



**RAYLI TAŞIMACILIKTA ALTERNATİF HİZMET  
POLİTİKALARININ GELİR YÖNETİMİ VE  
KAPASİTEYE ETKİSİ**

**Ahmet Ziyaeddin BULUM**

**2022  
DOKTORA TEZİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Muharrem DÜĞENCİ**

**Tez 2. Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Mümtaz İPEK**

**RAYLI TAŞIMACILIKTA ALTERNATİF HİZMET POLİTİKALARININ  
GELİR YÖNETİMİ VE KAPASİTEYE ETKİSİ**

**Ahmet Ziyaeddin BULUM**

**Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında  
Doktora Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Muharrem DÜĞENCİ**

**Tez 2. Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Mümtaz İPEK**

**KARABÜK**

**Kasım 2022**

Ahmet Ziyaeddin BULUM tarafından hazırlanan “RAYLI TAŞIMACILIKTA ALTERNATİF HİZMET POLİTİKALARININ GELİR YÖNETİMİ VE KAPASİTEYE ETKİSİ” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Muharrem DÜĞENCİ .....  
Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Mümtaz İPEK .....  
Tez 2. Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 14/11/2022

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN (GAZİ)	.....
Üye : Doç. Dr. Muharrem DÜĞENCİ (KBÜ)	.....
Üye : Doç. Dr. Fuat ŞİMŞİR (KBÜ)	.....
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim DEMİR (SAÜ)	.....
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Selçuk ÖZCAN (KBÜ)	.....

...../...../2022

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Müslüm KUZU .....  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Ahmet Ziyaeddin BULUM

# ÖZET

## Doktora Tezi

### RAYLI TAŞIMACILIKTA ALTERNATİF HİZMET POLİTİKALARININ GELİR YÖNETİMİ VE KAPASİTEYE ETKİSİ

Ahmet Ziyaeddin BULUM

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Muharrem DÜĞENCİ

Tez 2. Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Mümtaz İPEK

Kasım 2022, 107 sayfa

Gelir Yönetimi, özellikle havayolu olmak üzere konaklama, kiralama, eğlence ve spor organizasyonu, taşımacılık gibi alanlarda kullanılmış ve geliri artırmada başarısı kabul edilmiş bir sistemdir. En önemli kullanım alanı ve çıkış noktası havayolu yolcu taşımacılığıdır. Yüksek hızlı trenlerin yaygınlaşması ile demiryolu taşımacılığının, özellikle bilet satış ve kapasite tahsisi konularında, havayolu ile benzeştiği görülmektedir. Buradan yola çıkarak, gelir yönetiminin koltuk tahsisi ve fiyatlandırma politikalarından bazılarının Türk demiryolu yolcu taşımacılığında uygulanabilirliği incelenmiştir. Bu amaçla, koltuk tahsisi için sepetli bilet rezervasyon sistemi (TBS), genetik algoritma kullanılarak yüksek hızlı tren (YHT) için uyarlanmış, YHT verileriyle simülasyon yardımıyla test edilmiştir. Bu aşamada demiryolu alanında ilk defa kullanılan müşteri davranışı olan, müşteri yönlendirme matrisi, dahil edilerek kapasite tahsisine etkisi incelenmiştir. Sonuçlar önerilen modelin yıllık %5,8 civarında bir gelir artışı ile başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Fiyatlandırma için ise iki yöntem belirlenmiştir. İlkinde, yoğun zaman (tepe) fiyatlandırma yöntemi Ramsey fiyatlandırma modeli kullanılarak uygulanmış; diğerinde periyotlarla fiyatlandırma yöntemi YHT hatları için uygulanmıştır. Doğrusal olmayan problemlere Karush-Kuhn-Tucker (KKT) metoduyla optimum çözümler aranmıştır. Yapılan analizler sonucunda, yoğun zaman fiyatlandırma ile sosyal refah yüksek bir seviyede tutularak, %4,7 oranında karın artırılabilceği görülmüştür. Periyotlara göre farklı fiyatlandırmanın ise elde edilebilecek geliri sefer başına %3,47 oranında yükseltebileceği gözlemlenmiştir. Türk demiryolu yolcu taşımacılığında, YHT için şimdiye kadar uygulanmamış olan, Gelir Yönetimi ilkelerinin, uygulandığında başarılı sonuçlar vereceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Sözcükler :** Gelir yönetimi, Kapasite tahsisi, Genetik algoritma, Rezervasyon kontrol sistemi, Simülasyon, Fiyatlandırma, Müşteri yönlendirme.

**Bilim Kodu** : 90610, 90612, 90619

## **ABSTRACT**

**Ph. D. Thesis**

### **THE INFLUENCE OF ALTERNATIVE SERVICE POLICIES ON REVENUE MANAGEMENT AND CAPACITY IN RAIL TRANSPORTATION**

**Ahmet Ziyaeddin BULUM**

**Karabük University  
Institute of Graduate Programs  
Department of Industrial Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Doç. Dr. Muharrem DÜĞENCİ**

**Thesis 2. Advisor:**

**Dr. Öğr. Üyesi Mümtaz İPEK**

**November 2022, 107 pages**

Revenue management is a system that has been used in areas such as accommodation, car rental, entertainment and sports organization, transportation, especially airlines, and its success in increasing revenue has been accepted. Air passenger transportation is the most critical usage area and starting point of revenue management. With the widespread use of high-speed trains (HST), rail transport appears to be similar to airlines, especially in terms of ticket sales and capacity allocation. For this reason, the applicability of seat allocation and some of the pricing policies of revenue management in the Turkish railway were examined in this study. For this purpose, the ticket booking system with buckets (TBS) was adapted for Turkish HST using a genetic algorithm to allocate the seats and tested with the help of simulation using Turkish HST data. At this stage, customer diversion, which is a customer behavior used for the first time in the railway industry, was included and its effect on capacity allocation was examined. The results showed that the proposed model could increase annual revenue by 5.3 million TL (around 5.8%).

Two methods were decided for pricing. In the first, the peak time pricing method was applied using the Ramsey pricing model; in the second, the pricing with periods was proposed and tested for Turkish HST lines. Optimum solutions for nonlinear problems were searched with the Karush-Kuhn-Tucker (KKT) method. As a result of the analysis, it was observed that profit could be increased by 4.7% by keeping social welfare at a high level with peak-time pricing. It was also examined that different pricing according to the periods can increase the income by 3.47% per trip. It is concluded that the revenue management principles, which have not been applied to Turkish HST until now, can yield successful results in Turkish rail passenger transportation when applied.

**Key Word** : Revenue management, Capacity allocation, Genetic algorithm, Booking control system, Simulation, Pricing, Customer diversion.

**Science Code** : 90610, 90612, 90619



## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme, bilgilendirme ve sabırla çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Muharrem DÜĞENCİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin oluşumunda bilgi, tecrübe, uyarı ve tavsiyeleri ile bana yardımcı olan yönlendiren sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Mümtaz İPEK'e ve tez izleme komitesindeki kıymetli hocalarım Doç. Dr. Fuat ŞİMŞİR ve Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim DEMİR'e çok teşekkür ederim.

Maddi ve manevi desteğiyle her zaman yanımda olan eşim Adile'ye, varlıklarıyla mutluluk ve heyecan kaynağı olan, bana manevi güç veren kızım Ayşe Sare ve oğlum Ekrem Buğra'ya, ayrıca dualarını ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen annem, babam ve kardeşlerime tüm kalbimle teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	5
LİTERATÜR İNCELEMESİ.....	5
BÖLÜM 3 .....	11
GELİR YÖNETİMİ VE DEMİRYOLU TAŞIMACILIĞI.....	11
3.1. GELİR YÖNETİMİ .....	11
3.2. FİYATLANDIRMA VE GELİR OPTİMİZASYONU.....	15
3.3. DEMİRYOLU TAŞIMACILIĞI.....	20
3.4. TCDD YÜKSEK HIZLI TREN .....	23
BÖLÜM 4 .....	25
KOLTUK TAHSİSİ İLE GELİR OPTİMİZASYONU .....	25
4.1. SEPETLİ BİLET REZERVASYON SİSTEMİ (TBS) .....	27
4.2. MATEMATİKSEL FORMÜLASYON VE SİMÜLASYON ADIMLARI ..	31
4.2.1. Müşteri Yönlendirme Matrisi (Customer Diversion Matrix - CDM).....	35
4.2.2. Genetik Algoritma Uygulama Adımları .....	36
4.2.3. Simülasyon Adımları .....	40
4.3. KOLTUK TAHSİSİ UYGULAMASI .....	44
4.3.1. Kurgusal Demiryolu Hattı Uygulaması .....	44
4.3.2. YHT Hattı Uygulaması.....	47
4.3.3. Müşteri Davranışı Etkileri .....	55

BÖLÜM 5 .....	59
FİYATLANDIRMA STRATEJİSİ İLE GELİR OPTİMİZASYONU .....	59
5.1. YOĞUN ZAMAN (TEPE) FİYATLANDIRMA .....	60
5.1.1. Tek Tip Fiyatlandırma Modeli.....	61
5.1.2. Yoğun Zaman (Tepe) Fiyatlandırma Modeli.....	64
5.1.3. Tek Zamanlı Fiyatlandırma Uygulaması .....	68
5.1.4. Yoğun Zaman (Tepe) Fiyatlandırma Uygulaması.....	76
5.2. PERİYOTLARLA FİYATLANDIRMA .....	82
5.2.1. Periyotlarla Fiyatlandırma Modeli.....	83
5.2.2. Periyotlarla Fiyatlandırma Uygulaması .....	85
BÖLÜM 6 .....	96
SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	96
KAYNAKLAR .....	99
ÖZGEÇMİŞ .....	107

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1.	Tez çalışmasındaki YHT uygulamasının özet görünümü. ....	3
Şekil 3.1.	Gelir Yönetiminin uygulanmasında sistemsel işleyiş [69]. ....	13
Şekil 3.2.	Simülasyon-optimizasyon etkileşimi ile sonucu iyileştirme mekanizması. ....	13
Şekil 3.3.	Fiyata bağlı talep eğrisi [69]. ....	17
Şekil 3.4.	Belirli esneklik değerlerinde fiyat-tepki fonksiyonları [69]. ....	18
Şekil 3.5.	Marjinal maliyet fiyatlandırma ve sosyal refah [1]. ....	20
Şekil 3.6.	Ülkelerin demiryolu yoğunluğunu (km/km <sup>2</sup> ) gösteren harita [73]. ...	21
Şekil 3.7.	TCDD’de ilk kullanıma giren YHT serilerinden biri, HT65000. ....	22
Şekil 3.8.	YHT kapsama haritası [75]. ....	23
Şekil 3.9.	TCDD YHT işletmesi ile ilgili özet görünüm. ....	24
Şekil 4.1.	Üç duraklı bir tren hattı şeması. ....	28
Şekil 4.2.	TBS’nin çalışma mekanizmasını gösteren akış diyagramı. ....	29
Şekil 4.3.	PBLC’nin bölümlendirme mekanizması [80]. ....	30
Şekil 4.4.	TBS’nin bölümlendirerek (sepetli) çalışma prensibi [80]. ....	30
Şekil 4.5.	GA uygulama adımlarını gösteren akış şeması. ....	37
Şekil 4.6.	Çaprazlama operasyonunun işleyişi için bir örnek. ....	39
Şekil 4.7.	Mutasyon operasyonunun işleyişini gösteren örnek şekil. ....	39
Şekil 4.8.	Parametreler için faktör seviyeleri. ....	42
Şekil 4.9.	Müşteri yönlendirmesi içeren bilet satış işleminin akış şeması. ....	43
Şekil 4.10.	Müşteri yönlendirmesi içeren ve içermeyen durumlarda beklenen gelirin karşılaştırması. (a) Düşük, (b) Orta ve (c) Yüksek talep. ....	46
Şekil 4.11.	Müşteri yönlendirmesi içeren ve içermeyen durumlarda reddedilen müşteri sayısının karşılaştırması. (a) Düşük, (b) Orta ve (c) Yüksek talep. ....	47
Şekil 4.12.	YHT uygulamasında müşteri yönlendirmesi içeren ve içermeyen durumlarda beklenen gelirler. (a) Düşük, (b) Orta ve (c) Yüksek talep. ....	53
Şekil 4.13.	YHT uygulamasında müşteri yönlendirmesi içeren ve içermeyen durumlarda beklenen gelirin karşılaştırması. (a) Düşük, (b) Orta ve (c) Yüksek talep. ....	53

Şekil 4.14.	YHT uygulamasında müşteri yönlendirmesi içeren ve içermeyen durumlarda reddedilen müşteri sayısının karşılaştırması. (a) Düşük, (b) Orta ve (c) Yüksek talep. ....	54
Şekil 4.15.	YHT uygulamasında CDM dahil edildiğinde beklenen gelirlerdeki değişim. ....	56
Şekil 4.16.	CDM'nin farklı değerleri ile beklenen gelirdeki değişim oranları (%). ....	57
Şekil 4.17.	CDM'nin farklı değerleri ile satılan bilet sayısındaki değişim oranları (%). ....	57
Şekil 5.1.	-100 değerine kadar 0,1br adımlarla bulunan $\lambda$ değerleri (sol: $\lambda_1$ ve sağ: $\lambda_2$ ). ....	70
Şekil 5.2.	Tüm tarama sonucunda bulunan optimum $\lambda$ değerleri (sol: $\lambda_1$ ve sağ: $\lambda_2$ ). ....	71
Şekil 5.3.	Business fiyatı ( $p_1$ ) için bulunan optimum değerler. ....	71
Şekil 5.4.	Ekonomi fiyatı ( $p_2$ ) için bulunan optimum değerler. ....	72
Şekil 5.5.	Business talebi ( $d_1$ ) için bulunan optimum değerler. ....	72
Şekil 5.6.	Ekonomi talebi ( $d_2$ ) için bulunan optimum değerler. ....	73
Şekil 5.7.	Beklenen kar ( $\Pi$ ) için bulunan optimum değerler. ....	73
Şekil 5.8.	Beklenen toplam sosyal refah ( $W$ ) için optimum değerler. ....	74
Şekil 5.9.	Yoğun olmayan zamana ait optimum $\lambda_{1,off}$ ve $\lambda_{2,off}$ değerleri (sol $\lambda_1$ , sağ $\lambda_2$ ). ....	77
Şekil 5.10.	Yoğun (tepe) zamana ait optimum $\lambda_{1,pe}$ ve $\lambda_{2,pe}$ değerleri (sol $\lambda_1$ , sağ $\lambda_2$ ). ....	78
Şekil 5.11.	Yoğun olmayan zamana ait optimum business ve ekonomi fiyatları (sol $p_{1,off}$ , sağ $p_{2,off}$ ). ....	78
Şekil 5.12.	Yoğun (tepe) zamana ait optimum business ve ekonomi fiyatları (sol $p_{1,pe}$ , sağ $p_{2,pe}$ ). ....	79
Şekil 5.13.	Yoğun (tepe) zaman fiyatlandırmada optimum aralıklarda elde edilebilecek kar ( $\Pi$ ) değerleri. ....	79
Şekil 5.14.	Yoğun (tepe) zaman fiyatlandırmada optimum aralıklarda elde edilebilecek toplam sosyal refah ( $W$ ) değerleri. ....	80
Şekil 5.15.	Ankara-Konya YHT hattının şematik gösterimi. ....	86
Şekil 5.16.	Ankara-Konya YHT hattında farklı ürünler için bilet alan yolcuların sayısının zamana göre dağılımı. ....	87

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. Çalışmanın yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırması.....	9
Çizelge 4.1. Örnek bir müşteri yönlendirme matrisi.....	35
Çizelge 4.2. Üç duraklı tren hattı örneği için ürün ve sepetlerin kodlanması.....	36
Çizelge 4.3. Üç duraklı tren hattı örneği için gen ve kromozomların kodlanması. .	38
Çizelge 4.4. Simülasyon sözde (pseudo) kodu. ....	40
Çizelge 4.5. GA parametreleri ve faktör seviyeleri.....	41
Çizelge 4.6. GA deney parametreleri ve elde edilen sonuçlar. ....	41
Çizelge 4.7. Kurgusal demiryolu hattı için talep ve fiyat bilgileri.....	44
Çizelge 4.8. Kurgusal demiryolu hattına ait CDM. ....	44
Çizelge 4.9. Simülasyon sonuçları.....	45
Çizelge 4.10. YHT Ankara-İstanbul hattı bilet fiyatları. ....	48
Çizelge 4.11. YHT Ankara-İstanbul hattına ait talepler ve standart sapmaları (parantez içinde). ....	48
Çizelge 4.12. YHT Ankara-İstanbul hattı için atanmış ürün numaraları. ....	49
Çizelge 4.13. YHT Ankara-İstanbul hattına ait CDM. ....	50
Çizelge 4.14. YHT Ankara-İstanbul hattı için simülasyon sonuçları. ....	51
Çizelge 5.1. Ankara-Konya YHT hattı seferlere göre 2016 yılı yolcu sayıları.....	68
Çizelge 5.2. Sınıflara ait kapasite, talep ve esneklik katsayıları. ....	69
Çizelge 5.3. Tek zaman için Ramsey fiyatlandırma modeli adımları. ....	69
Çizelge 5.4. Elde edilen minimum ve maksimum değerler. ....	75
Çizelge 5.5. Örnek olarak seçilen $\lambda$ değerleri ile elde edilen sonucun mevcut durum ile karşılaştırması.....	75
Çizelge 5.6. Yoğun ve yoğun olmayan zamanlara ait talep bilgileri. ....	76
Çizelge 5.7. Yoğun zaman fiyatlandırma uygulama adımları.....	76
Çizelge 5.8. Yoğun zaman fiyatlandırma için elde edilen minimum ve maksimum değerler. ....	80
Çizelge 5.9. Yoğun zaman fiyatlandırmada örnek olarak seçilen $\lambda$ değerleri ile elde edilen sonucun, mevcut durum ile karşılaştırması. ....	81
Çizelge 5.10. Ankara-Konya YHT hattındaki bir sefere ait bilgiler. ....	86
Çizelge 5.11. Ankara-Konya YHT hattında bilet alımı için tespit edilen periyot bilgileri. ....	90

Çizelge 5.12. Düşük talep varlığında optimizasyon öncesi durum.....	91
Çizelge 5.13. Düşük talep varlığında optimizasyon sonuçları.....	91
Çizelge 5.14. Yüksek talep varlığında optimizasyon öncesi durum.....	92
Çizelge 5.15. Yüksek talep varlığında optimizasyon sonuçları.....	92
Çizelge 5.16. Farklı esneklik katsayıları ile yüksek talep varlığında optimizasyon sonuçları.....	93
Çizelge 5.17. Talep esnekliğinin bilet fiyatlarına ve gelire etkisi.....	94
Çizelge 5.18. Farklı Gelir Yönetimi stratejilerinin optimizasyon öncesi durum ile karşılaştırılması.....	95

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

- $a_{kh}$  : Ürün-kaynak ilişki matrisi ( $a_{kh} \in \{0,1\}$ )
- $b$  : Sepet numarası ( $b=1, 2, \dots, n_{buc}$ )
- $Buc$  : Sepet vektörü
- $C$  : Tren kapasitesi
- $c_b$  : Sepet b için ayrılan koltuk kapasitesi
- $c_k$  :  $k$  ürünü için maksimum kapasite
- $D$  : Toplam yıllık planlanan talep
- $dec_{ij}$  : Ürünler/biletler için yönlendirme matrisi
- $d_i$  :  $i$  sınıfına ait talep
- $div_k$  :  $k$  ürününün yönlendirilen müşteri sayısı
- $dmnd$  : Ürünler/biletler için talep vektörü
- $d_{off,i}$  : Yoğun olmayan zamanda  $i$  sınıfına ait talep
- $d_{pe,i}$  : Yoğun zamanda  $i$  sınıfına ait talep
- $DS$  : Durak sayısı
- $fc_i$  :  $i$  sınıfına ait sabit maliyet
- $h$  : Kaynak sayısı
- $i$  : Ürün/bilet sınıfı numarası ( $i=1,2,\dots,n$ )
- $j$  : Periyot numarası ( $j=1,2,\dots,PS$ )
- $k$  : Ürün numarası ( $k=1, 2, \dots, n_{prod}$ )
- $\ell_{kj}$  : Ürün  $k$  için  $j$ 'inci periyottaki satış periyodu süresi
- $m$  : Ürünler/biletler için ortalama talep vektörü
- $MC$  : Toplam yıllık gider
- $mc_i$  :  $i$  sınıfına ait birim işletme maliyeti
- $mc_{off,i}$  : Yoğun olmayan zamanda  $i$  sınıfına ait birim işletme maliyeti
- $mc_{pe,i}$  : Yoğun zamanda  $i$  sınıfına ait birim işletme maliyeti
- $n$  : Hatta satışa sunulan ürün/bilet sınıfı sayısı



$n_{Buc}$	: Toplam sepet sayısı
$n_{Prod}$	: Toplam ürün sayısı
$p$	: Ürünler/biletler için fiyat vektörü
$p(\varphi, \ell)$	: Ters talep fonksiyonu
$p_i$	: $i$ sınıfına ait bilet fiyatı
$p_{kj}$	: $j$ 'inci periyot için ürün $k$ 'nin fiyatı
$p_{off,i}$	: Yoğun olmayan zamanda $i$ sınıfı bilet fiyatı
$p_{pe,i}$	: Yoğun zamanda $i$ sınıfı bilet fiyatı
$Pr$	: Ürün vektörü
$PS$	: Bilet satışı için belirlenen periyot sayısı
$qtk_k$	: $k$ ürünü için bilet havuzunda bulunan boş koltuk sayısı
$R$	: Toplam yıllık gelir
$rc_b$	: Sepet $b$ 'de kalan koltuk kapasitesi
$rest_k$	: Henüz $k$ ürünü için bilet alamamış müşterilerin sayısı
$Rev$	: Toplam Gelir
$R_{off,i}$	: Yoğun olmayan zamanda $i$ sınıfına ait gelir
$R_{pe,i}$	: Yoğun zamanda $i$ sınıfına ait gelir
$rs$	: $rs$ ürünü için bilet talep edenleri temsil eden rastgele sayı
$R_t$	: $t$ zaman aralığında elde edilen gelir
$S$	: Toplam yıllık müşteri fazlalığı
$s$	: Ürünlere/biletlere ait taleplerin standart sapma vektörü
$sale$	: Her bir ürünün satışından elde edilen gelir vektörü
$s_i$	: $i$ sınıfına ait müşteri fazlalığı
$sold$	: Herbir üründen satılan bilet sayısının tutulduğu vektör
$t$	: Bilet satış süresi $T$ içinde küçük bir zaman aralığı
$T$	: Bilet satışı için belirlenen toplam zaman
$TK$	: Kullanılmamış koltuk ve satılmamış biletlerin toplandığı bilet havuzu
$u$	: Ürün/bilet bulunabilirliği için vektör ( $u \in \{0,1\}$ )
$W$	: Toplam yıllık sosyal refah
$\delta$	: Sepet-ürün ilişki vektörü ( $\delta \in \{0,1\}$ )

- $\varepsilon_i$  :  $i$  sınıfına ait talep esnekliği  
 $\varepsilon_{off,i}$  :  $i$  sınıfına ait yoğun olmayan zaman talep esnekliği  
 $\varepsilon_{pe,i}$  :  $i$  sınıfına ait yoğun zaman talep esnekliği  
 $\lambda, \gamma$  : Lagrange arpanları  
 $\Pi$  : Toplam yıllık kar  
 $\pi_i$  :  $i$  sınıfına ait kar  
 $\varphi_{kj}$  :  $j$ 'inci periyotta ürün  $k$ 'nin talep akışı/yoğunluğu

## **KISALTMALAR**

- GY : Gelir Yönetimi (Revenue Management)  
YHT : Yüksek Hızlı Tren  
TCDD : Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları  
EMSR : Expected Marginal Seat Revenue (Beklenen Marjinal Koltuk Geliri)  
THY : Türk Hava Yolları  
O-D : Origin - Destination (Başlangıç - Varış)  
FCFS : First Come - First Served (Önce Gelen Önce Hizmet Alır)  
PBLC : Partial Booking Limit Control (Bölümlü Rezervasyon Limiti Kontrolü)  
TBS : Ticket Booking System (Sepetli Bilet Rezervasyon Sistemi)  
CDM : Customer Diversion Matrix (Müşteri Yönlendirme Matrisi)  
GA : Genetik Algoritma  
BH : Bilet Havuzu  
KKT : Karush-Kuhn Tucker

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Gelir Yönetimi, işletmelerin karlarını artırmak için kullandıkları teknikler ve politikalar bütünü olarak ifade edilebilir. Özellikle de kısıtlı ve depolanıp saklanamaz ürünler söz konusu olduğunda, içerdiği stratejiler geliri artırmada işletmelere belirgin faydalar sağlamaktadır. Geçmişe dönük olarak havayolu endüstrisinde yönlendirici rol oynayan Gelir Yönetimi, belirli bir üründen belirli bir süre için belirli bir ücret karşılığında bütün talep dilimlerine ne kadar satılabileceğine ilişkin limitlerin belirlenmesini ve zaman içinde güncellenmesini gerektirmektedir.

Özellikle son yıllarda yüksek hızlı trenlerin yaygınlaşmasıyla birlikte, Gelir Yönetimi demiryolu sektöründe de uygulama alanı bulmuştur. Her ne kadar kapasite kontrolü açısından havayolundan farklı olsa da, bilet satış ve rezervasyonu açısından gün geçtikçe havayolu sektörüne benzemektedir. Son yıllarda elektronik olarak özellikle internette yapılan satışların artışı, Gelir Yönetimi yöntemlerinin uygulanabilirliğini kolaylaştırdığı söylenebilir. Gelir Yönetimi, fiyat değişikliklerinin, rezervasyon limitlerinin veya tahsis edilen koltuk sayılarının hesaplanmasında ve güncellenmesinde kolaylıklar sağlamaktadır.

Özellikle yüksek hızlı trenin (YHT) yaygın olarak kullanıldığı ülkelerde, geliri artırmak amacıyla Gelir Yönetimi tekniklerinden sıklıkla faydalanılmaktadır. Gelir Yönetimi uygulamaları ile ilgili son yıllarda farklı sektörlerde çeşitli çalışmalar yayınlansa da, hala en büyük payı havayolu sektörü elinde tutmaktadır. Son yıllarda dikkat çeken Gelir Yönetimi uygulama alanları ise konaklama, araç kiralama, bilet satışı içeren hizmet sektörleri (spor, sinema, tiyatro, vb.) ve kara ve demiryolu taşımacılığıdır.

Ülkemizde son yıllarda demiryolu alanında YHT için yapılan yatırımlar ile demiryolu yolcu taşımacılığı, karayolu ve hatta havayolu taşımacılığı yerine tercih edilebilir

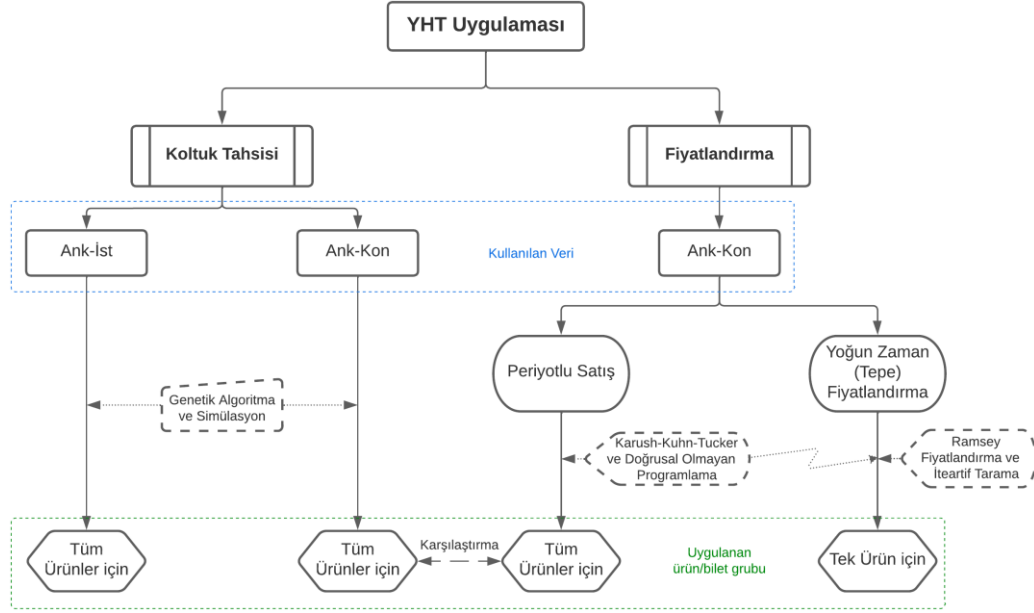
kuvvetli bir alternatif haline gelmiştir. Özellikle YHT'nin yaygın olarak kullanıldığı ülkelerde bilet satış politikaları gün geçtikçe havayolu bilet politikası ile paralellikler içermektedir. Ancak, ülkemizde genel olarak sabit fiyat bilet politikası ile satışlar yapılmaktadır. Tüm alanlarda olduğu gibi demiryolu taşımacılığında da geliri artırmak en önemli amaçtır.

Gelir Yönetiminin farklı tekniklerinden olan fiyatlandırma ve koltuk tahsisi, taşımacılık sektöründe sıkça faydalanılan yöntemlerdir. Demiryolu sektöründe, fiyatlandırma teknikleri farklı şekillerde uygulama alanı bulurken, koltuk tahsisi ise farklı dinamiklere sahip olduğundan dolayı havayolu sektöründeki kadar kolay bir şekilde uygulanamamaktadır. Demiryolu alanında koltuk tahsisi, havayolu alanındaki gibi tek bir kalkış ve varış noktası olmadığı için çözümü oldukça zor bir problemdir [1].

Bu çalışmanın amacı, ilk olarak havayolu yolcu taşımacılığında uygulanmaya başlayan Gelir Yönetimi (GY) tekniklerinin Türk demiryolu taşımacılığında uygulanabilirliğini araştırmaktır. Gelir Yönetimi araçlarından olan fiyat farklılaştırması ve koltuk tahsisi demiryolu yolcu taşımacılığına uygulanarak, sonuçları gözlemlenmiştir. Çalışma öncelikli olarak Gelir Yönetiminin Türk demiryolu sektöründeki ilk uygulaması olması bakımından önemlidir. İlerleyen bölümlerde detaylı olarak anlatılacak olan, fiyat farklılaştırma ve koltuk tahsisi mekanizmalarının Türkiye YHT taşımacılığındaki ilk uygulamaları olması bakımından literatüre katkıda bulunmaktadır.

Çalışmanın kapsamı ve YHT için yapılan uygulamalar basit bir şekilde aşağıdaki şekilde (Şekil 1.1) gösterilmiştir. Uygulamaların detayları, kullanılan yöntemler ve uygulamaya yönelik literatür bilgisi, her bir bölümde ayrı olarak verilmiştir. Çalışmada, YHT için koltuk tahsisi ve iki farklı fiyatlandırma yöntemi uygulanmıştır. Koltuk tahsisi problemi, birden fazla durak içermesi sebebiyle çözümü zor bir problem olduğundan, literatürde sezgisel algoritmalar kullanılarak çözülmeye çalışılmıştır [2,3]. Genetik algoritma, genetik bilimi ve doğal seçim mekanizmasını kullanarak, optimum sonuç aramasını, daha iyi çözümlerin bulunduğu bölgeye doğru yönlendirmektedir. Bunu yaparken önceki verilerden iyi sonuç verenleri kullanarak

rastgele aramayı daha hızlı bir hale getirmektedir. İyi çözümler sunduğu için, arama ve optimizasyon problemleri için sıkça kullanılan bir yöntemdir [4]. Bu sebeple, Ankara-İstanbul ve Ankara-Konya hatlarına ait problemin çözümünde genetik algorithmadan faydalanılmıştır. Elde edilen sonuçlar ise, YHT verileri kullanılarak yapılan simülasyon çalışmasıyla test edilmiştir.



Şekil 1.1. Tez çalışmasındaki YHT uygulamasının özet görünümü.

Fiyatlandırma uygulamasında ise Ankara-Konya hattında, yoğun zaman fiyatlandırması ve periyotlu satış mekanizması kullanılarak uygun bir politika belirlenmeye çalışılmıştır. Yoğun zaman fiyatlandırma ile hem sosyal refah hem de işletme karı optimize edilerek her iki tarafın da faydasına olacak optimum fiyat aralığı belirlenmiştir. Bu fiyatların belirlenmesinde, Ramsey fiyatlandırma yönteminden faydalanılmıştır. Periyotlu satış fiyatlandırmasında ise müşterilerin geliş zamanlarına göre bir profil belirlenerek, farklı periyotlarda farklı fiyatlar uygulanmak amaçlanmıştır. Bu problem ise doğrusal olmayan programlama kullanılarak çözülmeye çalışılmıştır.

Koltuk tahsisi için önerdiğimiz rezervasyon kontrol sistemi ile Ankara-İstanbul hattında %5,8 oranında bir gelir artışı beklenmektedir. Ankara-Konya hattında yapılacak periyotlu satışlar ile sefer geliri %3,8 civarında artabilmektedir. Yine Ankara-Konya bilet fiyatlarının, seferlere göre yoğun zaman fiyatlandırması ile

belirlenmesi sonucunda, sosyal refah yüksek bir seviyede tutularak karın %4,7 oranında artabileceği gözlemlenmiştir.

Çalışma altı bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde çalışmanın amacı ve ilerleyişi belirtilirken, ikinci bölümde literatürdeki geçmiş çalışmalarla ilgili bir özet bulunmaktadır. Üçüncü bölümde Gelir Yönetimi ve demiryolu taşımacılığı ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölüm koltuk tahsisi çalışmasını içerirken, farklı fiyatlandırma stratejilerinin kullanıldığı çalışmalar beşinci bölümde anlatılmıştır. Dördüncü ve beşinci bölümlerin her birinin sonunda analiz sonuçlarına ve bulgulara da değinilmiştir. Son bölümde ise, çalışmada elde edilen bulgular tartışılmış ve gelecek çalışmalara ışık tutabilecek değerlendirmelere yer verilmiştir.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR İNCELEMESİ

Gelir Yönetimi ile ilgili demiryolu alanında yapılan çalışmalar düşük sayıdadır. Bu alanda havayolu sektöründe yapılan çalışmalar oldukça fazladır ve genel olarak Gelir Yönetimi literatürünün yarısından daha fazlasını kapsamaktadır. Havayolundan sonra ise konaklama ve araç kiralama ile ilgili çalışmalar ağırlıktadır. Demiryolu taşımacılığı ile ilgili son yıllarda literatüre çalışmalar daha sık eklenmeye başlamıştır. Demir yolu alanında ki Amerika menşeli çalışmalar ağırlıklı olarak kapasite çizelgeleme ile ilgilidir [5,6]. Çin menşeli çalışmalar ise literatürde en sık rastlanan çalışmalardır. Bunun en önemli sebebi, son yıllarda Çin'in YHT taşımacılığına yaptığı yatırımlardır.

Ülkemizde de gelir yönetimi ile ilgili çalışmalarda, uluslararası literatürdeki genel duruma benzer bir durum vardır. Gelir Yönetimi ile ilgili çalışma, tez ve uygulamaların çoğu havayolu sektörüne yöneliktir. Daha sonra konaklama ve kara taşımacılığı gelmektedir. Ülkemizde demiryolu taşımacılığında Gelir Yönetimi ile ilgili şu ana kadar yazılmış bir tez bulunmamaktadır. Türkiye demiryolu taşımacılığı ile ilgili yapılan tek çalışmada Erkal Sönmez ve Esnaf [7] Gelir Yönetimi tekniklerinden beklenen marjinal koltuk gelirini (Expected Marginal Seat Revenue - EMSR) demiryolu taşımacılığına uygulamıştır. EMSR, havayolu sektöründe uygulanan şekliyle direkt demiryoluna uygulanmış, bu sebeple pek çok varsayım altında sonuç alınmıştır.

Hava taşımacılığında yıllardır uygulanan Gelir Yönetimi, uygun müşterilere uygun fiyatlar ve etkin kapasite kontrol stratejileri sunarak hava taşımacılığının gelirlerini başarıyla artırmıştır. Gelir Yönetimine ilişkin genel ve ayrıntılı çalışmalara örnek olarak Weatherford ve Bodily [8], McGill ve Van Ryzin [9], Bitran ve Caldentey [10] ve Elmaghraby ve Keskinocak'ın [11] çalışmaları gösterilebilir. Liu yaptığı çalışmada Gelir Yönetiminin Çin YHT taşımacılığındaki genel durumunu incelemiş [12], Armstrong ve Meissner [13], havayolu ve demiryolu yolcu taşımacılığı arasındaki



benzerlikleri ve farklılıkları analiz ederek, demiryolu endüstrisinde Gelir Yönetimi kullanımına ilişkin mevcut araştırma sonuçlarına genel bir bakış sunmuştur.

Brumelle ve McGill [14] ile Curry [15], çoklu iç içe geçmiş sınıfların varlığında yuvalanmış rezervasyon limitlerini ve koruma seviyelerini belirlemek için optimal koşulları bulmayı amaçlayan optimal rezervasyon limitleri (optimal booking limits) olarak bilinen bir yaklaşım önermişlerdir. Ciancimino vd. [16] çalışmalarında, yuvalanmamış koltuk tahsisi içeren ağ problemi için doğrusal deterministik ve doğrusal olmayan olasılıksal programlama modellerini karşılaştırmışlardır. Luo vd. [17], farklı trenler arasında koltuk kapasitesini kontrol etmek için çok trenli koltuk envanter kontrol modeli önermişlerdir. Xie vd. [2] çalışmalarında koltuk tahsisine yönelik stokastik bir dinamik model önermişlerdir. Bao vd. [18] araştırmalarında koltuk envanter kontrol yöntemlerinden üçünü kullanmış ve tek bir ücret sınıfı altında modellemişlerdir. Hetrakul ve Cirillo [1] ise, demiryolu için MNL (multinomial logit) ve gizli sınıf (latent class) modelleri şeklinde ayırık seçim yöntemleri önermişlerdir.

Müşteri yönlendirme davranışını içermesiyle dikkat çeken çalışmasında Kim [19], müşterilerin üst sınıftan veya daha pahalı bir bilet satın alma, yani yönlendirilme olasılığını dikkate almıştır. Yönlendirmeyi, müşterilerin başlangıçta talep ettiklerinden farklı bir fiyat sınıfından bilet satın alma isteği olarak tanımlamıştır. Yönlendirme ile ilgili yapılan diğer çalışmalara, Wilson vd. [20], Sen ve Zhang [21] ve Belobaba ve Weatherford [22]'un çalışmaları örnek verilebilir. Müşteri yönlendirme ile ilgili çok az çalışma vardır ve bunların tümü havayolu endüstrisi ile ilgilidir. Konuyla ilgili yukarıdaki çalışmalar dışında derleme olarak yapılan çalışmalar, Yeoman ve McMahon-Beattie [23]; Vinod [24]; Strauss, Klein ve Steinhardt [25]; Martinez, Borja ve Jimenez [26]'in araştırmalarıdır.

Demiryolu taşımacılığında hem koltuk tahsisi hem de fiyat ile ilgili makaleler çoğunlukla yüksek hızlı trenlerin yaygın olarak kullanıldığı ülkelerden yayına sunulduğu görülmüştür. Bu çalışmalara Bao vd. [18], Bilegan vd. [27], Chuang vd. [28], Cizaire ve Belobaba [29], Dutta ve Ghosh [30], Dutta ve Marodia [31], Kaushik [32], Kellermann ve Cleophas [33], Piening vd. [34], Qin vd. [35], Subulan vd. [36],

Tang [37], Wang vd. [38], Xiaoqiang vd. [39], Zheng vd. [40] ve Zheng ve Liu'nun [41] çalışmaları örnek olarak gösterilebilir.

Fiyatlandırma, fiyat değişikliklerinin optimal zamanlamasına dinamik olarak karar vermek için çeşitli yöntemler kullanan taktiksel bir problem olarak görülebilir. Feng ve Gallego çalışmalarında [42], ayarlanabilir bir fiyat mekanizması için, satılmayan öğelerin miktarına bağlı olarak belirli bir zaman eşiğine dayanan bir kontrol stratejisi öne sürmüşlerdir. Shi vd. araştırmalarında [43], dinamik fiyatlandırma için aradıkları optimal çözüme, problemi uygun bir yaklaşık optimizasyon problemine çevirerek ulaşmışlardır. Zhang [44] ise bir demiryolu hattındaki her O-D için optimal fiyat indirimini belirlemek için maksimum içbükey zarf teoremini uygulamıştır. Dinamik oyun teorisini kullanarak Zhang ve diğ. [45], YHT ve havayolu taşımacılığı arasında dinamik bir fiyatlandırma modeli oluşturmuşlardır. Yao ve diğ. çalışmalarında [46], demiryolu ve diğer ulaşım modları arasındaki rekabeti göz önünde bulundurarak bir Çin YHT hattı için fiyatlandırma stratejisini ele almışlardır. Bingyi [47], yolcuların seçim davranışlarını dikkate alarak birden fazla tren, departman ve sınıf içeren YHT hattının gelir optimizasyon problemini dinamik programlama modeli ile çözmeye çalışmıştır.

Dinamik fiyatlandırma, havayolu, otel ve araç kiralama gibi pek çok alanda uygulanmaktadır. Kincaid ve Darling'in [48], fiyatın ilan edilmediği durum için en uygun fiyatları oluşturmak amacıyla iki optimizasyon modeli oluşturarak yaptıkları çalışmaları, çok dereceli fiyatlandırmanın temelini attığı söylenebilir. McAfee ve te Velde [49], dinamik fiyatlandırma hakkında teorik çalışmaları inceleyerek, havayolu sektöründe fiyatlandırma uygulamalarında karşılaştırma yapmışlardır. Chatwin çalışmasında [50], mevcut envanter için belirli bir fiyat setinden optimal fiyatların nasıl seçileceğini incelemiştir. Huang ise çalışmasında [51], Siçuan eyaletindeki YHT hattı için dinamik fiyatlandırma uygulaması yapmıştır.

Gallego ve van Ryzin [52], ele aldıkları deterministik problemin optimal çözümünün stokastik problemin üst sınırı olduğunu göstererek, tek bir ürün için optimal fiyatın yapısal özelliklerini analiz etmişlerdir. Bu temele dayanarak başka bir çalışmada ise [53], birden fazla ürün için problemin deterministik versiyonunu analiz ederek,

beklenen optimal gelirin üst sınırını bulmuşlardır. Zheng ve Liu çalışmalarında [41], Çin'deki tek bir bilet sınıfı olan bir YHT tren hattında, her O-D için belirlenecek fiyat seviyesinin sayısını ve bu seviyelere ait fiyatları optimize etmeyi amaçlamışlardır.

Suboptimal veya ikinci en iyi olarak adlandırılan, sosyal refahı önceleyen fiyatlandırma teorisi üzerine çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Cambridge Üniversitesi'nden Ramsey ilk olarak talep esnekliğinin marjinal maliyete eklendiğini öne sürdü. Kurumların maliyetini sosyal ihtiyaçlarla birleştirdi, böylece sosyal hedefler ile ekonomik hedefler arasındaki dengeyi koruyan suboptimal fiyatlandırma yöntemini önermiştir [54]. Bu yöntem bir ürün veya hizmetin talep esnekliği ile ters orantılı olarak fiyatlandırılmasını öne sürmektedir. Baumol ve Bradford [55], Ramsey'in suboptimal fiyatlandırma yöntemine atıfta bulunarak, Ramsey fiyatlandırmasını önermişlerdir. Çalışmada vergi ödemelerinde farklı periyotlarda farklı ücretler belirlenmekte, bu sayede sosyal refah optimize edilmektedir. Glaister ve Lewis [56], yoğun ve yoğun olmayan zamanlı otobüs, demiryolu ve özel araba ile ulaşımda, optimal altı fiyatlandırmanın etkinliğini kanıtlamak için nicel yöntemler kullanmışlardır. Sonuç olarak devlet sübvansiyonlarının gerekli olduğunu belirtmişlerdir.

Bianchi vd. [57], Santiago Metrosu tarafından benimsenen fiyatlandırma planı çalışmalarında, istasyonlar arasındaki fiyat farkı nedeniyle metro tesislerinin çoğu zaman etkili olmadığına dikkat çekmişlerdir. Yoğun/tepe zamandaki tıkanıklığı azaltmak için yolcu açısından uygun bir fiyatlandırma stratejisinin mümkün olduğunu öne sürmüşlerdir. Williamson [58], çalışmasıyla yoğun zaman fiyatlandırmasının, yoğun ve yoğun olmayan alt dönemlerin sürelerinin eşit olmadığı, marjinal maliyetin özel bir durumu olduğunu belirtmiştir. Bing [59], demiryolu sektörünün yoğun ve yoğun olmayan zamanlar arasındaki kapasite farkını azaltmak için çaba göstermesi gerektiğini belirtmiştir. Yoğun saatlerde işletme maliyeti hesaplanarak, başa baş analizine dayalı bir tüketici fazlalığı modeli oluşturulmuştur. Zhang [60], uzun mesafe yolcuları için gece ve gündüz trenlerinde makul fiyat aralığı sağlayan, bilet fiyatlandırma formülü türetmişlerdir. Hollanda Demiryollarında deneysel bir araştırma yapan van Vuuren [61], optimal fiyatlandırma teorisinin etkisini incelemiştir. Ramsey katsayılarının belirlenmesiyle görülmüştür ki, yoğun zaman fiyatlandırması ağırlıklı

olarak refah maksimizasyonu amacına hizmet ederken, yoğun olmayan zaman fiyatlandırması ise kâr maksimizasyonu amacına uygun düşmüştür. Guzman vd. [62], kentsel trafikte yoğun ve yoğun olmayan dinamik ulaşım politikalarının uzun vadeli optimizasyon tasarımını incelemiştir. Çalışmada Arazi Kullanımı ve Ulaşım Etkileşimi modeli adı verilen uzun vadeli bir değerlendirme yöntemi benimsenerek, optimizasyon sürecinde sosyal refah maksimize edilmektedir.

Braeutigam [63], endüstriyel işletmeler arasında, farklı fiyatlandırma yoluyla, ticari gelir veya refahın maksimize edildiği fiyatlandırma mekanizmalarını tanımlamıştır. De Borger ve Wouters'ın çalışmalarında [64], ilgili tüm dış faktörleri hesaba katılarak, kentsel ulaşım hizmetinin fiyatı ve arzı üzerinden bileşik bir optimizasyon problemi ele alınmış ve farklı koşullar altında ulaşım hizmetlerinin marjinal maliyetini kalibre etmek için teorik bir model önerilmiştir. Fujita [65], Japonya ve Güney Kore'deki YHT işletmelerinin, yolcu talebine göre farklı fiyatlandırma stratejileri izlediğini ve böylece verimlilik optimizasyonu sağlanarak tüm biletlerin satıldığını belirtmiştir. Fröidh çalışmasında [66], YHT işletmelerinin Gelir Yönetimi fiyatlandırma yöntemlerini benimseyerek daha fazla pazar payı elde edebileceklerini öne sürmüştür. Düşük fiyatlar, fiyata duyarlı olan daha fazla yolcuyu çekebilmektedir. Zhang ve Liu [67], hükümetin demiryolu taşıma kapasitesinden tam olarak faydalanmasını, demiryolu işletme kurallarına uymasını, fiyat tarifesini optimize etmesi ve fiyat istikrarını korumasını ve böylece ticari geliri artırabileceğini tavsiye etmişlerdir.

Çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırılmasını içeren çizelge aşağıda verilmiştir (Bkz. Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Çalışmanın yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırması.

Yazar	Uygulama Alanı	Problem Türü		Metot Türü		Müşteri Davranışı
		Kapasite Tahsisi	Fiyatlandırma	Geleneksel	Sezgisel	
Kim [19]	HY	KT	-	KA	EMSR+PÖA	MY
Belobaba ve Weatherford [22]	HY	KT	-	-	EMSR+PÖA	MY
Erkal Sönmez ve Esnaf [7]	DY	KT	-	-	EMSR	Yok
Ciancimino vd. [16]	DY	KT+AGOP	-	DDP+SDOP	-	Yok
Bao vd. [18]	DY	RLK	TFK	ORL	-	Yok

Yuan ve Nie [68]	DY	RLK	-	-	SA	MNL
Hetrakul ve Cirillo [1]	DY	KT	TFK	DOP	-	MNL+LC
Bilegan vd. [27]	DY	-	TFK	SKTP	-	Yok
Chuang vd. [28]	DY	-	TFK	CART	-	Yok
Dutta ve Ghosh [30]	DY	KT+AGOP	-	DDP	EMSR	Yok
Qin vd. [69]	DY	-	FF+DF	-	PÖA	MNL
Wang vd. [38]	DY	KT	-	SDP	-	MNL
Xiaoqiang vd. [39]	DY	RLK	DF	DP	-	Yok
Zheng vd. [40]	DY	-	FF	SDOP	-	Yok
Zheng ve Liu [41]	DY	KT	FF	SDOP	-	Yok
Yao ve diğ. [46]	DY	-	FF	GT	-	NL
Bu çalışma	DY	RLK	FF	SDOP	GA	MY

**Not:** HY: Havayolu, DY: Demiryolu.

KT: Kapasite tahsisi, AGOP: Ağ gelir optimizasyon problemi, RLK: Rezervasyon limit kontrolü, TFK: Teklif fiyat kontrolü, FF: Farklı fiyatlandırma, DF: Dinamik fiyatlandırma.

EMSR: Beklenen marjinal koltuk geliri, GA: Genetik algoritma, PÖA: Probleme özel algoritma.

KA: Kapsamlı Arama, DDP: Deterministik doğrusal programlama, DOP: Doğrusal olmayan programlama, SDP: Stokastik doğrusal programlama, SDOP: Stokastik doğrusal olmayan programlama, SKTP: Stokastik karma tamsayı programlama, ORL: Optimum rezervasyon limitleri, CART: Kümeleme ve regresyon ağacı, GT: Oyun teorisi.

MNL: Çok terimli logit, LC: Gizli sınıf, NL: İç içe yuvalanmış logit, MY: Müşteri yönlendirme.

## BÖLÜM 3

### GELİR YÖNETİMİ VE DEMİRYOLU TAŞIMACILIĞI

#### 3.1. GELİR YÖNETİMİ

Gelir Yönetimi, geliri en üst düzeye çıkarmak için sahip oldukları kapasitenin farklı ücret sınıflarına tahsisini yönetmek için bazı endüstriler - özellikle havayolları - tarafından kullanılan strateji ve taktikleri ifade etmektedir. Gelir yönetimi, kısıtlı arz halinde fiyatlandırmanın özel bir durumu olarak düşünülebilir [70].

Gelir Yönetimi için başlangıç noktası, 1978 tarihli Havayolu Deregülasyon Yasası olarak kabul edilir. Bu yasa ile Amerikan Sivil Havacılık Kurulu, karlılık hedeflerine göre sıkı bir şekilde düzenlenen havayolu sektöründeki fiyatların kontrolünü gevşetmiştir. Yerel havayolu taşıyıcıları artık kurulun onayı olmadan fiyatları ve hizmet seviyelerini değiştirmekte özgür olmuştur. Yasadan sonra yeni düşük maliyetli ve charter havayolu firmalarının pazara girişi hızlanmıştır. Bu yeni firmaların çoğu daha düşük işçilik maliyetleri, daha basit uçuş operasyonları ve maliyetsiz ek hizmetleri nedeniyle, büyük havayollarından daha düşük fiyatlara sahiptir. American Airline, rezervasyon kısıtlamaları ve kapasite kontrollü ücretlerin bir kombinasyonu olan yeni bir strateji kullanarak rekabet sorununa kendi çözümünü getirmiştir. Bu, Gelir Yönetiminin ilk uygulaması olarak kabul edilmektedir [71].

1980'lerde gelir yönetimine öncülük eden havayolu endüstrisi, rezervasyon kontrolünü kullanarak müşterilere gösterilen ücretleri kontrol etmek için birincil mekanizma olarak Gelir Yönetimini rezervasyon sistemlerine entegre etmiştir. Havayollarındaki başarının ardından gelir yönetimi, oteller, araç kiralama hizmeti, yük veya yolcu demiryolu taşımacılığı ve yolcu gemileri de dahil olmak üzere havayolları ile aynı (veya benzer) rezervasyon sistemlerini kullanan başka endüstriler tarafından benimsenmiştir [70].

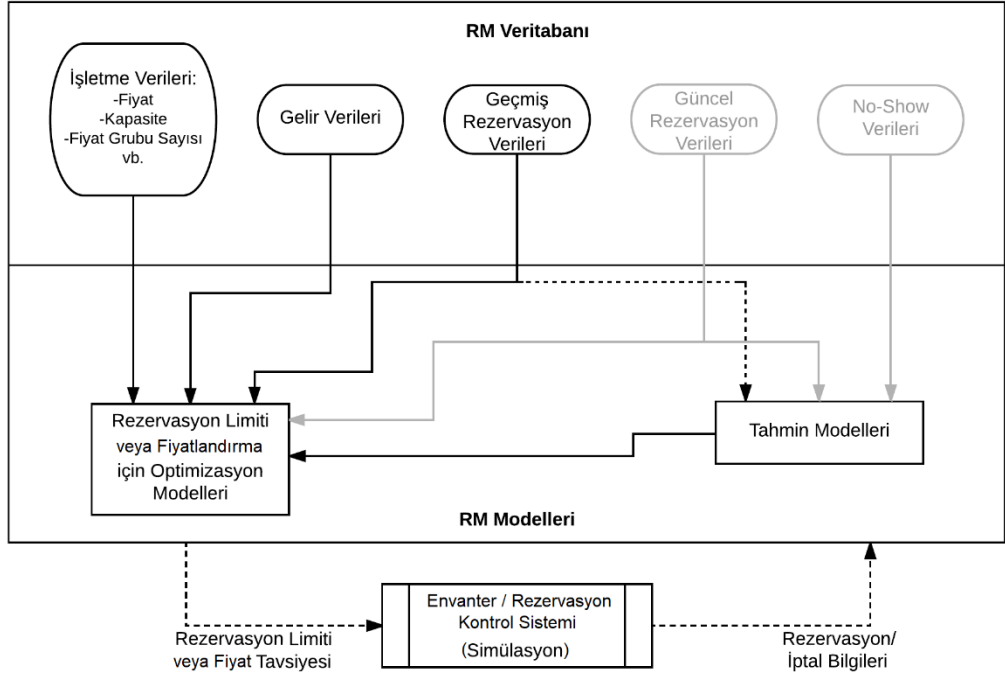
Gelir yönetimi teknikleri, belirli bir üründen belirli bir süre için belirli bir ücret karşılığında her talep segmentine ne kadar satılabileceğine ilişkin sınırların belirlenmesini ve güncellenmesini gerektirir. Gelir yönetiminin uygulanabilmesi için bazı koşullar bulunmaktadır [72]:

- a) Satıcı, bozulabilir veya depolanamaz bir ürünün kapasitesinin sabit bir stoğunu satmaktadır.
- b) Müşteriler, kalkıştan önce kapasite rezervasyonu yaparlar.
- c) Satıcı, her biri sabit bir fiyatı olan (en azından kısa vadede) bir dizi ücret sınıfını yönetir.
- d) Satıcı, zaman içinde ücret sınıflarının kullanılabilirliğini değiştirebilir.

Gelir Yönetimi tekniklerinden biri olan rezervasyon kontrolü, hangi rezervasyon taleplerinin kabul edilip hangilerinin reddedileceğinin anlık olarak belirlenmesiyle ilgilenmektedir. Havayolları, oteller, araç kiralama şirketleri ve yolcu gemileri için rezervasyon kontrolü, rezervasyon sisteminin basit mekanik bir işlevidir. Ancak Gelir Yönetimi entegre edilerek gelecekteki talep tahmin edilebilir, optimizasyon algoritmaları çalıştırılır ve rezervasyon limitleri belirlenir ve güncellenebilir.

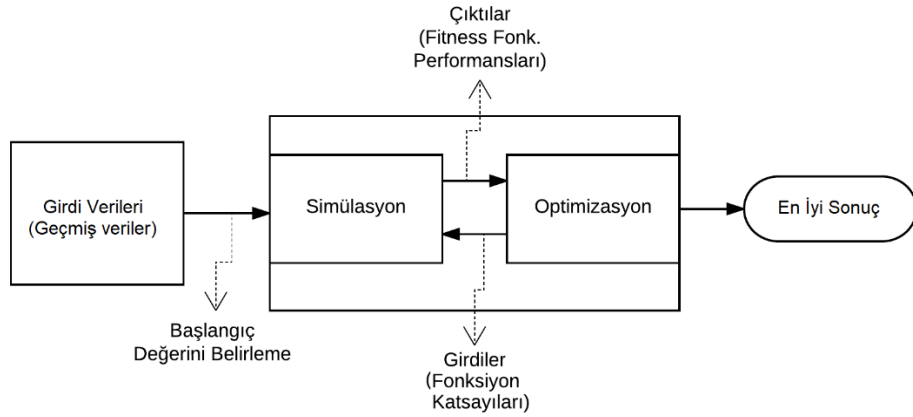
Rezervasyonları yönetmenin yollarından biri, mevcut kapasiteyi ayrı parçalara bölmek ve her bir yığını bir ücret sınıfına tahsis etmektir. Bu yöntem tahsis yaklaşımı olarak bilinmektedir. Bu yaklaşıma göre, o sınıfa ait kontenjan tükenene kadar bir sınıfta rezervasyonlar kabul edilir. Buradan yola çıkarak koltuk tahsisi ise, belirli ücret sınıflarına belirli bir kapasiteyi parçalar halinde dağıtmak olarak tanımlanabilir [70].

Sistemsal olarak Gelir Yönetimi, ihtiyaç duyduğu verileri alarak uygun bir model oluşturmakla işe başlamaktadır. Gerekli durumlarda tahmin modelleri de kullanılarak optimizasyon modeli zenginleştirilebilir. Optimizasyon sonuçları kurumlar için, envanter kontrolünde veya rezervasyon limiti belirlenmesinde gerekli girdileri sağlamaktadır. Envanter ya da rezervasyon yönetim mekanizmasının sonucunda satışlar ya da bazı durumlarda iptaller gerçekleşir [71]. Gelir Yönetiminin sistemsal işleyişi Şekil 3.1’de basit bir şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Gelir Yönetiminin uygulanmasında sistemsel işleyiş [70].

Çalışmada önerilen yöntemleri değerlendirebilmek amacıyla simülasyon çalışması kullanılmıştır. Bu süreçte, işletmeden alınan veriler hem başlangıç değerlerini belirlemede kullanılmaktadır, hem de simülasyonda kullanılan parametreler için girdi olmaktadır. Simülasyondan elde edilen sonuçlar kullanılan yöntemlerin iyileştirilmesinde kullanılırken, bu tekniklerden elde edilen sonuçlar ise simülasyonda yeni girdiler olarak kullanılarak sonuçlar analiz edilmektedir. Burada karşılıklı bir etkileşim söz konusudur. Tüm bu sürecin sonunda ise iyileştirilmiş sonuç elde edilebilmektedir (Bkz. Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Simülasyon-optimizasyon etkileşimi ile sonucu iyileştirme mekanizması.



Gelir Yönetimi kullanımı ve entegrasyonu sırasında kullanılan fiyat haricinde en önemli terimler aşağıdaki şekilde açıklanabilir [70]:

- a) Kaynaklar, bir tedarikçi tarafından yönetilen kapasite birimleridir. Kaynak için örnekler, iki nokta arasındaki bir uçuş, bir gecelik otel odası veya bir araç kiralama günü olabilir. Her kaynak kısıtlıdır. Örneğin her uçuş için sınırlı sayıda koltuk vardır, otelin satabileceği sınırlı sayıda oda mevcuttur ve bir araç kiralama şirketinin belirli bir günde kiralayabileceği belirli sayıda aracı vardır.
- b) Ürünler, müşterilerin satın almak istediği şeylerdir. Bir ürün, bir veya daha fazla kaynağın kullanılmasını gerektirebilir. Örneğin yılın belirli bir günü A noktasından B'ye yapılan uçuşta bir koltuk, yalnızca tek bir kaynak kullanan bir üründür. Bir otel müşterisinin iki gecelik konaklaması, iki kaynak kullanan bir üründür. Birinci gece bir oda ve ikinci gece bir oda kullanılmıştır.

Kaynak, ürün, fiyat ve fiyat sınıfı terminolojisi, Gelir Yönetimi problemini çok genel bir şekilde formüle etmemizi sağlar.

Gelir Yönetimi, talep yönetiminde üç temel karar kategorisini ele almaktadır [72]:

- a) Yapısal kararlar: Satış formatının nasıl olacağı, gruplandırma veya farklılaştırma mekanizmalarının seçimi (varsa), hangi ticaret koşullarının sunulacağı (toplu indirimler ve iptal veya geri ödeme seçenekleri dahil), ürünler nasıl paketlenir, vb.
- b) Fiyat kararları: Fiyatların belirlenme biçimi; ürün kategorileri nasıl fiyatlandırılır, zamana göre nasıl fiyatlandırılır, ürün indirim durumu, vb.
- c) Miktar kararları: Satın alma teklifini kabul veya reddetme, çıktı veya kapasitenin farklı segmentlere, ürünlere veya kanallara nasıl tahsis edileceği, bir ürünün ne zaman piyasadan kaldırılacağı veya daha sonraki zamanlarda satışa çıkarılacağı, vb.

### 3.2. FİYATLANDIRMA VE GELİR OPTİMİZASYONU

Genel kapsamda, fiyatlandırma ve gelir optimizasyonu, fiyatlandırma kararlarının tutarlı ve etkili bir şekilde yönetilmesi ve güncellenmesi sürecidir. Bu sürecin özünde, bir dizi kısıtlama altında, beklenen toplam geliri maksimize edecek fiyat setini bulmaya yönelik bir yaklaşım yer almaktadır. Kısıtlamalar, ya kuruluş tarafından belirlenen hedefleri ya da sınırlı kapasite ve envanter gibi fiziksel sınırlamaları yansıtmaktadır [70].

Birçok kuruluş için fiyatlandırma, oldukça karmaşık bir dizi karar içermektedir. Çoğu şirket, ürünleri için belirledikleri liste fiyatları hakkında net bir fikre sahip olsa da, müşterilerin gerçekte ödediği fiyatlar konusunda genellikle net bir bilgiye sahip değildir. Çünkü her satışta genellikle çok sayıda farklı indirim ve düzeltme uygulanır. Liste fiyatı geneldir, müşterinin ödediği fiyat ise her müşteri için farklı olabilmektedir.

Fiyatlandırma, beklenen net getiriyi maksimize eden fiyatları belirlemek için maliyetleri, müşteri talebini (veya ödeme istekliliğini) ve rekabet ortamını içerir. Fiyatlandırmaya yönelik farklı yaklaşımlar, bu üç yönden birini diğerlerinden daha fazla dikkate alabilir [70].

Fiyatlandırmanın amacı,

- a) her ürün için,
- b) her müşteri segmentine,
- c) her kanaldan

doğru fiyatı sağlamak ve değişen piyasa koşullarına göre bu fiyatları zaman içinde güncellemek olarak tanımlanabilir [72].

Fiyatlandırmanın kullanıldığı gelir optimizasyon probleminin amacı – amaç fonksiyonu – getiriyi maksimize etmektir. Toplam gelirden satış için katlanılan toplam maliyetin düşülmesi ile kar yani getiri elde edilir. Bu problemin temel unsurları, fiyat-tepki fonksiyonu ve satış maliyetidir. Fiyat-tepki fonksiyonu veya fiyat-tepki eğrisi ( $d(p)$ ), bir ürüne olan talebin, fiyatına ( $p$ ) bağlı olarak nasıl değiştiğini göstermektedir.[70]

Çoğu şirket için çoğu zaman fiyat-tepki fonksiyonları, bir dereceye kadar düzgün fiyat tepkisi gösterir. Burada, fiyat arttıkça talep, tatmin edici bir  $P$  fiyatında sifıra ulaşana kadar azalır. Bu tip düzgün piyasa-tepki fonksiyonu, ekonomi literatüründe genellikle teknelci veya tekel talep eğrisi olarak adlandırılır. Değişen fiyatlara tepki olarak ürün talebinin değişebileceği birçok farklı yol ve dolayısıyla birçok farklı olası fiyat-tepki fonksiyonu vardır. Ancak, bu çalışmada göz önünde bulundurduğumuz fiyat-tepki fonksiyonu negatif olmayan, sürekli, türevlenebilir ve aşağı doğru eğimlidir.

Talebin fiyat duyarlılığının en yaygın iki ölçüsü, fiyat-tepki fonksiyonunun eğimi ve esnekliğidir. Fiyat-tepki fonksiyonunun eğimi, bir fiyat değişikliğine tepki olarak talebin nasıl değiştiğini ölçer. Talepteki değişimin fiyat farkına bölünmesine eşittir. Fiyat esnekliği ise, talebin fiyata duyarlılığının belki de en yaygın ölçüsü olarak, talepteki yüzdesel değişimin fiyattaki yüzdesel değişime oranı şeklinde belirlenebilir. Hesaplamak için iki fiyat gerektirmesi, değişen fiyatlardan kaynaklanan talepteki yüzdesel değişikliğin hem eski fiyata hem de yeni fiyata bağlı olacağını yansıtır.[70] Aslında, fiyattaki %1'lik bir artıştan kaynaklanan yüzdelik düşüş, genel olarak, fiyattaki %1'lik bir düşüşten yaşayacağımız talepteki yüzdelik artışla aynı bile olmayabilir. Bu nedenle, esnekliği tam olarak karakterize etmek için her iki fiyatın da belirtilmesi gerekir.

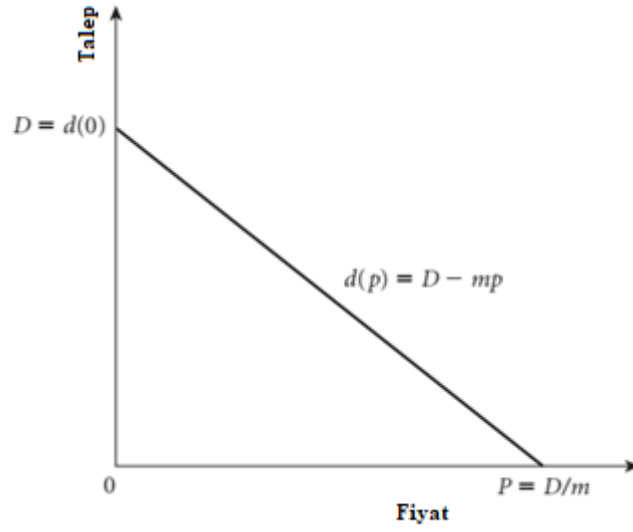
Fiyat-tepki fonksiyonu, fiyat düşürüldüğünde potansiyel müşterilerin kaçının ürün satın alacağını ve fiyat yükseldiğinde ise kaç mevcut alıcının ürünü satın almaktan vazgeçeceğini belirler. Bu nedenle fiyat-tepki fonksiyonu, müşteri davranışı hakkındaki varsayımlara dayanmaktadır [72].

Ödeme istekliliği (willingness-to-pay) yaklaşımı, her potansiyel müşterinin bir ürün veya hizmet için bir maksimum ödeme istekliliğine sahip olduğunu varsaymaktadır. Bir müşteri, ancak ve ancak fiyat, ödemeye hazır olduğu maksimum fiyatın altındaysa ürünü satın alacaktır. Maksimum ödeme istekliliği OTL (veya daha az) olan bir müşteri hiçbir fiyattan alışveriş yapmayacaktır [70].

Doğrusal bir fiyat-tepki fonksiyonu için genel eşitlik şu şekildedir:

$$d(p) = D - m.p \quad (2.1)$$

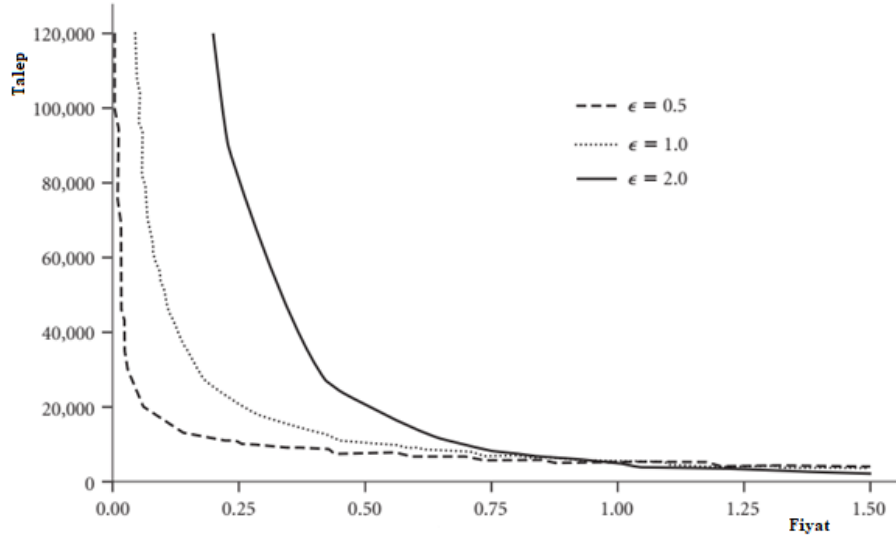
Burada  $D > 0$  ve  $m > 0$ 'dır.  $D = d(0)$  yani fiyat sıfırkenki taleptir. Genel doğrusal bir fiyat-tepki fonksiyonu Şekil 3.3'te gösterilmektedir. Tatmin edici fiyat, yani talebin sıfıra düştüğü fiyat,  $P = D/m$  ile belirlenir. Doğrusal fiyat-tepki fonksiyonunun eğimi  $0 < p < P$  için  $-m$ ,  $p \geq P$  için  $0$ 'dır. Doğrusal fiyat-tepki fonksiyonunun esnekliği  $mp/(D - mp)$ 'dir ve  $p=0$  değerinde  $0$ 'dan başlar;  $p$ ,  $P$ 'ye yaklaştıkça sonsuza yaklaşır,  $p > P$  için tekrar  $0$ 'a düşer.



Şekil 3.3. Fiyata bağlı talep eğrisi [70].

Sabit esneklikte fiyat-tepki fonksiyonlarının bazı örnekleri Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Sabit esnekliğe sahip fiyat-tepki fonksiyonlarının geçerli olduğu durumlarda, talep ne kadar yüksek olursa olsun hiçbir fiyatta sıfıra düşmez ve fiyat sıfıra yaklaştıkça da talep sonsuza yaklaşmaya devam eder.

Fiyatlandırma modelinin kalbini oluşturan etmen, talep fonksiyonudur. Bunu doğru ve gerçeğe yakın bir şekilde elde edebilmek için, yani müşterilerin gerçek tepkilerini ölçmek için geniş kapsamlı ölçümler, anket ve analizler yapılmalıdır. Modelin iyileştirilmesinde maliyet unsurlarının iyi kategorize edilerek doğru bir şekilde modele eklenmesi de önemlidir. Bu konuda işletmeden tüm gerekli verileri almanın dışında, işletmenin düzenli, doğru ve şeffaf bir veritabanı oluşturmuş olması doğru bir sonuca ulaşmada etken unsurlardan biridir.



Şekil 3.4. Belirli esneklik değerlerinde fiyat-tepki fonksiyonları [70].

Fiyatlandırma stratejilerinden biri olan fiyat farklılaştırması, bir satıcının, tam olarak aynı mal için veya aynı malın biraz farklı versiyonları için farklı müşterilere farklı fiyatlar talep etmesi uygulamasını ifade etmektedir. Fiyat farklılaştırması satıcıların karlılığı artırmak için kullandıkları güçlü bir yoldur. Fakat, fiyatlandırmaya yeni bir karmaşıklık düzeyi ekleyerek, zaman içinde fiyatların hesaplanmasını ve güncellenmesini iyileştirmek için genellikle analitik tekniklerin kullanılmasına ihtiyaç duyulur.[70]

Fiyat farklılaştırmasının gerçek dünya uygulamasında bazı sakıncalar mevcuttur [70]:

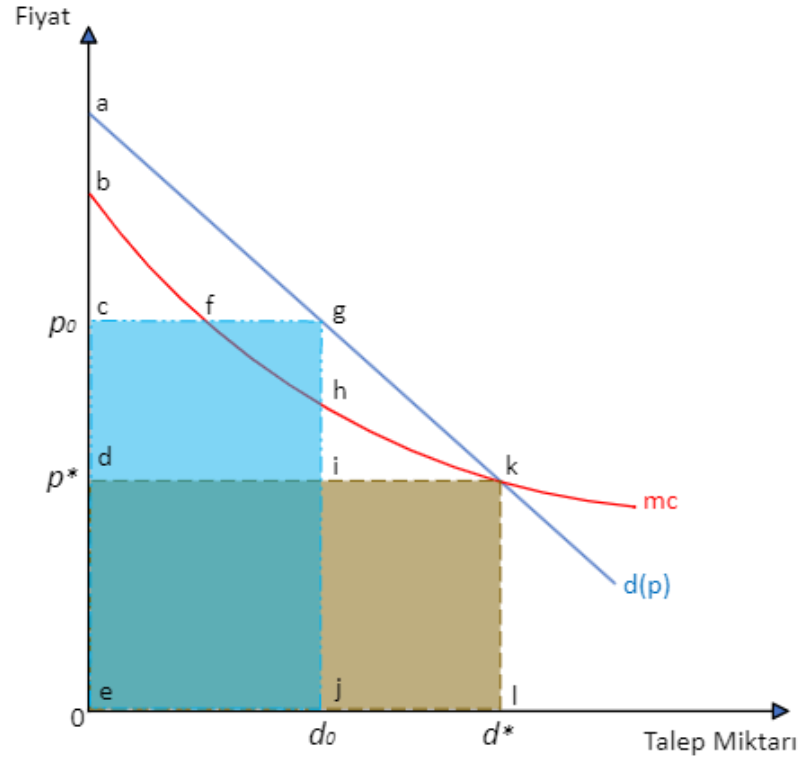
- Kusurlu segmentasyon/gruplandırma.
- Yamyamlaştırma: Farklı fiyatlandırma altında, yüksek fiyat segmentlerindeki müşteriler için daha düşük fiyatı ödemenin bir yolunu bulmak için güçlü bir motivasyon oluşur.
- Arbitraj: Fiyat farklılıkları, üçüncü taraf arbitrajcılar için ürünü düşük fiyattan satın almanın bir yolunu bulmaları ve farkı kendilerine saklayarak, ödemeye istekli müşterilere piyasa fiyatının altında yeniden satmaları için güçlü bir teşvik kaynağı oluşturur.

Başka bir fiyatlandırma stratejisi olarak, yönlendirme ya da talep kaydırma, değişken fiyatlandırmanın önemli bir unsuru olsa da, iki ucu keskin bir kılıç olarak görülebilir.

Kapasiteyi zorlayan talepler için fiyatı yükseltmek ve yoğun olmayan kapasite için düşürmek, çoğu müşteriye en yoğun dönemden yoğun olmayan döneme kaydıracaktır. Bu iyi bir sonuçtur (en azından ölçülü olarak), çünkü geride kalan yoğun müşterilerden daha yüksek kazançlar elde etmek toplam kazancı da artıracaktır. Bununla birlikte, fiyat farkı çok büyük olursa, giderek daha fazla yoğun müşterinin yoğun olmayan döneme kaçması beklenir. Bu sebeple yönlendirme ya da talep kaydırmanın tanımlaması kolay olsa da, modellemesi zordur [70].

Fiyatlandırma politikasının tüketici refahı üzerindeki etkisini ölçmede anahtar kavramlardan birisi tüketici fazlalığıdır. Bireysel tüketici fazlalığı, müşteri ürünü satın alırsa, ödemeye hazır olduğu fiyat ile satın aldığı fiyat arasındaki farktır; ürünü satın almazsa sıfırdır. Piyasadaki toplam tüketici fazlalığı, bireysel tüketici fazlalıklarının toplamıdır. Bir müşteri yalnızca ödeme istekliliği ürün fiyatından büyükse satın alım yapacağından dolayı, bir pazardaki toplam tüketici fazlalığı her zaman 0'dan büyük veya 0'a eşit olacaktır.

Şekil 3.5, sosyal refah maksimizasyonu ile ilgili bir grafiktir. Şekilde talep eğrisinin altında kalan alan ( $p_0$  için a-g-j-e,  $p^*$  için a-k-l-e), müşterilerin ödeme istekliliğine karşılık gelmektedir. Yatay fiyat doğrularının altında kalan alanlar ( $p_0$  için c-g-j-e,  $p^*$  için d-k-l-e), işletmenin gelirini gösterir. Bu doğruların üstündeki alanlar ise ( $p_0$  için a-g-c,  $p^*$  için a-k-d), tüketici fazlalığını belirtir. İşletmenin maliyetini, şekildeki marjinal maliyet eğrisinin altında kalan alan ( $p_0$  için b-h-j-e,  $p^*$  için b-k-l-e) belirlemektedir. Bu durumda işletmenin karı (gelirden gideri çıkararak elde ederiz),  $p_0$  fiyatında c-g-j-e alanından b-h-j-e alanı çıkartılarak bulunabilir.  $p^*$  fiyatında ise sıfır olur. Çünkü şekilde  $p^*$ , marjinal maliyet fiyatlandırma durumunda olması gereken fiyattır ( $p^* = mc$ ) ve bu nokta başabaş noktasıdır.



Şekil 3.5. Marjinal maliyet fiyatlandırma ve sosyal refah [73].

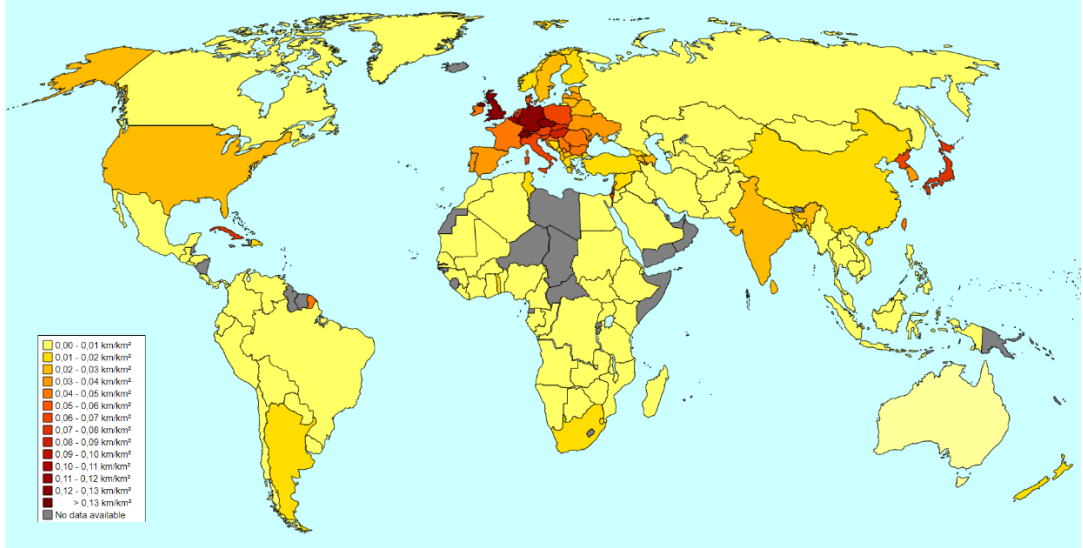
Marjinal maliyet fiyatlandırma altında,  $d^*$ ,  $p^*$  fiyatında beklenen talebi ifade etmektedir. Sosyal refah, tüketici fazlalığı ile karın toplamından oluştuğu için, grafik üzerinde  $p_0$  fiyat seviyesinde a-g-h-b,  $p^*$  fiyatında ise a-k-h-b alanları ile temsil edilir. Bu alanlar aynı zamanda müşterilerin ödeme istekliliğinden ( $p_0$  için a-g-j-e,  $p^*$  için a-k-l-e alanları) maliyetler ( $p_0$  için b-h-j-e,  $p^*$  için b-k-l-e) çıkarıldığında kalan alanlara eşit olduğundan dolayı, sosyal refah bu şekilde de hesaplanabilir. Bu yöntem gelecek bölümlerde, yoğun zaman (tepe) fiyatlandırma hesaplarında kullanılacaktır.

### 3.3. DEMİRYOLU TAŞIMACILIĞI

Demiryolu taşımacılığı raylardan ve trenlerden çok daha fazlasıdır. Bir yükü veya yolcuğu bir yerden bir yere taşımak için raylar ve trenlerin dışında köprüler, tüneller, depolar, hangarlar, direkler ve duraklar gibi pek çok yatırım gerektiren unsuru da ihtiva eder. Yani sadece taşıt ve yol olarak düşünülemez; tüm parça ve tesisleriyle beraber en iyi şekilde hizmete hazır hale getirilmelidir. Bu da masraflı yatırımlar anlamına

gelir. Demiryolu taşımacılığında özellikle ilk basamak maliyetleri, yani kurulum maliyetleri sonraki işletim maliyetlerine göre çok yüksektir.

Dünyada ilk olarak Birleşik Krallık'ta demiryolu taşımacılığı başladığında muhtelif uzunluklarda ray genişliği mevcuttur. Bu, bölgeler arasındaki hatlar arası geçişi oldukça zorlaştırmaktaydı. Bu sebeple belli bir standart getirilmesi gerektiği düşünülmüş ve 1846'da ray genişliği, ilk rayı yapan George Stephenson'un ölçüsü 1435 mm standart olarak kabul edilmiştir. Günümüzde Rusya, Japonya ve birkaç ülke haricinde bu genişlik genel ölçü olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde de bu uzunluğun kullanılması sebebiyle, İngiltere'den yola çıkan bir tren Kars sınırına kadar yolculuğuna kesintisiz devam edebilmektedir [74].



Şekil 3.6. Ülkelerin demiryolu yoğunluğunu (km/km<sup>2</sup>) gösteren harita [75].

Avrupa Birliğinde ve Dünya genelinde Almanya, İngiltere, İsviçre ve Çekya yüzölçümüne göre en yoğun demiryolu ağına sahip ülkelerdir [Bkz. Şekil 3.6]. Dünyada demiryolu araç ve malzemeleri için ana üretici ülkeler ise Almanya, Çin, İspanya ve Japonya'dır. Almanya dünya çapında demiryolu endüstrisinde lider ülke konumundadır. Teknolojik olarak ise özellikle yüksek hızlı tren konusunda Japonya sektöre öncülük etmektedir. Demiryolu alanındaki dünya geneli harcama ve yatırımların yarısından fazlasını önümüzdeki yıllarda Çin'in yapması öngörülmektedir. Türkiye'nin 2023 itibarıyla, toplam 25208 km (konvansiyonel:



12293km, YHT: 12915 km) ve 2035'e kadar 31000 km toplam demiryolu hattına sahip olması planlanmaktadır [76].

Ülkemizdeki ilk demiryolu Osmanlı zamanında 1854 yılında Kahire-İskenderiye arasında inşa edilmiştir. Osmanlı zamanındaki demiryolu hatları çoğunlukla II. Abdülhamit zamanında yaptırılmıştır. Bugünkü ülke sınırlarımızda, Anadolu topraklarımızdaki ilk demiryolu hattı ise İngiliz bir şirket aracılığıyla 1860 yılında inşa edilen İzmir-Aydın demiryolu hattıdır [74]. Daha sonra ise tüm yurda demiryolu ağı kurulmaya başlanmıştır. Günümüze dek en fazla demiryolu hattı Cumhuriyetin ilk dönemlerinde kurulmuştur. Son yıllarda daha modern yeni hatlar kurulurken, eski hatların hemen hepsi halen kullanılmaktadır. Ülkemizde demiryolu altyapı ve işletmeciliği Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD) tarafından yürütülmektedir.

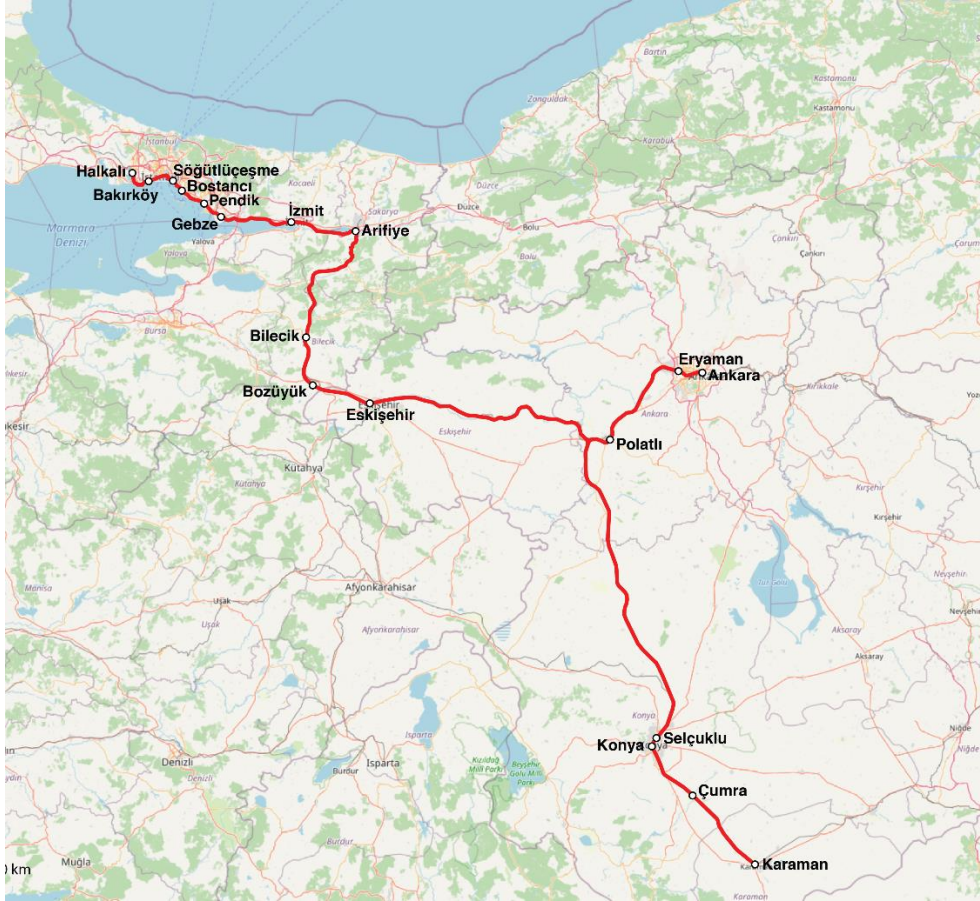
Raylı taşımacılık sistemleri, konvansiyonel trenler, YHTler, metro, hafif raylı sistemler ve tramvayları içermektedir. YHT dahil trenler şehirlerarası ve uluslararası taşımacılıkta kullanılırken, diğerleri şehir içi toplu taşımada kullanılmaktadır. Konvansiyonel trenler bilinen normal klasik trenleri ifade etmektedir ve hızları en fazla 160 km/s olan trenlerdir. Hızları 160 km/s – 200 km/s arası olan trenler hızlı tren olarak adlandırılırken, 200 km/s üstünde olanlar ise yüksek hızlı tren ismini almaktadır [74] (Bkz. Şekil 3.7).



Şekil 3.7. TCDD'de ilk kullanıma giren YHT serilerinden biri, HT65000.

### 3.4. TCDD YÜKSEK HIZLI TREN

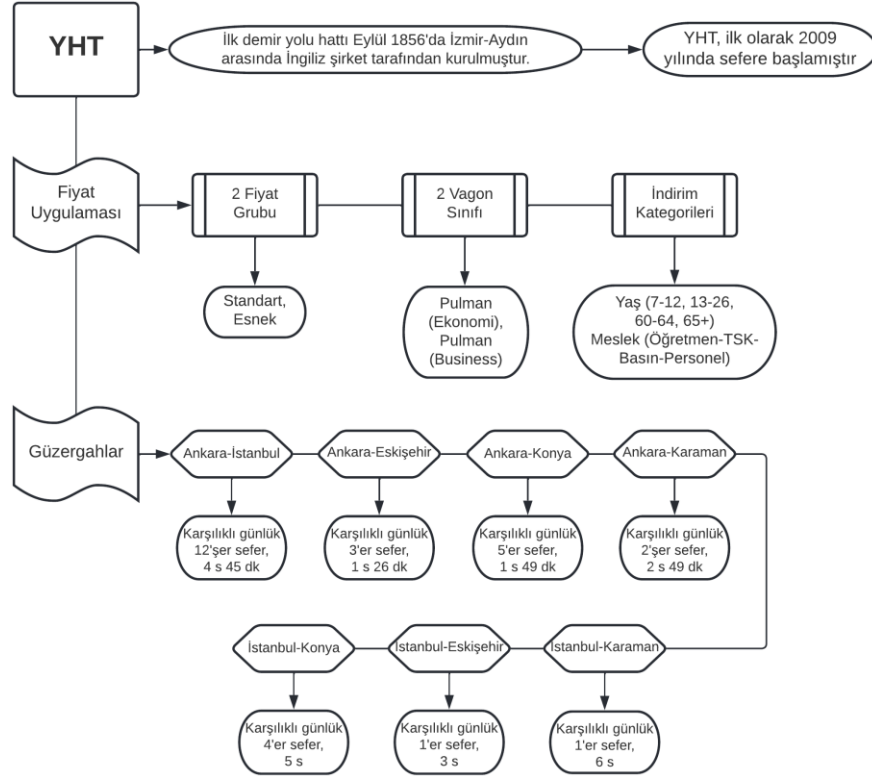
Ülkemizdeki ilk YHT seferi 13 Mart 2009 tarihinde Ankara-Eskişehir arasında gerçekleştirilmiştir. Bu seferle Türkiye o tarihte, YHT kullanan Avrupa'daki 6., dünyadaki ise 8. ülke konumuna gelmiştir. 2011'de ikinci YHT hattı olan Ankara-Konya hattı kullanıma girmiştir. Ardından 2019 yılında da Ankara-İstanbul ve İstanbul-Konya hatları hizmete girmiştir [77]. 2022 Ağustos ayı itibariyle YHT kapsama haritası Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. YHT kapsama haritası [77].

YHT satış politikası incelendiğinde, biletler, vagonlarda bulunan 2 sınıf (ekonomik ve business) için farklı fiyatlarla satılmaktadır. Ayrıca yaş ve meslek durumuna göre çeşitli oranlarda indirimler yapılmaktadır. YHT seferleri için satışa sunulan 2 bilet tipi, esnek ve standart, biletin iade edilip edilemeyeceğine göre birbirinden

farklılaşmaktadır. Esnek biletlerde iade imkanı varken, standart biletlerde bu imkan sunulmamaktadır [77]. Günümüzde aktif olarak seferlerine devam eden YHT hatları ve YHT ile ilgili özet bilgiler Şekil 3.9’de görülebilir.



Şekil 3.9. TCDD YHT işletmesi ile ilgili özet görünüm.

YHT, TCDD Taşımacılık AŞ tarafından işletilmektedir. TCDD Taşımacılık AŞ, 2017 tarihinde faaliyetlerine başlayarak, demiryolu taşımacılığının serbestleştirilmesi ve rekabeti desteklemek amaçlı bir öncü olma konumuna gelmiştir. 2013 yılında yürürlüğe giren kanunla demiryolu taşımacılığında rekabet ve serbestlik getirilmek amaçlanmıştır. Bu kanuna göre TCDD, altyapı işletmecisi; TCDD Taşımacılık AŞ ise tren işletmecisi olarak kabul edilmiştir. Başkentray ve Marmaray da dahil olmak üzere ülkemizdeki tüm tren taşımacılığı TCDD Taşımacılık AŞ tarafından işletilmektedir [77].

## BÖLÜM 4

### KOLTUK TAHSİSİ İLE GELİR OPTİMİZASYONU

Gelir Yönetimi, hizmet sektöründeki firmaların karlılığını artırmaya yardımcı olan yöntemler bütünüdür ve özellikle havayolu endüstrisinde çeşitli teknik ve yaklaşımlara sahiptir. Havayollarında fiyatlandırma, tahmin, koltuk envanter kontrolü ve kapasite üstü rezervasyon için kullanılmıştır [9].

Gelir Yönetiminin bir parçası olan koltuk envanter kontrolü veya koltuk tahsisi, sınırlı koltuk kapasitesini taleplere en uygun şekilde tahsis etme kararı ile ilgilenmektedir [70]. Koltuk tahsisi ile ilgili ilk araştırmayı yayımlayan Littlewood [78], tek bir uçuş ayağında iç içe iki ücretli bir sınıf modelini analiz etmiştir. Bir düşük ücretli koltuk daha satmanın marjinal geliri, bu koltuğu daha yüksek ücretle satmanın beklenen gelirinin altında kalırsa, düşük ücret tekliflerinin reddedilmesini önermiştir. Koltuk tahsis sistemleri, kalan kaynakların kontrolüne bağlı olarak işler ve kaynak durumunun gerçek zamanlı olarak güncellenmesini gerektirir.

YHT'lerin yaygınlaşmasıyla birlikte Gelir Yönetiminin demiryolu endüstrisinde uygulanabilirliği de artmıştır [13,16]. Demiryolu endüstrisinde Gelir Yönetimi, kaynaklarda herhangi bir değişiklik yapmadan (örneğin, tren veya vagon ekleme) tren biletlerinin kullanılabilirliğini ve/veya fiyatını kontrol eden optimal bir strateji bularak toplam geliri maksimize etmeyi amaçlayan bir yönetim tekniği olarak kullanılır [68].

Müşteri davranışı, geliri artırmak için önemli bir unsur olarak kabul edilmiş ve bazı çalışmalarda Gelir Yönetimi problemlerinin modellenmesine dahil edilmiştir [79,80]. Yuan ve Nie [68], koltuğa dayalı bir kontrol mekanizması önermiş ve Çin demiryolunda koltuk tahsisini optimize ederken müşterilerin satın alma tercihlerini müşteri davranışı olarak değerlendirmiştir. Çeşitli araştırmalar müşteri davranışının bilet satış karını etkileyen önemli bir faktör olduğunu kanıtladığından [81–83],

demiryolu şirketleri online rezervasyon sistemleri ile daha fazla bilgi (ör. bilet rezervasyon zamanı ve müşterilerin satın alma tercihleri gibi) toplayarak gelirlerini artırmada kullanabilirler.

Bilet rezervasyon kontrol mekanizması Gelir Yönetiminin bir parçasıdır ve havayolu endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanılan kontrol mekanizması yardımıyla, eldeki kapasite müşterilerden gelen bilet taleplerini karşılamak amacıyla verimli bir şekilde kullanılabilir. Belirli bir yöntem kullanmaksızın bilet satışı, ilk gelen müşteriye biletin satılması şeklinde gerçekleşmektedir. Bu, alternatif olmadığına tercih edilebilir bir strateji olsa da, daha yüksek fiyattan satılabilecek koltukların, düşük fiyattan satılmasına sebep olabilmektedir.

Eskiden tren biletleri tren istasyonlarında veya yetkili acenteler tarafından satılırken, internetin yaygınlaşmasıyla birlikte online bilet rezervasyonu tercih edilir hale gelmiştir. Talluri ve Van Ryzin'in [72] sınıflandırmasına göre, sanal iç içe yuvalama (virtual nesting - VN) ve bölümlü rezervasyon limiti kontrolü (Partial Booking Limit Control - PBLC) gibi farklı bilet rezervasyon mekanizmaları bulunmaktadır. Havayolu endüstrisinde yaygın olarak kullanılan VN, ulaşım ağındaki her bir kaynağı tahsis etmek için tek kaynaklı iç içe denetimler kullanır. Uygulamada ise, hem VN'nin indeksleme süreci hem de ürünleri sanal sınıflara eşlemenin kontrol mantığı karmaşıktır [72].

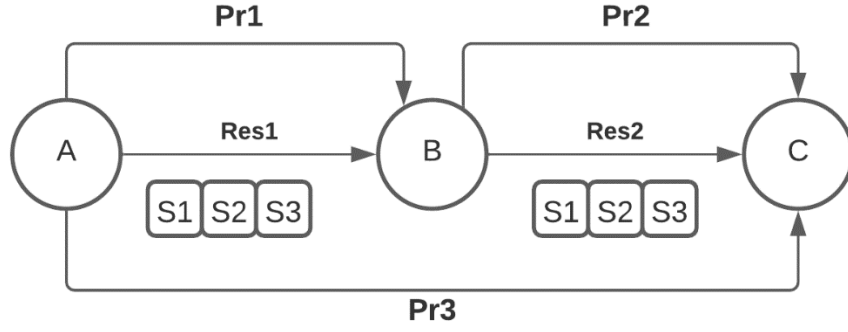
PBLC, satışa sunulan her ürün için her kaynağa sabit bir kapasite tahsis eden bir rezervasyon mekanizmasıdır, yani koltuklar rezervasyon sürecinin başlangıcında biletlere atanır. PBLC'nin kullanıldığı çalışmalar, esas olarak koltukların optimal dağılımını bulmayı amaçlamıştır. Örneğin Ciancimino vd. [16], Jiang vd. [84], Wang vd. [38] ve You [85]'nin çalışmaları optimum koltuk dağılımını amaçlamıştır. Ancak, koltukların PBLC'de sabit kullanımı nedeniyle, talebin stokastik olduğu durumlarda verimsiz olduğu kabul edilmektedir, bu yüzden uygulamada nadiren kullanılmaktadır [72].

Çalışmanın bu bölümünde, demiryolu endüstrisinde koltuk tahsisini optimize etmek ve müşteri davranışını dikkate alarak üç farklı rezervasyon kontrol tekniğinin performansını karşılaştırmak amaçlanmaktadır. Koltukların sepet veya kova adı verilen kümelere atandığı sepetli bilet rezervasyon sistemi (TBS) ilk kez Türk demiryoluna uyarlanarak uygulanmıştır ve bu sistem PBLC ve Önce Gelen Önce Hizmet Alır (First Come - First Served – FCFS) teknikleri ile karşılaştırılmıştır. Bu bölüm özellikle, müşteri yönlendirme koşulları altında rezervasyon kontrol mekanizmalarının koltuk tahsis performanslarını TCDD'nin bazı YHT hat verilerini kullanarak değerlendirmeye odaklanmaktadır.

Önceki çalışmalardan farklı olarak, yönlendirilen müşterinin ikiden fazla seçeneği vardır: Başka bir bilet satın almak, boş koltuk beklemek veya satın almadan ayrılmak. Çalışmada müşteri yönlendirmesi yüzdesele matris olarak kullanılmıştır. Bilet rezervasyon süreci simülasyon yöntemi ile modellenmiş ve sürecin karmaşıklığı ile başa çıkmak için bir genetik algoritma tasarlanmıştır. Kurgusal bir örnek ve TCDD'den elde edilen veriler kullanılarak gerçek bir örnek üzerinden, tüm teknikler değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır.

#### **4.1. SEPETLİ BİLET REZERVASYON SİSTEMİ (TBS)**

Şekil 4.1, üç duraklı bir demiryolu hattı örneğini göstermektedir. Gelir Yönetiminde tren için kaynaklar koltuklardır, Kaynak 1 ve 2 (*Res1*, *Res2*) üç koltuktan oluşmaktadır. Ürün 1, 2 ve 3 (*Pr1*, *Pr2*, *Pr3*) aynı koltukları ancak farklı kaynakları kullanırlar. Örneğin bir müşteri *Pr3* için bir bilet alırsa, Koltuk 1 (*S1*), *Res1* ve *Res2*'de kapatılacaktır. Böylece *Res1* ve *Res2*'nin rezervasyon için yalnızca iki boş koltuğu kalacaktır, *S2* ve *S3*. Ancak müşteri *Pr3* değil de *Pr1* için bir bilet alırsa, o zaman *S1* yalnızca *Res1*'de bloke edilecektir.



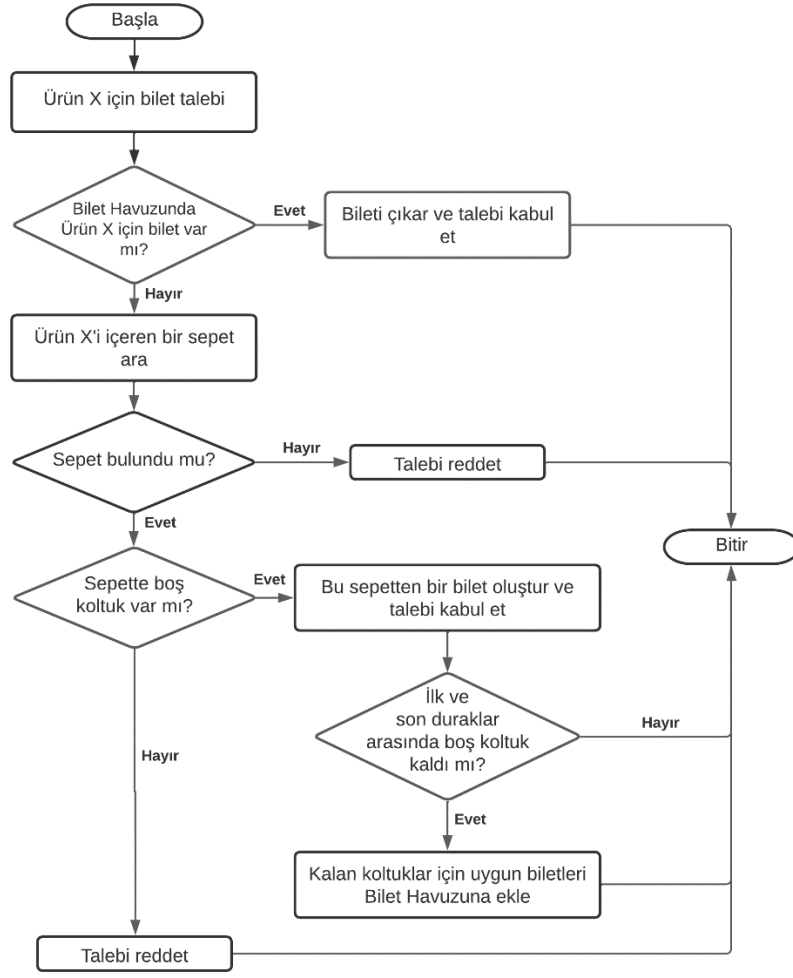
Şekil 4.1. Üç duraklı bir tren hattı şeması.

Bir tren bileti, bir veya daha fazla atanmış kaynağı kullanma hakkı olarak yorumlanabilir [68]. Bir ürün, kullanılan kaynaklara, yani başlangıç-varış (O-D) hatları arasında bir trendeki bloke edilen koltuklara atıfta bulunur. Bilet alım sürecinde müşteriler ürünler için istek gönderirler. Kabul edilen bir talepten sonra o ürünle ilgili koltuk/lar tahsis edilir ve bloke edilir. Daha sonra farklı biletleme politikaları devreye girer; PBLC'de bilet önceden oluşturulmuştur, ancak önerdiğimiz sepetli bilet rezervasyon sisteminde ise satılan ürüne göre bilet sonradan oluşturulur.

Bilet rezervasyon sürecinin modellenmesi, biletlerin ve kaynakların sepetlere tahsis edilmesiyle başlamaktadır. Bir sepet, biletlerin bir kombinasyonudur ve bir koltuk kümesi ile satışa açık bir ürün kümesini içerir. Sepet, satışa açık ürün ve koltuk kümelerinden hangi ürünlerin ve kaynakların satılabileceğini tanımlamaktadır [68].

Bilet havuzu, yeniden kullanım için oluşturulan biletleri toplamak üzere tasarlanmıştır. Bir sepetten bir bilet satıldıktan sonra bazı kaynaklar kullanılmadan kalabilir ve boş kalan bu koltuklar uygun ürünlere atanır ve biletler oluşturulur. Bu biletler, ilave bilet satmak için bilet havuzunda toplanır. Burada tek istisna, ilk istasyondan son istasyona seyahat biletidir, çünkü bu bilet satılan koltuğu tüm duraklar için bloke eder.

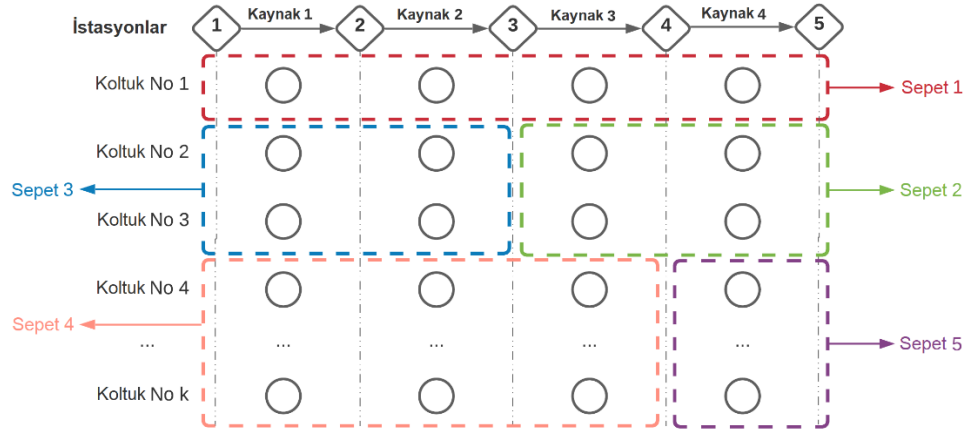
Şekil 4.2, TBS'nin çalışma mekanizmasını göstermektedir. Bilet talepleri öncelikli olarak bilet havuzundan karşılanacak, burada bulunmayan biletler için sepetler taranacaktır. Bilet havuzunda veya sepetlerde uygun bir bilet ve o bilet için boş koltuk varsa satış gerçekleşecektir.



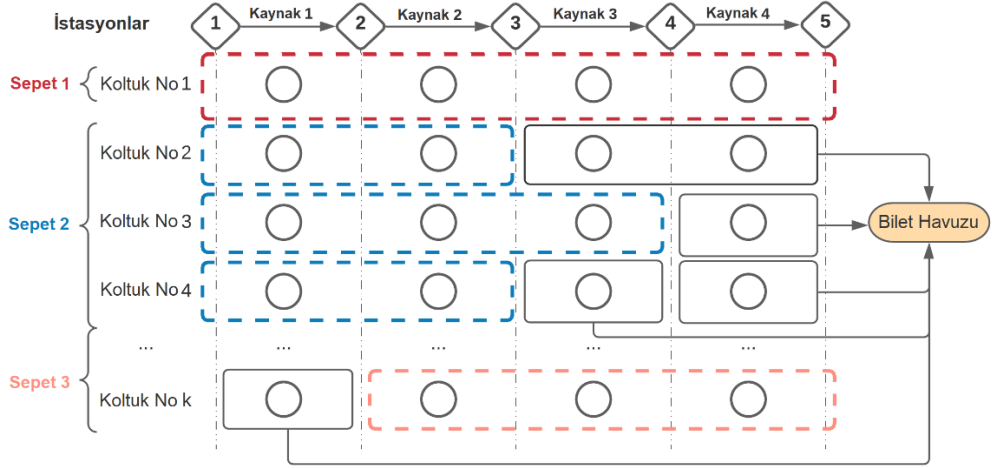
Şekil 4.2. TBS'nin çalışma mekanizmasını gösteren akış diyagramı.

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4, PBLC ve TBS'nin farklı sepet mekanizmalarını göstermektedir. Şekil 4.3'te görüldüğü gibi, PBLC'de tüm koltuklar belli bölümlere atanır ve tüm biletler önceden oluşturularak sahiplerini bekler. Ancak TBS'de koltuklar sepetlere tahsis edilir ve satıştan sonra boş kalan koltuklar, gelen yolculara göre bilet oluşturularak satılır (Bkz. Şekil 4.4).





Şekil 4.3. PBLC'nin bölümlendirme mekanizması [81].



Şekil 4.4. TBS'nin bölümlendirerek (sepetli) çalışma prensibi [81].

Koltuk tahsisi problemlerinin genel varsayımları, ucuz bilete olan talebin pahalı olanlardan daha fazla olduğu; ve fiyata duyarlı müşteriler ile uzun mesafe yolcularının, zamana duyarlı müşterilerden ve kısa mesafe yolcularından daha erken bilet aldığı şeklindedir. TBS'yi modellemek için yapılan ilave kurallar ve varsayımlar aşağıdaki gibidir [68]:

- Bilet rezervasyon süreci boyunca sepet sayısı sabittir.
- Bir koltuk sadece tek bir sepete atanabilir.
- Bir ürün en fazla bir sepet ile ilişkili olabilir.
- Rezervasyon döneminin başında tüm koltuklar bir sepete atanmalıdır.

- e) Bilet havuzu, bilet rezervasyon işlemi başlamadan önce boş olacak şekilde ayarlanmalıdır.
- f) Bilet havuzu, bilet satışında sepetlere göre önceliğe sahiptir.
- g) Her ürün için talebin stokastik olduğu ve bir olasılık dağılımıyla (çoğunlukla normal) temsil edilebileceği varsayılır.
- h) Koltuk sayısının, bilet rezervasyon süreci boyunca sabit olduğu varsayılır.
- i) Fazla rezervasyon dikkate alınmamıştır.

Daha pahalı biletler yerine daha düşük fiyatlı biletlerin, koltukları işgal etmesi istenmeyen bir durumdur, çünkü havayolu veya demiryolu şirketleri her zaman daha yüksek fiyattan koltuk satmayı tercih eder. Bu nedenle sepetlerdeki ürün ve koltukların dağılımı karı etkileyen en kritik faktördür.

#### 4.2. MATEMATİKSEL FORMÜLASYON VE SİMÜLASYON ADIMLARI

Bilet rezervasyon sürecini başlatmak için rezervasyon sürecinin başlangıcında iki parametre belirlenmelidir: Her bir sepet için ayrılmış koltuk sayısı ( $rc_b$ ) ve ürün kümesi. Bu ürün kümesi ise sepet-ürün ilişkisi  $\delta_{kb}$  yardımıyla temsil edilebilir.  $\delta_{kb}$ 'nin değerinin,  $k$  ürünü  $b$  sepetindeyse 1'e, aksi halde 0'a eşit olduğu varsayılır.

Koltuk tahsisi probleminin amacı, toplam gelir  $Rev(rc, \delta)$ 'i maksimize eden optimal parametre kombinasyonunu  $(rc, \delta)$  bulmaktır. Matematiksel olarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\max_{rc, \delta} Rev(rc, \delta) \quad (4.1)$$

s.t.

$$\sum_b^{n_{Buc}} rc_b = C \quad (4.2)$$

$$\sum_k^{n_{Prod}} \delta_{kb} \leq 1 \quad \forall b \quad (4.3)$$

$$rc_b \in Z^+, \delta_{kb} = \{0,1\}, b = 1, \dots, n_{Buc}$$

Birinci kısıt (Eşitlik 4.2), kapasite içindir ve her bir koltuğun yalnızca bir sepete yerleştirilmesini garantilemeyi amaçlar. İkinci kısıt (Eşitlik 4.3), bir ürünün en fazla bir sepette bulunabileceğini belirtir.

Bilet rezervasyon süreci, müşterilerin bilet alım sürecine uygun şekilde simüle edilmiştir ve müşterilerin bilet satın almak için gelmeleriyle başlar. Uygun bir örnekleme zamanında, müşteri varış sırası, Poisson sürecine uygun olarak gerçekleşir.

Simülasyonda bilet rezervasyon zaman aralığının tamamı  $t$  zaman aralığına bölünmüştür. Her  $t$  zaman aralığında en fazla bir müşterinin bilet rezervasyonu yapabileceğini varsayarsak, tüm müşterilerin toplam bilet rezervasyon süresi  $T$  olacaktır. Böylece,  $t=1,2,\dots,T$  ve  $T$  toplam müşteri sayısına eşittir.

$R_t$ ,  $t$  zaman aralığında bilet satışından elde edilen geliri gösterirse, toplam gelir  $Rev(rc,\delta)$ 'in tüm zaman aralıklarındaki her bir gelirin toplamı olması beklenir.  $Rev(rc,\delta)$ , Eşitlik 4.4'teki gibi ifade edilebilir.

$$Rev(rc, \delta) = Exp\left\{\sum_{t=0}^T R_t | rc_{b,0} = c_b, qtk_{k,0} = 0\right\} \quad (4.4)$$

Rezervasyon işleminin başlangıcında, başlangıç koltuk sayısı belirlenip sabitlenmiştir ve bilet havuzu boştur ( $b=1, \dots, n_{Buc}$  ve  $k=1, \dots, n_{Prod}$  iken  $qtk_{k,t=0}=0$  ve  $rc_{b,t=0}=c_b$ ).  $c_b$ , her bir sepetin koltuk kapasitesini temsil eder.  $rc_{b,t}$ ,  $t$  zaman aralığında  $b$  sepetinde kalan koltuk sayısını gösterirken;  $qtk_{k,t}$ ,  $t$  zaman aralığında bilet havuzunda kalan  $k$  ürününü gösterir.

$t$  zaman aralığındaki gelir aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$R_t = \begin{cases} p_k \cdot u_{k,t} & , \text{ eğer ürün } k, t \text{ periyodunda satıldıysa} \\ 0 & , \text{ eğer } t \text{ periyodunda hiç ürün} \\ & \text{ satılmadıysa veya } rest_{k,t} = 0 \text{ ise} \end{cases} \quad (4.5)$$

Gelir  $R_t$ , bilet fiyatına ( $p$ ) ve uygun ürünün varlığına ( $u$ ) bağlıdır.  $k$  ürününün fiyatı ( $p_k$ ) bilet rezervasyon işlemi sırasında sabittir ve  $u_{k,t}$ ,  $t$  zaman aralığındaki rezervasyon için  $k$  ürününün uygunluğunu gösterir.  $u_{k,t}$  değeri,  $k$  ürünü  $t$  zaman aralığında rezervasyon için uygunsa 1, aksi takdirde 0'dır (Eşitlik 4.6). Bir ürünün rezervasyon için kullanılabilirliği, herhangi bir sepet tarafından sunulup sunulmadığına ( $\sum rc_b \cdot \delta_{kb} > 0$ ) veya bilet havuzunda olup olmadığına ( $qtk_k > 0$ ) bağlıdır.

$$u_{k,t} = \begin{cases} 1 & , \text{ eğer } \sum rc_{b,t} \cdot \delta_{kb,t} > 0 \text{ veya } qtk_{k,t} > 0 \text{ ise} \\ 0 & , \text{ diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.6)$$

$rest_{k,t}$ ,  $t$  zaman aralığında  $k$  ürününden henüz işleme alınmamış talep miktarını temsil eder ve değeri Eşitlik 4.7'deki gibi belirlenebilir.

$$rest_{k,t} = \begin{cases} rest_{k,t} - 1 & , \text{ eğer ürün } k, t \text{ periyodunda satıldıysa} \\ rest_{k,t} + 1 & , \text{ eğer } div_{k,t} \geq 1 \text{ ise} \\ rest_{k,t} & , \text{ diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.7)$$

Yukarıdaki eşitlikte,  $div_{k,t}$ ,  $t$  zaman aralığında  $k$  ürünü için bilet bulamayıp yönlendirilen müşterilerin sayısını gösterir.  $div_{k,t}$ ,  $k$  ürününün  $t$  zaman aralığında mevcudiyetine bağlı olarak müşteri yönlendirme matrisi  $dec_{ij}$  kadar artabilir ( $dec_{ij}$ 'ten Bölüm 4.2.1'de bahsedilecektir) veya yönlendirilen müşterilerin istedikleri bileti bulmaları durumunda 1 azalabilir. Böylece  $div_{k,t}$  değeri Eşitlik 4.8 ile hesaplanabilir.

$$div_{k,t} = \begin{cases} div_{k,t} + dec_{kj} | j = 1, \dots, n_{prod} & , \text{ eğer } u_{k,t} = 0 \text{ ve } t \text{ periyodunda} \\ & \text{ hiç ürün satılmadıysa} \\ div_{k,t} - 1 & , \text{ eğer ürün } k, t \text{ periyodunda satıldıysa} \end{cases} \quad (4.8)$$

$t+1$  zaman aralığında kalan koltuk kapasiteleri ( $rc_b$ ) ve bilet havuzunda kalan ürünler ( $qtk_k$ )  $t$  zaman aralığında satılan ürüne bağlıdır.  $rc_{b,t+1}$  ve  $qtk_{k,t+1}$  aşağıdaki gibi belirlenebilir:

$$rc_{b,t+1} = \begin{cases} rc_{b,t} - 1 & , \text{ eğer ürün } k, t \text{ periyodunda satıldıysa} \\ & \text{ve } qtk_{k,t} = 0 \text{ ve } \delta_{kb,t} = 1 \text{ ise} \\ rc_{b,t} & , \text{ diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.9)$$

$$qtk_{k,t+1} = \begin{cases} qtk_{k,t} - 1 & , \text{ eğer ürün } k, t \text{ periyodunda} \\ & \text{satıldıysa ve } qtk_{k,t} > 0 \text{ ise} \\ qtk_{k,t} + \varphi_{k,t} \quad \forall k & , \text{ eğer ürün } x, t \text{ periyodunda} \\ & \text{satıldıysa ve } qtk_{x,t} = 0 \text{ ise} \\ qtk_{k,t} & , \text{ diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.10)$$

Eşitlik 4.10'da,  $\varphi_{k,t} \in \{0,1\}$  ( $k=1, \dots, n_{Prod}$ ),  $x$  ürünü satıldığında rezervasyon için kullanılabilir ürün kalıp kalmadığını gösterir.  $x$  ürünü satıldıktan sonra birden fazla ürün bilet havuzuna aktarılabilir. Her  $t$  zaman aralığında, bilet havuzuna aktarılacak maksimum ürün sayısı, toplam ürün sayısından bir eksiktir.

Demiryolu taşımacılığında havayollarından farklı olarak bazı kısıtlamalar vardır. Örneğin yolculuğa devam eden, duraklarda trene binen ve inen yolcular da dahil olmak üzere tüm yolculuk boyunca, aynı anda tren kapasitesi kadar yolcu olabilir. Bu kısıtlama özellikle durak ve tren sayısı arttıkça problemi oldukça zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla gelir, sadece talepler ve kapasiteler arasındaki fark hesaplanarak değerlendirilemez.

Ayrıca boyutsallık laneti nedeniyle, amaç fonksiyonunun bilet rezervasyon modeliyle hesaplanması zor olabilmektedir. İlaveten, satılacak ürün sayısının çok fazla olması ve  $\varphi_{k,t}$  parametresini analitik olarak ifade etmenin zor olması probleme kesin çözüm bulmayı oldukça zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, problemi yaklaşık olarak çözmek için Bölüm 4.2.2'de adımları anlatılacak olan genetik algoritma kullanılmıştır.

#### 4.2.1. Müşteri Yönlendirme Matrisi (Customer Diversion Matrix - CDM)

Bu bölümde, müşterilerin kararlarına dayalı bir CDM kullanılmıştır. Çizelge 4.1, bilet satın almaya, beklemeye veya hiçbir şey satın almadan ayrılmaya karar veren müşterilerin yönlendirilme yüzdesini içeren bir CDM örneğini göstermektedir. CDM, ürün sayısı kadar satıra sahiptir, ancak ürün sayısından iki fazla sütuna sahiptir. Bu iki ekstra sütundan biri beklemeyi tercih eden müşteriler için, diğeri ise hiçbir şey satın almak istemeyen müşteriler içindir.

$dec_{ij}$  matrisini oluşturmak kolay değildir. Eskiden satışların çoğu istasyonlardaki gişelerde yapıldığı için kesin bir profil oluşturmak daha zor iken; günümüzde online satışlar sayesinde rezervasyon süreci ile ilgili daha fazla veriye ulaşılabilmektedir.

$dec_{ij}$ , Ürün i'den bilet alamadıkları için Ürün j'den bilet almak isteyen müşterilerin yüzdesidir. Örneğin  $dec_{23} = 0,4$ , Ürün 2'den bilet bulamayan müşterilerin %40'ının Ürün 3'ten bilet almaya karar verdiği anlamına gelir. Beklemeye, satın almaya veya hiçbir şey almamaya karar veren müşterilerin toplam yüzdesi her zaman %100 olmalıdır. Başka bir deyişle, yönlendirme matrisindeki her bir satırın toplamı hiçbir zaman 1'i geçemez. Çizelge 4.1,  $dec_{ij}$  yönlendirme matrisini göstermek için rasgele sayılarla oluşturulmuştur. Burada, PBLC ve FCFS'de tüm biletler rezervasyon dönemi başlamadan önce oluşturulduğu için, bekleme listesi kullanılmadığını belirtmek önemlidir.

Çizelge 4.1. Örnek bir müşteri yönlendirme matrisi.

	1	2	3	4	5	6	7(w)	8(nb)
1	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0.4	0	0	0	0	0	0	0.6
3	0	0.2	0	0	0	0	0.3	0.5
4	0.1	0.2*	0	0	0	0.2*	0	0.7
5	0	0.2	0	0.2	0	0	0.3	0.3
6	0	0	0	0.3	0	0	0.4	0.3

Not: \* Ürün 4 için bilet bulamayan müşteriler, seyahatlerini Ürün 2 ve 6'dan birlikte bilet olarak gerçekleştirebilirler.

#### 4.2.2. Genetik Algoritma Uygulama Adımları

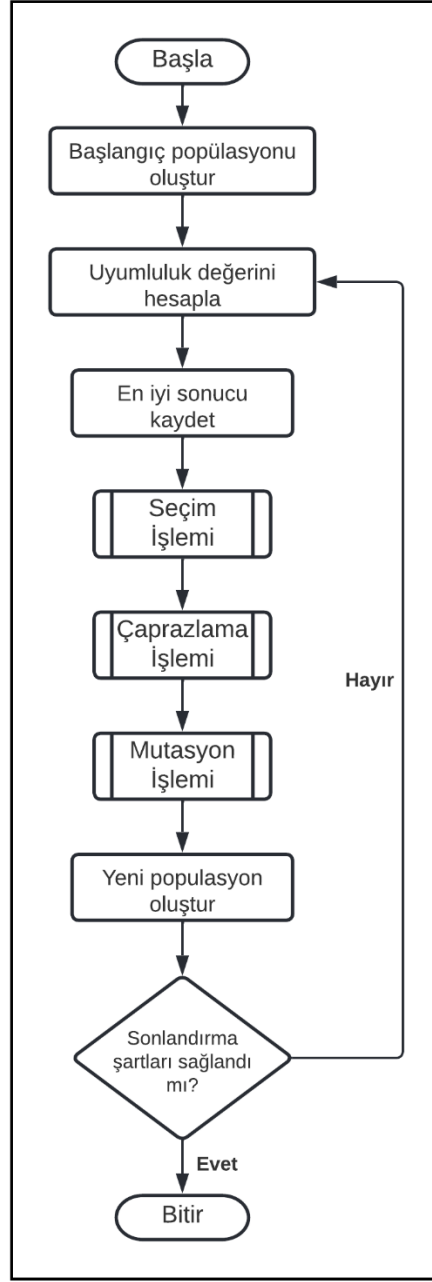
Genetik algoritma (GA) bir optimizasyon yöntemidir ve uyarlanabilir sezgisel arama algoritmalarından biridir. GA genetik bilimi ve doğal seçilim mekanizmasını kullanarak, optimum sonuç aramasını, daha iyi çözümlerin bulunduğu bölgeye doğru yönlendirmektedir. Bunu yaparken önceki verilerden iyi sonuç verenleri kullanarak rastgele aramayı daha hızlı bir hale getirmektedir. İyi çözümler sunduğu için, arama ve optimizasyon problemleri için sıkça kullanılan bir yöntemdir. GA, birden fazla yerel minimum/maksimum varlığında bile optimum çözümleri bulmada diğer yöntemlere göre daha verimli çalışan bir yöntemdir. Problem çözümünde zaman ve kaynakları etkin kullanması sebebiyle çokça tercih edilmektedir [86]. Şekil 4.5'teki akış şeması GA'nın adımlarını göstermektedir.

Her şeyden önce, çözüm parametreleri kromozomlarda kodlanır. Her kromozom, çözüme aday olan sepetleri temsil eden belirli sayıda gen bloğundan oluşur. Başlangıçta rastgele üretilen kromozomların tamamı başlangıç popülasyonunu oluşturur.

$C$  koltuk kapasiteli bir trenin çalıştığı ve  $n$  istasyonlu bir hat düşünürsek,  $n-1$  sayıda kaynak ve  $n_{prod} = n \cdot (n - 1)/2$  sayıda ürün olacaktır. Şekil 4.1'deki örnek dikkate alınır, Çizelge 4.2, ürünlerin ve sepetlerin nasıl kodlandığını göstermektedir. Bu örnek için üç ürün ve iki sepet vardır. Pr1, Res1 ve Res2'yi kullanır ve Sepet 1'e (Buc1) tek başına yerleştirilir. Pr2, sadece Res1'i; Pr3 ise sadece Res2'yi kullanmaktadır. Sıfır, herhangi bir adayın olmaması anlamına gelmektedir.

Çizelge 4.2. Üç duraklı tren hattı örneği için ürün ve sepetlerin kodlanması.

<b>n=3</b>	<b>İstasyonlar ...-den ...-e</b>	<b>Kodlanan ürünler</b>	<b>Kodlanan sepetler</b>
Pr1	1->3	Pr1=[1 2]	Buc1=[Pr1 0] Buc2=[Pr2 Pr3]
Pr2	1->2	Pr2=[1 0]	
Pr3	2->3	Pr3=[0 2]	



Şekil 4.5. GA uygulama adımlarını gösteren akış şeması.

Sepetler,  $l_{Buc}$  olarak sembolize edilen önceden belirlenmiş sayıda hücreye sahiptir. Her bir sepet için ayrılan koltuk sayısı, yani ilgili sepetlerin kapasiteleri  $c_b$ , bir genin son hücresine yerleştirilir, böylece bir genin boyutu  $l_{Buc}+1$  olmalıdır. Çizelge 4.3'te görüldüğü gibi, bir kromozom bir sıra halinde düzenlenmiş genlerle bir tamsayı dizisi olarak kodlanmıştır. Bu nedenle, kromozom boyutu hem kullanılan sepet sayısına ( $n_{Buc}$ ) hem de bir genin boyutuna bağlıdır.



Çizelge 4.3. Üç duraklı tren hattı örneği için gen ve kromozomların kodlanması.

Parametreler	$l_{Buc}=2, \quad n_{Buc}=2, \quad C=100$		
<b>Kodlanan sepetler</b>	Buc1=[Pr1 0]	Buc1=[Pr1 0]	Buc1=[0 Pr1]
	Buc2=[Pr2 Pr3]	Buc2=[Pr2 Pr3]	Buc2=[Pr2 0]
<b>Kodlanan genler</b>	Gene1=[Buc1 50]	Gene1=[Buc1 60]	Gene1=[Buc1 60]
	Gene2=[Buc2 50]	Gene2=[Buc2 40]	Gene2=[Buc2 40]
<b>Kodlanan kromosomlar</b>	Cr1=[Gene1 Gene2]	Cr2=[Gene1 Gene2]	Cr3=[Gene1 Gene2]

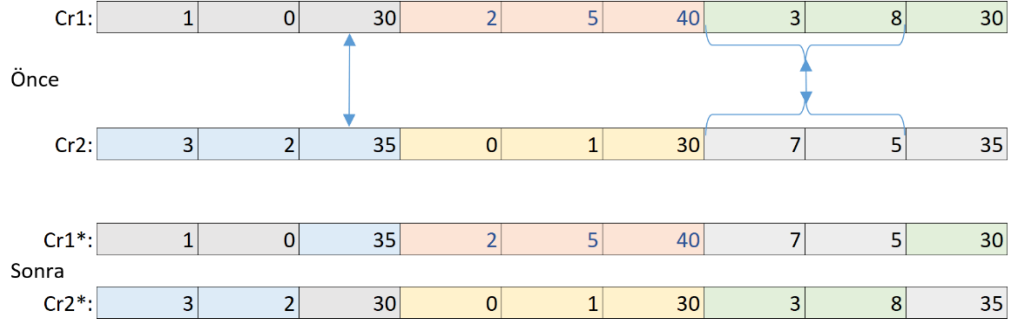
*Uygunluk.* Bir kromozomun performansı, amaç fonksiyonu kullanılarak hesaplanabilen uygunluk ile değerlendirilir. Amaç fonksiyonunu hesaplamak için ek parametrelere ihtiyaç vardır, örneğin talep ve bilet fiyatı. Bilet rezervasyon süreci tüm parametrelerle simüle edilir ve amaç fonksiyonu yani uygunluk fonksiyonu hesaplanır. Çözüm uzayı, genetik operatörler aracılığıyla daha iyi karaktere sahip nesiller üretilerek genişletilebilir. Temel genetik operatörler: Seçim, çaprazlama ve mutasyondur.

*Seçim.* Seçim işlemi, genetik yapısında herhangi bir değişiklik yapmadan mevcut kromozomu bir sonraki nesle kopyalar. Ancak uygunluk değerlerine göre daha iyi kromozomların seçilmesini sağlar. Bu araştırmada seçim için rulet yöntemi kullanılmıştır. Tüm uygunluk değerleri toplanır ve daha iyi uygunluk değerlerine sahip olanlar çarkta daha fazla alana sahip olacak şekilde formüle edilir. Çark döndürülür ve ok hangi seçenekte durursa o seçenek seçilir.

*Çaprazlama.* Çaprazlama, iki bireyin yani kromozomun yapılarının rastgele bir araya getirilerek yeni bireylerin oluşturulmasıdır. İşlem, bireylerin bazı parçalarının çiftler halinde değiştirilmesiyle gerçekleştirilir. Uygun bir çaprazlama noktası seçildiğinde, ebeveynlerden daha iyi uygunluk değerlerine sahip bireyler elde edilebilir. Yeni bireye dahil edilip edilmeyeceğine karar vermek için, yazı tura atılarak noktadan noktaya parçaların belirlendiği tek tip çaprazlama kuralı kullanılmıştır.

Kromozomlar, sepet ve ona ayrılan koltuk sayısından oluştuğu için, çaprazlama da iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci adım: Rastgele kromozom çiftleri seçilir ve

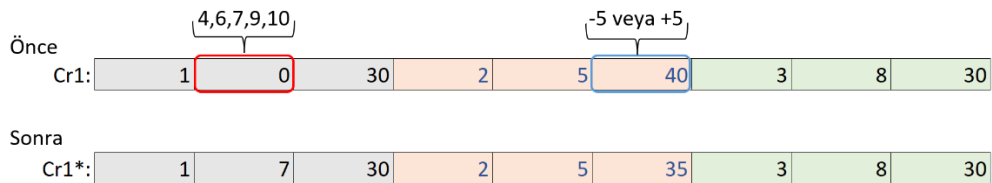
rastgele seçilen genlerden elde edilen sepetler, çaprazlama oranına göre bu çiftler arasında değiştirilir. İkinci adım: Rastgele seçilen kromozom çiftlerinden rastgele genler seçilir ve bu genlerdeki koltuk sayısı çaprazlama oranına göre değiştirilir (Bkz. Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Çaprazlama operasyonunun işleyişi için bir örnek.

*Mutasyon.* Var olan bir bireyin genlerinden bir veya daha fazlasının tamamen yeni genlerle değiştirilmesiyle mutasyon gerçekleştirilir. Çalışmada tek tip mutasyon kuralı benimsenmiştir. Bir gen rastgele seçilir ve genin her iki parçası da rastgele yeniden ayarlanır. Rastgele ayarlama, rastgele seçilen genin bazı hücreleri, izin verilen değerler kümesinden rastgele bir değerle değiştirilir.

Daha önce belirtildiği gibi, bir gen, sepet ve koltuk bilgilerini içeren iki bölümden oluşur. Mutasyon da iki aşamada gerçekleşir. Birinci adım: Rastgele seçilen kromozomun genindeki ürünler, mutasyon oranına göre hiç işleme alınmamış yeni ürünlerle değiştirilir. Boş hücreli sepetler doldurulur ve dolu olanlar boşaltılabilir. Böylece yeni sepetler oluşturulur. İkinci adım: Rastgele seçilen kromozomun rastgele seçilen genindeki koltuk sayısı 5 artırılır veya 5 azaltılır (Bkz. Şekil 4.7). Bunu yaparken koltuk sayısının sıfırın altına düşmediğini veya kapasiteyi aşmadığını kontrol etmek esastır.



Şekil 4.7. Mutasyon operasyonunun işleyişini gösteren örnek şekil.

### 4.2.3. Simülasyon Adımları

Simülasyonda, bilet rezervasyon süreci zamana bağlı bir süreç olarak ele alınmaktadır. Zaman aralığının küçük bir parçası olan  $t$  zaman aralığında yalnızca bir müşteri gelir. Böylece, rezervasyon zaman aralığı  $T$  sayıda zaman periyotlarına bölünmüştür. Müşterilerin gelişi Poisson dağılımına göre simüle edilmiştir. Talebin ortalama ve standart sapması ile rastgele talep vektörleri oluşturulmuştur.

Müşteri davranışı, CDM kullanılarak simüle edilmiştir. Herhangi bir üründen yapılan satışlar, diğer tüm ürünlerden yapılan satışlara da bağlıdır. Dolayısıyla modelimizde bir ürüne olan talep, kısmen o ürünü ilk talep eden müşterilerden ve kısmen de diğer ürünlerden yönlendirilen müşterilerden oluşmaktadır.

Çizelge 4.4'te gösterilen adımlarla rezervasyon sürecini simüle etmek için Matlab'da çeşitli algoritmalar yazılmıştır. Tüm deneysel işlemler, Windows 10 işletim sistemi altında, 16GB ram ve 2,6 GHz hızında 4 çekirdekli işlemciye sahip bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Farklı senaryoları analiz etmek için yüksek, düşük ve ortalama talebe eşit çeşitli rastgele talepler oluşturulmuştur.

Çizelge 4.4. Simülasyon sözde (pseudo) kodu.

	<b>Start simulation</b>
1:	<b>Set</b> initial parameters: C, Buc, dmnd, dec <sub>ij</sub> , BH=0
2:	<b>If</b> there is no request for Pr(rs) → <b>Go</b> to end
3:	<b>Else</b>
4:	<b>If</b> BH contains available resource(s) for Pr(rs) → <b>Sale</b> from BH, <b>go</b> to line 2
5:	<b>Else</b>
6:	<b>If</b> Buc contains available resource(s) for Pr(rs)
7:	<b>Sale</b> from Buc
8:	<b>If</b> there is remaining resource(s)/seat(s) → <b>Add</b> the remaining resource(s)/seat(s) to BH, <b>go</b> to line 2
9:	<b>Else</b>
10:	<b>If</b> customer wants to buy nothing (with dec <sub>ij</sub> ) → <b>Add</b> Pr(rs) to no-buy list, <b>go</b> to line 2
11:	<b>Else if</b> customer wants to wait (Only in TBS !!!) → <b>Add</b> Pr(rs) to wait list, <b>go</b> to line 2
12:	<b>Else if</b> the customer wants to buy another ticket → <b>Distribute</b> demand to re-buy list by dec <sub>ij</sub> , <b>go</b> to line 2

13:	<b>Else</b>
14:	<b>Add</b> wait list and rebuy list to dmnd, <b>go</b> to line 2
	<b>End simulation</b>

Simülasyonun başlangıcında koltuk kapasitesi ( $C$ ), sepet bilgisi ( $Buc$ ), talep bilgisi ( $dmnd$ ), müşteri yönlendirme matrisi ( $dec_{ij}$ ) ve bilet havuzu ( $BH$ ) başlangıç değerleri belirlenmiş olmalıdır.  $C$ ,  $dmnd$  ve müşteri yönlendirme matrisinin ( $dec_{ij}$ ) değerleri dışarıdan okunurken, bilet havuzunun başlangıç değeri her simülasyon başlangıcında sıfır olmalıdır ( $BH=0$ ).

Başlangıçta simülasyonda kullanılan sepetler ( $Buc$ ), GA'dan gelen rastgele başlangıç değerlerine sahiptir. Çok sayıda simülasyondan sonra, simülasyon sonuçlarının geri bildirim yoluyla GA'da daha yüksek gelirli sepetler elde edilebilir. GA için kullanılan parametrelerinin değerleri, yani popülasyon büyüklüğü, mutasyon oranı ve çaprazlama oranı, Taguchi tarafından önerilen deneysel tasarım tekniği kullanılarak kararlaştırılmıştır [87]. Bu üç parametreye ait seviyeler Çizelge 4.5'te gösterilmiştir. Deneysel tasarım Minitab 17 programı kullanılarak gerçekleştirildiğinde, program L16 ortogonal dizisini önermiştir (Bkz. Çizelge 4.6). Tavsiye edilen kombinasyonlar çalıştırılıp sonuçlar girildiğinde, en iyi kombinasyonun popülasyon büyüklüğü 10, çaprazlama oranı 0,75 ve mutasyon oranı 0,1 olduğu görülmüştür (Bkz. Şekil 4.8).

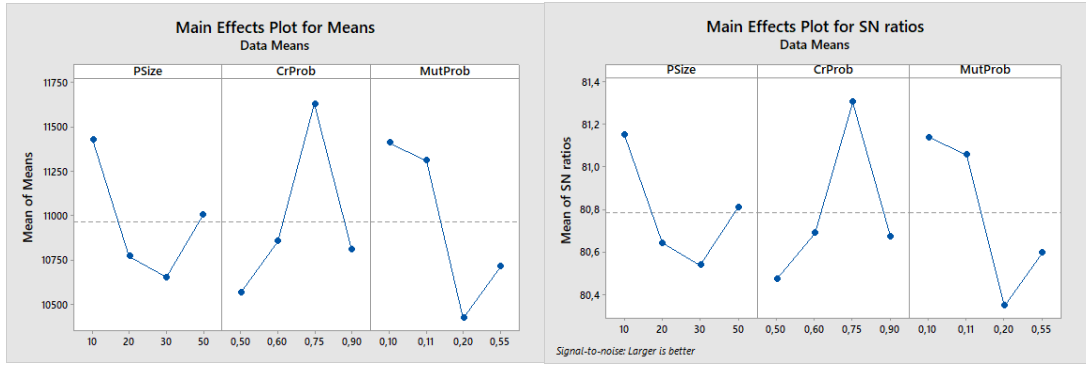
Çizelge 4.5. GA parametreleri ve faktör seviyeleri.

	Seviyeler			
	1	2	3	4
<b>Popülasyon Büyüklüğü (PSize)</b>	10	20	30	50
<b>Çaprazlama Oranı (CrProb)</b>	0,5	0,6	0,75	0,9
<b>Mutasyon Oranı (MutProb)</b>	0,05	0,11	0,1	0,2

Çizelge 4.6. GA deney parametreleri ve elde edilen sonuçlar.

Deney	PSize	CrProb	MutProb	Sonuç
1	10	0.5	0.05	10822,77
2	10	0.6	0.11	11771,55
3	10	0.75	0.1	12230,38
4	10	0.9	0.2	10886,71
5	20	0.5	0.11	10629,38
6	20	0.6	0.05	10344,57

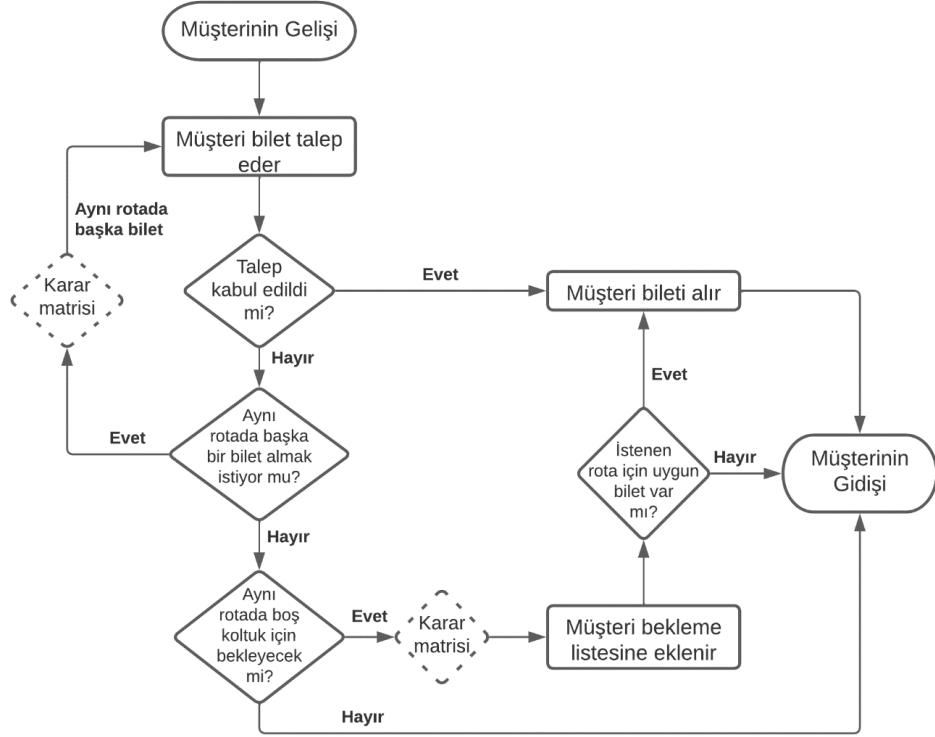
7	20	0.75	0.2	11069,86
8	20	0.9	0.1	11039,33
9	30	0.5	0.1	10854,12
10	30	0.6	0.2	9783,104
11	30	0.75	0.05	11175,68
12	30	0.9	0.11	10794,95
13	50	0.5	0.2	9952,937
14	50	0.6	0.1	11520,39
15	50	0.75	0.11	12037,59
16	50	0.9	0.05	10507,57



Şekil 4.8. Parametreler için faktör seviyeleri.

Bilet taleplerine öncelikle bilet havuzundan (*BH*) yapılan satışlarla yanıt verilir. *BH*'de uygun bilet yoksa tüm sepetler ürün için taranır. Ürünü bir sepette bulmak yetmez, o sepet için boş bir koltuk olması da gerekir. Sepetten satış sonrası bazı koltuklar boş kalabilir. Bu durumda bu koltuklar bir dahaki sefere yeniden kullanılmak üzere *BH*'ye eklenir.

Bir ürün için koltuk yoksa, o ürün için bilet talep eden müşteriler ya başka bir ürün seçebilir, ya o ürün için boş koltuk bekleyebilir ya da satın almadan ayrılabilir (Bkz. Şekil 4.9). Simülasyon, talep kalmayana ve tüm bilet talepleri -pozitif veya negatif- karşılanana kadar çalışır.



Şekil 4.9. Müşteri yönlendirmesi içeren bilet satış işleminin akış şeması.

Farklı talep senaryoları ile kurgusal bir demiryolu hattı ve gerçek bir örnek üzerinden tekniklerin değerlendirilmesi ve karşılaştırılması yapılmıştır. Simülasyonlar aracılığıyla TBS'nin diğer iki bilet rezervasyon mekanizmasından nasıl farklılaştığının ve müşteri davranışlarının rezervasyon sürecine etkilerinin gözlemlenmesi amaçlanmıştır.

Çalışma için farklı rastgele talep senaryoları ve rastgele geliş sıraları dışında özel talep durumları da incelenmiştir. Özel olarak düşük, yüksek ve ortalamaya eşit rastgele talep senaryoları belirlenmiştir. Düşük ve yüksek talep, sırasıyla kapasiteden daha düşük ve yüksek olan talebi temsil ederken, ortalamaya eşit talep, elde bulunan geçmiş taleplerin ortalamasına eşit bir değerdir. Her simülasyon, çeşitli senaryolarla yüzlerce kez çalıştırılmıştır. Çizelgelere gösterilen sonuçlar, simülasyon denemeleri sonunda elde edilen ortalama değerlerdir.

### 4.3. KOLTUK TAHSİSİ UYGULAMASI

#### 4.3.1. Kurgusal Demiryolu Hattı Uygulaması

Bu test örneğinde koltuk kapasitesi 100 olan tek trenli 5 duraklı bir demiryolu hattı bulunmaktadır. A'dan E'ye istasyonlar için dolar(\$) cinsinden bilet fiyatı ve ürünlere ait talep bilgileri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Kurgusal demiryolu hattı için talep ve fiyat bilgileri.

Ürünler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	A-E	A-D	A-C	A-B	B-E	B-D	B-C	C-E	C-D	D-E
<b>Fiyat</b>	\$80	\$50	\$30	\$20	\$70	\$40	\$20	\$60	\$30	\$40
<b>Ortalama Talep</b>	75	50	13	5	38	25	5	37	12	63
<b>Talebin Standart Sapması</b>	11.3	6.7	3.1	2.9	4.2	1.7	2.6	4.7	2.8	7.1

Bu örneğin müşteri yönlendirme matrisi Çizelge 4.8'de verilmiştir. Burada, çizelgedeki değerler farazi değerlerdir. Önceden açıklandığı gibi, sütun 11 ve 12'deki değerler sırasıyla beklemeyi tercih edenlerin ve satın alma yapmayanların oranlarıdır.

Çizelge 4.8. Kurgusal demiryolu hattına ait CDM.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<b>2</b>	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6
<b>3</b>	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0,3
<b>4</b>	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,2
<b>5</b>	0,3	0,1	0,1	0	0	0	0	0,1	0	0,1	0	0,5
<b>6</b>	0	0,3	0,1	0	0	0	0	0	0,1	0	0,3	0,3
<b>7</b>	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0,1
<b>8</b>	0,2	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0,5
<b>9</b>	0	0,1	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0,4	0,2
<b>10</b>	0	0	0	0	0,1	0	0	0,4	0	0	0,4	0,1

Farklı talep senaryolarıyla (talebin ortalamasına eşit, fazla ve düşük) yapılan testlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.9'da özetlenmiştir. Çizelgeler, her bir senaryo için

beklenen geliri, satılan bilet sayısını ve reddedilen talep sayısını göstermektedir. Çizelgede, TBS\_2x4, her biri 4 hücre uzunluğunda 2 sepetli TBS anlamına gelir ve aynı açıklama TBS\_3x4 ve TBS\_3x3 için de geçerlidir. Algoritma, bu örnekte 4 hücre uzunluğunda 3 sepet önermiştir, ancak çizelgeye karşılaştırma amaçlı bazı alternatif sepet çözümleri de konulmuştur.

Çizelge 4.9. Simülasyon sonuçları.

<i>Gelir</i>							
<i>(\$)</i>	<b>Talep</b>	<b>Yönlend.</b>	<b>TBS_2x4</b>	<b>TBS_3x4</b>	<b>TBS_3x3</b>	<b>PBLC</b>	<b>FCFS</b>
Düşük	Hayır		10710	11900	10010	6750	8140
	Evet		10750	11840	10120	7820	8300
Orta	Hayır		10770	11970	10270	7720	8330
	Evet		10810	12140	10350	7950	8330
Yüksek	Hayır		10810	12230	10500	8210	8450
	Evet		10880	12340	10680	8210	8600

<i>Satılan bilet (adet)</i>							
	<b>Talep</b>	<b>Yönlend.</b>	<b>TBS_2x4</b>	<b>TBS_3x4</b>	<b>TBS_3x3</b>	<b>PBLC</b>	<b>FCFS</b>
Düşük	Hayır		184	219	191	102	152
	Evet		187	223	194	116	162
Orta	Hayır		188	230	199	120	160
	Evet		190	235	204	123	169
Yüksek	Hayır		191	240	210	126	165
	Evet		194	246	216	132	170

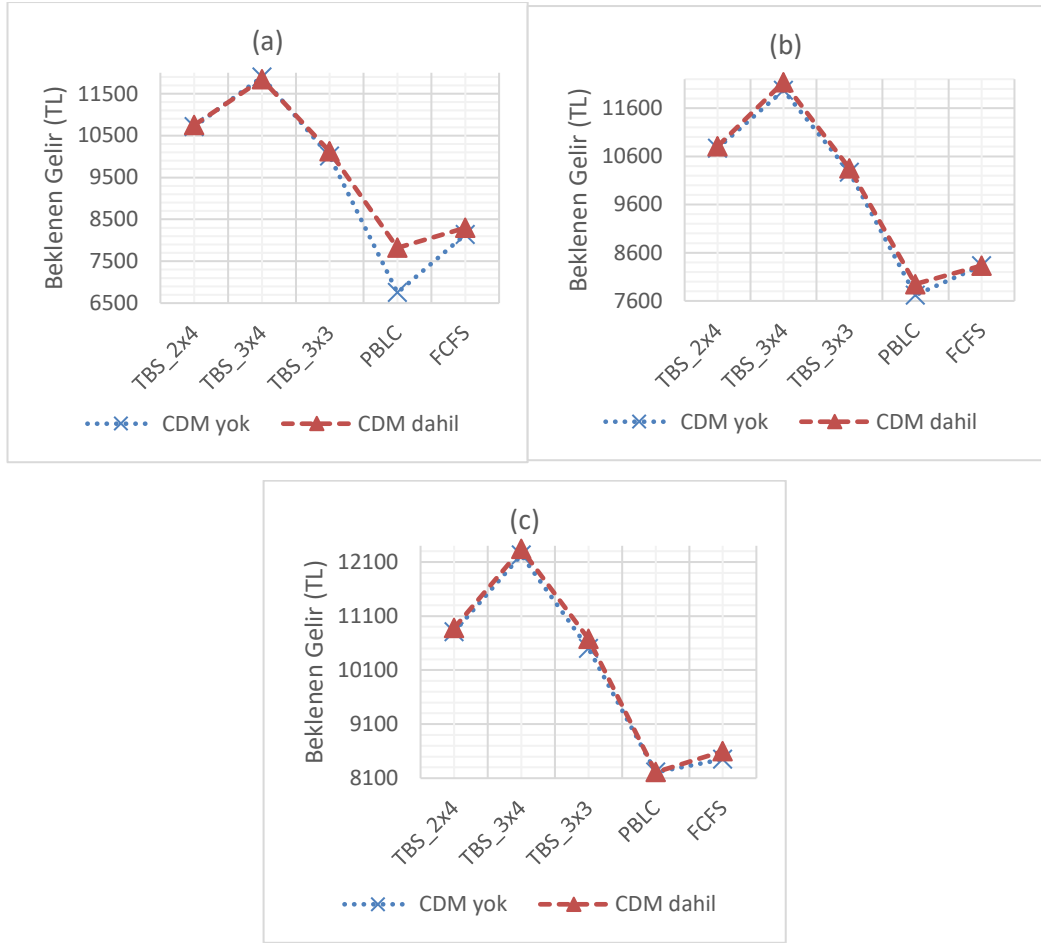
  

<i>Reddedilen müşteri (kişi)</i>							
	<b>Talep</b>	<b>Yönlend.</b>	<b>TBS_2x4</b>	<b>TBS_3x4</b>	<b>TBS_3x3</b>	<b>PBLC</b>	<b>FCFS</b>
Düşük	Hayır		93	58	86	175	125
	Evet		90	54	83	161	115
Orta	Hayır		135	93	124	203	163
	Evet		133	88	119	200	154
Yüksek	Hayır		178	129	159	243	204
	Evet		175	123	153	237	199



Şekil 4.10'da görüldüğü gibi tüm talep seviyelerinde TBS, PBLC ve FCFS'ye göre daha iyi performans vermektedir. Tüm talep seviyelerinde, müşterilerin geliş sırası değişse bile, gelire göre performans sıralaması TBS > FCFS > PBLC'dir.

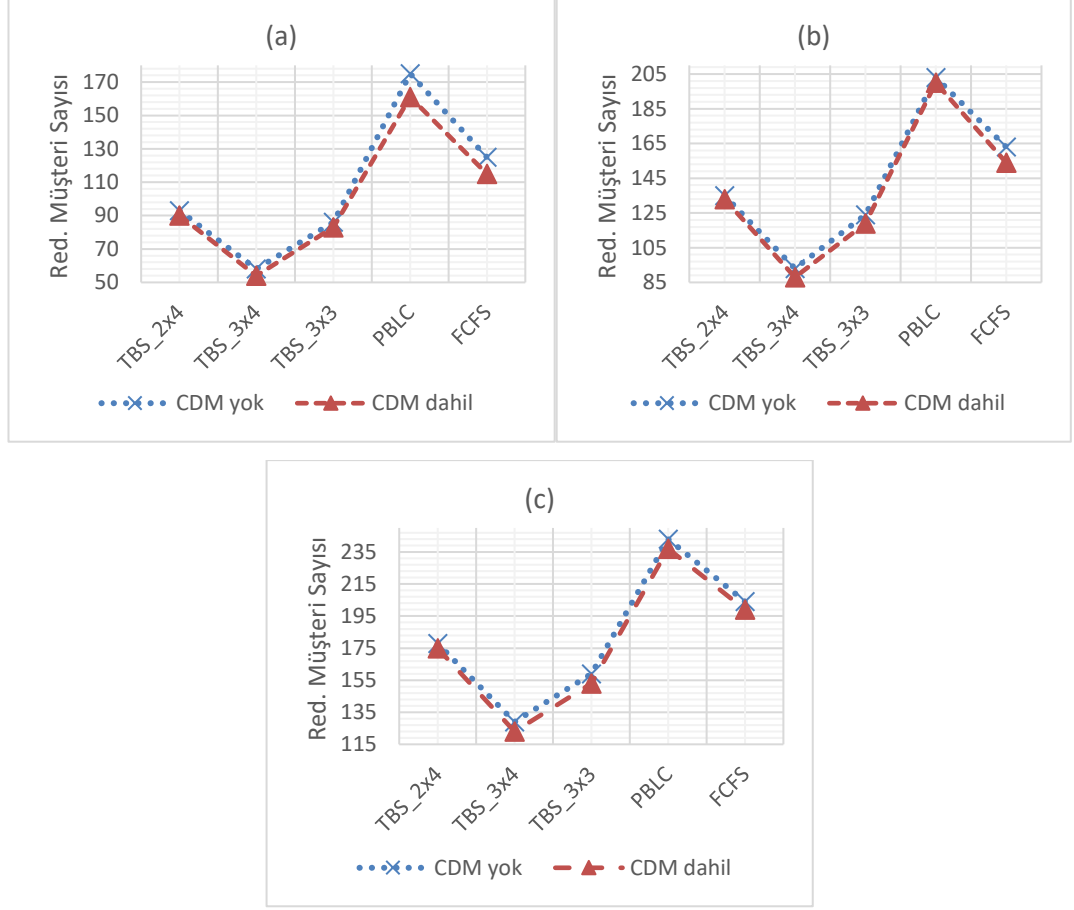
Müşteri davranışını rezervasyon sürecine entegre etmenin geliri nasıl etkilediği de Şekil 4.10'da görülebilir. Müşteri davranışının TBS üzerindeki etkileri minimum iken, PBLC üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu görülmektedir. PBLC'de özellikle düşük talep seviyesinde, müşteri davranışının olmadığı duruma göre satış geliri önemli ölçüde artmaktadır.



Şekil 4.10. Müşteri yönlendirmesi içeren ve içermeyen durumlarda beklenen gelirin karşılaştırması. (a) Düşük, (b) Orta ve (c) Yüksek talep.

Şekil 4.11, müşteri davranışını dikkate almanın yalnızca gelirden iyileştirmelerle sonuçlanmadığını göstermektedir. Buna ek olarak reddedilen müşterilerin sayısı, tüm

talep seviyelerinde ve tüm teknikler için azalmıştır. Değişim miktarı ve oranı müşteri talebi ve geliş sırasına göre değişmektedir.



Şekil 4.11. Müşteri yönlendirmesi içeren ve içermeyen durumlarda reddedilen müşteri sayısının karşılaştırması. (a) Düşük, (b) Orta ve (c) Yüksek talep.

#### 4.3.2. YHT Hattı Uygulaması

Gerçek hayattan bir örnek olarak Türkiye'de Ankara-İstanbul demiryolu hattı ele alınmıştır. Veriler, TCDD ve TCDD Taşımacılık AŞ web sitesinde yayınlanan istatistiki ve yıllık raporlardan elde edilmiştir [88–96]. Uyumsuz ve alakasız veriler çıkarılmış veya ihmal edilmiştir. Ankara-İstanbul hattında toplam 14 durak yer almaktadır. Bu duraklardan beş tanesi İstanbul sınırları içinde yer almaktadır. Bilet fiyatlarının aynı olması sebebiyle hat üzerindeki beş istasyona ait veriler, hem verilerdeki uyumsuzluk hem de kolaylık olması amacıyla, önceki istasyon verileri ile

birleştirilerek ortak değerlendirmeye alınmıştır. Yani bazı istasyonlar ortak değerlendirmeye alınmıştır. Bilet fiyatlarının aynı olması sebebiyle, bu iki durağa ayrılan koltuk sayısı etkilenmeyecektir. Böylelikle ilk istasyon Ankara ve son istasyon İstanbul'da Halkalı olmak üzere hat üzerinde 9 istasyon üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir. Her bir ürünün fiyatı, ortalama talebi ve talebin standart sapmaları (parantez içinde gösterilen değer) Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11'de görülebilir. Bu örnekte 36 ürün (Bkz. Çizelge 4.12) ve 8 kaynak bulunmaktadır.

Çizelge 4.10. YHT Ankara-İstanbul hattı bilet fiyatları.

<b>Fiyatlar (TL)</b>	Polatlı	Eskişehir	Bozüyük	Bilecik	Arifiye	İzmit	İstanbul (S.çeşme)	İstanbul (Halkalı)
Ankara	19.5	37.5	49.5	61.5	73.5	79.5	85.5	96.0
Polatlı		28.0	43.5	55.5	61.5	67.5	79.5	90.0
Eskişehir			19.5	31.5	52.5	52.5	55.5	64.0
Bozüyük				19.5	37.5	52.5	55.5	64.0
Bilecik					31.5	49.5	55.5	64.0
Arifiye						19.5	31.5	38.5
İzmit							19.5	26.5
İstanbul (S.çeşme)								24.0

Çizelge 4.11. YHT Ankara-İstanbul hattına ait talepler ve standart sapmaları (parantez içinde).

<b>Talep (St.Sapma)</b>	Polatlı	Eskişehir	Bozüyük	Bilecik	Arifiye	İzmit	İstanbul (S.çeşme)	İstanbul (Halkalı)
Ankara	8 (4.1)	121 (6.5)	4 (1.7)	6 (2.4)	7 (7.4)	15 (5.0)	219 (9.1)	32 (4.9)
Polatlı		4 (4.0)	1 (1.4)	1 (2.8)	1 (1.7)	2 (2.2)	7 (6.6)	1 (7.0)
Eskişehir			1 (1.1)	2 (1.7)	7 (3.2)	17 (5.4)	112 (8.4)	13 (3.2)
Bozüyük				1 (2.8)	1 (1.3)	1 (1.6)	3 (6.5)	3 (1.7)
Bilecik					2 (2.9)	2 (2.6)	6 (4.5)	4 (3.6)
Arifiye						1	6	4

						(2.4)	(5.7)	(5.2)
İzmit							23 (7.4)	20 (10.9)
İstanbul (S.çeşme)								1 (3.8)

Çizelge 4.12. YHT Ankara-İstanbul hattı için atanmış ürün numaraları.

Kalkış	Variş	Ürün No
Ankara	İstanbul (Halkalı)	1
	İstanbul (S.çeşme)	2
	İzmit	3
	Arifiye	4
	Bilecik	5
	Bozüyük	6
	Eskişehir	7
	Polatlı	8
Polatlı	İstanbul (Halkalı)	9
	İstanbul (S.çeşme)	10
	İzmit	11
	Arifiye	12
	Bilecik	13
	Bozüyük	14
	Eskişehir	15
Eskişehir	İstanbul (Halkalı)	16
	İstanbul (S.çeşme)	17
	İzmit	18
	Arifiye	19
	Bilecik	20
	Bozüyük	21
Bozüyük	İstanbul (Halkalı)	22
	İstanbul (S.çeşme)	23
	İzmit	24
	Arifiye	25
	Bilecik	26
Bilecik	İstanbul (Halkalı)	27
	İstanbul (S.çeşme)	28
	İzmit	29

	Arifiye	<b>30</b>
Arifiye	İstanbul (Halkalı)	<b>31</b>
	İstanbul (S.çeşme)	<b>32</b>
	İzmit	<b>33</b>
İzmit	İstanbul (Halkalı)	<b>34</b>
	İstanbul (S.çeşme)	<b>35</b>
İstanbul (S.çeşme)	İstanbul (Halkalı)	<b>36</b>

Uzman görüşüne dayalı olarak oluşturulan yönlendirme matrisi Çizelge 4.13'de görülebilir. Daha önce de belirtildiği gibi yönlendirme verileri yeni teknolojiler kullanılarak çevrimiçi olarak elde edilebilir ve TBS'de kolayca değiştirilebilir. Matris 36x38 boyutunda olduğundan ve birçok ürün için sıfır değeri içerdiğinden Çizelge 4.13'de sadece sıfır olmayan değerleri içeren satırlar ve sütunlar gösterilmiştir. Sütun 37, beklemek isteyen müşterilerin oranını temsil etmektedir. Benzer şekilde, sütun 38, satın almadan ayrılmayı tercih eden müşterilerin oranıdır.

Çizelge 4.13. YHT Ankara-İstanbul hattına ait CDM.

	1	2	3	4	5	6	11	12	16	17	18	20	22	23	24	25	31	32	34	37	38
<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<b>2</b>	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8
<b>3</b>	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8
<b>4</b>	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7
<b>5</b>	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9
<b>6</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<b>7</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0.6
<b>8</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7	0.3
<b>9</b>	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7
<b>10</b>	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8
<b>11</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<b>12</b>	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7
<b>13</b>	0	0	0	0	0.2	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8
<b>14</b>	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9
<b>15</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5
<b>16</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<b>17</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9
<b>18</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6
<b>19</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>20</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<b>21</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.4
<b>22</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>23</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>24</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0.5
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7	0	0	0	0	0	0.3
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0.4	0.2
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0.8
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.4
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	0.2	0

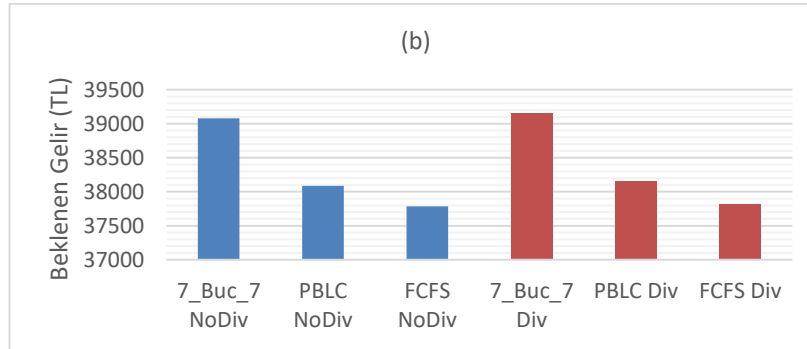
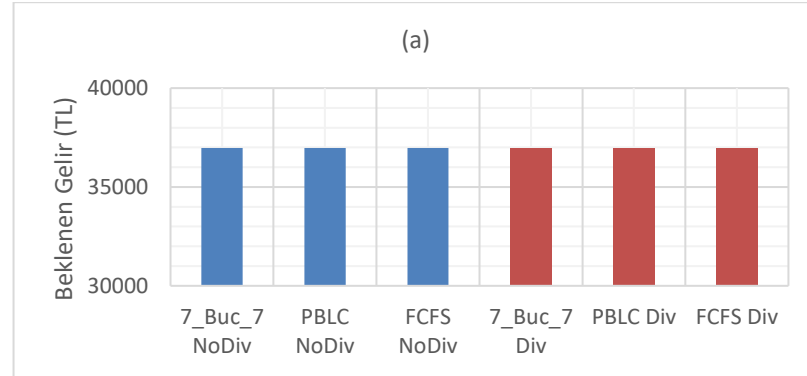
Simülasyon sonuçları, talep seviyelerine (düşük, orta ve yüksek talep) ve müşteri davranışının dikkate alınıp alınmadığına göre çizelgelerde özetlenmiştir. Sonuçlara göre rezervasyon mekanizmalarının beklenen gelirleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.14 ve Şekil 4.12'de gösterilmiştir. TBS algoritması, birçok sepet kombinasyonunun denenmesinden sonra 7 hücre uzunluğunda 7 sepet önermiştir.

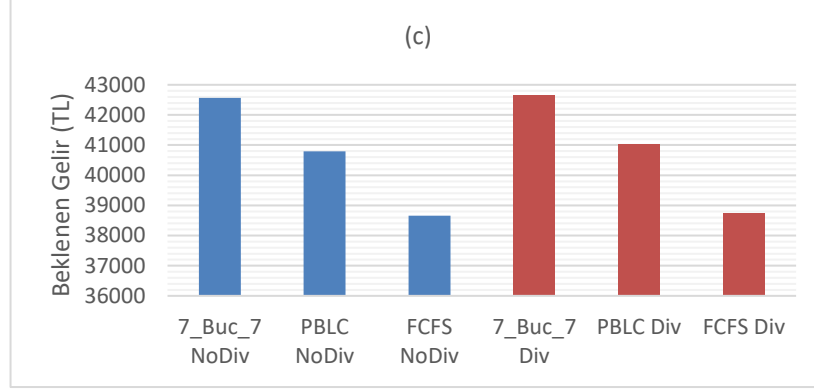
Çizelge 4.14. YHT Ankara-İstanbul hattı için simülasyon sonuçları.

Gelir					
(TL)	Talep	Yönlend.	TBS_7x7	PBLC	FCFS
	Düşük	Hayır	36976	36976	36976
		Evet	36976	36976	36976
	Orta	Hayır	39079	38084	37787
		Evet	39154	38159	37811
	Yüksek	Hayır	42567	40793	38663
		Evet	42634	41020	38742
Satılan					
bilet	Talep	Yönlend.	TBS_7x7	PBLC	FCFS
(adet)					
	Düşük	Hayır	589	589	589
		Evet	589	589	589
	Orta	Hayır	624	618	617
		Evet	629	621	618
	Yüksek	Hayır	709	659	642
		Evet	719	664	644

Reddedilen					
müşteri (kişi)	Talep	Yönlend.	TBS_7x7	PBLC	FCFS
	Evet	0	0	0	
Orta	Hayır	35	41	42	
	Evet	30	38	41	
Yüksek	Hayır	95	145	162	
	Evet	85	140	160	

Düşük talep durumunda, tüm rezervasyon tekniklerinin beklenen gelirleri aynı veya birbirine çok yakındır. Bunun bir nedeni, düşük talep ve yeterli kapasite nedeniyle tüm müşterilerin istedikleri biletleri alabilmeleri olabilir. Yüksek ve ortalama-eşit talep senaryolarında, rezervasyon yöntemleri arasındaki farklar belirginleşmektedir (Şekil 4.12 b ve c). TBS, PBLC ve FCFS'den açıkça daha iyi performans göstermiştir.

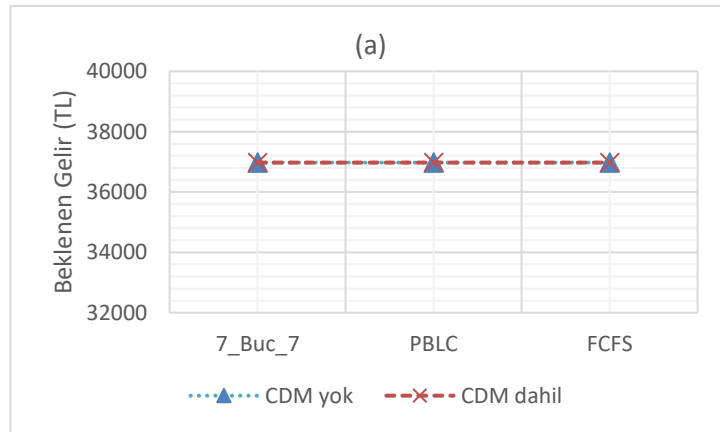




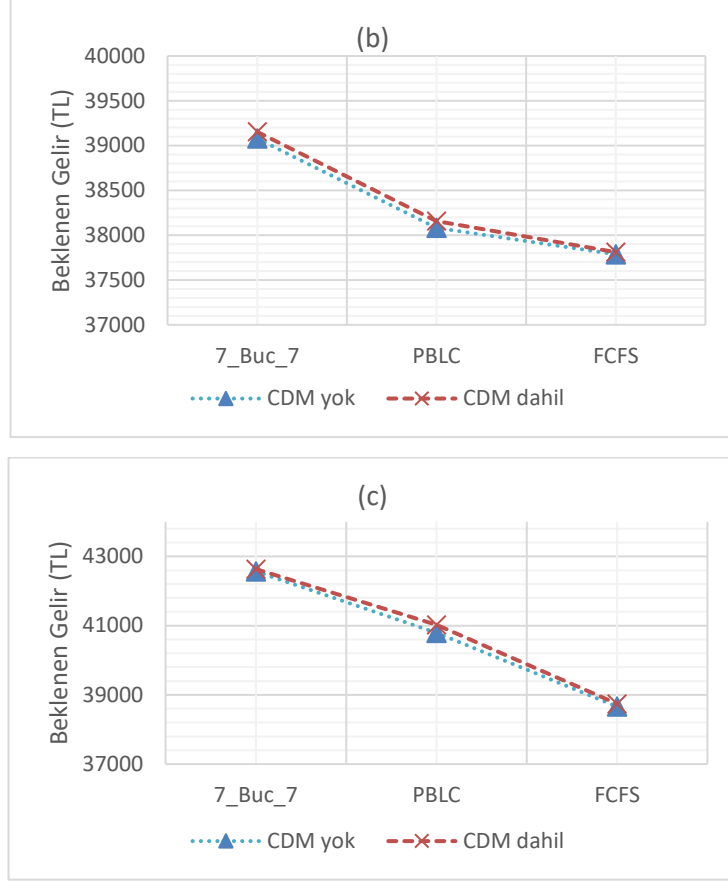
Şekil 4.12. YHT uygulamasında müşteri yönlendirmesi içeren ve içermeyen durumlarda beklenen gelirler. (a) Düşük, (b) Orta ve (c) Yüksek talep.

Simülasyonlarda müşteri davranışını dahil ettiğimizde, beklenen gelirdeki değişimler Şekil 4.13'de görülebilir. Şekilde “NoDiv” eklentisi, CDM kullanılmayan; “Div” ise CDM ile elde edilen sonuçları göstermektedir. Düşük talep senaryolarında müşteri yönlendirmeli veya yönlendirmesiz durumlar için beklenen gelirden bir fark yoktur. Yukarıda açıklanan sebep burada da geçerlidir. Diğer talep seviyelerinde ise müşteri davranışı etkisini göstermektedir. En önemli etkisi sırasıyla TBS, ardından PBLc ve FCFS üzerindedir.

Simülasyonda müşterilerin geliş sıraları çeşitlendirilerek deneyler yapılmıştır. Müşterilerin gelişlerindeki değişikliklerin etkisinin çok düşük olduğu ve gelirlerde ufak değişiklikler olsa da performans sıralamasında herhangi bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir.

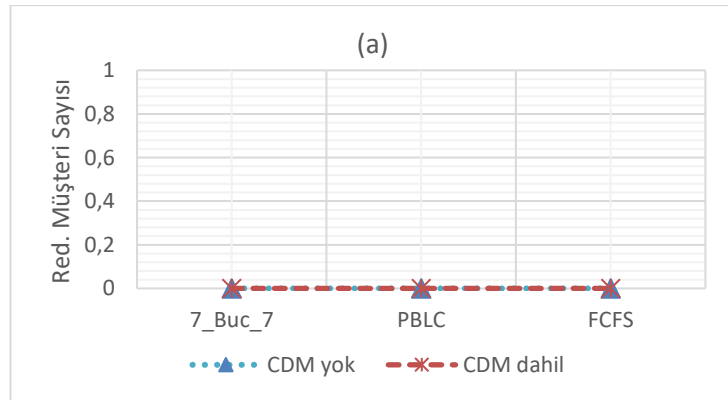


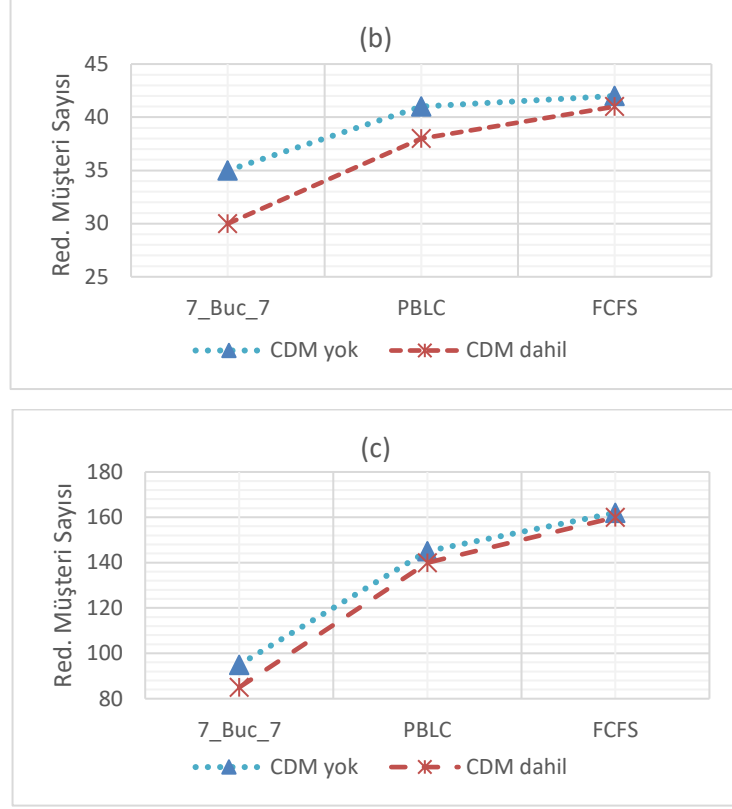




Şekil 4.13. YHT uygulamasında müşteri yönlendirmesi içeren ve içermeyen durumlarda beklenen gelirin karşılaştırması. (a) Düşük, (b) Orta ve (c) Yüksek talep.

Şekil 4.14, müşteri davranışını sisteme dahil etmenin, beklenen gelirleri artırmasının yanında reddedilen müşteri sayısını azalttığını da göstermektedir. Özellikle, düşük talep seviyesi dışında reddedilen müşteri sayısındaki azalma oldukça belirgindir (Bkz. Şekil 4.14 a).



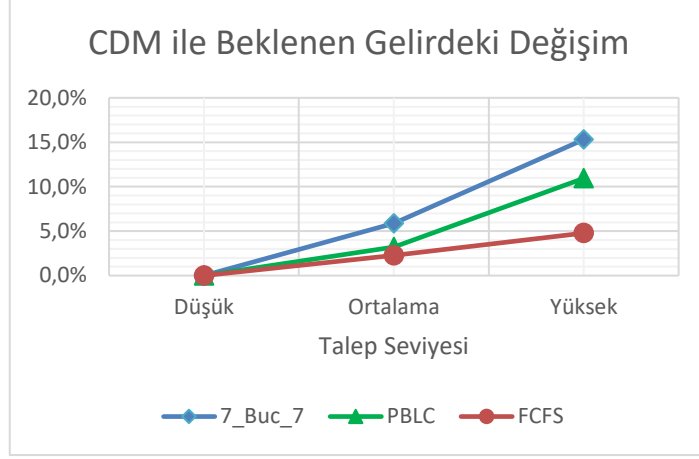


Şekil 4.14. YHT uygulamasında müşteri yönlendirmesi içeren ve içermeyen durumlarda reddedilen müşteri sayısının karşılaştırması. (a) Düşük, (b) Orta ve (c) Yüksek talep.

### 4.3.3. Müşteri Davranışı Etkileri

Müşteri davranışı etkilerini değerlendirmek için CDM'deki bazı değerler değiştirilerek simülasyonlar yapılmış ve sonuçlar incelenmiştir. Testler iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, CDM sabit tutularak simülasyonlar farklı talep seviyelerinde çalıştırılmıştır. İkinci aşamada talep sabit tutularak CDM'de değişiklikler yapılmıştır.

Şekil 4.15'de görüldüğü gibi düşük talepte gelir (ve satılan bilet sayısı) müşteri davranışlarından etkilenmemektedir. Talep arttıkça gelirdeki değişim daha belirgin hale gelir ve en belirgin durum TBS'dedir. Müşteri davranışının gelir ve bilet satışları üzerindeki etkisi, öncelikle ortalamanın üzerinde ve ortalamaya yakın taleplerde izlenmiştir. Yüksek talep ile yapılan testlerde, talebin çok yüksek olması durumunda kapasitelerin çabuk tükenmesi nedeniyle müşteri davranışlarının etkisinin giderek azaldığı gözlemlenmiştir.

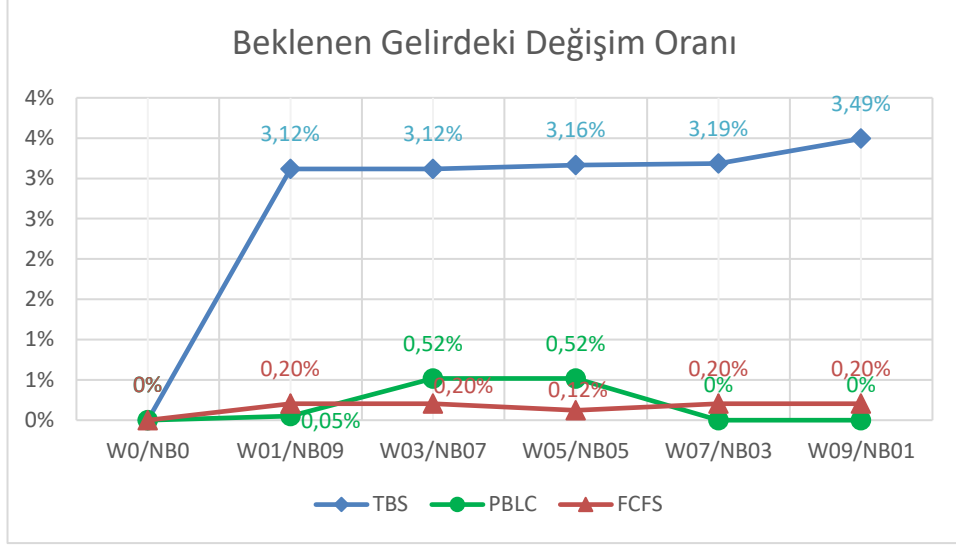


Şekil 4.15. YHT uygulamasında CDM dahil edildiğinde beklenen gelirlerdeki değişim.

İkinci aşamada talep ortalamasının üzerinde ve sabit tutularak, CDM'de değişiklikler yapılmıştır. PBLC ve FCFS yöntemlerinde bekleme davranışının gelir ve bilet satışlarını etkilemediğini tekrardan belirtmek önemlidir. Çünkü bu yöntemlerde bir ürünün kapasitesine ulaşıldıktan sonra aynı ürün tekrar satışa açılmaz. TBS'de müşterinin geliş sırasına göre yeniden açılma imkanı her zaman mevcuttur.

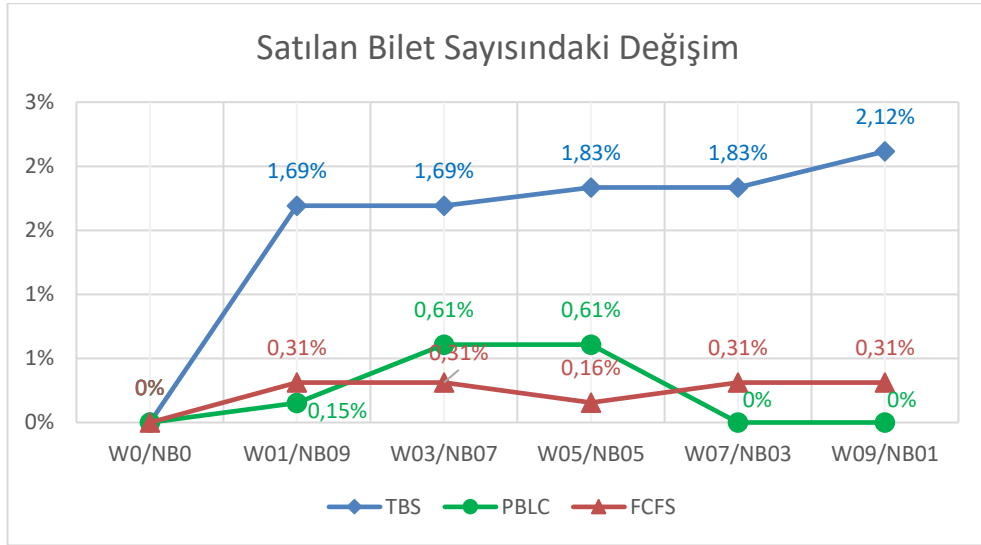
CDM'deki bekleme ve satın almama sütunları dışında, değişiklikler, sıfır değerli hücrelerle sınırlandırılmıştır. Hiçbir şey almadan ayrılanları herhangi bir bilet almaya teşvik ederek satın almama yüzdesini azaltmak daha kolay olacaktır. 1-36 arası sütunlarda yapılan değişikliklerin (Sütun 37 ve 38 bu değişikliklere göre yeniden düzenlenmiştir) gelir ve bilet satışları üzerinde PBLC ve FCFS'de, TBS'ye göre daha önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Bekleme ve satın almama sütunlarında yapılan değişikliklerin gelir ve satışlar üzerindeki etkisi, diğer sütunlara sıfır değeri atanarak analiz edilebilir. Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de, W0/NB0 temel, yani CDM'nin tamamen sıfır olduğu durum anlamına gelmektedir. 'W01/NB09' ifadesinde, W01, bekleme sütunundaki tüm hücrelerin 0,1 değerini aldığını ve NB09, satın almama sütunundaki tüm hücrelerin 0,9 değerine sahip olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, diğer ifadelerdeki sayılar (W0x/NB0y) 37 ve 38. sütunlar için oranları temsil eder. Hücrelerdeki oranlar bir olasılığı temsil ettiğinden toplamalarının 1'i geçmemesi gerektiğine dikkat edilmelidir.



Şekil 4.16. CDM'nin farklı değerleri ile beklenen gelirdeki değişim oranları (%).

Bekleme sütunundaki değişikliklerin TBS'te gelir ve satışları önemli ölçüde etkilediği gözlemlenmiştir. Bu etki, bekleme oranı arttıkça pozitif olarak artar (Bkz. Şekil 4.16 ve Şekil 4.17). PBLC ve FCFS ile yapılan testlerde, gelir ve satış rakamlarında görülen küçük değişiklikler, satın almama yüzdesindeki değişikliklerin bir sonucu olarak yorumlanabilir. Bekleme oranı (Sütun 37) değiştirildiğinde, müşteri yönlendirme, TBS'de gelir ve bilet satışları üzerinde dikkate değer bir etkiye sahiptir (sırasıyla %3.49 ve %2.12'ye kadar).



Şekil 4.17. CDM'nin farklı değerleri ile satılan bilet sayısındaki değişim oranları (%).

TCDD uygulamasında, TBS, bölümlü rezervasyon limiti kontrolünden (PBLC) ve herhangi bir kural olmaksızın ilk gelen müşteriye bilet satışından (FCFS) daha iyi performans göstermiştir. Talep yüksek olduğunda, tüm yöntemler en iyi sonuçlarını, yani en yüksek geliri vermiştir. Düşük talepte tüm tekniklerin başarısı birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

TCDD Taşımacılık AŞ 2019 yılı itibari ile 593 bilet satmıştır ve tren başına günlük ortalama 36.866 TL gelir elde etmiştir [94]. Uyarladığımız algoritma (TBS) ile ortalama talep durumunda yaklaşık 630 bilet satılabilir. Tren başına 2100 TL civarında bir gelir artışı beklenebilir ve mevcut seviyeye göre 39000 TL'ye varan bir gelir elde edilebilir. Üç yöntem arasında en iyi sonucu TBS vermiştir. Önerilen modelimizin uygulanması halinde yıllık 5,3 milyon TL'lik bir gelir artışı beklenebilir, TBS'nin %5,8 civarında bir gelir artışı ile başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

## BÖLÜM 5

### FİYATLANDIRMA STRATEJİSİ İLE GELİR OPTİMİZASYONU

Fiyatlandırma taktiksel bir problem olarak görülebilir ve pratikte, fiyat değişikliklerinin optimal zamanlamasına, dinamik olarak karar vermek için çeşitli yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Fiyat farklılaştırma stratejisi, havayolu, otel ve araç kiralama gibi birçok alanda başarıyla uygulanmaktadır.

Tezin bu bölümündeki amacımız, bir kamu kuruluşu olması sebebiyle YHT için Gelir Yönetimi araçları kullanılarak gelirinin artırılması veya en azından gelirden herhangi bir düşüş olmaksızın kamu yararına bilet fiyatlarının optimum bir seviyeye çekilmesidir. Yapılan çalışmada bunun mümkün olup olmadığı incelenmiştir. Bu bölümde Gelir Yönetiminde kullanılan iki farklı fiyatlandırma yöntemi, YHT için uygulanmıştır. Bunlardan yöntemlerden biri yoğun zaman (tepe) fiyatlandırma diğeri ise periyotlarla fiyatlandırma yöntemidir.

Her iki uygulama da lineer olmayan kısıtlı modeller içermektedir, çözüm için çok kullanışlı ve uygun olduğundan dolayı Karush-Kuhn-Tucker (KKT) şartlarından ve Lagrange çarpanı yönteminden faydalanılmıştır [58]. Lagrange çarpanı yöntemi, amaç veya kısıt fonksiyonlarının doğrusallığına bakmaksızın, eşitlik içeren kısıtların bulunduğu durumlarda en çok kullanılan yöntemdir. KKT ise, eşitsizlik kısıtlarını eşitliğe çevirerek, Lagrange yönteminin özel bir versiyonu olarak düşünülebilir [97].

Kısıtlı bir minimizasyon probleminde  $x^*$  vektörünün uygun bir çözüm olabilmesi için aşağıdaki KKT şartlarını sağlaması gerekmektedir:

$$\min z = f(x) \tag{5.1}$$

s.t.

$$g_i(x) \leq 0 \quad \forall i \quad (5.2)$$

$$a) \quad \nabla f(x^*) = \lambda \nabla g(x^*) \Rightarrow \frac{\partial f}{\partial x_j^*} - \sum_i \lambda_i \frac{\partial g_i}{\partial x_j^*} = 0 \quad (5.3)$$

$$b) \quad \lambda_i g_i(x^*) = 0 \quad (5.4)$$

$$c) \quad g_i(x^*) \leq 0 \quad (5.5)$$

$$d) \quad \lambda_i \leq 0 \quad (5.6)$$

Eğer ki problemde kısıtlar  $g_i(x) \geq 0$  şeklinde ise o zaman  $\lambda_i \geq 0$  olmalıdır. İki numaralı şarttan başlayarak denklemler çözülerek uygun Lagrange çarpanları ve sonrasında  $x$  değerleri bulunabilir.

## 5.1. YOĞUN ZAMAN (TEPE) FİYATLANDIRMA

YHT’de ürün olarak kabul edilen koltuklar bozulabilir ve depolanamaz niteliktedir. Belirli düzenli kalıplarda dalgalanan yolcu talebi, işletme döngüsünün çeşitli dönemlerinde farklılık gösterebilir. Bu nedenle, işletme gelirini artırmak ve sosyal refahı optimize etmek için farklı dönemlerde çeşitli özelliklere göre farklı fiyatlandırmalar uygulamak demiryolu şirketleri için önemli bir politikadır.

Çalışmanın bu bölümünde öncelikle tek tip fiyatlandırma optimizasyonu ile mevcut fiyattan daha iyi bir fiyat belirleme ihtimali gözden geçirilmiştir. Daha sonra tek tip fiyatlandırma modelinden yola çıkarak, yoğun ve yoğun olmayan dönemlerdeki işletim maliyeti özelliklerini, taşıma kapasitesi değişkenliğini ve kapasitenin dağılımını da göz önünde bulundurarak, hem işletme geliri hem de sosyal refahı içeren alternatif bir fiyatlandırma modeli kullanılmıştır. Ramsey fiyatlandırma olarak da adlandırılan, suboptimal fiyatlandırma modeli kullanılarak tek tip fiyatlandırma ile yoğun zaman (tepe) fiyatlandırma karşılaştırılıp kurumsal kâr ve sosyal refah üzerindeki etkisi analiz edilmiştir.

### 5.1.1. Tek Tip Fiyatlandırma Modeli

Taşımacılık sektöründeki bir işletmede satışa sunulan  $n$  tane bilet sınıfı olduğunu varsayalım. Toplam gelir sadece bilet ücretinden gelmektedir. Toplam taşıma maliyetleri, işletme maliyetleri ve sabit maliyetlerden oluşmaktadır. Farklı bilet sınıflarının ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) gelir ve maliyetlerinin karşılaştırılması ile, kar ve zarar dengesi bağımsız olarak elde edilebilir.

İşletmeler ticari olarak karlarını ve/veya toplumsal ve kamusal olarak sosyal refahı maksimize etmek isterler. Bunu yaparken her ikisine de eşit ağırlık verebilirler veya birini diğerine belli bir oranda tercih edebilirler. Sosyal refah ( $W$ ) ve kısmi gelir ( $R$ ) maksimizasyon eşitliği aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\max z = \omega \cdot W - (1 - \omega) \cdot R \quad 0 < \omega < 1 \quad (5.7)$$

Eşitlikte  $\omega$ , sosyal refah ve gelir arasındaki tercih oranını belirtir. Kamu kuruluşları kârı ya da zararı minimumda tutarak, sosyal refahı maksimize etmeyi öncelik edinmişlerdir. Başabaş koşulu altında sosyal refah maksimizasyonu amaç fonksiyonu:

$$\max W = \sum_i S_i(p_i) + \sum_i \pi_i \quad (5.8)$$

s.t.

$$p_i(d_i) \cdot d_i = mc_i(d_i) \quad (5.9)$$

$$0 \leq d_i \leq D_i \quad (5.10)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

Eşitlik 5.8'de belirtildiği gibi sosyal refah, fiyata bağlı toplam tüketici fazlalığı ( $S(p)$ ) ve toplam karın ( $\pi$ ) bütünü olarak ifade edilebilir. Toplam tüketici fazlalığını herbir tüketicinin bireysel fazlalığını hesaplayıp toplayarak elde etmek çoğu durumda mümkün değildir. Çünkü müşteri sayısının fazlalığı sebebiyle herbir müşterinin ödeme



istekliliğinin teker teker tespiti gerçek hayatta imkansız denecek kadar zordur. Bu sebepten ötürü sosyal refahı, ters talep fonksiyonu ( $p(d)$ ) ve maliyet fonksiyonu( $mc(d)$ ) kullanarak yeniden tanımlayabiliriz:

$$W = \sum_i \int_0^{d_i} p_i(x). dx - \sum_i mc_i(d_i) \quad (5.11)$$

Ters talep fonksiyonu, talebe bağlı olarak üründeki fiyat değişimlerini gösterir. Benzer şekilde maliyet fonksiyonu da, işletmenin taşıma maliyetlerinin talebe göre değişimini ifade eder. Eşitlik 5.9, başabaş koşulunu, yani gelirin gidere eşit olma şartını sağlamak içindir. Bu noktadaki kritik talep ise, 0 ile maksimum talep arasında yer almaktadır, ikinci şart bunu ifade etmektedir (Eşitlik 5.10).

Farklı bilet sınıfları için Lagrange çarpan işlemi gerçekleştirildikten sonra, toplamı alındığında Eşitlik 5.11, şu hale dönüşür:

$$\begin{aligned} \max W = & \sum_i \int_0^{d_i} p_i(x). dx \\ & - \sum_i mc_i(d_i) + \sum_i \lambda_i. [p_i(d_i). d_i - mc_i(d_i)] + \sum_i \gamma_i. (d_i - D_i) \end{aligned} \quad (5.12)$$

$d$ 'ye göre kısmi türev için  $\frac{\partial W}{\partial d_i} = 0$  olarak işleme devam edilirse şu eşitlik elde edilir:

$$\frac{\partial W}{\partial d_i} = p_i - \frac{dmc_i(d_i)}{dd_i} + \lambda_i. \left( p_i + \frac{dp_i(d_i)}{dd_i}. d_i - \frac{dmc_i(d_i)}{dd_i} \right) + \gamma_i = 0 \quad (5.13)$$

Marjinal maliyet hesaplamaları sonucunda, gölge fiyatlar tarafından belirlenebilen ve uzun vadede değişken maliyetle benzeşen  $\gamma_i$ , işletmenin maliyet özelliklerini yansıtabilir [98]. Bu nedenle  $mc_i$ 'nin değerini  $\gamma_i$ 'nin değerine eşit kabul edebiliriz.

Dolayısıyla  $\gamma_i = mc_i = dmc_i(d_i)/dd_i$  olur. Talebin fiyat esnekliğini de  $\varepsilon_i = \frac{dd_i}{dp_i} \times \frac{p_i}{d_i}$

olarak hesaba katarsak, Eşitlik 5.13 aşağıdaki hale dönüşür:

$$\frac{\partial W}{\partial d_i} = p_i - \gamma_i + \lambda_i \cdot \left( p_i + \frac{1}{\varepsilon_i} \cdot p_i - \gamma_i \right) + \gamma_i = 0 \quad (5.14)$$

$$\Rightarrow p_i + \lambda_i \cdot p_i + \lambda_i \cdot \frac{p_i}{\varepsilon_i} - \lambda_i \cdot \gamma_i = 0$$

$$\Rightarrow p_i = \gamma_i \cdot \frac{\varepsilon_i \cdot \lambda_i}{\varepsilon_i \cdot \lambda_i + \varepsilon_i + \lambda_i} \quad (5.15)$$

Eşitlik 5.15’de  $\lambda_i$  ve  $\gamma_i$ , Lagrange çarpanlarıdır.  $\lambda_i$ , birim başına kardaki değişiklikleri temsil ederken;  $\gamma_i$ , talepteki birim başına değişikliğin toplam sosyal refah üzerindeki etkisini temsil etmektedir. Suboptimal fiyatlandırmada kurumsal kar ile sosyal refah arasında bir denge gözetildiğinden dolayı,  $p_i \geq \gamma_i$  olmalıdır. Bu durumda suboptimal fiyatlandırma için kullanacağımız eşitliği elde ederiz:

$$p_i \geq \gamma_i \cdot \frac{\varepsilon_i \cdot \lambda_i}{\varepsilon_i \cdot \lambda_i + \varepsilon_i + \lambda_i} \Rightarrow \gamma_i \cdot \frac{\varepsilon_i \cdot \lambda_i}{\varepsilon_i \cdot \lambda_i + \varepsilon_i + \lambda_i} \geq \gamma_i$$

$$\Rightarrow \lambda_i \leq -\varepsilon_i \quad (5.16)$$

Uygun bir fiyatı ve bu fiyatlandırmanın uygulanabilirliğini temin etmek için, bilet sınıfına ait fiyatların büyükten küçüğe sıralı olması ( $p_{i-1} \geq p_i$ ) ve toplam sosyal refahın pozitif olması ( $W > 0$ ) gerekmektedir.

Bir ürüne ait talebi etkileyen pek çok faktör vardır. Ürün özellikleri haricinde pazarlama ve satış stratejilerine ait parametreler de talep fonksiyonunda yer alabilir. Fakat çalışmanın bu bölümünde amacımıza uygun olarak, diğer faktörler göz ardı edilerek talebin sadece fiyata bağlı olarak değiştiğini kabul ediyoruz. Uygun bir talep fonksiyonu olarak, ekonometrik çalışmaların önemli bir kısmında kullanılan log-lineer talep fonksiyonu tercih edilmiştir.

Log-lineer fonksiyonunun, logaritması alındığında doğrusal bir forma dönüşebilmesi ve böylece doğrusal regresyon yardımıyla parametrelerinin tahminin kolaylıkla yapılması önemli bir avantajdır. Bunun dışında bu fonksiyonda talep daima pozitifdir

ve fiyatın sınırsız bir şekilde değişebilmesi model için bir avantajdır. Talep fonksiyonu aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$d_i(p_i) = d_{0,i} \cdot e^{-(\varepsilon_i \cdot (\frac{p_i}{p_{0,i}} - 1))} \quad (5.17)$$

Bu talep fonksiyonundan hareketle, ters talep fonksiyonu veya fiyat fonksiyonu Eşitlik 5.18'deki şekilde yazılabilir.

$$p_i(d_i) = p_{0,i} + \frac{p_{0,i}}{\varepsilon_i} \cdot \ln\left(\frac{d_{0,i}}{d_i}\right) \quad (5.18)$$

Eşitlik 5.18'de  $p_0$  halihazırda uygulanan fiyatı,  $d_0$  ise halihazırda uygulanan fiyattan ürünlere olan talebi temsil etmektedir.

### 5.1.2. Yoğun Zaman (Tepe) Fiyatlandırma Modeli

Bu bölümde yoğun ve yoğun olmayan zamanlar için farklı fiyatlandırma stratejisi içeren bir model kurulmuştur. Kullanılan eşitliklerde yoğun zaman için “pe” ve yoğun olmayan zaman için “off” alt simgeleri kullanılmıştır. Tüm işletim zamanını yani yolcu taşıma zamanını göz önünde bulundurarak,  $T_{pe}$ 'nin işletim zamanının yoğun geçen kısmını,  $T_{off}$ 'un ise yoğun olmayan kısmını ifade ettiğini kabul edelim. Bu durumda yoğun zamanın yoğun olmayan zamana oranı  $\varphi = \frac{T_{pe}}{T_{off}}$  olarak ifade edilir.

Toplam refah, yoğun ve yoğun olmayan zamanların toplamı olacağı için,

$$W = \varphi \cdot W_{pe} + (1 - \varphi) \cdot W_{off} \quad (5.19)$$

$$S = \varphi \cdot S_{pe} + (1 - \varphi) \cdot S_{off} \quad (5.20)$$

$$\pi = \varphi \cdot \pi_{pe} + (1 - \varphi) \cdot \pi_{off} \quad (5.21)$$

eşitliklerini yazabiliriz.

Bu model için bazı varsayımlarımız mevcuttur:

- a) Farklı zaman aralıkları için talepler birbirinden bağımsızdır.
- b) Nispeten stabil bir fiyat ve uygulanabilir bir model için, göz önünde bulundurulmuş toplam operasyon zamanı, sadece yoğun ve yoğun olmayan zamanlara bölünmüştür.
- c) İşletmenin yoğun zamanlar için ekstra kapasitesi olduğu kabul edilmektedir.

Tek zamanlı fiyatlandırma modelinden yola çıkarak, yoğun zaman suboptimal fiyatlandırma modeli başabaş koşulu altında aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\begin{aligned}
 \max W &= \varphi \cdot \left( \sum_i S_{pe,i}(p_{pe,i}) + \sum_i \pi_{pe,i} \right) \\
 &\quad + (1 - \varphi) \cdot \left( \sum_i S_{off,i}(p_{off,i}) + \sum_i \pi_{off,i} \right) \\
 \Rightarrow \max W &= \varphi \cdot \left( \sum_i \int_0^{d_{pe,1}} p_{pe,i}(x) \cdot dx - \sum_i mc_{pe,i}(d_{pe,i}) \right) \\
 &\quad + (1 - \varphi) \cdot \left( \sum_i \int_0^{d_{off,i}} p_{off,i}(x) \cdot dx - \sum_i mc_{off,i}(d_{off,i}) \right)
 \end{aligned} \tag{5.22}$$

s.t.

$$\begin{aligned}
 \varphi \cdot (p_{pe,i}(d_{pe,i}) \cdot d_{pe,i} - mc_{pe,i}(d_{pe,i})) \\
 + (1 - \varphi) \cdot (p_{off,i}(d_{off,i}) \cdot d_{off,i} - mc_{off,i}(d_{off,i})) = 0
 \end{aligned} \tag{5.23}$$

$$0 \leq d_{pe,i} \leq D_{pe,i} \tag{5.24}$$

$$0 \leq d_{off,i} \leq D_{off,i} \tag{5.25}$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

Farklı koltuk sınıflarının kısıtları ile Lagrange çarpan işlemi uygulanıp toplamı alındıktan sonra, Eşitlik 5.22 aşağıdaki hale dönüşür:

$$\begin{aligned}
\max W = & \varphi \cdot \left\{ \sum_i \int_0^{x_{pe}} p_{pe,i}(d_{pe,i}) \cdot dd_{pe,i} - \sum_i mc_{pe,i}(d_{pe,i}) \right\} \\
& + (1 - \varphi) \cdot \left\{ \sum_i \int_0^{x_{off}} p_{off,i}(d_{off,i}) \cdot dd_{off,i} - \sum_i mc_{off,i}(d_{off,i}) \right\} \\
& + \varphi \cdot \left\{ \sum_i \lambda_{pe,i} \cdot [p_{pe,i}(d_{pe,i}) \cdot d_{pe,i} - mc_{pe,i}(d_{pe,i})] \right\} \\
& + (1 - \varphi) \cdot \left\{ \sum_i \lambda_{off,i} \cdot [p_{off,i}(d_{off,i}) \cdot d_{off,i} - mc_{off,i}(d_{off,i})] \right\} \\
& + \sum_i \gamma_{pe,i} \cdot (d_{pe,i} - D_{pe,i}) + \sum_i \gamma_{off,i} \cdot (d_{off,i} - D_{off,i})
\end{aligned} \tag{5.26}$$

Eşitlikte kullanılan Lagrange çarpanları  $\lambda_{pe,i}$ ,  $\lambda_{off,i}$ ,  $\gamma_{pe,i}$  ve  $\gamma_{off,i}$ 'dir.  $\lambda_{pe,i}$  ve  $\lambda_{off,i}$ , sırasıyla yoğun ve yoğun olmayan zamanlar için kardaki birim başına değişikliklerin toplam sosyal refaha etkisini gösterirken;  $\gamma_{pe,i}$  ve  $\gamma_{off,i}$  ise, yoğun ve yoğun olmayan zaman için taleplerdeki birim başına değişikliklerin toplam sosyal refah üzerindeki etkisini temsil etmektedir.

Sırasıyla  $d_{pe}$  ve  $d_{off}$ 'a göre kısmi türev alıp sifıra eşitlersek ( $\frac{\partial W}{\partial d_{pe,i}} = 0$  ve  $\frac{\partial W}{\partial d_{off,i}} = 0$ ) aşağıdaki eşitlikleri elde ederiz:

$$\frac{\partial W}{\partial d_{pe,i}} = -\varphi \cdot \frac{dp_{pe,i}}{dd_{pe,i}} d_{pe,i} + \varphi \cdot \lambda_{pe,i} \cdot \left( p_{pe,i} + \frac{dp_{pe,i}}{dd_{pe,i}} \cdot d_{pe,i} - mc_{pe,i} \right) + \gamma_{pe,i} = 0 \tag{5.27}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial W}{\partial d_{off,i}} = & -(1 - \varphi) \cdot \frac{dp_{off,i}}{dd_{off,i}} d_{off,i} \\
& + (1 - \varphi) \cdot \lambda_{off,i} \cdot \left( p_{off,i} + \frac{dp_{off,i}}{dd_{off,i}} \cdot d_{off,i} - mc_{off,i} \right) + \gamma_{off,i} = 0
\end{aligned} \tag{5.28}$$

Yoğun ve yoğun olmayan zamanlara ait taleplerin fiyat esneklikleri göz önüne alındığında ( $\varepsilon_{pe,i} = \frac{dp_{pe,i}}{p_{pe,i}} \times \frac{p_{pe,i}}{p_{pe,i}}$  ve  $\varepsilon_{off,i} = \frac{dp_{off,i}}{p_{off,i}} \times \frac{p_{off,i}}{p_{off,i}}$ ), Eşitlikler 5.27 ve 5.28 aşağıdaki hale dönüşür:

$$-\varphi \cdot \frac{p_{pe,i}}{\varepsilon_{pe,i}} + \varphi \cdot \lambda_{pe,i} \cdot \left( p_{pe,i} + \frac{p_{pe,i}}{\varepsilon_{pe,i}} - mc_{pe,i} \right) + \gamma_{pe,i} = 0 \quad (5.29)$$

$$-(1 - \varphi) \cdot \frac{p_{off,i}}{\varepsilon_{off,i}} + (1 - \varphi) \cdot \lambda_{off,i} \cdot \left( p_{off,i} + \frac{p_{off,i}}{\varepsilon_{off,i}} - mc_{off,i} \right) + \gamma_{off,i} = 0 \quad (5.30)$$

Yoğun ve yoğun olmayan zamanlara ait birim işletim maliyetlerini  $\gamma_{pe,i}$  ve  $\gamma_{off,i}$ 'nin değerlerine eşit olarak kabul edersek ( $\gamma_{pe,i} = mc_{pe,i}$  ve  $\gamma_{off,i} = mc_{off,i}$ ), bilet fiyatları için aradığımız eşitlikleri bulmuş oluruz:

$$p_{pe,i} = \frac{(\varphi \cdot \lambda_{pe,i} - 1) \cdot \varepsilon_{pe,i} \cdot \gamma_{pe,i}}{\varphi \cdot (\varepsilon_{pe,i} \cdot \lambda_{pe,i} + \lambda_{pe,i} - 1)} \quad (5.31)$$

$$p_{off,i} = \frac{[(1 - \varphi) \cdot \lambda_{off,i} - 1] \cdot \varepsilon_{off,i} \cdot \gamma_{off,i}}{(1 - \varphi) \cdot (\varepsilon_{off,i} \cdot \lambda_{off,i} + \lambda_{off,i} - 1)} \quad (5.32)$$

Tek zamanlı fiyatlandırma modelinde olduğu gibi, işletme karı ile sosyal refah dengesi için  $p_{pe,i} \geq \gamma_{pe,i}$  ve  $p_{off,i} \geq \gamma_{off,i}$  koşullarını göz önüne alırsak, Lagrange çarpanlarının değerleri şu eşitliklerle bulunabilir:

$$\lambda_{pe,i} \leq 1 - \frac{\varepsilon_{pe,i}}{\varphi} \quad (5.33)$$

$$\lambda_{off,i} \leq 1 - \frac{\varepsilon_{off,i}}{(1 - \varphi)} \quad (5.34)$$

Tek zamanlı fiyatlandırmaya benzer şekilde, yoğun ve yoğun olmayan zamanlar için uygun fiyatlar belirlemek ve bu fiyatlandırmanın uygulanabilirliğini temin etmek için, herbir periyottaki bilet sınıflarına ait fiyatların büyükten küçüğe sıralı olması ( $p_{pe,i-1} \geq p_{pe,i}$  ve  $p_{off,i-1} \geq p_{off,i}$ ) ve toplam sosyal refah pozitif olmalıdır ( $W > 0$ ).

### 5.1.3. Tek Zamanlı Fiyatlandırma Uygulaması

Uygulama için kullanılan veriler 2016 yılına aittir ve uygulamada YHT Ankara-Konya ve Konya-Ankara seferleri birlikte ele alınmıştır. İki sefer karşılıklıdır, bilet sınıfları ve bilet fiyatları birbirinin aynısıdır. Seferlerde business (1) ve ekonomi (2) olmak üzere iki sınıf bulunmaktadır. Business oranı %13,4, ekonomi sınıfı oranı %86,6 ve ekonomi/business oranı YHT için 0,15'tir. Sefer için kullanılan trenlerin koltuk kapasitesi 411'dir. Hattın uzunluğu 310 km'dir ve hatta günlük karşılıklı 7'şer sefer ile hizmet verilmektedir. Eldeki veriler analiz edilerek seferlere göre kapasite yoğunluğu incelenmiştir. Çizelge 5.1 seferlerin yoğunluğunu göstermektedir. Buna göre yoğun olan seferlerin oranı  $\varphi=3/7 \approx \%43$ 'tür.

Çizelge 5.1. Ankara-Konya YHT hattı seferlere göre 2016 yılı yolcu sayıları.

Ank-Kon		2016 Toplam Talep (kişi)
Sefer	Sınıf	
91201	Bus	12.410
	Eko	67.921
91203	Bus	15.471
	Eko	84.671
91205	Bus	16.610
	Eko	90.911
91207	Bus	18.046
	Eko	98.763
91209	Bus	20.419
	Eko	111.740
91211	Bus	18.094
	Eko	99.027
91213	Bus	13.547
	Eko	74.147

Kon-Ank		2016 Toplam Talep (kişi)
Sefer	Sınıf	
91202	Bus	17.057
	Eko	93.352
91204	Bus	18.820
	Eko	102.995
91206	Bus	15.777
	Eko	86.355
91208	Bus	17.266
	Eko	94.469
91210	Bus	19.117
	Eko	104.627
91212	Bus	18.158
	Eko	99.375
91214	Bus	12.779
	Eko	69.937

Geçmiş işletme verileri analiz edilerek, ekonomi ve business sınıflarına ait talep esneklikleri, Log-lineer talep fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır. Geçmiş yıllara ait talepler ve fiyatlar SPSS programıyla analiz edildiğinde, daha önce açıklandığı gibi iki uygun talep fonksiyonundan Log-lineer tercih edilmiştir. Tek zamanlı

fiyatlandırma için her iki sınıfa ait talepler ve talep esneklikleri aşağıdaki çizelgede özetlenmiştir (Bkz. Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2. Sınıflara ait kapasite, talep ve esneklik katsayıları.

	<b>Sınıf 1 (Business)</b>	<b>Sınıf 2 (Ekonomi)</b>
<b>Kapasite (<math>D</math>, kişi)</b>	$D_1 = 157.510$	$D_2 = 892.590$
<b>Talep (<math>d</math>, kişi)</b>	$d_1 = 119.604$	$d_2 = 654.561$
<b>Esneklik (<math>\varepsilon</math>)</b>	$\varepsilon_1 = -0,7$	$\varepsilon_2 = -1,2$

2016 yılı için TCDD Taşımacılık AŞ ve TCDD işletme verileri, raporlar ve istatistiklerden elde edilen veriler incelendiğinde, her iki sınıf için de birim maliyet 20TL/kişi olarak hesaplanmıştır [88–96]. Yine veri kaynakları incelendiğinde business sınıf için ekonomi sınıfından farklı ekstra bir harcama ve maliyet yapılmadığı görülmüştür. Bu sebeple her iki sınıf için de birim maliyet ortak kabul edilmiştir. İşletmenin tren seferlerinin olmadığı durumlarda, operasyon maliyetlerinin çoğu değişken maliyete yüklenmiştir. Veri kaynaklarında kesin bir bilgi olmamakla beraber, yapılan çeşitli analiz ve kabullerle; elektrik, temizlik, sürekli çalışan ücretleri gibi sabit maliyetlerin toplamı 3.101.650 TL olarak işleme alınmıştır.

Ramsey fiyatlandırma modeli uygulama adımları aşağıdaki çizelgede (Bkz. Çizelge 5.3) belirtildiği gibi ilerlemektedir. Matlab’da yazılan algoritmada öncelikle başlangıç değerleri hesaplanmaktadır. Sonrasında ise  $\lambda$  değerleri küçük adımlarla değiştirilerek, değişkenlerin yeni değerleri hesaplanarak en sonunda toplam sosyal refah hesaplanmaktadır.

Çizelge 5.3. Tek zaman için Ramsey fiyatlandırma modeli adımları.

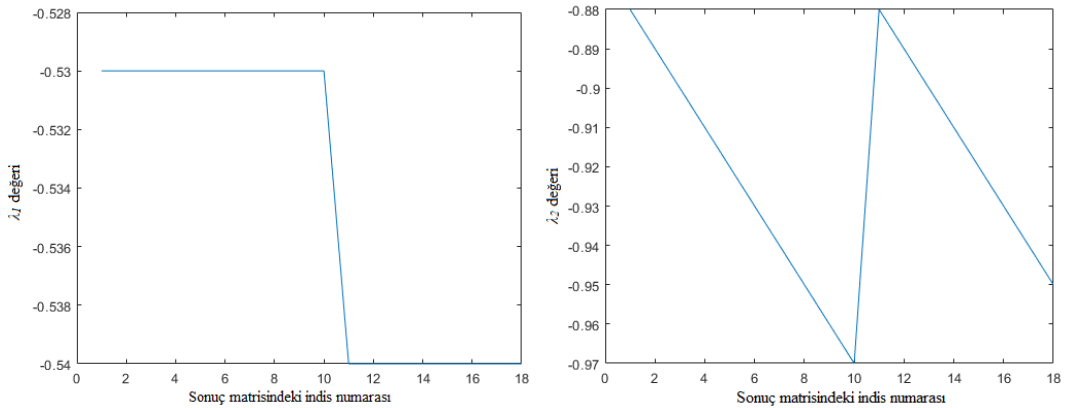
	<b>İşlem</b>	<b>Parametre</b>
1	Girdi verilerini oku	$D_1, D_2, d_{1,0}, d_{2,0}, p_{1,0}, p_{2,0}, \varepsilon_1, \varepsilon_2, mc_1, mc_2, F$
2	Başlangıç değerlerini hesapla	$\lambda_{1,0}, \lambda_{2,0}, MC_{1,0}, MC_{2,0}, \Pi_{1,0}, \Pi_{2,0}, W_{1,0}, W_{2,0}$
3	$\lambda$ değerlerini değiştir	$\lambda_1, \lambda_2$
4	Yeni fiyatları hesapla	$p_1, p_2$
5	Yeni talepleri hesapla	$d_1, d_2$
6	Yeni toplam maliyeti hesapla	$MC_1, MC_2$



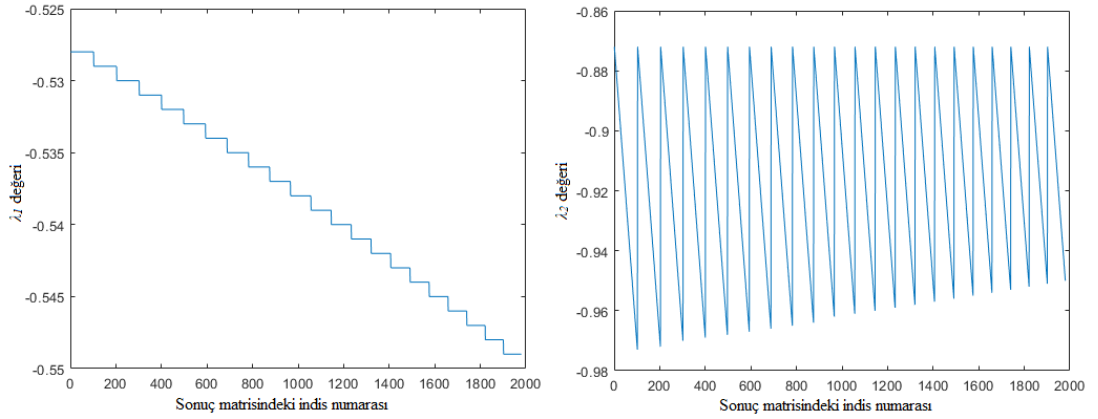
7	Yeni toplam karı hesapla	$\Pi_1, \Pi_2$
8	Yeni sosyal refahı hesapla	$W_1, W_2, W$

Algoritma  $\lambda$  değerlerini değiştirme adımlarına göre farklı sayıda sonuç hesaplamaktadır. Örneğin  $\lambda_1$  için 0,1 adımlık 10 değer,  $\lambda_2$  için de 0,01 adımlık 10 değer için toplamda 100 farklı sosyal refah değeri bulunmuş olacaktır. Genel olarak ifade edecek olursak,  $n$  adet  $\lambda$ 'dan  $\lambda_i$ 'nin alacağı toplam değer sayısını  $a_i$  olarak kabul ettiğimizde, tüm işlemlerin sonunda  $\prod_i^n a_i$  farklı sonuç elde ederiz. Optimum değer toplam sosyal refahın ve fiyatların sıfırdan büyük olduğu ve ayrıca taleplerin işletme kapasitesinden küçük olduğu aralıkta yer almaktadır.

$\lambda$  değerleri için optimum aralıkların hesaplanmasında, öncelikle 0,1 birimlik adımlar kullanılmıştır. Ramsey fiyatlandırma modelinde  $\lambda$ 'nın uygun aralıkları genel olarak sıfıra yakın değerlerde yer almaktadır. Buna rağmen -1000'e kadar aramalar yapılmıştır. Bu aramalar çok yoğun zaman, işlemci ve bellek gücü istediği için 100'er birimlik aralıklarda taramalar yapılmış, optimum değerlerin -100'e kadar olan aralıkta yer aldığı tespit edilmiştir. Şekil 5.1,  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$ 'nin 0,1 adımlık -100 değerine kadar olan taramasında elde edilen değerlerini göstermektedir. Daha sonra 1/100 ve 1/1000 birimlik taramalarla optimum aralık kesinleştirilmeye çalışılmıştır. Şekil 5.2 ise  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$ 'nin optimum aralıklarını göstermektedir. Algoritma ile yapılan tarama sonucunda optimum 1980 adet sonuç elde edilmiştir. Elde edilen optimum aralıktaki fiyatlar, fiyatlara bağlı talepler, kar ve sosyal refah değerleri aşağıdaki grafiklerde görülebilir (Bkz. Şekil 5.1'den Şekil 5.8'e kadar).

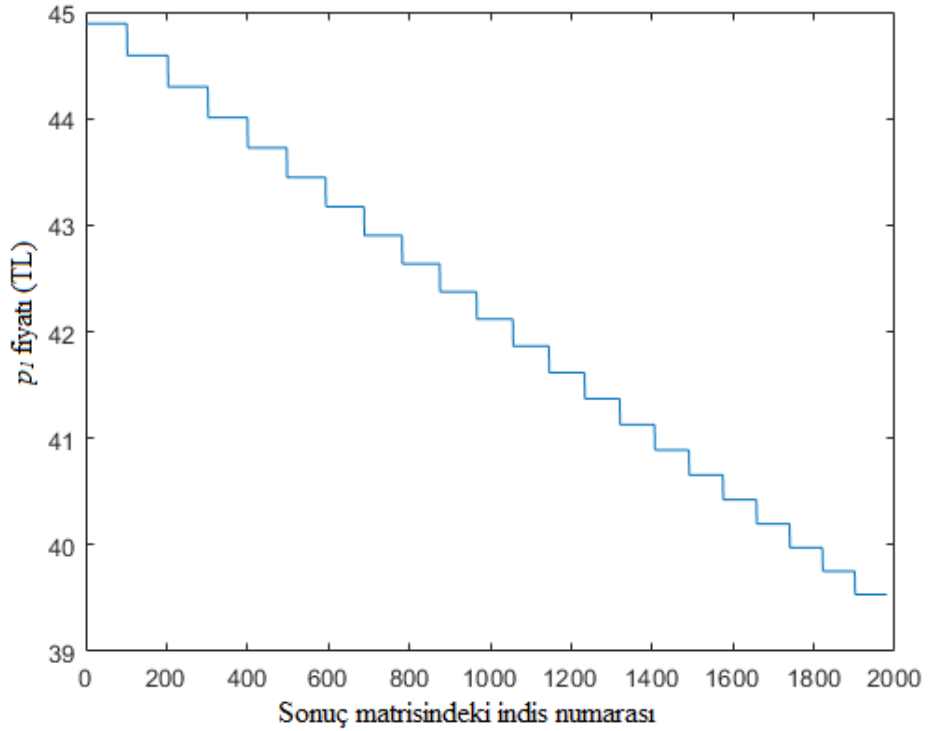


Şekil 5.1. -100 değerine kadar 0,1br adımlarla bulunan  $\lambda$  değerleri (sol:  $\lambda_1$  ve sağ:  $\lambda_2$ ).

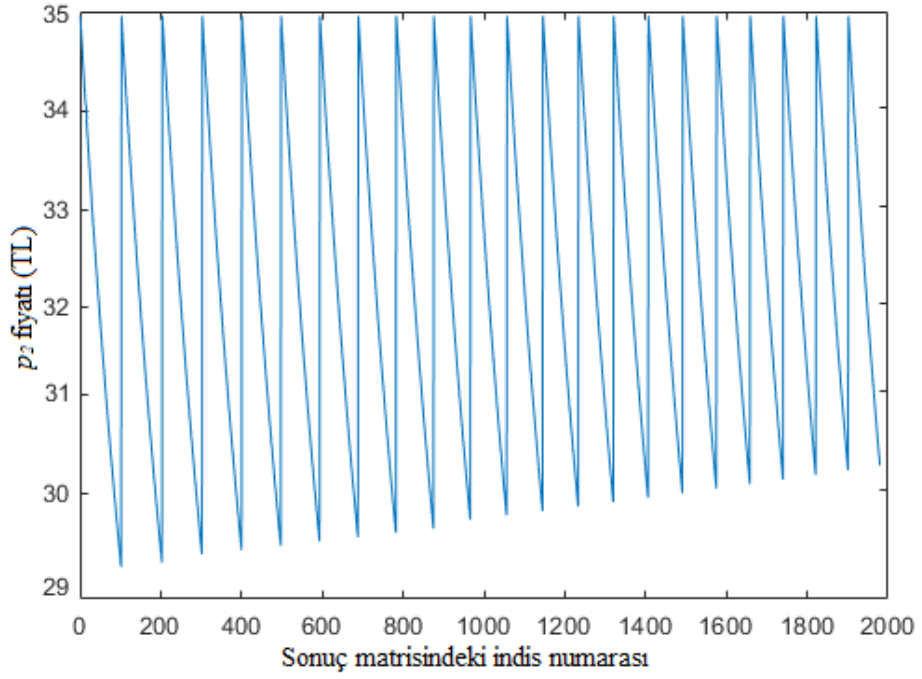


Şekil 5.2. Tüm tarama sonucunda bulunan optimum  $\lambda$  değerleri (sol:  $\lambda_1$  ve sağ:  $\lambda_2$ ).

Şekil 5.2’de  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$ ’nin optimum aralıklardaki değer değişimleri arasındaki fark dikkat çekmektedir.  $\lambda_1$  aralıkta adım adım düşmekteyken (soldaki şekil),  $\lambda_2$ ’nin değeri ise her adımda yukarı ve aşağı yönlü hareketlidir (sağdaki şekil). Bu hareketlilik  $\lambda_2$ ’ye bağlı olarak hesaplanan tüm değerleri de etkilemektedir. Bu hareketliliğin sebebi iteratif tarama yapılırken, değerlerden biri sabit tutulurken diğerinin değişmesidir.

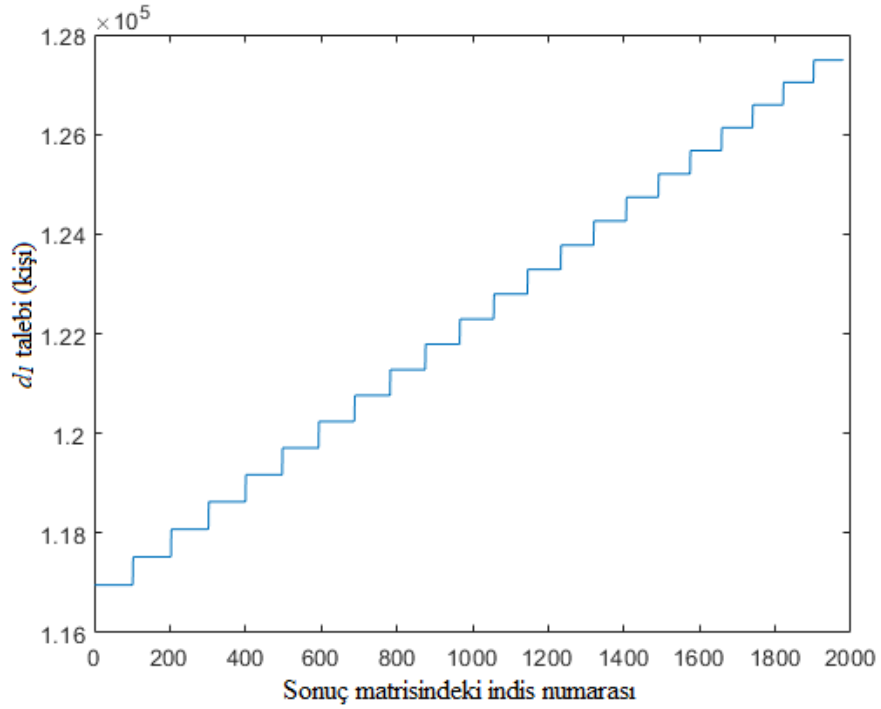


Şekil 5.3. Business fiyatı ( $p_1$ ) için bulunan optimum değerler.

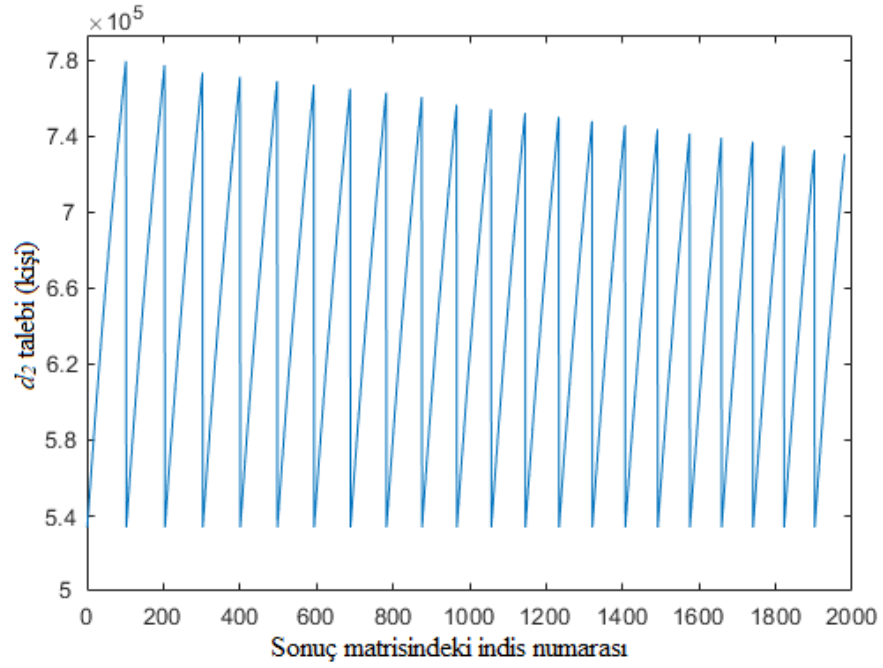


Şekil 5.4. Ekonomi fiyatı ( $p_2$ ) için bulunan optimum değerler.

Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’de optimum  $\lambda$  aralıklarındaki fiyat değişimleri görülmektedir.  $p_1$  değerinde sürekli bir düşüş gözlemlenirken,  $p_2$ ’de ise  $\lambda_2$ ’nin değerlerine göre ani düşüş ve yükselişler göze çarpmaktadır.

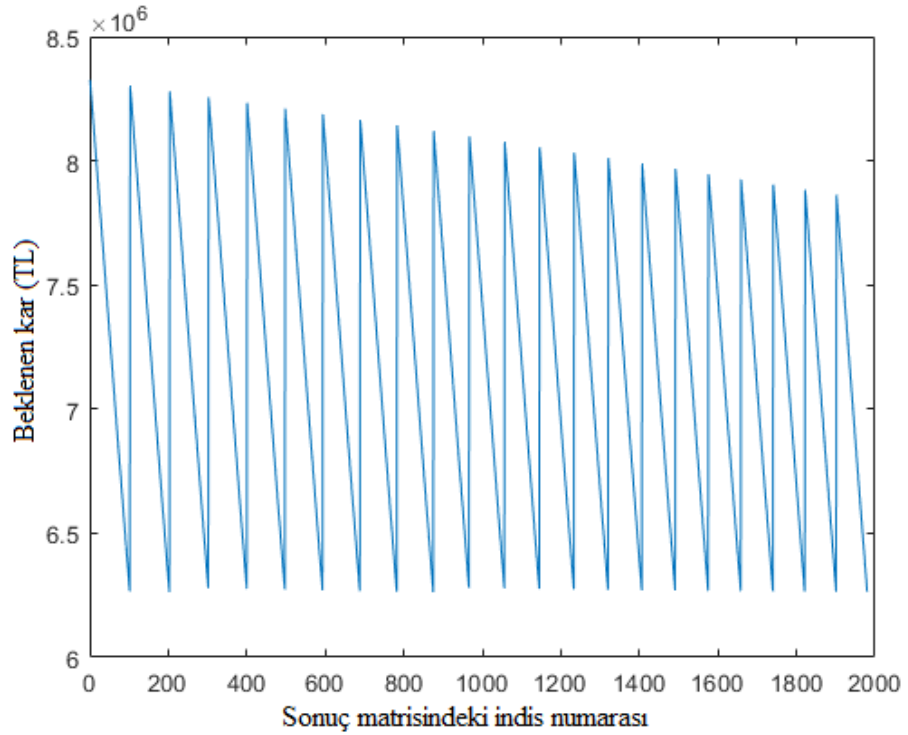


Şekil 5.5. Business talebi ( $d_1$ ) için bulunan optimum değerler.

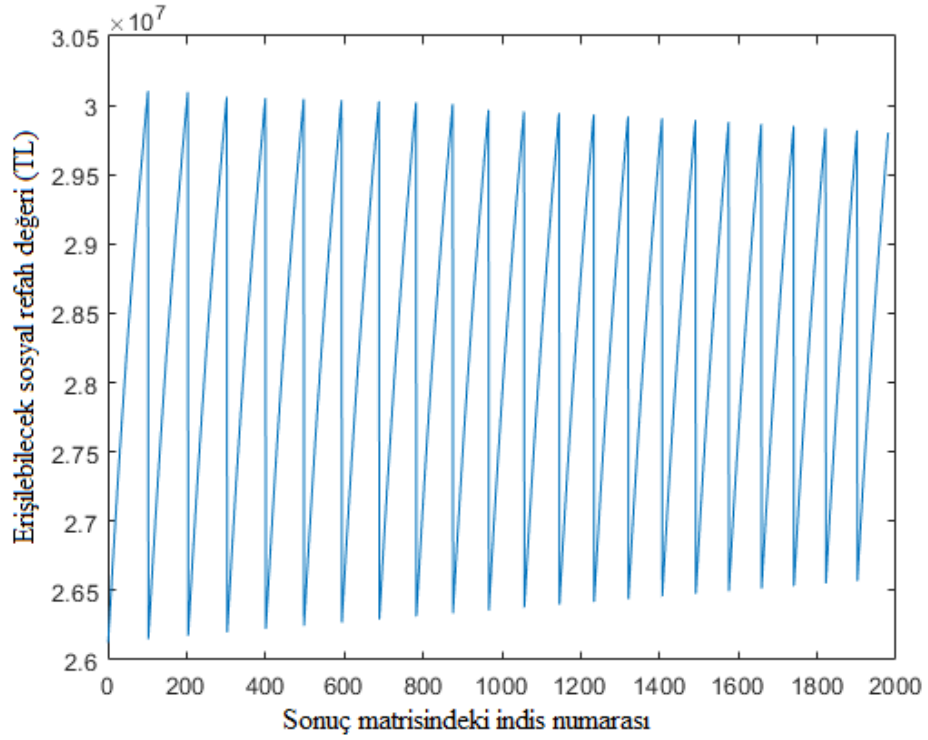


Şekil 5.6. Ekonomi talebi ( $d_2$ ) için bulunan optimum değerler.

Fiyattaki değişime benzer durum beklenen taleplerde de izlenebilir (Bkz. Şekil 5.5 ve Şekil 5.6). Fiyatla ters orantılı olduğundan dolayı,  $d_1$  sürekli artarken;  $d_2$  ise  $p_2$  yüksekse düşük,  $p_2$  düşük ise yüksek değerler almaktadır.



Şekil 5.7. Beklenen kar ( $II$ ) için bulunan optimum değerler.



Şekil 5.8. Beklenen toplam sosyal refah ( $W$ ) için optimum değerler.

Beklenen gelir ve sosyal refah, bulunan tüm değişkenlerin ve parametrelerin değerlerine bağlı olarak hesaplandığından dolayı, bu girdilerin değerlerine bağlı bir seyir izlemektedir. Özellikle  $\lambda_2$ 'nin ve buna bağlı hesaplanan diğer değişkenlerin değerlerinin “zigzag” şeklinde aşağı ve yukarı yönlü hareketi sebebiyle, gelir ve sosyal refah değerlerinin de benzer bir izi takip ettiği görülmektedir (Bkz. Şekil 5.7 ve Şekil 5.8).

Çizelge 5.4'deki değerler herbir bileşenin ayrı ayrı minimum ve maksimum değerlerini ifade etmektedir. Minimum ve maksimum sütunlarındaki değerler, o değerlere ait bir kombinasyonu değil, bir değer aralığını göstermektedir. Örneğin, optimum sonuç için  $\lambda_1$  değişkeninin değeri -0,528 ile -0,549 arasında alınmalıdır.  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$ 'nin çeşitli kombinasyonlarına göre, kar 6.262.222 TL ile 8.325.587 TL arasında değişmektedir.

Lagrange çarpanları farklı koltuk sınıfları için farklı değerler alırlar. Lagrange çarpanlarının başlangıç değerleri Eşitlik 5.16 kullanarak hesaplanabilir ( $\lambda_1 \leq 0,7$ ;  $\lambda_2 \leq 1,2$ ). Ancak taşıma kapasitesi kısıtları ( $d_1 \in [0;157510]$  ve  $d_2 \in [0; 892590]$ ), business-ekonomi fiyat uygunluk şartı ( $p_1 > p_2$ ) ve toplam sosyal refahın müşteriler lehine

olması gereğince ( $W > 0$ ), çarpanların uygun değer aralıkları sırasıyla  $\lambda_1 \in [-0,549; -0,528]$  ve  $\lambda_2 \in [-0,973; -0,872]$  olacaktır. Buradan yola çıkılarak fiyatlar, fiyatlara bağlı olarak beklenen talepler ve sonrasında sosyal refah değeri hesaplanmaktadır.

Çizelge 5.4. Elde edilen minimum ve maksimum değerler.

Tek Zamanlı Fiyatlandırma		Başlangıç değeri	Min. değer	Maks. değer
	$\lambda_1$	-0,7	-0,549	-0,528
$\lambda_2$	-1,2	-0,973	-0,872	
Bilet Fiyatı (TL)	$p_1$	43,5	39,53	44,91
	$p_2$	30	29,19	34,95
Talep / Satış (kişi)	$d_1$	119.604	116.957	127.490
	$d_2$	654.561	536.817	770.028
Kar (TL)	$\Pi$	6.259.644	6.262.222	8.325.587
Sosyal Refah (TL)	$W$	30.056.203	26.124.685	30.102.684

Burada aralıklar içinde uygun bir kombinasyon seçimi, karar vericiye aittir. Örneğin aşağıdaki çizelgede (Bkz. Çizelge 5.5), seçilen  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  değerlerine göre örnek bir sonuç gösterilmektedir.

Çizelge 5.5. Örnek olarak seçilen  $\lambda$  değerleri ile elde edilen sonucun mevcut durum ile karşılaştırması.

Tek Fiyatlandırma		Uygulanan	Önerilen
	mc	20	20
$\lambda_1$	-0,7	-0,53	
$\lambda_2$	-1,2	-0,97	
Bilet Fiyatı (TL)	$p_1$	43,5	44,6
	$p_2$	30	29,6
Talep / Satış (kişi)	$d_1$	119.604	118.080
	$d_2$	654.561	691.920
Gelir (TL)	$R$	24.839.604	25.747.200
Kar (TL)	$\Pi$	6.259.644	6.307.200
Tüketici Fazlalığı (TL)	$S$	5.216.599	4.355.483
Sosyal Refah (TL)	$W$	30.056.203	30.037.276

Çizelge 5.5 incelendiğinde, işletmenin tepe fiyatlandırma politikası izlemeksizin daha farklı fiyatlar uygulayarak gelir ve sosyal refah açısından daha iyi sonuçlar elde edebileceği sonucu çıkarılabilir. Ekonomi sınıfı fiyatı 30 TL'den 29,6 TL'ye

düşürülüp, business fiyatı 43,5 TL'den 44,6 TL'ye çıkarıldığında toplam karda 47.556 TL artış beklenmektedir. Toplam sosyal refah ise bir miktar düşse de, 30 Milyon TL üstünde kalmaya devam etmiştir.

#### 5.1.4. Yoğun Zaman (Tepe) Fiyatlandırma Uygulaması

Bölüm 5.1.2'nin başında YHT ile ilgili verilen veriler bu bölümde kullanılmıştır. Önceki bölümden farklı olarak, tepe fiyatlandırma uygulamasında yoğun ve yoğun olmayan zamanlar için her iki sınıfa ait talepler ve talep esneklikleri Çizelge 5.6'da görülebilir.

Çizelge 5.6. Yoğun ve yoğun olmayan zamanlara ait talep bilgileri.

	Sınıf 1 (Business)		Sınıf 2 (Ekonomi)	
	Yoğun zaman	Yoğun olm. zaman	Yoğun zaman	Yoğun olm. zaman
<b>Kapasite (D)</b>	$D_1 = 157510$		$D_2 = 892590$	
<b>Talep (d)</b>	$d_{pe,1} = 58606$	$d_{off,1} = 60998$	$d_{pe,2} = 320735$	$d_{off,2} = 333826$
<b>Esneklik (<math>\epsilon</math>)</b>	$\epsilon_{pe,1} = -0,5$	$\epsilon_{off,1} = -0,7$	$\epsilon_{pe,2} = -1,0$	$\epsilon_{off,2} = -1,2$

Tek zamanlı fiyatlandırmada geçerli birim maliyet burada da geçerlidir ve yine her iki sınıf için 20TL/kişi olarak kabul edilmiştir. Sınıflara ait kapasiteler, yoğun zaman oranı  $\varphi$ 'ye göre hesaplanarak işleme alınmıştır. Bu durumda  $D_{pe,1}=67505$ ,  $D_{pe,2}=382540$ ,  $D_{off,1}=90005$  ve  $D_{off,2}=510050$  olacaktır.

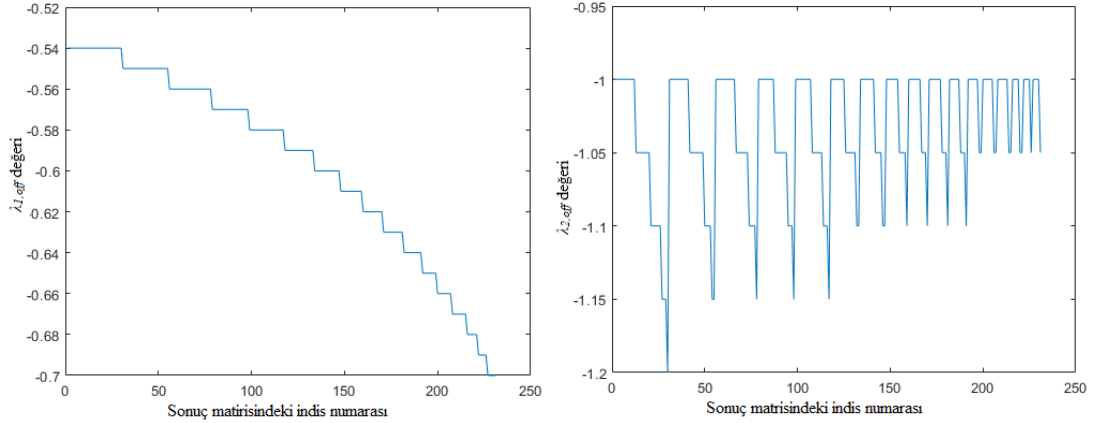
Ramsey modelindeki uygulama adımları tek zamanlı fiyatlandırmaya benzer şekilde Çizelge 5.7'deki gibi ilerlemektedir. Tek zamanlı fiyatlandırmadan farklı olarak yoğun ve yoğun olmayan zamanlar için ilave parametreler dahil edilmiştir.

Çizelge 5.7. Yoğun zaman fiyatlandırma uygulama adımları.

	İşlem	Parametre
1	Girdi verilerini oku	$D_1, D_2, d_{pe,10}, d_{pe,20}, d_{off,10}, d_{off,20}, p_{1,0}, p_{2,0}, \epsilon_{pe,1}, \epsilon_{pe,2}, \epsilon_{off,1}, \epsilon_{off,2}, mc_1, mc_2, F$

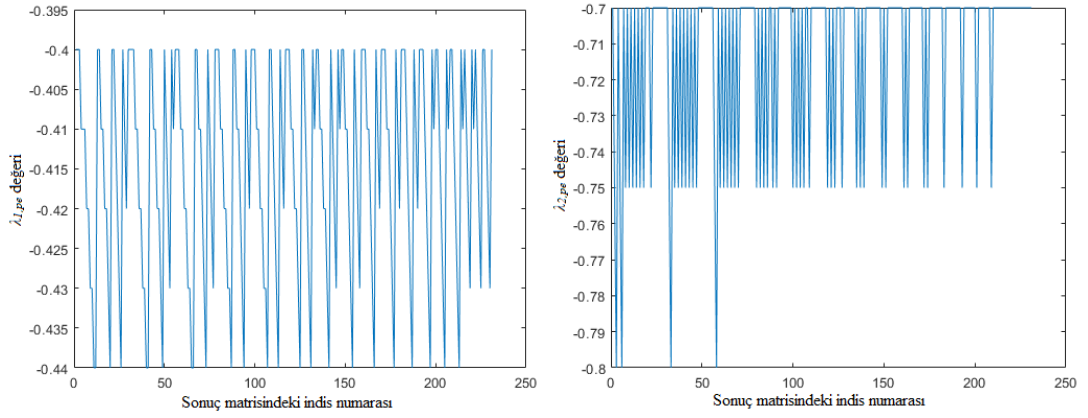
2	Başlangıç değerlerini hesapla	$\lambda_{pe,10}, \lambda_{pe,20}, \lambda_{off,10}, \lambda_{off,20}, MC_{pe,10}, MC_{pe,20},$ $MC_{off,10}, MC_{off,20}, \Pi_{pe,10}, \Pi_{pe,20}, \Pi_{off,10},$ $\Pi_{off,20}, W_{pe,10}, W_{pe,20}, W_{off,10}, W_{off,20}$
3	$\lambda$ değerlerini değiştir	$\lambda_{pe,1}, \lambda_{pe,2}, \lambda_{off,1}, \lambda_{off,2}$
4	Yeni fiyatları hesapla	$p_{pe,1}, p_{pe,2}, p_{off,1}, p_{off,2}$
5	Yeni talepleri hesapla	$d_{pe,1}, d_{pe,2}, d_{off,1}, d_{off,2}$
6	Yeni toplam maliyeti hesapla	$MC_{pe,1}, MC_{pe,2}, MC_{off,1}, MC_{off,2}$
7	Yeni toplam karı hesapla	$\Pi_{pe,1}, \Pi_{pe,2}, \Pi_{off,1}, \Pi_{off,2}$
8	Yeni sosyal refahı hesapla	$W_{pe,1}, W_{pe,2}, W_{off,1}, W_{off,2}, W$

Hesaplama işlemleri tek zamanlı fiyatlandırmadan daha uzun sürmektedir. Dört farklı  $\lambda$  değeri mevcut ve her bir  $\lambda$  en az 10 farklı değer alırsa, minimum 10000 sosyal refah değeri hesaplanabilir. Tek zamanlı fiyatlandırmada bahsedilen kısıtlayıcı faktörler burada da devreye girerek, optimum sonuç aralığını belirlemektedir. İteratif tarama algoritması ile çok fazla sonuç hesaplanmışsa da, şartlara uygun aralık içinde 231 sonuç yer almaktadır. Aşağıdaki grafiklerde tüm parametreler için elde edilen optimum aralıklardaki sonuçlarının grafikleri gösterilmiştir (Bkz. Şekil 5.9'dan Şekil 5.14'e kadar).



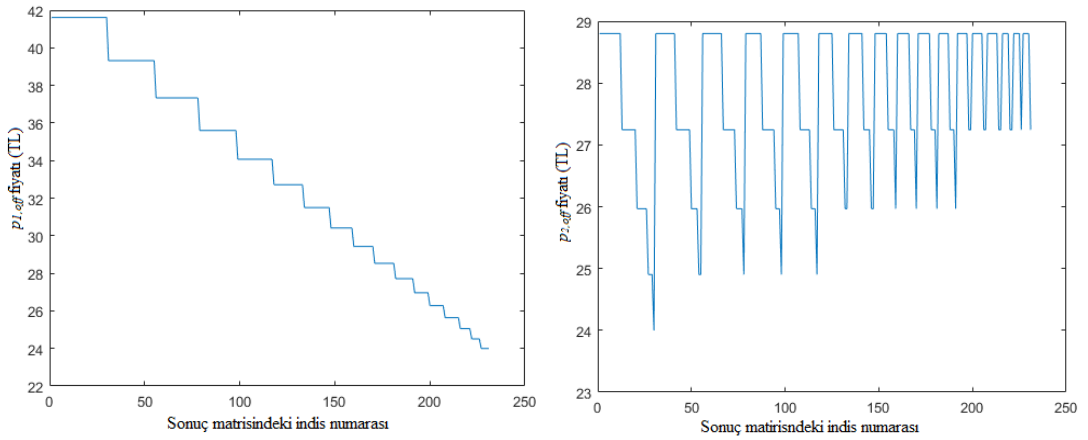
Şekil 5.9. Yoğun olmayan zamana ait optimum  $\lambda_{1,off}$  ve  $\lambda_{2,off}$  değerleri (sol  $\lambda_1$ , sağ  $\lambda_2$ ).



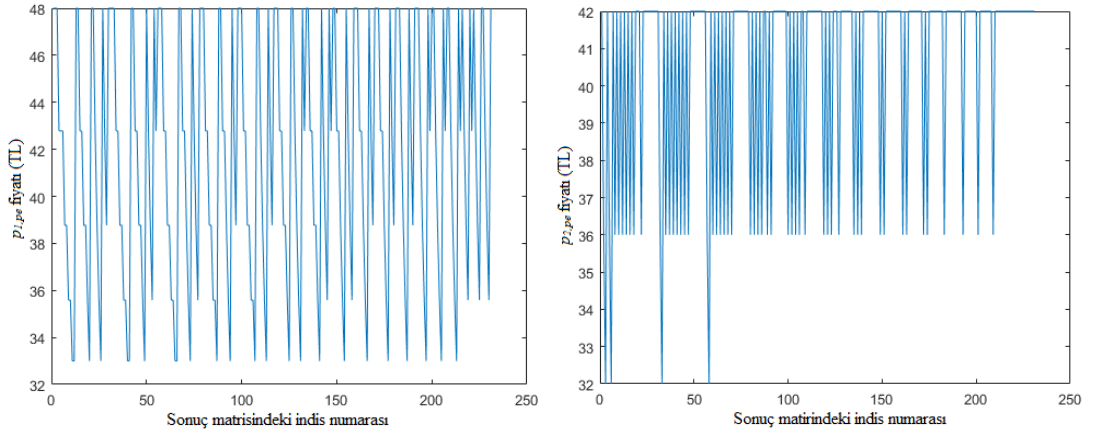


Şekil 5.10. Yoğun (tepe) zamana ait optimum  $\lambda_{1,pe}$  ve  $\lambda_{2,pe}$  değerleri (sol  $\lambda_1$ , sağ  $\lambda_2$ ).

Herbir  $\lambda$  değerinin farklı bir değişim şablonuna sahip olduğu grafiklerden görülmektedir (Bkz. Şekil 5.9 ve Şekil 5.10). Yine  $\lambda$  değerlerine benzer bir değişimi aşağıdaki grafiklerde fiyatta da görmek mümkündür (Bkz. Şekil 5.11 ve Şekil 5.12). İteratif tarama sırasında, sırayla  $\lambda$  değerlerinden her biri sabit tutularak diğerlerine yeni değerler atandığı için, şekil üzerinde inişli çıkışlı bir görüntüye sahiptirler.

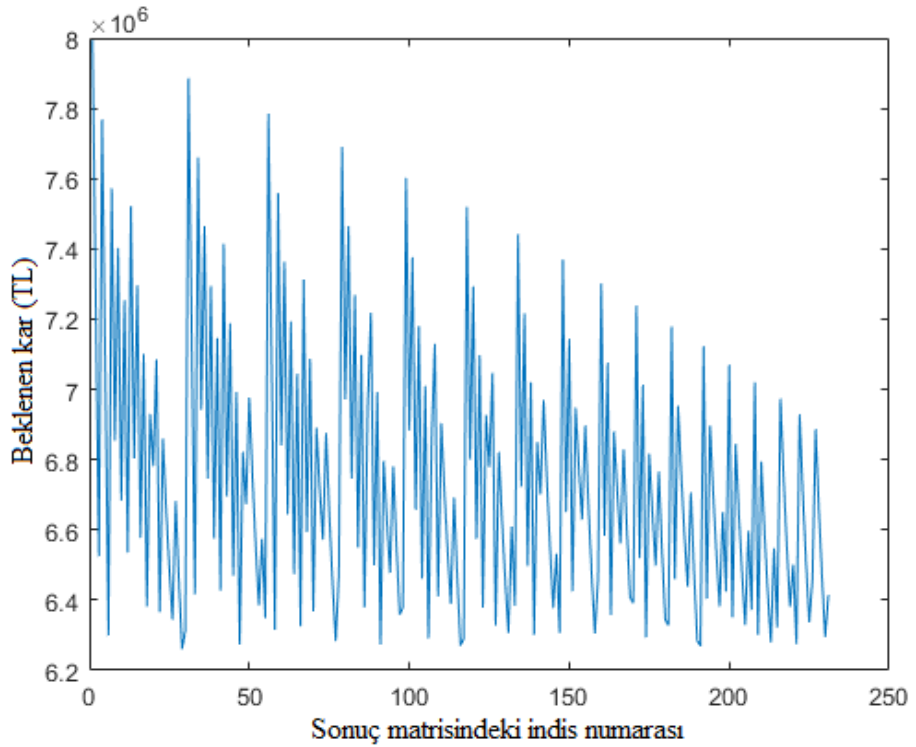


Şekil 5.11. Yoğun olmayan zamana ait optimum business ve ekonomi fiyatları (sol  $p_{1,off}$ , sağ  $p_{2,off}$ ).

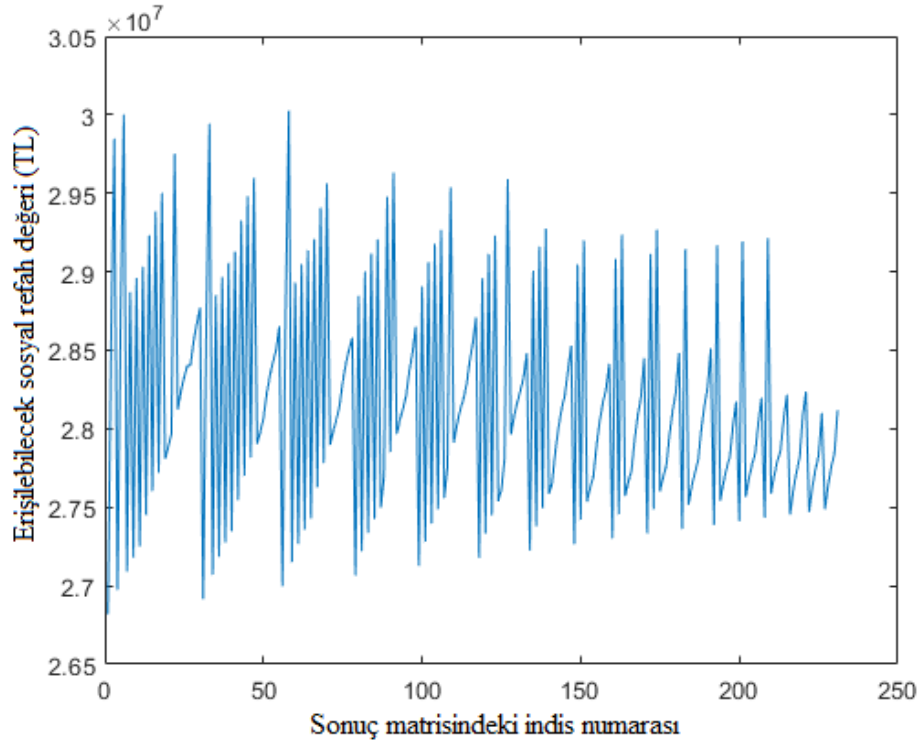


Şekil 5.12. Yoğun (tepe) zamana ait optimum business ve ekonomi fiyatları (sol  $p_{1,pe}$ , sağ  $p_{2,pe}$ ).

Şekil 5.13 ve Şekil 5.14 incelenirse, beklenen kar ve sosyal refahın optimum aralıklar içerisinde zigzagvari bir yapıda değer aldıkları görülebilir. Bu görüntü, daha önce de açıklandığı gibi, onları hesaplamak için kullanılan parametre ve değişkenlerin değerlerine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.13. Yoğun (tepe) zaman fiyatlandırmada optimum aralıklarda elde edilebilecek kar ( $\Pi$ ) değerleri.



Şekil 5.14. Yoğun (tepe) zaman fiyatlandırmada optimum aralıklarda elde edilebilecek toplam sosyal refah ( $W$ ) değerleri.

Lagrange çarpanlarının değerleri sırasıyla  $\lambda_{off,1} \leq 0,7$ ,  $\lambda_{off,2} \leq 1,2$ ,  $\lambda_{pe,1} \leq 0,5$  ve  $\lambda_{pe,2} \leq 1$  olmasına rağmen, kapasite kısıtları, bilet sınıflarının fiyatlandırma şartları ve sosyal refahın pozitif olma zorunluluğu, çarpanların değerlerini Çizelge 5.8'deki minimum ve maksimum değerler arasına sıkıştırmaktadır. Parametrelerin optimum aralıktaki maksimum ve minimum değerleri yine aynı çizelgede verilmiştir.

Çizelge 5.8. Yoğun zaman fiyatlandırma için elde edilen minimum ve maksimum değerler.

		<b>Başlangıç değeri</b>	<b>Min. değer</b>	<b>Maks. değer</b>
<b>Tepe Fiyatlandırma</b>	$\lambda_{off,1}$	-0,7	-0,7	-0,51
	$\lambda_{off,2}$	-1,2	-1,2	-0,9
	$\lambda_{pe,1}$	-0,5	-0,44	-0,39
	$\lambda_{pe,2}$	-1	-0,8	-0,7
<b>Bilet Fiyatı (TL)</b>	$p_{off,1}$	43,5	24	41,62
	$p_{off,2}$	30	24	28,8
	$p_{pe,1}$	43,5	33	48
	$p_{pe,2}$	30	32	42
<b>Talep / Satış (kişi)</b>	$d_{off,1}$	60.998	62.877	83.482
	$d_{off,2}$	333.826	350.240	424.380

	$d_{pe,1}$	58.606	55.652	66.124
	$d_{pe,2}$	320.735	214.995	300.050
Kar (TL)	$\Pi$	6.259.644	6.260.700	7.994.300
Sosyal Refah (TL)	$W$	33.116.656	26.820.000	30.025.000

İşletme karar mercii, fiyatlandırma politikalarına uygun olacak şekilde optimum aralıktan  $\lambda$  değerleri seçerek fiyatlandırma için kullanabilecektir. Örnek olarak seçilen Lagrange çarpanlarıyla elde edilen değerler Çizelge 5.9'da yer almaktadır. Yoğun olmayan zamana ait fiyatların (31,5₺ ve 26₺), yoğun zaman fiyatlarından (48₺ ve 42₺) daha düşük olduğu, bunun sonucunda yoğun zamana göre daha fazla talep olacağı görülebilir. Ayrıca yoğun zaman tepe fiyatlandırma sonucu elde edilen fiyatların, eski politika satış fiyatlarından daha düşük olduğu, özellikle business fiyatı dikkat çekmektedir. Yoğun zamanlarda fiyat artışı sebebiyle taleplerin düşmesi beklenirken, zaruret sebebiyle yoğun zamanda yolculuk yapan müşteriler sebebiyle karın düşmediği, tersine arttığı göze çarpmaktadır.

Çizelge 5.9. Yoğun zaman fiyatlandırmada örnek olarak seçilen  $\lambda$  değerleri ile elde edilen sonucun, mevcut durum ile karşılaştırması.

		Uygulanan	Önerilen
<b>Ramsey Tepe Fiyatlandırma</b>	$mc$	20	20
	$\lambda_{off,1}$	-0,7	-0,6
	$\lambda_{off,2}$	-1,2	-1,1
	$\lambda_{pe,1}$	-0,5	-0,4
	$\lambda_{pe,2}$	-1	-0,7
Bilet Fiyatı (TL)	$p_{off,1}$	43,5	31,5
	$p_{off,2}$	30	26
	$p_{pe,1}$	43,5	48
	$p_{pe,2}$	30	42
Talep / Satış (kişi)	$d_{off,1}$	60.998	73.991
	$d_{off,2}$	333.826	392.263
	$d_{pe,1}$	58.606	55.652
	$d_{pe,2}$	320.735	214.995
Gelir	$R$	24.839.604	24.230.641
Kar	$\Pi$	6.259.644	6.545.017
Tüketici Fazlalığı (TL)	$S$	8.277.052	4.143.433
Sosyal Refah (TL)	$W$	33.116.656	28.374.073

Çizelge 5.9'daki örnek değerler incelendiğinde, yoğun zamanlar için yapılan farklı fiyatlandırma ile beklenen karda 285.373 TL bir artış öngörülmektedir. Sosyal refahta

düşüş görülse de Ramsey modeline göre sıfırdan büyük olması önemli olduğundan, sıfırdan epey yüksek bir seviyede kalmaya devam etmektedir.

Tek zamanlı modelde beklenen karda %1 civarında bir iyileştirme elde edilmişken, sosyal refahtaki düşüş %0,1 ile sınırlı kalmıştır. Tabii ki bu sonuç, bizim tercih ettiğimiz bir örnek üzerinden değerlendirilmiştir. İşletme kendi şirket politikasına göre farklı  $\lambda$  değerleri seçebilir. Bu da toplam karı ve toplam sosyal refahı etkileyecektir. Yoğun zaman fiyatlandırma stratejisinde ise %4,7 oranında beklenen kar yükselirken, toplam sosyal refahta %14,3 düşüş olmuştur. Fakat 28 Milyon TL civarında yani sıfırın çok üstünde olduğundan bu azalış tolere edilebilirdir.

## 5.2. PERİYOTLARLA FİYATLANDIRMA

Geçmiş bilet satış verileri analiz edildiğinde, belirli bir ürün için talep yoğunluğunun bilet satış döneminde zamana göre düzenli olarak değiştiği görülebilir. Yolcuların bilet satın alma davranışlarını etkileyen pek çok faktör vardır [41].

- a) Belirli bir ürün için yolculuğun uzunluğu: Yolculuğun mesafesi ne kadar uzun olursa, yolcular o kadar erken bilet almaya meyillidir. Uzun mesafe yolcuları, bilet kalmadığında alternatif bulmanın zor olabileceği endişesiyle, daha erken biletlerini alarak işlerini garantilemek isterler. Kısa mesafe yolcuları genelde son gün biletlerini almayı tercih etmektedirler.
- b) Alternatif ürün bulunması: Aynı güzergah için birden fazla tren veya farklı ulaşım araçları mevcutsa, müşteriler daha geç zamanda bilet alma eğilimindedirler. Gerek alternatiflerin mevcut olmasının verdiği rahatlık, gerekse alternatifleri karşılaştırarak değerlendirme için zaman ayırma isteği sebebiyle bilet alımını geciktirmektedirler.
- c) Seyahat amacı: Farklı amaçlarla seyahat eden müşterilerin bilet satın alma profilleri de birbirinden farklıdır. İş seyahati yapan müşteriler biletlerini daha geç -genelde son gün- almayı tercih ederken, eğlence veya tatil amaçlı seyahat edenlerin daha erken rezervasyon yaptırmaya meyilli oldukları görülmüştür.

Ayrıca havayolu gelir yönetiminde genellikle yapıldığı gibi, düşük değerlemeli yolcuların daha erken, yüksek değerlemeli yolcuların daha geç geldiği varsayımı, demiryolu için de kabul edilmiştir. Gelir Yönetimi stratejilerinden faydalanılarak, yolcuların geliş şeklinin değişimine göre farklı bilet fiyatları ayarlamak geliri artırmak için önemli bir yol olabilir. Çalışmanın bu bölümünde alternatif bir fiyatlandırma yöntemi olarak, periyotlarla fiyatlandırma stratejisinin Türkiye demiryolu endüstrisinde, spesifik olarak YHT için, uygulanabilirliği ve sonuçları analiz edilmiştir.

### 5.2.1. Periyotlarla Fiyatlandırma Modeli

Çalışmanın bu bölümünde kurulacak model için, Bölüm 4.1’de bahsedilen hat örneğinden yola çıkılmıştır. Burada bahsedilen ürün ve kaynakların anlamı ve kullanımı için, Bölüm 4.1’deki örnek incelenebilir (Bkz. Şekil 4.1). Bu bölümde  $n$  adet ürün içeren,  $DS$  adet duraklı bir demiryolu hattı olduğunu varsayalım. Bu durumda durak sayısından bir eksik,  $h$  sayıda kaynağımız bulunacaktır ( $h=DS-1$ ). Bu bölümde modeli kurarken yapılan varsayımlar şunlardır:

- a) Demiryolu taşımacılığı piyasası monopol bir piyasadır, bu sebeple bir ürünün talebi fiyatına oranla değişmektedir.
- b) Stratejik yolcular göz ardı edilmiştir. Yalnızca ödeme istekliliği sunulan fiyattan daha yüksek olduğu anda bilet satın alan yolcular mevcuttur.
- c) Modeli basitleştirmek için trende sadece tek sınıf koltuk tipi olduğu varsayılmıştır.

Ürünlere ait yolcu geliş sürecinin istatistiksel görünümü incelenerek, bilet satış dönemi birkaç alt döneme ayrılmıştır. Sonrasında her alt dönemde ürünler için farklı fiyatlar belirlenmiştir. Bilet satış dönemi, belirlenen  $PS$  adet alt dönemlere ayrılmıştır. Bu alt dönemlerden  $k$  ürünü için belirlenen  $j$  alt periyodunun uzunluğu  $\ell_{kj}$ ’dir. Ürün fiyatını döneme bağlı olarak  $p_{kj}$  ile,  $k$  ürününün  $j$  dönemindeki talep yoğunluğunu ise  $\varphi_{kj}$  ile ifade edebiliriz. Ürün fiyatı, ters talep fonksiyonu  $p(\varphi)$  ile gösterilebilir. Kapasite kısıtının uygun bir şekilde tanımlanabilmesi için modelde karar değişkeni olarak fiyat yerine talep yoğunluğu belirlenmiştir.

Çalışmada kaynakların sahip olduğu kapasiteler birbirine eşit kabul edilmiş ve  $C$  ile gösterilirken, herbir ürüne ayrılan kapasite ise  $c_k$  ile gösterilir. Kaynaklarla ürünler arasındaki ilişkiyi belirtmek için bir matris ( $a_{kj}$ ) tanımlanmıştır.  $a_{kj}$  matrisi sadece 0 yada 1 değerlerini almaktadır; eğer  $i$  ürünü  $j$  kaynağını işgal ediyorsa,  $a_{kj}=1$ , aksi halde  $a_{kj}=0$ 'dır.

Satışlardan elde edilen toplam gelir şu şekilde yazılabilir:

$$R(\varphi) = \sum_{k=1}^{n_{prod}} \sum_{j=1}^{PS} \ell_{kj} \cdot \varphi_{kj} \cdot p_k(\varphi_{kj}) \quad (5.35)$$

Optimum fiyat stratejisi, toplam geliri  $R(\varphi)$  maksimize edecek olan fiyat ( $p(\varphi)$ ) stratejisidir. Optimizasyon problemi kapasite kısıtları ile beraber aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\max z = R(\varphi) \quad (5.36)$$

s.t.

$$\sum_{k=1}^{n_{prod}} \sum_{j=1}^{PS} \ell_{kj} \cdot \varphi_{kj} \cdot a_{kj} \leq C \quad (5.37)$$

$$\sum_{j=1}^{PS} \ell_{kj} \cdot \varphi_{kj} \leq c_k \quad \forall k \in [1, n_{prod}] \quad (5.38)$$

Eşitlik 5.37'de belirtilen kısıt, kaynaklarda kullanılan kapasitenin toplam kapasitenin üzerine çıkmamasını temin ederken, Eşitlik 5.38'deki kısıt ise ürünler için belirlenen kapasitelerin aşılmamasını sağlamak içindir. Lineer olmayan bu optimizasyon problemi Lagrange çarpanı ve KKT koşulları kullanılarak çözülebilir.

KKT koşulları gereği, amaç fonksiyonunun tersi kullanılarak üretilen yeni amaç fonksiyonu ile başlangıç problemi aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir:

$$\max z^* = -R(\varphi) = - \sum_{k=1}^{n_{prod}} \sum_{j=1}^{PS} \ell_{kj} \cdot \varphi_{kj} \cdot p_k(\varphi_{kj}) \quad (5.39)$$

s.t.

$$g(\varphi) = C - \sum_{k=1}^{n_{prod}} \sum_{j=1}^{PS} \ell_{kj} \cdot \varphi_{kj} \cdot a_{kj} \geq 0 \quad (5.40)$$

$$h_k(\varphi) = c_k - \sum_{j=1}^{PS} \ell_{kj} \cdot \varphi_{kj} \geq 0 \quad \forall k \in [1, n_{prod}] \quad (5.41)$$

Lagrange çarpan işlemi uygulandığında KKT şartları için aşağıdaki denklemler elde edilir:

$$\nabla z^* - \sum_j \lambda_j \cdot \nabla g - \sum_k \beta_k \cdot \nabla h_k = 0 \quad (5.42)$$

$$\lambda_j \cdot g = 0 \quad \forall j \quad (5.43)$$

$$\beta_k \cdot h_k = 0 \quad \forall k \quad (5.44)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad \forall j, \quad \beta_k \geq 0 \quad \forall k, \quad j \in [1, PS], k \in [1, n_{prod}]$$

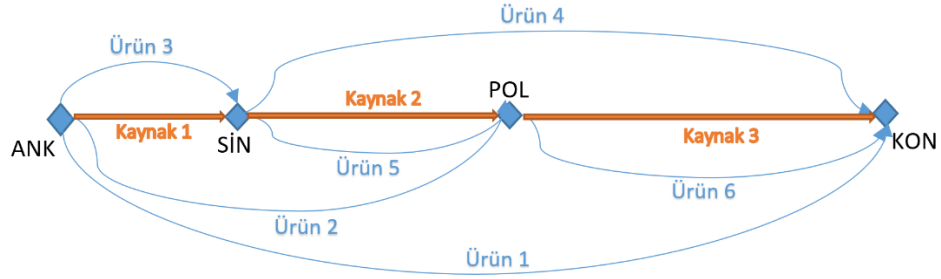
Yukarıdaki eşitliklerde yer alan  $\lambda$  ve  $\beta$  Lagrange çarpanlarıdır. Bu denklem seti çözümlenerek, problemin optimal çözümü olduğunu varsaydığımız  $\varphi^*$  değerleri bulunabilir. Bulunan  $\varphi$  değerleri aracılığıyla aradığımız periyot fiyatları ters talep fonksiyonu  $p(\varphi)$  kullanılarak hesaplanabilir.

### 5.2.2. Periyotlarla Fiyatlandırma Uygulaması

Çalışmanın bu bölümünde uygulama için Ankara-Konya YHT hattı kullanılmıştır. Hat üzerinde 4 durak bulunmaktadır. Kaynak sayısı  $h=3$  ve ürün sayısı  $n=6$ 'dır (Bkz. Şekil 5.15). Bu hatta günde 7 sefer yapılmaktadır. Seferlerden bir tanesi (91205 nolu sefer)



seçilerek, hatta ait ürünler üzerinden model kurulmuştur. Çizelge 5.10’da bu ürünler, ürünlere ait talepler ve mevcut fiyatlar gösterilmiştir.



Şekil 5.15. Ankara-Konya YHT hattının şematik gösterimi.

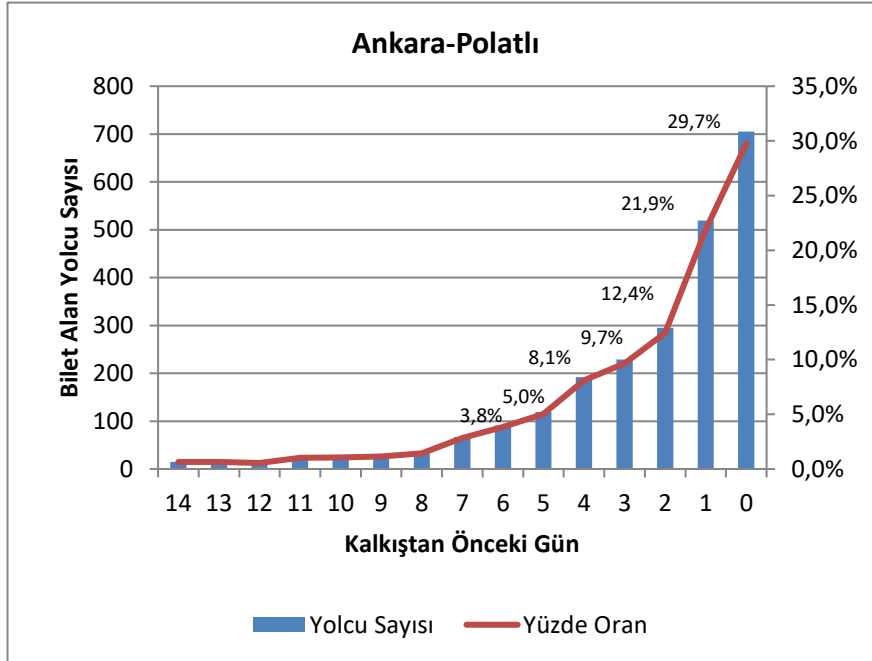
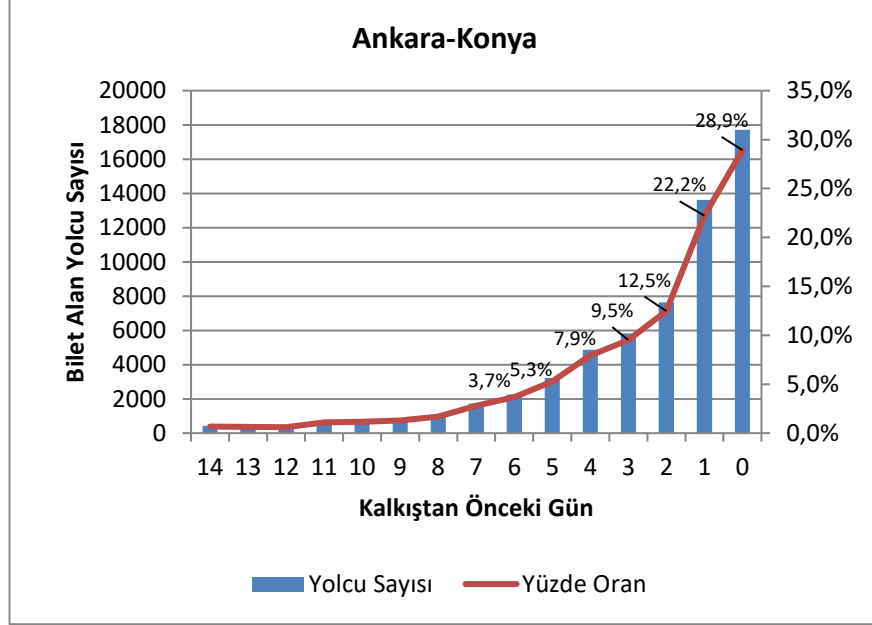
Çizelge 5.10. Ankara-Konya YHT hattındaki bir sefere ait bilgiler.

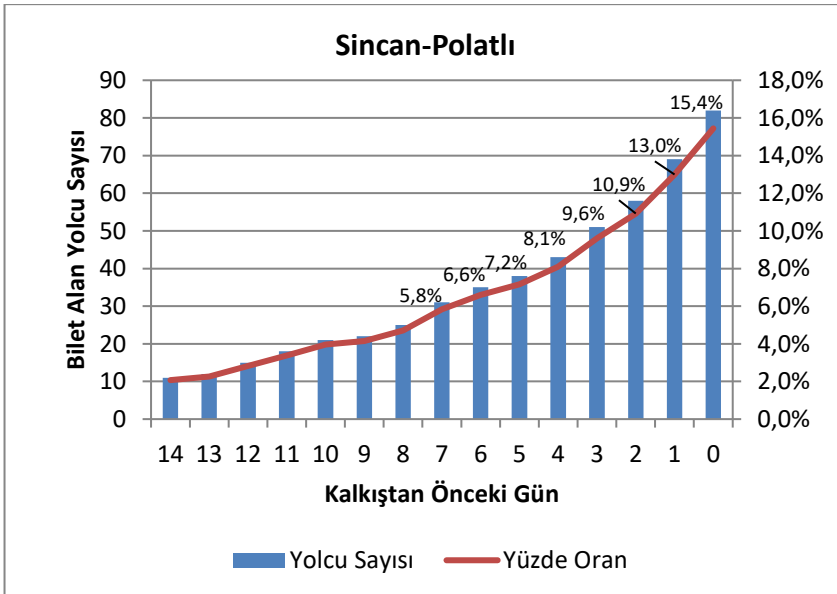
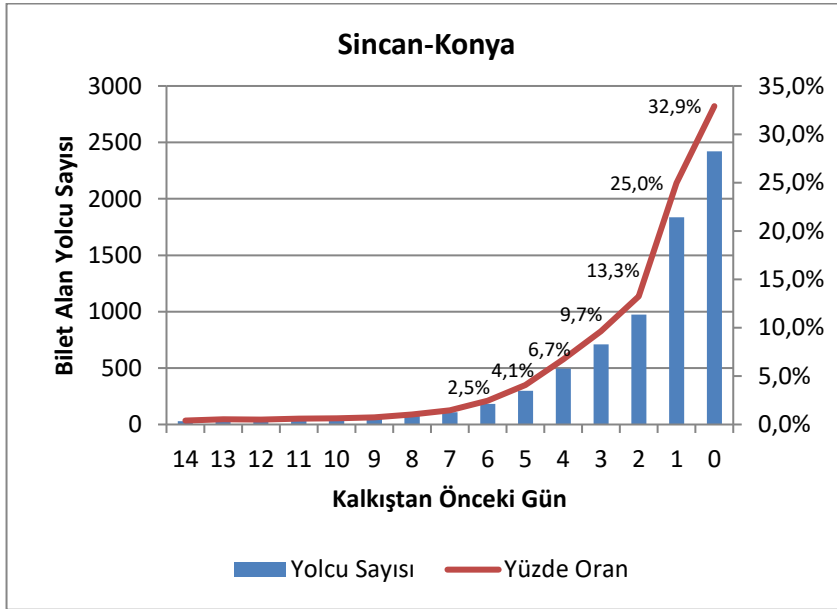
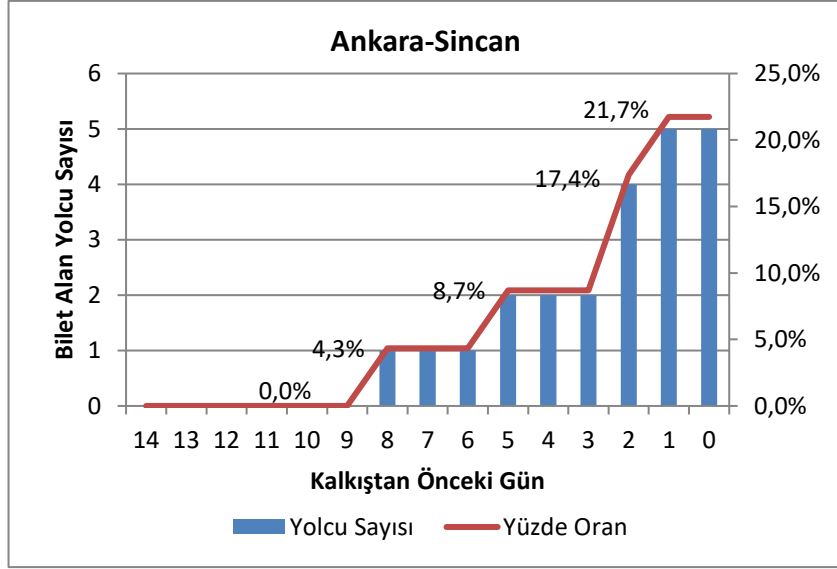
Ürün No	91205	Fiyat (TL)	Ort. Sefer Talebi (kişi)	Ort. Sefer Geliri (TL)	Ort. Hat Talebi (kişi)	Ort. Hat Geliri (TL)
1	Ank-Kon	30	303	9090,0	288	8640
2	Ank-Pol	18	13	234,0	11	198
3	Ank-Sin	12	0	0,0	0	0
4	Sin-Kon	24	30	720,0	35	840
5	Sin-Pol	12	6	72,0	2	24
6	Pol-Kon	21	9	189,0	10	210
Toplam			361	10305,0	346	9912

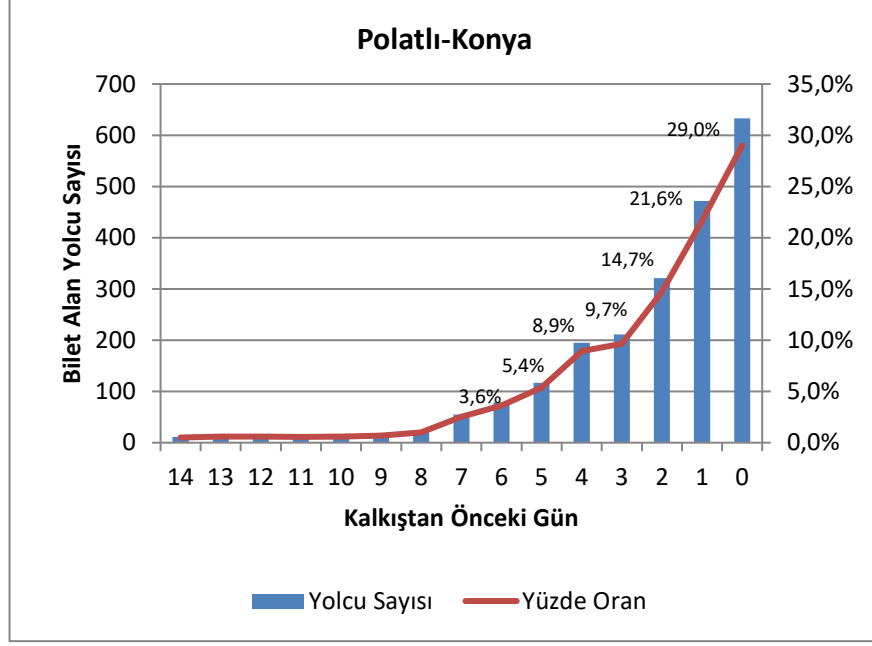
Yolcu geliş profilini tespit edebilmek için Türkiye YHT geçmiş bilet satış verileri incelenmiştir. Müşteri profili çıkarıldıktan sonra, bu profile göre bilet satış periyodu bölümlendirilerek, herbir alt periyot için ayrı bir fiyat belirlenebilir. Yolcuların geliş düzeni trenden trene, hatta trendeki sınıflara göre değişebilir. Çünkü yolcuların davranışı, trenin kalkış saati, seyahat süresi, sınıf konfor farklılıkları gibi tren işletim özelliklerinden etkilenmektedir.

Modelin faydalı olup olmadığını görmek amacıyla, seferlerden bir tanesi seçilerek çalışma sürdürülmüştür. Sefere ait 2016 yılına ait satış verileri aylık bazda incelenmiş ve aylık müşteri geliş profilinin tüm aylar için benzer olduğu görülmüştür. Müşterilerin geliş profili aylık olarak herbir ürün için ayrı ayrı incelenmiştir, bu da toplamda 12 ay ve 6 ürün için 72 adet profil grafiği oluşturmak anlamına gelir. Tüm bu grafikleri ayrı ayı ele almak yerine, modelin çalışabilirliğini görmek amacıyla 6 ürün için yıllık profil grafikleri oluşturulmuştur (Bkz. Şekil 5.16). Burada şunu belirtmek önemlidir. Bazı ürünlerde bazı aylarda mevsimsel etkiler gözlemlenmiştir. Çalışmada genel bir sonuç

elde edebilmek ve modelin uygulanabilirliğini görmek adına, yıllık olarak bakıldığında etkisi küçük kalan bu durum göz ardı edilmiştir. Fakat modelimiz, dinamik bir fiyatlandırma imkanı verebildiğinden dolayı, aylık profiller kullanılarak aylık değişken alt satış periyotları ve fiyatlar tespit edilebilir.







Şekil 5.16. Ankara-Konya YHT hattında farklı ürünler için bilet alan yolcuların sayısının zamana göre dağılımı.

Şekil 5.16’da soldaki dikey eksen, satışa açıldıktan sonra herbir gün satılan bilet sayısını; sağdaki yüzdeler ise o gün satılan bilet sayısının, toplam satılan bilet sayısı içindeki oranını göstermektedir. Biletler hareket gününden 15 gün önce satışa açılmaktadır. Bu yüzden grafikteki 0. gün trenin hareket gününü, 14. gün ise biletin satışa çıkarıldığı ilk günü göstermektedir. Grafiklerdeki bilet sayıları o hattın günlük ortalama satış miktarıdır ve aylık satışlar üzerinden tüm yıl dikkate alınarak elde edilmiştir.

Daha önce yapılan çalışmalar, çok fazla fiyat sınıfının gelir yönetiminin etkinliğini kaybetmesine neden olabileceğini göstermektedir [17-19]. Bu yüzden müşteri geliş profilleri incelenerek, bilet alım zamanları periyotlara bölünmüş ve mümkün olan en az sayıda periyoda ayrılmıştır. Grafikler incelendiğinde en uygun periyot sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Fakat periyot uzunlukları tüm ürünler için aynı olmamaktadır. Buna ek olarak son gün trenin hareket günü olduğundan dolayı, tam gün olarak değil kalkış saatine oranla ondalıklı olarak işleme dahil edilmiştir. Ürünlere ait bilet alım zamanları üzerinden tespit edilen periyot bilgileri Çizelge 5.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.11. Ankara-Konya YHT hattında bilet alımı için tespit edilen periyot bilgileri.

	Pr1	Pr2	Pr3	Pr4	Pr5	Pr6
	Ank-Kon	Ank-Pol	Ank-Sin	Sin-Kon	Sin-Pol	Pol-Kon
<b>1.Periyot (gün)</b>	13	13	12	13	10	13
<b>2.Periyot (gün)</b>	1,5	1,5	2,5	1,5	4,5	1,5

Gelir Yönetimi ilkeleri gereği Ankara-Konya hattını, ürün, kaynak ve istasyonlardan oluşan bir ağ biçiminde düşündüğümüzde, 6 ürünün 3 kaynağı nasıl kullanacağını gösteren ürün-kaynak ilişki matrisi aşağıda gösterilmiştir (Eşitlik 5.45). Eğer ürün  $k$ , kaynak  $h$ 'yi kullanıyorsa  $a_{kh}=1$ , kullanmıyorsa  $a_{kh}=0$  değerini almaktadır. Hatta kullanılan YHT modelinin toplam kapasitesi 411 kişidir. Bu sebeple kaynak kapasiteleri toplam kapasiteye eşit ve  $C=411$  olacaktır.

$$a_{kh} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5.45)$$

Yukarıda müşteri davranışlarından bahsedilirken, fiyata duyarlı müşterilerin daha erken geldiği belirtilmişti. Bilet satış dönemini iki alt periyoda ayırdığımız için, ilk dönemde fiyata duyarlı müşterilerin geldiği kabul edilmek yanlış olmayacaktır. Bu ayrıca şu anlama gelmektedir; fiyata duyarlı müşterilerin yani ilk periyotta bilet satın almak isteyen müşterilerin fiyata duyarlılığı yüksektir. Bu sebeple YHT bilet satışı için, ilk periyota ait fiyat esnekliği ikinci periyottan daha yüksek olarak kabul edilmiştir.

Tez çalışmasının önceki bölümünde, kullanılan Log-lineer talep fonksiyonunun YHT için uygun olduğu belirtilmişti. Çalışmanın bu bölümünde de bu talep fonksiyonu kullanılmıştır (Eşitlik 5.17). Bu bölümde eşitlikteki talep yerine talep akışı kullanılmıştır. Ayrıca talep esnekliği  $\varepsilon$ , herbir alt periyot için farklı değerlere sahiptir.

Modeli çözebilmek için Matlab programı kullanılmıştır. Yazılan algoritmada öncelikle optimum fiyatlar bulunmakta, bu fiyatlarla gerçekleşmesi muhtemel talep akışları hesaplanmakta ve sonunda elde edilebilecek gelir hesaplanmaktadır.

Çizelge 5.12 ve Çizelge 5.13’de kapasiteden daha düşük talep ile yapılan test sonuçları özetlenmiştir. Çizelge 5.12 optimizasyon öncesi durumu göstermekteyken, Çizelge 5.13’de ise optimizasyon sonrası yeni fiyatlar  $p_{i1}$  ve  $p_{i2}$ , bu fiyatlar üzerinden yeni talepler  $d_{i1}$  ve  $d_{i2}$  (talep akışları  $\varphi_{i1}$  ve  $\varphi_{i2}$ ’ye bağlı olarak hesaplanmaktadır) ve elde edilebilecek gelir ( $R$ ) görülebilir. Genel olarak her iki periyot için de tüm fiyatlar düşürülmüş olmasına rağmen gelirin az da olsa artması beklenmektedir. Bu hem işletme hem müşteri için olumlu bir sonuçtur. Tabii burada talep kapasitenin altında olduğu için kapasite tüm müşteriler için yeterlidir. Bu da fiyat konusunda bir daha esnek bir alan sağlamaktadır.

Çizelge 5.12. Düşük talep varlığında optimizasyon öncesi durum.

Düşük Talep	Fiyat (TL/kişi)	Talep Akışı (kişi/gün)		Periyot süresi (gün)		Talep (kişi)	Satış (TL)	Gelir (TL)
	$p_{i0}$	$\varphi_{i1,0}$	$\varphi_{i2,0}$	$\ell_{i1}$	$\ell_{i2}$	$d_{i0}$		$R$
Ank-Kon	30	11,6	102,3	13	1,5	303	303	9.090,0
Ank-Pol	18	0,5	4,8	13	1,5	13	13	234,0
Ank-Sin	12	0,0	0,1	12	2,5	0	0	0,0
Sin-Kon	24	0,9	12,3	13	1,5	30	30	720,0
Sin-Pol	12	0,1	1,1	10	4,5	6	6	72,0
Pol-Kon	21	0,3	3,5	13	1,5	9	9	189,0
						361	361	10.305,0

Çizelge 5.13. Düşük talep varlığında optimizasyon sonuçları.

Düşük Talep	Fiyat (TL/kişi)		Esneklik		Talep Akışı (kişi/gün)		Periyot süresi (gün)		Talep (kişi)		Top.Talep (kişi)	Gelir (TL)
	$p_{i1}$	$p_{i2}$	$\varepsilon_{i1}$	$\varepsilon_{i2}$	$\varphi_{i1}$	$\varphi_{i2}$	$\ell_{i1}$	$\ell_{i2}$	$d_{i1}$	$d_{i2}$	$d_{i1} + d_{i2}$	$R$
Ank-Kon	24,1	28,3	1,3	1,1	15,0	108,8	13	1,5	195	163	358	9.317,9
Ank-Pol	14,9	17,4	1,3	1,1	0,6	5,0	13	1,5	8	7	15	241,0
Ank-Sin	9,2	10,9	1,3	1,1	0,0	0,1	12	2,5	0	0	0	0
Sin-Kon	19,5	22,9	1,3	1,1	1,2	13,0	13	1,5	15	19	34	726,9
Sin-Pol	10,3	11,9	1,3	1,1	0,1	1,1	10	4,5	1	5	6	70,0
Pol-Kon	16,2	19,1	1,3	1,1	0,4	3,9	13	1,5	5	6	11	195,4
											424	10.551,2

Kapasitenin üstünde talep olduğu durumlarda ise müşteriler istedikleri bileti bulamamak gibi bir sorunla karşılaşacaklardır. Bu durumda esnekliği düşük olan, yani bilet bulmak konusunda zorunluluğu yüksek olan veya alternatifi olmayan müşterilerin daha yüksek fiyatlı da olsa bilet almaya hazır oldukları anlamına gelmektedir. Çizelge 5.14’de, “Talep” ve “Satış” sütunları incelenirse, periyotsuz satış durumunda bilet

bulamayan yolcuların bulunduğu görülmektedir. İşte bu müşteriler yüksek fiyat ödemeye hazır potansiyel müşterilerdir.

Çizelge 5.15 incelendiğinde ilk göze çarpan, her iki periyottaki fiyatların da ilk durumdaki fiyatlardan yüksek olduğudur. Kapasitenin kısıtlı olması sebebiyle, özellikle ikinci periyotta hala bilet almamış müşterilerden ilk periyottakilerden daha yüksek fiyat talep edilmesi stratejik bir karar olacaktır. Bunun etkin etkin bir strateji olduğunu elde edilecek gelirin artması göstermektedir.

Çizelge 5.14. Yüksek talep varlığında optimizasyon öncesi durum.

Yüksek Talep	Fiyat (TL/kişi)		Talep Akışı (kişi/gün)		Periyot süresi (gün)		Talep (kişi)	Satış (TL)	Gelir (TL)
	$p_{i0}$	$\varphi_{i,0}$	$\varphi_{i2,0}$	$\ell_{i1}$	$\ell_{i2}$	$d_{i0}$		$R$	
Ank-Kon	30	14,0	120,0	13	1,5	362	362	10.860,0	
Ank-Pol	18	2,0	6,0	13	1,5	35	22	396,0	
Ank-Sin	12	2,0	4,0	12	2,5	34	27	324,0	
Sin-Kon	24	1,5	14,0	13	1,5	41	18	432,0	
Sin-Pol	12	0,8	2,4	10	4,5	19	9	108,0	
Pol-Kon	21	1,1	4,8	13	1,5	21	21	441,0	
						512	459	12.561,0	

Çizelge 5.15. Yüksek talep varlığında optimizasyon sonuçları.

Yüksek Talep	Fiyat (TL/kişi)		Esneklik		Talep Akışı (kişi/gün)		Periyot süresi (gün)		Talep (kişi)		Top.Talep (kişi)	Gelir (TL)
	$p_{i1}$	$p_{i2}$	$\varepsilon_{i1}$	$\varepsilon_{i2}$	$\varphi_{i1}$	$\varphi_{i2}$	$\ell_{i1}$	$\ell_{i2}$	$d_{i1}$	$d_{i2}$	$d_{i1} + d_{i2}$	$R$
Ank-Kon	30,9	35,1	1,3	1,1	13,9	98,4	13	1,5	181	148	329	10.800,9
Ank-Pol	22,0	24,5	1,3	1,1	1,7	4,0	13	1,5	21	6	27	609,0
Ank-Sin	9,2	10,9	1,3	1,1	2,8	4,4	12	2,5	33	11	44	424,6
Sin-Kon	26,3	29,7	1,3	1,1	1,2	13,0	13	1,5	18	0	18	473,9
Sin-Pol	9,9	18,9	1,3	1,1	1,4	10,5	10	4,5	10	6	16	212,5
Pol-Kon	16,2	19,1	1,3	1,1	1,0	1,3	13	1,5	20	8	28	475,8
											462	12.996,7

Yukarıdaki yüksek talep örneğinden yola çıkarak, talebin esnekliğinin değişmesi durumunda olabilecekleri görmek için, farklı esneklikler kullanılarak yeni bir test yapılmıştır. Sadece esnekliklerin değiştiği, bu testin sonuçları Çizelge 5.16'da görülmektedir.

İlk periyotta bilet alan, erken bilet alma gönüllüsü müşterilerin daha da esnek olduğu (esneklik artmıştır), ikinci periyotta bilet alacakların ise fiyat ne olursa olsun zaruri

sebeplerle mutlaka bilet almaya razı oldukları (daha da az esnek olacakları için esneklik düşmüştür) bir senaryo oluşturulmuştur. Bu durumda ilk periyot fiyatları nispeten daha düşük kalırken, ikinci fiyat periyot fiyatları daha da yükselmiştir.

Çizelge 5.16. Farklı esneklik katsayıları ile yüksek talep varlığında optimizasyon sonuçları.

Yüksek Talep	Fiyat (TL/kişi)		Esneklik		Talep Akışı (kişi/gün)		Periyot süresi (gün)		Talep (kişi)		Top.Talep (kişi)	Gelir (TL)
	$p_{i1}$	$p_{i2}$	$\varepsilon_{i1}$	$\varepsilon_{i2}$	$\varphi_{i1}$	$\varphi_{i2}$	$\ell_{i1}$	$\ell_{i2}$	$d_{i1}$	$d_{i2}$	$d_{i1} + d_{i2}$	$R$
Ank-Kon	29,9	38,3	1,4	1	14,5	90,2	13	1,5	189	135	324	10.805,4
Ank-Pol	21,4	26,5	1,4	1	1,7	3,7	13	1,5	22	6	28	630,5
Ank-Sin	8,6	12,0	1,4	1	3,1	4,2	12	2,5	37	10	47	437,1
Sin-Kon	25,5	32,3	1,4	1	1,4	9,8	13	1,5	19	0	19	484,5
Sin-Pol	10,1	19,7	1,4	1	1,0	1,2	10	4,5	10	5	15	199,6
Pol-Kon	15,0	21,0	1,4	1	1,9	4,8	13	1,5	25	7	32	522,0
											465	13.079,1

Çizelge 5.13, Çizelge 5.15 ve Çizelge 5.16’da gösterilen “Talep” sütunları ( $d_{i1}$  ve  $d_{i2}$ ) aynı zamanda her bir periyotta uygulanması gereken koltuk kapasite kısıtlama sınırını ifade eder. Yani ilk periyotta  $d_{i1}$  kadar müşteri gelmesi beklendiği için, o miktarda koltuk satışa sunulmalıdır. Benzer şekilde de ikinci periyotta da  $d_{i2}$  kadar koltuk satışa açılmalıdır. Talep zaten kapasitenin üstünde olduğu için, ilk periyotta açılan kapasite dolacaktır, fakat dolmaması durumunda satılmayan biletler ikinci periyottaki kapasiteye eklenebilir.

Çizelge 5.17’de farklı esneklik değerleri kullanılarak yapılan testlerin sonuçları görülmektedir. Çizelgedeki fiyatlar incelendiğinde, düşük esneklik durumunda fiyatlar daha yüksek, yüksek esneklik durumunda ise fiyatlar daha düşük hesaplanmıştır. Her iki periyotta esneklikler eşitse, fiyatlar da eşit belirlenmiştir. Birinci periyotta esneklik düştüğünde fiyatlar yükselmiş ve müşteri sayısında azalma görülmüştür. İkinci periyotta ise esneklik düştüğünde yine fiyatlar yükselmesine rağmen, müşteri sayısında artış görülmektedir. Bu durumun birkaç sebebi olabilir ama en olası olanı daha önce de belirtildiği ikinci periyotta bilet alan müşterilerin fiyat duyarlılığı daha düşük olan müşteri grubu olmasıdır (iş adamları, günübirlik veya tek seferlik seyahat edenler, vb.).



Çizelge 5.17. Talep esnekliğinin bilet fiyatlarına ve gelire etkisi.

	İlk Fiyat	Fiyat (TL)		Esneklik		Talep Akışı (kişi/gün)	
	$p_{i0}$	$p_{i1}$	$p_{i2}$	$\varepsilon_{i1}$	$\varepsilon_{i2}$	$\phi_{i1}$	$\phi_{i2}$
Ank-Kon	30	39,2	29,2	1,0	1,5	10,7	125,1
Ank-Pol	18	27,2	21,2	1,0	1,5	1,3	4,6
Ank-Sin	12	12,0	8,0	1,0	1,5	2,1	6,9
Sin-Kon	24	33,2	25,2	1,0	1,5	1,1	13,0
Sin-Pol	12	9,3	17,2	1,0	1,5	1,0	1,3
Pol-Kon	21	21,0	14,0	1,0	1,5	1,1	7,9
<b>Gelir:</b>		13586,2					

	İlk Fiyat	Fiyat (TL)		Esneklik		Talep Akışı (kişi/gün)	
	$p_{i0}$	$p_{i1}$	$p_{i2}$	$\varepsilon_{i1}$	$\varepsilon_{i2}$	$\phi_{i1}$	$\phi_{i2}$
Ank-Kon	30	32,3	32,3	1,5	1,5	14,9	87,5
Ank-Pol	18	24,3	24,3	1,5	1,5	1,7	3,5
Ank-Sin	12	9,3	9,3	1,5	1,5	3,2	4,0
Sin-Kon	24	27,0	27,0	1,5	1,5	1,5	9,6
Sin-Pol	12	10,2	19,0	1,5	1,5	1,0	1,1
Pol-Kon	21	14,0	14,0	1,5	1,5	1,9	4,8
<b>Gelir:</b>		13600,2					

	İlk Fiyat	Fiyat (TL)		Esneklik		Talep Akışı (kişi/gün)	
	$p_{i0}$	$p_{i1}$	$p_{i2}$	$\varepsilon_{i1}$	$\varepsilon_{i2}$	$\phi_{i1}$	$\phi_{i2}$
Ank-Kon	30	29,5	39,5	1,5	1,0	12,9	107,0
Ank-Pol	18	21,5	27,5	1,5	1,0	1,3	3,5
Ank-Sin	12	8,4	12,4	1,5	1,0	2,9	5,8
Sin-Kon	24	25,1	33,1	1,5	1,0	1,3	11,6
Sin-Pol	12	10,2	21,1	1,5	1,0	1,0	1,0
Pol-Kon	21	14,0	21,0	1,5	1,0	1,9	7,9
<b>Gelir:</b>		13238,1					

	İlk Fiyat	Fiyat (TL)		Esneklik		Talep Akışı (kişi/gün)	
	$p_{i0}$	$p_{i1}$	$p_{i2}$	$\varepsilon_{i1}$	$\varepsilon_{i2}$	$\phi_{i1}$	$\phi_{i2}$
Ank-Kon	30	34,4	34,4	1,0	1,0	12,5	103,7
Ank-Pol	18	22,4	22,4	1,0	1,0	1,7	4,7
Ank-Sin	12	12,0	12,0	1,0	1,0	2,1	4,2
Sin-Kon	24	28,4	28,4	1,0	1,0	1,3	11,7
Sin-Pol	12	9,3	16,4	1,0	1,0	1,0	1,7
Pol-Kon	21	21,0	21,0	1,0	1,0	1,1	4,8
<b>Gelir:</b>		13691,2					

Periyotlarla fiyatlandırma stratejisini kapasite tahsisi ile karşılaştırmak amacıyla da testler yapılmıştır. Yüksek talep ile yapılan testlerden birinin sonucu örnek olarak aşağıdaki çizelgede (Bkz. Çizelge 5.18) gösterilmiştir. Koltuk tahsisi için Bölüm 4'te kullanılan algoritmamız, en uygun sepetin [1 0 341 4 3 40 2 6 30] olduğunu hesaplamıştır. Bu, 1. ürün (Ankara-Konya) için 341 koltuk, 3. ve 4. ürünler (Ankara-

Sincan ve Sincan-Konya) için toplam 40 koltuk, 2. ve 6. ürünler (Ankara-Polatlı ve Polatlı-Konya) içinse 30 koltuk ayrılması anlamına gelir.

Çizelge 5.18 incelendiğinde görüleceği üzere, bu hat için en uygun yöntem periyotlarla fiyatlandırma stratejisidir. Farklı talep seviyelerinde yapılan testler de benzer sonuçlar vermiştir. Periyotsuz satış stratejisi ile koltuk tahsisi algoritması karşılıklı incelendiğinde, satılan Ankara-Konya bilet sayısı aradaki gelir farkına sebep olduğu söylenebilir. Koltuk tahsis algoritması ortalama talepten yola çıkarak kapasite kısıtını belirlediği için, zaten belirlenen maksimum kısıt kadar (341 adet) bilet satılabilmektedir. İki periyotlu satışta ise daha az Ankara-Konya bileti satılmasına rağmen, periyotlardaki farklı fiyatlandırma sebebiyle daha yüksek gelir elde edilmiştir.

Çizelge 5.18. Farklı Gelir Yönetimi stratejilerinin optimizasyon öncesi durum ile karşılaştırılması.

Ürün No	Kalkış-Varış	Periyotsuz Bilet Satışı		İki Periyotlu Bilet Satışı		Tek Periyotlu Koltuk Tahsisi	
		Satış (kişi)	Gelir (TL)	Top.Satış (kişi)	Gelir (TL)	Satış (kişi)	Gelir (TL)
1	Ank-Kon	362	10.860,0	329	10.800,9	341	10.230,0
2	Ank-Pol	22	396,0	27	609,0	25	450,0
3	Ank-Sin	27	324,0	44	424,6	34	408,0
4	Sin-Kon	18	432,0	18	473,9	40	960,0
5	Sin-Pol	9	108,0	16	212,5	5	60,0
6	Pol-Kon	21	441,0	28	475,8	21	441,0
<b>Toplam:</b>		459	12.561,0	462	12.996,7	466	12.549,0

Periyotlu satış sisteminde, periyotlar için gösterilen fiyatlar, algoritma sonucu tavsiye edilen fiyatlar olarak görülebilir. Fiyatlarda aşağı veya yukarı yönde oynama yapılarak, o esneklik seviyesinde yeni talepler ve elde edilecek gelir hesaplanabilir.

Çözümünden, belirli bir ürün için, ilk periyottaki fiyatların ikinci periyottaki fiyatlardan daha düşük olduğunu görebiliriz. Bu, gelir yönetiminin uygun müşteri profiline uygun fiyatı sağlama konusundaki temel fikriyle uyumludur. Orijinal fiyatlandırma stratejisiyle karşılaştırıldığında, değişken fiyatlandırma stratejisi, sefer gelirini %3,47, yani 435,7 TL artırabilir.

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yüksek hızlı trenlerin koltuk tahsisi ve biletleme süreçleri gün geçtikçe havayolu endüstrisine benzemektedir. Bu nedenle havayolu sektöründe geliri artırmada başarılı olmuş Gelir Yönetimi uygulamalarının demiryolu taşımacılığı alanında uygulanabilirliği önemli bir konu olmuştur. YHT'lerin yaygınlaştığı pek çok ülkede bu uygulamalar yapılmış ve başarılı olduğu görülmüştür. Bu ülkelerin çoğunda tek bir demiryolu işletmecisi bulunmadığı için rekabet önemli bir unsurdur. Geliri artıran yöntem ve politikalar bu sebepten işletmeler için oldukça önemlidir.

Bu çalışmada Gelir Yönetimi yöntemlerinden koltuk tahsisi ve fiyatlandırma mekanizmaları seçilerek Türk demiryolu için uygulanabilirliği incelenmiştir. Koltuk tahsisi konusunda, müşterilerin sadece seferden önceki tren tercihlerinin dikkate alındığı önceki çalışmalardan farklı olarak, bu çalışmada müşterilerin istedikleri bileti bulamadıklarındaki tercih durumları ele alınmıştır. Çalışmanın ilk kısmı, yüzdeler matris olarak işleme alınan müşteri yönlendirme koşulları altında, YHT için uyarlanan sepetli rezervasyon kontrol sistemi (TBS)'nin performansını değerlendirmeye odaklanmıştır. Uzman görüşü de alınarak, istediği bileti bulamayan müşteriler için üç seçenek belirlenmiştir: Başka bir ürün satın almak, aynı ürün için boş koltuk beklemek veya istenilen biletin olmaması durumunda satın almadan ayrılmak. Simülasyon sürecine müşteri davranışını eklemek, daha iyi gelir getiren bir sepet kombinasyonu bulmaya yardımcı olmaktadır.

Bu çalışma, TCDD için alternatif bir rezervasyon sisteminin uygulanması ve TCDD'de sepetli bir rezervasyon sisteminin ilk defa uygulanması açısından önemlidir. Bu çalışma aynı zamanda, sepetli bir rezervasyon sisteminde müşteri davranışını (yönlendirme olarak) dikkate alma açısından da literatüre katkıda bulunmaktadır. Müşteri yönlendirme, demiryolu endüstrisinde daha önce hiç uygulanmamıştır.

TBS'nin olumlu yönleri, bilet havuzu ile boş koltukların daha karlı kullanılması ve kapasitenin sepetler aracılığıyla ürünlere verimli bir şekilde dağıtılmasıdır. Olumsuz tarafı ise, optimum sepeti bulmak zaman ve işlem gücü gerektirir. Müşteri davranışı kurum için uygulamada bir parametre olarak kullanılamasa da müşteri davranışının etkilerinin incelenerek satış için farklı bir strateji veya politika geliştirmesine vesile olacağı düşünülmektedir.

Eksik verilerden kaynaklanan yanıltıcı sonuçları göz ardı edersek, eldeki verilerle, yalın haliyle bile TBS ile kazancın artacağını söyleyebiliriz. Sonuçlara göre önerilen modelimizin uygulanması halinde yıllık 5,3 milyon TL'lik (%5,8 civarında) bir gelir artışı ile başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Müşteri davranışı analizimize göre kapasite artırılamıyorsa, müşterileri beklemeye teşvik etmek akıllıca olabilir. Böylece ikinci bir satış dönemini beklemeyi tercih eden müşterilere boş kalan koltuklar satılabilir. Müşteri davranışının etkileri dikkate alındığında iki veya daha fazla periyotta bilet satmanın geliri artıracığını söyleyebiliriz. Gelirdeki artışın yanı sıra reddedilen müşteri sayısındaki azalmanın da müşteri memnuniyeti açısından önemli olduğu açıktır.

Çalışmanın ikinci kısmında, fiyatlandırma politikalarından yoğun zaman (tepe) fiyatlandırma ve periyotlarla fiyatlandırma, YHT için uygulanmış ve faydalı alternatif politikalar olduğu görülmüştür. Yoğun zaman fiyatlandırma ile eski fiyat politikasına göre ticari iyileştirmeler haricinde farklı iyileştirmelerin de olması beklenmektedir. Yoğun zaman fiyatlarının yükselmesi, zorunlu olarak yoğun zaman seferlerini kullanan müşteriler haricindeki fiyata duyarlı müşterileri diğer zamanlara kaydırarak sefer yükünün dengeli dağılmasına sebep olacaktır. Bu müşteri memnuniyeti açısından dikkate değerdir.

Rekabetin düşük olduğu ülkelerde, tekel piyasalarda veya devlet eliyle işletilen kamu işletmelerinin varlığında, amaç sadece geliri artırmak değil toplumsal refahı (model üzerinde maddi karşılığı: Toplam sosyal refah) da artırmak olmaktadır. Toplam sosyal refah ve toplam karı aynı anda yükseltmek çoğunlukla mümkün olmamaktadır. İşletmelerin politikaları gereği birinden birine ağırlık vermesi doğaldır. Ramsey fiyatlandırma modeli bu noktada devreye girerek, sosyal refahı göz ardı etmeden geliri

iyileştirmede yardımcı olmaktadır. Bu sebeple Ramsey fiyatlandırma modelinde toplam sosyal refahın sıfırdan aşağı düşmesine izin verilmemektedir.

Ülkemizde TCDD hem tekel durumunda hem de bir kamu kurumudur. Çalışmanın sonuçlarına göre yoğun zaman (tepe) fiyatlandırma modelinin uygulanabilir ve toplam sosyal refahı üzerinde olumsuz bir etki bırakmadan beklenen karı yükseltebileceği görülmektedir. Yoğun zaman fiyatlandırma stratejisi ile toplam sosyal refah 28 Milyon TL seviyesinde tutularak, %4,7 oranında karın yükseltilebileceği görülmüştür.

Periyotlarla fiyatlandırma YHT uygulamasında elde edilen sonuçlara göre, periyotlara bölerek farklı fiyatlandırma politikası TCDD için çok uygun ve faydalı bir strateji olabilir. Orijinal fiyatlandırma stratejisiyle karşılaştırıldığında, periyotlara göre farklı fiyatlandırma stratejisi, elde edilebilecek geliri sefer başına %3,47, yani 435,7 TL artırabilir. Periyotlarla satışın faydasına, müşteri yönlendirme matrisinin etkisi incelenirken de değinilmişti. Müşteri profilinin periyotlarla satış için uygun olduğu gözlemlenmiştir. Gelecek çalışmalarda, bu çalışmanın daha ileriye götürülebilmesi adına, müşteri talep tahmini ve analizi yapılabilir.

Periyotlara ait fiyatlar ve periyotlar için uygulanacak kapasite kısıtları ile ilgili tercih karar vericiye aittir, bu çalışmada elde edilen sonuçlar sadece politika tavsiyesi olarak ele alınmalıdır. Özellikle müşterilerin esneklik parametreleri doğru bir şekilde elde edilmişse ve bu parametreye uygun bir fiyatlandırma ve kapasite belirleme yapılırsa; sonuçların burada elde edilen sonuçlarla paralel olacağı ve periyotlarla fiyatlandırma politikasının başarılı bir alternatif olduğu görülebilir.

Gelecek çalışmalarda koltuk tahsisi ve fiyatlandırma politikaları entegre edilebilir. Durak sayısının fazla olduğu örneklerde iyi sonuçlar elde etmek oldukça zorlayıcı olabilmektedir. Raylı sistemlerde, aynı anda kalkan trenlerin varlığında, durak sayısı da fazla ise sezgisel algoritmalar daha uygun sonuçlar verebilmektedir. Bu sebeple farklı sezgisel algoritmalar kullanılarak bu alanda farklı çalışmalar yapılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Hetrakul, P. and Cirillo, C., "A latent class choice based model system for railway optimal pricing and seat allocation", *Transportation Research Part E: Logistics And Transportation Review*, 61: 68–83 (2014).
2. Xie, Z., Zhu, W., and Zheng, L., "A Dynamic Railway Seat Allocation Problem", *Proceedings Of The 2013 Industrial And Systems Engineering Research Conference*, 3480–3490 (2013).
3. Yan, Z., Li, X., Zhang, Q., and Han, B., "Seat allocation model for high-speed railway passenger transportation based on flexible train composition", *Computers And Industrial Engineering*, 142 (February): 106383 (2020).
4. Gopal, M., "Applied Machine Learning", 1st edition. Ed., *McGraw-Hill Education*, New York, (2019).
5. Peña Alcaraz, M., "Analysis of capacity pricing and allocation mechanisms in shared railway systems", *Massachusetts Institute of Technology*, (2015).
6. Harrod, S., "Railway capacity management and planning", *University of Cincinnati*, (2007).
7. Erkal Sönmez, Ö. and Esnaf, Ş., "Gelir Yönetiminde Çoklu Ücret Sınıfının Kapasite Tahsisi: Demiryolu Yolcu Taşımacılığında Bir Uygulama", *İstanbul Üniversitesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi*, 26 (79): 1–19 (2015).
8. Weatherford, L. R. and Bodily, S. E., "A Taxonomy and Research Overview of Perishable-Asset Revenue Management: Yield Management, Overbooking, and Pricing", *Operations Research*, 40 (5): 831–844 (1992).
9. McGill, J. I. and van Ryzin, G. J., "Revenue management: Research overview and prospects", *Transportation Science*, 33: 233–256 (1999).
10. Bitran, G. and Caldentey, R., "An Overview of Pricing Models for Revenue Management", *Manufacturing & Service Operations Management*, 5 (3): 203–229 (2003).
11. Elmaghraby, W. and Keskinocak, P., "Dynamic Pricing in the Presence of Inventory Considerations: Research Overview, Current Practices, and Future Directions", *Management Science*, 49 (10): 1287–1309 (2003).
12. Liu, P., "The Research of Revenue Management for Chinese Railway", *Beijing Jiaotong University*, (2003).

13. Armstrong, A. and Meissner, J., "Railway Revenue Management: Overview and Models", (2010).
14. Brumelle, S. L. and McGill, J. I., "Airline Seat Allocation with Multiple Nested Fare Classes", *Operations Research*, 41 (1): 127 (1993).
15. Curry, R. E., "Optimal Airline Seat Allocation with Fare Classes Nested by Origins and Destinations", *Transportation Science*, 24 (3): 193–204 (1990).
16. Ciancimino, A., Inzerillo, G., Lucidi, S., and Palagi, L., "A Mathematical Programming Approach for the Solution of the Railway Yield Management Problem", *Transportation Science*, 33 (2): 168–181 (1999).
17. Luo, H., Nie, L., and He, Z., "Modeling of multi-train seat inventory control based on revenue management", *2016 International Conference On Logistics, Informatics And Service Sciences (LISS)*, 1–6 (2016).
18. Bao, Y., Liu, J., Ma, M. S., and Meng, L. Y., "Seat inventory control methods for Chinese passenger railways", *Journal Of Central South University*, 21 (4): 1672–1682 (2014).
19. Kim, S. W., "The impact of customer buying behavior on the optimal allocation decisions", *International Journal Of Production Economics*, 163: 71–88 (2015).
20. Wilson, J. G., Anderson, C. K., and Kim, S., "Optimal booking limits in the presence of strategic consumer behavior", *International Transactions In Operational Research*, 13 (2): 99–110 (2006).
21. Sen, A. and Zhang, A. X., "The newsboy problem with multiple demand classes", *IIE Transactions*, 31 (5): 431–444 (1999).
22. Belobaba, P. P. and Weatherford, L. R., "Comparing Decision Rules that Incorporate Customer Diversion in Perishable Asset Revenue Management Situations", *Decision Sciences*, 27 (2): 343–363 (1996).
23. Yeoman, I. S. and McMahon-Beattie, U., "The turning points of revenue management: a brief history of future evolution", *Journal Of Tourism Futures*, 3 (1): 66–72 (2017).
24. Vinod, B., "Evolution of yield management in travel", *Journal Of Revenue And Pricing Management*, 15 (3–4): 203–211 (2016).
25. Strauss, A. K., Klein, R., and Steinhardt, C., "A review of choice-based revenue management: Theory and methods", *European Journal Of Operational Research*, 271: 375–387 (2018).
26. Martinez, M.-E. A., Borja, M.-A. G., and Jimenez, J.-A. M., "Yield Management As A Pricing Mechanism", *Review Of Business Information*

- Systems (RBIS)*, 15 (5): 51 (2011).
27. Bilegan, I. C., Brotcorne, L., Feillet, D., and Hayel, Y., "Revenue management for rail container transportation", *EURO Journal On Transportation And Logistics*, 4 (2): 261–283 (2015).
  28. Chuang, H. M., Chu, C. P., and Niu, W. F., "A study on revenue management of Taiwan High Speed Railway", *2010 IEEE International Conference On Industrial Engineering And Engineering Management*, 999–1003 (2010).
  29. Cizaire, C. and Belobaba, P., "Joint optimization of airline pricing and fare class seat allocation", *Journal Of Revenue And Pricing Management*, 12 (1): 83–93 (2013).
  30. Dutta, G. and Ghosh, P., "A passenger revenue management system (RMS) for a National Railway in an Emerging Asian Economy", *Journal Of Revenue And Pricing Management*, 11 (5): 487–499 (2012).
  31. Dutta, G. and Marodia, D. P., "Comparison of forecasting techniques in revenue management for a national railway in an emerging Asian economy", *International Journal Of Revenue Management*, 8 (2): 130 (2015).
  32. Kaushik, K., "An expectation maximization approach to revenue management on rail ticket data", *University of Maryland, College Park*, Ann Arbor, (2016).
  33. Kellermann, N. and Cleophas, C., "Revenue management and the railway conundrum – The consequences of reference prices in passenger railway transport practice", *Journal Of Revenue And Pricing Management*, 14 (3): 155–165 (2015).
  34. Piening, J., Ehrmann, T., and Meiseberg, B., "Competing risks for train tickets - An empirical investigation of customer behavior and performance in the railway industry", *Transportation Research Part E: Logistics And Transportation Review*, 51 (1): 1–16 (2013).
  35. Qin, M., Li, Y., and Che, G., "Railway passenger ticket pricing policy portfolio", *2016 International Conference On Logistics, Informatics And Service Sciences (LISS)*, 1–5 (2016).
  36. Subulan, K., Baykasoğlu, A., Akyol, D. E., and Yildiz, G., "Metaheuristic-based simulation optimization approach to network revenue management with an improved self-adjusting bid price function", *Engineering Economist*, 62 (1): 3–32 (2017).
  37. Tang, Y. L., "Application of revenue management in china railway high-speed trains", *Southwest Jiaotong University (People's Republic of China)*, Ann Arbor, (2010).
  38. Wang, X., Wang, H., and Zhang, X., "Stochastic seat allocation models for



- passenger rail transportation under customer choice", *Transportation Research Part E: Logistics And Transportation Review*, 96: 95–112 (2016).
39. Xiaoqiang, Z., Lang, M., and Jin, Z., "Dynamic pricing for passenger groups of high-speed rail transportation", *Journal Of Rail Transport Planning And Management*, 6 (4): 346–356 (2017).
  40. Zheng, J., Liu, J., and Clarke, D. B., "Ticket Fare Optimization for China's High-Speed Railway Based on Passenger Choice Behavior", *Discrete Dynamics In Nature And Society*, 2017: 6237642 (2017).
  41. Zheng, J. and Liu, J., "The Research on Ticket Fare Optimization for China's High-Speed Train", *Mathematical Problems In Engineering*, 2016: (2016).
  42. Feng, Y. and Gallego, G., "Optimal Starting Times for End-of-Season Sales and Optimal Stopping Times for Promotional Fares", *Management Science*, 41 (8): 1371–1391 (1995).
  43. Shi, F., Zheng, G. H., and Gu, Q., "Optimal dynamic pricing of railway passenger ticket", *Journal Of The China Railway Society*, 24 (1): 1–4 (2002).
  44. Zhang, X., "Research on Railway Ticket Discount Sales in China", *Southwest Jiaotong University*, (2005).
  45. Xu, Z., Weixin, L., Quande, C., and Bingru, Z., "Research on Dynamic Pricing Between High Speed Rail and Air Transport Under the Influence of Induced Passenger Flow", *Information Technology Journal*, 11 (4): 431–435 (2012).
  46. Yao, E., Yang, Q., Zhang, Y., and Sun, X., "A Study on High-Speed Rail Pricing Strategy in the Context of Modes Competition", *Discrete Dynamics In Nature And Society*, 2013: 715256 (2013).
  47. Bingyi, Q., "Research on revenue management for dedicated passenger line based on passenger choice behavior", *Southwest Jiaotong University*, (2014).
  48. Kincaid, W. M. and Darling, D. A., "An inventory pricing problem", *Journal Of Mathematical Analysis And Applications*, 7 (2): 183–208 (1963).
  49. McAfee, R. P. and Te Velde, V., "Dynamic pricing in the airline industry", *Handbook On Economics And Information Systems*, 1: 527–567 (2006).
  50. Chatwin, R. E., "Optimal dynamic pricing of perishable products with stochastic demand and a finite set of prices", *European Journal Of Operational Research*, 125 (1): 149–174 (2000).
  51. Huang, H., "Based on system dynamics pricing method of highway passenger transport", *Southwest Jiaotong University*, (2010).
  52. Gallego, G. and van Ryzin, G., "Optimal Dynamic Pricing of Inventories with

- Stochastic Demand over Finite Horizons", *Management Science*, 40 (8): 999–1020 (1994).
53. Gallego, G. and van Ryzin, G., "A Multiproduct Dynamic Pricing Problem and Its Applications to Network Yield Management", *Operations Research*, 45 (1): 24–41 (1997).
  54. Ramsey, F. P., "A Contribution to the Theory of Taxation", *The Economic Journal*, 37 (145): 47–61 (1927).
  55. Baumol, W. J. and Bradford, D. F., "Optimal Departures From Marginal Cost Pricing", *The American Economic Review*, 60 (3): 265–283 (1970).
  56. Glaister, S. and Lewis, D., "An integrated fares policy for transport in London", *Journal Of Public Economics*, 9 (3): 341–355 (1978).
  57. Bianchi, R., Jara-Díaz, S. R., and de D. Ortúzar, J., "Modelling new pricing strategies for the Santiago Metro", *Transport Policy*, 5 (4): 223–232 (1998).
  58. Williamson, O. E., "Peak-Load Pricing and Optimal Capacity under Indivisibility Constraints", *The American Economic Review*, 56 (4): 810–827 (1966).
  59. Bing, X., "Research on peak price modeling of railway passenger transport", *Journal Of Shenyang University Of Technology*, (2008).
  60. Zhang, H., "Ticket Pricing of Passenger Dedicated Line under the Competitive Conditions with Air Passenger Transport", *China Railway Science*, 30 (3): 134–137 (2009).
  61. Van Vuuren, D., "Optimal pricing in railway passenger transport: Theory and practice in the Netherlands", *Transport Policy*, 9 (2): 95–106 (2002).
  62. Guzman, L. A., de la Hoz, D., and Monzón, A., "Optimal and Long-Term Dynamic Transport Policy Design: Seeking Maximum Social Welfare through a Pricing Scheme", *International Journal Of Sustainable Transportation*, 8 (4): 297–316 (2014).
  63. Braeutigam, R. R. B. T.-H. of I. O., "Chapter 23 Optimal policies for natural monopolies", *Elsevier*, 1289–1346 (1989).
  64. De Borger, B. and Wouters, S., "Transport externalities and optimal pricing and supply decisions in urban transportation: A simulation analysis for Belgium", Antwerp, (1995).
  65. Fujita, T., "Comparative culture study -High-Speed-Railway system in Japan and South Korea", *Japan Railway & Transport Review*, (48): 36–39 (2007).
  66. Fröidh, O., "Perspectives for a future high-speed train in the Swedish domestic

- travel market", *Journal Of Transport Geography*, 16 (4): 268–277 (2008).
67. Zhang, L. and Liu, S. Y., "Research on the Elastic Pricing Theory Based on Ramsey Model", *Applied Mechanics And Materials*, 587–589: 2124–2127 (2014).
  68. Yuan, W. and Nie, L., "Optimization of seat allocation with fixed prices: An application of railway revenue management in China", *PLoS ONE*, 15 (4): 1–25 (2020).
  69. Qin, M., Li, Y., and Che, G., "Railway passenger ticket pricing policy portfolio", *2016 International Conference On Logistics, Informatics And Service Sciences (LISS)*, 1–5 (2016).
  70. Phillips, R., "Pricing and Revenue Optimization", *Stanford University Press*, Stanford, 368 (2005).
  71. Belobaba, P., Odoni, A., and Barnhart, C., "The Global Airline Industry", *Wiley*, (2009).
  72. Talluri, K. T. and Van Ryzin, G. J., "The Theory and Practice of Revenue Management", Boston, 746 (2004).
  73. Özüğür, Ö., "Türkiye posta servislerinde Ramsey fiyatlandırma metodu", *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*, (2003).
  74. Internet: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları, "Demiryolları", <https://www.tcdd.gov.tr/kurumsal/demiryollari> .
  75. Internet: Uluslararası Demiryolları Birliği, "Railisa UIC İstatistik Sayfası", <https://uic-stats.uic.org/> .
  76. Uğur, A., "Demiryolu Sektöründe Dünya Gelişme Beklentileri ve Türkiye'nin Durumunun Araştırılması", *Alphanumeric Journal*, 7 (19): 369–398 (2019).
  77. Internet: TCDD Taşımacılık AŞ, "Yüksek Hızlı Tren", <https://www.tcddtasimacilik.gov.tr/seferler/yuksek-hizli-tren/> .
  78. Littlewood, K., "Forecasting and Control of Passenger Bookings", *AGIFORS 12th Annual Symposium Proceedings*, 95–128 (1972).
  79. Hetrakul, P., "Discrete choice models for revenue management", *University of Maryland, College Park*, Ann Arbor, (2012).
  80. Riss, M., Côté, J.-P., and Savard, G., "A new Revenue Optimization Tool for High-Speed Railway Finding the Right Equilibrium between Revenue Growth and Commercial Objectives", *Proceedings Of The 8th World Congress On Railway Research, Seoul*, (2008).

81. Bulum, A. Z., Dugenci, M., and Ipek, M., "Application of a Seat-based Booking Control Mechanism in Rail Transport with Customer Diversion", *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 12 (5): 9126–9135 (2022).
82. Azadeh, S. S., Hosseinalifam, M., and Savard, G., "The impact of customer behavior models on revenue management systems", *Computational Management Science*, 12 (1): 99–109 (2015).
83. Cooper, W. L., Homem-de-Mello, T., and Kleywegt, A. J., "Models of the Spiral-Down Effect in Revenue Management", *Operations Research*, 54 (5): 968–987 (2006).
84. Jiang, X., Chen, X., Zhang, L., and Zhang, R., "Dynamic Demand Forecasting and Ticket Assignment for High-Speed Rail Revenue Management in China", *Transportation Research Record: Journal Of The Transportation Research Board*, 2475 (1): 37–45 (2015).
85. You, P. S., "An efficient computational approach for railway booking problems", *European Journal Of Operational Research*, 185 (2): 811–824 (2008).
86. Badra, J., Pal, P., Pei, Y., and Som, S., "Artificial Intelligence and Data Driven Optimization of Internal Combustion Engines", First Edit. Ed., *Elsevier*, Detroit, USA, 7–10 (2022).
87. Roy, R. K., "Design of Experiments Using the Taguchi Approach: 16 Steps to Product and Process Improvement", 1. Ed., *Wiley-Interscience*, (2001).
88. Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, "2017 İstatistik Yıllığı", Ankara, (2019).
89. Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, "2018 İstatistik Yıllığı", Ankara, (2019).
90. Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, "2019-2020 İstatistik Yıllığı", Ankara, (2021).
91. TCDD 2015-2019 Stratejik Planlama Ekibi, "2015-2019 Stratejik Plan", Ankara, (2014).
92. Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, "2017 Faaliyet Raporu", Ankara, (2018).
93. Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, "2018 Faaliyet Raporu", Ankara, (2019).
94. Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, "2019 Faaliyet Raporu", Ankara, (2020).
95. Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, "2020 Faaliyet Raporu", Ankara, (2021).
96. Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, "2019-2023 Stratejik Plan", Ankara, (2019).

97. Bal, H., "Optimizasyon Teknikleri", *Gazi Üniversitesi Yayınları*, Ankara, 63–72 (1995).
98. Gong, X., Wang, H., and Zhu, J., "Sub-time pricing model and effect analysis of high-speed railway", *Journal Of Discrete Mathematical Sciences And Cryptography*, 20 (4): 971–990 (2017).

## **ÖZGEÇMİŞ**

Ahmet Ziyaeddin BULUM ortaokul ve lise öğrenimini Kırıkkale’de tamamlamıştır. 2012 yılında Viyana Teknik Üniversitesi Makine ve Yönetim Bilimleri Fakültesi Ekonomi Mühendisliği Bölümü’nden mezun olmuştur. Aynı yıl YÖK’ten Endüstri Mühendisliği bölümüne denklik aldıktan sonra Karabük Üniversitesi’nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başlamıştır. 2015 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisansını tamamlamıştır. Halen Karabük Üniversitesi’ndeki görevini sürdürmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Karabük Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi  
Endüstri Mühendisliği Bölümü  
Balıklarkayası Mevkii / KARABÜK  
E-posta : ahmetbulum@karabuk.edu.tr