Şube Yöneticiliği, 30 Eylül-1/2 Ekim 2011, ss.135-146

Önder, Hatice Gül ve Murat Önder, “Ulaşımın Bütünleştirilmesinde Akılcı Başlangıçlar: Toplu Ulaşımın Hat Optimizasyonu İle Türler Arası Entegrasyon”, **Transist 2014 7.Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı**, İstanbul: İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 19-20 Aralık 2014, ss.314-321

Pepin, Ann-Sophie, Guy Desaulniers, Alain Hertz ve Dennis Huisman, “Comparison Of Heuristic Approaches For The Multiple Depot Vehicle Scheduling Problem”, **Econometric Institute Reports 2006**, Hollanda: Erasmus School of Economics, 2006

Sevim, Burak ve Köksal Altunkaynak, “Zon Bazlı Hat Kodlama Sistemi”, **Transist 2014 7.Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı**, İstanbul: İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 19-20 Aralık 2014, ss.192-200

Smith, J. Cole ve Z. Caner Taşkın, “A Tutorial Guide To Mixed-Integer Programming Models And Solution Techniques” Boğaziçi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, http://www.ie.boun.edu.tr/~taskin/pdf/IP_tutorial.pdf (30 Mart 2017)

Yöneylem Araştırması Ders Notları-1, 2011, <http://enm.blogcu.com/yoneylem-arastirmasi-ders-notlari-1/9448971> (21 Aralık 2016)