



**YAN GELİRLİ HAVAYOLU GELİR YÖNETİMİ PROBLEMLERİ İÇİN
MÜŞTERİ SEÇİMİ DAVRANIŞI MODELİ**

Muzaffer BUYRUK

**DOKTORA TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Muzaffer BUYRUK

28/06/2022

YAN GELİRLİ HAVAYOLU GELİR YÖNETİMİ PROBLEMLERİ İÇİN MÜŞTERİ SEÇİMİ DAVRANIŞI MODELİ

(Doktora Tezi)

Muzaffer BUYRUK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2022

ÖZET

Havayolları tarafından sunulan fazla bagaj, koltuk seçimi, uçak içi ikram gibi yan gelir ürünleri ilave bir gelir kaynağı ve gelir yönetimi için yeni bir çalışma alanı yaratmıştır. Bu ürünler arasında bulunan ücret kilidi seçeneği ile ilgili modeller çeşitli araştırmacılar tarafından kısa zaman önce çalışılmaya başlanmıştır. Ücret kilidi seçeneğinde, müşteri tarafından ilave bir bedel ödenerek talep edilen güzergâh için ücret belirli bir süre kadar sabit tutulmaktadır. Müşterilerin bir ürün seti arasından ürün seçimi ile ilgilenen müşteri seçimi davranışı da son yıllarda akademik alanda önem kazanmıştır. Bu çalışmada, ücret kilidi ve müşteri seçimi davranışı ile ilgili modeller temel alınarak, *literatürde ilk defa en iyi ürün setlerinin kullanıldığı ücret kilidinde müşteri seçimi davranışı modeli ve bu model geliştirilerek yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modeli önerilmektedir*. Bu modeldeki ana amaç, yan gelir ürünleri bulunduğunda en iyi ürün setleri kullanılarak gelirin eniyilenmesidir. Bu bağlamda, öncelikle ücret kilidi seçeneği üzerinde ve takiben yan gelirlerde müşteri seçimi davranışına ilişkin dinamik programlama modeli geliştirilmiş, büyük boyutta durum değişkeni olan dinamik modelin hesaplama zorluğundan dolayı dinamik modelin üst sınırının bulunması amacıyla doğrusal programlama modeli önerilmiş, ayrıca gelirle etkisinin gözlenmesi amacıyla yan gelirlerin ihmal edildiği standart dinamik model çalışılmıştır. Önerilen modeller MATLAB programında kodlanarak modellerin örnek üzerinde çözümleri yapılmış, hazırlanan veri setleriyle gerçekleştirilen uygulamaların sonuçları ortaya konmuş ve sonuçlar tartışılmıştır. Bununla birlikte, yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modeli kullanılarak gerçek durumda havayolları uygulaması gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, *havayolları tarafından önerilen ürün setlerinin en iyi politika olmayabileceği, kapasite değişimleri de dikkate alınarak müşterilere her dönemde en iyi setlerin önerilmesinin havayolu şirketlerinin gelirlerini artırmabileceği belirlenmiştir*.

Bilim Kodu : 90610

Anahtar Kelimeler : Havayolu, gelir yönetimi, tek bacaklı uçuş, yan gelirler, ücret kilidi, müşteri seçimi davranışı

Sayfa Adedi : 191

Danışman : Prof. Dr. Ertan GÜNER

A CUSTOMER CHOICE BEHAVIOR MODEL FOR AIRLINE REVENUE
MANAGEMENT PROBLEMS WITH ANCILLARY PRODUCTS

(Ph. D. Thesis)

Muzaffer BUYRUK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2022

ABSTRACT

Ancillary revenue products such as excess baggage, seat selection, and onboard meals offered by airlines have created an additional source of revenue and a new working area for revenue management. Models related to the fare-locking option, which are among these products, have recently been studied by various researchers. In the fare-locking option, a customer pays a fixed fee and holds the fare product at a fixed rate for a specified time. Dealing with the product selection of customers from an offer set, customer choice behavior also gained importance in the academic field in recent years. In this study, for the first time in the literature, the customer choice behavior model with the fare-locking option where the optimal product sets are determined is developed and a customer choice behavior model with ancillary products is proposed based on the models related to fare-locking and customer choice behavior. The main purpose of this model is the optimization of revenue by using the optimal offer sets when ancillary revenue products are available. In this context, first of all, a dynamic programming model was developed related to the customer choice behavior on the fare-locking option and subsequently on the ancillary products, a linear programming model was proposed to find the upper limit of the dynamic model due to the computationally intractable dynamic model with a high-dimensional state variable, and a standard dynamic model in which ancillary products were neglected to observe the effect to the revenue was studied. Proposed models were coded in the MATLAB program where models were solved on the sample data set, the results of the applications performed with the prepared data sets were presented, and the results were discussed. On the other hand, a real case airline application was carried out by using the customer choice behavior model with ancillary revenues. As a result, it is determined that the product sets recommended by the airlines may not be the best policy, and considering the capacity changes, offering the optimal offer sets to the customers in every period may increase the revenues of the airline companies.

Science Code : 90610

Key Words : Airlines, revenue management, single-leg, ancillary revenues, fare-locking, customer choice behavior

Page Number : 191

Supervisor : Prof. Dr. Ertan GÜNER

TEŞEKKÜR

Tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Ertan GÜNER'e, bu çalışmada beni her daim desteklediği ve tezime ilgilendiği için ve akademik çalışmalarındaki katkılarından dolayı en içten duygularıyla teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, tezime yaptıkları değerli katkılardan dolayı tez komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. Aydın SİPAHİOĞLU ve Prof. Dr. Selçuk Kürşat İŞLEYEN'e teşekkür ederim.

Bu çalışmada bana desteklerini esirgemeyen, zaman ayırmamı ve emek harcamamı sağlayan sevgili Eşime ve Kızıma, ayrıca değerli Anne, Babama ve Kardeşime çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. GELİR YÖNETİMİNE GİRİŞ, LİTERATÜR TARAMASI VE YAN GELİR ANALİZİ.....	5
2.1. Gelir Yönetimine Giriş.....	5
2.2. Literatür Taraması.....	9
2.3. Yan Gelirlerin Analizi.....	13
3. TEMEL MODELLER.....	23
3.1. Müşteri Seçimi Davranışı Modeli	23
3.1.1. Seçim ve tercih ilişkisi ile fayda fonksiyonları	23
3.1.2. Kesikli seçim ve olasılıklı fayda modelleri.....	24
3.1.3. Çok Terimli Lojit (ÇTL) modeli	27
3.1.4. Havayolu gelir yönetiminde ÇTL modeli	29
3.1.5. Müşteri seçimi davranışı ile tek bacaklı uçuşlar için dinamik programlama modeli	32
3.2. Ücret Kilidi Modelleri.....	35
3.2.1. Aydın ve diğerleri (2017) modeli.....	37
3.2.1. Sumida ve Topaloğlu (2019) modeli	40

Sayfa

4. ÜCRET KİLİDİNDE MÜŞTERİ SEÇİMİ DAVRANIŞI MODELİ.....	43
4.1. Ücret Kilidinde Müşteri Seçimi Davranışı Modeli Önerisi	43
4.2. Ücret Kilidinde Müşteri Seçimi Davranışına İlişkin Dinamik Model (DMÜ) ...	47
4.2.1. DMÜ modelinin örnek üzerinde çözümü.....	50
4.3. Ücret Kilidinde Müşteri Seçimi Davranışına İlişkin Doğrusal Programlama Modeli (DPÜ).....	53
4.3.1. DPÜ modelinin örnek üzerinde çözümü.....	55
4.4. Ücret Kilidinin İhmal Edildiği Müşteri Seçimi Davranışına İlişkin Dinamik Model (SDM).....	56
4.4.1. SDM modelinin örnek üzerinde çözümü	56
4.5. Modellerin Uygulaması.....	57
4.6. Tartışma ve Sonuçlar.....	60
5. YAN GELİRLERDE MÜŞTERİ SEÇİMİ DAVRANIŞI MODELİ	65
5.1. Yan Gelirlerde Müşteri Seçimi Davranışı Modeli Önerisi	65
5.2. Yan Gelirlerde Müşteri Seçimi Davranışına İlişkin Dinamik Model (DMY)	71
5.2.1. DMY modelinin örnek üzerinde çözümü.....	75
5.3. Yan Gelirlerde Müşteri Seçimi Davranışına İlişkin Doğrusal Programlama Modeli (DPY).....	77
5.3.1. DPY modelinin örnek üzerinde çözümü.....	79
5.4. Modellerin Uygulaması.....	80
5.5. Tartışma ve Sonuçlar.....	85
6. YAN GELİRLERDE MÜŞTERİ SEÇİMİ DAVRANIŞI MODELİNİN HAVAYOLU UYGULAMALARI	91
6.1. Pegasus Havayolları Modeli	91
6.2. Pegasus Havayolları Modeli Çözümü.....	96
6.3. Pegasus Havayolları Modeli Uygulaması	98
6.4. Pegasus Havayolları Uygulaması Tartışma ve Sonuçları	100

Sayfa

7. SONUÇ VE ÖNERİLER	107
KAYNAKLAR	111
EKLER.....	121
EK-1. Ücret kilidinde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları	122
EK-2. DPY modelinin DMY modeline üst sınır oluşturma ile ilgili kanıtlar	130
EK-3. Yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları	140
EK-4. ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyutlu problemde örnek çözümü	157
EK-5. Pegasus Havayolları için uygulama sonuçları.....	182
ÖZGEÇMİŞ	190

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Havayolu GY ile ilgili seçilmiş önemli çalışmalar.....	10
Çizelge 2.2. Toplam yan gelir bazında 2018 yılında dünyadaki ilk 10 havayolu ve gelir tahminleri	15
Çizelge 2.3. Yan gelirin toplam gelire oranında 2018 yılında dünyadaki ilk 10 havayolu ve gelir tahminleri	15
Çizelge 3.1. Ücretli ve ücretsiz yollar için fayda fonksiyonları	27
Çizelge 3.2. Segmente göre geliş olasılıkları, düşünülen set ve tercih vektörü.....	31
Çizelge 3.3. Müşterinin seçim olasılıkları	32
Çizelge 3.4. Etkin set örneği	35
Çizelge 4.1. Segmente göre geliş olasılıkları, düşünülen set ve tercih vektörü.....	51
Çizelge 4.2. Müşterinin seçim olasılıkları	52
Çizelge 4.3. Önerilen modellerin örnek üzerinde yapılan çözümlerinin sonuçları.....	57
Çizelge 4.4. Ücret kilidinde müşteri seçimi davranışı modelinin veri setleriyle yapılan çözümlerin sonuçları – özet	59
Çizelge 5.1. Segmente göre geliş olasılıkları, düşünülen set ve tercih vektörü.....	76
Çizelge 5.2. Müşterinin seçim olasılıkları	77
Çizelge 5.3. Önerilen modellerin örnek üzerinde yapılan çözümlerinin sonuçları.....	81
Çizelge 5.4. Yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modelinin veri setleriyle yapılan çözümlerin sonuçları - özet.....	84
Çizelge 6.1. Segmente göre geliş olasılıkları, düşünülen set ve tercih vektörü.....	94
Çizelge 6.2. ÇTL modeliyle bulunan müşterinin seçim olasılıkları	95
Çizelge 6.3. Pegasus Havayolları modeli çözüm sonuçları	97
Çizelge 6.4. Pegasus Havayolları uygulama sonuçları - özet	101
Çizelge 1.1. Veri setleriyle yapılan çözümlerin sonuçları ve DMÜ modelinden DPÜ ve SDM modellerinin fark yüzdeleri	122
Çizelge 1.2. Veri setleriyle yapılan çözümlerin süreleri.....	126
Çizelge 3.1. Veri setleriyle yapılan çözümlerin sonuçları	140

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.2. Veri setleriyle yapılan çözümlerde DMY modelinden DPY ve SDM modelinin fark yüzdesi	144
Çizelge 3.3. Veri setleriyle yapılan çözümlerin süresi	148
Çizelge 3.4. ($\alpha, \rho, \pi, P_r, v_{10}$) kombinasyonuyla yapılan çözümlerin sonuçları	152
Çizelge 4.1. Segmente göre geliş olasılıkları, düşünülen set, tercih vektörü.....	158
Çizelge 4.2. Müşterinin seçim olasılıkları	161
Çizelge 4.3. Müşterinin seçim olasılıkları ile seçim yapılmama olasılığı	175
Çizelge 5.1. Veri setleriyle yapılan çözümlerin sonuçları	182
Çizelge 5.2. Veri setleriyle yapılan çözümlerde DMY-P-ÇTL modelinden DPY-P-ÇTL, SDM-P-ÇTL, DMY-P-GE ve SDM-P-GE modellerinin fark yüzdesi	184
Çizelge 5.3. Veri setleriyle yapılan çözümlerde SDM-P-GE modelinin DMY-P-GE ve SDM-P-ÇTL modellerinden fark yüzdesi	186
Çizelge 5.4. Veri setleriyle yapılan çözümlerin süresi	188

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Tekli veya çoklu ücret sınıfı önerilmesinden dolayı beklenen gelir.....	7
Şekil 2.2. Örnek ücret sınıfları.....	7
Şekil 2.3. Yıllara göre yan gelir tahmini ve yan gelirin global gelire oranı	14
Şekil 2.4. Temel havayolu ürünleri ile gelir sağlayıcı ürünlerin haritası.....	16
Şekil 2.5. Alakart ve üçüncü parti yan gelir ürünlerinin özellikleri.....	18
Şekil 2.6. Ana yan gelir bileşenleri.....	19
Şekil 2.7. Warnock-Smith ve diğerleri (2017) tarafından yapılan çalışmada yan gelir ürünlerini son dönemdeki uçuşlarında satın alan katılımcı oranları	20
Şekil 2.8. Şengür ve diğerleri (2017) tarafından yapılan çalışmada yan gelir ürünlerini satın alan katılımcı oranları	20
Şekil 3.1. Etkin setlerin gösterimi.....	36
Şekil 3.2. Ücret kilidi probleminin formülasyonu	37
Şekil 4.1. Önerilen ücret kilidi modeli.....	44
Şekil 4.2. Önerilen modelde tüm dönemler boyunca yapılan seçimler	45
Şekil 4.3. Uçuş paketi seçenekleri	46
Şekil 4.4. Paket seçildikten sonra sunulan seçenekler	46
Şekil 4.5. Ücret kilidi süre ve fiyatları.....	47
Şekil 4.6. DMÜ modelinde setlerin beklenen gelir ve kapasite kullanım oranına göre gösterimi	55
Şekil 4.7. DMÜ ve DPÜ modellerinde ücret kilidi süresi, toplam dönem sayısı ve kapasiteye göre çözüm süreleri	60
Şekil 5.1. Önerilen yan gelir modeli	66
Şekil 5.2. Önerilen modelde tüm dönemler boyunca yapılan seçimler	67
Şekil 5.3. Uçuş paketi seçenekleri	68
Şekil 5.4. Uçuş paketi seçildikten sonra sunulan seçenekler	68
Şekil 5.5. Yan gelire ilişkin ek paket önerileri.....	69

Şekil	Sayfa
Şekil 5.6. Yan gelirlere ilişkin pakette sunulan ürünlerin gösterimi.....	69
Şekil 5.7. Yan gelirlere ilişkin ayrı şekilde sunulan ürünlerin gösterimi.....	70
Şekil 5.8. Ücret kilidi süre ve fiyatları.....	71
Şekil 5.9. DMY modelinde setlerin beklenen gelir ve kapasite kullanım oranına göre gösterimi	80
Şekil 6.1. Pegasus Havayolları İstanbul-Londra seferi ürün ücretleri	92

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

sn

saniye

Kısaltmalar

Açıklamalar

BMKG

Beklenen Marjinal Koltuk Geliri

ÇTL

Çok Terimli Lojit

DMÜ

Ücret Kilidinde Müşteri Seçimi Davranışına İlişkin Dinamik Model

DMY

Yan Gelirlerde Müşteri Seçimi Davranışına İlişkin Dinamik Model

DMY-P-ÇTL

Yan Gelirlerde Müşteri Seçimi Davranışına İlişkin Dinamik Model - Pegasus Havayolları - Çok Terimli Lojit

DMY-P-GE

Yan Gelirlerde Müşteri Seçimi Davranışına İlişkin Dinamik Model – Pegasus Havayolları - Gerçek Durum

DPÜ

Ücret kilidinde Müşteri Seçimi Davranışına İlişkin Doğrusal Programlama Modeli

DPY

Yan Gelirlerde Müşteri Seçimi Davranışına İlişkin Doğrusal Programlama Modeli

DPY-P-ÇTL

Yan Gelirlerde Müşteri Seçimi Davranışına İlişkin Doğrusal Programlama Modeli – Pegasus Havayolları - Çok Terimli Lojit

GY

Gelir Yönetimi

SDM

Standart Dinamik Model

SDM-P-ÇTL

Standart Dinamik Model - Pegasus Havayolları - Çok Terimli Lojit

Kısaltmalar**Açıklamalar****SDM-P-GE**Standart Dinamik Model - Pegasus Havayolları -
Gerçek Durum**STDDP**

Seçim Tabanlı Deterministik Doğrusal Programlama

1. GİRİŞ

Havayolu endüstrisinin 1900’lü yılların başında gelişmesiyle birlikte ilk uçuşlar başlamış, 1950’li yıllardan sonra ise jet çağı ile havayolları gelişim göstermiştir. Bu dönemlerde fiyatlar devletler tarafından kontrol altına alınmış ve 1978 yılında fiyatların serbestleşmesinden sonra havayolu endüstrisinde gelir yönetimi (GY) alanı için yeni bir dönem başlamıştır. Havayollarında kısa dönemdeki maliyetlerin yüksek oranda sabit olmasından ve değişken yolcu maliyetlerinin düşük olmasından dolayı havayolları kârlarını artırmak için GY metotlarına yönelmişlerdir.

GY herhangi bir zamanda gelecek bir uçuş için rezervasyon yaptırmak isteyen yolculara, rezervasyon işleminin doğru zamanda, doğru ücretle ve doğru şartlarda satılmasının eniyilemesini içerir. Bu eniyilemede, o anda yolcuya rezervasyon yaptırılması veya o koltuğun söz konusu rezervasyona daha fazla ücret ödemesi beklenen yolcu için daha sonraki bir zaman için tutulmasına karar verilmesi havayolu GY’nin ana amacını oluşturmuştur. Havayolları güncel durumda gelirini artırmak için koltuk envanterlerine rezervasyon limitleri uygulayarak her ücret sınıfı için koltuk sayısını belirlemeye çalışmaktadır.

Havayolları envanterlerindeki koltukların ücret seviyeleri ayarlamalarından sonra fazla bagaj, koltuk seçimi ve uçak içi ikramlar gibi yan gelirlerden de son yıllarda büyük miktarlarda gelir elde etmeye başlamışlardır. O’Connell (2011: 145) tarafından yan gelirler, bilet ücreti ödendikten sonra internet sitesi veya seyahat esnasında havayolları tarafından kazanılan ek gelirler olarak tanımlanmıştır. Dünya çapında havayollarının yan gelirlerinin 2010 yılında 22,6 milyar dolardan, 2018 yılında 92,9 milyar dolara yükseldiği ve 2019 yılında ise 109,5 milyar dolar yükseleceği tahmin edilmiştir (IdeaWorksCompany, 2019a). Bu bağlamda, bu çalışmada havayolları tarafından sunulan ücret ürünlerinin satın alınma seçimiyle birlikte son yıllarda büyük önem arz eden yan gelirlere odaklanılması planlanmıştır.

Bir yan gelir ürünü olan ücret kilidi seçeneği birçok havayolu tarafından son yıllarda önerilmeye başlanmış ve gelir yönetimi alanında bu konuda yapılan akademik çalışmaların nispeten az olduğu görülmüştür. Ücret kilidi seçeneğinde, talep edilen güzergâh için

önerilen ücret ilave bir bedel karşılığında belirli bir süre kadar sabit tutulmakta ve müşteri bu süre zarfında önerilen sabit ücretten güzergâhı satın alabilmektedir. Ücret kilidinin kapasiteye etkisinden dolayı, dinamik modelde yer alan büyük boyuttaki durum değişkeni nedeniyle en iyi politikanın bulunması zorlaşmaktadır. Bu nedenle, akademik alanda dinamik modelin üst sınırının bulunması amacıyla doğrusal programlama modeli üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu bağlamda, ücret kilidi ile çalışma yapan araştırmacıların modelleri dikkate alınarak çalışmada dinamik ve doğrusal modeller geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Bunlarla birlikte, talebe yönelik olarak müşterilerin bir ürün seti arasından seçimi ile ilgilenen müşteri seçimi davranışı GY literatüründe son yıllarda önem kazanmıştır. Akademik alanda, müşteri seçiminin modellenmesi ve çözümü zor dinamik modeller için doğrusal programlama modelleri önerilmesi konuları araştırılmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada en iyi ürün setleri kullanılarak müşteri seçimi davranışı ile ilgili dinamik programlama modeli geliştirilmesi ve çözümü zor dinamik model için doğrusal programlama modeli önerilmesi konuları çalışılmıştır.

Bu çalışmanın amacı ücret ve yan gelir ürünleri bulunduğunda havayolunun gelirinin eniyilenmesinin araştırılmasıdır. Literatürde bulunan ücret kilidi ve müşteri seçimi davranışı ile ilgili modeller temel alınarak, literatürde ilk defa en iyi ürün setlerinin kullanıldığı ücret kilidinde müşteri seçimi davranışı modeli ve bu model geliştirilerek ücret kilidi ve yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modeli önerilmektedir. Bu çerçevede, ücret kilidinde müşteri seçimi davranışına ilişkin dinamik model ve dinamik modelin üst sınırının bulunması amacıyla doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Devamında, literatürde ilk defa önerilen ücret kilidi modelinin temel alındığı yan gelirlerde müşteri seçimi davranışına ilişkin dinamik model ve dinamik modele üst sınır oluşturan doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Söz konusu ücret kilidi ve yan gelir modellerinde, en iyi ürün setleri kullanılarak gelirin eniyilenmesi hedeflenmektedir. Söz konusu modellerin Pegasus Havayolları olmak üzere gerçek durumda uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada önerilen dinamik ve doğrusal modellerin çözümünün tamamı MATLAB programında kodlanarak yapılmıştır.

Bu çalışmanın devam eden bölümlerine yönelik olarak, ikinci bölümde gelir yönetimine giriş yapılacak, literatür taraması gerçekleştirilcek ve yan gelirler analiz edilecektir.

Üçüncü bölümde, müşteri seçimi davranışı ve ücret kilidi ile ilgili temel modeller açıklanacaktır. Sonraki bölümde, ücret kilidinde müşteri seçimi davranışına ilişkin dinamik model ve doğrusal programlama modeli önerilecek, ayrıca ücret kilidinin en iyi beklenen gelire etkisinin gözlenmesi amacıyla ücret kilidinin ihmal edildiği standart dinamik model açıklanacaktır. Bahsedilen modellerin uygulamaları gerçekleştirilecek ve sonuçları tartışılacaktır. Beşinci bölümde, yan gelirlerde müşteri seçimi davranışına ilişkin dinamik ve doğrusal programlama modeli geliştirilecek, uygulamaları yapılacak ve sonuçları incelenecektir. Ayrıca, beşinci bölümde yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modeli kullanılarak gerçek durumda Pegasus Havayolları uygulaması yapılacaktır. Son bölümde ise çalışmaya yönelik sonuç ve öneriler açıklanacaktır.

2. GELİR YÖNETİMİNE GİRİŞ, LİTERATÜR TARAMASI VE YAN GELİR ANALİZİ

Akademik alandaki havayolları GY modelleri ve GY sistemleri ile gelirlerinin eniyilenmesini uzun zamandır hedeflemektedirler. Bu çalışmada, GY’de son yıllarda önem kazanan ve bir ürün seti arasından müşterilerin seçimi ile ilgilenen müşteri seçimi davranışı kullanılmıştır. Ayrıca, havayolları için gittikçe artan bir öneme sahip olan yan gelir ürünleri incelenmiştir. Bu bağlamda, bu bölümde ilk olarak GY’ye giriş konuları ele alınarak amacı, kullanım alanları, ana modelleri ile sistemleri hakkında bilgiler verilecektir. Bu açıklamalardan sonra, GY’de ve bu çalışmada geliştirilen modellere yönelik literatür taraması sunulacaktır. Son olarak, yan gelirlerin analizi yapılacaktır.

2.1. Gelir Yönetimine Giriş

Havayolu endüstrisinin 1900’lü yılların başında gelişmesiyle birlikte ilk uçuşlar başlamış, jet çağı ile 1950’li yıllardan sonra havayolları büyük gelişim göstermiştir. Bu dönemlerde fiyatlar devletler tarafından kontrol altına alınmıştır. 1978 yılında fiyatların serbestleşmesinden sonra havayolu endüstrisinde GY alanı için yeni bir dönem başlamıştır. Kısa dönemdeki maliyetlerin yüksek oranda sabit olmasından ve değişken yolcu maliyetlerinin düşük olmasından dolayı havayolları kârlarını artırmak için GY metotlarına yönelmişlerdir.

Gelir yönetimi herhangi bir zamanda gelecek bir uçuş için rezervasyon yaptırmak isteyen yolculara, rezervasyon işleminin doğru zamanda, doğru ücretle ve doğru şartlarda satılmasının eniyilemesini içerir. Bu eniyilemede, o anda yolcuya rezervasyon yaptırılması veya o koltuğun söz konusu rezervasyona daha fazla ücret ödemesi beklenen yolcu için daha sonraki bir zaman için tutulmasına karar verilmesi havayolu GY’nin ana amacını oluşturmuştur. Havayolları güncel durumda gelirini artırmak için koltuk envanterlerine rezervasyon limitleri uygulayarak her ücret sınıfı için koltuk sayısını belirlemeye çalışmaktadır.

GY gelirin eniyilenmesine ilişkin olarak günlük havayolu operasyonlarında önemli bir yere sahiptir. Ancak, GY geliri yönetmek değil, toplam gelirin uygun araç ve tekniklerle

eniyilenmesidir (Bazargan, 2010: 113). Cross (2011: 64-65), GY'yi şu şekilde tanımlanmıştır:

Gelir yönetimi, tüketici davranışını mikro pazar seviyesinde tahmin eden ve gelir artışını eniyileme için fiyatı ve ürün hazır olabilirliğini yöneten disiplinli taktiklerin uygulanmasıdır. Daha basit bir ifadeyle, gelir yönetimi, şirketlerin doğru ürünü doğru müşteriye doğru zamanda doğru fiyata satacağını garanti eder.

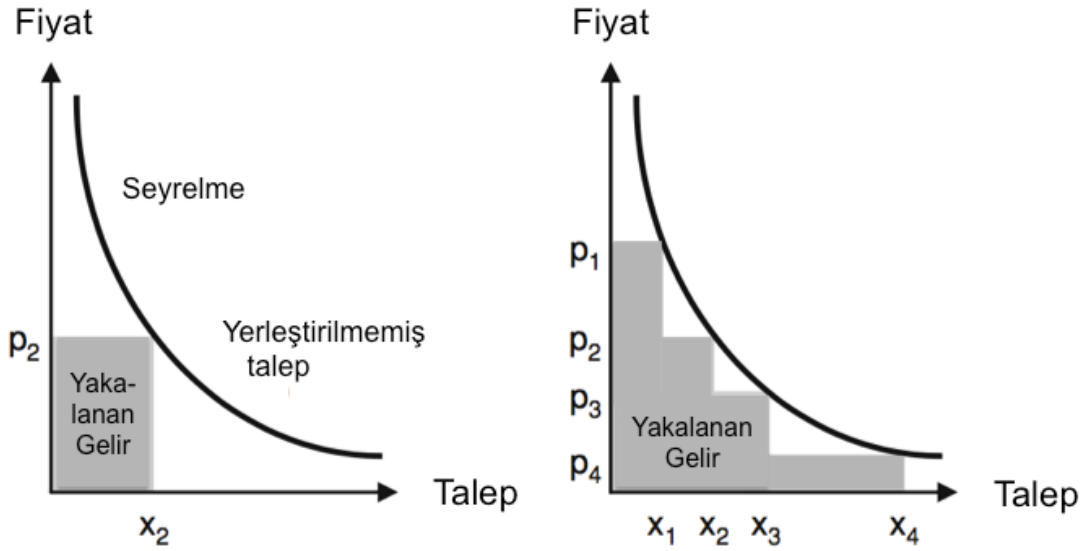
GY kavramı aşağıda verilen özelliklere sahip ürün (mal ve hizmetler) sunan işletmeler için uygundur (Bazargan, 2010: 113):

- Stokun depolanmasının imkânsız ya da pahalı olması,
- Gelecekteki talebin belirsiz olması,
- Şirketin müşteri kesimleri arasında farklılaştırma yapabilir (müşteriler aynı ürün için farklı fiyatlar ödemeye istekli olabilir.) olması,
- Önerilen ürünün sabit maliyetinin yüksek ve marjinal maliyetinin düşük olması,
- Önerilen ürün için kapasitenin sabit olması gibi örneklendirilebilir.

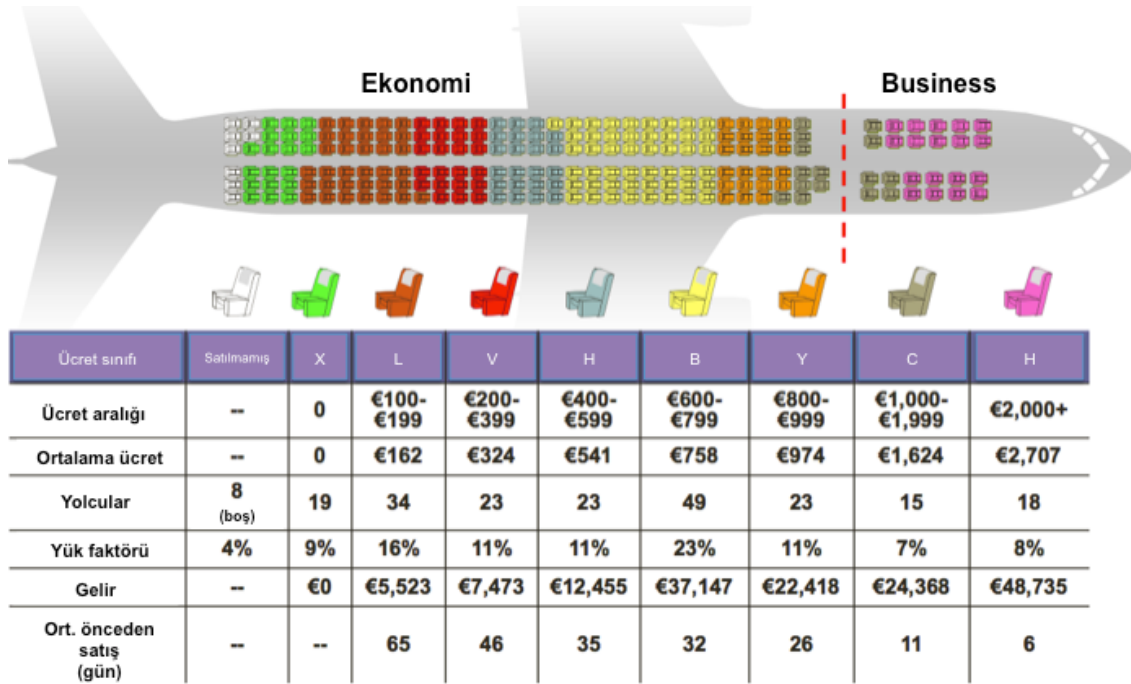
GY yukarıdaki karakteristikleri sağlayan havayolu, otel, araba kiralama, tren, otobüs, medya ve yayıncılık, gemi turu, tur operatörleri, havayolu kargosu, perakendecilik, doğalgaz depolama ve nakli, elektrik üretimi ve iletimi, tiyatrolar ve spor müsabakaları gibi iş ortamları için uygulanabilir (Bazargan, 2010: 113; Talluri ve van Ryzin, 2004a: 515-577). Bütün bu endüstrilerde ürün sunum zamanı satılmaz veya kiralanmazsa gelir kaybedilmektedir. Havayolu endüstrisinde uçak koltukları ürün olarak dikkate alınır. Eğer uçak kalktığında koltuklar satılmazsa, bu koltuklardan sağlanabilecek gelir kaybedilir. GY'nin ana zorluğu mevcut pazar şartlarında fiyatı ayarlamaktır. Yani koltuk için bir müşteri talebi olduğunda, onun kabul edilmesi veya daha kârlı başka bir müşteri beklentisi ile talebin reddedilmesine ilişkin karar verilmesidir (Bazargan, 2010: 113).

Bir havayolu şirketi tipik olarak çeşitli ücret sınıflarındaki farklı başlangıç-varış güzergâhları için koltuklar önermektedir. Tekli veya çoklu ücret sınıfı önerilmesinden dolayı beklenen gelir Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Şekilde çoklu ücret sınıfında yakalanan alanların daha fazla olduğu, yani daha çok gelir elde edilebileceği görülmektedir (Goedeking, 2010: 97). Havayollarında koltuk ücretleri sadece geleneksel 1. sınıf, business ve ekonomi sınıfında değil, ayrıca kendi sınıfları içerisinde de ayrılmaktadır. Ücret

sınıflarının uçaktaki koltuklara paylaştırıldığı gerçek örnek durum Şekil 2.2’de sunulmuştur (Boeing, 2013). Önerilen koltukların ve bunların uygunluğunun havayolu için gelir kaynağı olarak dikkate alındığında, GY kavramı koltuk envanter kontrol problemine dönüşmektedir (Bazargan, 2010: 114).



Şekil 2.1. Tekli veya çoklu ücret sınıfı önerilmesinden dolayı beklenen gelir (Goedeking, 2010: 97)



Şekil 2.2. Örnek ücret sınıfları (Boeing, 2013)

Havayolu GY’de modeller genel olarak, yuvalı (nested) veya yuvasız (non-nested); statik veya dinamik; tek bacaklı (single-leg), şebeke (çok bacaklı — network, multi-leg) veya fazla rezervasyon modelleri olarak sınıflandırılabilir (Bazargan, 2010: 114-134). Ayrıca, tahmin ve dinamik fiyatlandırma modelleri de büyük bir öneme sahiptir. Koltuk envanter kontrol probleminin amacı koltuğun rezervasyon anındaki taleple satılması veya daha kârlı bir müşteri için daha sonraya saklanmasıdır. Koltuk paylaşımının belirlenmesi rezervasyon döneminin başındaki talep dağılımına göre statik problem olarak göz önüne alınır. Örnek olarak, statik bir koltuk envanter koltuk probleminin tek bacaklı olarak yuvalı veya yuvasız ya da şebeke olarak yuvalı veya yuvasız modelleri olabilir (Bazargan, 2010: 114-132). GY’nin fazla rezervasyon bileşeninin amacı ise belirli fiziksel kapasitede (koltuklar) gelecek bir uçuş için kabul edilecek en büyük rezervasyon sayısını belirlemektir (Belobaba, 2009: 93). Bunlarla birlikte, tahminin de GY’de kritik bir önemi vardır. GY sistemi talep, fiyat hassaslığı, iptal olasılıkları gibi niceliklerin tahminlerini içerir ve sistemin performansı bu tahminlerin kalitesine bağlıdır. (Talluri ve van Ryzin, 2004a: 407). Son yıllarda çalışılan dinamik fiyatlandırma modelleri ise müşteriye özel bilgiyi ve gerçek zamanlı alternatif teklifleri hesaba katarak en iyi fiyatı dinamik olarak hesaplayan GY sistemlerinin geliştirilmiş olarak tanımlanmıştır (Fiig, Goyons, Adelving ve Smith, 2016).

Akademik çalışmalardaki modellere paralel olarak, Yarı Otomatik İş Araştırma Ortamı (Semi-Automated Business Research Environment [SABRE] — 1960’lılarda) ve Dinamik Envanter Paylaştırma ve Bakım Eniyileme Sistemi (Dynamic Inventory Allocation and Maintenance Optimizer [DINAMO] — 1980’lerde) gibi bilgisayar destekli GY ve dağıtım sistemleri de gerçek uygulamalar için geliştirilmiştir. Günümüzde birçok havayolu şirketi koltuk paylaştırma kararları ve envanterlerini yönetmek için GY sistemlerini kullanmaktadır. Örnek olarak, üçüncü nesil GY sistemleri talep verilerinin tahmini, rezervasyon limitlerinin eniyilemesi ve fazla rezervasyon modellerini birlikte kullanarak o andaki en iyi rezervasyon limitlerini hesaplayabilmektedir. GY sisteminin performansı, büyük oranda, kontrol limitlerinin ve kontrol edilebilen farklı ücret sınıflarının sayısının güncellenmesinin doğruluğuna ve sıklığına bağlıdır. Bu çerçevede, uygun kontrol limitlerinin belirlenmesi ve zaman içerisindeki yapısal özelliklerin tanımlanması akademik araştırmaların ana odağını oluşturmuştur (McGill ve van Ryzin, 1999). Yapılan deneysel çalışmalar ve benzetim deneyleri sonucunda, GY sisteminin uygun kullanımının havayolu gelirlerini %4-6 oranında artırdığı değerlendirilmiştir (Belobaba, 2009: 92).

Havayolları fazla rezervasyon, tek bacaklı, şebeke modelleri ile tahmin ve dinamik fiyatlandırma yöntemleriyle birlikte GY sistemleri vasıtasıyla envanterlerini etkin şekilde yönetmeye çalışmışlardır. Fakat, teknolojiye ve GY sistemlerinde hâlihazırda kısıtlamalar bulunmaktadır. Son yıllarda rezervasyonlarda internet kanallarının kullanılması ile Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (International Air Transport Association) tarafından Yeni Dağıtım Yeteneği'nin (New Distribution Capability) geliştirilmesi gibi teknolojiye gelişmeler ve akademik çalışmalarla birlikte GY ile ilgili faaliyetlerin artarak devam ettiği gözlenmektedir.

2.2. Literatür Taraması

Literatürde havayolu gelirlerini eniyileme hedefi için fazla rezervasyon, tek bacaklı envanter kontrol ve şebeke envanter kontrol problemleri için geliştirilen modellerin yanı sıra tahmin ve dinamik fiyatlandırma modelleri üzerinde de çalışmalar yapılmıştır. Yolcu iptalleri ve rezervasyonu olduğu halde uçuşa gelmeyen yolculara (no-show) dayanan fazla rezervasyon modelleri 1970'li yıllarda dikkate alınmıştır. Ücret sınıfı talebinin tahmini ve her ücret sınıfı için koltuk paylaşımlarının miktarını (ücret sınıfı rezervasyon limitleri) belirleyen — tek bacaklı GY modelleri için Littlewood (1972) ve Belobaba (1987)'nin çalışmaları — 1980'li yıllarda önemli yer tutmuştur. Bağlantılı uçuşların karmaşık doğası nedeniyle şebeke kontrol modellerine 1990'lı yıllarda odaklanılmıştır (Belobaba, 2009: 92). Dinamik fiyatlandırma modelleri ise özellikle 2000'li yıllardan sonra önem kazanmıştır. Havayolu GY ile ilgili seçilen önemli çalışmalar Çizle 2.1'de sunulmuştur. Modellerle ilgili detaylı bilgi için McGill ve van Ryzin (1999), Talluri ve van Ryzin (2004a: 27-235) ile Belobaba (2009: 73-111) çalışmalarına bakılabilir.

Bu sunulan GY ile ilgili çalışmalardaki talep genel olarak, ücret ürünün için müşteri talebinin satıcı tarafından uygulanan kontrollerden bağımsız olarak gelen isteğin kabul veya red edilmesine bağlı modellenmesi ve herhangi bir ücret ürünü için istek alma olasılığının rezervasyon isteği sırasında hangi ücretlerin hazır bulunduğuyla bağlı olmaması varsayımına dayanmaktadır. Gerçekte ise müşteri seçiminde, tam ücretli bir ürünün satılma olasılığı o anda hazır olan indirimli bir ücret ürününe bağlı olabilir (Talluri ve van Ryzin, 2004b). Bu nedenle, müşteri seçimi davranışının talep modellerine uygun uyarlanması önem arz etmektedir. Bunlarla birlikte, bir sonraki kısımda yapılacak analizde gösterildiği

Çizelge 2.1. Havayolu GY ile ilgili seçilmiş önemli çalışmalar

	Araştırmacı	Model/Açıklama
Tek Bacaklı Koltuk Envanter Problemi	▪ Littlewood (1972)	▪ İki ücret sınıfı
	▪ Belobaba (1987)	▪ BMKGa ve BMKGb (Beklenen Marjinal Koltuk Geliri — Expected Marginal Seat Revenue [EMSR]) modelleri - çok ücret sınıfı
	▪ Belobaba ve Weatherford (1996)	
	▪ Curry (1990)	▪ En iyi rezervasyon limitleri - çok ücret sınıfı
	▪ Wollmer (1992)	
Şebeke Koltuk Envanter Problemi	▪ Brumelle ve McGill (1993)	
	▪ Lee ve Hersh (1993)	▪ Dinamik programlama modeli
	▪ Lautenbacher ve Stidham (1999)	
	▪ Glover, Glover, Lorenzo ve Mcmillan (1982)	▪ İlk çalışmalar
	▪ D'Sylva (1982)	
Fazla Rezervasyon Problemi	▪ Smith ve Penn (1988)	▪ Sanal yuvalama/Yer değiştirme
	▪ Willamson (1992)	▪ ayarlanmış sanal yuvalama
	▪ Vinod (1995)	
	▪ Simpson (1989)	▪ Teklif-fiyat kontrolleri
	▪ Willamson (1992)	
Tahmin	▪ Talluri ve van Ryzin (1998)	
	▪ Fiig, Isler, Hopperstad ve Belobaba (2010)	▪ Ücret ayarlaması yaklaşımı
	▪ Beckmann (1958)	▪ İlk çalışma
	▪ Simon (1968)	▪ Fazla rezervasyon ile ilgili seçilen çalışmalar
	▪ Vickrey (1972)	
Dinamik Fiyatlandırma	▪ Rothstein (1971)	
	▪ Rothstein (1985)	
	▪ Alstrup, Boas, Madsen ve Vidal (1986)	▪ Dinamik programlama
	▪ Chatwin (1996)	
	▪ Beckmann ve Bobkowski (1958)	▪ İlk çalışma
Dinamik Fiyatlandırma	▪ Littlewood (1972)	▪ Tahmin ile ilgili seçilen çalışmalar
	▪ L'Heureux (1986)	
	▪ Lee (1990)	
	▪ Wickham (1995)	
	▪ Weatherford (2016)	
Dinamik Fiyatlandırma	▪ Boyd ve Kallesen (2004)	▪ Melez tahmin
	▪ Belobaba ve Hopperstad (2004)	▪ Q-tahmini modeli
	▪ Gallego ve van Ryzin (1994)	▪ Dinamik fiyatlandırma ile ilgili seçilen çalışmalar
	▪ Bitran ve Mondschein (1997)	▪ Dinamik fiyatlandırma modeli – şebeke kontrolü
	▪ Gallego ve van Ryzin (1997)	
Dinamik Fiyatlandırma	▪ Elmagraby ve Keskinocak (2003)	▪ Dinamik fiyatlandırmaya genel bakış
	▪ Bitran ve Caldentey (2003)	
	▪ Chen ve Chen (2015)	
	▪ Burger ve Fuchs (2005)	▪ Havayolu GY/Dağıtım sistemleri ile dinamik fiyatlandırma arasındaki etkileşimi inceleyen seçilmiş çalışmalar
	▪ Westermann (2006)	
Dinamik Fiyatlandırma	▪ Isler ve D'Souza (2009)	
	▪ Westermann (2013)	

üzere, ücret ayarlamalarından sonra yan gelirler havayolları için önemli bir gelir kaynağı yaratmıştır. Bu bağlamda, bu çalışma ile ilgili literatür, müşteri seçimi davranışı modelleri ve yan gelirlerle ilgili çalışmalar olarak sınıflandırılabilir. Bunlarla birlikte, bir yan gelir ürünü olan ve bu tezde faydalanılan ücret kilidine yönelik çalışmalar ayrı olarak gösterilmiştir.

Müşteri seçimi davranışı literatürde çeşitli araştırmacılar tarafından çalışılmıştır ve tek bacaklı ve şebeke uçuşları için uygulanmıştır. Müşteri seçimi davranışı bir sonraki bölümde açıklanan “Müşteri Seçimi Teorisi”ne dayanmaktadır. Ulaştırma sistemlerinde talebin modellenmesine ve müşteri seçiminin analiz edilmesine ilişkin detaylı bilgi için Ben-Akiva ve Lerman (1985: 31-131) ile Talluri ve van Ryzin (2004a: 301-331) çalışmalarına başvurulabilir. Bu alanda, bağımsız talep varsayımı altında müşteri seçimi davranışının etkilerini araştıran Belobaba ve Hopperstad (1999) önemli bir çalışma olarak gösterilebilir. Bu tezde kullanılan müşterilerilerin önerilen ürünlerin seti arasından seçim yapması fikri ilk olarak Talluri ve van Ryzin (2004b) tarafından önerilmiştir. Talluri ve van Ryzin (2004b) tarafından, tek bacaklı uçuşlarda müşteri seçim davranışının modellendiği, etkin setlerin belirlenerek söz konusu setlerin en iyi politikada kullanıldığı, geliş oranlarının ve seçim modeli parametrelerinin tahmininin yapıldığı model çalışılmıştır. Ayrıca, aynı yazarlar tarafından (2004a: 62-75) yapılan çalışmada tek bacaklı uçuşlar için müşteri seçimi davranışı incelenmiştir. Gallego, Iyengar, Phillips ve Dubey (2004) tarafından esnek ürünlerle¹ ilgili yapılan çalışmada şebekeler için Seçim Tabanlı Deterministik Doğrusal Programlama (STDDP) modeli önerilmiştir. Liu ve van Ryzin (2008) tarafından şebeke GY ile ilgili yapılan çalışmada ise Gallego ve diğerleri (2004) tarafından yapılan çalışma geliştirilerek, Talluri ve van Ryzin (2004b) tarafından önerilen etkin setler en iyi politikada kullanılmış ve ayrıştırma sezgiseli önerilmiştir. Bront, Méndez-Díaz ve Vulcano (2009) tarafından şebeke için geliştirilen modelde, Liu ve van Ryzin (2008) tarafından önerilen modele ilave olarak kesişen segmentler çalışılmış, çözüme ilişkin sütun türetme yaklaşımı ve açgözlü sezgisel önerilmiştir. Aynı konuda, Kunnumkal ve Talluri (2016), Meissner ve Strauss (2012), Vossen and Zhang (2015) ve Zhang ve Adelman (2009) tarafından şebekede çözümü zor değer fonksiyonuna yaklaşım yöntemleri önerilmiş, Kunnumkal ve Topaloglu (2010) ve Zhang (2011) tarafından ayrıştırma yöntemleri geliştirilmiş, Meissner, Strauss ve Talluri (2013), Kunnumkal ve

¹ Esnek ürün, esnek ürünü satın alan alıcının, satıcı tarafından daha sonraki bir tarihte alternatiflerden birine atandığı, aynı pazara hizmet eden iki veya daha fazla alternatifli ürün setidir (Gallego ve diğerleri, 2004).

Talluri (2019a, 2019b) ve Talluri (2014) tarafından gevşetme fikirleri sunulmuştur. Rusmevichientong, Shmoys, Tong ve Topaloglu (2014) tarafından ise Çok Terimli Lojit (ÇTL) modeli altında çeşitlendirme eniyilenmesi çalışılmıştır. Gallego, Ratliff ve Shebalov (2015) tarafından ise müşteri seçimi için geliştirilmiş çekim modeli ve satışa dayalı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Seçim tabanlı GY'nin detaylı incelemesi için Strauss, Klein ve Steinhardt (2018) çalışmasından faydalanılabilir.

Yan gelirlerle ilgili literatür incelendiğinde, havayolu yan gelirlerin önemine ilişkin olarak Avram (2017), Babić, Ozmec-Ban ve Bajić (2019), O'Connell (2011: 145-169) ve Önen (2018) çalışmalarına bakılabilir. Ücret ürünü ve yan gelirlerin fiyatının dinamik olarak belirlenmesine ile ilgili dinamik fiyatlandırmaya yönelik çalışmalar Fiig, Le Guen ve Gauchet (2018), Ødegaard ve Wilson (2016), Shukla, Kolbeinsson, Otwell, Marla ve Yellepeddi (2019) ve Song ve Li (2018) olarak sıralanabilir. Güzergâh ve ücret sınıfını dikkate alarak rekabetçi ortamda yan gelirlerin havayolu gelirlerine etkisini araştıran Bockelie (2019), Bockelie ve Belobaba (2017), Hao (2014), Lu (2019) ve Wang (2020) olarak değerlendirilebilir. Yan gelirlerle ilgili müşteri davranışına yönelik anket bazlı çalışmalar ise Akpınar (2019), Çetiner, Güneş ve Peker (2019), Leon ve Uddin (2017a, 2017b), O'Connell ve Warnock-Smith (2013), Peksatıcı (2016), Song ve Lee (2019), Şengür, Ustaömer ve Uzgör (2017), Uslu, Sezen ve Karakadılar (2019), Warnock-Smith, O'Connell ve Maleki (2017) ve Wittmer and Rowley (2014) olarak düşünülebilir. Diğer çalışmalar ise yan gelirin müşteri davranışına etkilerine araştıran Tuzovic, Simpson, Kuppelwieser ve Finsterwalder (2014), yan gelirlerde çapraz satış metodolojisini inceleyen Bildea ve Gorin (2018), yan gelirin finansal performans ile ilgili etkilerini inceleyen Atik (2019) ve seyahat değer zincirinde yan gelirin etkisini ineleneyen Vinod ve Moore (2009)'un çalışmalarıdır. Ayrıca, Buyruk ve Güner (2018, 2022a) tarafından havayolları GY'deki kişiselleştirme çalışmalarında yan gelirlerin GY modellerine eklenmesi ile ilgili öneriler sunulmuştur. Cezasız iade/değişiklik hakkına yönelik olarak, Rothstein (1985) tarafından iptali içeren ve temeli 1950'lere dayanan fazla rezervasyon incelenmiştir ve konu ile ilgili Feng, Lin ve Xiao (2003), Gorin, Walczak, Bartke ve Martin Friedemann (2012), Mirzaei, Ødegaard ve Yan (2016) ile Petraru (2016) çalışmalarına bakılabilir.

Bir yan gelir ürünü olan ücret kilidi ile ilgili M. Chen ve Z. Chen (2015) tarafından gelecekte araştırma yapılabilecek bir alan olarak belirtilmiştir. Ücret kilidi seçeneğine ilişkin literatür araştırıldığında, GY alanında yapılan üç çalışma olduğu tespit edilmiştir.

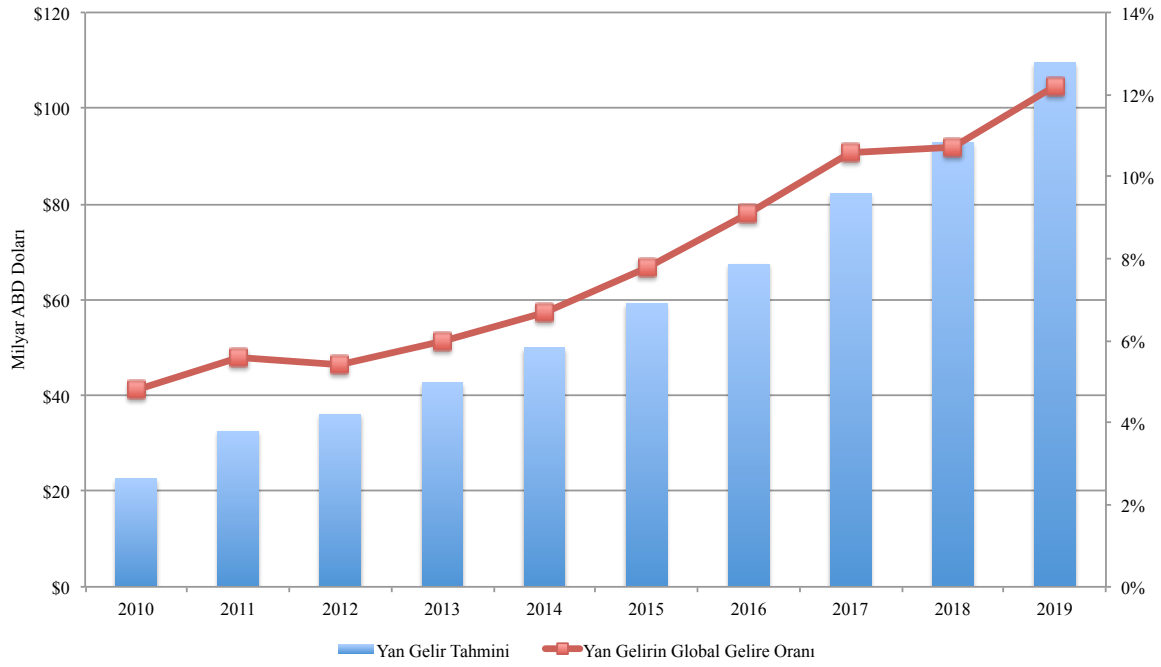
Çalışmaların ilkinde, Aydın, Birbil ve Topaloğlu (2017) tarafından tek bacaklı uçuşta ücret kilidinin genel gelire olan etkisi araştırılmıştır. Ücret kilidi ile ilgili yapılan ikinci çalışmada, Sumida ve Topaloğlu (2019) tarafından tek bacaklı uçuşta toplam beklenen gelirin eniyilemesi için her dönemde hangi ücret sınıfının hazır bulunacağına karar verilen politika bulunmaya çalışılmıştır. M. Chen ve Z. Chen (2019) tarafından yapılan üçüncü çalışmada, havayolunda ücret kilidi mevcut olduğunda müşteri davranışı modellenmiş ve ilgili dinamik fiyatlandırma problemi çalışılmıştır. Ayrıca, Buyruk ve Güner (2021, 2022b) tarafından yapılan çalışmalarda ücret kilidi modellerinin geliştirilmesi ile yan gelirler hazır bulunduğu müşteri seçimi davranışı incelenmiştir.

Söz konusu çalışmalar incelendiğinde, ücret kilidi modeli ve müşteri seçimi davranışının birlikte ele alındığı bir çalışma olmadığı ve bu modelin geliştirildiği yan gelirlerle ilgili müşteri seçimi davranışına ilişkin dinamik ve doğrusal modellerin önerilmediği tespit edilmiştir.

2.3. Yan Gelirlerin Analizi

Havayolları envanterlerindeki koltukların ücret seviyeleri ayarlamalarından sonra fazla bagaj, koltuk seçimi ve uçak içi ikramlar gibi yan gelirlerden de son yıllarda büyük miktarlarda gelir elde etmeye başlamışlardır. O'Connell (2011: 145) tarafından yan gelirler, bilet ücreti ödendikten sonra internet sitesi veya seyahat esnasında havayolları tarafından kazanılan ek gelirler olarak tanımlanmıştır. Ücret kilidi de dâhil olmak üzere yan gelirlerin havayolu gelirlerinin önemli bir parçası haline geldiği düşünülmektedir.

Yan gelirlerle ilgili danışmanlık şirketi olan IdeaWorksCompany (2019a) tarafından dünya çapında havayollarının yan gelirlerinin 2010 yılında 22,6 milyar dolardan 2018 yılında 92,9 milyar dolara yükseldiği ve 2019 yılında ise 109,5 milyar dolar yükseleceği tahmin edilmiştir (IdeaWorksCompany, 2019a). Yıllara göre ABD doları bazında yan gelir tahmini ve yan gelirin global gelire oranı Şekil 2.3'de sunulmuştur. Söz konusu şekle bakıldığında, 2010 yılından itibaren yan gelirlerde artış görüldüğü ve yaklaşık beş kat arttığı, ayrıca, yan gelirlerin global gelire oranının yıllara göre yükseldiği görülmektedir.



Şekil 2.3. Yıllara göre yan gelir tahmini ve yan gelirin global gelire oranı (IdeaWorksCompany, 2018a, 2019a)

Toplam yan gelir bazında 2018 yılında dünyadaki ilk 10 havayolu ve gelir tahminleri Çizelge 2.2’de sunulmuştur (IdeaWorksCompany, 2019b). Sık uçan yolcu programı ve bagaj ücretleri gibi yan gelirlerden American, United ve Delta Havayolları 5 milyar ABD Doları üzerinde gelir elde etmiştir. Bu üç şirketten sonra, ilk on havayolu arasında bulunan Southwest, Ryanair, Lufthansa Group, Air France/KLM, easyJet, Spirit ve Air Canada yan gelirlerden 2018 yılında 1 milyar ABD Dolarının üzerinde gelir elde etmiştir (IdeaWorksCompany, 2019b). Havayollarına bakıldığında Southwest, Ryanair, easyJet, Spirit havayollarının düşük ücretli taşıyıcılar olduğu, diğerlerinin ise geleneksel havayolu olduğu görülmektedir. Türkiye’de düşük ücretli taşıyıcı sınıfındaki Pegasus Havayollarının 2017 yılındaki tahmini yan geliri ise 328 milyon ABD Doları civarındadır (IdeaWorksCompany, 2018b).

Yan gelirin toplam gelire oranına bakıldığında 2018 yılında dünyadaki ilk 10 havayolu Çizelge 2.3’de sunulmuştur. Tablo incelendiğinde %50’ye yaklaşan oranda yan geliri bulunan havayolu bulunduğu tahmin edilmiştir (IdeaWorksCompany, 2019b). Havayollarının hepsi ise düşük ücretli taşıyıcılardır. Pegasus Havayollarının 2017 yılındaki tahmini ise %21,6 olmak üzere aynı yılda üst sıralarda yer almaktadır (IdeaWorksCompany, 2018b).

Çizelge 2.2. Toplam yan gelir bazında 2018 yılında dünyadaki ilk 10 havayolu ve gelir tahminleri (IdeaWorksCompany, 2019b)

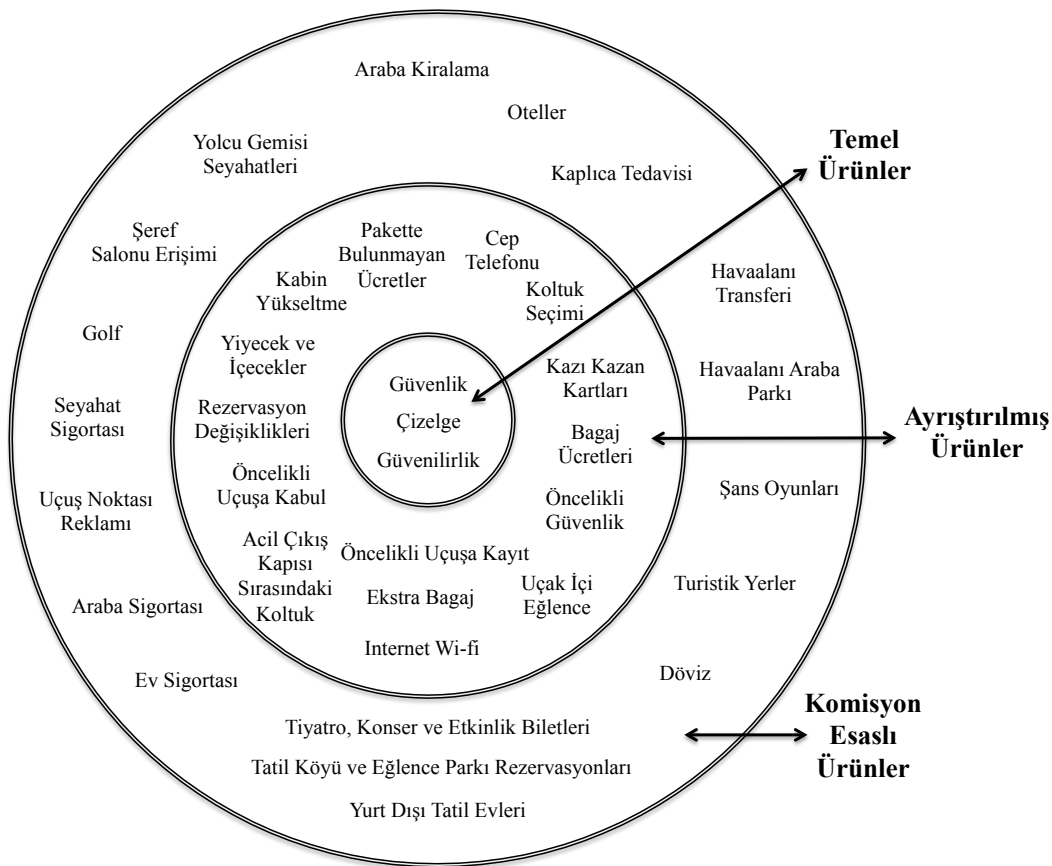
Havayolu	Ülke	Yan Gelir Tahmini (Milyar ABD Doları)
American	ABD	7,245
United	ABD	5,802
Delta	ABD	5,570
Southwest	ABD	4,049
Ryanair	İrlanda	2,802
Lufthansa Group	Almanya	2,628
Air France/KLM	Fransa/Hollanda	2,579
easyJet	Birleşik Krallık	1,598
Spirit	ABD	1,493
Air Canada	Kanada	1,453

Çizelge 2.3. Yan gelirin toplam gelire oranında 2018 yılında dünyadaki ilk 10 havayolu ve gelir tahminleri (IdeaWorksCompany, 2019b)

Havayolu	Ülke	Yan Gelirin Toplam Gelire Oranı (%)
Viva Aerobus	Meksika	47,6
Spirit	ABD	44,9
Frontier	ABD	42,8
Allegiant	ABD	41,2
Wizz Air	Macaristan	41,1
Volotea	İspanya	34,8
Volaris	Meksika	32,3
Ryanair	İrlanda	31,7
Jet2.com	Birleşik Krallık	31,1
AirAsia Group	Malezya	29,9

Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3 incelendiğinde düşük ücretli taşıyıcıların yan gelirlerden yüksek oranda ilave gelir sağlayabildikleri, geleneksel havayollarının da yan gelirlerden büyük miktarda gelir elde edebildikleri tespit edilmektedir. Bahse konu açıklamalar çerçevesinde, yan gelirlerin havayolları için artan bir öneme sahip olduğu açıkça görülmektedir. Bu bağlamda, bu çalışmada havayolları tarafından sunulan ürünlerin satın alınma seçimiyle birlikte son yıllarda büyük önem arz eden yan gelirlere odaklanılması planlanmıştır.

O'Connell (2011: 165, 166) tarafından havayolu ürünleri Şekil 2.4'de gösterilen üç kategoriye ayrılmıştır. Bu kategorilerden ilki olan temel havayolu ürünleri ücret gerektirmez ve havayolunun başarılı olması için olmazsa olmazdır. İkinci kategorideki ayrıştırılmış ürünlerin uçuş öncesi, uçuş sırasında ve sonrasında gelir sağlama imkânı vardır. Birçok havayolu fazla bagaj gibi ilave ürünleri ekleyerek paketler ya da ücret aileleri oluşturmakta ve yan gelir sağlamaktadır. Son kategoride bulunan komisyon esaslı yardımcı ürünler ise havayolu sitesinde otel rezervasyonu gibi münferit seyahat bileşenleri entegre edilerek gelir sağlanmasına imkân tanımaktadır.



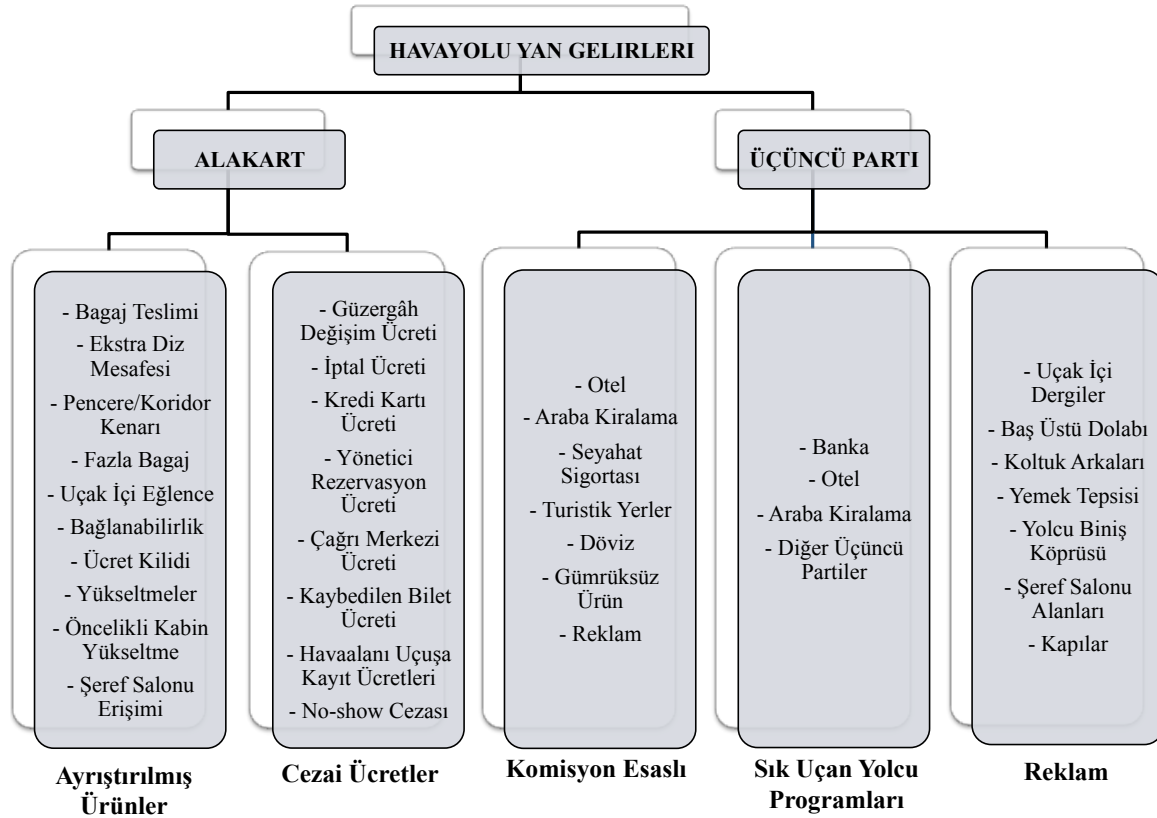
Şekil 2.4. Temel havayolu ürünleri ile gelir sağlayıcı ürünlerin haritası (O'Connell, 2011: 166)

IdeaWorksCompany (2018b) tarafından yan gelirler aşağıda sunulan beş kategoriye ayrılmıştır.

- **Alakart Özellikler:** Bunlar yan gelir menüsünde olan ve müşterilerin seyahatlerinde ekleyebileceği kolaylıklardır. İçeriğinde, uçak içi yiyecek ve içecek satışı, bagaj kaydı veya fazla bagaj, koltuk seçimi, rezervasyonlar için çağrı merkezi desteği, kredi kartıyla yapılan satışlar için alınan ücretler, öncelikli uçuşa kayıt (check-in) ve güvenlik taraması, öncelikli uçuşa kabul (boarding), uçak içi eğlence sistemi, kablosuz internet erişimi vardır.
- **Komisyon Esaslı Ürünler:** Otel rezervasyonları, araba kiralama ve seyahat sigortasının satışından elde edilen komisyonla ilgili yan gelir faaliyetleridir. Komisyon temelli kategori esasen havayolunun internet sitesi ile ilgili işlemleri içerir, ancak uçak için gümrüksüz ürün satışı veya müşteri ürünlerini de ihtiva edebilir.
- **Sık Uçan Yolcu Programları:** Bu kategori oteller veya araba kiralama şirketleri, kredi kartları, çevrimiçi alışveriş, perakendeciler ve haberleşme servisleri gibi program ortaklarından elde edilen miller veya puanlarla ilgilidir. Program üyelerine doğrudan yapılan mil veya puan satışı da dâhildir.
- **Havayolları Tarafından Satılan Reklam:** Bu kategori yolcu seyahatiyle bağlantılı tüm reklam girişimlerini kapsar. Bunlar, uçak içi dergiden elde edilen gelir, satılan uçak içi/yükleme köprüleri/kapı alanları/şeref salonlarındaki reklam mesajları ve müşteri ürünleri veya örneklerinin ücretli şekilde yerleştirilmesidir.
- **Ücret ve Ürün Paketleri:** Havayolları ekonomi sınıfı paketleri veya ürün paketleri ile ilgili fiyatın bir kısmını yan gelir olarak paylaşırabilir. Bu da bagaj kaydı, öncelikli uçuşa kabul veya ekstra diz mesafesi gibi paketin içindeki servislere gelir değeri verilmesiyle belirlenir.

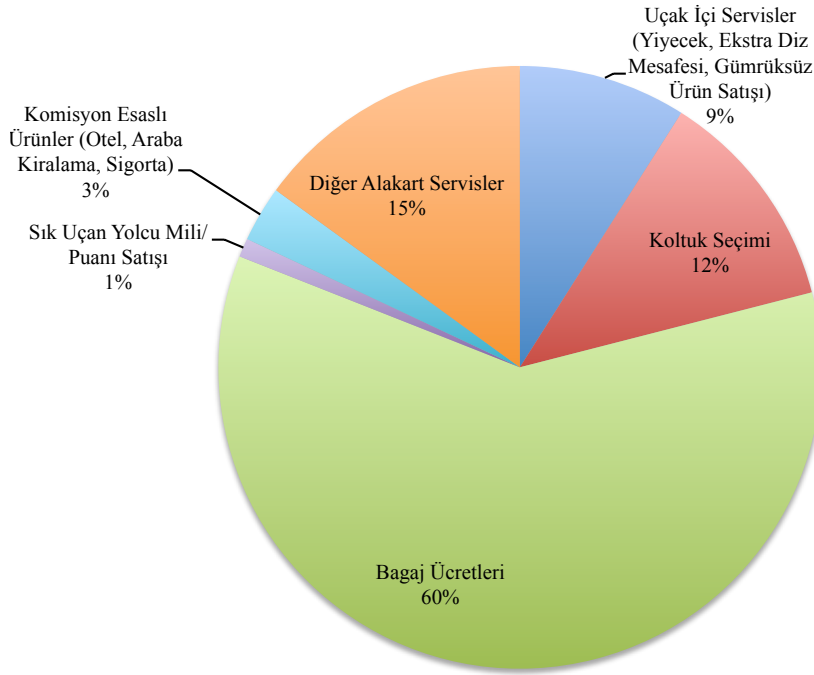
Warnock-Smith ve diğerleri (2017) tarafından ise havayolu yan gelirleri Şekil 2.5’de sunulan alakart ve üçüncü parti olmak üzere iki ana başlığa ayrılmıştır. Alakart gelirler, ürün veya servisin ayrı olarak satılması ile elde edilen gelirlerdir ve

ayrıştırılmış ürünler ile cezai ücretler olarak ikiye ayrılmaktadır. Diğer kategori ise üçüncü partiler tarafından sunulan komisyon esaslı ürünler, sık uçan yolcu programları ve reklamları içerir. Araştırmacılara göre düşük ücretli taşıyıcılarda fazla bagaj, yiyecek ve içecek, öncelikli uçuşa kabul, koltuk seçimi gibi ürünlerin yanı sıra geleneksel havayollarında işle ilgili seyahatlerde ekstra diz mesafesi gibi ayrıştırılamamış ürünlerin ödeme istekliliğinin daha yüksek olduğu, komisyon esaslı ürünlerin ödeme istekliliğinin ise düşük olduğu belirtilmiştir (Warnock-Smith ve diğerleri, 2017).



Şekil 2.5. Alakart ve üçüncü parti yan gelir ürünlerinin özellikleri (Warnock-Smith ve diğerleri, 2017)

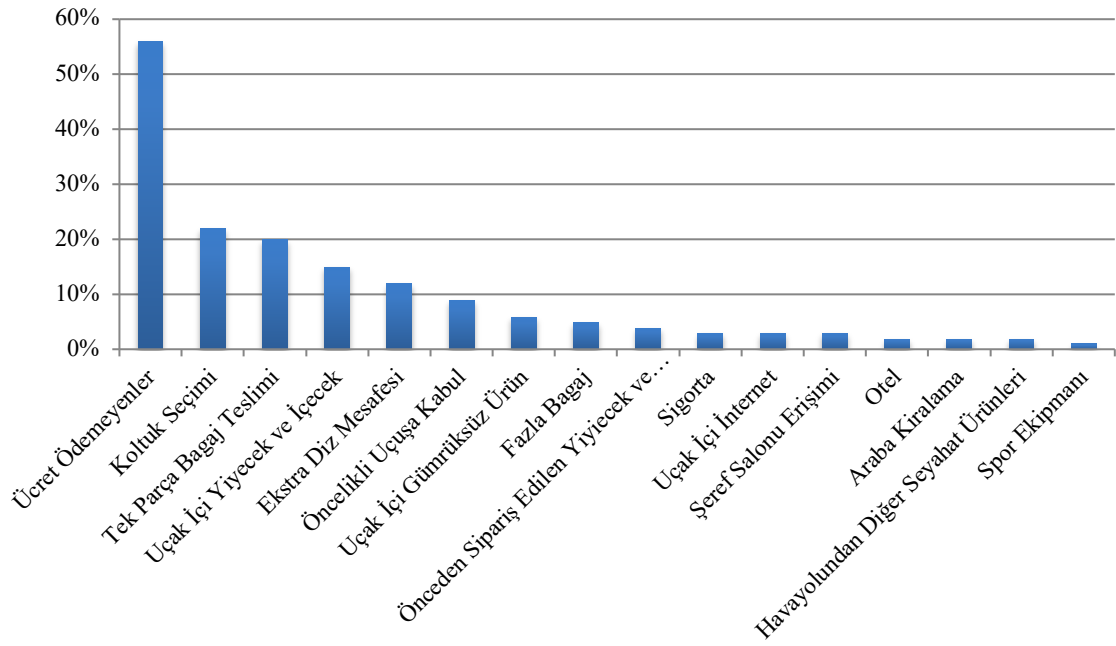
Dünya çapındaki düşük ücretli taşıyıcılarda yan gelirler için 2017 yılı ile ilgili yapılan analiz sonucunda Şekil 2.6'da sunulan bileşenler ortaya çıkmıştır (IdeaWorksCompany, 2018a). Şekle göre bagaj ücretlerinin yan gelirlerin büyük bir bölümünü oluşturduğu, bu ürünü koltuk seçimi, uçak içi servisler ve diğer alakart servislerin takip ettiği görülmektedir. Komisyon esaslı ürünler ve sık uçan yolcu mili/puan satışlarının ise çok az gerçekleştiği önerilmiştir. Warnock-Smith ve diğerleri (2017) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre alakart ürünlerin müşteriler tarafından daha çok tercih edildiği görülmektedir.



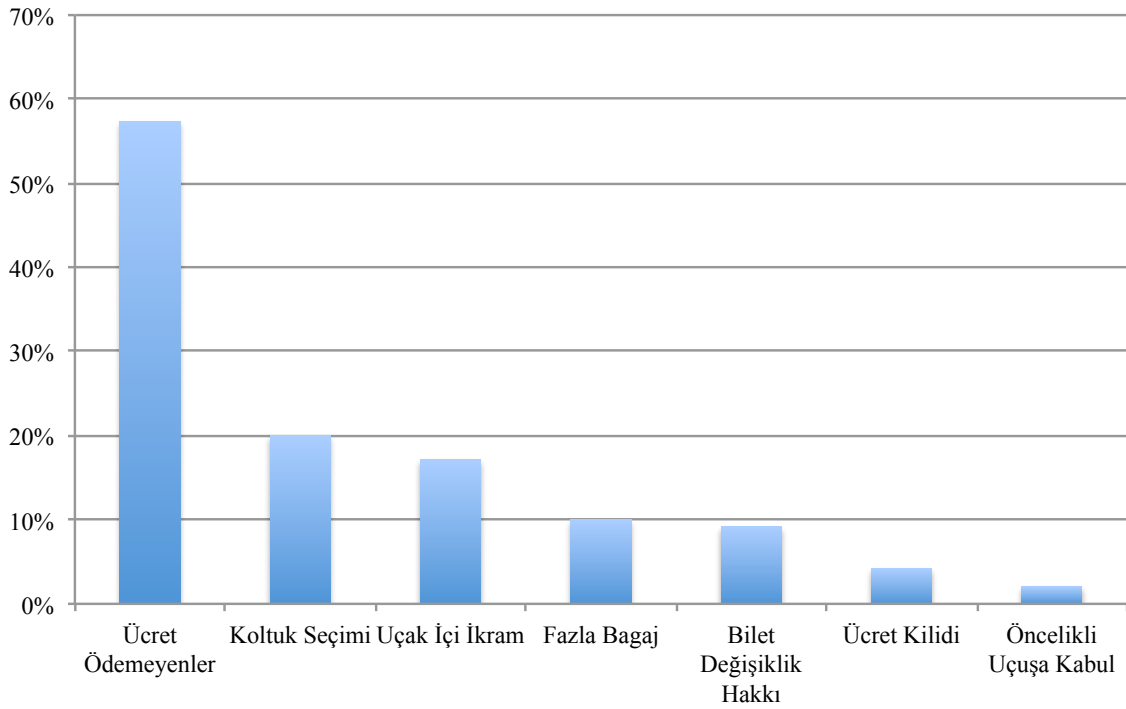
Şekil 2.6. Ana yan gelir bileşenleri (IdeaWorksCompany, 2018a)

Warnock-Smith ve diğerleri (2017) tarafından yapılan çalışmada, 37 ülkeden 220 katılımcı içinden 170'inin tam cevap verdiği anket sonucunda bulunan yan gelir ürünlerini satın alan katılımcı oranları Şekil 2.7'de sunulmuştur. Şekilde ücret ödemeyenlerin %50'den fazla bir kesimin oluşturduğu, koltuk seçimi, bagaj teslimi ve uçak içi yiyecek ve içecek ürünlerinin sırasıyla katılımcılar tarafından daha fazla tercih edildiği görülmektedir.

Yan gelir ürünlerin satın alınması ilişkin eğilimler Şengür ve diğerleri (2017) tarafından incelenmiştir. Araştırmacılar tarafından yapılan anket sonucunda, 218 katılımcının yan gelir için ücret ödemediği, 162 katılımcıdan; 76'sının koltuk seçimi için, 65'inin uçak içi ikram (yiyecek ve içecek) için, 38'inin fazla bagaj için, 35'inin esnek bilet için, 16'sının ücret kilidi (bilet fiyatını sabitleme) için, 8'inin öncelikli uçuşa kabul için ücret ödediği sonucuna ulaşılmıştır. Bu çerçevede, yolcuların yan gelir ürünlerini satın alan katılımcı oranları Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde bir katılımcının birden fazla yan gelir ürünü için ücret ödeyebileceği, koltuk seçimi ve uçak içi ikramın daha fazla tercih edildiği görülmektedir.



Şekil 2.7. Warnock-Smith ve diğerleri (2017) tarafından yapılan çalışmada yan gelir ürünlerini son dönemdeki uçuşlarında satın alan katılımcı oranları²



Şekil 2.8. Şengür ve diğerleri (2017) tarafından yapılan çalışmada yan gelir ürünlerini satın alan katılımcı oranları

² Araştırmacılar tarafından değerler çalışmada sunulmadığından oranlar yaklaşıktır.

IdeaWorksCompany (2018a), Şengür ve diğerleri (2017) ile Warnock-Smith ve diğerleri (2017) tarafından yapılan çalışmalar incelendiğinde koltuk seçimi, fazla bagaj ücretleri ve uçak içi ikramın yan gelirlerin büyük bir bölümünü oluşturduğu görülmektedir. Bu ürünler alakart ürünlerdir.

Bir sonraki bölümde bu çalışmada kullanılan müşteri seçimi davranışı ve ücret kilidi modelleri ile ilgili temel bilgiler sunulacaktır.

3. TEMEL MODELLER

3.1. Müşteri Seçimi Davranışı Modeli

Müşteri seçimi davranışı modeli “Müşteri Seçim Teorisi”ne dayanmaktadır. Yaygın olarak kullanılan seçim teorilerinde, müşteriler kendileri için en uygun sonuca ulaşmak amacıyla ne, ne zaman ve ne kadar satın alacaklarını akıllıca değiştiren rasyonel karar vericiler olarak varsayılır. Bu rasyonellik varsayımının önemli bir neticesi, her müşteriye olası seçimler ve sonuçları arasında eniyileyen bir unsur olarak ele alarak müşteri davranışının “tahmin edilebilmesidir.” Bundan dolayı, eniyileme teorisi bu davranışı modellemek için kullanılabilir (Talluri ve van Ryzin, 2004a: 657).

Literatürde ulaştırma talebinin modellenmesinde kesikli seçim analizi yöntemleri kullanılmaktadır (Ben-Akiva ve Lerman, 1985: 1). Bu tezde kesikli seçim yöntemi olarak ulaştırma talebinin tahmini için önemli bir uygulama alanı bulunan (Talluri ve van Ryzin, 2004a: 308) Çok Terimli Lojit (ÇTL) modeli ele alınmıştır. Bundan sonraki kısımda, müşteri seçiminin temelinden başlanılarak ÇTL modeli açıklanacaktır.

3.1.1. Seçim ve tercih ilişkisi ile fayda fonksiyonları

Seçim, iki alternatif verildiğinde, bir alternatifin diğerine tercih edildiği bir ifadeye karşılık gelmektedir. Burada, “alternatifler” farklı ürünler, aynı ürünün farklı miktarları, farklı ürün paketleri ya da çeşitli belirsiz sonuçlar (örneğin, satış bedeli üzerinden ev almak veya açık artırmada teklif vermek ve beklemek) olarak adlandırılabilir. Aynı şekilde, n alternatif verildiğinde, *seçim* bu n alternatif arasında ikili karşılaştırmaların tamamının ifade edildiği tercihler bakımından tanımlanabilir (Talluri ve van Ryzin, 2004a: 657).

Seçim ve tercih kavramını şekillendiren matematiksel yapı *tercih ilişkisidir*. Müşterilerin X seti içerisindeki alternatiflerin arasında *ikili tercih* setine sahip olduğu varsayılır. Bu da, X seti içerisinde x ve y alternatifleri verildiğinde, müşteriler bu alternatifleri sıraya koyar ve bir alternatiften diğerini seçtiğini açıkça ifade eder. Bu ifade $x \succ y$ gösterimi ile temsil edilir. Eğer müşteri x alternatifini y alternatifine kesin surette tercih ederse $x \succ y$ gösterimi ile ifade edilir (Talluri ve van Ryzin, 2004a: 657).

Tercih ilişkileri fayda fonksiyonlarının varlığıyla yakından ilişkilidir. Bu aşağıdaki teoremle tanımlanabilir.

TEOREM 2.1 Eğer X sonlu bir setse, ancak ve ancak $u : X \rightarrow \mathbb{R}$ fonksiyonu (fayda fonksiyonu olarak adlandırılır.) varsa ikili ilişki $>$ tercih ilişkisidir. Bu da,

$$x > y \text{ ancak ve ancak } u(x) > u(y)$$

Bu teorem uymaktadır çünkü eğer müşteri tercih ilişkisine sahipse, tüm ürünlerin tercihlerine göre sıralandırılabilir, fayda fonksiyonu bu sıralamaya denk gelen sayısal değeri tayin etmektedir (Talluri ve van Ryzin, 2004a: 659).

3.1.2. Kesikli seçim ve olasılıklı fayda modelleri

Talep tahmini ulaştırma sistemlerinin analizi için gerekli bir ögedir ve ulaştırma servisleri ve tesislerindeki müşterilerin davranışı ile ilgilidir. Müşteriler, şehir, şehirlerarası ve uluslararası ulaştırma pazarındaki mallarla ilgili seyahat edenler veya sevk edenleri içerir. Birey, aile veya firmanın davranışı kesikli değişkenlerle gözlenmektedir. Örnek olarak, ailenin araba sahibi olması veya olmaması ikili, evet veya hayır, bağımlı değişkenini belirtmektedir (Ben-Akiva ve Lerman, 1985: 1-2).

Kesikli seçim analizi tarafından karşılaşılan ana problem, alternatifler arasında ayrışık ve kapsayıcı alternatif seti arasından seçimi modellemektir. Kesikli seçim analizi fayda enbüyükleme prensibini kullanmaktadır. Kısaca, karar verici seçim yapılan zamanda hazır bulunan alternatiflerden en yüksek faydayı seçen olarak modellenmektedir. Uygulanabilir model, gözlenebilir bağımsız değişkenler ve bilinmeyen parametrelerin yer aldığı fayda fonksiyonlarından meydana gelmektedir. Bunların değerleri, seçim durumu ile karşılaşan bir karar verici tarafından yapılan gözlenen seçimlerin örneklemeden tahmin edilir (Ben-Akiva ve Lerman, 1985: 2-3).

Tüm bireyler tarafından seçilen alternatiflerin tahmininde her zaman başarılı olmayı sağlayacak bir kesikli çözüm modeli modellemek olanaksızdır. Bu yüzden, ilk kez psikolojide ortaya çıkan olasılıklı fayda kavramı benimsenmiştir. Alternatiflerin gerçek faydaları olasılıklı değişkenler olarak kabul edilir, böylece bir alternatifin seçilme olasılığı

hazır bulunan alternatifler arasından en büyük faydaya sahip olan olasılık olarak tanımlanır (Ben-Akiva ve Lerman, 1985: 3).

Olasılıklı fayda modelleri müşteri faydasının olasılıklı modelini temel alır. Bu modeller birkaç nedenden dolayı önemlidir. İlk olarak, olasılıklı modeller müşteri popülasyonu arasındaki tercih farklılıklarını temsil etmek için kullanılabilir. İkincisi, müşterinin tercihi dikkate alındığında etkileyen tüm ilgili değişkenlerin gözlemlenmesindeki (diğer alternatifler, bunların fiyatları, müşterinin varlığı vb.) firmanın yetersizliği nedeniyle tercih sonuçları içerisinde belirsizliği modelleyebilirler. Üçüncüsü, müşterilerin zaman içerisindeki tercihlerinin bilerek değiştirdiği durumları modelleyebilirler (örnek olarak, film veya yemek tercihi). Son olarak, olasılıklı seçim doğası gereği öngörülemeyen davranışa sahip müşterileri modellemek için kullanılabilir. Bunlar, iyi tanımlanmış tercihlere göre tutarsız davranışlar sergileyen ve bir alternatifi diğerine tercih eden olasılıklı eğilimlerin sadece birazını gösteren müşterilerdir (Talluri ve van Ryzin, 2004a: 304).

Bu nedenlerden dolayı, firmanın herhangi bir müşterinin fayda fonksiyonu üzerinde sadece olasılıklı bilgiye sahip olduğu varsayımı geçerlidir. Bu alternatifler için müşterilerin faydalarının olasılıklı değişkenler olduğu varsayımıyla modellenabilir. n kadar alternatif $j = 1, \dots, n$ olarak tanımlansın. Müşteri j alternatifi için U_j faydasına sahiptir. Bu fayda, deterministik olan u_j *sistemik* veya *temsili* fayda ve ξ_j *olasılıklı* fayda veya bozukluklar olarak ayrılabilir (Ben-Akiva ve Lerman, 1985: 60; Talluri ve van Ryzin, 2004a: 304). Böylece,

$$U_j = u_j + \xi_j, \quad (3.1)$$

ve kişinin S setindeki alternatifler içinden j alternatifini seçme olasılığı aşağıdaki gibidir.

$$P_j(S) = P(U_j \geq \max\{U_i: i \in S\}). \quad (3.2)$$

Diğer bir deyişle, S setindeki alternatifler arasında en yüksek faydayı sağlayan j alternatifinin olasılığıdır (Talluri ve van Ryzin, 2004a: 304). S setinde iki farklı alternatif varsa, birinci alternatif seçimi aşağıdaki gibi gösterilebilir (Ben-Akiva, 2008):

$$\begin{aligned}
P_1(S) &= P(U_1 \geq U_2) = P(U_1 - U_2 \geq 0), \\
&= P(u_1 + \xi_1 \geq u_2 + \xi_2), \\
&= P(u_1 - u_2 \geq \xi_2 - \xi_1), \\
&= P(u_j \geq \xi_j) = F_\xi(u_j).
\end{aligned} \tag{3.3}$$

Sistematik bileşen u_j j alternatifinin gözlenebilen değişkenlerinin fonksiyonu olarak modellenmektedir. Genel varsayım bu bileşenin doğrusal olarak aşağıdaki gibi modellenmesidir.

$$u_j = \beta^T x_j \tag{3.4}$$

Burada β parametrelerin vektörü ve x_j alternatif j için özellik değerlerinin vektörüdür. Bu x_j vektöründeki özellikler fiyat, kalite ölçütleri veya ürün özelliklerini gösteren değişkenler olabilir ya da müşterilerin özelliğini tanımlayan değişkenleri (segment değişkenleri) içerebilir (Ben-Akiva, 2008; Talluri ve van Ryzin, 2004a: 304). Ayrıca, bu fayda karar vericiyi tanımlayan karakteristikleri ihtiva edebilir. Bunlar, gelir, cinsiyet ve eğitim gibi sosyo-ekonomik değişkenlerdir (Ben-Akiva, 2008). β parametreleri N gözlem içeren örnekten tahmin edilir. En yaygın olarak kullanılan tahmin prosedürü en büyük olasılırlık tahminidir (Ben-Akiva ve Lerman, 1985: 80).

ξ_j olasılıklı terimleri bilgi kusurlarını gösterir. Bunlar, gözlenmeyen özellikleri, gözlenmeyen zevk farklılıklarını, ölçüm hatalarını, temsili değişkenlerinin kullanımını içeren eksik bilgiyi içermektedir. Tipik modeller lojit³ (bağımsız özdeşçe dağılmış “Uç Değer” hata terimleri, yani Gumbel, Tip I) ve probit⁴ (normal hata terimleri) olarak gösterilebilir. Probit modelin kapalı formu yoktur. Lojistik dağılım kullanılır, çünkü normal dağılıma oldukça iyi yaklaşır, analitik olarak uygundur ve Gumbel uç değer dağılımı olarak doğrulanabilir. Lojit normal dağılıma göre daha şişman kuyruklara sahiptir (Ben-Akiva ve Lerman, 1985: 55-57, 70-71; Ben-Akiva, 2008). Fayda fonksiyonunun bu bileşeni bozuklukların ortalaması problemi olarak ele alınmıştır. Seçim olasılıkları iki faydaya da aynı bir sabit eklenmesiyle etkilenmemektedir, yani bağıl değeri (farkı olarak ölçüldüğü için) etkilenmemektedir. Eğer birinci alternatifin bozukluk ortalaması ikinci

³ Lojit terimi Lojistik Olasılık Birim’den (Logit - **Logistic Probability Unit**) gelmektedir (Ben-Akiva, 2008). Tez boyunca lojit terimi kullanılması tercih edilmiştir.

⁴ Probit ismi Olasılık Birim’den (Probit – **Probability Unit**) gelmektedir (Ben-Akiva, 2008).

alternatiften büyükse bu fark sistematik bileşen u_1 'e eklenebilir. Bu sistematik bileşene sabit eklendiği sürece, bozuklukların ortalamaları genelliği kaybetmeden herhangi bir sabite eşit olmasıyla tanımlanabileceğini ima etmektedir. Genel olarak, en uygun varsayım bozuklukların sıfır ortalamaya sahip olmasıdır. Bu nedenle, sıfır ortalamada olmayan bozuklukların fayda fonksiyonunun sistematik bileşende hesaba katıldığı varsayılmaktadır (Ben-Akiva ve Lerman, 1985: 64-65).

Fayda fonksiyonuna örnek olarak; bir müşterinin Çizelge 3.1'de yer alan özelliklerde ücretli veya ücretsiz yolu kullanımına ilişkin fayda fonksiyonları aşağıdaki gibi yazılabilir (Ben-Akiva, 2008).

$$U_1 = -\beta_1 t_1 - \beta_2 c_1 + \xi_1$$

$$U_2 = -\beta_1 t_2 - \beta_2 c_2 + \xi_2$$

$$\beta_1, \beta_2 > 0$$

Çizelge 3.1. Ücretli ve ücretsiz yollar için fayda fonksiyonları

Yol	Özellikler		Faydalar
	Seyahat Zamanı (t)	Seyahat Maliyeti (c)	
Ücretli ($j = 1$)	t_1	c_1	U_1
Ücretsiz ($j = 2$)	t_2	c_2	U_2

Bu formülasyon, $U_1, \dots, U_n$ faydalarının ortak dağılımına ilişkin varsayımlara göre değişen olasılıklı fayda modellerinin genel sınıfını tanımlar (Talluri ve van Ryzin, 2004a: 305). Bir sonraki kısımda müşteri seçimi davranışına yönelik ÇTL modeli açıklanacaktır.

3.1.3. Çok Terimli Lojit (ÇTL) modeli

Öncelikle ÇTL modelindeki n alternatifin türetildiği ikili lojit modeli açıklanacaktır. Bu modelde sadece iki alternatif arasından seçim söz konusudur. Modeldeki bozukluk teriminin $\xi = \xi_1 - \xi_2$ aşağıdaki lojistik dağılıma sahip olduğu varsayılır. Eşitlikteki μ ölçek parametresi ve $-\infty < x < \infty$ olarak tanımlanmıştır.

$$F(x) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{x}{\mu}}} \quad (3.5)$$

Burada, ξ 0 ortalamaya sahiptir ve varyansı $\mu^2\pi^2/3$ olarak belirtilmektedir. Lojistik dağılım normal dağılımına iyi şekilde yaklaşır, ancak daha şişman kuyruklara sahiptir. Buradan hareketle, Alternatif 1'in seçilme olasılığı aşağıdaki gibi yazılabilir (Talluri ve van Ryzin, 2004a: 305-306).

$$P(\xi_2 - \xi_1 \leq u_1 - u_2) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{u_1 - u_2}{\mu}}} = \frac{e^{\frac{u_1}{\mu}}}{e^{\frac{u_1}{\mu}} + e^{\frac{u_2}{\mu}}} \quad (3.6)$$

ÇTL modeli ikili lojit modelinin n alternatifli olarak genelleştirilmiş şeklidir. ξ_j bozukluğunun Gumbel (ya da çifte üstel) dağılımı ile bağımsız özdeş dağılmış olasılıklı değişkenler olduğu varsayımına dayanılarak türetilmiştir. Dağılımın birikimli yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$F(x) = P(\xi_j \leq x) = e^{-e^{-\left(\frac{x}{\mu} + \gamma\right)}} \quad (3.7)$$

Burada, γ Euler sabitidir (0,5772...) ve μ ölçek parametresidir. ξ_j 'nin ortalaması $E[\xi_j] = 0$ ve varyansı $Var[\xi_j] = \mu^2\pi^2/6$ olarak belirtilmektedir (Talluri ve van Ryzin, 2004a: 306).

Gumbel dağılımının önemli analitik özellikleri vardır. Bunlardan en önemlisi aynı μ ölçek parametresi ile n bağımsız Gumbel olasılıklı değişkenlerinin en büyüğünün dağılımı yine bir Gumbel olasılıklı değişkenidir. Eğer iki olasılıklı değişken ξ_1 ve ξ_2 ortalama 0 ve aynı ölçek parametresi μ ile Gumbel dağılımlıysa, $\xi = \xi_1 - \xi_2$ ortalama 0 ve varyans $\mu^2\pi^2/3$ ile lojistik dağılıma sahiptir. Bu ikili lojit modelin aynısıdır (Talluri ve van Ryzin, 2004a: 306).

ÇTL modelinde her alternatif j 'nin aşağıdaki formda olduğu varsayılır. Burada, u_j alternatif j 'nin ortalama faydasıdır. ξ_j ise 0 ortalama ve j 'lerin tamamı için 1 ölçek parametresi ile Gumbel olasılıklı hata terimidir ve bağımsız özdeş dağılmıştır. Faydanın sıralı bir ölçüm olmasından dolayı (yani kararlar fayda farklılıklarına göre verildiğinden),

0 ortalama ve 1 ölçek parametresi varsayımı için genellik kaybedilmez (Ben-Akiva, 2008; Talluri ve van Ryzin, 2004b).

$$U_j = u_j + \xi_j, \quad (3.8)$$

Aynı şekilde satın almama seçeneği olduğunda fayda fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir. ξ_0 0 ortalama ve 1 ölçek parametresi ile Gumbel dağılımlıdır. Fayda sıralı olduğundan dolayı $u_0 = 0$ olarak varsayılabilir (Talluri ve van Ryzin, 2004b).

$$U_0 = u_0 + \xi_0, \quad (3.9)$$

Buradan hareketle seçim olasılıkları aşağıdaki gibi yazılabilir (Talluri ve van Ryzin, 2004b).

$$P_j(S) = \frac{e^{u_j}}{\sum_{i \in S} e^{u_i} + e^{u_0}}, \quad j \in S \text{ veya } j = 0. \quad (3.10)$$

Terimlerin kısaltılması amacıyla ağılıklar $v_j = e^{u_j}$, $j = 0, 1, \dots, n$ olarak tanımlanmaktadır. e^x fonksiyonu x 'in artışıyla beraber monoton artan olduğu için, u_j 'nin yüksek değerleri v_j için yüksek değerler sağlayacaktır (Talluri ve van Ryzin, 2004b). ÇTL modelinin genel açıklamasından sonra takip eden kısımda havayolları gelir yönetimi için türetilen ÇTL modelinin açıklaması yapılacaktır.

3.1.4. Havayolu gelir yönetiminde ÇTL modeli

Müşterinin bileti yüksek veya düşük fiyattan satın alması gibi müşteri seçimi davranışı GY'de önemli bir yere sahiptir. Müşteri seçimi davranışı modeli, mevcut olan ücret sınıfları setinin satın alınma olasılıklarını içermektedir (Talluri ve van Ryzin, 2004b). Müşterilerin seçim olasılıklarının hesaplanmasında ÇTL modeli kullanılmıştır. Bu modelde, her müşteri bir segmente aittir ve her segmentteki müşterinin havayolu tarafından alternatif olarak önerilmiş ürünlerin arasında düşündüğü bir ürün seti vardır. Müşteriler belirli bir ürünü ÇTL kriterine göre seçerler. ÇTL modeli pazarlama literatüründe geniş

çapta kullanılmaktadır (Bront ve diğerleri, 2009). GY literatüründe de seçim davranışı ile ilgili genel olarak ÇTL modeli kullanılmaktadır.

Modelde müşteriler $l = 1, \dots, L$ farklı segmente ayrılmıştır ve her segment düşünülen bir set ile $C_l \subset N$ eşlenmiştir. Modelde her gelen müşteri, p_l olasılığıyla l segmentine aittir ve $\sum_{l=1}^L p_l = 1$ olarak gösterilmektedir. Bu kapsamda, müşteriler l segmentinden Poisson işlemi ile $\lambda_l = \lambda p_l$ oranıyla gelmekte ve toplam geliş oranı $\lambda = \sum_{l=1}^L \lambda_l$ olmaktadır. ÇTL seçim modelinde, l segmentinden bir müşteri için $v_l \geq 0$ tercih ağırlığı vektörü ile tanımlanmış ve müşterinin tercih etmeme ağırlığı v_{l0} olarak ifade edilmiştir. $P_{lj}(S)$, S seti önerildiği zaman l segmentinden bir müşterinin $j \in C_l \cap S$ ürününü seçme olasılığı olmak üzere, müşterinin seçim olasılıkları şu şekilde modellenenir (Bront ve diğerleri, 2009).

$$P_{lj}(S) = \frac{v_{lj}}{\sum_{h \in C_l \cap S} v_{lh} + v_{l0}} \quad (3.11)$$

Eğer $j \notin C_l \cap S$ ise $v_{lj} = 0$ olarak belirtilebilir ve bu nedenle, $P_{lj}(S) = 0$ olarak gösterilebilir. Bu çerçevede, p_l olasılığıyla gelen müşterinin $j \in S$ ürününü seçme olasılığı aşağıdaki şekilde olur (Bront ve diğerleri, 2009).

$$P_j(S) = \sum_{l=1}^L p_l P_{lj}(S) \quad (3.12)$$

Bu modele ilişkin örnek şöyledir. Müşteriler $l = 5$ farklı segmente ayrılmıştır ve her segment için geliş oranları, düşünülen set ve tercih vektörü Çizelge 3.2’de sunulmuştur. Her dönemdeki geliş olasılığı $\lambda = 1$ olarak seçilmiştir. Her gelen müşteri, p_l olasılığıyla l segmentine aittir ve $\sum_{l=1}^L p_l = 1$ olarak gösterilmektedir. l segmentinden gelen müşteri $\lambda_l = \lambda p_l$ oranıyla gelmektedir. Bu bağlamda, toplam geliş oranı $\lambda = \sum_{l=1}^L \lambda_l$ Çizelge 3.2’ye göre de hesaplandığında $\lambda = 1$ değerini almaktadır.

Çizelge 3.2. Segmente göre geliş olasılıkları, düşünülen set ve tercih vektörü

Segment	Geliş oranı λ_l	Düşünülen Set C_l	Tercih Vektörü $(v_{lj}, v_{l0})^*$
1	0,10	$\{1\}$	(4,1)
2	0,15	$\{1,2\}$	(3,5,2)
3	0,20	$\{2,3\}$	(4,8,2)
4	0,25	$\{3,4\}$	(6,8,2)
5	0,30	$\{4\}$	(3,2)

* Örnek olarak, birinci segmentten bir müşterinin birinci ürünü tercih etme ağırlığı $v_{lj} = v_{11} = 4$ ve ürün tercih etmeme ağırlığı $v_{l0} = v_{10} = 1$ olarak gösterilmektedir. İkinci segmentten bir müşterinin birinci ürünü tercih etme ağırlığı $v_{21} = 3$, ikinci ürünü tercih etme ağırlığı $v_{22} = 5$ ve ürün tercih etmeme ağırlığı $v_{20} = 2$ olarak açıklanabilir.

Bu çerçevede, müşteri seçimi davranışı için hesaplanan seçim olasılıkları, $P_j(S)$, Çizelge 3.3’de gösterilmiştir. Çizelgede yer alan iki numaralı S setine ait $S = \{1\}$ için $P_1(2)$ seçim olasılığının örnek hesaplaması aşağıdaki gibidir.

$$P_{11}(2) = \frac{v_{lj}}{\sum_{h \in C_l \cap S} v_{lh} + v_{l0}} = \frac{v_{11}}{v_{11} + v_{10}} = \frac{4}{4 + 1}, \quad P_{21}(2) = \frac{v_{21}}{v_{21} + v_{20}} = \frac{3}{3 + 2}$$

$$P_j(S) = P_1(2) = \sum_{l=1}^L p_l P_{lj}(S) = 0,10 \frac{4}{4 + 1} + 0,15 \frac{3}{3 + 2} = 0,17$$

Yine örnek olarak 6 numaralı S setine ait $S = \{1,2\}$ için $P_1(6)$ ve $P_2(6)$ seçim olasılıklarının hesaplanması aşağıdaki şekildedir (Yani Çizelge 3.2’deki 6 numaralı seti ifade etmektedir.).

$$P_1(6) = \sum_{l=1}^L p_l P_{lj}(S) = 0,10 \frac{4}{4 + 1} + 0,15 \frac{3}{3 + 5 + 2} = 0,125$$

$$P_2(6) = \sum_{l=1}^L p_l P_{lj}(S) = 0,15 \frac{5}{3 + 5 + 2} + 0,20 \frac{4}{4 + 2} = 0,2083$$

Çizelge 3.3’de verildiği üzere olası tüm 16 set için hesaplamalar benzer şekilde formül 3.11 ve 3.12 kullanılarak yapılmıştır.

Çizelge 3.3. Müşterinin seçim olasılıkları

No.	S	$P_1(S)$	$P_2(S)$	$P_3(S)$	$P_4(S)$
1.	$\{\emptyset\}$	0	0	0	0
2.	$\{1\}$	0,17	0	0	0
3.	$\{2\}$	0	0,2405	0	0
4.	$\{3\}$	0	0	0,3475	0
5.	$\{4\}$	0	0	0	0,38
6.	$\{1,2\}$	0,125	0,2083	0	0
7.	$\{1,3\}$	0,17	0	0,3475	0
8.	$\{1,4\}$	0,17	0	0	0,38
9.	$\{2,3\}$	0	0,1643	0,3018	0
10.	$\{2,4\}$	0	0,2405	0	0,38
11.	$\{3,4\}$	0	0	0,2538	0,305
12.	$\{1,2,3\}$	0,125	0,1321	0,3018	0
13.	$\{1,2,4\}$	0,125	0,2083	0	0,38
14.	$\{1,3,4\}$	0,17	0	0,2538	0,305
15.	$\{2,3,4\}$	0	0,1643	0,208	0,305
16.	$\{1,2,3,4\}$	0,125	0,1321	0,208	0,305

Bu çalışmada diğer seçim modelleri arasından Bront ve diğerleri (2009) tarafından çalışılan kesişen segmentlerle ÇTL modeli kullanılmıştır. Bu modelin kullanılmasının nedeni düşük bir ücret olduğunda müşterilerin diğer segmentte de yer alan bir ücret ürünü arasında değişim yapabilmesidir ve daha gerçekçi bir model olduğu düşünülmektedir.

3.1.5. Müşteri seçimi davranışı ile tek bacaklı uçuşlar için dinamik programlama modeli

Talluri ve van Ryzin (2004a: 64) tarafından açıklanan modelde, t dönemi dinamik modellerde olduğu gibi kesiklidir ve her zaman diliminde geliş olasılığı λ 'dır. Modelde, n tane ücret sınıfı vardır, $N = (1, \dots, n)$ ücret sınıflarının tamamıdır ve 0 satın alımın

olmadığı seçenektir. Her ücret sınıfı, $j \in N$, ilgili p_j fiyatına sahiptir, sınıflar $p_1 \geq p_2 \geq \dots p_n \geq 0$ sıralanmıştır. $p_0 = 0$ satım alım seçeneğinin olmadığı geliri göstermektedir.

Müşteri seçimi davranışı modellenmesi için her zaman diliminde satıcı $S \subseteq N$ alt setini önerir. Başka bir deyişle, satıcı her zaman aralığında hazır bulundurulmuş öneri setini kontrol etmektedir. t döneminde S seti önerildiği zaman müşterinin $j \in S$ seçme olasılığı $P_j(S)$ olarak tanımlanmıştır. $P_0(S)$ ise biletin satın alınmama olasılığıdır. Bu kapsamda, t döneminde j ücret sınıfının satın alınma olasılığı $\lambda P_j(S)$ ve satış yapılmama olasılığı $\lambda P_0(S) + (1 - \lambda)$ olarak açıklanabilir. Her set $S \subseteq N$ için seçme olasılıkları aşağıdakileri sağlamalıdır (Talluri ve van Ryzin, 2004a: 64).

$$\begin{aligned} P_j(S) &\geq 0, \quad \forall j \in S \\ \sum_{j \in S} P_j(S) + P_0(S) &= 1 \end{aligned} \tag{3.13}$$

Araştırmacılar tarafından bu müşteri seçimi davranışı modeli ile tek bacaklı uçuşlar için dinamik programlama modeli önerilmiştir. Söz konusu modelde, uçuşun toplam kapasitesi C , toplam dönem sayısı T , şimdiki zaman t ve kalan kapasite x ile gösterilmektedir. $t = (1, \dots, T)$ dönemi ve x kalan kapasite ile $V_t(x)$ en iyi beklenen değer olmak üzere önerilen dinamik model aşağıdaki gibidir (Talluri ve van Ryzin, 2004a: 66).

$$V_t(x) = \max_{S \subseteq N} \left\{ \sum_{j \in S} \lambda P_j(S) (p_j + V_{t+1}(x - 1)) + (\lambda P_0(S) + 1 - \lambda) V_{t+1}(x) \right\} \tag{3.14}$$

Sınır şartları:

$$V_{T+1}(x) = 0, \quad x = 0, 1, \dots, C, \tag{3.15}$$

$$V_t(0) = 0, \quad t = 1, \dots, T. \tag{3.16}$$

Tek bacaklı uçuşla ilgili seçim tabanlı gelir yönetimi modelinin çözümü için Talluri ve van Ryzin (2004a: 67-70) tarafından etkin setler önerilmiştir. Bu işlem, beklenen gelir ile beklenen kapasite kullanımının etkileşiminden yararlanılarak çözümde kullanılacak en iyi

setlerin belirlenmesidir. S önerilen setler, $R(S)$ beklenen gelir ve $Q(S)$ beklenen kapasite kullanım oranı (bir birim ürün satma olasılığı) olsun. $R(S) = \sum_{j \in S} P_j(S)p_j$ ve $Q(S) = \sum_{j \in S} P_j(S)$ olarak yazılabilir. Böylelikle $\Delta V_{t+1}(x) = V_{t+1}(x) - V_{t+1}(x-1)$ olmak üzere Eş. 3.14 daha kısa şekilde $V_t(x) = \max_{S \subseteq N} \{ \sum_{j \in S} \lambda(R(S) - Q(S)\Delta V_{t+1}(x)) \} + V_{t+1}(x)$ eşitliğiyle gösterilebilir. Olasılıklar seti $\alpha(S)$, $S \subseteq N$ ve $\sum_S \alpha(S) = 1$, $\alpha(S) \geq 0$ olmak üzere aşağıdaki eşitliklerle etkin setler hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} R(H) &< \sum_{S \subseteq N} \alpha(S) R(S) \\ Q(H) &\geq \sum_{S \subseteq N} \alpha(S) Q(S) \end{aligned} \quad (3.17)$$

Bir H seti aynı kapasite kullanım oranında diğer setlerin karışımından daha az gelir sağlıyorsa, bu sete *etkin olmayan set* denir. Eğer böyle bir karışım bulunmuyorsa H seti etkin settir. $R(S)$ ve $Q(S)$ 'e göre etkin setler sınırda bulunan setlerdir. Bu setlerin önemi, en iyi çözümde sadece bu etkin setler kullanılabilmesi ve orijinal problemde $2^n - 1$ alt setinden değerlendirmesinin etkin setlere indirgenmesi nedeniyle problemin çözüm karmaşıklığını azaltabilmesidir. Ancak yine de, etkin setlerin belirlenmesi için $2^n - 1$ alt setin hepsinin sıralanması ve her H setinin yukarıda sunulan kısıtlara göre doğrusal program ile hesaplarının yapılması gerekmektedir (Talluri ve van Ryzin, 2004a: 67, 68).

Bu etkin setler sıralanabilir. m etkin setlerin sayısı ve $S_1, \dots, S_m$ artan sırada olmak üzere tanımlansın. Simgelerin kısaltılması için $R_k = R(S_k)$ ve $Q_k = Q(S_k)$ olarak gösterilsin. R_k ve S_k k ile artan sırada olsun. Bu şekilde Eş. 3.14 aşağıdaki gibi yazılabilir (Talluri ve van Ryzin, 2004a: 69).

$$V_t(x) = \max_{k=1, \dots, m} \left\{ \sum_{j \in S} \lambda(R_k - Q_k \Delta V_{t+1}(x)) \right\} + V_{t+1}(x) \quad (3.18)$$

Talluri ve van Ryzin (2004a: 69) tarafından sunulan teoreme; Eş. 3.14 için en iyi politikanın, Eş. 3.17'yi eniyileyen m etkin, sıralı setler $\{S_k: k = 1, \dots, m\}$ arasından k^* setinin seçilmesi olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, sabit bir t için, en büyük ve en iyi

k^* setinin x kalan kapasitesye göre artan olduğu ve sabit bir x için, k^* setinin t zamanında artan olduğu açıklanmıştır.

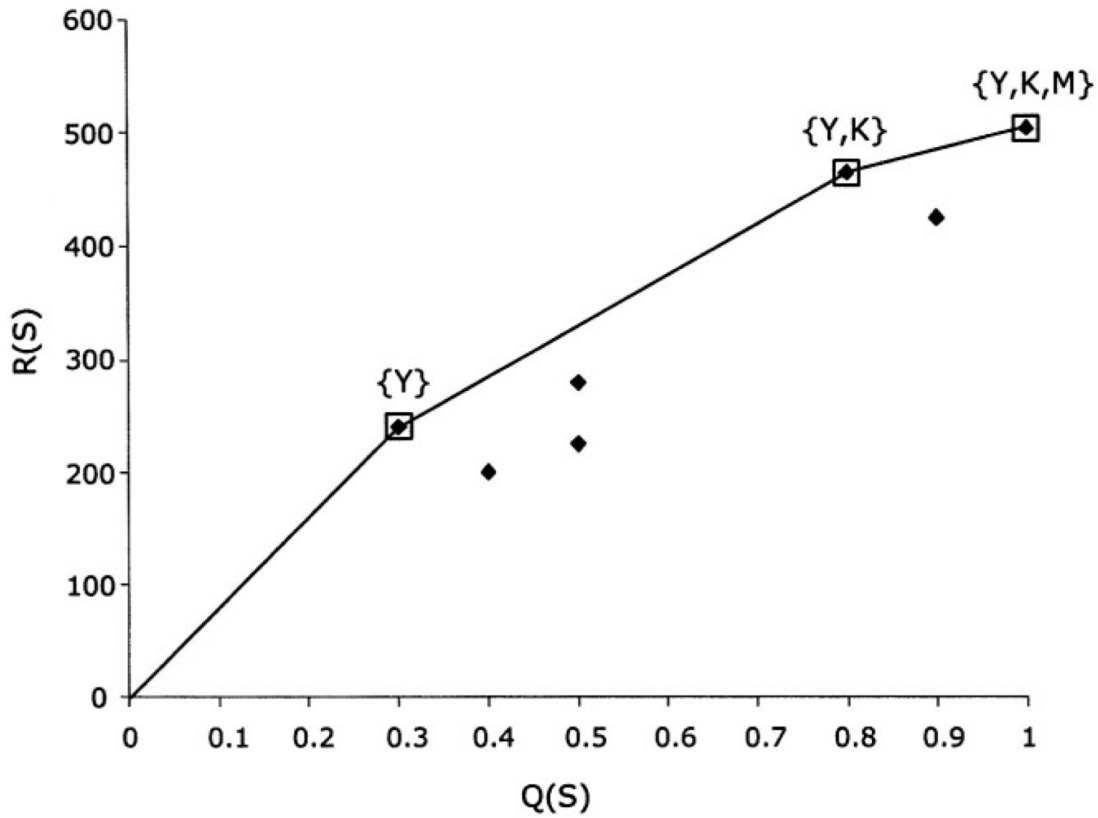
Bu teorem büyük ücretten küçük ücrete olmak üzere (Y, M, K) olarak adlandırılan üç ürünlü bir örnek üzerinde açıklanmıştır. Bu örneğe göre hesaplanan etkin setler Çizelge 3.4’de ve etkin setlerin gösterimi Şekil 3.1’de sunulmuştur. Şekil 3.1’de gösterildiği üzere, $R(S)$ ve $Q(S)$ ’e göre etkin setler $S = \{Y\}$, $S = \{Y, K\}$ ve $S = \{Y, M, K\}$ olmak üzere sınırda bulunan setlerdir. Teoreme göre, yüksek kapasitelerde $S = \{Y, M, K\}$ setinin önerilmesi, kapasite azaldıkça M ürününün çıkarılarak $S = \{Y, K\}$ ürünlerinin sunulması ve belirli bir noktada $S = \{Y\}$ setinin, yani sadece tek ürünün önerilmesi gerektiği belirtilmiştir (Talluri ve van Ryzin, 2004a: 67-70).

Çizelge 3.4. Etkin set örneği (Talluri ve van Ryzin, 2004a: 66)

S	$P_Y(S)$	$P_M(S)$	$P_K(S)$	$Q(S)$	$R(S)$	Etkin?
$\{Y\}$	0,3	0	0	0,3	240	Evet
$\{M\}$	0	0,4	0	0,4	200	Hayır
$\{K\}$	0	0	0,5	0,5	225	Hayır
$\{Y, M\}$	0,1	0,6	0	0,7	380	Hayır
$\{Y, K\}$	0,3	0	0,5	0,8	465	Evet
$\{M, K\}$	0	0,4	0,5	0,9	425	Hayır
$\{Y, M, K\}$	0,1	0,4	0,5	1	505	Evet

3.2. Ücret Kilidi Modelleri

Ücret kilidi seçeneğinde, havayolları tarafından talep edilen güzergâh için önerilen ücret ilave bir bedel karşılığında belirli bir süre kadar sabit tutulmakta ve müşteri bu süre zarfında önerilen sabit ücretten güzergâhı satın alabilmektedir. Süre sonunda müşteri satın alma işlemi yapmaz ise önerilen sabit ücret geçerliliğini yitirmekte ve müşterinin aynı güzergâh için tekrar teklif alması gerekmektedir.



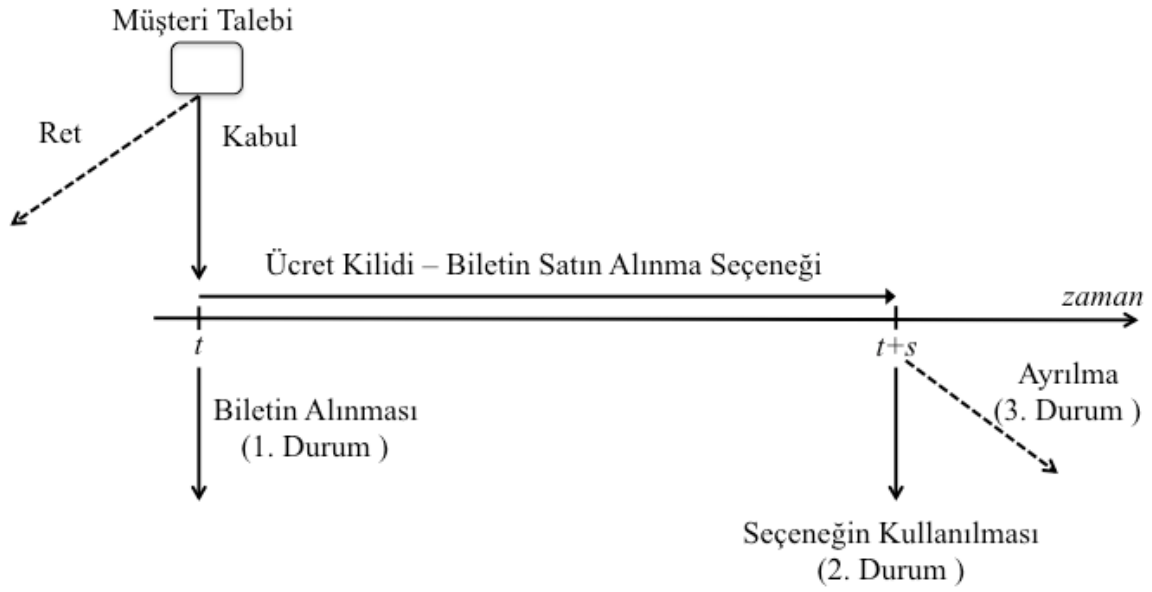
Şekil 3.1. Etkin setlerin gösterimi (Talluri ve van Ryzin, 2004a: 69)

Ücret kilidi seçeneği müşterilere düşük bir ücret karşılığında koltuğun fiyatını sabitleme ve genel kapasiteden faydalanma imkânı sunarken, havayolu şirketleri açısından şayet satış gerçekleşmez ve uçak kalkışında boş koltuklar mevcut olursa kaybedilecek gelir nedeniyle bir belirsizlik yaratır. Ayrıca, koltuğun önceden rezerve edilmesi yüksek ücret sınıflı bir isteğin reddedilmesi ile de sonuçlanabilir. Bu nedenle, ücret kilidi ve kapasite kontrol kararları birlikte ele alınmalıdır (Aydın ve diğerleri, 2017).

Ücret kilidi ile ilgili Aydın ve diğerleri (2017) tarafından önerilen tek bacaklı problemin örnek formülasyonu Şekil 3.2’de sunulmuştur. Tek uçuş bacağı, m ücret sınıflı ve C kapasitelidir. Rezervasyon dönemi T zaman dilimlerine bölünmüştür ve uçuş $T + 1$ döneminde gerçekleşmektedir. Her dönemde, belirli bir ücret sınıfı için en fazla bir müşteri talebi sisteme ulaşır. Eğer satın alım için bu ücret sınıfı mevcutsa, müşteri bileti satın alır (1. durum) ya da ücret kilidi seçeneğini kullanarak ücret ödemeye karar verir (2. durum). Eğer müşteri seçeneği kullanırsa, ücret kilidi ücretini öder, s zaman dönemi kadar koltuğu rezerve eder ve bu süre bitmeden hemen önce bileti alır veya almaktan vazgeçebilir.

Müşteri ücret kilidi seçeneğini kullanması sonucu bilet alırsa 2'nci durum veya bileti almaz ise 3'üncü durum gerçekleşir (Aydın ve diğerleri, 2017).

Bu çalışmada, ücret kilidine ilişkin literatürde bulunan iki çalışma temel alınmıştır. İlk çalışma Aydın ve diğerleri (2017) ve ikinci çalışma Sumida ve Topaloğlu (2019) olmak üzere aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 3.2. Ücret kilidi probleminin formülasyonu (Aydın ve diğerleri, 2017)

3.2.1. Aydın ve diğerleri (2017) modeli

Çalışmaların ilkinde, Aydın ve diğerleri (2017) tarafından tek bacaklı uçuşta ücret kilidinin genel gelire olan etkisi araştırılmıştır. Önerilen modelde, m ücret sınıfı, C uçuş kapasitesi vardır ve rezervasyon ufku T döneme bölünmüştür. $T + 1$ döneminde ise uçak kalkmaktadır. Müşteri t döneminde i ücret sınıfı için α_{it} olasılığıyla gelir ve v_i olasılığıyla ücret kilidi seçeneğini satın alır veya $1 - v_i$ olasılığıyla koltuğu rezerve eder. Diğer bir deyişle, i ücret sınıfı için ücret kilidi ve bilet satın alma talepleri sırasıyla $q_{it} = \alpha_{it}v_i$ ve $p_{it} = \alpha_{it}(1 - v_i)$ olasılıklarıyla gelmektedir. Modelde $t \in \{1, \dots, T\}$ için $\sum_{i=1}^m (p_{it} + q_{it}) \leq 1$ ve geliş olmama olasılığı $p_{ot} = 1 - \sum_{i=1}^m (p_{it} + q_{it})$ olarak varsayılmaktadır. Seçeneğin süresinin sonunda, yani s zaman sonra, müşteri p_b olasılığıyla bilet alabilir ya da sistemden $p_l = 1 - p_b$ olasılığıyla ayrılabilir.

Modelde, her t zamanında gelen ücret sınıfı isteğinin kabul edilip edilmemesine karar verilmesi gerekmektedir. i ücret sınıfı için rezervasyonun kabul edilmesi halinde gelir f_i 'dir ve ücret kilidi seçeneğinin kabul edilmesi halinde f^c geliri sağlanmaktadır. Bu nedenle, ücret kilidi seçeneğinin kabul edilmesi halinde beklenen gelir $\phi_i = f^c + f_i p_b$ olarak belirtilmiştir (Aydın ve diğerleri, 2017).

Bu modelde, t zamanındaki toplam rezervasyon ve ücret kilidi seçeneği sayısı x_t ve s dönemdeki ücret kilidi geçmişi z_t (s boyutlu ikili vektör) ile gösterilmiştir. x_t ve z_t çifti dinamik programlama modelinin durumunu temsil etmektedir. Eğer $\{t - s, t - s + 1, \dots, t - 1\}$ dönemlerinden bir tanesinde kabul edilen ücret kilidi seçeneği varsa z_t 'nin ilgili bileşeni 1 olarak, diğer durumda 0 olarak gösterilir. z_{1t} , z_t 'nin ilk elemanı ve p_l yolcunun ayrılma olasılığı olmak üzere, satın alma işlemi yapmadan ayrılan yolcu $B(z_{1t}, p_l)$ Bernoulli rassal değişkenli vektörü ile temsil edilmiştir. t döneminden $t + 1$ dönemine geçilirken, z_{t+1} vektörü z_t 'nin ilk elemanının atılmasıyla ve z_t 'nin kalan $s - 1$ elemanına ikili değişken atanmasıyla oluşturulmuştur. Bu geçiş işlemi için $\Gamma: \{0,1\}^{s+1} \mapsto \{0,1\}^s$ fonksiyonu $s + 1$ 'den s dönemine geçişte tutulan ücret kilidi seçenekleri olarak tanımlanmıştır. Bu geçiş işlemi için I_s birim matris, 0'ların olduğu s boyutlu sütun vektörü ve $\zeta \in \{0,1\}$ olmak üzere aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$\Gamma(z, \zeta) = [0 \quad I_s] \begin{bmatrix} z \\ \zeta \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

Eğer $t + 1$ zamanında ücret kilidi talebi kabul edilirse $z_{t+1} = \Gamma(z_t, 1)$, diğer durumda $z_{t+1} = \Gamma(z_t, 0)$ olarak verilmiştir (Aydın ve diğerleri, 2017).

Rezervasyon işleminin kabul edilip edilmediği ile ilgili kararlar m boyutlu $u_t = [u_{1t}, u_{2t}, \dots, u_{mt}]^T$ ikili vektöründe saklanmaktadır. Kabul ve ret kararları mevcut kapasiteye bağlı olduğu için, t dönemindeki mümkün kararlar $U_t(x_t) = \{u_t \in \{0,1\}^m: x_t + u_{it} \leq C, i = 1, 2, \dots, m\}$ olarak gösterilmiştir (Aydın ve diğerleri, 2017).

Önerilen modelde, $J_t(x_t, z_t)$ t 'den T dönemine olacak şekilde beklenen en iyi gelirdir. Problemden $1 \leq x_t \leq C$ ve $z_t \in \{0,1\}^s$ olacak şekilde gelişlerin bağımsızlığı, ücret kilidi

işlemi ve dinamik programlama en iyilik prensibiyle önerilen dinamik programlama modeli aşağıda sunulmuştur.

$t = 1, 2, \dots, s$ için;

$$J_t(x_t, z_t) = \max_{u_t \in U(x_t)} \left\{ \sum_{i=1}^m p_{it} \{f_i u_{it} + J_t(x_t + u_{it}, \Gamma(z_t, 0))\} \right. \\ \left. + \sum_{i=1}^m q_{it} \{\phi_i u_{it} + J_{t+1}(x_t + u_{it}, \Gamma(z_t, u_{it})) \right. \\ \left. + p_{0t} J_{t+1}(x_t + u_{it}, \Gamma(z_t, 0))\} \right\} \quad (3.20)$$

$s < t \leq T$ için;

$$J_t(x_t, z_t) = \max_{u_t \in U(x_t)} \left\{ \sum_{i=1}^m p_{it} \{f_i u_{it} + \mathbb{E} J_{t+1}(x_t + u_{it} - B(z_{1t}, p_l), \Gamma(z_t, 0))\} \right. \\ \left. + \sum_{i=1}^m q_{it} \{\phi_i u_{it} + \mathbb{E} J_{t+1}(x_t + u_{it} - B(z_{1t}, p_l), \Gamma(z_t, u_{it})) \right. \\ \left. + p_{0t} \mathbb{E} J_{t+1}(x_t - B(z_{1t}, p_l), \Gamma(z_t, 0))\} \right\} \quad (3.21)$$

Sınır şartı $J_{T+1}(x_{T+1}, z_{T+1}) = 0$ olarak belirlenmiştir. Modelde $J_1(0, 0)$, 0 ücret kilidi olmaksızın başlamak üzere, planlama ufkunun başında en iyi beklenen toplam geliri vermektedir. Modelde $z_{1t} = 1$ için $J_{t+1}(x_t + u_{it} - B(z_{1t}, p_l), \Gamma(z_t, 0))$ ifadesinin beklenen değeri aşağıda verilmiştir.

$$\mathbb{E} J_{t+1}(x_t + u_{it} - B(z_{1t}, p_l), \Gamma(z_t, 0)) \\ = p_b J_{t+1}(x_t + u_{it}, \Gamma(z_t, 0)) + p_l J_{t+1}(x_t + u_{it} - 1, \Gamma(z_t, 0)) \quad (3.22)$$

Yapılan çalışmada dinamik model, yaklaşım modeli ve doğrusal modelinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, ücret kilidi seçeneğinin belirli koşullar altında beklenen

geliri artırabileceği, ancak her zaman havayolu için fayda sağlayamayabileceği belirtilmiştir (Aydın ve diğerleri, 2017).

3.2.1. Sumida ve Topaloğlu (2019) modeli

Ücret kilidi ile ilgili yapılan ikinci çalışmada, Sumida ve Topaloğlu (2019) tarafından tek bacaklı uçuşta toplam beklenen gelirin eniyilemesi için her dönemde hangi ücret sınıfının hazır bulunacağına karar verilen politika bulunmaya çalışılmıştır. Önerilen modelde, Kapasite C , ücret sınıfı $N = (1, \dots, n)$ ve satma ufku $T = (1, \dots, \tau)$ olarak gösterilmiştir. Müşteri $\lambda_{i,t}$ olasılığıyla i ücret sınıfı için t zamanında bilet alma ilgisiyle gelmektedir ve her dönemde en fazla bir müşteri vardır. Eğer i ücret sınıfı mevcutsa müşteri bilet için ρ olasılığıyla r_i fiyatını öder. $1 - \rho$ olasılığıyla ise müşteri h ücretini ödeyerek ücret kilidi seçeneğini kullanır. Modelde, ücret kilidi seçeneğini kullanma süresi L olarak belirlenmiştir ve L süresi sonunda müşteri π olasılığıyla r_i fiyatını ödeyerek bileti satın alabilir ya da $1 - \pi$ olasılığıyla sistemden ayrılabilir. Böylece, eğer i ücret sınıfı hazır bulunudurulursa elde edilecek beklenen gelir $f_i = \rho r_i + (1 - \rho)(h + \pi r_i)$ olacaktır.

Modelde, t döneminde hazır bulunan kapasite ve $t - L, \dots, t - 1$ dönemlerinde kullanılan ücret kilidi seçenekleri olmak üzere, satma ufkunda toplam beklenen gelirin eniyilenmesi için her dönemde hangi ücret sınıfının hazır bulunacağına karar verilen politika bulunmaya çalışılmaktadır. x kalan kapasite ve $y_l \in \{0,1\}$ müşterinin l dönem önce ücret kilidi seçeneğini alıp almadığını göstermek üzere $(x, y_1, \dots, y_L)$ durum değişkeni olarak tanımlanmıştır (Sumida ve Topaloğlu, 2019).

Kararlar i ücret sınıfının hazır olması ile birlikte $u = (u_1, \dots, u_n) \in \{0,1\}^n$ vektöründe saklanmaktadır. Dönemdeki mümkün kararların seti $U(x) = \{u \in \{0,1\}^n: u_i \leq x, \forall i \in N\}$ olarak gösterilmiştir. B_t müşterinin t zamanında gelişiyile beraber aynı zamanda bileti alıp almamasıyla ilgili Bernoulli rassal değişkenidir ve $1 - \rho$ parametresiyle eğer müşteri ücret kilidini kullanırsa 1 değerini almaktadır. $D_t(y_L)$ $t - L$ dönem önce müşterinin ücret kilidi seçeneğini kullanmasından sonra, t döneminde müşterinin bileti alıp almamasıyla ilgili Bernoulli rassal değişkenidir. $(1 - \pi)y_L$ parametresiyle, $t - L$ dönem önce kullanılan ücret kilidi seçeneği sonundaki

t döneminde, müşteri bileti satın alırsa $D_t(y_L)$ 1 değerini almaktadır (Sumida ve Topaloğlu, 2019).

$V_t(x, y_1, \dots, y_L)$ $t, \dots, \tau$ döneminde en iyi toplam beklenen gelir ve $V_1(C, 0, \dots, 0)$ en iyi toplam beklenen geliri ifade etmek üzere önerilen model aşağıda sunulmuştur.

$$\begin{aligned}
 V_t(x, y_1, y_2, \dots, y_L) \\
 = \max_{u \in U(x)} \left\{ \sum_{i \in N} \lambda_{i,t} u_i [f_i + \mathbb{E}\{V_{t+1}(x - 1 + D_t(y_L), B_t, y_1, \dots, y_{L-1})\}] \right. \\
 \left. + \left[1 - \sum_{i \in N} \lambda_{i,t} u_i \right] \mathbb{E}\{V_{t+1}(x + D_t(y_L), 0, y_1, \dots, y_{L-1})\} \right\} \quad (3.23)
 \end{aligned}$$

Modelde sınır şartı $V_{\tau+1}(\cdot) = 0$ olarak belirlenmiştir. Uçuştaki hazır kapasite C olmak üzere en iyi toplam beklenen gelir $V_1(C, 0, \dots, 0)$ olarak gösterilmektedir.

Araştırmacılar tarafından dinamik modelin üst sınırının bulunması için doğrusal programlama modeli çalışılmıştır ve modelin yaklaşım politikası önerilmiştir. Çalışmada, en iyi toplam beklenen gelir için önerilen dinamik programlama modelinin çözümü için doğrusal programlama yaklaşımından yararlanılarak uçuştaki koltukların bölündüğü ve her koltuk için kapasitenin kontrol edildiği dinamik programın çözümü yapılmış ve bu yaklaşımlar değer fonksiyonlarına kullanılarak yaklaşım politikası oluşturulmuştur. Araştırmacılar yaklaşım politikasının en iyi toplam beklenen değer en az yarısını elde ettiğini bulmuşlardır (Sumida ve Topaloğlu, 2019).

Bir sonraki bölümde, temel alınan müşteri seçimi davranışı ve ücret kilidi modelleri dikkate alınarak literatürde ilk defa ücret kilidinde müşteri seçimi davranışı modeli önerilecektir.

4. ÜCRET KİLİDİNDE MÜŞTERİ SEÇİMİ DAVRANIŞI MODELİ

Temel alınan ücret kilidi modellerinde, satıcı talebin ücret sınıfını değerlendirmekte ve ona göre kabul veya ret kararı vermektedir. Müşteri seçimi modelinde ise gelen müşterinin sınıfı satıcının hazır olan sınıflarına bağlıdır. İncelenen ücret kilidi modellerindeki ana varsayım, talebin her ücret sınıfı için satıcı tarafından uygulanan kapasite kontrollerinden bağımsız olduğudur. Başka bir deyişle, herhangi bir sınıf için talebin gelme olasılığı, talebin geldiği zamanda diğer sınıfların hazır olup olmamasına bağlı değildir. Ancak, gerçek dünyada bu varsayım geçerli olmayabilir. Örneğin, bir havayolunun tam ücrete sahip bir bilet için alacağı talep, o anda indirimli bir biletin hazır bulunmasına bağlı olabilir ve müşteri buna bağlı olarak daha düşük ücretli bileti alabilir (Talluri ve van Ryzin, 2004a: 62).

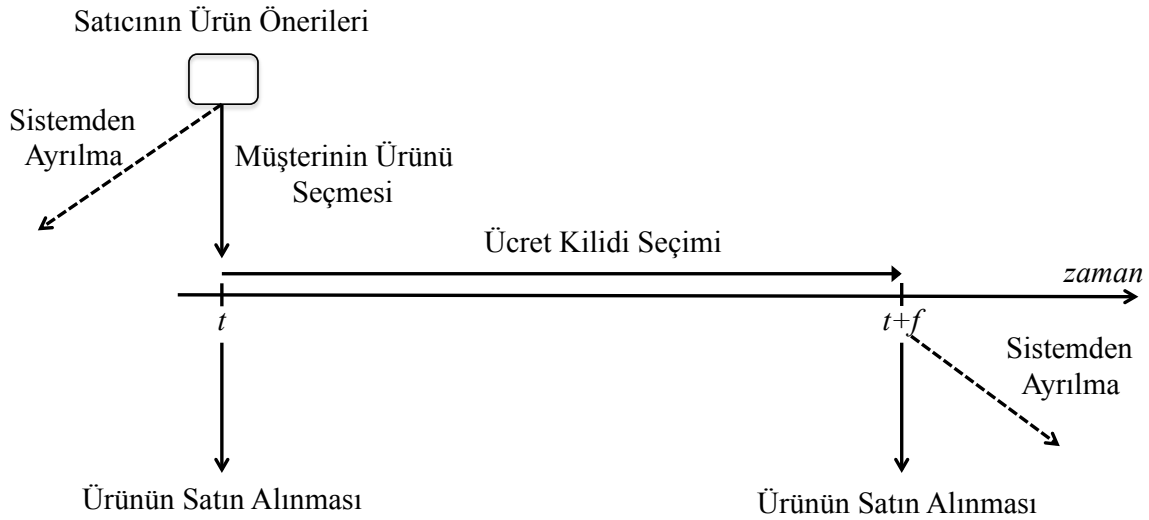
Bu nedenle, müşteri davranışının GY'ye dâhil edilmesi iyi sonuçlar için önemlidir. Bu çalışmada, ücret kilidi için Aydın ve diğerleri (2017) ve Sumida ve Topaloğlu (2019) çalışmaları ile müşteri seçimi davranışı modeli için Bront ve diğerleri (2009), Gallego ve diğerleri (2004), Liu ve van Ryzin (2008) ve Talluri ve van Ryzin (2004a: 64-75; 2004b) çalışmalarından yararlanılarak ücret kilidinde müşteri seçimi davranışı modeli geliştirilmiştir.

Bu bölümde, tek bacaklı bir uçuş için ücret kilidine yönelik olarak ilk kez genel kesikli seçim modeli kullanılarak müşteri seçim davranışının modellenmesi, örnek çözümlerinin gösterilmesi ve uygulamaların açıklanması amaçlanmaktadır. Bu bağlamda, dinamik model önerilmiş, dinamik modelin üst sınırının bulunması amacıyla doğrusal programlama modeli geliştirilmiş, ayrıca ücret kilidinin en iyi beklenen gelire etkisinin gözlenmesi amacıyla ücret kilidinin ihmal edildiği standart dinamik model açıklanmıştır. Tüm modellerin örnek üzerinde çözümleri yapılmış, hazırlanan veri setleriyle gerçekleştirilen uygulamaların sonuçları ortaya konmuş ve sonuçlar tartışılmıştır.

4.1. Ücret Kilidinde Müşteri Seçimi Davranışı Modeli Önerisi

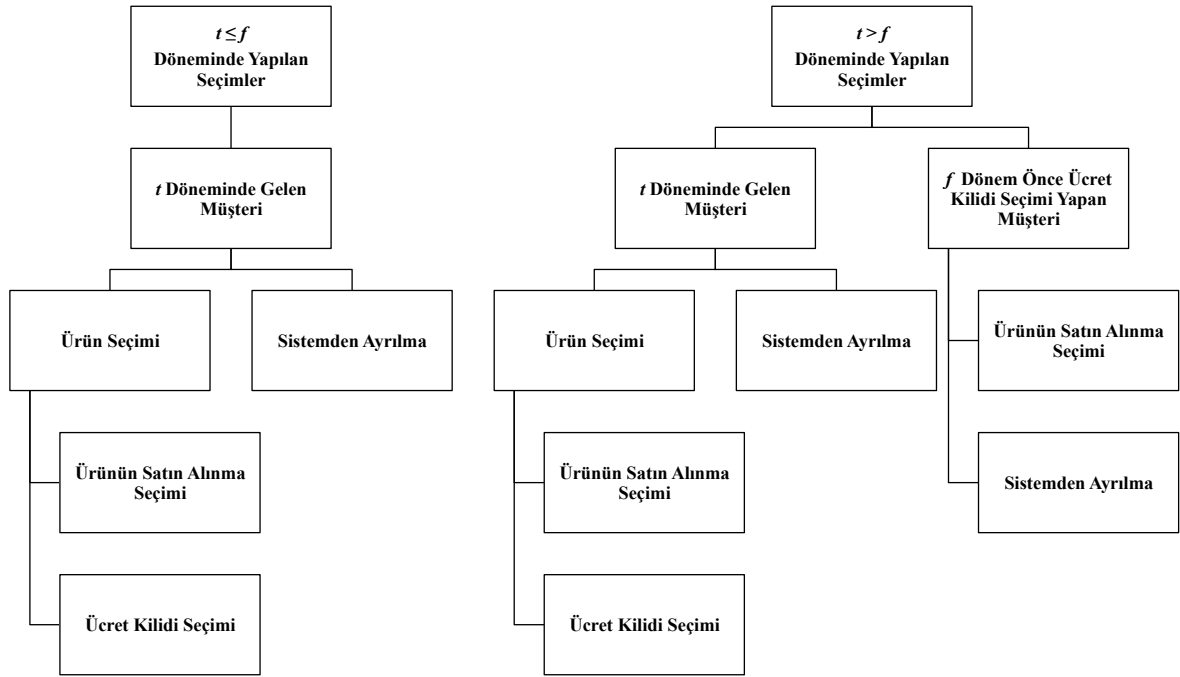
Müşteri uygun tek bacaklı uçuş için ürün satın alma talebiyle sisteme gelir. Bu durumda, satıcı tarafından hazır bulundurulmuş ürünlerden birini seçebilir ya da müşteri sistemden

ayrılabilir. Müşterinin ürünlerden birini seçmesi durumunda bileti satın alabilir ya da ücret kilidi seçeneğini kullanmayı seçebilir. Ücret kilidi seçeneğinin kullanılması durumunda ise, müşteri ücret kilidi zamanı sonunda ürünü satın almayı veya sistemden ayrılmayı isteyebilir. Bu bağlamda önerilen model Şekil 4.1’de sunulmuştur. Bu modeldeki ana amaç, *ücret kilidi seçeneği bulunduğu anda satıcı tarafından en iyi ürün setleri kullanılarak gelirin eniyilenmesidir*.



Şekil 4.1. Önerilen ücret kilidi modeli

Önerilen ücret kilidi modelinde dönem boyunca yapılacak seçimler yönünden ele alınırsa, Şekil 4.2’de sunulan ilk dönemlerdeki ücret kilidi süresi boyunca ve ücret kilidi sonrasında tüm dönemler boyunca ikiye ayrılabilir. İlk dönemlerde, $t \leq f$ (f ücret kilidi süresi), ürün seçimi yapılabilir ya da müşteri sistemden ayrılabilir. Bu dönemlerde ücret kilidi ile ilgili seçimler başlar. Ücret kildi sonrasındaki dönemlerde, $t > f$, ilk dönemlerde olduğu gibi ürün seçimi yapılabilir ya da müşteri sistemden ayrılabilir. Yolcunun ürünü seçmesinden sonra ürünün satın alınması veya ücret kilidini seçilmesi gerçekleşebilir. Bunlarla birlikte, f dönem önce ücret kilidi seçimi yapan yolcular, bu dönemde ürünü satın almayı veya sistemden ayrılmayı seçebilir.



Şekil 4.2. Önerilen modelde tüm dönemler boyunca yapılan seçimler

Bu modele gerçek durumda örnek verilecek olursa, Pegasus Havayollarında İstanbul-Londra uçuşuna ilişkin arama yapıldığında ve uygun saat seçildiğinde, Şekil 4.3’de verilen uçuş paketi seçenekleri, bir başka deyişle ürünler, sunulmaktadır. Fazla bagaj seçeneği olduğu için Eko paketi seçilmiştir. Bu durumda, Şekil 4.4’de sunulduğu üzere, müşteri ürünü satın almak için işleme devam edebilir ya da ücret kilidi seçeneğini (“Bu Fiyattan Yerini Ayırt” seçeneği) kullanabilir. Ücret kilidi seçeneği seçildiğinde ise, Şekil 4.5’de görülen ücret kilidi ile ilgili süre ve fiyat seçenekleri sunulmuştur (Pegasus Havayolları, 2019a). Bu seçenek seçildiğinde, müşteri tarafından bu zaman aralığında ürün satın alınabilir veya ücret kilidi zamanı sonunda müşteri ürünü satın almayarak sistemden ayrılabilir.

Bu örneğe göz atacak olursak, satıcı tarafından dört farklı uçuş paketi önerilmiş ve yapılan seçimde Eko sınıfı seçilmiştir. Satıcı tarafından Süper Eko ve Eko yerine, sadece Avantaj ile Business Flex paketleri önerilebilirdi ve öneri sonrası yapılan seçimde müşteri ücret kilidi seçeneğini kullanmayı seçebilirdi. Müşterinin ücret kilidi zamanı içerisinde bileti satın alması durumunda satıcının gelirini arttırması söz konusu olabilirdi.

SAW 11:40	Direkt Uçuş	STN 13:45	24h	1,589.00 TL ^
24h Uçuşuna 3 günden daha fazla zaman olduğu için biletini aldıktan sonra 24 saat içinde ücretsiz iptal edebilirsiniz.				
SÜPER EKO	EKO	AVANTAJ	BUSINESS FLEX	
✓ 8 Kg Kabin Bagajı • Bagaj Hakkı • Koltuk Seçimi • Uçak İçi İkram • İade/Değişiklik hakkı 1 Bu paket içerisinde bagaj hakkı bulunmamaktadır.	✓ 8 Kg Kabin Bagajı ✓ 20 Kg Bagaj • Koltuk Seçimi • Uçak İçi İkram • İade/Değişiklik hakkı	✓ 8 Kg Kabin Bagajı ✓ 20 Kg Bagaj ✓ Standart Koltuk Seçimi ✓ Sandviç İkramı • İade/Değişiklik hakkı	✓ 12 Kg Kabin Bagajı ✓ 20 Kg Bagaj ✓ Dilediğiniz Koltuk Seçimi • Uçak İçi İkram ✓ Cezasız İade/ Değişiklik Hakkı	
1,589.00 TL	1,659.00 TL	1,694.00 TL	1,782.00 TL	

Şekil 4.3. Uçuş paketi seçenekleri (Pegasus Havayolları, 2019a)

İstanbul → Londra

Uçuş Tarihi: 1 Eyl 2020, Sal

Seçimi Değiştir

SAW
11:40

Direkt Uçuş

STN
13:45

24h

EKO
1,659.00 TL ^

24h Uçuşunda 24 saat içinde ücretsiz iptal hakkı vardır.

Bu bilet için değişiklik ve iptal hakkı Genel Kurallarda belirtilen şartlarla sınırlıdır ve bazı durumlarda ilgili kurallar uyarınca check-in bedeli ve/veya havalimanı vergileri haricinde iade hakkınız bulunmamaktadır. Business Flex Paket için özel değişiklik ve iptal kuralları geçerlidir. Detaylı bilgi için [Bilet Değişiklik ve İptal Kurallarını](#) inceleyiniz

Tek yön **98.00 TL** ya ceza ödemeden dilediğin zaman bilet farkını ödeyerek değişiklik hakkı kazan.

Biletini aldığın tarih ya da saatte bir aksilik çıkabileceğini düşünüyorsan, Pegasus Flex satın alarak uçuşuna 2 saat kalana kadar ceza ödemeden değişiklik yapabilirsin. Değişiklik yaptığında, yeni uçuşun toplam ücreti, ilk uçuşun toplam ücretinden yüksek ise aradaki ücret farkı tahsil edilir. Detaylar için Pegasus Flex sayfamızı ziyaret edebilirsiniz.

İstanbul - S.Gökçen

→

Londra - Stansted

98.00 TL Kişi Başı

BU FİYATTAN YERİNİ AYIRT

DEVAM >

Şekil 4.4. Paket seçildikten sonra sunulan seçenekler (Pegasus Havayolları, 2019a)

Literatürde bulunan diğer modellerde (Aydın ve diğerleri, 2017; Sumida ve Topaloğlu, 2019) her zaman diliminde gelen müşteri talebine cevap verilmekle birlikte, gelir elde edilmesi bu gelen talebin kabul edilip edilmemesine bağlıdır. Ancak, yukarıda sunulan gerçek durumdaki örnekte olduğu gibi, satıcı tarafından önceden belirlenen ürünler müşteriye önerildiği için müşteri seçimi davranışı modelinin gerçeğe daha uygun bir model olduğu düşünülmektedir.

Bu Fiyattan Yerini
Ayırttığımız Son Tarih
04 Kasım 2019 - 21:10 (İstanbul Saati)
Ayırılan Biletin Tutarı **1659 TL**

Bilet fiyatı, USD/TL ya da EUR/TL kur değişimlerinden etkilenebilir.

Fiyatı Kaç Günlüğüne Sabitlemek İstersiniz?

☒ **7 Gün** Kişi Başı 32.38 TL

☐ **10 Gün** Kişi Başı 38.85 TL

☐ **15 Gün** Kişi Başı 51.8 TL

DEVAM

Şekil 4.5. Ücret kilidi süre ve fiyatları (Pegasus Havayolları, 2019a)

4.2. Ücret Kilidinde Müşteri Seçimi Davranışına İlişkin Dinamik Model (DMÜ)

Ücret kilidinde müşteri seçimi davranışına ilişkin dinamik modelde (DMÜ), t dönemi kesiklidir ve satma ufku $t = (1, \dots, T)$ olarak gösterilmektedir. Satma ufkundaki toplam dönem sayısı T ile, uçuşun toplam kapasitesi C ile ve kalan kapasite x ile ifade edilmektedir. Her bir dönemde en fazla bir müşteri vardır ve her dönemde λ geliş olasılığı bulunmaktadır. Modelde, n tane ürün seçeneği vardır, $N = (1, \dots, n)$ ürünlerin tamamının setini oluşturmaktadır ve 0 satın alımın olmadığı seçenektir. Her ürün $j \in N$ ile ilgili olarak r_j fiyatına sahiptir ve ürünler $r_1 \geq r_2 \geq \dots \geq r_n \geq 0$ olarak sıralanmıştır. $r_0 = 0$ satım alım seçeneğinin olmadığı geliri göstermektedir. Ücret kilidi seçeneğinin kullanılması durumunda gelir ise r_f olarak tanımlanmıştır.

Müşteri seçimi davranışı şöyle modellenmiştir. Her dönemde satıcı müşteriye S ile belirtilen bir ürün setini, $S \subseteq N$, önermektedir. Başka bir deyişle, satıcı her dönemde kalan kapasiteyi de kontrol ederek bir ürün seti önermektedir. t döneminde S seti önerildiği zaman müşterinin j ürününü, $j \in S$, seçme olasılığı $P_j(S)$ olarak tanımlanmıştır. $P_0(S)$ ürünün seçilmeme olasılığıdır. Bu kapsamda, t döneminde j ürünün seçilme olasılığı $\lambda P_j(S)$ ve seçilmeme olasılığı $\lambda P_0(S) + (1 - \lambda)$ olarak açıklanabilir. Yani satış yapılmaması, müşterinin ücret sınıfını satın almamasından veya

geliş olmamasından kaynaklanabilir. Her set $S \subseteq N$ için seçme olasılıkları aşağıdakileri sağlamalıdır.

$$P_j(S) \geq 0, \quad \forall j \in S, \quad (4.1)$$

$$\sum_{j \in S} P_j(S) + P_0(S) = 1. \quad (4.2)$$

Söz konusu olasılıklar bir önceki bölümde açıklanan ÇTL modeli ile hesaplanmaktadır.

Ürün seçimi yapıldığında, müşteri ρ olasılığıyla bilet almayı seçebilir ya da $1 - \rho$ olasılığıyla ücret sınıfı seçeneğini kullanabilir. Ücret kilidi zamanı sonunda ise müşteri π olasılığıyla bilet alabilir ya da $1 - \pi$ olasılığıyla sistemden ayrılabilir. Bu önerilen modelde, ücret kilidinin toplam süresi f olarak gösterilmektedir. Her dönemde en fazla bir müşteri olmasından dolayı, kapasite olması durumunda f süresi boyunca her müşterinin seçimleri dikkate alınmaktadır ve ücret kilidi seçeneklerinin kullanımını gösteren vektör $(y_1, y_2, \dots, y_f) \in \{0,1\}$ olarak ifade edilmektedir. Yani, müşterinin f dönem önce ücret kilidini kullanması durumunda $y_1 = 1$, kullanmaması durumunda ise $y_1 = 0$ 'dır. Modelde ücret kilidinin t döneminde kullanılıp kullanmaması $B_t(y_{tf})$ Bernoulli rassal değişkeni ile tanımlanmıştır. $1 - \rho$ olasılığıyla, ücret kilidi seçeneğinin seçilmesi halinde $B_t(y_{tf})$ değişkeni, dolayısıyla y_f , 1 değerini almaktadır. f zaman önce ücret kilidini seçen müşteri olması halinde, yani $y_1 = 1$, müşterinin bileti satın alması veya sistemden ayrılması $B_t(y_{1f})$ Bernoulli rassal değişkeni ile tanımlanmıştır. Müşterinin sistemden ayrılması durumunda, $1 - \pi$ olasılığıyla $B_t(y_{1f}) = 1$ değerini almaktadır. Eğer $y_1 = 0$ ise, yani f dönem önce ücret kilidi seçeneğini kullanan bir müşteri bulunmuyorsa, 1 olasılıkla $B_t(y_{1f}) = 0$ olmaktadır. Önerilen modelde, ücret kilidinin seçilmesi halinde f dönem sonra bilet satın alınca π olasılığıyla r_j geliri elde edilmektedir.

Bu modelde, ücret kilidinin seçilmesi halinde f dönem sonra bilet satın alınca π olasılığıyla r_j geliri elde edilmektedir ve bu varsayımın kabul edilebilir olduğu düşünülmektedir. Talluri ve van Ryzin (2004a: 158, 159) tarafından tek bacaklı fazla rezervasyon modellerine yönelik yapılan çalışmada, kabul edilen bir müşteriden alınacak beklenen para iadesinin rezervasyon zamanında ya da daha sonra yapılmasının toplam

beklenen gelirden herhangi bir değişiklik yaratmadığı belirtilmiştir. Ayrıca, M. Chen ve Z. Chen (2019) tarafından söz konusu varsayımın geçerli olduğu açıklanmıştır. Birincisi, f süresi gerçekte kısa tutulmaktadır ve bu süre zarfında bilet fiyatlarında büyük bir değişim yaşanması genelde muhtemel değildir. İkincisi, bununla ilgili potansiyel maliyetler nedeniyle müşteriler her gün bilet fiyatlarını takip etmek istemeyebilirler. Üçüncüsü, yolculuğun belirsizliğini çözümlemenin zaman alacağı düşünüldüğünde, yolcular ücret kilidinin bitmesinden önce opsiyonu kullanmak istemeyebilirler. Önerilen modelde de aynı varsayım kullanılmış ve müşteri tarafından seçilen ücret kilidi seçeneğinin beklenen geliri $r_f + \pi r_j$ olarak gösterilmiştir.

Problemde, satıcı her t döneminde ücret kilidinin yer aldığı hazır bulundurulan ürün setine, yani $S \subseteq N$ hazır ürününe (satıcının öneri seti) karar verilmektedir. Problemin dinamik programlama modeli olarak yazılması amacıyla durum değişkenleri t döneminde $(x, y_1, y_2, \dots, y_f)$ olarak tanımlanmıştır. x , t döneminde kalan kapasite, $V_t(x, y_1, \dots, y_f)$ $f + 1, \dots, T$ döneminde en iyi toplam beklenen gelir ve $V_1(C, 0, \dots, 0)$ en iyi toplam beklenen geliri ifade etmek üzere, dinamik programlama en iyilik prensibine göre önerilen model aşağıda sunulmuştur.

$$\begin{aligned}
 V_t(x, y_1, y_2, \dots, y_f) &= \max_{S \subseteq N} \left\{ \sum_{j \in S} \lambda P_j(S) \left[(\rho r_j + (1 - \rho)(r_f + \pi r_j)) \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + \mathbb{E}\{V_{t+1}(x - 1 + B_t(y_{1f}), y_2, \dots, y_f, B_t(y_{tf}))\} \right] \right. \\
 &\quad \left. + [(\lambda P_0(S) + 1 - \lambda) \cdot \mathbb{E}\{V_{t+1}(x + B_t(y_{1f}), y_2, \dots, y_f, 0)\}] \right\} \quad (4.3)
 \end{aligned}$$

Bu modelde, Şekil 4.2’de gösterildiği üzere ilk f dönem boyunca ücret kilidi seçeneğinin kullanılmasıyla ilgili ürünün satın alınma ya da sistemden ayrılma seçimleri yapılmayacaktır. Bu nedenle, $1, \dots, f$ döneminde model aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned}
V_t(x, y_1, y_2, \dots, y_f) &= \max_{S \subseteq N} \left\{ \sum_{j \in S} \lambda P_j(S) \left[(\rho r_j + (1 - \rho)(r_f + \pi r_j)) \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + \mathbb{E}\{V_{t+1}(x - 1, y_2, \dots, y_f, B_t(y_{tf}))\} \right] \right. \\
&\quad \left. + [(\lambda P_0(S) + 1 - \lambda) \cdot \mathbb{E}\{V_{t+1}(x, y_2, \dots, y_f, 0)\}] \right\}
\end{aligned} \tag{4.4}$$

Sınır şartları:

$$V_{T+1}(\cdot) = 0, \tag{4.5}$$

$$V_t(0, \cdot) = 0, \quad \forall t, \tag{4.6}$$

$$V_t(C + 1, \cdot) = 0, \quad \forall t. \tag{4.7}$$

Modelde $y_1 = 1$ için $\mathbb{E}\{V_{t+1}(x + B_t(y_{1f}), y_2, \dots, y_f, 0)\}$ ifadesinin beklenen değeri aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}
\mathbb{E}\{V_{t+1}(x + B_t(y_{1f}), y_2, \dots, y_f, 0)\} \\
= \pi \{V_{t+1}(x, y_2, \dots, y_f, 0)\} + (1 - \pi) \{V_{t+1}(x + 1, y_2, \dots, y_f, 0)\}
\end{aligned} \tag{4.8}$$

Dinamik modelde yer alan büyük boyuttaki durum değişkeni nedeniyle en iyi politikanın bulunması zordur. Bu nedenle, bu çalışmada üst sınır bulunması amacıyla doğrusal programlama modeli üzerine çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca, ücret kilidinin toplam gelire olan etkisinin gözlenmesi amacıyla ücret kilidinin ihmal edildiği durumda dinamik modelin çözümü yapılmıştır.

4.2.1. DMÜ modelinin örnek üzerinde çözümü

Ücret kilidi seçeneğinin eniyilenmesi için problemin çözümünde kullanılan değişkenlerin değerleri, bu bölüme kadar açıklanan konular üzerinde çalışma yapan araştırmacılara benzer şekilde ve gerçek durumdaki örnekler kullanılarak belirlenmiştir. Satma ufkundaki toplam dönem sayısı $T = 150$ ve ücret kilidi süresi $f = 5$ dönem olarak belirlenmiştir. Her dönemdeki geliş olasılığı $\lambda = 1$ olarak seçilmiştir. Önerilen 4 ürünün fiyatları

$r_j = (600, 450, 300, 150)$, ücret kilidi seçeneğinin kullanılması durumunda gelir ise $r_f = 30$ olarak tanımlanmıştır. Müşterinin önerilen ürünü almayı seçme olasılığı $\rho = 0,8$, ücret kilidi seçeneğini kullanma olasılığı $1 - \rho = 0,2$ olarak gösterilmiştir. Ayrıca, ücret kilidi zamanı sonunda müşteri $\pi = 0,4$ olasılığıyla ürünü alabilir ya da $1 - \pi = 0,6$ olasılığıyla sistemden ayrılabilir.

Modelde müşteriler $l = 5$ farklı segmente ayrılmıştır ve her segment için geliş oranları, düşünülen set ve tercih vektörü Çizelge 4.1’de sunulmuştur. Her dönemdeki geliş olasılığı $\lambda = 1$ olarak seçilmiştir. Her gelen müşteri, p_l olasılığıyla l segmentine aittir ve $\sum_{l=1}^L p_l = 1$ olarak gösterilmektedir. l segmentinden gelen müşteri $\lambda_l = \lambda p_l$ oranıyla gelmektedir. Bu bağlamda, toplam geliş oranı $\lambda = \sum_{l=1}^L \lambda_l$ Çizelge 4.1’e göre de hesaplandığında $\lambda = 1$ değerini almaktadır.

Çizelge 4.1. Segmente göre geliş olasılıkları, düşünülen set ve tercih vektörü

Segment	Geliş oranı λ_l	Düşünülen Set C_l	Tercih Vektörü (v_{lj}, v_{l0})
1	0,10	$\{1\}$	(4,1)
2	0,15	$\{1,2\}$	(3,5,2)
3	0,20	$\{2,3\}$	(4,8,2)
4	0,25	$\{3,4\}$	(6,8,2)
5	0,30	$\{4\}$	(3,2)

Bu çerçevede, müşteri seçimi davranışı için ÇTL modeli ile hesaplanan seçim olasılıkları, $P_j(S)$, Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Sumida ve Topaloğlu (2019) çalışmasına dayanarak, uçuşta toplam beklenen kapasite kullanımı, t döneminde kapasiteyi en fazla tüketen setin tüm dönemler boyunca kullanılmasıyla $\mu = \sum_{t \in T} \lambda \max_{S \subseteq N} \sum_{j \in S} P_j(S) [\rho + (1 - \rho)\pi]$ eşitliğiyle tanımlanmıştır. Yük faktörü $\alpha = 1,2$ olmak üzere, kapasite $C = \lceil \mu/1,2 \rceil$ olarak belirlenmiştir. $\lceil . \rceil$ sayı yuvarlama fonksiyonudur. Hesaplama sonucu 16 numaralı $S = \{1,2,3,4\}$ setinin $\sum_{j \in S} P_j(S) [\rho + (1 - \rho)\pi] = 0,678$ olarak kapasiteyi en fazla kullanan set olduğu tespit

Çizelge 4.2. Müşterinin seçim olasılıkları

No.	S	$P_1(S)$	$P_2(S)$	$P_3(S)$	$P_4(S)$
1.	$\{\emptyset\}$	0	0	0	0
2.	$\{1\}^1$	0,17	0	0	0
3.	$\{2\}$	0	0,2405	0	0
4.	$\{3\}$	0	0	0,3475	0
5.	$\{4\}$	0	0	0	0,38
6.	$\{1,2\}^2$	0,125	0,2083	0	0
7.	$\{1,3\}$	0,17	0	0,3475	0
8.	$\{1,4\}$	0,17	0	0	0,38
9.	$\{2,3\}$	0	0,1643	0,3018	0
10.	$\{2,4\}$	0	0,2405	0	0,38
11.	$\{3,4\}$	0	0	0,2538	0,305
12.	$\{1,2,3\}$	0,125	0,1321	0,3018	0
13.	$\{1,2,4\}$	0,125	0,2083	0	0,38
14.	$\{1,3,4\}$	0,17	0	0,2538	0,305
15.	$\{2,3,4\}$	0	0,1643	0,208	0,305
16.	$\{1,2,3,4\}$	0,125	0,1321	0,208	0,305

edilmiştir. $\mu = \sum_{i=1}^{150} 1x0,678 = 101,7$ ve $C = [101,7/1,2] = 85$ hesaplamaları neticesinde kapasite $C = 85$ olarak bulunmuştur.

Yukarıda sunulan örneğin çözümü sonucunda en iyi beklenen gelir 30 527,76 olarak bulunmuştur ve çözüm süresi 785,43 saniyedir. Çözüm sonucunda, tüm dönemlerdeki, $t = 1 \dots T$, $V_t(C, 0, \dots, 0)$ durumunda, 12 numaralı $S = \{1,2,3\}$ setinin, yani ilk üç ürünün, ilk 15 dönem boyunca, 16 numaralı $S = \{1,2,3,4\}$ setinin, yani tüm ürünlerin, 16'ncı dönemden itibaren toplam 135 dönem boyunca kullanıldığı görülmüştür.

Dinamik modelin çözümünün zorluğu ve çok zaman alması nedeniyle bundan sonraki bölümlerde üst sınırın bulunması amacıyla doğrusal programlama modeli üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, ücret kilidinin toplam gelire olan etkisinin gözlenmesi amacıyla ücret kilidinin ihmal edildiği durumda dinamik modelin çözümü yapılmıştır.

4.3. Ücret Kilidinde Müşteri Seçimi Davranışına İlişkin Doğrusal Programlama Modeli (DPÜ)

Dinamik modelin zorluğundan dolayı probleme ilişkin pratik çözümlerden biri yaklaşım modelidir. Gallego ve diğerleri (2004) tarafından, deterministik çözümde kullanılan yaklaşımda rassal değişkenler beklenen değerleri (ortalama değerler) ile değiştirilmiş ve kapasite ile talep sürekli olarak varsayılmıştır. Bu bağlamda, problem çözümü daha basit olacak şekilde bir matematik programına indirgenebilmiştir (Liu ve van Ryzin, 2008). Liu ve van Ryzin (2008) tarafından yapılan çalışmada STDDP modelinin havayolu şebeke probleminde üst sınır oluşturduğu açıklanmıştır. Bu bölümde, Bront ve diğerleri (2009), Gallego ve diğerleri (2004) ile Liu ve van Ryzin (2008) çalışmalarındaki STDDP modelinden ve Talluri ve van Ryzin (2004a: 64-70, 2004b) tarafından önerilen etkin setlerden yararlanılmak suretiyle ücret kilidi için doğrusal programlama modeli (DPÜ) önerilmiştir.

S dinamik modelde olduğu gibi satıcının öneri setidir. λ geliş olasılığı her zaman diliminde gelen müşteri oranını gösterecek şekilde deterministik olarak tanımlanmıştır. S seti önerildiği ve müşteri geldiği takdirde, j ürününden deterministik miktarda $P_j(S)$ seçilir ve ürün satılır veya ücret kilidi seçeneği kullanılır. Bu değer, S seti önerildiği zaman j ürünü için talebin ortalama değeridir. $R(S)$, S seti önerildiği zaman gelen müşteriden elde edilebilecek beklenen gelir olmak üzere ve DPÜ’de deterministik gelir olarak kullanılacak şekilde aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$R(S) = \sum_{j \in S} P_j(S) [\rho r_j + (1 - \rho)(r_f + \pi r_j)] \quad (4.9)$$

Modelde $Q(S)$ deterministik kapasite kullanım oranı olarak ifade edilmektedir ve $Q(S) = Q_j(S) + Q_{j,f}(S)$ olacak şekilde, ürün ve ücret kilidinin kullandığı kapasite kullanımına eşittir. Üründen elde edilen kapasite kullanımı $Q_j(S) = P_j(S)\rho$ ve ücret kilidinden elde edilen kapasite kullanım oranı $Q_{j,f}(S) = P_j(S)(1 - \rho)\pi$ olacaktır. Böylece $Q(S)$ aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Q(S) = \sum_{j \in S} P_j(S) \rho + \sum_{j \in S} P_j(S) (1 - \rho) \pi = \sum_{j \in S} P_j(S) [\rho + (1 - \rho) \pi] \quad (4.10)$$

Modelde S setinin önerildiği dönem sayısı $t(S)$ olarak gösterilmektedir. Talebin deterministik ve seçim olasılıklarının zamanda homojen olmasından dolayı, S setinin hangi dönemlerde önerildiği önemli değildir, ancak S setinin önerildiği toplam dönem önem kazanmaktadır. S setinin dönemlerdeki herhangi farklı bir dizilimi aynı geliri sağlayacak ve aynı kapasite kullanım oranına sahip olacaktır. Bu bağlamda, $t(S)$ sürekli olacak şekilde satıcının karar değişkeni olarak tanımlanmıştır ve sonucu kesirli olabilir. Örnek olarak, eğer $t(S)$ 3,5 zaman dilimi olarak önerilmesi gerekiyorsa, S 'nin 3 zaman dilimi ile diğer zaman diliminin yarısı olarak önerilmesi uygundur (Liu ve van Ryzin, 2008). Doğrusal programlama modelinde ücret kilidinin gelire ve kapasiteye etkisi dikkate alınmasına karşılık, karar değişkeninden dolayı dinamik modele göre ücret kilidi süresinin etkisi dikkate alınamamaktadır. Bu çerçevede, oluşturulan model aşağıda sunulmuştur.

$$V^{DP\ddot{U}} = \max \sum_{S \subseteq N} \lambda R(S) t(S) \quad (4.11)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{S \subseteq N} \lambda Q(S) t(S) \leq C, \quad (4.12)$$

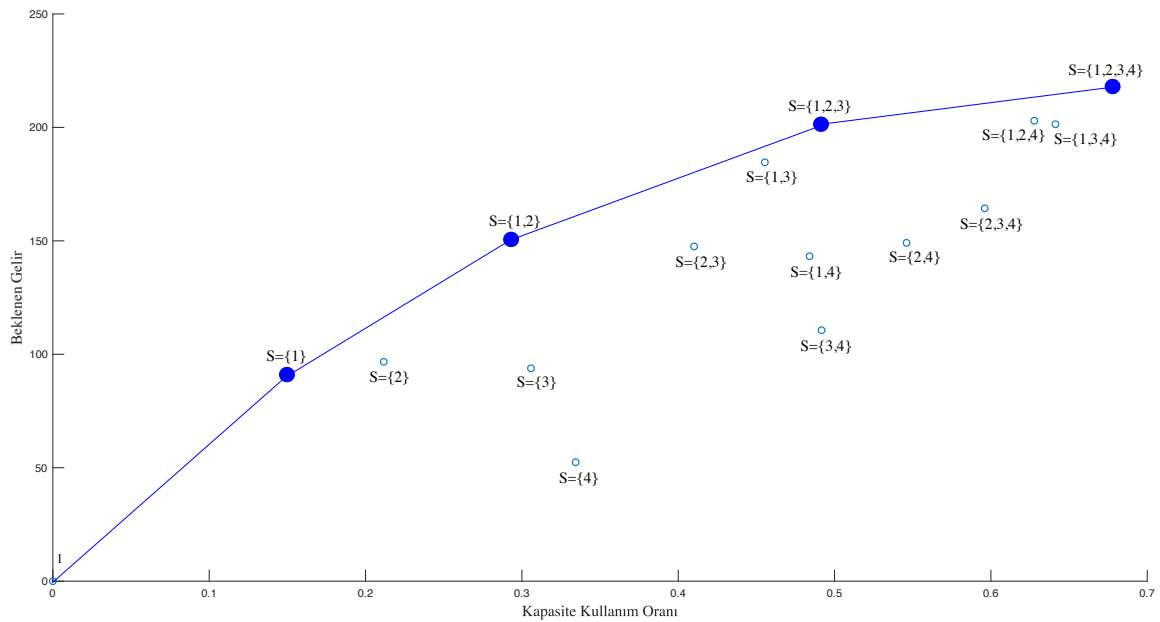
$$\sum_{S \subseteq N} t(S) \leq T, \quad (4.13)$$

$$t(S) \geq 0, \quad \forall S \subseteq N. \quad (4.14)$$

Modelde, Eş. 4.12 kullanılan kapasitenin toplam kapasiteyi aşmamasını ve Eş. 4.13 önerilen S setlerinin dönemlerinin toplamının toplam dönemi geçmemesini göstermektedir. Son kısıt ise negatif olmama koşuludur. Anılan modelin n sayıda ürün için üstel olarak $2^n - 1$ olası ürün seti, dolayısıyla $t(S)$ değişkeni bulunmaktadır. Ayrıca, model $1 + 1 + 2^n$ sayıda kısıta sahiptir.

4.3.1. DPÜ modelinin örnek üzerinde çözümü

DPÜ modelinin çözümü, dinamik modelde açıklanan örnek problem üzerinde yapılmıştır. $R(S)$, S seti önerildiği zaman gelen müşteriden elde edilebilecek beklenen gelir ve $Q(S)$, kapasite kullanım oranı olmak üzere modelin çözümünde kullanılan setlere ilişkin karşılaştırma Şekil 4.6’da verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, $S = \{1\}$, $S = \{1,2\}$, $S = \{1,2,3\}$ ve $S = \{1,2,3,4\}$ olmak üzere çözümde kullanılabilecek dört farklı etkin set bulunmuştur.



Şekil 4.6. DMÜ modelinde setlerin beklenen gelir ve kapasite kullanım oranına göre gösterimi

DPÜ modelinin çözümü, dinamik modelde açıklanan örnek problem üzerinde yapılmıştır. Bu bağlamda, DPÜ modelinin çözülmesi sonucunda en iyi beklenen gelir 31 215,77 ve çözüm süresi 1,44 saniye olarak bulunmuştur. Çözüm neticesinde, $t(S)$ karar değişkeninde, $S = \{1,2,3\}$ setinin 89,64 dönem boyunca, $S = \{1,2,3,4\}$ setinin 60,36 dönem boyunca kullanıldığı görülmüştür.

Bu çalışmada sunulan modellerin çözümünün tamamı, Matlab R2018a (64-bit) programında, 2.6 GHz Intel Core i5 işlemcili ve 8 GB 1600 MHz DDR3 geçici belleği olan MacBook Pro (2014) bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Dinamik modeller programda kodlanarak çözülmüştür. Doğrusal programlama modellerinin çözümünde Matlab

programında modelleme ve eniyileme aracı olan YALMIP (R20190425 versiyonu) ve YALMIP’de çözüm aracı olarak IBM CPLEX Solver (V12.9.0) kullanılmıştır. YALMIP’in eniyilemede kullanımıyla ilgili Löfberg (2004) çalışması incelenebilir ve detaylı bilgi için <https://yalmip.github.io/> adresine başvurulabilir.

4.4. Ücret Kilidinin İhmal Edildiği Müşteri Seçimi Davranışına İlişkin Dinamik Model (SDM)

Ücret kilidinin toplam gelire olan etkisinin gözlenmesi amacıyla ücret kilidinin ihmal edildiği durumda standart dinamik modelin (SDM) çalışması yapılmıştır. Bahse konu model tek bacaklı uçuşlara ilişkin olarak Talluri ve van Ryzin (2004a: 66, 67) tarafından açıklanmış ve bir önceki bölümde detayları verilmiştir. Bu bağlamda, değişkenleri dinamik modelle aynı şekilde gösterilen model, $V_1(C)$ en iyi beklenen geliri ifade etmek üzere aşağıda sunulmuştur.

$$V_t(x) = \max_{S \subseteq N} \left\{ \sum_{j \in S} \lambda P_j(S) (\rho r_j + V_{t+1}(x - 1)) + (\lambda P_0(S) + 1 - \lambda) V_{t+1}(x) \right\} \quad (4.15)$$

Sınır şartları:

$$V_{T+1}(\cdot) = 0, \quad (4.16)$$

$$V_t(0) = 0, \quad \forall t. \quad (4.17)$$

4.4.1. SDM modelinin örnek üzerinde çözümü

SDM modelinin çözümü, dinamik modelde açıklanan örnek problem üzerinde yapılmıştır. Önerilen modelin çözümü sonucunda en iyi beklenen gelir 26 712,08 olarak bulunmuş ve model 3,31 saniyede çözülmüştür. Çözüm neticesinde, $t = 1 \dots T$, $V_t(C)$ durumunda $S = \{1,2,3\}$ setinin ilk 22 dönem boyunca, $S = \{1,2,3,4\}$ setinin kalan 128 dönemde kullanıldığı görülmüştür.

Bu bölümün kalan kısmında, hazırlanan veri setleriyle ücret kilidi seçeneği için önerilen modellerin çözümlerine yönelik uygulamalar yapılacak ve sonuçlar tartışılacaktır.

4.5. Modellerin Uygulaması

Ücret kilidinde müşteri seçimi davranışına ilişkin olarak gelirin eniyilenmesi için önerilen modellerin örnek üzerinde yapılan çözümlerinin sonuçları Çizelge 4.3’de sunulmuştur. Önerilen modeller incelenecek olursa, DMÜ modelinin çözüm süresinin büyük boyuttaki durum değişkeni nedeniyle yüksek olduğu bulunmuştur. Ücret kilidinin ihmal edildiği SDM modelinde, ücret kilidi ile ilgili durum değişkenlerinin olmaması nedeniyle çözüm süresinin büyük ölçüde azaldığı görülmektedir. Ayrıca, SDM modelinde ücret kilidi ile ilgili gelir elde edilmemesinden dolayı beklenildiği gibi en iyi beklenen gelirin DMÜ modelinden %12,5 düşük olduğu tespit edilmiştir. Yani, ücret kilidi seçeneğinin kullanılması sonucu gelir %12,5 artmıştır. Doğrusal model incelendiğinde, üst sınır oluşturması dolayısıyla en iyi beklenen gelirin olması gerektiği gibi DMÜ modelinden %2,25 yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.3. Önerilen modellerin örnek üzerinde yapılan çözümlerinin sonuçları

Model	En İyi Beklenen Gelir	Çözüm Süresi (sn)
Ücret Kilidinde Müşteri Seçimi Davranışına İlişkin Dinamik Model (DMÜ)	30 527,76	785,43
Ücret Kilidinde Müşteri Seçimi Davranışına İlişkin Doğrusal Programlama Modeli (DPÜ)	31.215,77	1,44
Standart Dinamik Model (SDM)	26 712,08	3,31

Modellerin tamamının değişik veri setleriyle incelenmesi amacıyla, modellerin çözümünde kullanılan örnek veri seti baz alınarak toplam 73 farklı örnek seti oluşturulmuştur. Açıklanan örnek veri seti 0 olarak adlandırılmıştır. Bu örneklerde önerilen 4 ürünün fiyatları altı örnekte $r_j \in \{(1000,750,500,250), (900,700,500,300), (800,600,400,200), (700,500,300,200), (500,400,300,200), (400,300,200,100)\}$ olarak tanımlanmıştır. Ücret kilidi seçeneğinin kullanılması durumunda sağlanan gelir ise 10 farklı örnekte $r_f \in \{2, 5, 7, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 150\}$ olarak alınmıştır. Satma ufkundaki toplam dönem sayısı 13 farklı örnekte olacak şekilde $T \in \{25, 50, 75, 125, 175, 200, 250, 300, 365, 500, 730, 1000, 1500\}$ olarak gösterilmiş, ücret kilidi süresi 5 farklı örnekte $f \in \{3, 7, 10, 12, 15\}$ dönem olarak belirlenmiştir.

DMÜ modelinin çözüm süresinin $f \in \{12, 15\}$ değerleri için çok uzun sürmesinden dolayı çözümü yapılmamıştır. Uçuşun kapasitesi 12 farklı örnekte $C \in \{20, 40, 60, 80, 125, 150, 200, 250, 300, 500, 660, 868\}$ olarak tanımlanmıştır. Boeing 747-400'ün en fazla koltuk kapasitesi 660⁵ ve bir uçaktaki en fazla koltuk kapasitesi olarak dikkate alınan Airbus A380-800'ün koltuk kapasitesi 868⁶ olarak gösterilmiştir.

Müşterinin önerilen ürünü satın almayı seçme olasılığı 9 değişik örnekte $\rho \in \{0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,9; 1,0\}$, yani ücret kilidi seçeneğinin kullanma olasılığı $1 - \rho \in \{0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,1; 0\}$ olarak gösterilmiştir. Ücret kilidi zamanı sonunda müşteri 9 farklı örnekte $\pi \in \{0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0\}$ olasılığıyla ürünü satın alabilir ya da $1 - \pi \in \{0,9; 0,8; 0,7; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1; 0\}$ olasılığıyla sistemden ayrılabilir.

Her dönemdeki geliş olasılığı 4 değişik örnekte $\lambda \in \{0,2; 0,4; 0,6; 0,8\}$ olarak alınmıştır. Müşteri seçimi davranışının değişmesi amacıyla S seti önerildiği zaman müşterinin j ürününü seçme olasılığının, $P_j(S)$, değişimi hedeflenmiştir. Talep parametrelerini değiştirmek amacıyla, $P_{lj}(S) = v_{lj} / \sum_{h \in C_l \cap S} v_{lh} + v_{l0}$ formülündeki v_{l0} ürün tercih etmeme ağırlığı vektörünün değişimi hedeflenmiş ve farklı seçim davranışları simüle edilmiştir. Bu bağlamda, segmentlere göre $v_{l0} \in \{(0,0,0,0,0), (1,4,4,4,1), (1,8,6,4,1), (4,16,12,8,4), (8,10,12,14,16)\}$ değerleri sırasıyla kullanılmıştır. Örnek veri seti 0 olarak gösterilmiş ve 5 farklı örnek sırasıyla 1'den 5'e kadar numaralandırılmıştır. v_{l0} formülde paydada yer aldığından, sıfır değerleri müşterilerin düşünülen setlerdeki ürünler arasında seçim yapmaya istekli olduklarını belirtmektedir. Yüksek tercih etmeme değerleri ürünlerin seçilmeme olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir.

Açıklanan veri setleriyle önerilen DMÜ, DPÜ ve SDM modellerinin çözümlerinin yapılması sonucunda bulunan en iyi beklenen gelirler ile DMÜ modelinden DPÜ ve SDM modellerinin fark yüzdeleri ve modellerin çözüm süreleri EK-1'de sunulmuştur. DMÜ, DPÜ ve SDM modellerinin en iyi beklenen gelirlerinin sonuçları özet olarak Çizelge 4.4'de sunulmuştur. Ayrıca, DMÜ ve DPÜ modellerinde f ücret kilidi süresi,

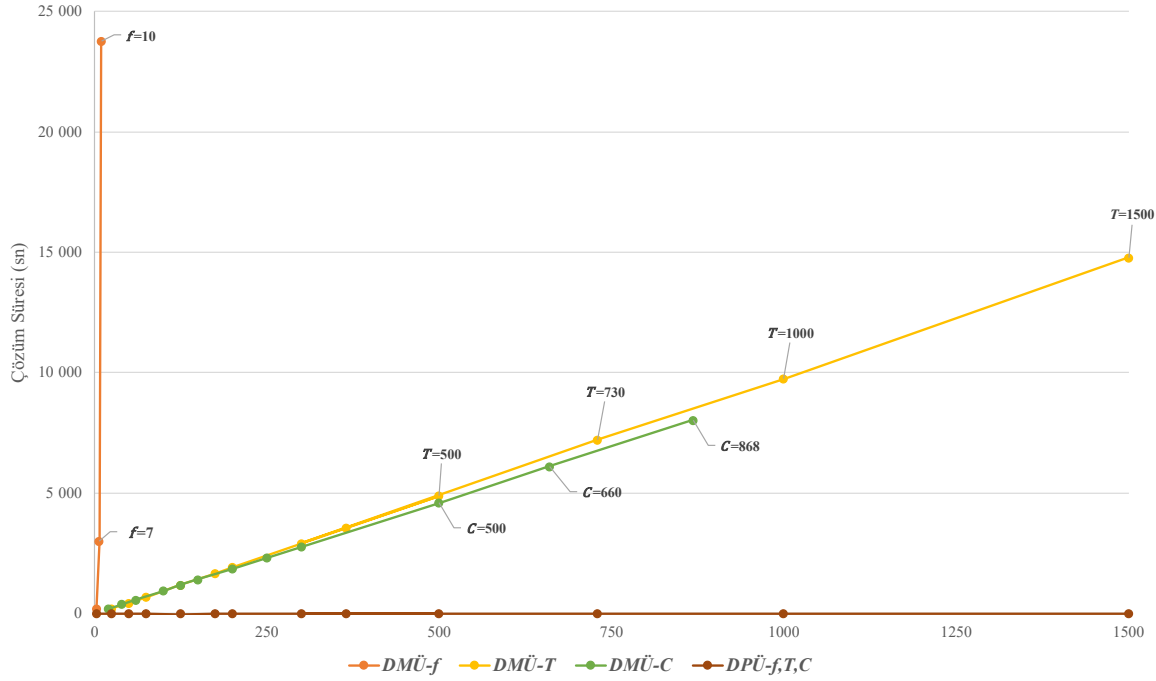
⁵ Onaylanan Boeing 747-400'den acil durumda kurtarılabilecek en fazla yolcu sayısı, yani en büyük koltuk kapasitesidir (European Aviation Safety Agency, 2018).

⁶ Onaylanan Airbus A380-800'den acil durumda kurtarılabilecek en fazla yolcu sayısı, yani en büyük koltuk kapasitesidir (European Aviation Safety Agency, 2019).

Çizelge 4.4. Ücret kilidinde müşteri seçimi davranışı modelinin veri setleriyle yapılan çözümlerin sonuçları – özet

Örnek							En İyi Beklenen Gelirler			
T	f	C	ρ	π	λ	v_{10}	DMÜ	DPÜ	SDM	
150	5	85	0,8	0,4	1	0	30 527,76	31 215,77	26 712,08	
75	5	85	0,8	0,4	1	0	16 359,83	16 359,83	14 557,50	
200	5	85	0,8	0,4	1	0	35 760,61	36 845,51	30 473,17	
365	5	85	0,8	0,4	1	0	44 888,35	45 763,98	37 100,52	
150	3	85	0,8	0,4	1	0	30 535,14	31 215,77	26 712,08	
150	7	85	0,8	0,4	1	0	30 520,21	31 215,77	26 712,08	
150	10	85	0,8	0,4	1	0	30 508,71	31 215,77	26 712,08	
150	5	20	0,8	0,4	1	0	11 806,35	12 136,36	9 549,68	
150	5	125	0,8	0,4	1	0	32 718,77	32 719,66	29 109,01	
150	5	200	0,8	0,4	1	0	32 719,66	32 719,66	29 115,00	
150	5	85	0,4	0,4	1	0	24 907,64	25 371,48	13 356,04	
150	5	85	1	0,4	1	0	33 390,10	33 846,84	33 390,10	
150	5	85	0,8	0,2	1	0	29 335,88	30 173,16	26 712,08	
150	5	85	0,8	0,8	1	0	32 816,92	33 307,89	26 712,08	
150	5	85	0,8	0,4	0,2	0	6 543,93	6 543,93	5 823,00	
150	5	85	0,8	0,4	0,6	0	19 631,62	19 631,80	17 467,59	
150	5	85	0,8	0,4	1	1	35 195,90	36 451,30	30 282,00	
150	5	85	0,8	0,4	1	2	28 207,03	28 910,91	24 603,18	
150	5	85	0,8	0,4	1	3	26 418,72	27 091,16	22 946,38	
150	5	85	0,8	0,4	1	4	19 404,43	19 405,86	17 233,64	
150	5	85	0,8	0,4	1	5	16 523,74	16 523,74	14 716,92	

T toplam dönem sayısı ve C kapasiteye göre çözüm süreleri Şekil 4.7’de sunulmuştur. Sonuçlara ilişkin detaylı değerlendirme takip eden kısımda verilmiştir.



Şekil 4.7. DMÜ ve DPÜ modellerinde ücret kilidi süresi, toplam dönem sayısı ve kapasiteye göre çözüm süreleri

4.6. Tartışma ve Sonuçlar

Örnek veri seti dâhil olmak üzere toplam 74 örnek setin uygulama sonuçları değerlendirildiğinde, DPÜ modelinin sonuçlarının DMÜ modelinin sonuçlarıyla 16 örnekte aynı ve 56 örnekte yüksek olduğu görülmektedir. DPÜ modeli sonuçlarının DMÜ modelinden ortalama %1,73 yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun, doğrusal programlama modelinin DMÜ modeline üst sınır oluşturması nedeniyle beklenen bir sonuç olduğu düşünülmektedir. Ücret kilidi süresinin çok uzun sürmesi nedeniyle DMÜ modelinin çözüm sonucunun bulunmadığı için $f \in \{12,15\}$ olmak üzere iki örnekte karşılaştırma yapılamamıştır. SDM modeliyle elde edilen sonuçlar ise ücret kilidiyle elde edilen gelirin ihmal edilmesi sebebiyle DMÜ modeline göre ortalama %16,67 daha düşüktür. Bir başka deyişle, ücret kilidi seçeneğinin kullanılmasıyla gelirler ortalama %16,67 artmıştır.

Modellerin çözüm sürelerine bakıldığında, DMÜ modelinin en yüksek süreye sahip olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ücret kilidinin olmasından dolayı durum değişkeni boyutunun büyümesinden kaynaklanmaktadır. SDM modelinde sadece kapasiteyle ilgili durum değişkeni olması nedeniyle çözüm süresi DMÜ modeline göre çok daha düşük çıkmaktadır. DPÜ modelinin çözüm süresi ise temel örnekteki değişkenlere göre yaklaşık 1 saniyenin üzerindedir. Şekil 4.7’de verilen DMÜ ve DPÜ modellerindeki çözüm süreleri incelendiğinde, DMÜ modelinde f ücret kilidi süresinin artmasıyla çözüm süresinde büyük değişimler olduğu ve büyük değerlerde modelin çözüm süresinin yükselerek hesaplamayı zorlaştırdığı gözlenmiştir. DMÜ modelinde T toplam dönem sayısı ve C kapasitenin değişimi ile birlikte çözüm süresinde orantılı artışlar yaşandığı görülmektedir. DPÜ modelinde ise ücret kilidi süresi, toplam dönem sayısı ve kapasite değişimlerinde yaklaşık 1 saniye gibi çok düşük sürede hesaplama yapılabilmektedir.

Örnek setleri incelenecek olursa, r_j ürünlerinin fiyatlarının değişimi nedeniyle en iyi beklenen gelirden değişimler olduğu görülmüştür. Fiyatların artmasından dolayı en iyi beklenen gelir de yükselmiştir. Ücret kilidi ile ilgili gelirlerin değişimine bakılacak olursa, r_f ücret kilidine ilişkin ücretin artmasıyla beraber en iyi beklenen gelirin de arttığı, ancak ücret kilidi ile ilgili ücretin artış oranına göre en iyi beklenen gelirin daha düşük oranda arttığı tespit edilmiştir. Bu konunun, ücret kilidinin kullanılma olasılığı ve ücret kilidi süresi bitiminde müşterinin ürünün satın alınma olasılığına bağlı olduğu düşünülmektedir. SDM modelinde ise ücret kilidi ile ilgili değişkenlerin bulunmaması nedeniyle en iyi beklenen gelir sabit kalmıştır.

Satma ufkundaki toplam dönem sayısı T incelendiğinde, dönem sayısının artmasıyla en iyi beklenen gelirin de arttığı görülmektedir. Her bir dönemde en fazla bir müşteri olduğu varsayımından hareketle, dönem sayısının artmasıyla müşteri sayısının da artmasıyla en iyi beklenen gelirin yükseldiği değerlendirilmektedir. $T = 730$ ’dan sonra doğrusal modellerin ve $T = 1000$ ’den sonra ise DMÜ modelinin değerleri sabit kalmıştır. Bunun nedeni, kapasitenin sabit olmasından dolayı yeni gelen müşterinin en iyi beklenen geliri iyileştirmemesi olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, yüksek dönem sayılarında DMÜ modelinden elde edilen değerler doğrusal modelin değerlerine yaklaşmaktadır. Liu ve van Ryzin (2008) tarafından da benzer sonuçlar bulunmuştur. Bununla birlikte, düşük dönem sayılarında, $T \in \{25, 50, 75\}$, doğrusal modellerle DMÜ modelinin sonuçları arasında fark

olmadığı görülmüştür. Bu durumun, kapasite ve dönem sayısı arasındaki ilişkiye bağlı olduğu düşünülmektedir. Dönem sayısı kapasiteye göre düşük seviyede olduğunda doğrusal modellerin çözüm değerlerinin dinamik modele yaklaştığı görülmektedir. Çözüm sürelerine bakılacak olursa, toplam dönem süresinin yükselmesiyle modeller için yapılan hesaplamaların artması dolayısıyla DMÜ ve SDM modellerinin çözüm sürelerinin de yükseldiği, DPÜ modelinin ise benzer sürelerde çözüldüğü ve toplam dönem sayısının çözüm süresine etkisi olmadığı görülmektedir.

Ücret kilidi süresi f 'nin değişimine bakılacak olursa, DMÜ modelinin en iyi beklenen gelir sonuçlarında ücret kilidi süresine bağlı olarak düşük değişimler görülmektedir. Ücret kilidi süresi arttıkça en iyi beklenen gelir düşük ölçüde azalmaktadır. Bu durumun nedeninin ücret kilidi seçeneğinin seçme olasılığının sabit olmasından kaynaklandığı, gerçek durumda ise ücret kilidinin süresinin uzadıkça opsiyonun seçme olasılığının da artacağı düşünülmektedir. Bulunan sonuçlara benzer şekilde, bağımsız talep modelini çalışan Aydın ve diğerleri (2017) tarafından ücret kilidi süresi arttıkça toplam beklenen gelirden düşümler olabileceği ortaya konmuştur. Diğer taraftan, bu kayıp daha sonra gelen müşteriler tarafından telafi edilebilir. Karar değişkeninden dolayı DPÜ modelinin sonuçlarının sabit olduğu, DMÜ modelinden elde edilen sonuçlardan yüksek olduğu ve üst sınır oluşturduğu gözlenmiştir. SDM modelinin sonuçları ise ücret kilidine bağlı olmadığı için sabit kalmıştır. DMÜ modelinde ücret kilidi süresine bağlı olarak durum değişkenlerinin boyutun artmasından dolayı çözüm süresinin büyük oranda yükseldiği bulunmuştur. Ücret kilidi süresi değişimlerinin etkisi olmaması nedeniyle DPÜ ve SDM modellerinin yaklaşık olarak aynı sürelerde çözüldüğü görülmektedir.

C kapasite değişimleri incelendiğinde, en iyi beklenen gelirin $C = 125$ 'e kadar arttığı, sonraki kapasite artırımlarında en iyi beklenen gelirin sabit kaldığı görülmektedir. Bu durumun nedeninin, her dönemde bir müşteri geldiği varsayımı sebebiyle, kapasitenin artırılmasıyla belirli bir kapasiteden sonra gelirin iyileşmemesi olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, $C = 125$ 'den sonraki kapasitelerde DMÜ ile doğrusal modelin çözüm değerlerinin aynı olduğu görülmektedir. Liu ve van Ryzin (2008) tarafından benzer yorumlar yapılmıştır. DMÜ ve SDM modellerinde kapasitenin artmasıyla beraber yapılan hesaplamaların da artması nedeniyle çözüm sürelerinin yükseldiği bulunmuştur. DPÜ modelinde kapasite değişimlerinde kısıt sayısının değişmemesi nedeniyle çözüm sürelerinin kapasite değişimlerinde benzer süreler aldığı düşünülmektedir.

Müşterinin ürünü satın almayı seçme olasılığı ρ ve ücret kilidi sonunda ürünü satın almayı seçme olasılığı π sonuçlarına bakılacak olursa, olasılıkların artmasıyla en iyi beklenen gelirin de arttığı görülmektedir. SDM modelinde ücret kilidi seçeneği ihmal edildiği için, ücret kilidi sonunda ürünü satın almayı seçme olasılığı değişimlerinde en iyi beklenen gelirin sabit kaldığı görülmektedir. $\rho = 1,0$ değerinde ücret kilidi ile ilgili değişkenler hesaba katılmadığı ve müşteri ürünü satın aldığı için DMÜ ve SDM modeliyle yapılan çözüm sonuçları aynı çıkmıştır. Ayrıca, tüm modellerin olasılık değişimlerinde benzer sürelerde çözüldüğü tespit edilmiştir.

λ geliş olasılıklarının değişimi incelendiğinde, geliş olasılıklarının artmasıyla en iyi beklenen gelirin de arttığı görülmektedir. Geliş olasılıklarının çözüme etkisinin yüksek olduğu ve örnek olarak DMÜ modelinde $\lambda = 0,2$ olasılığındaki hesaplanan 6 543,93 en iyi beklenen gelirin temel örnekte $\lambda = 1$ için bulunan 30 527,76 çözümüne göre düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir. Müşteri seçimi davranışına yönelik olarak v_{l0} ürün tercih etmeme ağırlıklarının değişimine bakıldığında, ürünlerin yüksek tercih etmeme değerleri ile birlikte en iyi beklenen gelirin azaldığı gözlenmiştir. Çizelge 4.4'de v_{l0} 'ın 5 olarak gösterildiği örnekte 16 523,74 olarak hesaplanan en iyi beklenen gelirin, 0 olarak gösterilen ve 30 527,76 olarak hesaplanan temel örneğe göre değerlendirildiğinde v_{l0} 'ın en iyi beklenen gelire etkisinin yüksek olduğu düşünülmektedir. Çizelge 4.4'de v_{l0} 'ın 1 olarak gösterildiği örnekte ise ağırlıklar sıfır olduğunda müşterilerin düşünülen set içerisindeki ürünleri seçeceğinden gelirin yükseldiği görülmektedir. Tüm modellerde λ geliş olasılığı ve v_{l0} ağırlıklarının değişimlerinin ise benzer sürelerde çözüldüğü ve çözüm süresine etkisi olmadığı tespit edilmiştir.

Yapılan çözümlerde kapasite ve satma ufkundaki toplam dönem sayısına bağlı olarak sadece $S = \{1,2,3,4\}$ setinin kullanılmadığı, diğer setlerin de kullanıldığı görülmektedir. Tüm örnek setlerinin çözümleri incelendiğinde, çözümlerde $S = \{1\}$, $S = \{1,2\}$, $S = \{1,2,3\}$ ve $S = \{1,2,3,4\}$ setlerinin kullandığı bulunmuştur. Böylece modelin bu setlere indirgenebileceği düşünülmektedir. Talluri ve van Ryzin (2004a: 67-70) tarafından müşteri seçim modeline yönelik olarak çözümde etkin setlerin kullanılması önerilmiştir. Etkin setler beklenen gelir ve beklenen kapasite kullanım oranı arasındaki karşılaştırmada sınırda bulunan setlerdir. Bu çerçevede, en iyi çözümde kullanılabilirler ve modellerin de karmaşıklığı azaltılabilir. Ancak, yine de etkin setlerin belirlenmesi amacıyla tüm setlerin

beklenen gelir ve beklenen kapasite kullanım oranına göre değerlendirme yapılması gerektiği dikkate alınmalıdır.

Sonraki bölümde, önerilen ücret kilidi ile ilgili modeller temel alınarak yan gelirlerde müşteri seçimi davranışına ilişkin dinamik ve doğrusal programlama modelleri önerilecektir. Bu modellerin çözümleri yapılacak ve farklı veri setleriyle uygulamaları gerçekleştirilerek sonuçları tartışılacaktır. Devamında ise yan gelirlerle ilgili modellerin gerçek durumda havayolu uygulamaları yapılacaktır.

5. YAN GELİRLERDE MÜŞTERİ SEÇİMİ DAVRANIŞI MODELİ

Havayolları envanterlerindeki koltukların ücret seviyeleri ayarlamalarından sonra fazla bagaj, koltuk seçimi ve uçak içi ikramlar gibi yan gelirlerden de son yıllarda büyük miktarlarda gelir elde etmeye başlamışlardır. Bu çalışmanın ikinci bölümdeki yan gelir analizinde, ücret kilidi de dâhil olmak üzere yan gelirlerin havayolu gelirlerinin önemli bir parçası haline geldiği açıklanmıştır. O'Connell (2011: 145) tarafından yan gelirler, bilet ücreti ödendikten sonra internet sitesi veya seyahat esnasında havayolları tarafından kazanılan ek gelirler olarak tanımlanmıştır.

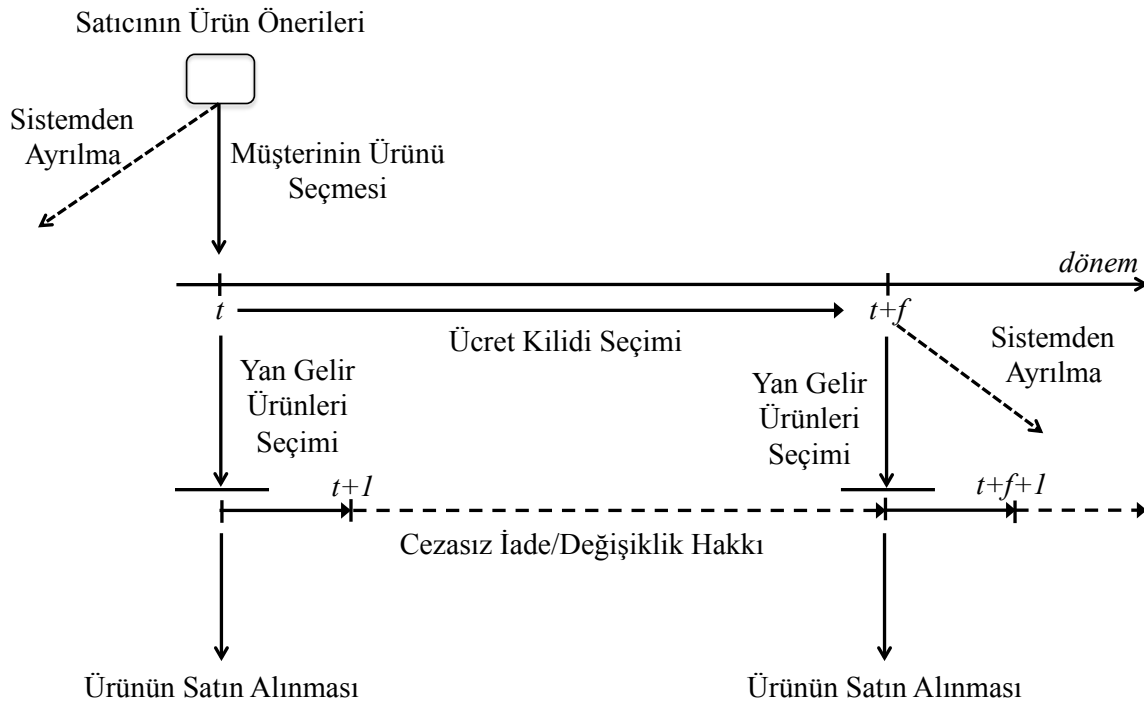
Bu bölümün amacı, bir önceki bölümde açıklanan ücret kilidi modelinden yola çıkarak yan gelirlerin bu modele dâhil edilmesi ve yan gelir modelinin uygulamalarının gerçekleştirilmesidir. Literatür taraması sonucunda, ücret kilidi ve müşteri seçimi davranışı modelini temel alan bir çalışma olmadığı ve bu bölümde açıklanacak yan gelirlerle ilgili müşteri seçimi davranışına ilişkin dinamik modelin de önerilmediği görülmüştür. Bu çalışmada literatürde ilk defa olarak, ücret kilidi probleminin temel alındığı yan gelirlere ilişkin tek bacaklı bir uçuş için müşteri seçim davranışının modellenmesi, örnek çözümlerinin gösterilmesi ve uygulamaların gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.

Bu bölümün devamında, önerilen ücret kilidi modeli temel alınarak yan gelirlerde müşteri seçimi davranışına ilişkin dinamik ve doğrusal programlama modelleri açıklanacak, örnek çözümler gösterilecek ve hazırlanan veri setleriyle uygulamalar gerçekleştirilerek çözümleri tartışılacaktır.

5.1. Yan Gelirlerde Müşteri Seçimi Davranışı Modeli Önerisi

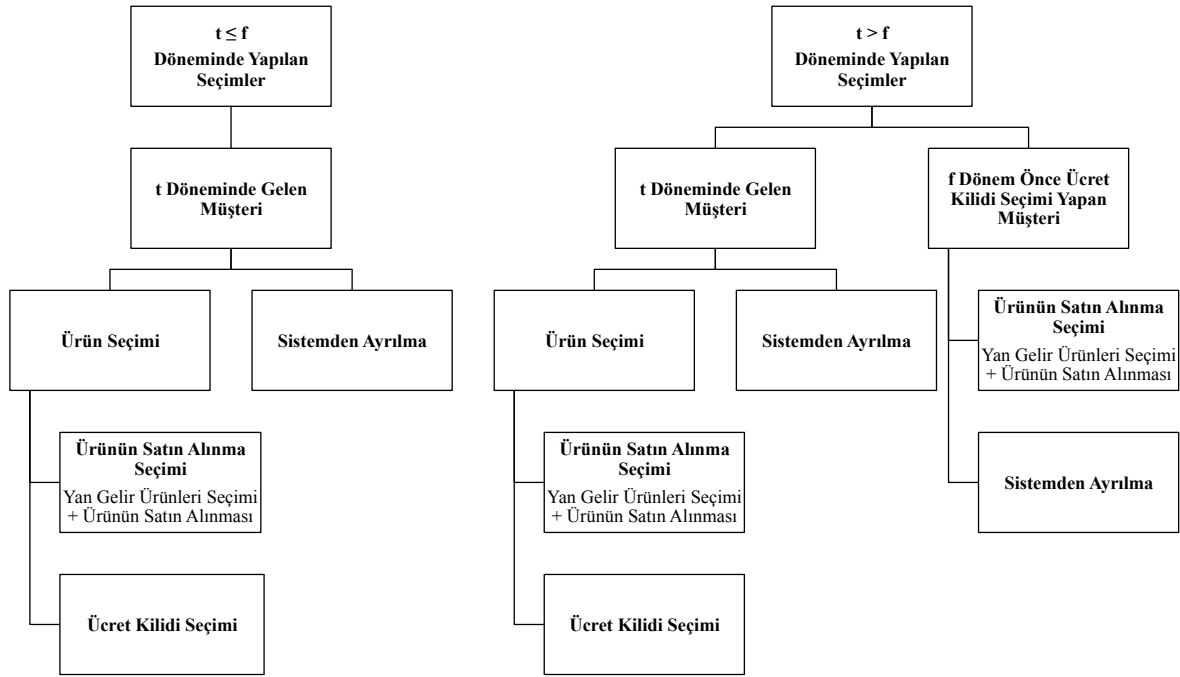
Müşteri uygun tek bacaklı uçuş için ürünü satın alma talebiyle sisteme gelir ve satıcı tarafından hazır bulundurulmuş ürünlerden birini seçebilir ya da müşteri sistemden ayrılabilir. Müşterinin ürünlerden birini seçmesi durumunda ürünü satın almayı veya ücret kilidi seçeneğini kullanmayı seçebilir. Müşterinin ürünü satın almayı seçmesi halinde havayolu tarafından yan gelirlerle ilgili ürünler sunulur ve müşteri bu ürünlerden tercih ettiklerini seçer. Yan gelirle ilgili seçimden sonra müşteri ürünü yan gelir ürünleriyle birlikte satın alır. Ücret kilidi seçeneğinin kullanılması durumunda ise müşteri ücret kilidi

zamanı sonunda ürünü satın almayı veya sistemden ayrılmayı isteyebilir. Ürünün satın alınmasının talep edilmesi halinde yan gelirle ilgili ürünler önerilir ve yan gelir ürünleri seçiminden sonra ürün satın alınır. Bununla birlikte, yolcunun cezasız iade/değişiklik hakkını talep etmesi halinde bu hak müşterinin geldiği dönemde ele alınmaktadır. Bu bağlamda önerilen model Şekil 5.1’de sunulmuştur. Bu modeldeki ana amaç, *yan gelir ürünleri bulunduğu en iyi ürün setlerinin kullanılarak gelirin eniyilenmesidir*.



Şekil 5.1. Önerilen yan gelir modeli

Önerilen yan gelir modeli dönem boyunca yapılacak seçimler yönünden ele alınırsa, Şekil 5.2’de sunulan ilk dönemlerdeki ücret kilidi süresi boyunca ve ücret kilidi sonrasında tüm dönemler boyunca ikiye ayrılabilir. İlk dönemlerde, $t \leq f$ (f ücret kilidi süresi), ürünün seçimi yapılabilir ya da müşteri sistemden ayrılabilir. Ürünün seçimi gerçekleşirse sonra ürünün satın alınması veya ücret kilidi seçimleri yapılabilir. Ürünün satın alınması seçilirse, yan gelir ürünleri seçimi yapılır ve ürün satın alınır. Bu dönemlerde ücret kilidi ile ilgili seçimler başlar. Ücret kilidi sonrasındaki dönemlerde, $t > f$, ilk dönemlerde olduğu gibi ürünlerin seçimi yapılabilir ya da müşteri sistemden ayrılabilir. Ürün seçimi gerçekleşirse, ürünlerin satın alınması veya ücret kilidi seçimleri yapılabilir. Ürünün satın alınması seçildiği takdirde, yan gelir ürünleri seçimi yapılır ve ürün satın alınır. Bunlarla birlikte, f dönem önce ücret kilidi seçimi yapan yolcular, bu dönemde ürünü satın almayı



Şekil 5.2. Önerilen modelde tüm dönemler boyunca yapılan seçimler

veya sistemden ayrılmayı seçebilir. Ürünün satın alınmasının seçilmesi durumunda, yan gelir ürünleri seçimi yapılır ve ürün satın alınır. Önerilen şekilde cezasız iade/değişiklik hakkı yan gelirler içerisinde ele alınmıştır.

Bu modele gerçek durumda örnek verilecek olursa, Pegasus Havayollarında İstanbul-Londra uçuşuna ilişkin arama yapıldığında ve uygun saat seçildiğinde, Şekil 5.3’de sunulan uçuş paketi seçenekleri, yani ürünler, sunulmaktadır. Fazla bagaj seçeneği olduğu için Eko paketi seçilmiştir. Bu durumda, Şekil 5.4’de sunulduğu üzere, müşteri ürünü satın almak için işleme devam edebilir ya da ücret kilidi seçeneğini (“Bu Fiyattan Yerini Ayırt” seçeneği) kullanabilir. Ayrıca, havayolu politikası olarak yan gelirlerden cezasız iade/değişiklik hakkının da sunulduğu görülmektedir. Bu hakta yolcu tarafından uçuşun başlamasına iki saate kadar ceza ödmeden değişiklik yapılabilmektedir (Pegasus Havayolları, 2020a).

Müşteri ücret kilidini seçmeden devam ettiğinde Şekil 5.5’de gösterildiği üzere, yan gelirlerle ilgili “Avantaj Paket” olarak tanıtılan ve yan gelir ürünlerinin tamamının talep edilmesi halinde hepsinin ücret toplamından daha az ücrete sunulan ek bir paket önerilmektedir. Bu paketin seçilmesi halinde müşterinin bilgileri istenmektedir. Yolcu

SAW

11:40

Direkt Uçuş

→

STN

13:45

24h

EKO

1,269.00 TL

24h

Uçuşuna 3 günden daha fazla zaman olduğu için biletini aldıktan sonra 24 saat içinde ücretsiz iptal edebilirsiniz.

SÜPER EKO	EKO	AVANTAJ	BUSINESS FLEX
✓ 8 Kg Kabin Bagajı 20 Kg Bagaj - Koltuk Seçimi - Uçak İçi İkrām - İade/Değişiklik hakkı - Uçak İçi Eğlence ! Sadece 8 Kg kabin bagajı hakkın bulunmaktadır. 2. Parça bagaj ekstra ücretlendirilir. 1,177.00 TL	✓ 8 Kg Kabin Bagajı ✓ 20 Kg Bagaj - Koltuk Seçimi - Uçak İçi İkrām - İade/Değişiklik hakkı - Uçak İçi Eğlence 1,269.00 TL	✓ 8 Kg Kabin Bagajı ✓ 20 Kg Bagaj ✓ Standart Koltuk Seçimi ✓ Sandviç İkrāmı İade/Değişiklik hakkı ✓ Uçak İçi Eğlence 1,314.00 TL	✓ 12 Kg Kabin Bagajı ✓ 20 Kg Bagaj ✓ Dilediğiniz Koltuk Seçimi Uçak İçi İkrām ✓ CEZASIZ İADE/ DEĞİŞİKLİK HA... ✓ Uçak İçi Eğlence 1,412.00 TL

Şekil 5.3. Uçuş paketi seçenekleri (Pegasus Havayolları, 2020a)

✈️

Istanbul → London

Uçuş Tarihi: 12 Ağu 2020, Çar

Seçimi Değiştir

SAW

11:40

Direkt Uçuş

→

STN

13:45

24h

EKO

1,269.00 TL

24h

Uçuşunda 24 saat içinde ücretsiz iptal hakkı vardır

SÜPER FİYAT! Tek yön SADECE 108 TL'ye ceza ödemeden dilediğin zaman bilet farkını ödeyerek değişiklik hakkı kazan.

☐

🔒 BU FİYATTAN YERİNİ AYIRT

DEVAM >

Şekil 5.4. Uçuş paketi seçildikten sonra sunulan seçenekler (Pegasus Havayolları, 2020a)



Fırsatı Kaçırma



Tek yön ve tek kişi için 246.60 TL* yerine **sadece 45.00 TL** daha ödeyerek uçuşunu zenginleştirebilirsin.

Ek Hizmetler	Seçili Paket	Avantaj Paket
Standart Koltuk Seçimi	✗	✓
Sandviç İkrarı	✗	✓
Toplam 20 Kg Bagaj (8 kg el bagajı hariç)	20 Kg	20 Kg
Uçak İçi Eğlence	✗	✓
Devam Et		Paketini Yükselt >

*Paket içindeki ek hizmetlerin ortalama fiyatları baz alınmıştır. Uçuş noktalarımızdaki fiyatlar farklılık gösterebilir.

Şekil 5.5. Yan gelire ilişkin ek paket önerileri (Pegasus Havayolları, 2020a)

bilgilerinin girilmesini müteakip Şekil 5.6’da sunulduğu şekilde pakette bulunan koltuk seçimi, sandviç ikramı ve uçak içi eğlence gibi ürünler ile ilgili seçimler bedelsiz olarak seçilebilmekte ve paket ücreti toplam ücrete eklenmektedir. Müşterinin seçtiği bagaj hakkından fazla bagaj istenmesi durumunda ise ilave ücret istenmektedir (Pegasus Havayolları, 2020a).

✓ Uçuş Seçimi

✓ Yolcu Bilgileri

> Ek Hizmetler

Koltuk Seçimi

Yemek Seçimi

Bagaj Seçimi

Uçak İçi Eğlence Seçimi

Diğer Hizmetler

> Ödeme

AVANTAJ Paket ile ücretsiz seçiminizi yapınız

!

Bu uçuşta otomatik check-in yapılamamaktadır

A B C D E F

← Çıkış →

1 2 3 4 5

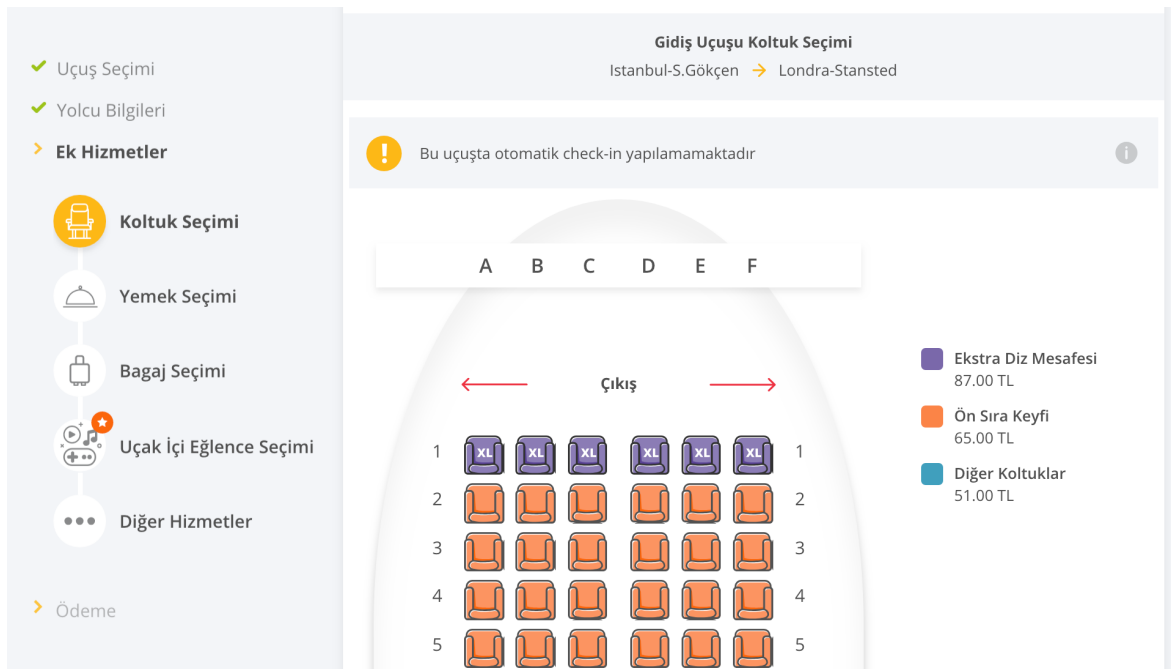
1 2 3 4 5

Ön Sıra Keyfi Ücretsiz

Diğer Koltuklar Ücretsiz

Şekil 5.6. Yan gelirlere ilişkin pakette sunulan ürünlerin gösterimi (Pegasus Havayolları, 2020a)

Eğer müşteri paketi seçmeden devam etmek isterse, yolcu bilgileri istenmekte ve devamında Şekil 5.7’de gösterildiği şekilde yan gelir ürünleri ayrı olarak sunulmaktadır. Şekil incelendiğinde ekstra diz mesafesi, ön sıra keyfi ve diğer koltuklar gibi koltuk seçimi için farklı ücretler önerilmektedir. Aynı şekilde, koltuk seçimi, yemek seçimi, bagaj seçimi, uçak içi eğlence sistemi ve diğer hizmetler adı altında cezasız iade/değişiklik hakkı (ücret kilidi seçeneğinin önerildiği sayfada da aynı ürün önerilmektedir.) ve üçüncü parti tarafından sunulan seyahat sigortası ayrı olarak sunulmaktadır (Pegasus Havayolları, 2020a).



Şekil 5.7. Yan gelirlere ilişkin ayrı şekilde sunulan ürünlerin gösterimi (Pegasus Havayolları, 2020a)

Ücret kilidi seçeneği seçildiğinde ise, Şekil 5.8’de görülen ücret kilidi ile ilgili tarih ve fiyat seçenekleri sunulmuştur. Bu seçenek seçildiğinde, müşteri tarafından bu zaman aralığında ürünü satın alınabilir veya ücret kilidi zamanı sonunda müşteri ürünü satın almayarak sistemden ayrılabilir (Pegasus Havayolları, 2020a).

Bu örnekte, satıcı tarafından dört farklı ürün önerilmiş ve yapılan seçimde Eko ürünü seçilmiştir. Yapılan incelemede, havayolu tarafından tarifeli uçuş hizmetine farklı yan gelir ürünlerinin eklenerek paket oluşturulduğu görülmektedir. İstenilen ek ürünlerin paket



Bu Fiyattan Yerini
Ayırttığımız Son Tarih
Ayırılan Biletin Tutarı

04 Nisan 2020 - 17:37(İstanbul Saati)
1189 TL

Bilet fiyatı, USD/TL ya da EUR/TL kur değişimlerinden etkilenebilir.

Fiyatı Kaç Günlüğüne Sabitlemek İstersiniz?

☒ **7 Gün**

Kişi Başı 35.87 TL

☐ **10 Gün**

Kişi Başı 43.04 TL

☐ **15 Gün**

Kişi Başı 57.39 TL

DEVAM

Şekil 5.8. Ücret kilidi süre ve fiyatları (Pegasus Havayolları, 2020a)

içeriğinde olmaması durumunda müşteri ilave bedel karşılığında bu ürünü satın alabilmektedir. Söz konusu örnekte olduğu gibi belirlenen ürün setleri müşteriye önerildiği ve yan gelirlerle ilgili ürünlerin bu ürünler içerisinde yer aldığı için müşteri seçimi davranışı modelinin gerçeğe uygun bir model olduğu düşünülmektedir.

5.2. Yan Gelirlerde Müşteri Seçimi Davranışına İlişkin Dinamik Model (DMY)

Yan gelirlerde müşteri seçimi davranışına ilişkin dinamik modelde (DMY), t dönemi kesiklidir ve satma ufku $t = (1, \dots, T)$ olarak gösterilmektedir. Satma ufkundaki toplam dönem sayısı T ile, uçuşun toplam kapasitesi C ile ve kalan kapasite x ile ifade edilmektedir. Her bir dönemde en fazla bir müşteri vardır ve her dönemde λ geliş olasılığı bulunmaktadır. Modelde, n tane ürün seçeneği vardır, $N = (1, \dots, n)$ ürünlerin tamamının setini oluşturmaktadır ve 0 satın alımın olmadığı seçenektir. Her ürün $j \in N$ ile ilgili olarak r_j fiyatına sahiptir ve ürünler $r_1 \geq r_2 \geq \dots \geq r_n \geq 0$ olarak sıralanmıştır. $r_0 = 0$ satım alım seçeneğinin olmadığı geliri göstermektedir. Yan gelir ürünleri genel olarak r_k ile tanımlanmıştır. Bu bağlamda alt yan gelir ürünleri, fazla bagaj r_b , koltuk seçimi r_a , uçak içi ikram (yiyecek ve içecek) r_o , uçak içi eğlence r_e , öncelikli uçuşa kayıt r_c , öncelikli uçuşa kabul r_p ve şeref salonu erişimi r_v olarak gösterilmektedir. Ücret kilidi seçeneğinin kullanılması durumunda gelir r_f , cezasız iade/değişiklik hakkı ise r_r ile tanımlanmıştır.

Müşteri seçimi davranışı şu şekilde modellenmiştir. Her dönemde satıcı müşteriye S ile belirtilen bir ürün setini, $S \subseteq N$, önermektedir. Başka bir ifadeyle, satıcı her dönemde kalan kapasiteyi de kontrol ederek bir ürün seti önermektedir. t döneminde S seti önerildiği zaman müşterinin j ücretini, $j \in S$, seçme olasılığı $P_j(S)$ olarak tanımlanmıştır. $P_0(S)$ biletin seçilmeme olasılığıdır. Bu kapsamda, t döneminde j ürününün seçilme olasılığı $\lambda P_j(S)$ ve seçilmeme olasılığı $\lambda P_0(S) + (1 - \lambda)$ olarak açıklanabilir. Yani satış yapılmaması, müşterinin ürünü seçmesinden veya geliş olmamasından kaynaklanabilir. Her set $S \subseteq N$ için seçme olasılıkları aşağıdakileri sağlamalıdır.

$$P_j(S) \geq 0, \quad \forall j \in S, \quad (5.1)$$

$$\sum_{j \in S} P_j(S) + P_0(S) = 1. \quad (5.2)$$

Söz konusu olasılıklar üçüncü bölümde açıklanan ÇTL modeliyle hesaplanmaktadır.

Bu önerilen modelde, ürün seçimi yapıldığında, müşteri ρ olasılığıyla ürünü satın almayı seçebilir ya da $1 - \rho$ olasılığıyla ücret kilidi seçeneğini kullanabilir. Ürünün satın alınmasına karar verildikten sonra müşteri ücret kilidi dışındaki yan gelir ürünlerini belirli bir olasılıkla seçebilir. Bu ücretler ürün ücretine ilave olarak havayoluna yan gelir sağlar. Yan gelir olasılığı genel olarak P_k ile gösterilmektedir. Bu kapsamda alt yan gelir olasılıkları, fazla bagaj P_b , koltuk seçimi P_a , uçak içi ikram (yiyecek ve içecek) P_o , uçak içi eğlence P_e , öncelikli uçuşa kayıt P_c , öncelikli uçuşa kabul P_p ve şeref salonu erişimi P_v olarak gösterilmektedir. Cezasız iade/değişiklik hakkı seçim olasılığı ise P_r ile tanımlanmıştır. Ücret kilidi zamanı sonunda müşteri π olasılığıyla ürünü satın alabilir ya da $1 - \pi$ olasılığıyla sistemden ayrılabilir. Ürünün satın alınmasının seçilmesi halinde yukarıda açıklanan ücret kilidi dışındaki yan gelir ürünleri müşteriye tekrar önerilmektedir. Yan gelir ürünlerinin satın alınma olasılıklarının ücret kilidi sonunda değişmediği varsayılmaktadır.

Modelde, ücret kilidinin toplam süresi f olarak gösterilmektedir. Her dönemde en fazla bir müşteri olmasından dolayı, kapasite olması durumunda f süresi boyunca her müşterinin seçimleri dikkate alınmaktadır ve ücret kilidi seçeneklerinin kullanımını gösteren vektör

$(y_1, y_2, \dots, y_f) \in \{0,1\}$ olarak ifade edilmektedir. Yani, müşterinin f dönem önce ücret kilidini kullanması durumunda $y_1 = 1$, kullanmaması durumunda ise $y_1 = 0$ 'dır. Modelde ücret kilidinin t döneminde kullanılıp kullanmaması $B_t(y_{tf})$ Bernoulli rassal değişkeni ile tanımlanmıştır. $1 - \rho$ olasılığıyla, ücret kilidi seçeneğinin seçilmesi halinde $B_t(y_{tf})$ değişkeni, dolayısıyla y_f , 1 değerini almaktadır. f zaman önce ücret kilidini seçen müşteri olması halinde, yani $y_1 = 1$, müşterinin bileti satın alması veya sistemden ayrılması $B_t(y_{1f})$ Bernoulli rassal değişkeni ile tanımlanmıştır. Müşterinin sistemden ayrılması durumunda, $1 - \pi$ olasılığıyla $B_t(y_{1f}) = 1$ değerini almaktadır. Eğer $y_1 = 0$ ise, yani f dönem önce ücret kilidi seçeneğini kullanan bir müşteri bulunmuyorsa, 1 olasılıkla $B_t(y_1) = 0$ olmaktadır. Önerilen modelde, ücret kilidinin seçilmesi halinde f dönem sonra bilet satın alınca π olasılığıyla r_j geliri elde edilmektedir ve bu varsayımın kabul edilebilir olduğu bir önceki bölümde açıklanmıştır.

Modelde t dönemindeki yolcunun cezasız iade/değişiklik hakkını kullanıp kullanmaması sırasıyla $B_t(y_{tr})$ ve $B_t(y_{1r})$ Bernoulli rassal değişkenleri ile tanımlanmıştır. t döneminde ürün satın alımı seçimi veya ücret kilidi süresi sonunda ürün satın alınma seçimi yapıldığı zaman, cezasız iade/değişiklik hakkının kullanılması halinde, sırasıyla P_r olasılığıyla $B_t(y_{tr}) = B_t(y_{1r}) = 1$ değerini almaktadır. Gerçek durumda gelen müşteri değişiklik hakkını herhangi bir dönemde kullanılabilir. Ancak, bu hakkın her gelen yolcu için bütün dönemlerde saklanmaması amacıyla, modelde müşterinin geldiği t döneminde kullanılma olasılığı dikkate alınmaktadır. Bu hakkın kullanılması durumunda kapasite artacaktır. Ayrıca, cezasız iade/değişiklik hakkında uçuşun başlamasına kadar yolcunun biletini değiştirebileceği varsayılmıştır. Söz konusu varsayımın, uygulamalarda yer alan uçuşun başlamasına iki saate kadar bilet değişimine imkân sağlanması nedeniyle geçerli olduğu düşünülmektedir. Bunlarla birlikte, modelde cezasız iade/değişiklik hakkı ücreti mevcut uçuş için göz önüne alınmakta, ücret değiştirilen uçuşa eklenmemektedir.

Problemde, satıcı her t döneminde yan gelir ürünlerinin yer aldığı hazır bulundurulan ürün setine, yani $S \subseteq N$ hazır ürününe (satıcının öneri seti) karar verilmektedir. Problemin dinamik programlama modeli olarak yazılması amacıyla durum değişkenleri t döneminde $(x, y_1, y_2, \dots, y_f)$ olarak tanımlanmıştır. x , t döneminde kalan kapasite, $V_t(x, y_1, \dots, y_f)$ $f + 1, \dots, T$ döneminde en iyi toplam beklenen gelir ve $V_1(C, 0, \dots, 0)$ en

iyi toplam beklenen geliri ifade etmek üzere, dinamik programlama en iyilik prensibine göre önerilen model aşağıda sunulmuştur.

$$\begin{aligned}
V_t(x, y_1, y_2, \dots, y_f) &= \max_{S \subseteq N} \left\{ \sum_{j \in S} \lambda P_j(S) \left[\left(\rho(r_j + P_k r_k + P_r r_r) \right. \right. \right. \\
&\quad \left. \left. \left. + (1 - \rho) \left(r_f + \pi(r_j + P_k r_k + P_r r_r) \right) \right) \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + \mathbb{E}\{V_{t+1}(x - 1 + B_t(y_{tr}) + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), y_2, \dots, y_f, B_t(y_{tf}))\} \right] \right. \\
&\quad \left. + [(\lambda P_0(S) + 1 - \lambda) \cdot \mathbb{E}\{V_{t+1}(x + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), y_2, \dots, y_f, 0)\}] \right\} \quad (5.3)
\end{aligned}$$

Bu modelde, Şekil 5.2’de gösterildiği üzere ilk f dönem boyunca ücret kilidi seçeneğinin kullanılmasıyla ilgili ürünün satın alınma ya da sistemden ayrılma seçimleri yapılmayacaktır. Bu nedenle, $1, \dots, f$ döneminde model aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned}
V_t(x, y_1, y_2, \dots, y_f) &= \max_{S \subseteq N} \left\{ \sum_{j \in S} \lambda P_j(S) \left[\left(\rho(r_j + P_k r_k + P_r r_r) \right. \right. \right. \\
&\quad \left. \left. \left. + (1 - \rho) \left(r_f + \pi(r_j + P_k r_k + P_r r_r) \right) \right) \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + \mathbb{E}\{V_{t+1}(x - 1 + B_t(y_{tr}), y_2, \dots, y_f, B_t(y_{tf}))\} \right] \right. \\
&\quad \left. + [(\lambda P_0(S) + 1 - \lambda) \cdot \mathbb{E}\{V_{t+1}(x, y_2, \dots, y_f, 0)\}] \right\} \quad (5.4)
\end{aligned}$$

Sınır şartları:

$$V_{T+1}(\cdot) = 0, \quad (5.5)$$

$$V_t(0, \cdot) = 0, \quad \forall t, \quad (5.6)$$

$$V_t(C + 1, \cdot) = 0, \quad \forall t. \quad (5.7)$$

Dinamik modelde yer alan büyük boyuttaki durum değişkeni nedeniyle en iyi politikanın bulunması zordur. Bu nedenle, bu çalışmada dinamik modelin çözümü için üst sınırın bulunması amacıyla doğrusal programlama modeli üzerine çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca,

yan gelirlerin toplam gelire olan etkisinin gözlenmesi amacıyla yan gelirlerin ihmal edildiği durumda dinamik modelin çözümü gösterilmiştir.

5.2.1. DMY modelinin örnek üzerinde çözümü

Toplam gelirin eniyilenmesi için problemin çözümünde kullanılan parametre, değişkenler ve ücret kilidi ile ilgili değerler Aydın ve diğerleri (2017) ile Sumida ve Topaloğlu (2019) çalışmalarına benzer şekilde belirlenmiştir. Ücret kilidi dışındaki yan gelirlerin seçim olasılıkları IdeaWorksCompany (2018a), Şengür ve diğerleri (2017) ile Warnock-Smith ve diğerleri (2017) tarafından yapılan çalışmalar göz önüne alınarak atanmıştır. Yan gelirlerin ücretleri ise düşük ücretli taşıyıcıların fiyatları baz alınarak tanımlanmıştır (Pegasus Havayolları, 2020a; Volotea, 2020).

Satma ufkundaki toplam dönem sayısı $T = 150$ ve ücret kilidi süresi $f = 5$ dönem olarak belirlenmiştir. Her dönemdeki geliş olasılığı $\lambda = 1$ olarak tanımlanmıştır. Önerilen 4 ürünün ücretleri $r_j = (600, 450, 300, 150)$ olarak alınmıştır. Yan gelir ürünlerinin ücretleri; fazla bagaj $r_b = 75$, koltuk seçimi $r_a = 15$, uçak içi ikram $r_o = 5$, uçak içi eğlence $r_e = 2$, öncelikli uçuşa kayıt $r_c = 15$, öncelikli uçuşa kabul $r_p = 5$ ve şeref salonu erişimi $r_v = 40$ olarak belirlenmiştir. Cezasız iade/değişiklik hakkı ücreti $r_r = 60$, ücret kilidi seçeneğinin kullanılması durumunda gelir ise $r_f = 30$ olarak tanımlanmıştır.

Müşterinin önerilen ürünleri satın almayı seçme olasılığı $\rho = 0,8$, yani ücret kilidi seçeneğini kullanma olasılığı $1 - \rho = 0,2$ olarak gösterilmiştir. Ayrıca, ücret kilidi zamanı sonunda müşteri $\pi = 0,4$ olasılığıyla ürünü alabilir ya da $1 - \pi = 0,6$ olasılığıyla sistemden ayrılabilir. Diğer yan gelir ürünlerinin seçim olasılıkları; fazla bagaj $P_b = 0,20$, koltuk seçimi $P_a = 0,25$, uçak içi ikram $P_o = 0,15$, uçak içi eğlence $P_e = 0,04$, öncelikli uçuşa kayıt $P_c = 0,02$, öncelikli uçuşa kabul $P_p = 0,05$, şeref salonu erişimi $P_v = 0,03$ ve cezasız iade/değişiklik hakkı $P_r = 0,10$ olarak belirlenmiştir.

Modelde müşteriler $l = 5$ farklı segmente ayrılmıştır ve her segment için geliş oranları, düşünülen set, tercih vektörü ve açıklamaları Çizelge 5.1’de sunulmuştur. Her dönemdeki geliş olasılığı $\lambda = 1$ olarak seçilmiştir. Her gelen müşteri, p_l olasılığıyla l segmentine aittir ve $\sum_{l=1}^L p_l = 1$ olarak gösterilmektedir. l segmentinden gelen müşteri $\lambda_l = \lambda p_l$ oranıyla

gelmektedir. Bu bağlamda, toplam geliş oranı $\lambda = \sum_{l=1}^L \lambda_l$ Çizelge 5.1'e göre de hesaplandığında $\lambda = 1$ değerini almaktadır.

Çizelge 5.1. Segmente göre geliş olasılıkları, düşünülen set ve tercih vektörü

Segment	Geliş oranı λ_l	Düşünülen Set C_l	Tercih Vektörü (v_{lj}, v_{l0})
1	0,10	{1}	(4,1)
2	0,15	{1,2}	(3,5,2)
3	0,20	{2,3}	(4,8,2)
4	0,25	{3,4}	(6,8,2)
5	0,30	{4}	(3,2)

Bu çerçevede, müşteri seçimi davranışı için ÇTL modeli ile hesaplanan seçim olasılıkları, $P_j(S)$, Çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

Geliş zamanında ve ücret kilidi sonunda ürün seçimi dikkate alındığında, uçuşta toplam beklenen kapasite kullanımı, t döneminde kapasiteyi en fazla tüketen setin tüm dönemler boyunca kullanılmasıyla $\mu = \sum_{t \in T} \lambda \max_{S \in N} \sum_{j \in S} P_j(S) [\rho + (1 - \rho)\pi]$ eşitliğiyle tanımlanmıştır. Yük faktörü $\alpha = 1,2$ olmak üzere, kapasite $C = \lfloor \mu/1,2 \rfloor$ olarak belirlenmiştir. $\lfloor . \rfloor$ sayı yuvarlama fonksiyonudur. Hesaplama sonucu $S = \{1,2,3,4\}$ setinin $\sum_{j \in S} P_j(S) [\rho + (1 - \rho)\pi] = 0,678$ olarak kapasiteyi en fazla kullanan set olduğu tespit edilmiştir. $\mu = \sum_1^{150} 1 \times 0,678 = 101,7$ ve $C = \lfloor 101,7/1,2 \rfloor = 85$ hesaplamaları neticesinde kapasite $C = 85$ olarak bulunmuştur.

Yukarıda sunulan örneğin çözümü sonucunda en iyi beklenen gelir 33 606,64 olarak bulunmuştur ve çözüm süresi 802,25 saniyedir. Çözüm sonucunda, tüm dönemlerdeki, $t = 1 \dots T$, $V_t(C, 0, \dots, 0)$ durumunda $S = \{1,2,3,4\}$ setinin, yani ilk dört ürünün, satış ufku boyunca kullanıldığı görülmüştür.

Dinamik modelin çözümünün zorluğu ve çok zaman alması nedeniyle bundan sonraki kısımlarda üst sınırın bulunması amacıyla doğrusal programlama modeli üzerine çalışmalar

Çizelge 5.2. Müşterinin seçim olasılıkları

No.	S	$P_1(S)$	$P_2(S)$	$P_3(S)$	$P_4(S)$
1.	$\{\emptyset\}$	0	0	0	0
2.	$\{1\}$	0,17	0	0	0
3.	$\{2\}$	0	0,2405	0	0
4.	$\{3\}$	0	0	0,3475	0
5.	$\{4\}$	0	0	0	0,38
6.	$\{1,2\}$	0,125	0,2083	0	0
7.	$\{1,3\}$	0,17	0	0,3475	0
8.	$\{1,4\}$	0,17	0	0	0,38
9.	$\{2,3\}$	0	0,1643	0,3018	0
10.	$\{2,4\}$	0	0,2405	0	0,38
11.	$\{3,4\}$	0	0	0,2538	0,305
12.	$\{1,2,3\}$	0,125	0,1321	0,3018	0
13.	$\{1,2,4\}$	0,125	0,2083	0	0,38
14.	$\{1,3,4\}$	0,17	0	0,2538	0,305
15.	$\{2,3,4\}$	0	0,1643	0,208	0,305
16.	$\{1,2,3,4\}$	0,125	0,1321	0,208	0,305

gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, yan gelirlerin toplam gelire olan etkisinin gözlenmesi amacıyla yan gelirlerin ihmal edildiği durumdaki dinamik modelin karşılaştırması yapılmıştır.

5.3. Yan Gelirlerde Müşteri Seçimi Davranışına İlişkin Doğrusal Programlama Modeli (DPY)

Bu kısımda, varsayımları bir önceki bölümde açıklanan Bront ve diğerleri (2009), Gallego ve diğerleri (2004) ile Liu ve van Ryzin (2008) çalışmalarındaki STDDP modelinden ve Talluri ve van Ryzin (2004a: 64-70, 2004b) tarafından önerilen etkin setlerden

yararlanılmak suretiyle yan gelirler için doğrusal programlama modeli (DPY) olarak önerilmiştir. Dinamik modelin çözümünün zorluğu ve çok zaman alması nedeniyle üst sınırın bulunması amacıyla DPY üzerine çalışmalar yapılmıştır.

S dinamik modelde olduğu gibi satıcının öneri setidir. λ geliş olasılığı her zaman diliminde gelen müşteri oranını gösterecek şekilde deterministik olarak tanımlanmıştır. S seti önerildiği ve müşteri geldiği takdirde, j ürününden deterministik miktarda $P_j(S)$ seçilir ve ürün satılır veya ücret kilidi seçeneğini kullanılır. Bu değer, S seti önerildiği zaman j ürünü için talebin ortalama değeridir. $R(S)$, S seti önerildiği zaman gelen müşteriden elde edilebilecek beklenen gelir olmak üzere ve DPY’de deterministik gelir olarak kullanılacak şekilde aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$R(S) = \sum_{j \in S} P_j(S) \left[\rho(r_j + P_k r_k + P_r r_r) + (1 - \rho)(r_f + \pi(r_j + P_k r_k + P_r r_r)) \right] \quad (5.8)$$

Modelde $Q(S)$ deterministik kapasite kullanım oranı olarak ifade edilmektedir ve $Q(S) = Q_j(S) + Q_{j,f}(S) - Q_{j,r}(S) - Q_{j,r,f}(S)$ olacak şekilde, ürün ve ücret kilidinden seçilen ürünlerin kullandığı kapasite kullanımına ve cezasız iade/değişiklik hakkı tarafından kapasite düşümüne eşittir. Üründen elde edilen kapasite kullanım oranı $Q_j(S) = P_j(S)\rho$ ve ücret kilidiyle ürünün seçilmesinden elde edilen kapasite kullanım oranı $Q_{j,f}(S) = P_j(S)(1 - \rho)\pi$ olarak gösterilmektedir. Cezasız iade/değişiklik hakkı tarafından kapasite düşümü ise müşterinin geldiği zaman ve ücret kilidi süresi sonunda yapılabileceği için sırasıyla $Q_{j,r}(S) = P_j(S)\rho P_r$ ve $Q_{j,r,f}(S) = P_j(S)(1 - \rho)\pi P_r$ olacaktır. Böylece $Q(S)$ aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} Q(S) &= \sum_{j \in S} P_j(S) \rho + \sum_{j \in S} P_j(S)(1 - \rho)\pi - \sum_{j \in S} P_j(S)\rho P_r - \sum_{j \in S} P_j(S)(1 - \rho)\pi P_r \\ &= \sum_{j \in S} P_j(S) [\rho + (1 - \rho)\pi - (\rho P_r + (1 - \rho)\pi P_r)] \\ &= \sum_{j \in S} P_j(S) [\rho(1 - P_r) + (1 - \rho)(\pi - \pi P_r)] \end{aligned} \quad (5.9)$$

Modelde S setinin önerildiği dönem sayısı $t(S)$ olarak gösterilmektedir. Talebin deterministik ve seçim olasılıklarının zamanda homojen olmasından dolayı, S setinin hangi dönemlerde önerildiği önemli değildir, ancak S setinin önerildiği toplam dönem önem kazanmaktadır. S setinin dönemlerdeki herhangi farklı bir dizilimi aynı geliri sağlayacak ve aynı kapasite kullanım oranına sahip olacaktır. Bu bağlamda, $t(S)$ sürekli olacak şekilde satıcının karar değişkeni olarak tanımlanmıştır ve sonucu kesirli olabilir (Liu ve van Ryzin, 2008). Doğrusal programlama modelinde ücret kilidinin gelire ve kapasiteye etkisi dikkate alınmasına karşılık, karar değişkeninden dolayı dinamik modele göre ücret kilidi süresinin etkisi dikkate alınamamaktadır. Bu bağlamda, oluşturulan model aşağıda sunulmuştur.

$$V^{DPY} = \max \sum_{S \subseteq N} \lambda R(S) t(S) \quad (5.10)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{S \subseteq N} \lambda Q(S) t(S) \leq C, \quad (5.11)$$

$$\sum_{S \subseteq N} t(S) \leq T, \quad (5.12)$$

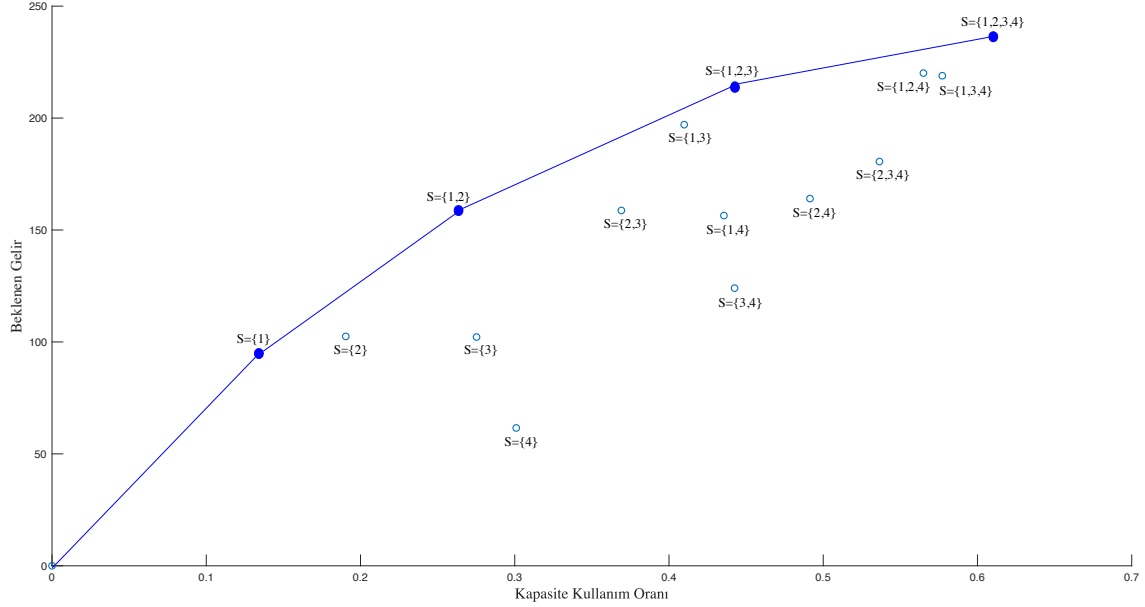
$$t(S) \geq 0, \quad S = S_1, \dots, S_{2^n}. \quad (5.13)$$

Modelde, Eş. 5.11 kullanılan kapasitenin toplam kapasiteyi aşmamasını ve Eş. 5.12 önerilen S setlerinin dönemlerinin toplamının toplam dönemi geçmemesini göstermektedir. Son kısıt ise negatif olmama koşuludur. Anılan modelin n sayıda ürün için üstel olarak $2^n - 1$ olası ürün seti, dolayısıyla $t(S)$ değişkeni bulunmaktadır. Ayrıca, model $1 + 1 + 2^n$ sayıda kısıta sahiptir. DPY modelinin DMY modeline üst sınır oluşturması ile ilgili kanıtlar EK-2’de sunulmuştur.

5.3.1. DPY modelinin örnek üzerinde çözümü

DPY modelinin çözümü, dinamik modelde açıklanan örnek problem üzerinde yapılmıştır. $R(S)$, S seti önerildiği zaman gelen müşteriden elde edilebilecek beklenen gelir ve $Q(S)$, kapasite kullanım oranı olmak üzere modelin çözümünde kullanılan setlere ilişkin karşılaştırma Şekil 5.9’da verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, $S = \{1\}$, $S = \{1,2\}$,

$S = \{1,2,3\}$ ve $S = \{1,2,3,4\}$ olmak üzere çözümde kullanılabilecek dört farklı etkin set bulunmuştur.



Şekil 5.9. DMY modelinde setlerin beklenen gelir ve kapasite kullanım oranına göre gösterimi

DPÜ modelinin çözümü, dinamik modelde açıklanan örnek problem üzerinde yapılmıştır. Bu bağlamda, DPY modelinin çözülmesi sonucunda en iyi beklenen gelir 34 649,3 ve çözüm süresi 1,1 saniye olarak bulunmuştur. Çözüm neticesinde, $t(S)$ karar değişkeninde, $S = \{1,2,3\}$ setinin 38,83 dönem boyunca, $S = \{1,2,3,4\}$ setinin 111,17 dönem boyunca kullanıldığı görülmüştür.

5.4. Modellerin Uygulaması

Yan gelirlerde müşteri seçimi davranışına ilişkin olarak gelirin eniyilenmesi için önerilen modellerin örnek üzerinde yapılan çözümlerinin sonuçları Çizelge 5.3’de sunulmuştur. Yan gelirin toplam gelire olan etkisinin gözlenmesi açısından yan gelirlerin ihmal edildiği durumdaki dinamik model bir önceki bölümde açıklanan SDM modeliyle aynıdır. Ayrıca, SDM ile ücret kilidi ve yan gelir ürünlerinin beklenen gelire etkisinin incelenmesi için karşılaştırma yapılması açısından DMÜ modelinin sonuçları sunulmuştur.

Çizelge 5.3. Önerilen modellerin örnek üzerinde yapılan çözümlerinin sonuçları

Model	En İyi Beklenen Gelir	Çözüm Süresi (sn)
Yan Gelirlerde Müşteri Seçimi Davranışına İlişkin Dinamik Model (DMY)	33 606,64	802,25
Yan Gelirlerde Müşteri Seçimi Davranışına İlişkin Doğrusal Programlama Modeli (DPY)	34 649,30	1,1
Ücret Kilidinde Müşteri Seçimi Davranışına İlişkin Dinamik Model (DMÜ)	30 527,76	785,43
Standart Dinamik Model (SDM)	26 712,08	3,31

Önerilen modeller incelenecek olursa, DMY modelinin çözüm süresinin büyük boyuttaki durum değişkeni nedeniyle yüksek olduğu, ücret kilidi ile ilgili model olan DMÜ'den de fazla olduğu görülmektedir. DMY modelinde yan gelir ürünlerinin tamamının olması ve DMÜ modelinde sadece ücret kilidi seçeneğini ile ilgili gelirleri içermesi nedeniyle, DMY modelinin en iyi beklenen gelirinin DMÜ modelinden %9,16 yüksek olduğu görülmektedir.

Yan gelir ürünlerinin ihmal edildiği SDM modelinde, ücret kilidi ile ilgili durum değişkenlerinin olmaması nedeniyle çözüm süresinin büyük ölçüde azaldığı görülmektedir. Ayrıca, SDM modelinde ücret kilidi ve yan gelirlerle ilgili gelir elde edilmemesinden dolayı en iyi beklenen gelirin DMY modelinden %20,52 düşük olduğu hesaplanmıştır. Yani, yan gelirlerin kullanılması sonucu gelir %20,52 artmıştır. SDM modelinin DMÜ modelinden %12,5 düşük olduğu, bir başka deyişle ücret kilidi seçeneğinin kullanılması sonucu gelirin %12,5 arttığı değerlendirildiğinde ücret kilidine ilave yan gelirlerden dolayı gelirin %8,02 arttığı hesaplanmıştır. Doğrusal model DPY incelendiğinde, üst sınır oluşturması dolayısıyla en iyi beklenen gelirin DMY modelinden %3,10 yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca, çözüm süresi DMY modeline göre oldukça düşüktür.

Yan gelirler ile ilgili modellerin tamamının değişik veri setleriyle incelenmesi amacıyla, modellerin çözümünde kullanılan örnek veri seti baz alınarak toplam 66 farklı örnek seti oluşturulmuştur. Önerilen modelin ücret kilidi ile ilgili model temel alınarak geliştirildiğinden dolayı bir önceki bölümde çalışılan setlerde daha az örnek setiyle

çalışılmıştır. Bu örneklerde önerilen 4 ürünün fiyatları ücret kilidi ile ilgili örneklerde olduğu gibi 6 farklı örnekte $r_j \in \{(1000,750,500,250), (900,700,500,300), (800,600,400,200), (700,500,300,200), (500,400,300,200), (400,300,200,100)\}$ olarak tanımlanmıştır. Satma ufkundaki toplam dönem sayısı 9 farklı örnekte $T \in \{25,50,100,200,365,500,730,1000,1500\}$ olarak gösterilmiş, ücret kilidi süresi 5 farklı örnekte $f \in \{3, 7, 10, 12, 15\}$ dönem olarak belirlenmiştir. DMY modelinin çözüm süresinin $f \in \{12, 15\}$ değerleri için çok uzun sürmesinden dolayı çözümü yapılmamıştır. Uçuşun kapasitesi 8 farklı örnekte $C \in \{25, 50, 100, 125, 200, 400, 660, 868\}$ olarak tanımlanmıştır. Boeing 747-400'ün en fazla koltuk kapasitesi 660 ve bir uçaktaki en fazla koltuk kapasitesi olarak dikkate alınan Airbus A380-800'ün koltuk kapasitesi 868 olarak gösterilmiştir.

Yan gelir ürünleri, en iyi beklenen gelirdeki değişimin gözlenmesi amacıyla oranlı olarak artırılmıştır. Bu bağlamda, yan gelir ürünleri ücretleri örnek setteki diğer yan gelir ürünlerinin ücretleri sabit kalmak koşuluyla; ücret kilidi seçeneğinin kullanılması durumda gelir $r_f = 60$, fazla bagaj $r_b = 150$, koltuk seçimi $r_a = 45$, uçak içi ikram $r_o = 15$, uçak içi eğlence $r_e = 10$, öncelikli uçuşa kayıt $r_c = 45$, öncelikli uçuşa kabul $r_p = 15$ ve şeref salonu erişimi $r_v = 80$ olarak belirlenmiş, cezasız iade/değişiklik hakkı ise $r_r = 120$ olarak tanımlanmıştır.

Müşterinin önerilen ürünü satın almayı seçme olasılığı 4 değişik örnekte $\rho \in \{0,2; 0,4; 0,6; 1,0\}$, yani ücret kilidi seçeneğini kullanma olasılığı $1 - \rho \in \{0,8; 0,6; 0,4; 0\}$ olarak gösterilmiştir. Ücret kilidi zamanı sonunda müşteri 4 farklı örnekte $\pi \in \{0,2; 0,6; 0,8; 1,0\}$ olasılığıyla ürünü satın alabilir ya da $1 - \pi \in \{0,8; 0,4; 0,2; 0\}$ olasılığıyla sistemden ayrılabilir. Aynı şekilde, cezasız iade/değişiklik hakkı olasılığı 5 değişik örnekte $P_r \in \{0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0\}$ olarak alınmıştır. Diğer yan gelir ürünlerinin seçim olasılıkları, en iyi beklenen gelirdeki değişimin gözlenmesi amacıyla oranlı olarak artırılmıştır. Bu çerçevede, yan gelir ürünlerinin seçim olasılıkları örnek setteki diğer yan gelir ürünlerinin değerleri sabit kalmak koşuluyla; fazla bagaj $P_b = 0,60$, koltuk seçimi $P_a = 0,75$, uçak içi ikram $P_o = 0,45$, uçak içi eğlence $P_e = 0,12$, öncelikli uçuşa kayıt $P_c = 0,06$, öncelikli uçuşa kabul $P_p = 0,15$ ve şeref salonu erişimi $P_v = 0,09$ belirlenmiştir.

Her dönemdeki geliş olasılığı 4 farklı örnekte $\lambda \in \{0,2; 0,4; 0,6; 0,8\}$ olarak alınmıştır. Müşteri seçimi davranışının değişmesi amacıyla S seti önerildiği zaman müşterinin j ürününü seçme olasılığının, $P_j(S)$, değişimi hedeflenmiştir. Talep parametrelerini değiştirmek amacıyla, v_{i0} ürün tercih etmeme ağırlığı vektörünün değişimi hedeflenmiş ve farklı seçim davranışları simüle edilmiştir. Bu bağlamda, segmentlere göre $v_{i0} \in \{(0,0,0,0,0), (1,4,4,4,1), (1,8,6,4,1), (4,16,12,8,4), (8,10,12,14,16)\}$ değerleri sırasıyla kullanılmıştır. Örnek veri seti 0 olarak gösterilmiş ve 5 farklı örnek sırasıyla 1'den 5'e kadar numaralandırılmıştır. Sıfır değeri müşterilerin düşünülen setlerdeki ürünler arasında değişim yapmaya istekli olduklarını, yüksek tercih etmeme değerleri ürünlerin seçilmeme olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir.

Açıklanan veri setleriyle önerilen DMY, DPY ve SDM modellerinin çözümlerinin yapılması sonucunda bulunan en iyi beklenen gelirler, DMY modelinden DPY ve SDM modellerinin fark yüzdeleri ve modellerin çözüm süreleri EK-3'de verilmiştir. Ayrıca, DMY, DPY ve SDM modellerinin çözümlerinin yapılması sonucunda bulunan en iyi beklenen gelirler özet halinde Çizelge 5.4'de sunulmuştur. Sonuçlara ilişkin detaylı değerlendirme takip eden kısımda verilmiştir.

Çalışmaya ilave olarak, modellerin performansının test edilmesi amacıyla $(\alpha, \rho, \pi, P_r, v_{i0})$ kombinasyonun kullanımıyla toplam 96 örnek veri seti oluşturulmuştur. Burada, müşteri seçim davranışını benzetmek için yapılacak seçimleri belirlemek amacıyla $[0, 1]$ rassal değişkenler oluşturulmuştur. Benzetim kullanılarak 2.000 örnek yol üzerinde hesaplanan ortalama değerlerle DMY, DPY ve SDM modellerinin performansı test edilmiştir.

Satma ufkundaki toplam dönem sayısı $T = 150$ olarak belirlenmiştir. Kapasite $C = 85$ olarak alınmış ve 3 farklı yük faktörü $\alpha \in \{0,6; 1; 1,4\}$ tanımlanmış, yani kapasiteler $C \in \{51; 85; 119\}$ olarak belirlenmiştir. Ücret kilidi süresi ise $f = 5$ olarak gösterilmiştir. Örneklerde 4 ücret ürünü $n = 4$ bulunmaktadır. Ücret ürünü ve yan gelir ürünlerinin ücretleri örnek veri setiyle aynı olarak alınmıştır. Müşterinin önerilen ürünü satın almayı seçme olasılığı $\rho \in \{0,8; 0,4\}$, yani ücret kilidi seçeneğini kullanma olasılığı 2 değişik örnekte $1 - \rho \in \{0,2; 0,6\}$ olarak gösterilmiştir. Ücret kilidi zamanı sonunda müşteri 2 farklı örnekte $\pi \in \{0,4; 0,8\}$ olasılığıyla ürünü satın alabilir ya da $1 - \pi \in \{0,6; 0,2\}$

Çizelge 5.4. Yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modelinin veri setleriyle yapılan çözümlerin sonuçları - özet

Örnek								En İyi Beklenen Gelirler			
T	f	C	ρ	π	P_r	λ	v_{10}	DMY	DPY	SDM	
150	5	85	0,8	0,4	0,1	1	0	33 606,64	34 649,30	26 712,08	
100	5	85	0,8	0,4	0,1	1	0	23 665,40	23 665,42	19 405,84	
200	5	85	0,8	0,4	0,1	1	0	40 196,16	41 845,95	30 473,17	
365	5	85	0,8	0,4	0,1	1	0	51 122,19	52 269,24	37 100,52	
150	3	85	0,8	0,4	0,1	1	0	33 616,72	34 649,3	26 712,08	
150	7	85	0,8	0,4	0,1	1	0	33 596,29	34 649,30	26 712,08	
150	10	85	0,8	0,4	0,1	1	0	33 580,43	34 649,30	26 712,08	
150	5	25	0,8	0,4	0,1	1	0	16 026,78	16 593,97	11 684,63	
150	5	125	0,8	0,4	0,1	1	0	35 498,12	35 498,13	29 109,01	
150	5	200	0,8	0,4	0,1	1	0	35 498,13	35 498,13	29 115,00	
150	5	85	0,4	0,4	0,1	1	0	27 199,95	27 392,18	13 356,04	
150	5	85	1	0,4	0,1	1	0	36 980,63	37 215,98	33 390,10	
150	5	85	0,8	0,2	0,1	1	0	32 315,59	33 609,76	26 712,08	
150	5	85	0,8	0,8	0,1	1	0	36 159,62	36 736,05	26 712,08	
150	5	85	0,8	0,4	0,2	1	0	35 152,35	36 108,11	26 712,08	
150	5	85	0,8	0,4	0,4	1	0	37 315,02	37 328,07	26 712,08	
150	5	85	0,8	0,4	0,1	0,2	0	7 099,63	7 099,63	5 823,00	
150	5	85	0,8	0,4	0,1	0,6	0	21 298,87	21 298,88	17 467,59	
150	5	85	0,8	0,4	0,1	1	1	39 254,06	41 005,74	30 282,00	
150	5	85	0,8	0,4	0,1	1	2	31 501,69	32 622,62	24 603,18	
150	5	85	0,8	0,4	0,1	1	3	29 600,02	30 653,23	22 946,38	
150	5	85	0,8	0,4	0,1	1	4	21 165,08	21 165,13	17 233,64	
150	5	85	0,8	0,4	0,1	1	5	17 867,08	17 867,08	14 716,92	

olasılığıyla sistemden ayrılabilir. Cezasız iade/değişiklik hakkı olasılığı ise 2 farklı örnekte $P_r \in \{0,1; 0,4\}$ olarak alınmıştır. Diğer yan gelir ürünlerinin olasılıkları örnek veri setiyle aynıdır. Müşteri davranışını değiştirmek için, v_{l0} ürün tercih etmeme ağırlığı vektörünün değişimi hedeflenmiş ve farklı seçim davranışları simüle edilmiştir. Bu bağlamda, 4 değişik örnek $v_{l0} \in \{(1,2,2,2,2), (1,4,4,4,1), (1,8,6,4,1), (4,16,12,8,4)\}$ olarak alınmıştır.

$(\alpha, \rho, \pi, P_r, v_{l0})$ kombinasyonuyla oluşturulan toplam 96 örnek veri setinin çözümlerinin yapılması sonucunda bulunan ortalama toplam gelirler ve DMY modelinden DPY ve SDM modellerinin fark yüzdeleri EK-3’de sunulmuştur. Benzetim kullanılarak gerçekleştirilen sonuçlara ilişkin detaylı değerlendirme takip eden kısımda verilmiştir.

Bunlarla birlikte, modellerin çözümünün gösterilmesi amacıyla ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyuttaki problem için ($T = 5, C = 4, f = 2$) örnek çözümü EK-4’de verilmiştir.

5.5. Tartışma ve Sonuçlar

Örnek veri seti dâhil olmak üzere toplam 67 örnek veri setinin uygulama sonuçları değerlendirildiğinde, DPY modelinin sonuçlarının DMY modelinin sonuçlarıyla 15 örnekte aynı ve 50 örnekte yüksek olduğu görülmektedir. DPY modeli sonuçlarının DMY modelinden ortalama %2,12 yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun, doğrusal programlama modelinin DMY modeline üst sınır oluşturması nedeniyle beklenen bir sonuç olduğu düşünülmektedir. Ücret kilidi süresinin çok uzun sürmesi nedeniyle DMY modelinin çözüm sonucunun bulunmadığı için $f \in \{12,15\}$ olmak üzere iki örnekte karşılaştırma yapılamamıştır. SDM modeliyle elde edilen sonuçlar ise yan gelir ürünlerinden elde edilen gelirin ihmal edilmesi sebebiyle DMY modeline göre ortalama %23,60 daha düşüktür. Yani, yan gelir ürünlerinin kullanılmasıyla gelirler ortalama %23,60 artmıştır.

Modellerin çözüm sürelerine bakıldığında, DMY modelinin en yüksek süreye sahip olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ücret kilidinin olmasından dolayı durum değişkeni boyutunun büyümesinden kaynaklanmaktadır. SDM modelinde sadece kapasiteyle ilgili

durum değişkeni olması nedeniyle çözüm süresi DMY modeline göre çok daha düşük çıkmaktadır.

Örnek setleri incelenecek olursa, r_j ürünlerinin fiyatlarının değişimi nedeniyle en iyi beklenen gelirden değişimler yaşandığı tespit edilmiştir. Fiyatların artmasından dolayı en iyi beklenen gelir de yükselmiştir. SDM modelinde ise ücret kilidi ile ilgili değişkenlerin bulunmaması nedeniyle en iyi beklenen gelir sabit kalmıştır.

Satma ufkundaki toplam dönem sayısı T incelendiğinde, dönem sayısının artmasıyla en iyi beklenen gelirin de arttığı bulunmuştur. Her bir dönemde en fazla bir müşteri olduğu varsayımından hareketle, dönem sayısının artmasıyla en iyi beklenen gelirin de yükseldiği görülmektedir. $T = 730$ 'dan sonra DPY modelinin, $T = 1000$ 'den sonra ise DMY modelinin değerleri sabit kalmıştır. Bunun nedeni, kapasitenin sabit olmasından dolayı yeni gelen müşterinin en iyi beklenen geliri iyileştirmemesi olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, yüksek dönem sayılarında DMY modelinden elde edilen değerler DPY modelinin değerlerine yaklaşmaktadır. Bu konuda Liu ve van Ryzin (2008) tarafından da benzer sonuçlar bulunmuştur. Bununla birlikte, düşük dönem sayılarında, $T \in \{25, 50\}$, DPY modeliyle DMY modelinin sonuçları arasında fark olmadığı görülmüştür. Bu durumun, kapasite ve dönem sayısı arasındaki ilişkiye bağlı olduğu düşünülmektedir. Dönem sayısı kapasiteye göre düşük seviyede olduğunda doğrusal modelin çözüm değerlerinin dinamik modele yaklaştığı görülmektedir. Çözüm sürelerine bakılacak olursa, toplam dönem süresinin yükselmesiyle modeller için yapılan hesaplamaların artması dolayısıyla DMY ve SDM modellerinin çözüm sürelerinin de yükseldiği, DPY modelinin ise kısıt sayısının aynı kalmasından dolayı benzer sürelerde çözüldüğü ve toplam dönem sayısının çözüm süresine etkisinin olmadığı görülmektedir. Ücret kilidi süresi f 'nin değişimleri için bir önceki bölümdeki benzer değerlendirmeler verilmiştir.

C kapasite değişimleri incelendiğinde, en iyi beklenen gelirin $C = 125$ 'e kadar arttığı, sonraki kapasite artırımlarında en iyi beklenen gelirin sabit kaldığı görülmektedir. Bunun nedeninin, her dönemde bir müşteri geldiği varsayımı sebebiyle, kapasitenin artırılmasıyla belirli bir kapasiteden sonra gelirin iyileşmemesi olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, $C = 125$ 'den sonraki kapasitelerde DMY ve DPY modellerinin çözüm değerlerinin aynı kaldığı görülmektedir. Liu ve van Ryzin (2008) tarafından da benzer sonuçlar ortaya

konmuştur. DMY ve SDM modellerinde kapasitenin artmasıyla beraber yapılan hesaplamaların artması nedeniyle çözüm sürelerinin yükseldiği, DPY modelinde ise kısıt sayısının aynı kalmasından dolayı kapasitenin çözüm süresine etkisi olmadığı görülmektedir.

Müşterinin ürünü satın almayı seçme olasılığı ρ , ücret kilidi sonunda ürünü satın almayı seçme olasılığı π ve cezasız iade/değişiklik hakkı olasılığı P_r ile ilgili sonuçlara bakılacak olursa, olasılıkların artmasıyla en iyi beklenen gelirin de arttığı görülmektedir. SDM modelinde yan gelir ürünleri ihmal edildiği için, ürünün satın alınma olasılığı dışındaki olasılık değişimlerinde en iyi beklenen gelirin sabit kaldığı görülmektedir. $\rho = 1,0$ değerinde ücret kilidi kullanılmamaktadır ve yan gelirlerin önerilmesinden dolayı DMY ve SDM modelleri arasında %9,71 fark gözlenmiştir. Yani, ücret kilidi hariç olmak üzere yan gelirlerin önerilmesinden havayolu ilave %9,71 gelir elde etmiştir. Örnek veri setindeki %20,52 fark baz alındığında, ücret kilidinin kullanılmasından dolayı havayollarının gelirlerini ilave %10,71 artırabileceği düşünülmektedir. $P_r = 0,6$ değerinden itibaren ise kapasite değişiminden dolayı DMY ve DPY modelinin çözüm sonuçlarının aynı olduğu gözlenmiştir. Tüm modellerin olasılık değişimlerinde benzer sürelerde çözüldüğü tespit edilmiştir.

Yan gelir ürünleri $(r_f, r_b, r_a, r_o, r_e, r_c, r_p, r_v, r_r)$ ile ilgili gelirlerin değişimine bakılacak olursa, yan gelirlerin ücretlerinin artmasıyla beraber en iyi beklenen gelirin de arttığı tespit edilmiştir. Müşterinin yan gelir ürünlerini seçme olasılıkları $(P_b, P_a, P_o, P_e, P_c, P_p, P_v)$ ile ilgili değişim incelendiğinde, olasılıkların artmasıyla en iyi beklenen gelirin de arttığı görülmektedir. Tüm modellerin yan gelirlerle ilgili gelir ve olasılık değişimlerinde baz alınan örneklerle benzer sürelerde çözüldüğü tespit edilmiştir.

λ geliş olasılıklarının değişimi incelendiğinde, geliş olasılıklarının artmasıyla en iyi beklenen gelirin de arttığı görülmektedir. Geliş olasılıklarının çözüme etkisinin yüksek olduğu ve örnek olarak DMÜ modelinde $\lambda = 0,2$ olasılığındaki hesaplanan 7 099,63 en iyi beklenen gelirin temel örnekte $\lambda = 1$ için bulunan 33 606,64 çözümüne göre düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir. $\lambda = 0,4$ değerine kadar DMY ve DPY modellerinin çözüm sonuçlarının aynı çıktığı gözlenmiştir. Müşteri seçimi davranışına yönelik olarak v_{l0} ürün tercih etmeme ağırlıklarının değişimine bakıldığında, ürünlerin yüksek tercih

etmeme değerleri ile birlikte en iyi beklenen gelirin azaldığı gözlenmiştir. Çizelge 5.4’de v_{l0} ’ın 5 olarak gösterildiği örnekte 17 867,08 olarak hesaplanan en iyi beklenen gelirin, 0 olarak gösterilen ve 33 606,64 olarak hesaplanan temel örneğe göre değerlendirildiğinde v_{l0} ’ın en iyi beklenen gelire etkisinin yüksek olduğu düşünülmektedir. Çizelge 5.4’de v_{l0} ’ın 1 olarak gösterildiği örnekte ise ağırlıklar sıfır olduğunda müşterilerin düşünülen set içerisindeki ürünleri seçeceğinden gelirin yükseldiği görülmektedir. Ürünlerin yüksek tercih etmeme ağırlıklarındaki Çizelge 5.4’de v_{l0} ’ın 5 olarak gösterildiği örnekte DMY ve DPY modellerinin çözüm sonuçlarının aynı çıktığı gözlenmiştir. Tüm modellerde λ geliş olasılığı ve v_{l0} ağırlıklarının değişimlerinin ise benzer sürelerde çözüldüğü ve çözüm süresine etkisi olmadığı tespit edilmiştir.

Yapılan çözümlerde kapasite ve satma ufkundaki toplam dönem sayısına bağlı olarak sadece $S = \{1,2,3,4\}$ setinin kullanılmadığı, diğer setlerin de kullanıldığı gözlenmiştir. Tüm örnek setlerinin çözümleri incelendiğinde, çözümlerde $S = \{1\}$, $S = \{1,2\}$, $S = \{1,2,3\}$ ve $S = \{1,2,3,4\}$ setlerinin kullandığı bulunmuştur. Böylece modelin bu setlere indirgenebileceği düşünülmektedir.

$(\alpha, \rho, \pi, P_r, v_0)$ kombinasyonun kullanımıyla oluşturulan benzetim uygulamasının EK-3’deki sonuçları incelendiğinde, DPY modelinin DMY modeline üst sınır sağladığı görülmüştür. 96 veri setinden, DPY modelinin sonuçlarının DMY modelinin sonuçlarıyla 45 örnekte aynı ve 51 örnekte yüksek olduğu görülmektedir. DPY modelinin sonuçlarının DPY modelinden ortalama %1,68 yüksek olduğu gözlenmiştir. SDM modelinde yan gelirler ihmal edildiğinden, SDM modelinin çözüm sonuçları DMY ve DPY modelinden düşüktür. SDM modelinin DMY modelinden ortalama farkı %43,95 olarak görülmüştür. Bunun öncelikli nedeni yan gelirlerin olması ve ayrıca müşterinin önerilen ürünü seçme olasılığı düşük olduğunda, yani $\rho = 0,4$, ücret kilidinden dolayı gelir elde edileceği için aradaki farkın artmasıdır. Ayrıca, yüksek yük faktöründe, $\alpha = 1,4$, yani yüksek kapasitelerde DMY ve DPY modelinin arasındaki fark 0’a yaklaşmaktadır. Müşterilerinin seçim davranışının değişimi incelendiğinde, yüksek v_{l0} değerlerinin, ürün tercih etmeme olasılığını artırmasından dolayı daha az toplam ortalama gelir getirdiği görülmüştür. DMY ve DPY modellerindeki en düşük farkların $\rho = 0,8, \pi = 0,4, P_r = 0,1$ değerlerindeki olduğu, en yüksek farkların ise $\rho = 0,4, \pi = 0,8, P_r = 0,4$ değerlerinde elde edildiği

tespit edilmiştir. Bu nedenle, düşük ρ ve yüksek π ile P_r değerleri iki model arasındaki farkları artırmaktadır.

Diğer bölümde Pegasus Havayolları ile ilgili gerçek durumdaki havayolu uygulamaları yapılacaktır. Bu havayollarına ilişkin yan gelirlerde müşteri seçimi davranışına yönelik önerilen dinamik ve doğrusal programlama modellerinin çözümleri gerçekleştirilecek ve sonuçları tartışılacaktır.

6. YAN GELİRLERDE MÜŞTERİ SEÇİMİ DAVRANIŞI MODELİNİN HAVAYOLU UYGULAMALARI

Bir önceki bölümde yan gelirlerde müşteri seçimi davranışına ilişkin dinamik ve doğrusal programlama modelleri açıklanmış, modellerin hazırlanan veri setleriyle çözümleri gösterilmiş ve bu çözümler tartışılmıştır. Bu bölümde ise detayları verilen dinamik ve doğrusal programlama modellerinin gerçek durumdaki havayolu uygulamaları sunulacaktır. Bu bağlamda, Pegasus Havayolları tarafından sunulan ürünler ve yan gelir ürünleri ile ilgili veriler ışığında oluşturulan dinamik ve doğrusal programlama modellerinin çözümleri yapılacak ve sonuçlar tartışılacaktır.

6.1. Pegasus Havayolları Modeli

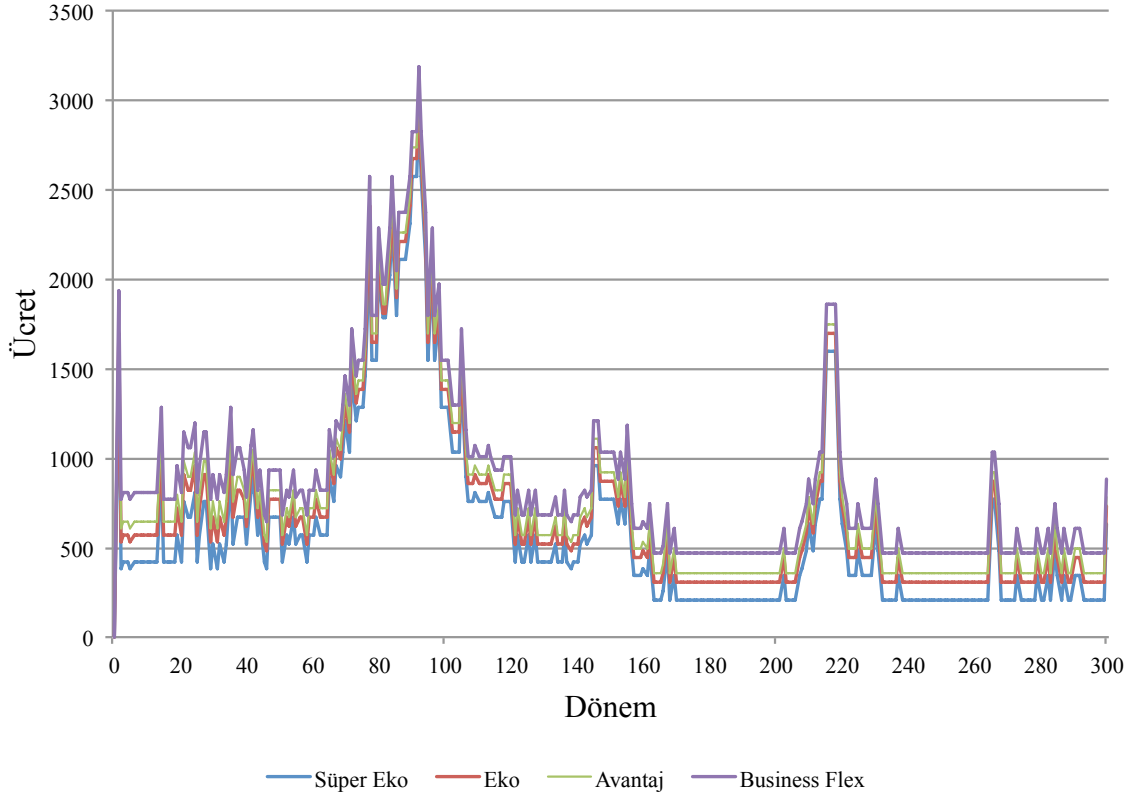
Pegasus Havayolları internet sitesinden 01 Haziran 2020⁷ tarihinden başlayacak şekilde İstanbul-Londra 11.40-13.35 uçuşu⁸ için yapılan arama sonucunda ürün ve yan gelir ürünleri ücretleri elde edilmiştir. Buna göre her dönemde Business Flex, Avantaj, Eko ve Süper Eko olmak şekilde 4 farklı uçuş paketi, yani ürün, önerilmektedir. Business Flex paketinde 12 kg kabin bagajı, 20 kg bagaj, koltuk seçimi, uçak içi eğlence ve cezasız iade/değişiklik hakkı sunulmaktadır, uçak içi ikram ise ücretlendirilmektedir. Avantaj paketinde 8 kg kabin bagajı, 20 kg bagaj, koltuk seçimi, uçak içi ikram ve uçak içi eğlence sunulmaktadır ve cezasız iade/değişiklik hakkı ücrete tabidir. Eko paketinde ise 8 kg kabin bagajı ile 20 kg bagaj önerilmekte, Süper Eko'da sadece 8 kg kabin bagajı sunulmakta, diğer yan gelir ürünleri ücretlendirilmektedir (Pegasus Havayolları, 2020a).

Havayolları tarafından 27 Mart 2021 tarihine kadar ücret sunulmaktadır. Bu bağlamda günlük olarak elde edilen Business Flex, Avantaj, Eko ve Süper Eko uçuş paketi ücretleri Şekil 6.1'de sunulmuştur ve sırasıyla $r_j = (r_1, r_2, r_3, r_4)$ olarak tanımlanmıştır. İki tarih arası 300 gün geçtiği için satma ufkundaki toplam dönem sayısı 300 olarak tanımlanmıştır. Ücretin dönemlere göre incelemesi yapıldığında, ücretlerin haftanın gününe, tatil dönemlerine ve doluluk oranına göre değiştiği düşünülmektedir. Kapasite için Pegasus

⁷ Havayolları tarafından Korona virüsü için alınan tedbirler nedeniyle 31.05.2020 tarihine kadar yurt dışı seferleri iptal edilmiştir (Pegasus Havayolları, 2020b).

⁸ Söz konusu uçuş Pazar günleri 12.00-14.05 uçuşu olarak, 25 Ekim 2020 tarihinden itibaren ise 10.40-11.50 uçuşu olarak alınmıştır.

Havayolları filosunda yaygın olarak kullanılan Boeing B737-800 uçağında 189 koltuk ve Airbus A320-200neo uçağında 186 koltuk kapasitesi bulunduğu hesaplanmış (Pegasus Havayolları, 2019b), bu nedenle uçuşun kapasitesi 189 olarak alınmıştır.



Şekil 6.1. Pegasus Havayolları İstanbul-Londra seferi ürün ücretleri (Pegasus Havayolları, 2020a)

Yan gelirlere bakıldığında, havayolu tarafından farklı dönemlerde $f \in \{5, 7\}, \{6, 9, 12\}, \{7, 10, 15\}$ ücret kilidi süreleri setleri için ücret sunulduğu görülmüş, bu kapsamda yaygın olarak sunulan $f = 5$ süresi ve ücret kilidi seçeneğini kullanılması durumunda gelir $r_f = 38,9$ olarak belirlenmiştir. Fazla bagajlar incelendiğinde Süper Eko paketi için ek 20 kg, 25 kg, 30 kg, 40 kg ve 50 kg bagaj için ücret önerildiği, diğer paketler için ise 20 kg bagaj hakkı bulunduğu için ise diğer paketlere yönelik ek 5 kg, 10 kg, 20 kg ve 30 kg için bagaj ücreti sunulduğu görülmüştür. Diğer paketlerde 20 kg bagaj hakkı sunulması nedeniyle fazla bagaj ücreti sadece Süper Eko paketi için $r_{4b} = 94$ olarak alınmıştır. Koltuk seçimi için Eko ve Süper Eko paketlerinde ön sıra keyfi, ekstra diz mesafesi ve diğer koltuklar seçimlerinin yapıldığı görülmüş, en fazla koltuğa sahip olan diğer koltuklar seçeneği için ücret $r_{\{3,4\}a} = 55$ olarak tanımlanmıştır. Uçak içi ikramlar için havayolu tarafından birçok yemek seçeneğinin sunulduğu görülmüş ve uçak içi ikram

ücreti Business Flex, Eko ve Süper Eko için yaygın olarak önerilen $r_{\{1,3,4\}o} = 31$ olarak belirlenmiştir. Uçak içi eğlence Eko ve Süper Eko için önerilen $r_{\{3,4\}e} = 24$ ücreti olarak tanımlanmıştır. Cezasız iade/değişiklik hakkı ise Avantaj, Eko ve Süper Eko için $r_{\{2,3,4\}r} = 117$ olarak alınmıştır. Havayolu tarafından öncelikli uçuşa kabul, şeref salonu erişimi ve öncelikli uçuşa kayıt önerilmediğinden bu yan gelir ürünleri ihmal edilmiştir (Pegasus Havayolları, 2020a).

Şengür ve diğerleri (2017) tarafından uçuş deneyimi bulunan 380 kişiyle yapılan yan gelirlerle ilgili anket çalışması sonucunda, 218 katılımcının yan gelir ürünlerini satın almadıkları, yan gelir seçimi yapan 162 yolcu arasından; 76'sının koltuk seçimi için, 65'inin uçak içi ikram için, 38'inin fazla bagaj için, 35'inin esnek bilet (bilet değişiklik hakkı) için, 16'sının bilet ücretini sabitleme (ücret kilidi) için ve 8'inin öncelikli uçuşa kabul için ücret ödediği sonucuna ulaşılmıştır. Bu bağlamda, fazla bagaj $P_{4b} = 0,10$, koltuk seçimi $P_{\{3,4\}a} = 0,20$, uçak içi ikram $P_{\{1,3,4\}o} = 0,17$ ve cezasız iade/değişiklik hakkı $P_{\{2,3,4\}r} = 0,09$ olasılıkları tanımlanmıştır. Uçak içi eğlence olasılığı ise DMY örneğinde olduğu gibi $P_{\{3,4\}e} = 0,04$ olarak alınmıştır. Aynı ankettten hareketle ücret kilidi seçeneğini seçme olasılığı $1 - \rho = 0,04$ olarak hesaplanmaktadır ve müşterinin önerilen ürünü satın almayı seçme olasılığı $\rho = 0,96$ olarak gösterilmiştir. Ayrıca, DMY örneğindeki gibi ücret kilidi zamanı sonunda müşteri $\pi = 0,4$ olasılığıyla ürünü alabilir ya da $1 - \pi = 0,6$ olasılığıyla sistemden ayrılabilir. $B_t(y_{tf})$, $B_t(y_{1f})$, $B_t(y_{tr})$ ve $B_t(y_{1r})$ değişkenleri DMY modeli ile aynı olarak tanımlanmıştır.

Müşterilerin seçim olasılıklarının hesaplanmasında ÇTL modeli kullanılmıştır. Bu çalışmada diğer seçim modelleri arasından Bront ve diğerleri (2009) tarafından çalışılan kesişen segmentlerle ÇTL modeli kullanılmıştır. Bu modelin kullanılmasının nedeni düşük bir ücret olduğunda müşterilerin diğer segmentte de yer alan bir ücret ürünü arasında değişim yapabilmesidir ve daha gerçekçi bir model olduğu düşünülmektedir.

Şengür ve diğerleri (2017) çalışmasında, katılımcıların %17,3'ünün 1000-2000, %25,1'inin 2000-4000, %25,9'unun 4000-6000, %12,6'sının 6000-8000 gelir aralığında yer aldığı ve %18,6'sının 8000 ve üzeri geliri olduğu belirlenmiştir. Bu ankettten ve DMY örneğinden hareketle, modelde müşteriler $l = 5$ farklı segmente ayrılmıştır ve her segment için geliş oranları, düşünülen set ve tercih vektörü Çizelge 6.1'de sunulmuştur. Her

dönemdeki geliş olasılığı $\lambda = 1$ olarak seçilmiştir. Her gelen müşteri, p_l olasılığıyla l segmentine aittir ve $\sum_{l=1}^L p_l = 0,995$ olarak hesaplanmaktadır. l segmentinden gelen müşteri $\lambda_l = \lambda p_l$ oranıyla gelmektedir. Geliş oranları λ_l en yüksek gelir düzeyi Segment 1 olacak şekilde alınmıştır. Bu çerçevede, müşteri seçimi davranışı için ÇTL modeliyle hesaplanan seçim olasılıkları, $P_j(S)$, Çizelge 6.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Segmente göre geliş olasılıkları, düşünülen set ve tercih vektörü

Segment	Geliş oranı λ_l	Düşünülen Set C_l	Tercih Vektörü (v_{lj}, v_{l0})
1	0,186	$\{1\}$	(4,1)
2	0,126	$\{1,2\}$	(3,5,2)
3	0,259	$\{2,3\}$	(4,8,2)
4	0,251	$\{3,4\}$	(6,8,2)
5	0,173	$\{4\}$	(3,2)

Bu gerçek durumdaki örnek DMY modeline uyarlanacak olursa, $r_1 > r_2 > r_3 > r_4$ olacak şekilde, I_1 , I_2 , I_3 ve I_4 ürünün seçilmesine bağlı beklenen geliri ifade etmek üzere, ürünlerin büyükten küçüğe Business Flex, Avantaj, Eko ve Süper Eko paketleriyle temsil edilmesi durumunda model $f + 1, \dots, T$ dönemleri için aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned}
 I_1 &= \lambda P_1(S) \left[\left(\rho(r_1 + P_{10}r_{10}) + (1 - \rho)(r_f + \pi(r_1 + P_{10}r_{10})) \right) \right. \\
 &\quad \left. + \mathbb{E}\{V_{t+1}(x - 1 + B_t(y_{tr}) + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), y_2, \dots, y_f, B_t(y_{tf}))\} \right] \\
 I_2 &= \lambda P_2(S) \left[\left(\rho(r_2 + P_{2r}r_{2r}) + (1 - \rho)(r_f + \pi(r_2 + P_{2r}r_{2r})) \right) \right. \\
 &\quad \left. + \mathbb{E}\{V_{t+1}(x - 1 + B_t(y_{tr}) + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), y_2, \dots, y_f, B_t(y_{tf}))\} \right] \quad (6.1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_3 &= \lambda P_3(S) \left[\left(\rho(r_3 + P_{3a}r_{3a} + P_{3o}r_{3o} + P_{3e}r_{3e} + P_{3r}r_{3r}) \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + (1 - \rho)(r_f + \pi(r_3 + P_{3a}r_{3a} + P_{3o}r_{3o} + P_{3e}r_{3e} + P_{3r}r_{3r})) \right) \right. \\
 &\quad \left. + \mathbb{E}\{V_{t+1}(x - 1 + B_t(y_{tr}) + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), y_2, \dots, y_f, B_t(y_{tf}))\} \right]
 \end{aligned}$$

Çizelge 6.2. ÇTL modeliyle bulunan müşterinin seçim olasılıkları

No.	S	$P_1(S)$	$P_2(S)$	$P_3(S)$	$P_4(S)$
1.	$\{\emptyset\}$	0	0	0	0
2.	$\{1\}$	0,2244	0	0	0
3.	$\{2\}$	0	0,2627	0	0
4.	$\{3\}$	0	0	0,3954	0
5.	$\{4\}$	0	0	0	0,3046
6.	$\{1,2\}$	0,1866	0,2357	0	0
7.	$\{1,3\}$	0,2244	0	0,3954	0
8.	$\{1,4\}$	0,2244	0	0	0,3046
9.	$\{2,3\}$	0	0,164	0,3363	0
10.	$\{2,4\}$	0	0,2627	0	0,3046
11.	$\{3,4\}$	0	0	0,3013	0,2293
12.	$\{1,2,3\}$	0,1866	0,1370	0,3363	0
13.	$\{1,2,4\}$	0,1866	0,2357	0	0,3046
14.	$\{1,3,4\}$	0,2244	0	0,3013	0,2293
15.	$\{2,3,4\}$	0	0,164	0,2421	0,2293
16.	$\{1,2,3,4\}$	0,1866	0,1370	0,2421	0,2293

$$I_4 = \lambda P_4(S) \left[\left(\rho(r_4 + P_{4b}r_{4b} + P_{4a}r_{4a} + P_{4o}r_{4o} + P_{4e}r_{4e} + P_{4r}r_{4r}) \right. \right. \\ \left. \left. + (1 - \rho) \left(r_f + \pi(r_4 + P_{4b}r_{4b} + P_{4a}r_{4a} + P_{4o}r_{4o} + P_{4e}r_{4e} + P_{4r}r_{4r}) \right) \right) \right. \\ \left. + \mathbb{E}\{V_{t+1}(x - 1 + B_t(y_{tr}) + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), y_2, \dots, y_f, B_t(y_{tf}))\} \right]$$

$$V_t(x, y_1, y_2, \dots, y_f) \\ = \max_{S \subseteq N} \{I_1 + I_2 + I_3 + I_4 \\ + [(\lambda P_0(S) + 1 - \lambda) \cdot \mathbb{E}\{V_{t+1}(x + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), y_2, \dots, y_f, 0)\}]\}$$

Bu gerçek örnekte farklı durumların görülmesi amacıyla; ÇTL modeliyle bulunan değerlere bağlı senaryo çalışılmıştır. Bu bağlamda, Pegasus Havayolları DMY modeli ÇTL çözümü için DMY-P-ÇTL olarak adlandırılmıştır. Modellerin üst sınırının bulunması amacıyla DPY modeli uyarlanmış ve bu model DPY-P-ÇTL olarak adlandırılmıştır. Ayrıca, yan gelirlerin en iyi beklenen gelire olan etkisinin araştırılması amacıyla yan gelirlerin ihmal edildiği SDM modeli uyarlanarak SDM-P-ÇTL modeli oluşturulmuştur. Gerçek durumda beklenen gelirin bulunması amacıyla, havayolları tarafından standart ürün olarak tüm dönemler boyunca önerilen $S = \{1,2,3,4\}$ ürün setinin hesaplanan seçim olasılıklarıyla çözümünün yapıldığı model DMY-P-GE olarak adlandırılmıştır. Buna ilave olarak, havayolları tarafından standart olarak önerilen $S = \{1,2,3,4\}$ ürün setinin yan gelir ürünlerinin ihmal edildiği durumdaki model SDM-P-GE olarak tanımlanmıştır. Devam eden kısımda ÇTL modeli senaryosunda yer alan DMY-P-ÇTL, DPY-P-ÇTL ve SDM-P-ÇTL ile gerçek durumdaki DMY-P-GE ve SDM-P-GE modellerinin çözümleri gerçekleştirilmiştir.

6.2. Pegasus Havayolları Modeli Çözümü

Pegasus Havayolları için yukarıda açıklanan gerçek veri seti ile yapılan çözümlerin sonuçları Çizelge 6.3’de sunulmuştur. Çözüm sonucunda DMY-P-ÇTL modeli için en iyi beklenen gelir 167 777,16 olarak bulunmuştur ve çözümün yapılabilmesi için 3 401,48 saniyenin geçmesi gerekmektedir. Üst sınırın bulunduğu DPY-P-ÇTL modelinin çözüm sonucu 175 481,45 olarak hesaplanmış ve modelin çözümü 307,59 saniyede yapılmıştır. Her dönemde her ürün için farklı ücretler önerildiği için modelde her dönem doğrusal programlama ile eniyileme ihtiyacı doğmuştur. Yan gelirlerin ihmal edildiği SDM-P-ÇTL modelinde ise en iyi beklenen gelir 154 763,98 olarak bulunmuş ve model 11,91 saniyede çözülmüştür. Bu bağlamda, DMY-P-ÇTL ile SDM-P-ÇTL modeli karşılaştırıldığında, havayolu yan gelir ürünlerinin önerilmesinden dolayı en iyi toplam beklenen gelirini 13 013,18 artırmış, bir başka deyişle gelirini %7,76 yükseltmiştir.

Gerçek durumdaki DMY-P-GE modeli için, havayolu tarafından standart olarak sunulan ürün setinin çözülmesi sonucunda en iyi beklenen gelir 163 135,73 olarak bulunmuştur. Eğer havayolu tarafından en iyi setler kullanılsaydı, yani DMY-P-ÇTL modeli tarafından bulunan en iyi setler kullanılsaydı, havayolu gelirlerini 167 777,16’ya yükseltebileceği,

Çizelge 6.3. Pegasus Havayolları modeli çözüm sonuçları

Model	En İyi Beklenen Gelir	Çözüm Süresi (sn)
Yan Gelirlerde Müşteri Seçimi Davranışına İlişkin Dinamik Model – Pegasus Havayolları - Çok Terimli Lojit (DMY-P-ÇTL)	167 777,16	3 401,48
Yan Gelirlerde Müşteri Seçimi Davranışına İlişkin Doğrusal Programlama Modeli – Pegasus Havayolları - Çok Terimli Lojit (DPY-P-ÇTL)	175 481,45	307,59
Standart Dinamik Model - Pegasus Havayolları - Çok Terimli Lojit (SDM-P-ÇTL)	154 763,98	11,91
Yan Gelirlerde Müşteri Seçimi Davranışına İlişkin Dinamik Model – Pegasus Havayolları - Gerçek Durum (DMY-P-GE)	163 135,73	222,45
Standart Dinamik Model - Pegasus Havayolları - Gerçek Durum (SDM-P-GE)	149 114,83	0,93

bir başka deyişle, %2,77 oranında gelirini artırabileceği hesaplanmıştır. DMY-P-GE modelinin sadece bir ürün seti içermesi nedeniyle çözüm süresinin DMY-P-ÇTL modeline göre daha az sürdüğü görülmüştür. Bununla birlikte, gerçek durumda standart olarak önerilen ürün setinin yan gelir ürünlerinin ihmal edildiği durumdaki SDM-P-GE modelinin çözülmesi neticesinde en iyi beklenen gelir 149 114,83 olarak hesaplanmıştır. DMY-P-GE modelinin çözümü değerlendirildiğinde, havayolu tarafından yan gelir ürünlerinin önerilmesi sonucunda en iyi beklenen gelir %8,59 artmıştır. SDM-P-GE modelinin çözüm süresi incelendiğinde, modeldeki boyutun azalması ve tek bir ürün setinin önerilmesi sonucunda çözüm süresinin diğer dinamik modellere göre düştüğü görülmüştür. Ayrıca, SDM-P-ÇTL ve SDM-P-GE modeli karşılaştırıldığında, ÇTL modelinin uygulanması sonucu havayolunun %3,65 oranında gelirini artırabileceği bulunmuştur. DMY-P-ÇTL ile SDM-P-GE modellerin karşılaştırması sonucunda ise ÇTL modelinin kullanılmasından ve yan gelir ürünlerinin modele dâhil edilmesinden dolayı en iyi beklenen gelir %11,12 artmıştır.

DMY-P-ÇTL ve DMY-P-GE modellerinin sondan başa doğru hesaplanan tüm dönemlerdeki, $t = 1 \dots T$, $V_t(C, 0, \dots, 0)$ için ve SDM-P-ÇTL ve SDM-P-GE modellerinin $t = 1 \dots T$, $V_t(C)$ için çözüm sonuçları hesaplanmıştır. Çözüm sonucunda,

SDM-P-ÇTL modelinde tüm dönemlerdeki, $t = 1 \dots T$, $V_t(C)$ durumunda $S = \{1,2,3\}$ setinin, yani ilk üç ürünün, $t = \{2 \dots 11, 29, 31\}$ dönemlerinde kullanıldığı, $S = \{1,2,3,4\}$ setinin, yani tüm ürünlerin, $t = \{1, 12 \dots 28, 30, 32 \dots 300\}$ dönemlerinde kullandığı bulunmuştur. Kapasite değişimlerine göre $S = \{1\}$, $S = \{1,2\}$, $S = \{1,2,3\}$ ve $S = \{1,2,3,4\}$ setlerinin çözümlerde kullanıldığı görülmüştür. DMY-P-ÇTL modelinin tüm dönemlerdeki, $t = 1 \dots T$, $V_t(C, 0, \dots, 0)$ çözümü sonucunda ürünlerin tamamının bulunduğu $S = \{1,2,3,4\}$ setinin tüm dönemlerde kullanıldığı belirlenmiştir. Ayrıca, kapasite ve dönem değişimlerine göre $S = \{1\}$, $S = \{1,2\}$, $S = \{1,3\}$, $S = \{1,2,3\}$ ve $S = \{1,2,4\}$ setlerinin de çözümlerde kullanıldığı görülmüştür.

Yapılan çözümler sonucunda, havayolları tarafından her dönem önerilen dört ürünün en iyi politika olmayabileceği, kapasite değişimlerine bağlı olarak her dönem en iyi setlerin önerilmesinin beklenen geliri artırabileceği bulunmuştur.

6.3. Pegasus Havayolları Modeli Uygulaması

Havayolu tarafından uygulanan farklı politikaların araştırılması amacıyla gerçek durumdaki Pegasus Havayolları örneği için 6.1 Pegasus Havayolları Modeli kısmında yer alan veri seti baz alınarak toplam 40 farklı örnek seti ile uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Açıklanan örnek veri seti 0 olarak adlandırılmış ve 39 farklı örneğin DMY-P-ÇTL, DPY-P-ÇTL ve SDM-P-ÇTL ile gerçek durumdaki DMY-P-GE ve SDM-P-GE modelleri ile çözümleri gerçekleştirilmiştir. Bu örneklerde havayolu tarafından gerçekte önerilen dört ürünün fiyatları toplam 300 dönem için Şekil 6.1’de sunulduğu gibi alınmıştır. Kapasite için Pegasus Havayolları filosunda yaygın olarak kullanılan Boeing B737-800 uçağındaki 189 koltuk kapasitesi esas alınmıştır (Pegasus Havayolları, 2019b).

Uygulamalarda havayolları tarafından farklı dönemlerde önerilen 6 farklı $f \in \{6,7,9,10,12,15\}$ ücret kilidi süreleri tanımlanmış ve ücret kilidi seçeneğinin kullanılması durumunda gelir havayolu tarafından önderildiği şekilde süreye göre sırasıyla $r_f \in \{38,9; 38,9; 46,68; 46,68; 62,24; 62,24\}$ olarak belirlenmiştir. Dinamik model geçerli bir sürede çözülemediği için DMY-P-ÇTL modeli için $f \in \{9,10,12,15\}$ değerleri ve DMY-P-GE modeli için $f \in \{12,15\}$ değerleri için çözüm yapılmamıştır.

Fazla bagaj için havayolu tarafından önerilen ek 25 kg, 30 kg, 40 kg ve 50 kg bagaj için Süper Eko paketi için önerilen sırasıyla $r_{4b} \in \{405,716,1339,1961\}$ değerleri temel alınmıştır. Diğer paketler için ise 20 kg bagaj hakkı bulunduğu için ek 5 kg, 10 kg, 20 kg ve 30 kg için bagaj ücretleri için sırasıyla $r_{\{1,2,3\}b} \in \{312,623,1245,1868\}$ olarak tanımlanmıştır.

Koltuk seçimi için Eko ve Süper Eko paketlerinde ön sıra keyfi, ekstra diz mesafesi ve diğer koltuklar seçimlerinin yapıldığı görülmüştür. Diğer koltuklar seçeneği örnekte incelendiği için ön sıra keyfi ve ekstra diz mesafesi ücretleri Eko ve Süper Eko paketleri için $r_{\{3,4\}a} \in \{70,94\}$ olarak tanımlanmıştır.

Uçak içi ikramlar için ikram ücreti örnekte olduğu gibi Business Flex, Eko ve Süper Eko için önerilen $r_{\{1,3,4\}o} = 31$ olarak, uçak içi eğlence ücreti Eko ve Süper Eko için $r_{\{3,4\}e} = 24$ olarak tanımlanmıştır. Cezasız iade/değişiklik hakkının ise değişmediği gözlemlendiğinden ise Avantaj, Eko ve Süper Eko için $r_{\{2,3,4\}r} = 117$ olarak alınmıştır. Havayolu tarafından öncelikli uçuşa kabul, şeref salonu erişimi ve öncelikli uçuşa kayıt önerilmediğinden bu yan gelir ürünleri ihmal edilmiştir (Pegasus Havayolları, 2020a).

Müşterinin önerilen ürünü satın almayı seçme olasılığı 4 farklı örnekte $\rho \in \{0,2; 0,4; 0,6; 0,8\}$, yani ücret kilidi seçeneğini kullanma olasılığı $1 - \rho \in \{0,8; 0,6; 0,4; 0,2\}$ olarak gösterilmiştir. Ücret kilidi zamanı sonunda müşteri 4 değişik örnekte $\pi \in \{0,2; 0,6; 0,8; 1,0\}$ olasılığıyla ürünü satın alabilir ya da $1 - \pi \in \{0,8; 0,4; 0,2; 0\}$ olasılığıyla sistemden ayrılabilir. Aynı şekilde, cezasız iade/değişiklik hakkı seçim olasılığı 5 farklı örnekte $P_{\{2,3,4\}r} \in \{0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0\}$ olarak alınmıştır. Ek 5 kg, 10 kg, 20 kg ve 30 kg fazla bagaj için Avantaj, Eko ve Süper Eko paketlerinin seçim olasılıkları için ise temel örnekteki Süper Eko paketi seçimi ile aynı olarak $P_{\{1,2,3\}b} = 0,10$ olarak tanımlanmıştır. Diğer yan gelir ürünlerinin seçim olasılıkları, en iyi beklenen gelirdeki değişimin gözlenmesi amacıyla oranlı olarak artırılmıştır. Bu çerçevede, yan gelir ürünlerinin seçim olasılıkları örnek setteki diğer yan gelir ürünlerinin değerleri sabit kalmak koşuluyla; fazla bagaj $P_{4b} = 0,30$, koltuk seçimi $P_{\{3,4\}a} = 0,60$, uçak içi ikram $P_{\{1,3,4\}o} = 0,51$, uçak içi eğlence $P_{\{3,4\}e} = 0,12$ belirlenmiştir. $B_t(y_{tr})$, $B_t(y_{1r})$, $B_t(y_{1f})$ ve $B_t(y_{tf})$ değişkenleri DMY modeli ile aynı olarak tanımlanmıştır.

Her dönemdeki geliş olasılığı 4 değişik örnekte $\lambda \in \{0,2; 0,4; 0,6; 0,8\}$ olarak alınmıştır. Müşteri seçimi davranışının değişmesi amacıyla S seti önerildiği zaman müşterinin j ürününü seçme olasılığının, $P_j(S)$, değişimi hedeflenmiştir. Talep parametrelerini değiştirmek amacıyla, v_{i0} ürün tercih etmeme ağırlığı vektörünün değişimi hedeflenmiş ve farklı seçim davranışları simüle edilmiştir. Bu bağlamda, segmentlere göre $v_{i0} \in \{(0,0,0,0,0), (1,4,4,4,1), (1,8,6,4,1), (4,16,12,8,4), (8,10,12,14,16)\}$ değerleri sırasıyla kullanılmıştır. Örnek veri seti 0 olarak gösterilmiş ve 5 farklı örnek 1'den 5'e kadar numaralandırılmıştır. Sıfır değeri müşterilerin düşünülen setlerdeki ürünler arasında değişim yapmaya istekli olduklarını, yüksek tercih etmeme değerleri ürünlerin seçilmeme olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir.

Uygulamalarda açıklanan veri setleriyle önerilen DMY-P-ÇTL, DPY-P-ÇTL, SDM-P-ÇTL, DMY-P-GE ve SDM-P-GE modellerinin çözümlerinin yapılması sonucunda bulunan en iyi beklenen gelirler, DMY-P-ÇTL modelinden DPY-P-ÇTL, SDM-P-ÇTL, DMY-P-GE ve SDM-P-GE modellerinin fark yüzdeleri, SDM-P-GE modelinin DMY-P-GE ve SDM-P-ÇTL modellerinden fark yüzdesi ve modellerin çözüm süreleri EK-5'de verilmiştir. Bunlarla birlikte, DMY-P-ÇTL, DPY-P-ÇTL, SDM-P-ÇTL, DMY-P-GE ve SDM-P-GE modellerinin modellerinin çözümlerinin yapılması sonucunda bulunan en iyi beklenen gelirler özet halinde Çizelge 6.4'de sunulmuştur. Yapılan uygulamaların detaylı değerlendirmeleri takip eden kısımda verilmiştir.

6.4. Pegasus Havayolları Uygulaması Tartışma ve Sonuçları

Pegasus Havayolları için toplam 40 örnek setin uygulama sonuçları değerlendirildiğinde, DPY-P-ÇTL modelinin sonuçlarının DMY-P-ÇTL modelinin sonuçlarıyla 10 örnekte aynı ve 26 örnekte yüksek olduğu görülmektedir. Ücret kilidi süresinin artışıyla çözümün çok uzun sürmesi nedeniyle DMY-P-ÇTL modeli için çözüm sonucunun bulunmadığı için $f \in \{9,10,12,15\}$ olmak üzere dört örnekte karşılaştırma yapılamamıştır. Gerçekleştirilen uygulamalarda DPY-P-ÇTL modeli sonuçlarının DMY-P-ÇTL modelinden ortalama %3,10 yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun, doğrusal programlama modelinin DMY-P-ÇTL modeline üst sınır oluşturması nedeniyle beklenen bir sonuç olduğu düşünülmektedir. SDM-P-ÇTL modeliyle elde edilen sonuçlar ise yan gelir ürünlerinden

Çizelge 6.4. Pegasus Havayolları uygulama sonuçları - özet

Örnek							En İyi Beklenen Gelirler				
f	r_f	ρ	π	$P_{\{2,3,4\}r}$	λ	v_0	DMY-P-ÇTL	DPY-P-ÇTL	SDM-P-ÇTL	DMY-P-GE	SDM-P-GE
5	38,9	0,96	0,4	0,09	1	0	167 777,16	175 481,45	154 763,98	163 135,73	149 114,83
6	38,9	0,96	0,4	0,09	1	0	167 776,84	175 481,45	154 763,98	163 133,61	149 114,83
7	38,9	0,96	0,4	0,09	1	0	167 777,46	175 481,45	154 763,98	163 131,50	149 114,83
5	38,9	0,4	0,4	0,09	1	0	120 377,51	120 393,21	64 484,99	120 366,88	62 131,18
5	38,9	1	0,4	0,09	1	0	171 063,87	179 416,32	161 212,47	166 598,1	155 327,95
5	38,9	0,96	0,2	0,09	1	0	166 674,97	174 046,12	154 763,98	161 955,86	149 114,83
5	38,9	0,96	0,8	0,09	1	0	170 049,35	178 352,11	154 763,98	165 490,82	149 114,83
5	38,9	0,96	0,4	0,2	1	0	176 352,18	177 774,2	154 763,98	175 368,44	149 114,83
5	38,9	0,96	0,4	0,4	1	0	181 942,83	181 942,83	154 763,98	181 942,83	149 114,83
5	38,9	0,96	0,4	0,09	0,2	0	35 096,29	35 096,29	33 430,25	35 096,29	33 430,25
5	38,9	0,96	0,4	0,09	0,6	0	105 288,87	105 288,87	100 290,74	105 288,87	100 290,74
5	38,9	0,96	0,4	0,09	1	1	191 915,37	220 288,43	175 655,76	174 490,50	160 031,88
5	38,9	0,96	0,4	0,09	1	2	161 199,57	165 321,28	148 763,30	158 330,40	143 825,91
5	38,9	0,96	0,4	0,09	1	3	154 010,08	155 522,82	142 851,21	153 027,65	139 026,56
5	38,9	0,96	0,4	0,09	1	4	108 858,38	108 858,38	103 461,62	108 858,38	103 461,62
5	38,9	0,96	0,4	0,09	1	5	88 461,89	88 461,89	84 284,80	88 461,89	84 284,80

elde edilen gelirin ihmal edilmesi sebebiyle DMY-P-ÇTL modeline göre ortalama %13,35 daha düşüktür. Bir başka deyişle, yan gelir ürünlerinin kullanılmasıyla gelirler ortalama %13,35 artmıştır.

DMY-P-ÇTL modelinin gerçek durumdaki DMY-P-GE modeli ile karşılaştırılması neticesinde, sonuçların 9 örnekte aynı ve 27 örnekte DMY-P-ÇTL modelinin sonuçlarının yüksek olduğu görülmektedir. DMY-P-ÇTL modelinde ücret kilidi süresinin artması ile çözüm süresinin geçerli sürede çözilememesi nedeniyle $f \in \{9,10,12,15\}$ olmak üzere dört örnekte karşılaştırma yapılamamıştır. Tüm uygulamalar incelendiğinde, DMY-P-ÇTL modeli sonuçlarının DMY-P-GE modelinden ortalama %1,78 yüksek olduğu gözlenmiştir. Yani, bu çalışmadaki ÇTL modelinin kullanılmasıyla gerçek duruma göre havayolunun gelirini ortalama %1,78 oranında artırabileceği hesaplanmıştır.

SDM-P-ÇTL ve SDM-P-GE modelleri karşılaştırıldığında, ÇTL modelinin uygulanması sonucu ortalama %3,22 oranında havayolunun gelirini artırabileceği bulunmuştur. DMY-P-GE ve SDM-P-GE modellerinin karşılaştırılması sonucunda ise, gerçek durumda yan gelir ürünlerinin kullanılmasıyla en iyi beklenen gelirin ortalama %14,16 arttığı gözlenmiştir. DMY-P-GE modelinde ücret kilidi süresinin artması ile çözüm süresinin geçerli sürede çözilememesi nedeniyle $f \in \{12,15\}$ olmak üzere iki örnekte karşılaştırma yapılamamıştır. DMY-P-ÇTL ile SDM-P-GE modellerinin karşılaştırması sonucunda ise ÇTL modelinin kullanılmasından ve yan gelir ürünlerinin modele dâhil edilmesinden dolayı en iyi beklenen gelir ortalama %16,05 artmıştır. DMY-P-ÇTL modelinde ücret kilidi süresinin artışıyla çözümün çok uzun sürmesi nedeniyle $f \in \{9,10,12,15\}$ olmak üzere dört örnekte karşılaştırma yapılamamıştır.

Modellerin çözüm sürelerine bakıldığında, DMY-P-ÇTL modelinin en yüksek süreye sahip olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ücret kilidinin olmasından dolayı durum değişkeni boyutunun büyümesinden kaynaklanmaktadır. SDM-P-ÇTL modelinde sadece kapasiteyle ilgili durum değişkeni olması nedeniyle çözüm süresi DMY-P-ÇTL modeline göre çok daha düşük çıkmaktadır. DMY-P-ÇTL modelinde ise fiyatın her dönem değişmesi nedeniyle her dönem yapılan eniyilemeler nedeniyle 300 saniye üzerinde çıkmaktadır. Sadece tek bir ürün seti olduğundan DMY-P-GE modelinin çözüm süresinin DMY-P-ÇTL modeline göre düşük olduğu görülmektedir. SDM-P-GE modelinin ise tek bir ürün seti

içermesinden ve yan gelirlerin ihmal edilmesinden dolayı çözüm süreleri diğer modellere göre düşüktür.

Ücret kilidi süresi f ve ücretleri r_f 'nin değişimine bakılacak olursa, DMY-P-ÇTL, DPY-P-ÇTL ve DMY-P-GE modellerinin sonuçlarında ücret kilidi süresine bağlı olarak düşük değişimler görülmektedir. DPY-P-ÇTL modelinin çözümleri incelendiğinde ücret kilidi ücreti arttığında toplam gelir düşük oranda artmaktadır. Bu durumun nedeninin ücret kilidi seçeneğinin seçme olasılığının düşük ve sabit olmasından kaynaklandığı, gerçek durumda ise ücret kilidinin süresinin uzadıkça seçeneğin seçme olasılığının da artacağı düşünülmektedir. DMY-P-ÇTL ve DMY-P-GE modellerinde ücret kilidi süresine bağlı olarak durum değişkenlerinin boyutun artmasından dolayı çözüm süresinin büyük oranda yükseldiği bulunmuştur. SDM-P-ÇTL ve SDM-P-GE modellerinin sonuçları ise ücret kilidine bağlı olmadığı için sabit kalmıştır.

Yan gelirlerle ilgili gelirlerin değişimine bakılacak olursa; $r_{\{1,2,3\}b}$ ve r_{4b} fazla bagaj ile $r_{\{3,4\}a}$ ön sıra keyfi ve ekstra diz mesafesi için gelirin artışından dolayı DMY-P-ÇTL, DPY-P-ÇTL ve DMY-P-GE modellerinde artışlar yaşandığı görülmüştür. Fazla bagaj için istenen ücretlerin yüksek olmasından dolayı temel örneğe göre havayollarının gelirini yüksek şekilde artırmıştır. Ön sıra keyfi ve ekstra diz mesafesi için ise ücretlerin düşük olmasından dolayı gelirden düşük artışlar gözlenmektedir. SDM-P-ÇTL ve SDM-P-GE modellerinin sonuçları ise yan gelirler ihmal edildiği için sabit kalmıştır.

Müşterinin önerilen ürünü satın almayı seçme olasılığı ρ 'ya bakıldığında, olasılık değeri yükseldikçe tüm modellerde gelirin arttığı görülmektedir. Olasılık değeri düştükçe ücret kilidi seçiminin etkisinden dolayı SDM-P-ÇTL ve SDM-P-GE modellerinin DMY-P-ÇTL, DPY-P-ÇTL ve DMY-P-GE modelleri ile aralarındaki farkların artmaktadır. $\rho = 0,2$ düşük olasılık değerinde DMY-P-ÇTL, DPY-P-ÇTL ve DMY-P-GE modellerinden aynı gelir elde edildiği gözlenmiştir. $\rho = 1,0$ değerinde ise ücret kilidi kullanılmamaktadır, yan gelirlerin önerilmesinden dolayı DMY-P-ÇTL ve SDM-P-ÇTL modelleri arasında %5,76 fark ve DMY-P-GE ve SDM-P-GE modelleri arasında %6,76 fark gözlenmiştir. Yani, ücret kilidi hariç olmak üzere yan gelirlerin önerilmesinden havayolu ilave %6 civarında gelir elde etmiştir. Baz alınan örnekteki DMY-P-ÇTL ile SDM-P-ÇTL modelleri arasındaki %7,76 fark ve DMY-P-GE ile SDM-P-GE modelleri

arasındaki %8,59 fark olmak üzere yaklaşık %8 fark dikkate alındığında, havayolunda ücret kilidi seçeneğinin kullanılmasıyla gelirlerin yaklaşık %2 artabileceği gözlenmiştir. Tüm modellerin olasılık değişimlerinde baz alınan modele benzer sürelerde çözüldüğü tespit edilmiştir.

Ücret kilidi zamanı sonunda müşterinin ürünü satın alma olasılığı π incelendiğinde, olasılık arttıkça DMY-P-ÇTL, DPY-P-ÇTL ve DMY-P-GE modellerinde gelirin arttığı gözlenmiştir. Gelirdeki düşük değişimler ücret kilidi seçeneğinin seçilme olasılığı $1 - \rho$ değerinin düşük olmasının etkisinden kaynaklanmaktadır. SDM-P-ÇTL ve SDM-P-GE modellerindeki gelirler yan gelirler ihmal edildiğinden dolayı sabit kalmıştır. $P_{\{2,3,4\}r}$ cezasız iade/değişiklik hakkı seçim olasılığına bakıldığında ise olasılıkların arttıkça DMY-P-ÇTL, DPY-P-ÇTL ve DMY-P-GE modellerinde gelirin de arttığı görülmektedir. $P_{\{2,3,4\}r} = 0,4$ olasılık değerinden itibaren bu modellerin gelirlerinin aynı olduğu görülmektedir. Bu durumun, cezasız iade/değişiklik hakkının kapasiteye olan etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. SDM-P-ÇTL ve SDM-P-GE modellerindeki gelirler yan gelirler ihmal edildiğinden dolayı sabit kalmıştır. Bunlarla birlikte, tüm modellerin ücret kilidi süresi sonunda ürünü satın almayı seçme ve cezasız iade/değişiklik hakkı seçme olasılıkları değişimlerinde temel modele benzer sürelerde çözüldüğü görülmüştür.

Müşterinin yan gelir ürünlerini seçme olasılıklarının değişimi incelendiğinde, $P_{\{1,2,3\}b}$ ve P_{4b} fazla bagaj, $P_{\{3,4\}a}$ koltuk seçimi, $P_{\{1,3,4\}o}$ uçak içi ikram ile $P_{\{3,4\}e}$ uçak içi eğlencenin seçim olasılıklarının artmasıyla DMY-P-ÇTL, DPY-P-ÇTL ve DMY-P-GE modellerinde en iyi beklenen gelirin arttığı görülmektedir. SDM-P-ÇTL ve SDM-P-GE modellerinde yan gelir ürünleri ihmal edildiği için, olasılık değişimlerinde gelirin sabit kaldığı görülmektedir. Ayrıca, tüm modellerin yan gelirlerle ilgili olasılık değişimlerinde temel modele benzer sürelerde çözüldüğü tespit edilmiştir.

λ geliş olasılıklarının değişimi incelendiğinde, geliş olasılıklarının artmasıyla tüm modellerde en iyi beklenen gelirin de arttığı görülmektedir. $\lambda = 0,6$ olasılık değerine kadar DMY-P-ÇTL, DPY-P-ÇTL ve DMY-P-GE modelleri ile SDM-P-ÇTL ve SDM-P-GE modellerinde gelirlerin aynı olduğu görülmüş ve olasılık değeri yükseldikçe modellerin aralarındaki farklarda artışlar gözlenmiştir. Geliş olasılıklarının çözüme etkisinin yüksek olduğu ve $\lambda = 0,2$ olasılığında DMY-P-ÇTL modelinde hesaplanan 35 096,29 en iyi

beklenen gelirin temel örnekte $\lambda = 1$ için bulunan 167 777,16 çözümüne göre düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir. Müşteri seçimi davranışına yönelik olarak v_{l0} ürün tercih etmeme ağırlıklarının değişimine bakıldığında, ürünlerin yüksek tercih etmeme değerleri ile birlikte en iyi beklenen gelirin azaldığı gözlenmiştir. Ürünlerin seçilmeme olasılığının yüksek olduğu Çizelge 6.4'de v_{l0} 'ın 4 ve 5 olarak gösterildiği örneklerde DMY-P-ÇTL, DPY-P-ÇTL ve DMY-P-GE modelleri ile SDM-P-ÇTL ve SDM-P-GE modellerinde gelirlerin aynı olduğu gözlenmiştir. Çizelge 6.4'de v_{l0} 'ın 5 olarak gösterildiği örnekte 88 461,89 olarak hesaplanan en iyi beklenen gelirin, 0 olarak gösterilen ve 167 777,16 olarak hesaplanan temel örneğe göre değerlendirildiğinde v_{l0} 'ın en iyi beklenen gelire etkisinin yüksek olduğu düşünülmektedir. Çizelge 5.4'de v_{l0} 'ın 1 olarak gösterildiği örnekte ise ağırlıklar sıfır olduğunda müşterilerin düşünülen set içerisindeki ürünleri seçeceğinden gelirin yükseldiği görülmektedir. Tüm modellerde λ geliş olasılığı ve v_{l0} ağırlıklarının değişimlerinin ise baz alınan örneğe göre benzer sürelerde çözüldüğü ve çözüm süresine etkisi olmadığı tespit edilmiştir.

Tüm örnek setlerinin çözümleri incelendiğinde, kapasite ve satma ufkundaki toplam dönem sayısına bağlı olarak çözümlerde $S = \{1\}$, $S = \{1,2\}$, $S = \{1,3\}$, $S = \{1,2,3\}$, $S = \{1,2,4\}$ ve $S = \{1,2,3,4\}$ setlerinin kullanıldığı bulunmuştur. Böylece modelin bu setlere indirgenebileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak, önerilen yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modelinin ana amacı, yan gelir ürünleri bulunduğu en iyi ürün setleri kullanılarak gelirin eniyilenmesidir. Pegasus Havayolları ile ilgili ÇTL modeli senaryosunda kapasite değişimlerine bağlı olarak her dönem en iyi setlerin önerilmesinin beklenen geliri artırabileceği bulunmuştur. Yapılan çözümler sonucunda, havayolları tarafından standart olarak sunulan ürün setleriyle gelir kaybı yaşanabileceği, hesaplanan en iyi ürün setleriyle gelirlerinde artış sağlayabileceği görülmüştür. Bu bağlamda, havayolları ürün setlerini gözden geçirmeli ve kapasite değişimleri de dikkate alınarak her dönemde en iyi ürün setlerini önermelidir. Sunulan ürün setlerine yeni ürünlerin eklenerek veya en iyi sonucu sağlamayan ürünlerin setlerden çıkarılarak gelirin artırılabilmesi değerlendirilmektedir. En iyi ürün setlerinin hesaplanmasının dönem bazında veya bu çalışmada gerçekleştirildiği gibi tüm dönemler boyunca yapılabilmesi düşünülmektedir.

Gelirin eniyilenmesi için müşterilerin ürünleri seçim olasılıklarının modele doğrudan etkisi vardır. Bu çerçevede, havayolları tarafından müşteri davranışları çok iyi analiz edilmeli ve analizler sonucunda yapılan hesaplamalar modele dâhil edilmelidir. Müşterilerin davranışı analiz edilirken gelir düzeyi, uçuş sıklığı gibi değişkenlerin davranışlara etki edebileceği göz önünde tutulmalıdır.

Bu bölümde gerçek durumda yapılan uygulamalardan sonra, bu çalışmanın son bölümünde sonuç ve öneriler sunulacaktır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

GY gelecek bir uçuş için rezervasyon yaptırmak isteyen yolculara, rezervasyon işleminin doğru zamanda, doğru ücretle ve doğru şartlarda satılmasının eniyilemesini içerir. GY havayollarının gelirlerini eniyilemesinde kritik rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra, yan gelir ürünleri havayollarının gelirlerini artırmasında son yıllarda artan bir öneme sahip olmuştur. Ürünün satın alınma seçimiyle birlikte önerilen yan gelir ürünleri; fazla bagaj, koltuk seçimi, uçak içi ikram ve ücret kilidi gibi ürünleri kapsamaktadır. Bunlarla birlikte, müşterilerin bir ürün seti arasından seçimi ile ilgilenen müşteri seçimi davranışı GY literatüründe son yıllarda önem kazanmıştır.

Bu çalışmada, literatürde bulunan ücret kilidi ve müşteri seçimi davranışı ile ilgili modeller temel alınarak, literatürde ilk defa en iyi ürün setlerinin kullanıldığı ücret kilidinde müşteri seçimi davranışı modeli ve bu model geliştirilerek yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modeli önerilmiştir. Bu modeldeki ana amaç, yan gelir ürünleri bulunduğunda satıcı tarafından en iyi ürün setleri kullanılarak gelirin eniyilenmesidir. Bu bağlamda, ücret kilidinde müşteri seçimi davranışına ilişkin dinamik programlama modeli geliştirilmiş, dinamik modelin üst sınırının bulunması amacıyla doğrusal programlama modeli önerilmiş, ayrıca ücret kilidinin en iyi beklenen gelire etkisinin gözlenmesi amacıyla ücret kilidinin ihmal edildiği standart dinamik model verilmiştir. Tüm modellerin örnek üzerinde çözümleri yapılmış, hazırlanan veri setleriyle gerçekleştirilen uygulamaların sonuçları ortaya konmuş ve sonuçlar tartışılmıştır.

Ücret kilidi modeli temel alınarak, literatürde ilk kez yan gelirlerde müşteri seçimi davranışına ilişkin dinamik model geliştirilmiş ve dinamik modelin üst sınırının bulunması amacıyla doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Yan gelirlere ilişkin bu modellerin örnek üzerinde çözümleri yapılmış, hazırlanan veri setleriyle yapılan uygulamaların sonuçları açıklanmış ve sonuçlar tartışılmıştır. Bu çerçevede, yan gelirlerde müşteri seçimi davranışına ilişkin model kullanılarak gerçek durumdaki havayolu uygulamaları yapılmıştır ve sonuçları incelenmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda, ücret kilidi ve yan gelirlerde müşteri seçimi davranışına ilişkin doğrusal programlama modellerinin dinamik modele üst sınır oluşturduğu bulunmuş

ve doğrusal modellerle yapılan çözümlerin dinamik modele göre çok daha kısa sürdüğü görülmüştür. Ayrıca, düşük ρ geliş zamanında müşterinin önerilen ürünü satın almayı seçme olasılığı, yüksek π ücret kilidi zamanı sonunda müşterinin ürünü satın alma olasılığı ve yüksek P_r cezasız iade/değişiklik hakkı seçme olasılığı değerlerinin yan gelirlerdeki dinamik ve doğrusal programlama modelleri arasındaki farkları arttırdığı gözlenmiştir. Ücret kilidi seçeneğinin kullanılmasıyla ile yapılan uygulamalarda, seçim olasılıklarına bağlı olarak seçeneğin kullanılmasıyla en iyi beklenen gelirin ortalama %17 civarında artabileceği hesaplanmıştır. Yan gelirlerle ilgili yapılan analizde, belirlenen seçim olasılıklarına bağlı olarak, yan gelir ürünlerinin kullanılmasıyla gelirlerin ortalama %24 artacağı görülmüş ve doğrusal model sonuçlarının dinamik modelden ortalama %2 civarında yüksek olduğu tespit edilmiştir. Gerçek havayolu ile yapılan uygulamalardaki çözümler sonucunda yan gelirlerin önerilmesinden dolayı gelirin ortalama %14 civarında artabileceği, ÇTL modelinin kullanılmasından ve yan gelir ürünlerinin modele dâhil edilmesinden dolayı en iyi beklenen gelirin ortalama %16 civarında artacağı gözlenmiştir. ÇTL modeli ile hesaplanan doğrusal programlama modeli sonuçlarının dinamik modelden ortalama %3 civarında yüksek olduğu görülmüştür. *Havayolu tarafından önerilen tek ürün seti baz alındığında, yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modeli ile belirlenen en iyi ürün setlerinin kullanılmasıyla havayolunun gelirini yaklaşık %2 oranında artırabileceği hesaplanmıştır. Bu çerçevede, havayolları tarafından önerilen ürün setlerinin en iyi politika olmayabileceği, kapasite değişimleri de dikkate alınarak her dönemde en iyi setlerin önerilmesinin geliri artırabileceği bulunmuştur.*

Geliştirilen modeller sonucunda, havayolları tarafından standart olarak sunulan ürünler için eniyilemenin yapılarak en iyi politika oluşturulmasının önemli olduğu değerlendirilmektedir. Havayolları tarafından müşterilerin seçim davranışları göz önüne alınarak farklı yan gelir ürünlerinin kullanılmasıyla çeşitli ürünler oluşturulabilir ve bu ürünler yapılacak eniyilemelerle belirli dönemlerde önerilebilir. Ayrıca, havayolları tarafından bazı ürünlerin eniyilemeler neticesinde belirli dönemlerde önerilmemesinin uygun bir politika olabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmanın havayolları için yapılan uygulamalarında, müşteri seçimi davranışı için ÇTL modeli kullanılmıştır. Bu model seyahat talebinin tahmini için önemli bir uygulama alanıdır. Modelin analitik olarak çözümlenebilir olması, eğer uygun şekilde uygulanırsa doğru olması ve standart istatistik teknikleriyle tahminin yapılabilmesi nedeniyle yaygın

olarak kullanıldığı Talluri ve van Ryzin (2004a: 308) tarafından açıklanmıştır. Ancak, ÇTL modelinin de kısıtlamaları vardır. Örnek olarak, *ilgisiz alternatiflerden bağımsızlık* (independence from irrelevant alternatives) olarak adlandırılan ve yeni bir alternatifin gruba eklenmesiyle benzer alternatiflerin seçilme olasılığının benzer olmayan alternatiflere göre daha fazla azalmasıyla açıklanan bir kısıtlaması mevcuttur (Talluri ve van Ryzin, 2004a: 307). Bu bağlamda, müşteri davranışının analiz edilmesi için ÇTL modelinin yanı sıra farklı modeller de kullanılabilir. Ancak yine de, müşteri davranışının tespiti karmaşık bir hesaplama gerektirir ve modellerden doğru netice alınması için iyi analiz edilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada verilen gerçek durumdaki örneklerde müşteri segmentleri gelir düzeyine göre ayrılmıştır. Ancak, müşteriler sadece gelir düzeylerine göre değil, yaş grupları, yılda kaç uçuş yaptıkları, seyahat amacı gibi farklı kategorilerde de sınıflandırılabilmektedir. Müşteri davranışının farklı kategorilerdeki gruplar için değişebileceği düşünülmektedir. Bu nedenle, havayolları tarafından karmaşık olan müşteri davranışının çok iyi analiz edilmesi ve bu değerlerin modele aktarılması modellerin çözümünün doğruluğu açısından çok önemlidir.

Yan gelir ürünlerinin seçim olasılıklarının doğru belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu olasılıklara ilişkin detaylı çalışmaların yapılmasının gelirlere olan etkisinin doğruluğu açısından önemli olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada, koltuk seçimi, fazla bagaj ücretleri, uçak içi ikram ve ücret kilidi gibi yan gelirlerin büyük bir bölümünü oluşturan alakart ürünler kullanılmıştır. Ayrıca, üçüncü parti gelir ürünleri de modellere dâhil edilebilir.

Önerilen modellerde havayolları tarafından rekabetçi ortam dikkate alınmamıştır. Gerçek durumda havayolları aynı güzergâh için diğer birçok havayoluyla rekabet etmekte ve müşteriler bu alternatiflerden uygun olanını seçmektedirler. Bu kapsamda, rekabetçi ortamda yapılacak çalışmaların en iyi beklenen gelire olan etkisinin araştırılmasıyla önerilen modellerin geliştirilebileceği değerlendirilmektedir. Bunlarla birlikte, yapılacak rekabetçi analizlerin müşterinin seçim olasılıkları ile yan gelir ürünlerini satın alım olasılıklarına aktarılabilmesi, bu çerçevede bu olasılıkların havayolunun pazar payını yansıtabileceği düşünülmektedir.

Literatürde ücret kilidi ile ilgili temel alınan modellerde tek bacaklı uçuşlar için uygulamalar yapılmış, bu çalışmada da tek bacaklı uçuşlar için çalışmalar

gerçekleştirilmiştir. Önerilen modelin geliştirilerek şebekeye uyarlanabileceği düşünülmektedir. Ücret kilidi bulunduğu modelin boyutunun büyümesi nedeniyle çözüm süresi de büyük oranda artmaktadır. Şebeke söz konusu olduğunda ise boyutun daha da artacağından, çözümler ücret kilidi mevcut olduğundaki durumdan daha fazla sürecektir. Bu nedenle, şebeke modelinin çözülmesinde yaklaşım metotları gibi daha az zaman alacak tekniklerden de yararlanılabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada, GY'nin fazla rezervasyon bileşeni dikkate alınmamıştır. Fazla rezervasyon modelleri ile birlikte uçak kapasitesinden fazla rezervasyonlar kabul edilmeye çalışılmaktadır, ancak fiziksel koltuktan fazla yolcunun kalkış zamanında hazır bulunma riski oluşmaktadır. Fazla rezervasyon ile ilgili değişkenlerin ilave edilmesiyle bu modelin genişletilebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akpınar, B. (2019). *Düşük maliyetli havayollarında ek hizmet yönetimi*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Alstrup, J., Boas, S., Madsen, O.B.G., and Vidal, R.V. (1986). Booking policy for flights with two types of passengers. *European Journal of Operational Research*, 27(3), 274-288.
- Atik, M. (2019). Düşük maliyet taşımacılık iş modelini benimseyen havayolu şirketlerinin yan gelir uygulamalarının finansal performansları üzerindeki etkileri: Türk sivil havacılık sektöründe bir uygulama. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 11(4), 2622-2635.
- Avram, B. (2017). Ancillaries in the aviation industry. Importance, trends, going digital. *Expert Journal of Marketing*, 5(2), 53-65.
- Aydın, N., Birbil, Ş.İ., and Topaloğlu, H. (2017). Delayed purchase options in single-leg revenue management. *Transportation Science*, 51(4), 1031-1045.
- Babić, R.S., Ozmec-Ban, M., and Bajić, J. (2019). A review of recent trends in airline ancillary revenues. *Economy and Market Communication Review*, 9(1), 132-151.
- Bazargan, M. (2010). *Airline operations and scheduling* (İkinci baskı). London: Routledge, 113-134.
- Beckmann, M.J. (1958). Decision and Team Problems in Airline Reservations. *Econometrica*, 26(1), 134-145.
- Beckmann, M.J. and Bobkoski, F. (1958). Airline demand: An analysis of some frequency distributions. *Naval Research Logistics Quarterly*, 5(1), 43-51.
- Belobaba, P.P. (1987). *Air travel demand and airline seat inventory management*. Doctoral Dissertation, Flight Transportation Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.
- Belobaba, P.P. (2009). Fundamentals of pricing and revenue management. Belobaba, Odoni and Barnhart (Eds.), *The global airline industry*. United Kingdom: John Wiley & Sons, 73-111.
- Belobaba, P.P. and Hopperstad, C. (1999). Boeing/MIT simulation study: PODS results update. *1999 AGIFORS Reservations and Yield Management Study Group Symposium Proceedings*, London, UK.
- Belobaba, P.P. and Hopperstad, C. (2004). *Algorithms for Revenue Management in Unrestricted Fare Markets*. Presented at the Meeting of the INFORMS Section on Revenue Management, Cambridge, MA.

- Belobaba, P.P. and Weatherford, L. (1996). Comparing decision rules that incorporate customer diversion in perishable asset revenue management situations. *Decision Sciences*, 27(2), 343-363.
- İnternet: Ben-Akiva, M. (2008). *Discrete choice analysis I*. Transportation Systems Analysis: Demand & Economics, Massachusetts Institute of Technology. Web: https://ocw.mit.edu/courses/civil-and-environmental-engineering/1-201j-transportation-systems-analysis-demand-and-economics-fall-2008/lecture-notes/MIT1_201JF08_lec03.pdf, Son Erişim Tarihi: 23.05.2021.
- Ben-Akiva, M. and Lerman, S. (1985). *Discrete-choice analysis: Theory and application to travel demand*. Cambridge, MA: MIT Press, 1-131.
- Bildea, T.S. and Gorin, T. (2018). Towards capturing ancillary revenue via unbundling and cross-selling. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 17, 102–114.
- Bitran, G. and Caldentey, R. (2003). Commissioned paper: An overview of pricing models for revenue management. *Manufacturing & Service Operations Management*, 5(3), 203–229.
- Bitran, G. and Mondschein, S.V. (1997). Periodic Pricing of Seasonal Products in Retailing. *Management Science*, 43(1), 64–79.
- Bockelie, A. (2019). *Ancillary services in the airline industry: Passenger choice and revenue management optimization*. Doctoral Dissertation, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.
- Bockelie, A. and Belobaba, P. (2017). Incorporating ancillary services in airline passenger choice models. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 16(6), 553–568.
- İnternet: Boeing. (2013). *Airline revenue management* [PowerPoint slides]. Web: http://aviation.itu.edu.tr/%5Cimg%5Caviation%5Cdatafiles/Lecture%20Notes/FundamentalsOfAirlineManagement20152016/Lecture%20Notes/09-ITU_Revenue_Management.pdf, , Son Erişim Tarihi: 21.04.2018.
- Boyd, E.A. and Kallesen, R. (2004). The science of revenue management when passengers purchase the lowest available fare. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 3(2), 171–177.
- Bront, J.J.M., Méndez-Díaz, I., and Vulcano, G. (2009). A column generation algorithm for choice-based network revenue management. *Operations Research*, 57(3), 769–784.
- Brumelle, S.L. and McGill, J.I. (1993). Airline seat allocation with multiple nested fare classes. *Operations Research*, 41, 127–137.
- Burger, B. and Fuchs, M. (2005). Dynamic pricing—A future airline business model. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 4(1), 39–53.

- Buyruk M. and Güner, E. (2018). *Personalization in airline revenue management: An overview and future research prospects*. 12th International NCM Conference: New Challenges in Industrial Engineering and Operations Management, Ankara, Türkiye.
- Buyruk, M. and Güner, E. (2021). *Overall airline revenue model with customer choice behavior for a single flight leg*. The 22nd Conference of the International Federation of Operational Research Societies (IFORS 2021), Seul, Kore.
- Buyruk, M. and Güner, E. (2022a). Personalization in airline revenue management: An overview and future outlook. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 21, 129-139.
- Buyruk, M. and Güner, E. (2022b). *A dynamic programming model incorporating fare and ancillary products with customer choice behavior in single-leg revenue management*. Proceedings of the Sixteenth International Conference on Management Science and Engineering Management – Volume 1, 240-253.
- İnternet: Büyük Sayılar Yasası. (t.y.). *Vikipedi*. Web: https://tr.wikipedia.org/wiki/B%C3%BCy%C3%BCk_say%C4%B1lar_yasas%C4%B1, Son Erişim Tarihi: 24.10.2021.
- Chatwin, R.E. (1996). Multi-period airline overbooking with multiple fare classes. *Naval Research Logistics*, 43(5), 603–612.
- Chen, M. and Chen, Z. (2015). Recent developments in dynamic pricing research: Multiple products, competition, and limited demand information. *Production and Operations Management*, 24(5), 704-731.
- Chen, M. and Chen, Z. (2019). Uncertain about your travel plan? Lock it and decide later: Dynamic pricing with a fare-lock option. *Transportation Research Part E*, 125, 1–26.
- İnternet: Cross, R.A. (2011). *Revenue management: Hard-core tactics for market domination*, 64-65. [Google play version]. Web: <https://play.google.com>, Son Erişim Tarihi: 15.04.2018.
- Curry, R.E. (1990). Optimal Airline Seat Allocation with Fare Classes Nested by Origins and Destinations. *Transportation Science*, 24(3), 193-204.
- Çetiner, E.M., Güneş, M.F., ve Peker, A.E. (2019). Havayolu şirketlerinde yan gelir: Havayolu yöneticilerinin ve yolcu tercihlerinin karşılaştırılması. *Ekonomi, İşletme ve Maliye Araştırmaları Dergisi*, 1(2), 135-155.
- D’Sylva, E. (1982). *O and D Seat Assignment to Maximize Expected Revenue*. Unpublished internal report, Boeing Commercial Airplane Company, Seattle, WA.
- Elmaghraby, W. and Keskinocak, P. (2003). Dynamic pricing in the presence of inventory considerations: Research overview, current practices, and future directions. *Management Science*, 49(10), 1287–1309.

- Internet: European Aviation Safety Agency. (2018). *Boeing 747*. Type-Certificate Data Sheet, No. IM.A.196. Web: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/TCDS_EASA%20IM%20A%20196_B747_Issue_17__18.12.2018_Son_Erişim_Tarihi: 19.04.2020.
- Internet: European Aviation Safety Agency. (2019). *Airbus A380*. Type-Certificate Data Sheet, No. EASA.A.110. Web: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/TCDS_EASA%20A%20110_A380_Iss_14.pdf, Son Erişim Tarihi: 19.04.2020.
- Feng, Y., Lin, P., and Xiao, B. (2003). Optimal airline booking control with cancellations. In Yao, D.D., Zhang, H. and Zhou, X.Y. (Eds.), *Stochastic Modeling and Optimization*. Springer-Verlag, New York, NY, 395-427.
- Fiig, T., Goyons, O., Adelving, R., and Smith, B. (2016). Dynamic pricing – The next revolution in RM?. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 15(5), 360-379.
- Fiig, T., Isler, K., Hopperstad, C., and Belobaba, P.P. (2010). Optimization of mixed fare structures: Theory and applications. *Journal of Revenue and Pricing Management* 9(1-2), 152-170.
- Fiig, T., Le Guen, R., and Gauchet, M. (2018). Dynamic pricing of airline offers. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 17, 381–393.
- Internet: Gallego, G., Iyengar, G., Phillips, R., and Dubey, A. (2004). *Managing flexible products on a network*. CORC Technical Report TR-2004-01. Web: <https://www.researchgate.net/publication/268981111>, Son Erişim Tarihi: 06.01.2020.
- Gallego, G., Ratliff, R., and Shebalov, S. (2015). A general attraction model and sales-based linear program for network revenue management under customer choice. *Operations Research*, 63(1), 212-232.
- Gallego, G. and van Ryzin, G. (1994). Optimal dynamic pricing of inventories with stochastic demand over finite horizons. *Management Science*, 40(8), 999– 1020.
- Gallego, G. and van Ryzin, G. (1997). A multi-product, multi-resource pricing problem and its application to network yield management. *Operations Research*, 45(1), 24–41.
- Glover, F., Glover, R., Lorenzo, J., and Mcmillan, C. (1982). The passenger mix problem in the scheduled airlines. *Interfaces*, 12(3), 73–79.
- Goedeking, P. (2010). *Networks in aviation: Strategies and Structures*. Berlin: Springer Heidelberg, 97.
- Gorin, T., Walczak, D., Bartke, P., and Friedemann, M. (2012). Incorporating cancel and rebook behavior in revenue management optimization. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 11(6), 645-660.

- Hao, E. (2014). *Ancillary revenues in the airline industry: Impacts on revenue management and distribution systems*. Master's Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.
- Internet: IdeaWorksCompany. (2018a). *Airline ancillary revenue projected to be \$92.9 billion worldwide in 2018*. Web: <https://www.ideaworkscompany.com/wp-content/uploads/2018/11/Press-Release-133-Global-Estimate-2018.pdf>, Son Erişim Tarihi: 25.03.2020.
- Internet: IdeaWorksCompany. (2018b). *2018 CarTrawler yearbook of ancillary revenue by IdeaWorksCompany*. Web: <https://www.veilleinfotourisme.fr/files/2018-09/2018-CarTrawler-Ancillary-Revenue-Yearbook.pdf>, Son Erişim Tarihi: 26.03.2020.
- Internet: IdeaWorksCompany. (2019a). *Airline ancillary revenue projected to leap to \$109.5 billion worldwide in 2019*. Web: <https://www.ideaworkscompany.com/wp-content/uploads/2019/11/Press-Release-142-Global-Estimate-2019.pdf>, Son Erişim Tarihi: 25.03.2020.
- Internet: IdeaWorksCompany. (2019b). *2018 Top 10 airline ancillary revenue rankings*. Web: <https://www.ideaworkscompany.com/wp-content/uploads/2019/08/2018-Top-10-Airline-Ancillary-Revenue-Rankings.pdf>, Son Erişim Tarihi: 25.03.2020.
- Isler, K. and D'Souza, E. (2009). GDS capabilities, OD control and dynamic pricing. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 8(2/3), 255–266.
- Kunnumkal, S. and Topaloglu, H. (2010). A new dynamic programming decomposition method for the network revenue management problem with customer choice behavior. *Production and Operations Management*, 19(5), 575-590.
- Kunnumkal, S. and Talluri, K. (2016). A note on relaxations of the choice network revenue management dynamic program. *Operations Research*, 64(1), 158-166.
- Kunnumkal, S. and Talluri, K. (2019a). Choice network revenue management based on new tractable approximations. *Transportation Science*, 53(6), 1591-1608.
- Kunnumkal, S. and Talluri, K. (2019b). A strong Lagrangian relaxation for general discrete-choice network revenue management. *Computational Optimization and Applications*, 73(1), 275-310.
- Lautenbacher, C.J. and Stidham, S.Jr. (1999). The Underlying Markov Decision Process in the Single-Leg Airline Yield-Management Problem. *Transportation Science*, 33(2), 136-146.
- Lee, A.O. (1990). *Airline reservations forecasting: Probabilistic and statistical models of the booking process*. Doctoral Dissertation, MIT Flight Transportation Laboratory Report R90-5, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.
- Lee, T.C. and Hersh, M. (1993). A model for dynamic airline seat inventory control with multiple seat bookings. *Transportation Science*, 27(3), 252–265.

- Leon, S. and Uddin, N. (2017a). Data-driven insights: Assessment of airline ancillary services. *Journal of Transportation Management*, 27(1), 59-74.
- Leon, S. and Uddin, N. (2017b). Airline ancillary services: An investigation into passenger purchase behavior. *Journal of Transportation Research Forum*, 56(1), 41-62.
- Liu, Q. and van Ryzin, G. (2008). On the choice-based linear programming model for network revenue management. *Manufacturing & Service Operations Management*, 10(2), 288–310.
- Littlewood, K. (1972). Forecasting and control of passenger bookings. *AGIFORS Symposium Proceedings*, 12, 95-117.
- Löfberg, J. (2004). *YALMIP: A toolbox for modeling and optimization in MATLAB*. Paper presented at the IEEE International Symposium on Computer Aided Control Systems Design Conference, Taipei, Taiwan.
- Lu, Y. (2019). *Impacts of ancillary services on airline revenue management*. Master's Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.
- L'Heureux, E. (1986). A new twist in forecasting short-term passenger pickup. *AGIFORS Symposium Proceedings*, 248–261.
- McGill, J. and van Ryzin, G. (1999). Revenue management: Research overview and prospects. *Transportation Science*, 33(2), 233-256.
- Meissner, J. and Strauss, A. (2012). Network revenue management with inventory-sensitive bid prices and customer choice. *European Journal of Operational Research*, 216(2), 459-468.
- Meissner, J., Strauss, A., and Talluri, K. (2013). An enhanced concave program relaxation for choice network revenue management. *Production and Operations Management*, 22(1), 71-87.
- Mirzaei, F.H., Ødegaard, F., and Yan, X. (2017). Airline switching revenue with price-guarantees. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 16(3), 308-324.
- O'Connell, J.F. (2011). Ancillary revenues: The new trend in strategic airline marketing. In O'Connell, J.F. and Williams, G. (Eds.), *Air transport in the 21st century*. Ashgate: Aldershot, 145-171.
- O'Connell, J.F. and Warnock-Smith, D. (2013). An investigation into traveler preferences and acceptance levels of airline ancillary revenues. *Journal of Air Transport Management*, 33, 12-21.
- İnternet: Önen, V. (2018). *Havayollarında yan gelirlerin artan önemi*. Iconsr 1th International Conference on Social Science Research, Prizen, Kosova. Web: <https://www.researchgate.net/publication/328562735>, Son Erişim Tarihi: 25.03.2020.

- Ødegaard, F. and Wilson, J.G. (2016). Dynamic pricing of primary products and ancillary services. *European Journal of Operational Research*, 251, 586- 599.
- İnternet: Pegasus Havayolları. (2019a). *Uçuşlarınızı Seçiniz*. Web: https://web.flypgs.com/booking?language=TR&adultCount=1&childCount=0&infantCount=0&soldierCount=0&arrivalPort=STN_LHR_LGW&departurePort=IST_SAW¤cy=TL&dateOption=1&departureDate=2020-09-01, Son Erişim Tarihi: 28.10.2019.
- İnternet: Pegasus Havayolları. (2019b). *Pegasus Hava Taşımacılığı Anonim Şirketi 1 Ocak – 31 Mart 2019 dönemi yönetim kurulu ara dönem faaliyet raporu*. Web: http://www.pegasusyatirimciiliskileri.com/medium/image/1-ceyrek-ara-donem-faaliyet-raporu_858/view.aspx, Son Erişim Tarihi: 26.04.2020.
- İnternet: Pegasus Havayolları. (2020a). *Uçuşlarınızı seçiniz*. Web: https://web.flypgs.com/booking?language=TR&adultCount=1&childCount=0&infantCount=0&soldierCount=0&arrivalPort=STN_LHR_LGW&departurePort=IST_SAW¤cy=TL&dateOption=1&departureDate=2020-08-12, Son Erişim Tarihi: 09.05.2020.
- Pegasus Havayolları. (2020b). *15-31 Mayıs 2020 İptal Olan Yurt Dışı ve Kıbrıs Seferlerinin Bilet İşlemleri Hakkında*. Web: <https://www.flypgs.com/basin-odasi/duyurular/duyuru-detay/15-31-mayis-2020-iptal-olan-yurt-disi-ve-kibris-seferlerinin-bilet-islemleri-hakkinda>, Son Erişim Tarihi: 19.05.2020.
- Peksatıcı, Ö. (2016). Ancillary Revenue Opportunities in Turkish Domestic Aviation Market. *International Journal of Economics, Commerce and Management*, 4(1), 175-206.
- Petraru, O. (2016). *Airline passenger cancellations: Modeling, forecasting and impacts on revenue management*. Master's Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.
- Rothstein, M. (1971). An airline overbooking model. *Transportation Science*, 5(2), 180–192.
- Rothstein, M. (1985). OR and the airline overbooking problem. *Operations Research*, 33, 237–248.
- Rusmevichientong, P., Shmoys, D., Tong, C., and Topaloglu, H. (2014). Assortment optimization under the multinomial logit model with random choice parameters. *Production and Operations Management*, 23(11), 2023-2039.
- İnternet: Shukla, N., Kolbeinsson, A., Otwell, K., Marla, L., and Yellepeddi, K. (2019). *Dynamic pricing for airline ancillaries with customer context*. Paper presented at the KDD'19: 25th ACM SIGKDD Conference On Knowledge Discovery And Data Mining, Anchorage, AK, USA. Web: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3292500.3330746>, Son Erişim Tarihi: 19.05.2020.
- Simon, J.L. (1968). An almost practical solution to airline overbooking. *Journal of Transport Economics and Policy*, 2(2), 201–202.

- Simpson, R.W. (1989). *Using network flow techniques to find shadow prices for market and seat inventory control*. Memorandum M89-1, MIT Flight Transportation Laboratory. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology.
- Smith, B.C. and Penn, C.W. (1988). Analysis of Alternative Origin-Destination Control Strategies. *AGIFORS Symposium Proceedings*, 28, New Seabury, Strauss MA.
- Song, W. and Lee, H.C. (2019). An analysis of traveler need for and willingness to purchase airline dynamic packaging: A Korean case study. *Journal of Air Transport Management*, 82, 101735.
- Song, B. and Li, M.Z.F. (2018). Dynamic Pricing with Service Unbundling. *Production and Operations Management*, 27(7), 1334–1354.
- Strauss, A. K., Klein, R., and Steinhardt, C. (2018). A review of choice-based revenue management: Theory and methods. *European Journal of Operational Research*, 271(2), 375-387.
- Sumida, M. and Topaloğlu, H. (2019). An approximation algorithm for capacity allocation over a single flight leg with fare-locking. *INFORMS Journal on Computing*, 31(1), 83-99.
- Şengür, F.K., Ustaömer, T.C., and Uzgör, M. (2018). A research on ancillary product buying intentions of domestic airline passengers in Turkey. *Journal of Management Marketing and Logistics*, 4(4), 456-464.
- Talluri, K. (2014). New formulations for choice network revenue management. *INFORMS Journal on Computing*, 26(2), 401-413.
- Talluri, K. and van Ryzin, G. (1998). An analysis of bid-price controls for network revenue management. *Management Science*, 44(11), 1577–1593.
- Talluri, K. and van Ryzin, G. (2004a). *The theory and practice of revenue management*. New York, NY: Springer, 9-659.
- Talluri, K. and van Ryzin, G. (2004b). Revenue management under a general discrete choice model of consumer behavior. *Management Science*, 50(1), 15–33.
- Tuzovic, S., Simpson, M.C., Kuppelwieser, V.G., and Finsterwalder, J. (2014). From ‘free’ to fee: Acceptability of airline ancillary fees and the effects on customer behavior. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 21, 98-107.
- Uslu, T., Sezen, B., and Karakadılar, İ.S. (2019). Airline customers’ perceptions and reactions to revenue management practices in the airline services. *Global Journal of Emerging Trends in e-Business, Marketing and Consumer Psychology*, 5(1), 670-693.
- Vickrey, W. (1972). Airline overbooking: Some further solutions. *Journal of Transport Economics and Policy*, 6(3), 257–270.

- Vinod, B. (1995). Origin and destination yield management. Jenkins, D. (Ed.) *The Handbook of Airline Economics*. New York, NY: The Aviation Weekly Group of the McGraw-Hill Companies, 459-468.
- Vinod, B. and Moore, K. (2009). Promoting branded fare families and ancillary services: Merchandising and its impacts on the travel value chain. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 8, 174–186.
- Internet: Volotea. (2020). *All our prices*. Web: <https://www.volotea.com/en/service-fees/>, Son Erişim Tarihi: 01.04.2020.
- Vossen, T.W. and Zhang, D. (2015). A dynamic disaggregation approach to approximate linear programs for network revenue management. *Production and Operations Management*, 24(3), 469-487.
- Wang, K.K. (2020). *Airline revenue management with dynamic offers: Bundling flights and ancillary services*. Master's Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.
- Warnock-Smith D., O'Connell, J.F., and Maleki, M. (2017). An analysis of ongoing trends in airline ancillary revenues. *Journal of Air Transport Management*, 64, 42-54.
- Weatherford, L.R. (2016). The history of forecasting models in revenue management. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 15(3-4), 212-221.
- Westermann, D. (2006). (Realtime) dynamic pricing in an integrated revenue management and pricing environment: An approach to handling undifferentiated fare structures in low-fare markets. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 4(4), 389–405.
- Westermann, D. (2013). The potential impact of IATAs New Distribution Capability (NDC) on revenue management and pricing. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 12(6), 565-568.
- Wickham, R.R. (1995). *Evaluation of forecasting techniques for short-term demand of air transportation*. Master's Thesis, MIT Flight Transportation Laboratory Report R95-7, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.
- Williamson, E.L. (1992). *Airline network seat inventory control: Methodologies and revenue impacts*. Doctoral Dissertation, Flight Transportation Laboratory Report, R 92–3, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.
- Wittmer, A. and Rowley, E. (2014). Customer value of purchasable supplementary services: The case of a European full network carrier's economy class. *Journal of Air Transport Management*, 34, 17-23.
- Wollmer, R.D. (1992). An airline seat management model for a single leg route when lower fare classes book first. *Operations Research*, 40(1), 26-37.

- Zhang, D. (2011). An improved dynamic programming decomposition approach for network revenue management. *Manufacturing & Service Operations Management*, 13(1), 35-52.
- Zhang, D., and Adelman, D. (2009). An approximate dynamic programming approach to network revenue management with customer choice. *Transportation Science*, 43(3), 381-394.

EKLER

EK-1. Ücret kilidinde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları

Çizelge 1.1. Veri setleriyle yapılan çözümlerin sonuçları ve DMÜ modelinden DPÜ ve SDM modellerinin fark yüzdeleri

No.	Örnek										En İyi Beklenen Gelirler			DMÜ Modelinden % Fark	
	r_j	r_f	T	f	C	ρ	π	λ	v_{10}	DMÜ	DPÜ	SDM	DPÜ ¹	SDM ²	
0.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,4	1	0	30 527,76	31 215,77	26 712,08	2,25	12,5	
1.	(1 000,750,500,250)	30	150	5	85	0,8	0,4	1	0	50 520,81	51 639,92	44 520,14	2,22	11,88	
2.	(900,700,500,300)	30	150	5	85	0,8	0,4	1	0	48 435,69	49 927,85	42 373,63	3,08	12,52	
3.	(800,600,400,200)	30	150	5	85	0,8	0,4	1	0	40 524,28	41 427,85	35 616,11	2,23	12,11	
4.	(700,500,300,200)	30	150	5	85	0,8	0,4	1	0	33 537,02	34 547,98	29 189,94	3,01	12,96	
5.	(500,400,300,200)	30	150	5	85	0,8	0,4	1	0	28 459,11	29 503,70	24 570,17	3,67	13,67	
6.	(400,300,200,100)	30	150	5	85	0,8	0,4	1	0	20 531,27	21 003,70	17 808,05	2,3	13,26	
7.	(600,450,300,150)	2	150	5	85	0,8	0,4	1	0	30 025,55	30 674,86	26 712,08	2,16	11,04	
8.	(600,450,300,150)	5	150	5	85	0,8	0,4	1	0	30 079,34	30 732,82	26 712,08	2,17	11,19	
9.	(600,450,300,150)	7	150	5	85	0,8	0,4	1	0	30 115,21	30 771,45	26 712,08	2,18	11,3	
10.	(600,450,300,150)	10	150	5	85	0,8	0,4	1	0	30 169,00	30 829,41	26 712,08	2,19	11,46	
11.	(600,450,300,150)	20	150	5	85	0,8	0,4	1	0	30 348,36	31 022,59	26 712,08	2,22	11,98	
12.	(600,450,300,150)	40	150	5	85	0,8	0,4	1	0	30 707,19	31 408,95	26 712,08	2,29	13,01	
13.	(600,450,300,150)	60	150	5	85	0,8	0,4	1	0	31 066,11	31 795,32	26 712,08	2,35	14,02	
14.	(600,450,300,150)	80	150	5	85	0,8	0,4	1	0	31 425,15	32 181,68	26 712,08	2,41	15	
15.	(600,450,300,150)	100	150	5	85	0,8	0,4	1	0	31 784,28	32 568,04	26 712,08	2,47	15,96	
16.	(600,450,300,150)	150	150	5	85	0,8	0,4	1	0	32 682,58	33 533,95	26 712,08	2,6	18,27	
17.	(600,450,300,150)	30	25	5	85	0,8	0,4	1	0	5 453,28	5 453,28	4 852,50	0	11,02	

EK-1. (devam) Ücret kilidinde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları

Çizelge 1.1. (devam) Veri setleriyle yapılan çözümlerin sonuçları ve DMÜ modelinden DPÜ ve SDM modellerinin fark yüzdeleri

No.	Örnek										En İyi Beklenen Gelirler				DMÜ Modelinden % Fark	
	τ_j	τ_f	T	f	C	ρ	π	λ	v_{10}	DMÜ	DPÜ	SDM	DPÜ ¹	SDM ²		
18.	(600,450,300,150)	30	50	5	85	0,8	0,4	1	0	10 906,55	10 906,55	9 705,00	0	11,02		
19.	(600,450,300,150)	30	75	5	85	0,8	0,4	1	0	16 359,83	16 359,83	14 557,50	0	11,02		
20.	(600,450,300,150)	30	125	5	85	0,8	0,4	1	0	26 625,56	27 266,38	23 403,83	2,41	12,1		
21.	(600,450,300,150)	30	175	5	85	0,8	0,4	1	0	33 629,63	34 961,50	28 757,47	3,96	14,49		
22.	(600,450,300,150)	30	200	5	85	0,8	0,4	1	0	35 760,61	36 845,51	30 473,17	3,03	14,79		
23.	(600,450,300,150)	30	250	5	85	0,8	0,4	1	0	39 509,19	40 613,52	33 639,40	2,8	14,86		
24.	(600,450,300,150)	30	300	5	85	0,8	0,4	1	0	42 624,49	43 903,53	35 401,60	3	16,95		
25.	(600,450,300,150)	30	365	5	85	0,8	0,4	1	0	44 888,35	45 763,98	37 100,52	1,95	17,35		
26.	(600,450,300,150)	30	500	5	85	0,8	0,4	1	0	48 737,97	49 628,01	40 201,41	1,83	17,52		
27.	(600,450,300,150)	30	730	5	85	0,8	0,4	1	0	51 496,87	51 579,55	40 799,99	0,16	20,77		
28.	(600,450,300,150)	30	1000	5	85	0,8	0,4	1	0	51 506,73	51 579,55	40 800,00	0,14	20,79		
29.	(600,450,300,150)	30	1500	5	85	0,8	0,4	1	0	51 506,73	51 579,55	40 800,00	0,14	20,79		
30.	(600,450,300,150)	30	150	3	85	0,8	0,4	1	0	30 535,14	31 215,77	26 712,08	2,23	12,52		
31.	(600,450,300,150)	30	150	7	85	0,8	0,4	1	0	30 520,21	31 215,77	26 712,08	2,28	12,48		
32.	(600,450,300,150)	30	150	10	85	0,8	0,4	1	0	30 508,71	31 215,77	26 712,08	2,32	12,44		
33.	(600,450,300,150)	30	150	12	85	0,8	0,4	1	0	-	31 215,77	26 712,08	-	-		
34.	(600,450,300,150)	30	150	15	85	0,8	0,4	1	0	-	31 215,77	26 712,08	-	-		
35.	(600,450,300,150)	30	150	5	20	0,8	0,4	1	0	11 806,35	12 136,36	9 549,68	2,8	19,11		
36.	(600,450,300,150)	30	150	5	40	0,8	0,4	1	0	20 205,77	20 913,03	16 791,29	3,5	16,9		
37.	(600,450,300,150)	30	150	5	60	0,8	0,4	1	0	25 819,33	26 673,54	22 055,06	3,31	14,58		

EK-1. (devam) Ücret kilidinde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları

Çizelge 1.1. (devam) Veri setleriyle yapılan çözümlerin sonuçları ve DMÜ modelinden DPÜ ve SDM modellerinin fark yüzdeleri

	Örnek										En İyi Beklenen Gelirler				DMÜ Modelinden % Fark	
No.	r_j	r_f	T	f	C	ρ	π	λ	v_{10}	DMÜ	DPÜ	SDM	DPÜ ¹	SDM ²		
38.	(600,450,300,150)	30	150	5	100	0,8	0,4	1	0	31 836,51	32 569,52	27 972,07	2,3	12,14		
39.	(600,450,300,150)	30	150	5	125	0,8	0,4	1	0	32 718,77	32 719,66	29 109,01	0	11,03		
40.	(600,450,300,150)	30	150	5	150	0,8	0,4	1	0	32 719,66	32 719,66	29 115,00	0	11,02		
41.	(600,450,300,150)	30	150	5	200	0,8	0,4	1	0	32 719,66	32 719,66	29 115,00	0	11,02		
42.	(600,450,300,150)	30	150	5	250	0,8	0,4	1	0	32 719,66	32 719,66	29 115,00	0	11,02		
43.	(600,450,300,150)	30	150	5	300	0,8	0,4	1	0	32 719,66	32 719,66	29 115,00	0	11,02		
44.	(600,450,300,150)	30	150	5	500	0,8	0,4	1	0	32 719,66	32 719,66	29 115,00	0	11,02		
45.	(600,450,300,150)	30	150	5	660	0,8	0,4	1	0	32 719,66	32 719,66	29 115,00	0	11,02		
46.	(600,450,300,150)	30	150	5	868	0,8	0,4	1	0	32 719,66	32 719,66	29 115,00	0	11,02		
47.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,1	0,4	1	0	19 860,33	19 860,35	3 339,01	0	83,19		
48.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,2	0,4	1	0	21 691,72	21 697,39	6 678,02	0,03	69,21		
49.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,3	0,4	1	0	23 424,74	23 534,44	10 017,03	0,47	57,24		
50.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,4	0,4	1	0	24 907,64	25 371,48	13 356,04	1,86	46,38		
51.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,5	0,4	1	0	26 296,46	27 208,53	16 695,05	3,47	36,51		
52.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,6	0,4	1	0	27 673,89	28 767,72	20 034,06	3,95	27,61		
53.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,7	0,4	1	0	29 083,16	29 963,85	23 373,07	3,03	19,63		
54.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,9	0,4	1	0	31 974,31	32 512,81	30 051,09	1,68	6,01		
55.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	1	0,4	1	0	33 390,10	33 846,84	33 390,10	1,37	0		
56.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,1	1	0	28 732,15	29 652,87	26 712,08	3,2	7,03		
57.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,2	1	0	29 335,88	30 173,16	26 712,08	2,85	8,94		
58.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,3	1	0	29 934,75	30 694,15	26 712,08	2,54	10,77		

EK-1. (devam) Ücret kilidinde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları

Çizelge 1.1. (devam) Veri setleriyle yapılan çözümlerin sonuçları ve DMÜ modelinden DPÜ ve SDM modellerinin fark yüzdeleri

	Örnek										En İyi Beklenen Gelirler			DMÜ Modelinden % Fark	
	r_j	r_f	T	f	C	ρ	π	λ	v_{10}	DMÜ	DPÜ	SDM	DPÜ ¹	SDM ²	
No.															
59.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,5	1	0	31 113,76	31 737,99	26 712,08	2,01	14,15	
60.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,6	1	0	31 691,45	32 260,78	26 712,08	1,8	15,71	
61.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,7	1	0	32 259,62	32 784,09	26 712,08	1,63	17,2	
62.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,8	1	0	32 816,92	33 307,89	26 712,08	1,5	18,6	
63.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,9	1	0	33 362,46	33 832,15	26 712,08	1,41	19,93	
64.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	1	1	0	33 896,46	34 356,84	26 712,08	1,36	21,2	
65.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,4	0,2	0	6 543,93	6 543,93	5 823,00	0	11,02	
66.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,4	0,4	0	13 087,86	13 087,86	11 646,00	0	11,02	
67.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,4	0,6	0	19 631,62	19 631,80	17 467,59	0	11,02	
68.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,4	0,8	0	25 784,42	26 175,73	22 638,93	1,52	12,2	
69.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,4	1	1	35 195,90	36 451,30	30 282,00	3,57	13,96	
70.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,4	1	2	28 207,03	28 910,91	24 603,18	2,5	12,78	
71.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,4	1	3	26 418,72	27 091,16	22 946,38	2,55	13,14	
72.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,4	1	4	19 404,43	19 405,86	17 233,64	0,01	11,19	
73.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,4	1	5	16 523,74	16 523,74	14 716,92	0	10,93	
												Ortalama	1,73	16,67	

¹ Üst sınır verdiği için yüzde büyüklüğü belirtmektedir.² SDM modeli sonuç değerleri düşük olduğu için yüzde küçüklüğü göstermektedir.

EK-1. (devam) Ücret kilidinde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları

Çizelge 1.2. Veri setleriyle yapılan çözümlerin süreleri

No.	Örnek										Çözüm Süresi (sn)		
	r_j	r_f	T	f	C	ρ	π	λ	v_{i0}	DMÜ	DPÜ	SDM	
0.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	1	0	1	0	785,43	1,44	3,31	
1.	(1000,750,500,250)	30	150	5	85	1	0	1	0	873,12	1,2	2,89	
2.	(900,700,500,300)	30	150	5	85	1	0	1	0	868,29	1,17	2,77	
3.	(800,600,400,200)	30	150	5	85	1	0	1	0	870,33	1,14	2,77	
4.	(700,500,300,200)	30	150	5	85	1	0	1	0	867,1	1,14	2,76	
5.	(500,400,300,200)	30	150	5	85	1	0	1	0	842,31	1,15	2,87	
6.	(400,300,200,100)	30	150	5	85	1	0	1	0	835,11	1,16	2,77	
7.	(600,450,300,150)	2	150	5	85	1	0	1	0	824,97	1,21	2,89	
8.	(600,450,300,150)	5	150	5	85	1	0	1	0	820,25	1,16	2,79	
9.	(600,450,300,150)	7	150	5	85	1	0	1	0	820,04	1,2	2,77	
10.	(600,450,300,150)	10	150	5	85	1	0	1	0	820,44	1,16	2,78	
11.	(600,450,300,150)	20	150	5	85	1	0	1	0	820,91	1,16	2,8	
12.	(600,450,300,150)	40	150	5	85	1	0	1	0	821,11	1,17	2,8	
13.	(600,450,300,150)	60	150	5	85	1	0	1	0	834,18	1,16	2,85	
14.	(600,450,300,150)	80	150	5	85	1	0	1	0	827,44	1,15	2,8	
15.	(600,450,300,150)	100	150	5	85	1	0	1	0	826,99	1,17	2,78	
16.	(600,450,300,150)	150	150	5	85	1	0	1	0	825,71	1,16	2,77	

EK-1. (devam) Ücret kilidinde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları

Çizelge 1.2. (devam) Veri setleriyle yapılan çözümlerin süreleri

No.	Örnek										Çözüm Süresi (sn)		
	r_j	r_f	T	f	C	ρ	π	λ	v_{10}	DMÜ	DPÜ	SDM	
17.	(600,450,300,150)	30	25	5	85	0,8	0,4	1	0	203,24	1,21	0,55	
18.	(600,450,300,150)	30	50	5	85	0,8	0,4	1	0	442,07	1,16	0,93	
19	(600,450,300,150)	30	75	5	85	0,8	0,4	1	0	686,77	1,23	1,42	
20.	(600,450,300,150)	30	125	5	85	0,8	0,4	1	0	1 180,18	1,14	2,29	
21.	(600,450,300,150)	30	175	5	85	0,8	0,4	1	0	1 659,20	1,21	3,22	
22.	(600,450,300,150)	30	200	5	85	0,8	0,4	1	0	1 911,61	1,38	3,73	
23.	(600,450,300,150)	30	250	5	85	0,8	0,4	1	0	2 409,04	1,15	4,54	
24.	(600,450,300,150)	30	300	5	85	0,8	0,4	1	0	2 915,05	1,19	5,47	
25.	(600,450,300,150)	30	365	5	85	0,8	0,4	1	0	3 541,96	1,15	6,64	
26.	(600,450,300,150)	30	500	5	85	0,8	0,4	1	0	4 888,79	1,15	9,12	
27.	(600,450,300,150)	30	730	5	85	0,8	0,4	1	0	7 209,65	1,14	13,33	
28.	(600,450,300,150)	30	1000	5	85	0,8	0,4	1	0	9 745,81	1,14	18,35	
29.	(600,450,300,150)	30	1500	5	85	0,8	0,4	1	0	14 784,23	1,15	27,26	
30.	(600,450,300,150)	30	150	3	85	0,8	0,4	1	0	194,99	1,21	2,9	
31.	(600,450,300,150)	30	150	7	85	0,8	0,4	1	0	3 015,96	1,16	2,79	
32.	(600,450,300,150)	30	150	10	85	0,8	0,4	1	0	23 777,88	1,15	2,78	
33.	(600,450,300,150)	30	150	12	85	0,8	0,4	1	0	25 000 >	1,16	2,82	
34.	(600,450,300,150)	30	150	15	85	0,8	0,4	1	0	25 000 >	1,17	2,82	
35.	(600,450,300,150)	30	150	5	20	0,8	0,4	1	0	191,83	1,23	0,77	

EK-1. (devam) Ücret kilidinde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları

Çizelge 1.2. (devam) Veri setleriyle yapılan çözümlerin süreleri

No.	Örnek										Çözüm Süresi (sn)		
	r_j	r_f	T	f	C	ρ	π	λ	v_{10}	DMÜ	DPÜ	SDM	
36.	(600,450,300,150)	30	150	5	40	0,8	0,4	1	0	378,63	1,17	1,33	
37.	(600,450,300,150)	30	150	5	60	0,8	0,4	1	0	567,8	1,19	1,95	
38.	(600,450,300,150)	30	150	5	100	0,8	0,4	1	0	945,02	1,16	3,28	
39.	(600,450,300,150)	30	150	5	125	0,8	0,4	1	0	1 180,53	1,18	4,14	
40.	(600,450,300,150)	30	150	5	150	0,8	0,4	1	0	1 415,82	1,17	5,01	
41.	(600,450,300,150)	30	150	5	200	0,8	0,4	1	0	1 850,86	1,17	6,52	
42.	(600,450,300,150)	30	150	5	250	0,8	0,4	1	0	2 306,98	1,17	8,16	
43.	(600,450,300,150)	30	150	5	300	0,8	0,4	1	0	2 772,26	1,19	9,69	
44.	(600,450,300,150)	30	150	5	500	0,8	0,4	1	0	4 600,44	1,17	16,24	
45.	(600,450,300,150)	30	150	5	660	0,8	0,4	1	0	6 105,49	1,18	21,44	
46.	(600,450,300,150)	30	150	5	868	0,8	0,4	1	0	8 031,01	1,17	28,48	
47.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,1	0,4	1	0	850,49	1,21	2,98	
48.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,2	0,4	1	0	846,66	1,18	2,8	
49.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,3	0,4	1	0	845,5	1,17	2,78	
50.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,4	0,4	1	0	845,23	1,16	2,78	
51.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,5	0,4	1	0	845,79	1,16	2,81	
52.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,6	0,4	1	0	846,01	1,16	2,87	
53.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,7	0,4	1	0	846,55	1,16	2,79	
54.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,9	0,4	1	0	846,52	1,17	2,87	

EK-1. (devam) Ücret kilidinde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları

Çizelge 1.2. (devam) Veri setleriyle yapılan çözümlerin süreleri

No.	Örnek										Çözüm Süresi (sn)		
	r_j	r_f	T	f	C	ρ	π	λ	v_{10}	DMÜ	DPÜ	SDM	
55.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	1	0,4	1	0	836,7	1,17	2,85	
56.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,1	1	0	849,63	1,26	2,9	
57.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,2	1	0	848,1	1,2	2,79	
58.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,3	1	0	847,73	1,16	2,78	
59.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,5	1	0	847,84	1,18	2,78	
60.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,6	1	0	847,95	1,18	2,8	
61.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,7	1	0	847,93	1,17	2,79	
62.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,8	1	0	848,99	1,19	2,8	
63.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,9	1	0	847,4	1,18	2,78	
64.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	1	1	0	846,79	1,16	2,78	
65.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,4	0,2	0	820,73	1,22	2,9	
66.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,4	0,4	0	816,06	1,16	2,78	
67.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,4	0,6	0	818,86	1,16	2,77	
68.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,4	0,8	0	822,3	1,22	2,75	
69.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,4	1	1	868,52	1,18	2,98	
70.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,4	1	2	865,65	1,1	2,82	
71.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,4	1	3	865,7	1,12	2,8	
72.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,4	1	4	868,45	1,1	2,81	
73.	(600,450,300,150)	30	150	5	85	0,8	0,4	1	5	865,45	1,08	2,82	

EK-2. DPY modelinin DMY modeline üst sınır oluşturmaları ile ilgili kanıtlar

Bu bölümde seçim tabanlı deterministik problemin olasılıklı problem için asimptotik en iyi olduğu gösterilecektir. Analiz Liu ve van Ryzin (2008) çalışmasına benzer şekilde yapılmış, ayrıca Gallego ve diğerleri (2004) ve Aydın ve diğerleri (2017) çalışmalarından yararlanılmıştır.

Uçuşun kapasitesi C ile tanımlanmıştır. θ mümkün kontrol politikası ürünlerin hazır olabilirliğini, yani önerilen setleri, kontrol etmektedir. θ kontrol politikası altında t döneminde seçilen setler, $\mathcal{F}_t$ sistemin t dönemine kadar geçmişini göstermek üzere, $S_\theta(\mathcal{F}_t|t)$ ile tanımlanmıştır. $\mathcal{F}_t$ 'ye olan bağımlılık nedeniyle kısaltma amacıyla bundan sonra $S_\theta(t)$ olarak gösterilecektir.

θ kontrol politikası kullanılarak t döneminde seçilen ürün miktarı $N_j(S_\theta(t))$ n boyutlu rassal vektörü ile tanımlanmaktadır. $N_j(S_\theta(t)) = 1$ j ürününün seçimini, $N_j(S_\theta(t)) = 0$ ise seçiminin olmadığı göstermektedir. θ kontrol politikası kullanılarak t döneminde j ürünü seçimi sonrası seçilen k yan gelir ürünü miktarı $A_k(S_\theta(t))$ k boyutlu rassal vektörü ile tanımlanmaktadır. $A_k(S_\theta(t)) = 1$ k yan gelir ürününün seçimini, $A_k(S_\theta(t)) = 0$ ise seçiminin olmadığı belirtmektedir.

θ kontrol politikası kullanılarak t döneminde seçilen ücret kilidi seçeneği miktarı $A_f(S_\theta(t))$ n boyutlu rassal vektörü ile tanımlanmaktadır. $A_f(S_\theta(t)) = 1$ j ürünü ile ilgili ücret kilidi seçimini, $A_f(S_\theta(t)) = 0$ ise seçimin olmadığını göstermektedir. θ kontrol politikası altında t döneminde ücret kilidi seçeneği kullanılarak seçilen ürün miktarı $N_{j,f}(S_\theta(t))$ n boyutlu rassal vektörü ile temsil edilmektedir. $N_{j,f}(S_\theta(t)) = 1$ ücret kilidi seçeneği kullanılarak j ürününün seçimini, $N_{j,f}(S_\theta(t)) = 0$ ise seçimin olmadığını belirtmektedir. θ kontrol politikası altında ücret kilidi seçeneği kullanılarak seçimi yapılan ürünler sonrası seçilen k yan gelir ürünü miktarı $A_{k,f}(S_\theta(t))$ k boyutlu rassal vektörü ile tanımlanmaktadır. $A_{k,f}(S_\theta(t)) = 1$ k yan gelir ürününün seçimini, $A_{k,f}(S_\theta(t)) = 0$ ise seçiminin olmadığını göstermektedir.

EK-2. (devam) DPY modelinin DMY modeline üst sınır oluşturmaları ile ilgili kanıtlar

θ kontrol politikası kullanılarak t döneminde ve ücret kilidi sonunda kullanılan cezasız iade/değişiklik hakkı miktarı sırasıyla $A_r(S_\theta(t))$ ve $A_{r,f}(S_\theta(t))$ n boyutlu rassal vektörleri ile tanımlanmaktadır. $A_r(S_\theta(t)) = A_{r,f}(S_\theta(t)) = 1$ j ürünü ile kullanılan hakkı, $A_r(S_\theta(t)) = A_{r,f}(S_\theta(t)) = 0$ ise hakkın kullanılmadığını göstermektedir.

Böylece, hazır bulunan kapasite aşağıdakini aşmamalıdır.

$$\sum_{t=1}^T N_j(S_\theta(t)) + N_{j,f}(S_\theta(t)) - A_r(S_\theta(t)) - A_{r,f}(S_\theta(t)) \leq C \quad (2.1)$$

Θ kabul edilebilir politikaların tamamı ve θ^* tüm dönemlerdeki en iyi politika olmak üzere, V^* θ^* politikası uygulanarak zaman ufku boyunca en iyi beklenen gelir olmak ifade edilmektedir. Bu ifadeyle dinamik programlama formülasyonu kısa şekilde aşağıdaki olasılıklı kontrol problemi olarak yazılabilir.

$$V^* = \max_{\theta \in \Theta} \mathbb{E} [r_j^T N_j(S_\theta(t)) + r_k^T A_k(S_\theta(t)) + r_r A_r(S_\theta(t)) + r_f A_f(S_\theta(t)) + r_{j,f}^T N_{j,f}(S_\theta(t)) + r_{k,f}^T A_{k,f}(S_\theta(t)) + r_r A_{r,f}(S_\theta(t))] \quad (2.2)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{t=1}^T N_j(S_\theta(t)) + N_{j,f}(S_\theta(t)) - A_r(S_\theta(t)) - A_{r,f}(S_\theta(t)) \leq C \quad (2.3)$$

$$S_\theta(t) \subseteq N, \forall t = 1, \dots, T \quad (2.4)$$

Sonrasında, seçim tabanlı deterministik doğrusal problemin en iyi amaç değerinin (2.2)-(2.4) olasılıklı probleminin en iyi beklenen gelirine üst sınır oluşturduğu gösterilecektir.

ÖNERME 2.1 $V^* \leq V^{DPY}$.

Kanıt. $S_{\theta^*}(t), t = 1, \dots, T$ (2.2)-(2.4) olasılıklı kontrol probleminin en iyi kontrollerinin sırası olarak tanımlansın. θ^* kabul edilebilir bir politika olduğu için, yol açısından aşağıdaki gibi uygulanabilir.

EK-2. (devam) DPY modelinin DMY modeline üst sınır oluşturmaları ile ilgili kanıtlar

$$\sum_{t=1}^T N_j(S_{\theta^*}(t)) + N_{j,f}(S_{\theta^*}(t)) - A_r(S_{\theta^*}(t)) - A_{r,f}(S_{\theta^*}(t)) \leq C$$

Beklenen değerler alınırsa,

$$\sum_{t=1}^T \mathbb{E}[N_j(S_{\theta^*}(t)) + N_{j,f}(S_{\theta^*}(t)) - A_r(S_{\theta^*}(t)) - A_{r,f}(S_{\theta^*}(t))] \leq C$$

Burada,

$$\sum_{t=1}^T \mathbb{E}[N_j(S_{\theta^*}(t))] = \sum_{S \subseteq N} \lambda P_j(S) \rho t_{\theta^*}(S), \quad j = 1, \dots, n,$$

Bu eşitlikle,

$$t_{\theta^*}(S) = \mathbb{E} \left[\sum_{t=1}^T 1\{S_{\theta^*}(t, \omega)\} \right]$$

$t_{\theta^*}(S)$ θ^* politikası altında önerilen S setinin beklenen dönemini ifade etmektedir. ω değişkeni kontrol faaliyetlerinin talebin gerçekleştirilmesindeki örnek yola bağlı olduğunu vurgulamaktadır. Bir başka deyişle, j ürününün beklenen seçim miktarı, S seti önerildiğinde j ürününün seçiminin beklenen oranının her S seti kullanımının beklenen zamanı ile çarpımına ve tüm S setlerinin toplanmasına eşittir (Wald'ın eşitliğinden gelmektedir).

Aynı şekilde,

$$\sum_{t=1}^T \mathbb{E}[N_{j,f}(S_{\theta^*}(t))] = \sum_{S \subseteq N} \lambda P_j(S) (1 - \rho) \pi t_{\theta^*}(S), \quad j = 1, \dots, n,$$

EK-2. (devam) DPY modelinin DMY modeline üst sınır oluşturmaları ile ilgili kanıtlar

$$\sum_{t=1}^T \mathbb{E}[A_r(S_{\theta^*}(t))] = \sum_{S \subseteq N} \lambda P_j(S) (\rho P_r) t_{\theta^*}(S), \quad j = 1, \dots, n,$$

$$\sum_{t=1}^T \mathbb{E}[A_{r,f}(S_{\theta^*}(t))] = \sum_{S \subseteq N} \lambda P_j(S) ((1 - \rho) \pi P_r) t_{\theta^*}(S), \quad j = 1, \dots, n,$$

Bu ifadeleri yerine koyarsak,

$$\begin{aligned} \sum_{S \subseteq N} \lambda P_j(S) [\rho + (1 - \rho) \pi - \rho P_r - (1 - \rho) \pi P_r] t_{\theta^*}(S) &\leq C \\ &= \sum_{S \subseteq N} \lambda P_j(S) Q(S) t_{\theta^*}(S) \leq C \end{aligned} \tag{2.5}$$

Bu nedenle, $t_{\theta^*}(S), S \subseteq N$ (4.10)-(4.13) DPY modeline mümkün bir çözümdür.

(2.2)-(2.4) olasılıklı problemde $S_{\theta}(t)$ önerilen setlerinden beklenen gelir aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} V^* = \sum_{t=1}^T & r_j^T \mathbb{E}[N_j(S_{\theta}(t))] + r_k^T \mathbb{E}[A_k(S_{\theta}(t))] + r_r \mathbb{E}[A_r(S_{\theta}(t))] + r_f \mathbb{E}[A_f(S_{\theta}(t))] \\ & + r_{j,f}^T \mathbb{E}[N_{j,f}(S_{\theta}(t))] + r_{k,f}^T \mathbb{E}[A_{k,f}(S_{\theta}(t))] + r_r \mathbb{E}[A_{r,f}(S_{\theta}(t))] \end{aligned}$$

Burada,

$$\sum_{t=1}^T \mathbb{E}[A_k(S_{\theta^*}(t))] = \sum_{S \subseteq N} \lambda P_j(S) (\rho P_k) t_{\theta^*}(S), \quad j = 1, \dots, n, \quad k = 1, \dots, k,$$

$$\sum_{t=1}^T \mathbb{E}[A_f(S_{\theta^*}(t))] = \sum_{S \subseteq N} \lambda P_j(S) (1 - \rho) t_{\theta^*}(S), \quad j = 1, \dots, n,$$

EK-2. (devam) DPY modelinin DMY modeline üst sınır oluşturmaları ile ilgili kanıtlar

$$\sum_{t=1}^T \mathbb{E}[A_{k,f}(S_{\theta^*}(t))] = \sum_{S \subseteq N} \lambda P_j(S) ((1-\rho)\pi P_k) t_{\theta^*}(S), \quad j = 1, \dots, n, \quad k = 1, \dots, k,$$

olmak üzere beklenen gelirin son hali aşağıdaki gibi açıklanabilir.

$$\begin{aligned} V^* &= \sum_{S \subseteq N} \lambda P_j(S) [r_j^T \rho + r_k^T P_k \rho + r_r P_r \rho + r_f(1-\rho) + r_j^T(1-\rho)\pi + r_k^T P_k(1-\rho)\pi \\ &\quad + r_r P_r(1-\rho)\pi] t_{\theta^*}(S) \\ &= \sum_{S \subseteq N} \lambda P_j(S) \left[\rho(r_j^T + r_k^T P_k + r_r P_r) \right. \\ &\quad \left. + (1-\rho)(r_f + \pi(r_j^T + r_k^T P_k + r_r P_r)) \right] t_{\theta^*}(S) = \sum_{S \subseteq N} \lambda R(S) t_{\theta^*}(S) \end{aligned}$$

Bu beşinci bölümdeki DPY'de 5.10-5.13'de yer alan ifadenin $t_{\theta^*}(S), S \subseteq N$ mümkün çözümünün amaç fonksiyonu değerini göstermektedir. Bu mümkün çözümün amaç fonksiyonu değeri, DPY ile elde edilen en iyi gelirden yüksek olmayacağı için $V^* \leq V^{DPY}$. $\square$

Bundan sonraki kısımda kapasite ve talep orantılı olarak artırıldığında asimptotik olarak sıkılaştığı gösterilecektir. Analizde Liu ve van Ryzin (2008) çalışmasına benzer yöntemler kullanılmıştır. Asimptotik sınır sağlamak için kapasite ve zaman ufku ζ ile ölçeklenecektir. $\zeta = 1$ orijinal (ölçeklenmemiş) problem olarak temsil edilmektedir. Bu şekilde, kapasite ζC ve zaman ufku ζT ile ölçeklenmektedir. Bunlarla birlikte, $\{\varphi: \varphi \in \mathbb{Z}_+\}$ problem dizisi olasılıklı ve deterministik problemler için tanımlanmaktadır. V_{ζ}^* ζ ile ölçeklenmiş olasılıklı kontrol probleminin en iyi beklenen geliri olarak ve V_{ζ}^{DPY} ζ ile ölçeklenmiş DPY probleminin en iyi beklenen geliri olarak gösterilmektedir.

ÖNERME 2.2.

$$\lim_{\zeta \rightarrow \infty} \frac{1}{\zeta} V_{\zeta}^* = \lim_{\zeta \rightarrow \infty} \frac{1}{\zeta} V_{\zeta}^{DPY} = V^{DPY}.$$

Kanıt. $t^*(S), S \subseteq N$ ölçeklenmemiş DPY probleminin en iyi çözümü olsun. Buradan,

EK-2. (devam) DPY modelinin DMY modeline üst sınır oluşturmaları ile ilgili kanıtlar

ölçeklenmiş $\zeta t^*(S)$, $S \subseteq N$ çözümü, ζV^{DPY} en iyi değeriyle ölçeklenmiş DPY probleminin en iyi çözümü olacaktır. Buradan, $\lim_{\zeta \rightarrow \infty} \frac{1}{\zeta} V_{\zeta}^{DPY} = V^{DPY}$ eşitliği sağlanacaktır.

$\lim_{\zeta \rightarrow \infty} \frac{1}{\zeta} V_{\zeta}^* = V^{DPY}$ eşitliğini göstermek için, ζ ile ölçeklenmiş olasılıklı kontrol problemi için θ kontrol politikası şu şekilde oluşturulmuştur. Her S setini $\zeta t^*(S)$ deterministik dönem kadar önerilmektedir. Bu setlerin sırası gelişigüze'dir. S seti t dönem önerildiği zaman ürün talebinin olasılıklı vektörü $D(S, t)$ olarak tanımlansın. Böylece, S seti $\zeta t^*(S)$ dönem önerildiği zaman oluşan talep vektörü $D(S, \zeta t^*(S))$ olarak gösterilecektir. Bu şekilde S seti $\zeta t^*(S)$ dönem önerildiği zaman, seçilen ürün için talep vektörü $D_j(S, \zeta t^*(S))$, ürün seçimi sonrası seçilen yan gelir ürünleri için talep vektörü $D_k(S, \zeta t^*(S))$, seçilen ücret kilidi seçeneği için talep vektörü $D_f(S, \zeta t^*(S))$, ücret kilidi seçeneği kullanılarak seçilen ürünler için talep vektörü $D_{j,f}(S, \zeta t^*(S))$, ücret kilidi seçeneği kullanılarak seçimi yapılan ürünler sonrası seçilen yan gelir ürünleri için talep vektörü $D_{k,f}(S, \zeta t^*(S))$, müşterinin geldiği dönem ve ücret kilidi sonrasında kullanılan cezasız iade/değişiklik hakkı için talep vektörleri sırasıyla $D_r(S, \zeta t^*(S))$ ve $D_{r,f}(S, \zeta t^*(S))$ olarak tanımlanmıştır.

θ kontrol politikası altında, S seti önerildiği zaman gelen tüm talep kabul edilmeyecek, kabul edilen talep ortalama talep ile sınırlanacaktır. Ücret kilidi ve cezasız iade/değişiklik hakkıyla seçilen ürünlerin de yer aldığı ürünlerin ortalama talebi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$N_{\theta}^j(S) = \min\{D_j(S, \zeta t^*(S)), \zeta t^*(S) \lambda P_j(S) \rho\}$$

$$N_{\theta}^{j,f}(S) = \min\{D_{j,f}(S, \zeta t^*(S)), \zeta t^*(S) \lambda P_j(S) (1 - \rho) \pi\}$$

$$A_{\theta}^r(S) = \min\{D_r(S, \zeta t^*(S)), \zeta t^*(S) \lambda P_j(S) \rho P_r\}$$

$$A_{\theta}^{r,f}(S) = \min\{D_{r,f}(S, \zeta t^*(S)), \zeta t^*(S) \lambda P_j(S) (1 - \rho) \pi P_r\}$$

Yani, kapasite dikkate alındığında S seti önerildiği zaman kabul edilecek toplam talep miktarı aşağıdaki gibi olacaktır.

EK-2. (devam) DPY modelinin DMY modeline üst sınır oluşturmaları ile ilgili kanıtlar

$$\begin{aligned}
& \sum_{S \subseteq N} N_{\theta}^j(S) + N_{\theta}^{j,f}(S) - A_{\theta}^r(S) - A_{\theta}^{r,f}(S) \leq \zeta C \\
& = \sum_{S \subseteq N} \min\{D_j(S, \zeta t^*(S)), \zeta t^*(S) \lambda P_j(S) \rho\} + \min\{D_{j,f}(S, \zeta t^*(S)), \zeta t^*(S) \lambda P_j(S) (1 - \rho) \pi\} \\
& \quad - \min\{D_r(S, \zeta t^*(S)), \zeta t^*(S) \lambda P_j(S) \rho P_r\} \\
& \quad - \min\{D_{r,f}(S, \zeta t^*(S)), \zeta t^*(S) \lambda P_j(S) (1 - \rho) \pi P_r\} \leq \zeta C
\end{aligned}$$

Bu formülde limit alınırsa;

$$\begin{aligned}
& = \lim_{\zeta \rightarrow \infty} \frac{1}{\zeta} \sum_{S \subseteq N} \min\{D_j(S, \zeta t^*(S)), \zeta t^*(S) \lambda P_j(S) \rho\} \\
& \quad + \min\{D_{j,f}(S, \zeta t^*(S)), \zeta t^*(S) \lambda P_j(S) (1 - \rho) \pi\} \\
& \quad - \min\{D_r(S, \zeta t^*(S)), \zeta t^*(S) \lambda P_j(S) \rho P_r\} \\
& \quad - \min\{D_{r,f}(S, \zeta t^*(S)), \zeta t^*(S) \lambda P_j(S) (1 - \rho) \pi P_r\} \leq \zeta C \\
& = \lim_{\zeta \rightarrow \infty} \sum_{S \subseteq N} \min\left\{\frac{1}{\zeta} D_j(S, \zeta t^*(S)), t^*(S) \lambda P_j(S) \rho\right\} \\
& \quad + \min\left\{\frac{1}{\zeta} D_{j,f}(S, \zeta t^*(S)), t^*(S) \lambda P_j(S) (1 - \rho) \pi\right\} \\
& \quad - \min\left\{\frac{1}{\zeta} D_r(S, \zeta t^*(S)), t^*(S) \lambda P_j(S) \rho P_r\right\} \\
& \quad - \min\left\{\frac{1}{\zeta} D_{r,f}(S, \zeta t^*(S)), t^*(S) \lambda P_j(S) (1 - \rho) \pi P_r\right\} \leq C
\end{aligned}$$

Büyük sayılar kanunu⁹ ve minimum fonksiyonunun sürekliliği göz önüne alındığında eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir.

⁹ Büyük sayılar kanununa göre aynı deneyi büyük sayıda tekrarlamaktan elde edilen gözlemlerin ortalaması beklenen değere yakınsayacaktır ve daha fazla tekrar beklenen değere daha fazla yaklaşacaktır (Büyük Sayılar Yasası, t.y.).

EK-2. (devam) DPY modelinin DMY modeline üst sınır oluşturmaları ile ilgili kanıtlar

$$\begin{aligned}
&= \sum_{S \subseteq N} \min\{t^*(S)\lambda P_j(S)\rho, t^*(S)\lambda P_j(S)\rho\} \\
&\quad + \min\{t^*(S)\lambda P_j(S)(1-\rho)\pi, t^*(S)\lambda P_j(S)(1-\rho)\pi\} \\
&\quad - \min\{t^*(S)\lambda P_j(S)\rho P_r, t^*(S)\lambda P_j(S)\rho P_r\} \\
&\quad - \min\{t^*(S)\lambda P_j(S)(1-\rho)\pi P_r, t^*(S)\lambda P_j(S)(1-\rho)\pi P_r\} \leq C \\
&= \sum_{S \subseteq N} t^*(S)\lambda P_j(S)\rho + t^*(S)\lambda P_j(S)(1-\rho)\pi - t^*(S)\lambda P_j(S)\rho P_r - t^*(S)\lambda P_j(S)(1-\rho)\pi P_r \\
&\quad \leq C \\
&= \sum_{S \subseteq N} t^*(S)\lambda P_j(S)[\rho + (1-\rho)\pi - \rho P_r - (1-\rho)\pi P_r] \leq C
\end{aligned}$$

$t^*(S), S \subseteq N$ DPY modeline mümkün bir çözüm olduğu daha önce açıklanmıştır. Bu bir önceki kısımda aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

$$\sum_{S \subseteq N} \lambda P_j(S)[\rho + (1-\rho)\pi - \rho P_r - (1-\rho)\pi P_r] t^*(S) \leq C$$

Bu yüzden, θ mümkün bir politikadır. θ politikası altında örnek yol için gelir aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\sum_{S \subseteq N} r_j^T N_\theta^j(S) + r_k^T A_\theta^k(S) + r_r A_\theta^r(S) + r_f A_\theta^f(S) + r_j^T N_\theta^{j,f}(S) + r_k^T A_\theta^{k,f}(S) + r_r A_\theta^{r,f}(S)$$

Formüldeki daha önce açıklanmayan ürünlerin ortalama talebi aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned}
A_\theta^k(S) &= \min\{D_k(S, \zeta t^*(S)), \zeta t^*(S)\lambda P_j(S)P_k\rho\} \\
A_\theta^f(S) &= \min\{D_f(S, \zeta t^*(S)), \zeta t^*(S)\lambda P_j(S)(1-\rho)\} \\
A_\theta^{k,f}(S) &= \min\{D_{k,f}(S, \zeta t^*(S)), \zeta t^*(S)\lambda P_j(S)(1-\rho)\pi P_k\}
\end{aligned}$$

EK-2. (devam) DPY modelinin DMY modeline üst sınır oluşturmaları ile ilgili kanıtlar

Bu formülde limit alınırsa;

$$\begin{aligned}
& \lim_{\zeta \rightarrow \infty} \frac{1}{\zeta} \sum_{S \subseteq N} r_j^T N_\theta^j(S) + r_k^T A_\theta^k(S) + r_r A_\theta^r(S) + r_f A_\theta^f(S) + r_j^T N_\theta^{j,f}(S) + r_k^T A_\theta^{k,f}(S) \\
& \quad + r_r A_\theta^{r,f}(S) \\
& = \lim_{\zeta \rightarrow \infty} \frac{1}{\zeta} \sum_{S \subseteq N} r_j^T \min\{D_j(S, \zeta t^*(S)), \zeta t^*(S) \lambda P_j(S) \rho\} \\
& \quad + r_k^T \min\{D_k(S, \zeta t^*(S)), \zeta t^*(S) \lambda P_j(S) P_k \rho\} \\
& \quad + r_r \min\{D_r(S, \zeta t^*(S)), \zeta t^*(S) \lambda P_j(S) \rho P_r\} \\
& \quad + r_f \min\{D_f(S, \zeta t^*(S)), \zeta t^*(S) \lambda P_j(S) (1 - \rho)\} \\
& \quad + r_j^T \min\{D_{j,f}(S, \zeta t^*(S)), \zeta t^*(S) \lambda P_j(S) (1 - \rho) \pi\} \\
& \quad + r_k^T \min\{D_{k,f}(S, \zeta t^*(S)), \zeta t^*(S) \lambda P_j(S) (1 - \rho) \pi P_k\} \\
& \quad + r_r \min\{D_{r,f}(S, \zeta t^*(S)), \zeta t^*(S) \lambda P_j(S) (1 - \rho) \pi P_r\} \\
& = \lim_{\zeta \rightarrow \infty} \sum_{S \subseteq N} r_j^T \min\left\{\frac{1}{\zeta} D_j(S, \zeta t^*(S)), t^*(S) \lambda P_j(S) \rho\right\} \\
& \quad + r_k^T \min\left\{\frac{1}{\zeta} D_k(S, \zeta t^*(S)), t^*(S) \lambda P_j(S) P_k \rho\right\} \\
& \quad + r_r \min\left\{\frac{1}{\zeta} D_r(S, \zeta t^*(S)), t^*(S) \lambda P_j(S) \rho P_r\right\} \\
& \quad + r_f \min\left\{\frac{1}{\zeta} D_f(S, \zeta t^*(S)), t^*(S) \lambda P_j(S) (1 - \rho)\right\} \\
& \quad + r_j^T \min\left\{\frac{1}{\zeta} D_{j,f}(S, \zeta t^*(S)), t^*(S) \lambda P_j(S) (1 - \rho) \pi\right\} \\
& \quad + r_k^T \min\left\{\frac{1}{\zeta} D_{k,f}(S, \zeta t^*(S)), t^*(S) \lambda P_j(S) (1 - \rho) \pi P_k\right\} \\
& \quad + r_r \min\left\{\frac{1}{\zeta} D_{r,f}(S, \zeta t^*(S)), t^*(S) \lambda P_j(S) (1 - \rho) \pi P_r\right\}
\end{aligned}$$

Büyük sayılar kanunu ve minimum fonksiyonunun sürekliliği göz önüne alındığında eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir.

EK-2. (devam) DPY modelinin DMY modeline üst sınır oluşturmaları ile ilgili kanıtlar

$$\begin{aligned}
&= \sum_{S \subseteq N} r_j^T \min\{t^*(S)\lambda P_j(S)\rho, t^*(S)\lambda P_j(S)\rho\} + r_k^T \min\{t^*(S)\lambda P_j(S)P_k\rho, t^*(S)\lambda P_j(S)P_k\rho\} \\
&\quad + r_r \min\{t^*(S)\lambda P_j(S)\rho P_r, t^*(S)\lambda P_j(S)\rho P_r\} \\
&\quad + r_f \min\{t^*(S)\lambda P_j(S)(1-\rho), t^*(S)\lambda P_j(S)(1-\rho)\} \\
&\quad + r_j^T \min\{t^*(S)\lambda P_j(S)(1-\rho)\pi, t^*(S)\lambda P_j(S)(1-\rho)\pi\} \\
&\quad + r_k^T \min\{t^*(S)\lambda P_j(S)(1-\rho)\pi P_k, t^*(S)\lambda P_j(S)(1-\rho)\pi P_k\} \\
&\quad + r_r \min\{t^*(S)\lambda P_j(S)(1-\rho)\pi P_r, t^*(S)\lambda P_j(S)(1-\rho)\pi P_r\} \\
&= \sum_{S \subseteq N} r_j^T t^*(S)\lambda P_j(S)\rho + r_k^T t^*(S)\lambda P_j(S)P_k\rho + r_r t^*(S)\lambda P_j(S)\rho P_r + r_f t^*(S)\lambda P_j(S)(1-\rho) \\
&\quad + r_j^T t^*(S)\lambda P_j(S)(1-\rho)\pi + r_k^T t^*(S)\lambda P_j(S)(1-\rho)\pi P_k \\
&\quad + r_r t^*(S)\lambda P_j(S)(1-\rho)\pi P_r \\
&= \sum_{S \subseteq N} t^*(S)\lambda P_j(S) [r_j^T \rho + r_k^T P_k \rho + r_r P_r \rho + r_f (1-\rho) + r_j^T (1-\rho)\pi + r_k^T P_k (1-\rho)\pi \\
&\quad + r_r P_r (1-\rho)\pi] \\
&= V^{DPY}
\end{aligned}$$

Bu nedenle, θ politikası altında ölçeklenmiş gelir V^{DPY} 'nin üst sınırına neredeyse kesin yakınsamaktadır. θ politikasının beklenen geliri baskın yakınsama teoremine göre yakınsamaktadır. Bunun nedeni, her j ürünü için talebin önemsiz şekilde θT (olası müşteri gelişlerinin toplam sayısı) üzerinde sınırlandırıldığından dolayıdır. Bu sonucu kanıtlar. $\square$

EK-3. Yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları

Çizelge 3.1. Veri setleriyle yapılan çözümlerin sonuçları

Örnek															En İyi Beklenen Gelirler			
No.	r_j	T	f	$(r_f, r_b, r_a, r_o, r_e, r_p, r_v, r_r)$	C	ρ	π	P_r	$(P_b, P_a, P_o, P_e, P_p, P_v)$	λ	v_{10}	DMY	DPY	SDM				
0.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	33 606,64	34 649,30	26 712,08				
1.	(1000,750,500,250)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	54 042,11	55 598,76	44 520,14				
2.	(900,700,500,300)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	52 497,75	54 568,48	42 373,63				
3.	(800,600,400,200)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	43 824,14	45 124,03	35 616,11				
4.	(700,500,300,200)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	37 227,30	38 663,30	29 189,94				
5.	(500,400,300,200)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	32 106,89	33 619,01	24 570,17				
6.	(400,300,200,100)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	23 390,24	24 174,57	17 808,05				
7.	(600,450,300,150)	25	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	5 916,35	5 916,35	4 852,50				
8.	(600,450,300,150)	50	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	11 832,71	11 832,71	9 705,00				
9.	(600,450,300,150)	100	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	23 665,40	23 665,42	19 405,84				
10.	(600,450,300,150)	200	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	40 196,16	41 845,95	30 473,17				
11.	(600,450,300,150)	365	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	51 122,19	52 269,24	37 100,52				
12.	(600,450,300,150)	500	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	55 132,35	56 133,27	40 201,41				
13.	(600,450,300,150)	730	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	59 637,25	59 891,77	40 799,99				
14.	(600,450,300,150)	1000	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	59 793,74	59 891,77	40 800,00				
15.	(600,450,300,150)	1500	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	59 793,74	59 891,77	40 800,00				
16.	(600,450,300,150)	150	3	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	33 616,72	34 649,3	26 712,08				
17.	(600,450,300,150)	150	7	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	33 596,29	34 649,30	26 712,08				
18.	(600,450,300,150)	150	10	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	33 580,43	34 649,30	26 712,08				
19.	(600,450,300,150)	150	12	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	-	34 649,30	26 712,08				
20.	(600,450,300,150)	150	15	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	-	34 649,30	26 712,08				

EK-3. (devam) Yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları

Çizelge 3.1. (devam) Veri setleriyle yapılan çözümlerin sonuçları

No.	r_j	T	f	$(r_f, r_b, r_a, r_o, r_e, r_p, r_v, r_r)$	C	ρ	π	P_r	$(P_b, P_w, P_o, P_e, P_c, P_p, P_v)$	λ	v_{10}	En İyi Beklenen Gelirler		
												DMY	DPY	SDM
21.	(600,450,300,150)	150	5	(60,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	34 196,89	35 293,24	26 712,08
22.	(600,450,300,150)	150	5	(30,150,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	34 905,63	36 065,96	26 712,08
23.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,45,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	34 255,93	35 357,63	26 712,08
24.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,15,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	33 736,46	34 790,97	26 712,08
25.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,10,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	33 634,33	34 679,52	26 712,08
26.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,45,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	33 658,56	34 705,97	26 712,08
27.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,15,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	33 649,91	34 696,52	26 712,08
28.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,80,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	33 710,49	34 762,53	26 712,08
29.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,120)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	34 126,04	35 215,97	26 712,08
30.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	25	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	16 026,78	16 593,97	11 684,63
31.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	50	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	26 043,83	27 053,39	19 803,80
32.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	100	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	35 110,94	35 498,13	27 972,07
33.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	125	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	35 498,12	35 498,13	29 109,01
34.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	200	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	35 498,13	35 498,13	29 115,00
35.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	400	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	35 498,13	35 498,13	29 115,00
36.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	660	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	35 498,13	35 498,13	29 115,00
37.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	868	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	35 498,13	35 498,13	29 115,00
38.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	23 338,67	23 339,21	6 678,02
39.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	27 199,95	27 392,18	13 356,04
40.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	1	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	30 444,04	31 445,16	20 034,06
41.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	1	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	36 980,63	37 215,98	33 390,10
42.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	32 315,59	33 609,76	26 712,08

EK-3. (devam) Yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları

Çizelge 3.1. (devam) Veri setleriyle yapılan çözümlerin sonuçları

	Örnek													En İyi Beklenen Gelirler			
	r_j	T	f	$(r_f, r_b, r_o, r_e, r_c, r_p, r_v, r_r)$	C	ρ	π	P_r	$(P_b, P_o, P_e, P_c, P_p, P_v)$	λ	v_{10}	DMY	DPY	SDM			
No.																	
43.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,6	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	34 888,17	35 691,51	26 712,08			
44.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,8	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	36 159,62	36 736,05	26 712,08			
45.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	1	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	37 417,62	37 782,64	26 712,08			
46.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,2	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	35 152,35	36 108,11	26 712,08			
47.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,4	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	37 315,02	37 328,07	26 712,08			
48.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,6	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	38 548,03	38 548,03	26 712,08			
49.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,8	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	39 768,00	39 768,00	26 712,08			
50.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	40 987,96	40 987,96	26 712,08			
51.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,6;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	36 206,13	37 482,63	26 712,08			
52.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,75;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	34 255,93	35 357,63	26 712,08			
53.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,45;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	33 736,46	34 790,97	26 712,08			
54.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,12;0,02;0,05;0,03)	1	0	33 620,48	34 664,41	26 712,08			
55.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,06;0,05;0,03)	1	0	33 658,56	34 705,97	26 712,08			
56.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,15;0,03)	1	0	33 649,91	34 696,52	26 712,08			
57.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,09)	1	0	33 814,36	34 875,97	26 712,08			
58.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	0,2	0	7 099,63	7 099,63	5 823,00			
59.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	0,4	0	14 199,25	14 199,25	11 646,00			
60.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	0,6	0	21 298,87	21 298,88	17 467,59			
61.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	0,8	0	28 286,21	28 398,50	22 638,93			
62.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	1	39 254,06	41 005,74	30 282,00			
63.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	2	31 501,69	32 622,62	24 603,18			
64.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	3	29 600,02	30 653,23	22 946,38			

EK-3. (devam) Yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları

Çizelge 3.1. (devam) Veri setleriyle yapılan çözümlerin sonuçları

No.	r_j	Örnek										En İyi Beklenen Gelirler		
		T	f	$(r_f, r_b, r_a, r_o, r_e, r_c, r_p, r_r)$	C	ρ	π	P_r	$(P_b, P_a, P_o, P_e, P_c, P_p, P_r)$	λ	v_{10}	DMY	DPY	SDM
65.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	4	21 165,08	21 165,13	17 233,64
66.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	5	17 867,08	17 867,08	14 716,92

EK-3. (devam) Yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları

Çizelge 3.2. Veri setleriyle yapılan çözümlerde DMY modelinden DPY ve SDM modelinin fark yüzdesi

No.	Örnek											DMY Modelinden % Fark	
	r_j	T	f	$(r_f, r_b, r_a, r_o, r_e, r_c, r_p, r_v, r_r)$	C	ρ	π	P_r	$(P_b, P_a, P_o, P_e, P_c, P_p, P_v)$	λ	v_{10}	DPY ⁱ	SDM ²
0.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,1,5,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	3,1	20,52
1.	(1 000,750,500,250)	150	5	(30,75,15,5,2,1,5,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	2,88	17,62
2.	(900,700,500,300)	150	5	(30,75,15,5,2,1,5,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	3,94	19,28
3.	(800,600,400,200)	150	5	(30,75,15,5,2,1,5,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	2,97	18,73
4.	(700,500,300,200)	150	5	(30,75,15,5,2,1,5,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	3,86	21,59
5.	(500,400,300,200)	150	5	(30,75,15,5,2,1,5,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	4,71	23,47
6.	(400,300,200,100)	150	5	(30,75,15,5,2,1,5,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	3,35	23,87
7.	(600,450,300,150)	25	5	(30,75,15,5,2,1,5,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	0	17,98
8.	(600,450,300,150)	50	5	(30,75,15,5,2,1,5,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	0	17,98
9.	(600,450,300,150)	100	5	(30,75,15,5,2,1,5,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	0	18
10.	(600,450,300,150)	200	5	(30,75,15,5,2,1,5,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	4,1	24,19
11.	(600,450,300,150)	365	5	(30,75,15,5,2,1,5,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	2,24	27,43
12.	(600,450,300,150)	500	5	(30,75,15,5,2,1,5,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	1,82	27,08
13.	(600,450,300,150)	730	5	(30,75,15,5,2,1,5,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	0,43	31,59
14.	(600,450,300,150)	1000	5	(30,75,15,5,2,1,5,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	0,16	31,77
15.	(600,450,300,150)	1500	5	(30,75,15,5,2,1,5,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	0,16	31,77
16.	(600,450,300,150)	150	3	(30,75,15,5,2,1,5,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	3,07	20,54
17.	(600,450,300,150)	150	7	(30,75,15,5,2,1,5,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	3,13	20,49
18.	(600,450,300,150)	150	10	(30,75,15,5,2,1,5,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	3,18	20,45
19.	(600,450,300,150)	150	12	(30,75,15,5,2,1,5,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	-	-
20.	(600,450,300,150)	150	15	(30,75,15,5,2,1,5,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	-	-

EK-3. (devam) Yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları

Çizelge 3.2. (devam) Veri setleriyle yapılan çözümlerde DMY modelinden DPY ve SDM modelinin fark yüzdesi

No.	r_j	Örnek										DMY Modelinden % Fark	
		T	f	$(r_f, r_b, r_a, r_o, r_e, r_c, r_p, r_v, r_r)$	C	ρ	π	P_r	$(P_b, P_a, P_o, P_e, P_c, P_p, P_v)$	λ	v_{10}	DPY ¹	SDM ²
21.	(600,450,300,150)	150	5	(60,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	3,21	21,89
22.	(600,450,300,150)	150	5	(30,150,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	3,32	23,47
23.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,45,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	3,22	22,02
24.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,15,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	3,13	20,82
25.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,10,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	3,11	20,58
26.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,45,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	3,11	20,64
27.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,15,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	3,11	20,62
28.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,80,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	3,12	20,76
29.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,120)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	3,19	21,73
30.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	25	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	3,54	27,09
31.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	50	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	3,88	23,96
32.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	100	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	1,1	20,33
33.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	125	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	0	18
34.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	200	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	0	17,98
35.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	400	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	0	17,98
36.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	660	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	0	17,98
37.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	868	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	0	17,98
38.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,2	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	0	71,39
39.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,4	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	0,71	50,9
40.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,6	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	3,29	34,19
41.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	1	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	0,64	9,71
42.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,2	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	4	17,34

EK-3. (devam) Yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları

Çizelge 3.2. (devam) Veri setleriyle yapılan çözümlerde DMY modelinden DPY ve SDM modelinin fark yüzdesi

No.	Örnek											DMY Modelinden % Fark	
	η_j	T	f	$(r_f, r_b, r_a, r_o, r_e, r_c, r_p, r_v, r_r)$	C	ρ	π	P_r	$(P_b, P_a, P_o, P_e, P_c, P_p, P_v)$	λ	v_{10}	DPY ¹	SDM ²
43.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,6	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	2,3	23,44
44.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,8	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	1,59	26,13
45.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	1	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	0,98	28,61
46.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,2	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	2,72	24,01
47.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,4	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	0,03	28,41
48.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,6	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	0	30,7
49.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,8	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	0	32,83
50.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	0	34,83
51.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,6;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	3,53	26,22
52.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,75;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	3,22	22,02
53.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,45;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	3,13	20,82
54.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,12;0,02;0,05;0,03)	1	0	3,11	20,55
55.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,06;0,05;0,03)	1	0	3,11	20,64
56.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,15;0,03)	1	0	3,11	20,62
57.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,09)	1	0	3,14	21
58.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	0,2	0	0	17,98
59.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	0,4	0	0	17,98
60.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	0,6	0	0	17,99
61.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	0,8	0	0,4	19,96
62.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	1	3,42	22,82
63.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	2	3,21	21,08
64.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	3	3,94	21,69

EK-3. (devam) Yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları

Çizelge 3.2. (devam) Veri setleriyle yapılan çözümlerde DMY modelinden DPY ve SDM modelinin fark yüzdesi

No.	r_j	Örnek										DMY Modelinden % Fark	
		T	f	$(r_f, r_b, r_a, r_o, r_e, r_c, r_p, r_v, r_r)$	C	ρ	π	P_r	$(P_b, P_a, P_o, P_e, P_c, P_p, P_v)$	λ	v_{10}	DPY ¹	SDM ²
65.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	4	3,17	21,13
66.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	5	4,96	21,14
Ortalama												2,12	23,6

¹ Üst sınırı verdiği için yüzde büyüklüğü belirtmektedir.² SDM modeli sonuç değerleri düşük olduğu için yüzde küçüklüğü göstermektedir.

EK-3. (devam) Yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları

Çizelge 3.3. Veri setleriyle yapılan çözümlerin süresi

No.	Örnek											Çözüm Süresi (sn)		
	r_j	T	f	$(\tau_f, \tau_b, \tau_o, \tau_e, \tau_c, \tau_p, \tau_v, \tau_r)$	C	ρ	π	P_r	$(P_b, P_o, P_e, P_c, P_p, P_v)$	λ	v_{10}	DMY	DPY	SDM
0.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	802,25	1,1	3,31
1.	(1000,750,500,250)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	810,34	1,34	2,89
2.	(900,700,500,300)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	806,44	1,08	2,77
3.	(800,600,400,200)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	805,76	1,06	2,77
4.	(700,500,300,200)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	806,93	1,05	2,76
5.	(500,400,300,200)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	806,38	1,06	2,87
6.	(400,300,200,100)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	805,92	1,13	2,77
7.	(600,450,300,150)	25	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	153,83	1,11	0,55
8.	(600,450,300,150)	50	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	276,75	1,08	0,93
9.	(600,450,300,150)	100	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	539,21	1,07	2,19
10.	(600,450,300,150)	200	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	1045,42	1,06	3,73
11.	(600,450,300,150)	365	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	1936	1,06	6,64
12.	(600,450,300,150)	500	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	2587,56	1,05	9,12
13.	(600,450,300,150)	730	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	3765,93	1,06	13,33
14.	(600,450,300,150)	1000	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	5152,66	1,05	18,35
15.	(600,450,300,150)	1500	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	7717,06	1,05	27,26
16.	(600,450,300,150)	150	3	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	206,43	1,07	2,9
17.	(600,450,300,150)	150	7	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	3347,23	1,06	2,79
18.	(600,450,300,150)	150	10	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	27 210,30	1,05	2,78
19.	(600,450,300,150)	150	12	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	30 000 >	1,05	2,82
20.	(600,450,300,150)	150	15	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	30 000 >	1,07	2,82

EK-3. (devam) Yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları

Çizelge 3.3. (devam) Veri setleriyle yapılan çözümlerin süresi

No.	Örnek											Çözüm Süresi (sn)		
	r_j	T	f	$(r_f, r_b, r_w, r_o, r_e, r_c, r_p, r_v)$	C	ρ	π	P_r	$(P_b, P_o, P_e, P_c, P_p, P_v)$	λ	v_{10}	DMY	DPY	SDM
21.	(600,450,300,150)	150	5	(60,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	882,04	1,16	2,85
22.	(600,450,300,150)	150	5	(30,150,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	904,72	1,11	3
23.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,45,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	894,04	1,15	2,8
24.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	893,35	1,13	2,77
25.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,10,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	894,5	1,13	2,8
26.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,45,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	894,53	1,12	2,78
27.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,15,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	895,19	1,13	2,81
28.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,80,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	894,08	1,14	2,78
29.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,120)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	892,88	1,17	2,81
30.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	25	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	266,27	1,19	0,97
31.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	50	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	535,08	1,13	1,74
32.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	100	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	1 060,73	1,13	3,28
33.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	125	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	1 325,04	1,14	4,14
34.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	200	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	2 120,20	1,12	6,52
35.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	400	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	4 238,77	1,12	13,56
36.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	660	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	7 015,60	1,13	21,44
37.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	868	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	9 231,22	1,14	28,48
38.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,2	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	812,22	1,12	2,8
39.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,4	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	809,19	1,16	2,78
40.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,6	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	811,47	1,13	2,87
41.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	1	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	803,91	1,12	2,85
42.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,2	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	0	871,64	1,16	2,79

EK-3. (devam) Yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları

Çizelge 3.3. (devam) Veri setleriyle yapılan çözümlerin süresi

Örnek															Çözüm Süresi (sn)			
No.	r_j	T	f	$(r_f, r_b, r_a, r_o, r_e, r_c, r_p, r_v, r_r)$	C	ρ	π	P_r	$(P_b, P_a, P_o, P_e, P_c, P_p, P_v)$	λ	v_{10}	DMY	DPY	SDM				
43.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,6	0,1	(0,2;-0,25;0,15;-0,04;-0,02;-0,05;0,03)	1	0	870,83	1,15	2,8				
44.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,8	0,1	(0,2;-0,25;0,15;-0,04;-0,02;-0,05;0,03)	1	0	871,95	1,14	2,8				
45.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	1	0,1	(0,2;-0,25;0,15;-0,04;-0,02;-0,05;0,03)	1	0	870,64	1,11	2,78				
46.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,2	(0,2;-0,25;0,15;-0,04;-0,02;-0,05;0,03)	1	0	816,12	1,21	2,85				
47.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,4	(0,2;-0,25;0,15;-0,04;-0,02;-0,05;0,03)	1	0	815,97	1,1	2,82				
48.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,6	(0,2;-0,25;0,15;-0,04;-0,02;-0,05;0,03)	1	0	815,97	1,1	2,76				
49.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,8	(0,2;-0,25;0,15;-0,04;-0,02;-0,05;0,03)	1	0	815,88	1,12	2,78				
50.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	1	(0,2;-0,25;0,15;-0,04;-0,02;-0,05;0,03)	1	0	816,25	1,14	2,84				
51.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,6;-0,25;0,15;-0,04;-0,02;-0,05;0,03)	1	0	891,74	1,19	2,87				
52.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;-0,75;0,15;-0,04;-0,02;-0,05;0,03)	1	0	890,06	1,14	2,83				
53.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;-0,25;0,45;-0,04;-0,02;-0,05;0,03)	1	0	888,32	1,16	2,79				
54.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;-0,25;0,15;-0,12;-0,02;-0,05;0,03)	1	0	889,76	1,15	2,82				
55.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;-0,25;0,15;-0,04;-0,06;-0,05;0,03)	1	0	890,42	1,14	2,79				
56.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;-0,25;0,15;-0,04;-0,02;-0,15;0,03)	1	0	891,01	1,17	2,81				
57.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;-0,25;0,15;-0,04;-0,02;-0,05;0,09)	1	0	889,17	1,12	2,78				
58.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;-0,25;0,15;-0,04;-0,02;-0,05;0,03)	0,2	0	870,89	1,16	2,9				
59.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;-0,25;0,15;-0,04;-0,02;-0,05;0,03)	0,4	0	869,16	1,12	2,78				
60.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;-0,25;0,15;-0,04;-0,02;-0,05;0,03)	0,6	0	870,35	1,12	2,77				
61.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;-0,25;0,15;-0,04;-0,02;-0,05;0,03)	0,8	0	869,8	1,12	2,75				
62.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;-0,25;0,15;-0,04;-0,02;-0,05;0,03)	1	1	845,66	1,14	2,87				
63.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;-0,25;0,15;-0,04;-0,02;-0,05;0,03)	1	2	848,39	1,13	2,84				
64.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;-0,25;0,15;-0,04;-0,02;-0,05;0,03)	1	3	842,44	1,13	2,75				

EK-3. (devam) Yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları

Çizelge 3.3. (devam) Veri setleriyle yapılan çözümlerin süresi

No.	Örnek										Çözüm Süresi (sn)			
	r_j	T	f	$(r_f, r_b, r_a, r_o, r_e, r_c, r_p, r_v, r_r)$	C	ρ	π	P_r	$(P_b, P_a, P_o, P_e, P_c, P_p, P_v)$	λ	v_{10}	DMY	DPY	SDM
65.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	4	827,02	1,13	2,79
66.	(600,450,300,150)	150	5	(30,75,15,5,2,15,5,40,60)	85	0,8	0,4	0,1	(0,2;0,25;0,15;0,04;0,02;0,05;0,03)	1	5	823,79	1,13	2,76

EK-3. (devam) Yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları

Çizelge 3.4. $(\alpha, \rho, \pi, P_r, v_{l0})$ kombinasyonuyla yapılan çözümlerin sonuçları

No.	Örnek					Ortalama Toplam Gelirler				DMY Modelinden % Fark	
	α	ρ	π	P_r	v_{l0}	DMY	DPY	SDM	DPY ¹	SDM ²	
1.	0,6	0,8	0,4	0,1	(1,2,2,2,2)	25 755,41	26 772,46	19 433,88	3,95	24,54	
2.	0,6	0,8	0,4	0,1	(1,4,4,4,1)	24 011,27	24 656,29	18 870,85	2,69	21,41	
3.	0,6	0,8	0,4	0,1	(1,8,6,4,1)	22 621,27	23 319,12	17 198,63	3,08	23,97	
4.	0,6	0,8	0,4	0,1	(4,16,12,8,4)	19 187,20	19 757,01	14 513,94	2,97	24,36	
5.	0,6	0,8	0,4	0,4	(1,2,2,2,2)	31 439,58	33 492,08	18 986,00	6,53	39,61	
6.	0,6	0,8	0,4	0,4	(1,4,4,4,1)	30 428,84	32 236,16	18 261,89	5,94	39,98	
7.	0,6	0,8	0,4	0,4	(1,8,6,4,1)	29 032,13	30 602,31	16 951,18	5,41	41,61	
8.	0,6	0,8	0,4	0,4	(4,16,12,8,4)	22 173,10	22 296,15	13 752,43	0,55	37,98	
9.	0,6	0,8	0,8	0,1	(1,2,2,2,2)	28 004,93	28 654,49	19 934,73	2,32	28,82	
10.	0,6	0,8	0,8	0,1	(1,4,4,4,1)	24 850,93	25 217,62	17 683,36	1,48	28,84	
11.	0,6	0,8	0,8	0,1	(1,8,6,4,1)	24 173,61	24 846,24	17 029,90	2,78	29,55	
12.	0,6	0,8	0,8	0,1	(4,16,12,8,4)	19 951,25	20 265,47	13 919,86	1,57	30,23	
13.	0,6	0,8	0,8	0,4	(1,2,2,2,2)	34 888,56	36 588,11	19 807,45	4,87	43,23	
14.	0,6	0,8	0,8	0,4	(1,4,4,4,1)	31 959,88	33 317,03	18 638,27	4,25	41,68	
15.	0,6	0,8	0,8	0,4	(1,8,6,4,1)	30 242,87	31 612,51	16 990,47	4,53	43,82	
16.	0,6	0,8	0,8	0,4	(4,16,12,8,4)	22 724,04	22 817,37	13 843,11	0,41	39,08	
17.	0,6	0,4	0,4	0,1	(1,2,2,2,2)	22 460,78	24 107,02	10 008,52	7,33	55,44	
18.	0,6	0,4	0,4	0,1	(1,4,4,4,1)	21 169,31	22 546,66	9 402,01	6,51	55,59	
19.	0,6	0,4	0,4	0,1	(1,8,6,4,1)	19 827,00	21 405,23	8 517,82	7,96	57,04	
20.	0,6	0,4	0,4	0,1	(4,16,12,8,4)	15 807,90	16 060,91	7 130,62	1,6	54,89	
21.	0,6	0,4	0,4	0,4	(1,2,2,2,2)	25 938,69	27 796,26	9 430,79	7,16	63,64	
22.	0,6	0,4	0,4	0,4	(1,4,4,4,1)	24 903,78	26 798,79	9 761,46	7,61	60,8	

EK-3. (devam) Yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları

Çizelge 3.4. (devam) $(\alpha, \rho, \pi, P_r, v_{10})$ kombinasyonu ile yapılan çözümlerin sonuçları

No.	Örnek						Ortalama Toplam Gelirler				DMY Modelinden % Fark	
	α	ρ	π	P_r	v_{10}		DMY	DPY	SDM	DPY ¹	SDM ²	
23.	0,6	0,4	0,4	0,4	(1,8,6,4,1)		23 857,94	25 174,31	8 746,23	5,52	63,34	
24.	0,6	0,4	0,4	0,4	(4,16,12,8,4)		18 096,73	18 104,73	7 315,73	0,04	59,57	
25.	0,6	0,4	0,8	0,1	(1,2,2,2,2)		26 093,67	26 924,21	9 566,57	3,18	63,34	
26.	0,6	0,4	0,8	0,1	(1,4,4,4,1)		24 765,93	25 344,32	9 223,54	2,34	62,76	
27.	0,6	0,4	0,8	0,1	(1,8,6,4,1)		22 957,50	23 622,95	8 188,94	2,9	64,33	
28.	0,6	0,4	0,8	0,1	(4,16,12,8,4)		19 443,97	20 062,25	6 922,45	3,18	64,4	
29.	0,6	0,4	0,8	0,4	(1,2,2,2,2)		32 866,13	35 474,86	9 766,62	7,94	70,28	
30.	0,6	0,4	0,8	0,4	(1,4,4,4,1)		30 540,47	32 648,34	8 951,58	6,9	70,69	
31.	0,6	0,4	0,8	0,4	(1,8,6,4,1)		29 707,10	32 130,59	8 164,85	8,16	72,52	
32.	0,6	0,4	0,8	0,4	(4,16,12,8,4)		23 075,24	23 223,93	6 323,20	0,64	72,6	
33.	1	0,8	0,4	0,1	(1,2,2,2,2)		33 913,07	34 945,81	26 125,48	3,05	22,96	
34.	1	0,8	0,4	0,1	(1,4,4,4,1)		30 398,15	31 550,53	23 008,33	3,79	24,31	
35.	1	0,8	0,4	0,1	(1,8,6,4,1)		28 410,49	29 275,30	21 668,32	3,04	23,73	
36.	1	0,8	0,4	0,1	(4,16,12,8,4)		20 254,36	20 254,37	16 576,87	0	18,16	
37.	1	0,8	0,4	0,4	(1,2,2,2,2)		37 571,68	37 584,24	25 052,66	0,03	33,32	
38.	1	0,8	0,4	0,4	(1,4,4,4,1)		33 714,32	33 716,50	23 089,21	0,01	31,52	
39.	1	0,8	0,4	0,4	(1,8,6,4,1)		31 675,96	31 676,53	21 803,11	0	31,17	
40.	1	0,8	0,4	0,4	(4,16,12,8,4)		22 820,76	22 820,77	17 751,12	0	22,22	
41.	1	0,8	0,8	0,1	(1,2,2,2,2)		35 221,61	35 852,20	25 784,90	1,79	26,79	
42.	1	0,8	0,8	0,1	(1,4,4,4,1)		32 508,65	33 151,18	23 032,05	1,98	29,15	
43.	1	0,8	0,8	0,1	(1,8,6,4,1)		31 544,19	32 096,51	21 802,20	1,75	30,88	
44.	1	0,8	0,8	0,1	(4,16,12,8,4)		22 577,77	22 578,02	17 017,35	0	24,63	

EK-3. (devam) Yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları

Çizelge 3.4. (devam) $(\alpha, \rho, \pi, P_r, v_{10})$ kombinasyonu ile yapılan çözümlerin sonuçları

No.	Örnek					Ortalama Toplam Gelirler				DMY Modelinden % Fark	
	α	ρ	π	P_r	v_{10}	DMY	DPY	SDM	DPY ¹	SDM ²	
45.	1	0,8	0,8	0,4	(1,2,2,2,2)	41 663,03	41 753,07	25 513,88	0,22	38,76	
46.	1	0,8	0,8	0,4	(1,4,4,4,1)	37 978,02	38 011,36	23 180,32	0,09	38,96	
47.	1	0,8	0,8	0,4	(1,8,6,4,1)	35 639,31	35 639,92	22 433,07	0	37,06	
48.	1	0,8	0,8	0,4	(4,1,6,12,8,4)	24 825,93	24 825,93	17 694,43	0	28,73	
49.	1	0,4	0,4	0,1	(1,2,2,2,2)	27 356,10	27 658,93	13 416,52	1,11	50,96	
50.	1	0,4	0,4	0,1	(1,4,4,4,1)	25 550,96	25 623,98	11 532,58	0,29	54,86	
51.	1	0,4	0,4	0,1	(1,8,6,4,1)	24 209,43	24 258,21	11 261,04	0,2	53,48	
52.	1	0,4	0,4	0,1	(4,1,6,12,8,4)	15 664,40	15 664,40	8 238,38	0	47,41	
53.	1	0,4	0,4	0,4	(1,2,2,2,2)	27 963,90	27 963,91	12 489,41	0	55,34	
54.	1	0,4	0,4	0,4	(1,4,4,4,1)	26 968,37	26 968,42	12 135,90	0	55	
55.	1	0,4	0,4	0,4	(1,8,6,4,1)	25 058,20	25 058,20	11 174,47	0	55,41	
56.	1	0,4	0,4	0,4	(4,1,6,12,8,4)	17 208,68	17 208,68	9 035,01	0	47,5	
57.	1	0,4	0,8	0,1	(1,2,2,2,2)	34 587,37	35 842,75	12 550,25	3,63	63,71	
58.	1	0,4	0,8	0,1	(1,4,4,4,1)	33 038,23	34 146,22	12 098,06	3,35	63,38	
59.	1	0,4	0,8	0,1	(1,8,6,4,1)	32 032,95	33 522,00	11 072,61	4,65	65,43	
60.	1	0,4	0,8	0,1	(4,1,6,12,8,4)	24 534,41	24 536,44	8 924,20	0,01	63,63	
61.	1	0,4	0,8	0,4	(1,2,2,2,2)	38 460,43	38 488,73	12 717,16	0,07	66,93	
62.	1	0,4	0,8	0,4	(1,4,4,4,1)	34 743,27	34 746,73	11 585,45	0,01	66,65	
63.	1	0,4	0,8	0,4	(1,8,6,4,1)	33 189,68	33 190,33	10 941,81	0	67,03	
64.	1	0,4	0,8	0,4	(4,1,6,12,8,4)	22 363,70	22 363,70	8 264,51	0	63,04	
65.	1,4	0,8	0,4	0,1	(1,2,2,2,2)	35 196,52	35 196,69	28 639,41	0	18,63	
66.	1,4	0,8	0,4	0,1	(1,4,4,4,1)	32 805,36	32 805,39	26 843,95	0	18,17	

EK-3. (devam) Yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları

Çizelge 3.4. (devam) $(\alpha, \rho, \pi, P_r, v_{10})$ kombinasyonu ile yapılan çözümlerin sonuçları

No.	Örnek					Ortalama Toplam Gelirler				DMY Modelinden % Fark	
	α	ρ	π	P_r	v_{10}	DMY	DPY	SDM	DPY ¹	SDM ²	
67.	1,4	0,8	0,4	0,1	(1,8,6,4,1)	30 960,90	30 960,90	25 198,31	0	18,61	
68.	1,4	0,8	0,4	0,1	(4,16,12,8,4)	20 767,00	20 767,00	16 813,27	0	19,04	
69.	1,4	0,8	0,4	0,4	(1,2,2,2,2)	37 303,20	37 303,20	28 934,07	0	22,44	
70.	1,4	0,8	0,4	0,4	(1,4,4,4,1)	35 133,35	35 133,35	27 453,90	0	21,86	
71.	1,4	0,8	0,4	0,4	(1,8,6,4,1)	33 395,20	33 395,20	25 818,97	0	22,69	
72.	1,4	0,8	0,4	0,4	(4,16,12,8,4)	21 692,01	21 692,01	16 803,43	0	22,54	
73.	1,4	0,8	0,8	0,1	(1,2,2,2,2)	39 568,05	39 570,01	30 024,47	0	24,12	
74.	1,4	0,8	0,8	0,1	(1,4,4,4,1)	36 014,38	36 015,13	26 710,85	0	25,83	
75.	1,4	0,8	0,8	0,1	(1,8,6,4,1)	32 966,15	32 966,16	25 014,24	0	24,12	
76.	1,4	0,8	0,8	0,1	(4,16,12,8,4)	23 032,00	23 032,00	17 742,83	0	22,96	
77.	1,4	0,8	0,8	0,4	(1,2,2,2,2)	39 670,27	39 670,27	28 245,12	0	28,8	
78.	1,4	0,8	0,8	0,4	(1,4,4,4,1)	38 185,20	38 185,20	26 622,53	0	30,28	
79.	1,4	0,8	0,8	0,4	(1,8,6,4,1)	35 530,05	35 530,05	25 079,22	0	29,41	
80.	1,4	0,8	0,8	0,4	(4,16,12,8,4)	23 263,64	23 263,64	16 548,29	0	28,87	
81.	1,4	0,4	0,4	0,1	(1,2,2,2,2)	26 431,71	26 431,71	13 341,19	0	49,53	
82.	1,4	0,4	0,4	0,1	(1,4,4,4,1)	25 271,85	25 271,85	13 341,00	0	47,21	
83.	1,4	0,4	0,4	0,1	(1,8,6,4,1)	23 389,24	23 389,24	12 368,69	0	47,12	
84.	1,4	0,4	0,4	0,1	(4,16,12,8,4)	15 949,19	15 949,19	8 438,85	0	47,09	
85.	1,4	0,4	0,4	0,4	(1,2,2,2,2)	28 003,34	28 003,34	13 758,66	0	50,87	
86.	1,4	0,4	0,4	0,4	(1,4,4,4,1)	27 112,89	27 112,89	13 925,43	0	48,64	
87.	1,4	0,4	0,4	0,4	(1,8,6,4,1)	25 118,12	25 118,12	12 526,72	0	50,13	
88.	1,4	0,4	0,4	0,4	(4,16,12,8,4)	18 024,30	18 024,30	8 898,44	0	50,63	

EK-3. (devam) Yan gelirlerde müşteri seçimi davranışı modeli uygulama sonuçları

Çizelge 3.4. (devam) $(\alpha, \rho, \pi, P_r, v_{10})$ kombinasyonu ile yapılan çözümlerin sonuçları

No.	Örnek					Ortalama Toplam Gelirler			DMY Modelinden % Fark	
	α	ρ	π	P_r	v_{10}	DMY	DPY	SDM	DPY ¹	SDM ²
89.	1,4	0,4	0,8	0,1	(1,2,2,2,2)	36 927,05	36 927,10	14 103,31	0	61,81
90.	1,4	0,4	0,8	0,1	(1,4,4,4,1)	34 177,55	34 177,57	13 080,62	0	61,73
91.	1,4	0,4	0,8	0,1	(1,8,6,4,1)	31 609,65	31 609,65	12 410,00	0	60,74
92.	1,4	0,4	0,8	0,1	(4,16,12,8,4)	22 570,08	22 570,08	9 177,03	0	59,34
93.	1,4	0,4	0,8	0,4	(1,2,2,2,2)	39 317,41	39 317,41	14 747,80	0	62,49
94.	1,4	0,4	0,8	0,4	(1,4,4,4,1)	36 946,83	36 946,83	13 591,00	0	63,21
95.	1,4	0,4	0,8	0,4	(1,8,6,4,1)	35 438,41	35 438,41	12 833,52	0	63,79
96.	1,4	0,4	0,8	0,4	(4,16,12,8,4)	22 760,04	22 760,04	8 079,30	0	64,5
								Ortalama	1,68	43,95

¹ Üst sınırı verdiği için yüzde büyüklüğü belirtmektedir.

² SDM modeli sonuç değerleri düşük olduğu için yüzde küçüklüğü göstermektedir.

EK-4. ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyutlu problemde örnek çözümü

Örnek problem aşağıda sunulmuştur.

Toplam dönem sayısı $T = 5$,

Ücret kilidi süresi $f = 2$,

Kapasite $C = 4$,

Ücretler:

Ürünlerin ücretleri $r_j = (300, 150)$,

Yan gelir ürünlerinin ücretleri:

Ücret kilidi seçeneğinin kullanılması durumunda gelir $r_f = 30$,

Cezasız iade/değişiklik hakkı ücreti $r_r = 60$,

Fazla bagaj $r_b = 75$,

Koltuk seçimi $r_a = 15$,

Olasılıklar:

Her dönemdeki geliş olasılığı $\lambda = 1$,

Müşterinin önerilen ürünleri satın almayı seçme olasılığı $\rho = 0,8$, yani ücret kilidi seçeneğini kullanma olasılığı $1 - \rho = 0,2$,

Ücret kilidi zamanı sonunda müşterinin ürünü seçme olasılığı $\pi = 0,4$, yani sistemden ayrılma olasılığı $1 - \pi = 0,6$,

Yan gelir ürünlerinin seçim olasılıkları:

Cezasız iade/değişiklik hakkı $P_r = 0,10$,

Fazla bagaj $P_b = 0,20$,

Koltuk seçimi $P_a = 0,25$.

EK-4. (devam) ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyutlu problemde örnek çözümü

ÇTL MODELİ

ÇTL seçim modelinde, müşteri l değişik segmente aittir ve her segment bir $C_l \subset N$ düşünülen set ile nitelenmiştir. l segmentinden bir müşteri için $v_l \geq 0$ tercih ağırlığı vektörü ile tanımlanmış ve müşterinin tercih etmeme ağırlığı v_{l0} olarak ifade edilmiştir. $P_{lj}(S)$, S seti önerildiği zaman l segmentinden bir müşterinin $j \in C_l \cap S$ ürününü seçme olasılığı olmak üzere, müşterinin seçim olasılıkları şu şekilde modellenebilir.

$$P_{lj}(S) = \frac{v_{lj}}{\sum_{h \in C_l \cap S} v_{lh} + v_{l0}}$$

Eğer $j \notin C_l \cap S$ ise $v_{lj} = 0$ olarak belirtilebilir ve bu nedenle, $P_{lj}(S) = 0$ olarak gösterilebilir. Bu bağlamda, p_l olasılığıyla gelen müşterinin $j \in S$ ürününü seçme olasılığı aşağıdaki şekilde olur.

$$P_j(S) = \sum_{l=1}^L p_l P_{lj}(S)$$

Her gelen müşteri, p_l olasılığıyla l segmentine aittir ve $\sum_{l=1}^L p_l = 1$ olarak gösterilmektedir. l segmentinden gelen müşteri Poisson işlemiyle $\lambda_l = \lambda p_l$ oranıyla gelmektedir. Bu bağlamda, toplam geliş oranı $\lambda = \sum_{l=1}^L \lambda_l$ değerini almaktadır.

Örnekte müşteriler $l = 2$ farklı segmente ayrılmıştır ve her segment için geliş oranları, düşünülen set ve tercih vektörü Çizelge 4.1’de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Segmente göre geliş olasılıkları, düşünülen set, tercih vektörü

Segment	Geliş olasılıkları λ_l	Düşünülen Set C_l	Tercih Vektörü (v_{lj}, v_{l0})
1	0,4	{1}	(3,1)
2	0,6	{2}	(5,2)

Birinci segment: Birinci segmentten bir müşterinin birinci ürünü tercih etme ağırlığı $v_{1j} = v_{11} = 3$, ikinci ürünü tercih etme ağırlığı $v_{12} = 0$ (ikinci ürün düşünülmemektedir.) ve ürün tercih etmeme ağırlığı $v_{l0} = v_{10} = 1$ olarak gösterilmektedir.

İkinci segment: İkinci segmentten bir müşterinin birinci ürünü tercih etme ağırlığı $v_{lj} = v_{21} = 0$ (birinci ürün düşünülmemektedir.), ikinci ürünü tercih etme ağırlığı $v_{22} = 5$ ve ürün tercih etmeme ağırlığı $v_{20} = 2$ olarak açıklanabilir.

EK-4. (devam) ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyutlu problemde örnek çözümü

$S = 1$ ($S = \{\emptyset\}$) için $P_j(1) = P_1(1), P_2(1)$ Seçim Olasılıklarının Hesaplaması

$C_l \cap S$ gösterimi:

$$C_1 \cap S = C_1 \cap 1 = \{1\} \cap \{\emptyset\} = \{\emptyset\}$$

$$C_2 \cap S = C_2 \cap 1 = \{2\} \cap \{\emptyset\} = \{\emptyset\}$$

$$P_1(1), P_2(1) = 0$$

$S = 2$ ($S = \{1\}$) için $P_j(2) = P_1(2), P_2(2)$ Seçim Olasılıklarının Hesaplaması

$C_l \cap S$ gösterimi:

$$C_1 \cap S = C_1 \cap 2 = \{1\} \cap \{1\} = \{1\}$$

$$C_2 \cap S = C_2 \cap 2 = \{2\} \cap \{1\} = \{\emptyset\}$$

$P_1(2)$ Hesaplaması:

$j \in C_l \cap S \rightarrow 1 \in C_1 \cap S$ olduğu için

$$P_{11}(2) = \frac{v_{1j}}{\sum_{h \in C_l \cap S} v_{lh} + v_{l0}} = \frac{v_{11}}{v_{11} + v_{10}} = \frac{3}{3 + 1} = 0,75$$

$$P_{21}(2) = \frac{v_{2j}}{\sum_{h \in C_l \cap S} v_{lh} + v_{l0}} = \frac{v_{21}}{v_{21} + v_{20}} = \frac{0}{0 + 2} = 0$$

$$P_1(2) = \sum_{l=1}^L p_l P_{lj}(S) = p_1 P_{11}(2) + p_2 P_{21}(2) = 0,4 * 0,75 + 0,6 * 0 = 0,3$$

$P_2(2)$ Hesaplaması:

$j \notin C_l \cap S$ ise $v_{lj} = 0$, bu nedenle, $P_{lj}(S) = 0$

$2 \notin C_l \cap S \rightarrow v_{l2} = 0 \rightarrow v_{12}, v_{22} = 0$, buradan, $P_{12}(2) = P_{22}(2) = 0$

$$P_2(2) = \sum_{l=1}^L p_l P_{lj}(S) = p_1 P_{12}(2) + p_2 P_{22}(2) = 0,4 * 0 + 0,6 * 0 = 0$$

EK-4. (devam) ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyutlu problemde örnek çözümü

$S = 3$ ($S = \{2\}$) için $P_j(3) = P_1(3), P_2(3)$ Seçim Olasılıklarının Hesaplaması

$C_l \cap S$ gösterimi:

$$C_1 \cap S = C_1 \cap 3 = \{1\} \cap \{2\} = \{\emptyset\}$$

$$C_2 \cap S = C_2 \cap 3 = \{2\} \cap \{2\} = \{2\}$$

$P_1(3)$ Hesaplaması:

$j \notin C_l \cap S$ ise $v_{lj} = 0$, bu nedenle, $P_{lj}(S) = 0$

$1 \notin C_l \cap S \rightarrow v_{l1} = 0 \rightarrow v_{11}, v_{21} = 0$, buradan, $P_{11}(3) = P_{21}(3) = 0$

$$P_1(3) = \sum_{l=1}^L p_l P_{lj}(S) = p_1 P_{11}(3) + p_2 P_{21}(3) = 0,4 * 0 + 0,6 * 0 = 0$$

$P_2(3)$ Hesaplaması:

$j \in C_l \cap S \rightarrow 2 \in C_2 \cap S$ olduğu için

$$P_{12}(3) = \frac{v_{lj}}{\sum_{h \in C_l \cap S} v_{lh} + v_{l0}} = \frac{v_{12}}{v_{12} + v_{10}} = \frac{0}{0 + 1} = 0$$

$$P_{22}(3) = \frac{v_{lj}}{\sum_{h \in C_l \cap S} v_{lh} + v_{l0}} = \frac{v_{22}}{v_{21} + v_{20}} = \frac{5}{5 + 2} = 0,71429$$

$$P_2(3) = \sum_{l=1}^L p_l P_{lj}(S) = p_1 P_{12}(3) + p_2 P_{22}(3) = 0,4 * 0 + 0,6 * 0,71429 = 0,4286$$

$S = 4$ ($S = \{1, 2\}$) için $P_j(4) = P_1(4), P_2(4)$ Seçim Olasılıklarının Hesaplaması

$C_l \cap S$ gösterimi:

$$C_1 \cap S = C_1 \cap 4 = \{1\} \cap \{1, 2\} = \{1\}$$

$$C_2 \cap S = C_2 \cap 4 = \{2\} \cap \{1, 2\} = \{2\}$$

EK-4. (devam) ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyutlu problemde örnek çözümü

$P_1(4)$ Hesaplaması:

$j \in C_l \cap S \rightarrow 1 \in C_1 \cap S$ olduğu için

$$P_{11}(2) = \frac{v_{lj}}{\sum_{h \in C_l \cap S} v_{lh} + v_{l0}} = \frac{v_{11}}{v_{11} + v_{10}} = \frac{3}{3 + 1} = 0,75$$

$$P_{21}(2) = \frac{v_{lj}}{\sum_{h \in C_l \cap S} v_{lh} + v_{l0}} = \frac{v_{21}}{v_{21} + v_{20}} = \frac{0}{0 + 2} = 0$$

$$P_1(4) = \sum_{l=1}^L p_l P_{lj}(S) = p_1 P_{11}(4) + p_2 P_{21}(4) = 0,4 * 0,75 + 0,6 * 0 = 0,3$$

$P_2(4)$ Hesaplaması:

$j \in C_l \cap S \rightarrow 2 \in C_2 \cap S$ olduğu için

$$P_{12}(4) = \frac{v_{lj}}{\sum_{h \in C_l \cap S} v_{lh} + v_{l0}} = \frac{v_{12}}{v_{12} + v_{10}} = \frac{0}{0 + 1} = 0$$

$$P_{22}(4) = \frac{v_{lj}}{\sum_{h \in C_l \cap S} v_{lh} + v_{l0}} = \frac{v_{22}}{v_{21} + v_{20}} = \frac{5}{5 + 2} = 0,71429$$

$$P_2(4) = \sum_{l=1}^L p_l P_{lj}(S) = p_1 P_{12}(4) + p_2 P_{22}(4) = 0,4 * 0 + 0,6 * 0,71429 = 0,4286$$

Yukarıda bulunan değerler doğrultusunda müşterinin seçim olasılıkları Çizelge 4.2’de sunulmuştur.

Çizelge 4.2. Müşterinin seçim olasılıkları

No.	S	$P_1(S)$	$P_2(S)$
1.	$\{\emptyset\}$	0	0
2.	$\{1\}$	0,3	0
3.	$\{2\}$	0	0,4286
4.	$\{1,2\}$	0,3	0,4286

EK-4. (devam) ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyutlu problemde örnek çözümü

DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELİ

$R(S)$: Deterministik gelir; S seti önerildiği zaman gelen müşteriden elde edilebilecek beklenen gelir

$$R(S) = \sum_{j \in S} P_j(S) \left[\rho(r_j + P_k r_k + P_r r_r) + (1 - \rho) \left(r_f + \pi(r_j + P_k r_k + P_r r_r) \right) \right]$$

$Q(S)$: Deterministik kapasite kullanım oranı

$$Q(S) = Q_j(S) + Q_{j,f}(S) - Q_{j,r}(S) - Q_{j,r,f}(S)$$

$Q_j(S) = P_j(S)\rho$: Üründen elde edilen kapasite kullanım oranı

$Q_{j,f}(S) = P_j(S)(1 - \rho)\pi$: Ücret kilidinden elde edilen kapasite kullanım oranı

$Q_{j,r}(S) = P_j(S)\rho P_r$: Cezasız iade/değişiklik hakkından elde edilen kapasite düşüm oranı

$Q_{j,r,f}(S) = P_j(S)(1 - \rho)\pi P_r$: Ücret kilidi süresi sonunda cezasız iade/değişiklik hakkından elde edilen kapasite düşüm oranı

Karar değişkeni:

$t(S)$: S setinin önerildiği dönem sayısı

Deterministik Doğrusal Programlama Modeli:

$$V^{\text{DPY}} = \max \sum_{S \subseteq N} \lambda R(S) t(S)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{S \subseteq N} \lambda Q(S) t(S) \leq C,$$

$$\sum_{S \subseteq N} t(S) \leq T,$$

$$t(S) \geq 0, \quad S = S_1, \dots, S_{2^n}.$$

EK-4. (devam) ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyutlu problemde örnek çözümü

Örnek Problem Çözümü:

Amaç Fonksiyonu:

$$V^{\text{DPY}} = \max \sum_{S \subseteq N} \lambda R(S) t(S)$$

$$R(S) = \sum_{j \in S} P_j(S) \left[\rho(r_j + P_k r_k + P_r r_r) + (1 - \rho) \left(r_f + \pi(r_j + P_k r_k + P_r r_r) \right) \right]$$

$S = 1$ ($S = \{\emptyset\}$) $\rightarrow R(1)$ için;

$j = 1; j = 2$:

$$P_1(1) = P_2(1) = 0 \rightarrow R(1) = 0$$

$S = 2$ ($S = \{1\}$) $\rightarrow R(2)$ için;

$j = 1$:

$$P_1(2) = 0,3$$

$$\begin{aligned} \rho(r_1 + P_k r_k + P_r r_r) &= 0,8 * (300 + 75 * 0,20 + 15 * 0,25 + 60 * 0,10) = 0,8 * 324,75 \\ &= 259,8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (1 - \rho) \left(r_f + \pi(r_1 + P_k r_k + P_r r_r) \right) \\ &= 0,2 * (30 + 0,4 * (300 + 75 * 0,20 + 15 * 0,25 + 60 * 0,10)) \\ &= 0,2 * (30 + 0,4 * 324,75) = 0,2 * 159,9 = 31,98 \end{aligned}$$

$$0,3 * (259,8 + 31,98) = 87,534$$

$j = 2$:

$$P_2(2) = 0$$

$$R(2) = 87,534 + 0 = 87,534$$

EK-4. (devam) ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyutlu problemde örnek çözümü

$S = 3$ ($S = \{2\}$) $\rightarrow R(3)$ için;

$j = 1$:

$$P_1(3) = 0$$

$j = 2$:

$$P_2(3) = 0,4286$$

$$\begin{aligned} \rho(r_2 + P_k r_k + P_r r_r) &= 0,8 * (150 + 75 * 0,20 + 15 * 0,25 + 60 * 0,10) = 0,8 * 174,75 \\ &= 139,8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (1 - \rho) (r_f + \pi(r_2 + P_k r_k + P_r r_r)) \\ &= 0,2 * (30 + 0,4 * (150 + 75 * 0,20 + 15 * 0,25 + 60 * 0,10)) \\ &= 0,2 * (30 + 0,4 * 174,75) = 0,2 * 99,9 = 19,98 \end{aligned}$$

$$0,4286 * (139,8 + 19,98) = 68,4817$$

$$R(3) = 0 + 68,4817 = 68,4817$$

$S = 4$ ($S = \{1, 2\}$) $\rightarrow R(4)$ için;

$j = 1$:

$$P_1(4) = 0,3$$

$$\begin{aligned} \rho(r_1 + P_k r_k + P_r r_r) &= 0,8 * (300 + 75 * 0,20 + 15 * 0,25 + 60 * 0,10) = 0,8 * 324,75 \\ &= 259,8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (1 - \rho) (r_f + \pi(r_1 + P_k r_k + P_r r_r)) \\ &= 0,2 * (30 + 0,4 * (300 + 75 * 0,20 + 15 * 0,25 + 60 * 0,10)) \\ &= 0,2 * (30 + 0,4 * 324,75) = 0,2 * 159,9 = 31,98 \end{aligned}$$

$$0,3 * (259,8 + 31,98) = 87,534$$

$j = 2$:

$$P_2(4) = 0,4286$$

$$\begin{aligned} \rho(r_2 + P_k r_k + P_r r_r) &= 0,8 * (150 + 75 * 0,20 + 15 * 0,25 + 60 * 0,10) = 0,8 * 174,75 \\ &= 139,8 \end{aligned}$$

EK-4. (devam) ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyutlu problemde örnek çözümü

$$\begin{aligned}
 (1 - \rho) \left(r_f + \pi(r_2 + P_k r_k + P_r r_r) \right) \\
 = 0,2 * (30 + 0,4 * (150 + 75 * 0,20 + 15 * 0,25 + 60 * 0,10)) \\
 = 0,2 * (30 + 0,4 * 174,75) = 0,2 * 99,9 = 19,98
 \end{aligned}$$

$$0,4286 * (139,8 + 19,98) = 68,4817$$

$$\mathbf{R(4) = 87,534 + 68,4817 = 156,0157}$$

Amaç Fonksiyonu :

$$\begin{aligned}
 V^{DPY} &= \max \sum_{S \subseteq N} \lambda R(S) t(S) \\
 &= \max \lambda * R(1) * t(1) + \lambda * R(2) * t(2) + \lambda * R(3) * t(3) + \lambda * R(4) \\
 &\quad * t(4)
 \end{aligned}$$

$$\mathbf{V^{DPY} = \max 0t(1) + 87,534t(2) + 68,4817t(3) + 156,0157t(4)}$$

1'inci Kısıt:

$$\sum_{S \subseteq N} \lambda Q(S) t(S) \leq C,$$

$$Q(S) = Q_j(S) + Q_{j,f}(S) - Q_r(S) - Q_{r,f}(S)$$

$$Q_j(S) = P_j(S)\rho$$

$$Q_{j,f}(S) = P_j(S)(1 - \rho)\pi$$

$$Q_{j,r}(S) = P_j(S)\rho P_r$$

$$Q_{j,r,f}(S) = P_j(S)(1 - \rho)\pi P_r$$

S = 1 (S = {∅}) → Q(1) için;

j = 1; j = 2 :

$$P_1(1) = P_2(1) = 0 \rightarrow \mathbf{Q(1) = 0}$$

EK-4. (devam) ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyutlu problemde örnek çözümü

$S = 2$ ($S = \{1\}$) $\rightarrow Q(2)$ için;

$j = 1$:

$$P_1(2) = 0,3$$

$$Q_1(2) = P_1(2)\rho = 0,3 * 0,8 = 0,24$$

$$Q_{1,f}(2) = P_1(2)(1 - \rho)\pi = 0,3 * (1 - 0,8) * 0,4 = 0,024$$

$$Q_{1,r}(S) = P_1(2)\rho P_r = 0,3 * 0,8 * 0,1 = 0,024$$

$$Q_{1,r,f}(S) = P_1(2)(1 - \rho)\pi P_r = 0,3 * (1 - 0,8) * 0,4 * 0,1 = 0,0024$$

$j = 2$:

$$P_2(2) = 0$$

$$Q_2(2) = Q_{2,f}(2) = Q_{1,r}(2) = Q_{1,r,f}(2) = 0$$

$$Q(2) = 0,24 + 0,024 - 0,024 - 0,0024 = 0,2376$$

$S = 3$ ($S = \{2\}$) $\rightarrow Q(3)$ için;

$j = 1$:

$$P_1(3) = 0$$

$$Q_1(3) = Q_{1,f}(3) = Q_{1,r}(3) = Q_{1,r,f}(3) = 0$$

$j = 2$:

$$P_2(3) = 0,4286$$

$$Q_2(3) = P_2(3)\rho = 0,4286 * 0,8 = 0,34288$$

EK-4. (devam) ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyutlu problemde örnek çözümü

$$Q_{2,f}(3) = P_2(3)(1 - \rho)\pi = 0,4286 * (1 - 0,8) * 0,4 = 0,034288$$

$$Q_{2,r}(3) = P_2(3)\rho P_r = 0,4286 * 0,8 * 0,1 = 0,034288$$

$$Q_{2,r,f}(3) = P_2(3)(1 - \rho)\pi P_r = 0,4286 * (1 - 0,8) * 0,4 * 0,1 = 0,0034288$$

$$\mathbf{Q(3) = 0,34288 + 0,034288 - 0,034288 - 0,0034288 = 0,3395}$$

$S = 4$ ($S = \{1, 2\}$) $\rightarrow Q(4)$ için;

$j = 1$:

$$P_1(4) = 0,3$$

$$Q_1(4) = P_1(4)\rho = 0,3 * 0,8 = 0,24$$

$$Q_{1,f}(4) = P_1(4)(1 - \rho)\pi = P_1(S)(1 - \rho)\pi = 0,3 * (1 - 0,8) * 0,4 = 0,024$$

$$Q_{1,r}(4) = P_1(4)\rho P_r = 0,3 * 0,8 * 0,1 = 0,024$$

$$Q_{1,r,f}(4) = P_1(4)(1 - \rho)\pi P_r = 0,3 * (1 - 0,8) * 0,4 * 0,1 = 0,0024$$

$j = 2$:

$$P_2(4) = 0,4286$$

$$Q_2(4) = P_2(4)\rho = 0,4286 * 0,8 = 0,34288$$

$$Q_{2,f}(4) = P_2(4)(1 - \rho)\pi = 0,4286 * (1 - 0,8) * 0,4 = 0,034288$$

$$Q_{2,r}(4) = P_2(4)\rho P_r = 0,4286 * 0,8 * 0,1 = 0,034288$$

$$Q_{2,r,f}(4) = P_2(4)(1 - \rho)\pi P_r = 0,4286 * (1 - 0,8) * 0,4 * 0,1 = 0,0034288$$

EK-4. (devam) ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyutlu problemde örnek çözümü

$$Q(4) = 0,24 + 0,024 - 0,024 - 0,0024 + 0,34288 + 0,034288 - 0,034288 - 0,0034288 = 0,5771$$

1'inci Kısıt:

$$\sum_{S \subseteq N} \lambda Q(S) t(S) \leq C$$

$$\lambda * Q(1) * t(1) + \lambda * Q(2) * t(2) + \lambda * Q(3) * t(3) + \lambda * Q(4) * t(4) \leq C,$$

$$0 * t(1) + 0,2736 * t(2) + 0,3885 * t(3) + 0,5771 * t(4) \leq 4$$

2'nci Kısıt:

$$\sum_{S \subseteq N} t(S) \leq T,$$

$$t(1) + t(2) + t(3) + t(4) \leq 5$$

3'üncü Kısıt:

$$t(S) \geq 0, \quad S = S_1, \dots, S_{2^n}.$$

$$t(1) \geq 0,$$

$$t(2) \geq 0,$$

$$t(3) \geq 0,$$

$$t(4) \geq 0,$$

EK-4. (devam) ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyutlu problemde örnek çözümü

Örnek Problemin Doğrusal Programlama Modeli

$$V^{DPY} = \max 0t(1) + 87,534t(2) + 68,4817t(3) + 156,0157t(4)$$

Kısıtlar:

$$0 * t(1) + 0,2736 * t(2) + 0,3885 * t(3) + 0,5771 * t(4) \leq 4,$$

$$t(1) + t(2) + t(3) + t(4) \leq 5,$$

$$t(1) \geq 0,$$

$$t(2) \geq 0,$$

$$t(3) \geq 0,$$

$$t(4) \geq 0.$$

MATLAB DOĞRUSAL PROGRAMLAMA ÇÖZÜMÜ

`wst = linprog(f,A,b)` komutu

{min f*wst

Kısıtlar:

$A * wst \leq b$

problemini çözmektedir. max için $g(x) = -f(x)$

% Kısıtlar.

`A = [0 0.2736 0.3885 0.5771`

`1 1 1 1`

`-1 0 0 0`

`0 -1 0 0`

`0 0 -1 0`

`0 0 0 -1];`

`b = [4 5 0 0 0 0];`

% Amaç Fonksiyonu.

`f = [0 -87.534 -68.4817 -156.0157];`

% Doğrusal programlama Çözümü.

`[ts,fval] = linprog(f,A,b)`

EK-4. (devam) ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyutlu problemde örnek çözümü

% Sonuç.

Optimal solution found.

ts =

0
0
0
5

fval =

-780.0785

>>

MATLAB

YALMIP DOĞRUSAL PROGRAMLAMA VE CPLEX-IBM ÇÖZÜM ARACI İLE
YAPILAN ÇÖZÜM (ÇALIŞMADA KULLANILAN)

Linear scalar (real, 3 variables)

Coefficient range: 68.4817 to 156.0157

Options =

struct with fields:

solver: 'CPLEX'
verbose: 1
debug: 0
usex0: 0
warning: 1
cachesolvers: 0
showprogress: 0
saveduals: 1
removeequalities: 0
savesolveroutput: 0
savesolverinput: 0
saveyalmipmodel: 0
convertconvexquad: 1
assertgpnonnegativity: 1
thisisnotagp: 0
radius: Inf

EK-4. (devam) ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyutlu problemde örnek çözümü

```

    relax: 0
    dualize: 0
    savedebug: 0
    expand: 1
    allowmilp: 1
    allownonconvex: 1
    shift: 0
    dimacs: 0
    beeponproblem: [-5 -4 -3 -2 -1]
    bisection: [1×1 struct]
    bilevel: [1×1 struct]
    bmibnb: [1×1 struct]
    bnb: [1×1 struct]
    cutsdp: [1×1 struct]
    kkt: [1×1 struct]
    moment: [1×1 struct]
    mp: [1×1 struct]
    mpcvx: [1×1 struct]
    plot: [1×1 struct]
    robust: [1×1 struct]
    sos: [1×1 struct]
    refiner: [1×1 struct]
    baron: []
    bintprog: [1×1 struct]
    bonmin: []
    cdes: [1×1 struct]
    cdd: [1×1 struct]
    cbc: [1×1 struct]
    clp: [1×1 struct]
    cplex: [1×1 struct]
    csdp: [1×1 struct]
    dsdp: [1×1 struct]
    ecos: []
    filtersd: [1×1 struct]
    fmincon: [1×1 struct]
    fminsearch: [1×1 struct]
    frlib: [1×1 struct]
    glpk: [1×1 struct]
    gurobi: [1×1 struct]
    ipopt: [1×1 struct]
    intlinprog: [1×1 optim.options.Intlinprog]
    knitro: [1×1 struct]
    linprog: [1×1 struct]
    lmlab: [1×1 struct]
    lmirank: [1×1 struct]
    logdetppa: [1×1 struct]
    lpsolve: [1×1 struct]
    lsqnonneg: [1×1 struct]

```

EK-4. (devam) ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyutlu problemde örnek çözümü

```
lsqlin: [1×1 struct]
kypd: [1×1 struct]
nag: [1×1 struct]
mosek: [1×1 struct]
nomad: []
ooqp: []
penbmi: [1×1 struct]
penlab: []
pensdp: [1×1 struct]
pop: [1×1 struct]
qpoases: []
osqp: []
qsopt: [1×1 struct]
quadprog: [1×1 struct]
quadprogbb: [1×1 struct]
scip: []
scs: [1×1 struct]
sdpa: [1×1 struct]
sdplr: [1×1 struct]
sdpt3: [1×1 struct]
sdpnal: [1×1 struct]
sedumi: [1×1 struct]
sparsepop: [1×1 struct]
sparsecolo: [1×1 struct]
vsdp: [1×1 struct]
xpress: []
default: [1×1 struct]
```

```
CPXPARAM_MIP_Display          1
Tried aggregator 1 time.
LP Presolve eliminated 4 rows and 1 columns.
Reduced LP has 2 rows, 3 columns, and 6 nonzeros.
Presolve time = 0.00 sec. (0.00 ticks)
```

```
Iteration log . . .
Iteration:    1   Dual infeasibility =      0.000000
```

ans =

struct with fields:

```
yalmipversion: '20190425'
yalmiptime: 0.881395533999999
solvetime: 0.026678466
info: 'Successfully solved (CPLEX-IBM)'
problem: 0
```

EK-4. (devam) ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyutlu problemde örnek çözümü

ans =

780.07854

Elapsed time is 1.480554 seconds.

>>

Çözüm $t(S)$

0
0
0
5

EK-4. (devam) ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyutlu problemde örnek çözümü

DİNAMİK PROGRAMLAMA MODELİ

$f + 1, \dots, T$ dönemlerinde;

$$\begin{aligned}
 V_t(x, y_1, y_2, \dots, y_f) &= \max_{S \subseteq N} \left\{ \sum_{j \in S} \lambda P_j(S) \left[\left(\rho(r_j + P_k r_k + P_r r_r) \right. \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + (1 - \rho) \left(r_f + \pi(r_j + P_k r_k + P_r r_r) \right) \right) \right. \\
 &\quad \left. + \mathbb{E}\{V_{t+1}(x - 1 + B_t(y_{tr}) + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), y_2, \dots, y_f, B_t(y_{tf}))\} \right] \\
 &\quad \left. + [(\lambda P_0(S) + 1 - \lambda) \cdot \mathbb{E}\{V_{t+1}(x + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), y_2, \dots, y_f, 0)\}] \right\}
 \end{aligned}$$

$1, \dots, f$ dönemlerinde;

$$\begin{aligned}
 V_t(x, y_1, y_2, \dots, y_f) &= \max_{S \subseteq N} \left\{ \sum_{j \in S} \lambda P_j(S) \left[\left(\rho(r_j + P_k r_k + P_r r_r) \right. \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + (1 - \rho) \left(r_f + \pi(r_j + P_k r_k + P_r r_r) \right) \right) \right. \\
 &\quad \left. + \mathbb{E}\{V_{t+1}(x - 1 + B_t(y_{tr}), y_2, \dots, y_f, B_t(y_{tf}))\} \right] \\
 &\quad \left. + [(\lambda P_0(S) + 1 - \lambda) \cdot \mathbb{E}\{V_{t+1}(x, y_2, \dots, y_f, 0)\}] \right\}
 \end{aligned}$$

Sınır şartları:

$$V_{T+1}(\cdot) = 0,$$

$$V_t(0, \cdot) = 0, \quad \forall t,$$

$$V_t(C + 1, \cdot) = 0, \quad \forall t.$$

EK-4. (devam) ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyutlu problemde örnek çözümü

Çizelge 4.3. Müşterinin seçim olasılıkları ile seçim yapılmama olasılığı

No.	S	$P_1(S)$	$P_2(S)$	$P_0(S) = 1 - \sum_{j \in S} P_j(S)$
1.	$\{\emptyset\}$	0	0	1
2.	$\{1\}$	0,3	0	0,7
3.	$\{2\}$	0	0,4286	0,5714
4.	$\{1,2\}$	0,3	0,4286	0,2714

1'inci Örnek Hesaplama $t = 5, x = 4, \{y_1 = 1, y_2 = 1\}$ Durumu

$j = 1$:

$$\begin{aligned}
 & \rho(r_1 + P_k r_k + P_r r_r) + (1 - \rho) \left(r_f + \pi(r_1 + P_k r_k + P_r r_r) \right) \\
 &= [0,8 * (300 + 75 * 0,20 + 15 * 0,25 + 60 * 0,10) + (1 - 0,8) \\
 & \quad * (30 + 0,4 * (300 + 75 * 0,20 + 15 * 0,25 + 60 * 0,10))] \\
 &= [0,8 * 324,75 + 0,2 * 159,9] = 259,8 + 31,98 = 291,78
 \end{aligned}$$

$j = 2$:

$$\begin{aligned}
 & \rho(r_2 + P_k r_k + P_r r_r) + (1 - \rho) \left(r_f + \pi(r_2 + P_k r_k + P_r r_r) \right) \\
 &= [0,8 * (150 + 75 * 0,20 + 15 * 0,25 + 60 * 0,10) + 0,2 \\
 & \quad * (30 + 0,4 * (150 + 75 * 0,20 + 15 * 0,25 + 60 * 0,10))] \\
 &= [0,8 * 174,75 + 0,2 * 99,9] = 139,8 + 19,98 = 159,78
 \end{aligned}$$

$t = 5, x = 4, \{y_1 = 1, y_2 = 1\}, S = \{\emptyset\}$ için;

$$\begin{aligned}
 V_5(4,1,1) &= 1 * P_1(1) * 291,78 + 1 * P_2(2) * 159,78 \\
 & \quad + \mathbb{E}\{V_6(4 - 1 + B_t(y_{tr}) + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), 1, B_t(y_{tf}))\} \\
 & \quad + [(1 * P_0(1) + 1 - 1) * \mathbb{E}\{V_6(4 + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), 1, 0)\}]
 \end{aligned}$$

$V_{T+1}(\cdot) = 0$ olduğu için $V_6(\cdot) = 0$

$$V_5(4,1,1) = 1 * 0 * 291,78 + 1 * 0 * 159,78 + 0 + [(1 * 1 + 1 - 1) * 0] = 0$$

EK-4. (devam) ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyutlu problemde örnek çözümü

$t = 5, x = 4, \{y_1 = 1, y_2 = 1\}, S = \{1\}$ için;

$$\begin{aligned} V_5(4,1,1) &= 1 * P_1(2) * 291,78 + 1 * P_2(2) * 159,78 \\ &\quad + \mathbb{E}\{V_6(4 - 1 + B_t(y_{tr}) + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), 1, B_t(y_{tf}))\} \\ &\quad + [(1 * P_0(2) + 1 - 1) * \mathbb{E}\{V_6(4 + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), 1, 0)\}] \end{aligned}$$

$$V_{T+1}(.) = 0 \text{ olduğu için } V_6(.) = 0$$

$$\begin{aligned} V_5(4,1,1) &= 1 * 0,3 * 291,78 + 1 * 0 * 159,78 + 0 + [(1 * 0,7 + 1 - 1) * 0] = \\ &= 0,3 * 291,78 = 87,534 \end{aligned}$$

$t = 5, x = 4, \{y_1 = 1, y_2 = 1\}, S = \{2\}$ için;

$$\begin{aligned} V_5(4,1,1) &= 1 * P_1(3) * 291,78 + 1 * P_2(3) * 159,78 \\ &\quad + \mathbb{E}\{V_6(4 - 1 + B_t(y_{tr}) + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), 1, B_t(y_{tf}))\} \\ &\quad + [(1 * P_0(3) + 1 - 1) * \mathbb{E}\{V_6(4 + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), 1, 0)\}] \end{aligned}$$

$$V_{T+1}(.) = 0 \text{ olduğu için } V_6(.) = 0$$

$$\begin{aligned} V_5(4,1,1) &= 1 * 0 * 291,78 + 1 * 0,4286 * 159,78 + 0 + [(1 * 0,5714 + 1 - 1) * 0] \\ &= 0,4286 * 159,78 = 68,4817 \end{aligned}$$

$t = 5, x = 4, \{y_1 = 1, y_2 = 1\}, S = \{1, 2\}$ için;

$$\begin{aligned} V_5(4,1,1) &= 1 * P_1(4) * 291,78 + 1 * P_2(4) * 159,78 \\ &\quad + \mathbb{E}\{V_6(4 - 1 + B_t(y_{tr}) + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), 1, B_t(y_{tf}))\} \\ &\quad + [(1 * P_0(4) + 1 - 1) * \mathbb{E}\{V_6(4 + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), 1, 0)\}] \end{aligned}$$

$$V_{T+1}(.) = 0 \text{ olduğu için } V_6(.) = 0$$

$$\begin{aligned} V_5(4,1,1) &= 1 * 0,3 * 291,78 + 1 * 0,4286 * 159,78 + 0 + [(1 * 0,2714 + 1 - 1) * 0] \\ &= 0,3 * 291,78 + 0,4286 * 159,78 = 156,0157 \end{aligned}$$

Sonuç

$$S = \{\emptyset\}, V_5(4,1,1) = 0$$

$$S = \{1\}, V_5(4,1,1) = 87,534$$

$$S = \{2\}, V_5(4,1,1) = 68,4817$$

$$S = \{1,2\}, V_5(4,1,1) = 156,0157$$

Çözüm: $S = \{1,2\}, V_5(4,1,1) = 156,0157$

EK-4. (devam) ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyutlu problemde örnek çözümü

2'nci Örnek Hesaplama $t = 3, x = 3, \{y_1 = 0, y_2 = 1\}$ Durumu

$j = 1$:

$$\begin{aligned} & \rho(r_1 + P_k r_k + P_r r_r) + (1 - \rho) \left(r_f + \pi(r_1 + P_k r_k + P_r r_r) \right) \\ &= [0,8 * (300 + 75 * 0,20 + 15 * 0,25 + 60 * 0,10) + (1 - 0,8) \\ & \quad * (30 + 0,4 * (300 + 75 * 0,20 + 15 * 0,25 + 60 * 0,10))] \\ &= [0,8 * 324,75 + 0,2 * 159,9] = 259,8 + 31,98 = 291,78 \end{aligned}$$

$j = 2$:

$$\begin{aligned} & \rho(r_2 + P_k r_k + P_r r_r) + (1 - \rho) \left(r_f + \pi(r_2 + P_k r_k + P_r r_r) \right) \\ &= [0,8 * (150 + 75 * 0,20 + 15 * 0,25 + 60 * 0,10) + 0,2 \\ & \quad * (30 + 0,4 * (150 + 75 * 0,20 + 15 * 0,25 + 60 * 0,10))] \\ &= [0,8 * 174,75 + 0,2 * 99,9] = 139,8 + 19,98 = 159,78 \end{aligned}$$

$t = 3, x = 3, \{y_1 = 0, y_2 = 1\}, S = \{\emptyset\}$ için;

$$\begin{aligned} V_3(3,0,1) &= [1 * P_1(1) \\ & \quad * [291,78 + \mathbb{E}\{V_4(3 - 1 + B_t(y_{tr}) + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), 1, B_t(y_{tf}))\}] + 1 \\ & \quad * P_2(1) \\ & \quad * [159,78 + \mathbb{E}\{V_4(3 - 1 + B_t(y_{tr}) + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), 1, B_t(y_{tf}))\}] +] \\ & \quad + [(1 * P_0(1) + 1 - 1) * \mathbb{E}\{V_4(3 + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), 1, 0)\}] \end{aligned}$$

$$P_1(1) = P_2(1) = 0, P_0(1) = 1$$

$$\mathbb{E}\{V_4(3 + B_t(y_1) + B_t(y_{1r}), 1, 0)\} = V_4(3,1,0)$$

$$V_4(3,1,0) = 312,0314$$

$$V_3(3,0,1) = 0 + [1 * V_4(3,1,0)] = 0 + [1 * 312,0314] = 312,0314$$

$t = 3, x = 3, \{y_1 = 0, y_2 = 1\}, S = \{1\}$ için;

$$\begin{aligned} V_3(3,0,1) &= [1 * P_1(2) \\ & \quad * ([291,78 + \mathbb{E}\{V_4(3 - 1 + B_t(y_{tr}) + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), 1, B_t(y_{tf}))\}] + 1 \\ & \quad * P_2(2) \\ & \quad * [159,78 + \mathbb{E}\{V_4(3 - 1 + B_t(y_{tr}) + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), 1, B_t(y_{tf}))\}])] \\ & \quad + [(1 * P_0(2) + 1 - 1) * \mathbb{E}\{V_4(3 + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), 1, 0)\}] \end{aligned}$$

EK-4. (devam) ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyutlu problemde örnek çözümü

$$P_1(2) = 0,3, P_2(2) = 0 \text{ ve } P_0(2) = 0,7$$

$$\begin{aligned} \mathbb{E}\{V_4(3 - 1 + B_t(y_{tr}) + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), 1, B_t(y_{tf}))\} \\ = \rho * P_r * V_4(3 - 1 + 1 + 0 + 0, 1, 0) + \rho * (1 - P_r) \\ * V_4(3 - 1 + 0 + 0 + 0, 1, 0) + (1 - \rho) * V_4(3 - 1 + 0 + 0 + 0, 1, 1) \\ = 0,8 * 0,1 * V_4(3, 1, 0) + 0,8 * 0,9 * V_4(2, 1, 0) + 0,2 * V_4(2, 1, 1) \\ = 0,08 * V_4(3, 1, 0) + 0,72 * V_4(2, 1, 0) + 0,2 * V_4(2, 1, 1) \end{aligned}$$

$$\mathbb{E}\{V_4(3 + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), 1, 0)\} = V_4(3, 1, 0)$$

$$V_4(3, 1, 0) = 312,0314$$

$$V_4(2, 1, 0) = 312,0314$$

$$V_4(2, 1, 1) = 312,0314$$

$$\begin{aligned} V_3(3, 0, 1) &= [1 * 0,3 * (291,78 + 0,08 * V_4(3, 1, 0) + 0,72 * V_4(2, 1, 0) + 0,2 * V_4(2, 1, 1))] \\ &\quad + [(1 * 0,7 + 1 - 1) * V_4(3, 1, 0)] \\ &= [1 * 0,3 * (291,78 + 312,0314)] + [0,7 * 312,0314] \\ &= 181,1434 + 218,4220 = 399,5654 \end{aligned}$$

$t = 3, x = 3, \{y_1 = 0, y_2 = 1\}, S = \{2\}$ için;

$$\begin{aligned} V_3(3, 0, 1) &= [1 * P_1(3) \\ &\quad * [291,78 + \mathbb{E}\{V_4(3 - 1 + B_t(y_{tr}) + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), 1, B_t(y_{tf}))\}] + 1 \\ &\quad * P_2(3) \\ &\quad * [159,78 + \mathbb{E}\{V_4(3 - 1 + B_t(y_{tr}) + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), 1, B_t(y_{tf}))\}]] \\ &\quad + [(1 * P_0(3) + 1 - 1) * \mathbb{E}\{V_4(3 + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), 1, 0)\}] \end{aligned}$$

$$P_1(3) = 0, P_2(3) = 0,4286 \text{ ve } P_0(3) = 0,5714$$

$$\begin{aligned} \mathbb{E}\{V_4(3 - 1 + B_t(y_{tr}) + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), 1, B_t(y_{tf}))\} \\ = \rho * P_r * V_4(3 - 1 + 1 + 0 + 0, 1, 0) + \rho * (1 - P_r) \\ * V_4(3 - 1 + 0 + 0 + 0, 1, 0) + (1 - \rho) * V_4(3 - 1 + 0 + 0 + 0, 1, 1) \\ = 0,8 * 0,1 * V_4(3, 1, 0) + 0,8 * 0,9 * V_4(2, 1, 0) + 0,2 * V_4(2, 1, 1) \\ = 0,08 * V_4(3, 1, 0) + 0,72 * V_4(2, 1, 0) + 0,2 * V_4(2, 1, 1) \end{aligned}$$

$$\mathbb{E}\{V_4(3 + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), 1, 0)\} = V_4(3, 1, 0)$$

$$V_4(3, 1, 0) = 312,0314$$

$$V_4(2, 1, 0) = 312,0314$$

$$V_4(2, 1, 1) = 312,0314$$

EK-4. (devam) ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyutlu problemde örnek çözümü

$$\begin{aligned}
 V_3(3,0,1) &= [1 * 0,4286 \\
 &\quad * (159,78 + 0,08 * V_4(3,1,0) + 0,72 * V_4(2,1,0) + 0,2 * V_4(2,1,1))] \\
 &\quad + [(1 * 0,5714 + 1 - 1) * V_4(3,1,0)] = \\
 &= [1 * 0,4286 * (159,78 + 312,0314)] + [0,5714 * 312,0314] \\
 &= 202,2183 + 178,2947 = 380,513
 \end{aligned}$$

$t = 3, x = 3, \{y_1 = 0, y_2 = 1\}, S = \{1, 2\}$ için;

$$\begin{aligned}
 V_3(3,0,1) &= [1 * P_1(4) \\
 &\quad * [291,78 + \mathbb{E}\{V_4(3 - 1 + B_t(y_{tr}) + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), 1, B_t(y_{tf}))\}] + 1 \\
 &\quad * P_2(4) \\
 &\quad * [159,78 + \mathbb{E}\{V_4(3 - 1 + B_t(y_{tr}) + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), 1, B_t(y_{tf}))\}]] \\
 &\quad + [(1 * P_0(4) + 1 - 1) * \mathbb{E}\{V_4(3 + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), 1, 0)\}]
 \end{aligned}$$

$$P_1(4) = 0,3, P_2(4) = 0,4286 \text{ ve } P_0(4) = 0,2714$$

$$\begin{aligned}
 &\mathbb{E}\{V_4(3 - 1 + B_t(y_{tr}) + B_t(y_{1r}) + B_t(y_{1f}), 1, B_t(y_{tf}))\} \\
 &= \rho * P_r * V_4(3 - 1 + 1 + 0 + 0,1,0) + \rho * (1 - P_r) \\
 &\quad * V_4(3 - 1 + 0 + 0 + 0,1,0) + (1 - \rho) * V_4(3 - 1 + 0 + 0 + 0,1,1) \\
 &= 0,8 * 0,1 * V_4(3,1,0) + 0,8 * 0,9 * V_4(2,1,0) + 0,2 * V_4(2,1,1) \\
 &= 0,08 * V_4(3,1,0) + 0,72 * V_4(2,1,0) + 0,2 * V_4(2,1,1)
 \end{aligned}$$

$$\mathbb{E}\{V_4(3 + B_t(y_{1f}) + B_t(y_{1r}), 1, 0)\} = V_4(3,1,0)$$

$$V_4(3,1,0) = 312,0314$$

$$V_4(2,1,0) = 312,0314$$

$$V_4(2,1,1) = 312,0314$$

$$\begin{aligned}
 V_3(3,0,1) &= [1 * 0,3 * (291,78 + 0,08 * V_4(3,1,0) + 0,72 * V_4(2,1,0) + 0,2 * V_4(2,1,1))] \\
 &\quad + [1 * 0,4286 \\
 &\quad * (159,78 + 0,08 * V_4(3,1,0) + 0,72 * V_4(2,1,0) + 0,2 * V_4(2,1,1))] \\
 &\quad + [(1 * 0,2714 + 1 - 1) * V_4(3,1,0)] \rightarrow (devam)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_3(3,0,1) &= [1 * 0,3 * (291,78 + 312,0314)] + [1 * 0,4286 * (159,78 + 312,0314)] \\
 &\quad + [0,2714 * 312,0314] = 181,1434 + 202,2183 + 84,6853 = 468,047
 \end{aligned}$$

Sonuç

$$S = \{\emptyset\}, V_3(3,0,1) = 312,0314$$

$$S = \{1\}, V_3(3,0,1) = 399,5654$$

EK-4. (devam) ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyutlu problemde örnek çözümü

$$S = \{2\}, V_3(3,0,1) = 380,513$$

$$S = \{1,2\}, V_3(3,0,1) = 468,047$$

Çözüm: $S = \{1,2\}, V_3(3,0,1) = 468,047$

MATLAB KODU ÇÖZÜMÜ

```
ans =
    750.4575
Elapsed time is 0.229211 seconds.
>>
```

TÜM DURUMLARDA EN İYİ BEKLENEN DEĞERLER
(Çözümü yapılanlar yeşil ile işaretlenmiştir.)

val(:,x) 1 = {0, 0}, 2 = {0, 1}, 3 = {1, 0}, 4 = {1, 1},

```
val(:,1) =
    0 275.5207 486.0044 652.8030 750.4575    0
    0 259.6501 448.1018 578.4947 624.0628    0
    0 237.7294 397.9464 468.0471 468.0471    0
    0 207.4522 312.0314 312.0314 312.0314    0
    0 156.0157 156.0157 156.0157 156.0157    0
val(:,2) =
    0 275.5207 486.0044 652.8030 750.4575    0
    0 299.3381 487.1938 584.8346 605.5083    0
    0 248.2637 407.6996 468.0471 459.1128    0
    0 207.4522 312.0314 312.0314 312.0314    0
    0 156.0157 156.0157 156.0157 156.0157    0
val(:,3) =
    0 275.5207 486.0044 652.8030 750.4575    0
    0 259.6501 448.1018 578.4947 624.0628    0
    0 292.5471 407.6996 468.0471 413.8485    0
    0 222.0024 312.0314 312.0314 284.9321    0
    0 156.0157 156.0157 156.0157 156.0157    0
val(:,4) =
    0 275.5207 486.0044 652.8030 750.4575    0
    0 299.3381 487.1938 584.8346 605.5083    0
    0 297.1216 416.0958 463.3401 407.0939    0
    0 222.0024 312.0314 312.0314 284.9321    0
    0 156.0157 156.0157 156.0157 156.0157    0
```

EK-4. (devam) ÇTL, DMY ve DPY modellerinin düşük boyutlu problemde örnek çözümü

TÜM DURUMLARDA SEÇİLEN SETLER

(Çözümü yapılanlar yeşil ile işaretlenmiştir.)

$\text{val}(:, :, x) \sqsubseteq 1 = \{0, 0\}, 2 = \{0, 1\}, 3 = \{1, 0\}, 4 = \{1, 1\},$

$\text{val}(:, :, 1) =$

0	3	3	4	4	0
0	3	4	4	4	0
0	3	4	4	4	0
0	4	4	4	4	0
0	4	4	4	4	0

$\text{val}(:, :, 2) =$

0	3	3	4	4	0
0	3	4	4	4	0
0	3	4	4	4	0
0	4	4	4	4	0
0	4	4	4	4	0

$\text{val}(:, :, 3) =$

0	3	3	4	4	0
0	3	4	4	4	0
0	3	4	4	4	0
0	4	4	4	4	0
0	4	4	4	4	0

$\text{val}(:, :, 4) =$

0	3	3	4	4	0
0	3	4	4	4	0
0	3	4	4	4	0
0	4	4	4	4	0
0	4	4	4	4	0

EK-5. Pegasus Havayolları için uygulama sonuçları

Çizelge 5.1. Veri setleriyle yapılan çözümlerin sonuçları

No.	Örnek										En İyi Beklenen Gelirler					
	f	τ_f	$\tau_{1,2,3}^b$ (20 kg)	τ_{4b} (20 kg)	$\tau_{3,4}^a$	ρ	π	$P_{2,3,4}^r$	$(P_{1,2,3}^b, P_{4b}, P_{3,4}^a, P_{1,3,4}^a, P_{3,4}^e)$	λ	v_{10}	DMY-P-ÇTL	DPY-P-ÇTL	SDM-P-ÇTL	DMY-P-GE	SDM-P-GE
0.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	167 777,16	175 481,45	154 763,98	163 135,73	149 114,83
1.	6	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	167 776,84	175 481,45	154 763,98	163 133,61	149 114,83
2.	7	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	167 777,46	175 481,45	154 763,98	163 131,50	149 114,83
3.	9	46,68	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	-	175 555,67	154 763,98	163 192,07	149 114,83
4.	10	46,68	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	-	175 555,67	154 763,98	163 189,95	149 114,83
5.	12	62,24	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	-	175 704,12	154 763,98	-	149 114,83
6.	15	62,24	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	-	175 704,12	154 763,98	-	149 114,83
7.	5	38,9	312 (Ek 5 kg)	405 (Ek 5 kg)	55	0,96	0,4	0,09	(0,1;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	174 149,25	182 737,57	154 763,98	169 470,35	149 114,83
8.	5	38,9	623 (Ek 10 kg)	716 (Ek 10 kg)	55	0,96	0,4	0,09	(0,1;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	180 507,96	189 977,14	154 763,98	175 790,51	149 114,83
9.	5	38,9	1245 (Ek 20 kg)	1339 (Ek 20 kg)	55	0,96	0,4	0,09	(0,1;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	193 240,69	204 462,97	154 763,98	188 436,70	149 114,83
10.	5	38,9	1868 (Ek 30 kg)	1961 (Ek 30 kg)	55	0,96	0,4	0,09	(0,1;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	205 997,42	218 958,66	154 763,98	201 091,48	149 114,83
11.	5	38,9	0	94	70	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	168 109,48	175 895,55	154 763,98	163 497,24	149 114,83
12.	5	38,9	0	94	94	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	168 651,01	176 558,11	154 763,98	164 075,65	149 114,83
13.	5	38,9	0	94	55	0,2	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	100 718,84	100 718,84	32 242,49	100 718,84	31 065,59
14.	5	38,9	0	94	55	0,4	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	120 377,51	120 393,21	64 484,99	120 366,88	62 131,18
15.	5	38,9	0	94	55	0,6	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	138 601,66	140 067,58	96 727,48	137 195,16	93 196,77
16.	3	38,9	0	94	55	0,8	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	154 860,05	159 741,95	128 969,98	150 614,53	124 262,36
17.	7	38,9	0	94	55	1	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	171 063,87	179 416,32	161 212,47	166 598,1	155 327,95
18.	10	38,9	0	94	55	0,96	0,2	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	166 674,97	174 046,12	154 763,98	161 955,86	149 114,83
19.	12	38,9	0	94	55	0,96	0,6	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	168 897,44	176 916,78	154 763,98	164 314,03	149 114,83
20.	15	38,9	0	94	55	0,96	0,8	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	170 049,35	178 352,11	154 763,98	165 490,82	149 114,83

EK-5. (devam) Pegasus Havayolları için uygulama sonuçları

Çizelge 5.1. (devam) Veri setleriyle yapılan çözümlerin sonuçları

No.	Örnek										En İyi Beklenen Gelirler					
	f	r_f	$r_{1,2,3}b$ (20 kg)	r_{4b} (20 kg)	$r_{3,4}a$	ρ	π	$P_{\{2,3,4\}r}$	$(P_{1,2,3}b, P_{4b}, P_{\{3,4\}a}, P_{\{1,3,4\}r}, P_{\{3,4\}e})$	λ	v_{10}	DMY-P-ÇTL	DPY-P-ÇTL	SDM-P-ÇTL	DMY-P-GE	SDM-P-GE
21.	5	38,9	0	94	55	0,96	1	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	171 213,76	179 787,44	154 763,98	166 666,16	149 114,83
22.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,2	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	176 352,18	177 774,2	154 763,98	175 368,44	149 114,83
23.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,4	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	181 942,83	181 942,83	154 763,98	181 942,83	149 114,83
24.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,6	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	186 111,47	186 111,47	154 763,98	186 111,47	149 114,83
25.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,8	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	190 280,11	190 280,11	154 763,98	190 280,11	149 114,83
26.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	1	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	194 448,74	194 448,74	154 763,98	194 448,74	149 114,83
27.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,3;0,2;0,17;0,04)	1	0	168 610,57	176 743,66	154 763,98	164 237,64	149 114,83
28.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,6;0,17;0,04)	1	0	170 321,52	178 518,18	154 763,98	165 786,80	149 114,83
29.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,51;0,04)	1	0	169 558,70	177 512,19	154 763,98	164 908,57	149 114,83
30.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,12)	1	0	167 989,13	175 746,47	154 763,98	163 367,09	149 114,83
31.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	0,2	0	35 096,29	35 096,29	33 430,25	35 096,29	33 430,25
32.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	0,4	0	70 192,58	70 192,58	66 860,49	70 192,58	66 860,49
33.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	0,6	0	105 288,87	105 288,87	100 290,74	105 288,87	100 290,74
34.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	0,8	0	140 355,71	140 385,16	132 858,93	140 342,42	132 075,17
35.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	1	191 915,37	220 288,43	175 655,76	174 490,50	160 031,88
36.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	2	161 199,57	165 321,28	148 763,30	158 330,40	143 825,91
37.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	3	154 010,08	155 522,82	142 851,21	153 027,65	139 026,56
38.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	4	108 858,38	108 858,38	103 461,62	108 858,38	103 461,62
39.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	5	88 461,89	88 461,89	84 284,80	88 461,89	84 284,80

EK-5. (devam) Pegasus Havayolları için uygulama sonuçları

Çizelge 5.2. Veri setleriyle yapılan çözümlerde DMY-P-ÇTL modelinden DPY-P-ÇTL, SDM-P-ÇTL, DMY-P-GE ve SDM-P-GE modellerinin fark yüzdesi

Örnek															DMY-P-ÇTL Modelinden % Fark				
No.	f	r _f	r _{1,2,3)b} (20 kg)	r _{4b} (20 kg)	r _{(3,4)a}	ρ	π	P _{(2,3,4)r}	(P _{{1,2,3)b} , P _{4b} , P _{(3,4)a} , P _{{1,3,4)a} , P _{(3,4)e})	λ	v ₁₀	DPY-P-ÇTL ¹	SDM-P-ÇTL ²	DMY-P-GE ²	SDM-P-GE ²				
0.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	4,59	7,76	2,77	11,12				
1.	6	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	4,59	7,76	2,77	11,12				
2.	7	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	4,59	7,76	2,77	11,12				
3.	9	46,68	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	-	-	-	-				
4.	10	46,68	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	-	-	-	-				
5.	12	62,24	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	-	-	-	-				
6.	15	62,24	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	-	-	-	-				
7.	5	38,9	312 (Ek 5 kg)	405 (Ek 5 kg)	55	0,96	0,4	0,09	(0,1;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	4,93	11,13	2,69	14,38				
8.	5	38,9	623 (Ek 10 kg)	716 (Ek 10 kg)	55	0,96	0,4	0,09	(0,1;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	5,25	14,26	2,61	17,39				
9.	5	38,9	1245 (Ek 20 kg)	1339 (Ek 20 kg)	55	0,96	0,4	0,09	(0,1;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	5,81	19,91	2,49	22,83				
10.	5	38,9	1868 (Ek 30 kg)	1961 (Ek 30 kg)	55	0,96	0,4	0,09	(0,1;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	6,29	24,87	2,38	27,61				
11.	5	38,9	0	94	70	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	4,63	7,94	2,74	11,3				
12.	5	38,9	0	94	94	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	4,69	8,23	2,71	11,58				
13.	5	38,9	0	94	55	0,2	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	0	67,99	0	69,16				
14.	5	38,9	0	94	55	0,4	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	0,01	46,43	0,01	48,39				
15.	5	38,9	0	94	55	0,6	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	1,06	30,21	1,01	32,76				
16.	3	38,9	0	94	55	0,8	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	3,15	16,72	2,74	19,76				
17.	7	38,9	0	94	55	1	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	4,88	5,76	2,61	9,2				
18.	10	38,9	0	94	55	0,96	0,2	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	4,42	7,15	2,83	10,54				
19.	12	38,9	0	94	55	0,96	0,6	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	4,75	8,37	2,71	11,71				
20.	15	38,9	0	94	55	0,96	0,8	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	4,88	8,99	2,68	12,31				

EK-5. (devam) Pegasus Havayolları için uygulama sonuçları

Çizelge 5.2. (devam) Veri setleriyle yapılan çözümlerde DMY-P-CTL modelinden DPY-P-CTL, SDM-P-CTL, DMY-P-GE ve SDM-P-GE modellerinin fark yüzdesi

Örnek															DMY-P-ÇTL Modelinden % Fark				
No.	f	r _f	r _{{1,2,3}b} (20 kg)	r _{4b} (20 kg)	r _{{3,4}a}	ρ	π	P _{{2,3,4}r}	(P _{{1,2,3}b} , P _{4b} , P _{{3,4}a} , P _{{1,3,4}o} , P _{{3,4}e})	λ	v ₁₀	DPY-P-ÇTL ¹	SDM-P-ÇTL ²	DMY-P-GE ²	SDM-P-GE ²				
21.	5	38,9	0	94	55	0,96	1	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	5,01	9,61	2,66	12,91				
22.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,2	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	0,81	12,24	0,56	15,44				
23.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,4	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	0	14,94	0	18,04				
24.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,6	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	0	16,84	0	19,88				
25.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,8	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	0	18,67	0	21,63				
26.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	1	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	0	20,41	0	23,31				
27.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,3;0,2;0,17;0,04)	1	0	4,82	8,21	2,59	11,56				
28.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,6;0,17;0,04)	1	0	4,81	9,13	2,66	12,45				
29.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,51;0,04)	1	0	4,69	8,73	2,74	12,06				
30.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,12)	1	0	4,62	7,87	2,75	11,24				
31.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	0,2	0	0	4,75	0	4,75				
32.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	0,4	0	0	4,75	0	4,75				
33.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	0,6	0	0	4,75	0	4,75				
34.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	0,8	0	0,02	5,34	0,01	5,9				
35.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	1	14,78	8,47	9,08	16,61				
36.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	2	2,56	7,71	1,78	10,78				
37.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	3	0,98	7,25	0,64	9,73				
38.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	4	0	4,96	0	4,96				
39.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	5	0	4,72	0	4,72				
Ortalama											3,1	13,35	1,78	16,05					

¹ Üst sınırı verdiği için yüzde büyüklüğü belirtmektedir.² Modellerin sonuç değerleri düşük olduğu için yüzde küçüklüğü göstermektedir.

EK-5. (devam) Pegasus Havayolları için uygulama sonuçları

Çizelge 5.3. Veri setleriyle yapılan çözümlerde SDM-P-GE modelinin DMY-P-GE ve SDM-P-ÇTL modellerinden fark yüzdesi

No.	Örnek										DMY-P-GE Modelinden % Fark		SDM-P-ÇTL Modelinden % Fark	
	f	r_f	$r_{\{1,2,3\}b}$ (20 kg)	r_{4b} (20 kg)	$r_{\{3,4\}a}$	ρ	π	$p_{\{2,3,4\}r}$	$(P_{\{1,2,3\}b}, P_{4b}, P_{\{3,4\}a}, P_{\{1,3,4\}r}, P_{\{3,4\}e})$	λ	v_{10}	SDM-P-GE ¹	SDM-P-GE ¹	
0.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	8,59	3,65	
1.	6	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	8,59	3,65	
2.	7	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	8,59	3,65	
3.	9	46,68	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	8,63	3,65	
4.	10	46,68	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	8,62	3,65	
5.	12	62,24	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	-	3,65	
6.	15	62,24	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	-	3,65	
7.	5	38,9	312 (Ek 5 kg)	405 (Ek 5 kg)	55	0,96	0,4	0,09	(0,1;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	12,01	3,65	
8.	5	38,9	623 (Ek 10 kg)	716 (Ek 10 kg)	55	0,96	0,4	0,09	(0,1;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	15,17	3,65	
9.	5	38,9	1245 (Ek 20 kg)	1339 (Ek 20 kg)	55	0,96	0,4	0,09	(0,1;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	20,87	3,65	
10.	5	38,9	1868 (Ek 30 kg)	1961 (Ek 30 kg)	55	0,96	0,4	0,09	(0,1;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	25,85	3,65	
11.	5	38,9	0	94	70	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	8,8	3,65	
12.	5	38,9	0	94	94	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	9,12	3,65	
13.	5	38,9	0	94	55	0,2	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	69,16	3,65	
14.	5	38,9	0	94	55	0,4	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	48,38	3,65	
15.	5	38,9	0	94	55	0,6	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	32,07	3,65	
16.	3	38,9	0	94	55	0,8	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	17,5	3,65	
17.	7	38,9	0	94	55	1	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	6,76	3,65	
18.	10	38,9	0	94	55	0,96	0,2	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	7,93	3,65	
19.	12	38,9	0	94	55	0,96	0,6	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	9,25	3,65	
20.	15	38,9	0	94	55	0,96	0,8	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	9,9	3,65	

EK-5. (devam) Pegasus Havayolları için uygulama sonuçları

Çizelge 5.3. (devam) Veri setleriyle yapılan çözümlerde SDM-P-GE modelinin DMY-P-GE ve SDM-P-ÇTL modellerinden fark yüzdesi

No.		Örnek										DMY-P-GE Modelinden % Fark		SDM-P-ÇTL Modelinden % Fark	
		f	r_f	$r_{\{1,2,3\}b}$ (20 ka)	r_{4b} (20 ka)	$r_{\{3,4\}a}$	ρ	π	$P_{\{2,3,4\}r}$	$(P_{\{1,2,3\}b}, P_{4b}, P_{\{3,4\}a}, P_{\{1,3,4\}a}, P_{\{3,4\}e})$	λ	v_{10}	SDM-P-GE ¹	SDM-P-GE ¹	
21.	5	38,9	0	94	55	0,96	1	0,09		(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	10,53	3,65	
22.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,2		(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	14,97	3,65	
23.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,4		(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	18,04	3,65	
24.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,6		(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	19,88	3,65	
25.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,8		(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	21,63	3,65	
26.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	1		(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	23,31	3,65	
27.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09		(0;0,3;0,2;0,17;0,04)	1	0	9,21	3,65	
28.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09		(0;0,1;0,6;0,17;0,04)	1	0	10,06	3,65	
29.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09		(0;0,1;0,2;0,51;0,04)	1	0	9,58	3,65	
30.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09		(0;0,1;0,2;0,17;0,12)	1	0	8,72	3,65	
31.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09		(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	0,2	0	4,75	0	
32.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09		(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	0,4	0	4,75	0	
33.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09		(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	0,6	0	4,75	0	
34.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09		(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	0,8	0	5,89	0,59	
35.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09		(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	1	8,29	8,89	
36.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09		(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	2	9,16	3,32	
37.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09		(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	3	9,15	2,68	
38.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09		(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	4	4,96	0	
39.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09		(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	5	4,72	0	
Ortalama											14,16	3,22			

¹ Modellerin sonuç değerleri düşük olduğu için yüzde küçüklüğü göstermektedir.

EK-5. (devam) Pegasus Havayolları için uygulama sonuçları

Çizelge 5.4. Veri setleriyle yapılan çözümlerin süresi

No.	Örnek										Çözüm Süresi (sn)						
	f	r_f	$r_{\{1,2,3\}b}$ (20 kg)	r_{4b} (20 kg)	$r_{\{3,4\}a}$	ρ	π	$P_{\{2,3,4\}r}$	$(P_{\{1,2,3\}b}, P_{4b}, P_{\{3,4\}a}, P_{\{1,3,4\}r}, P_{\{3,4\}e})$	λ	v_{10}	DMY-P-ÇTL	DPY-P-ÇTL	SDM-P-ÇTL	DMY-P-GE	SDM-P-GE	
0.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	3 401,48	329,17	11,91	222,45	0,93	
1.	6	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	7 377,86	309,58	12,64	503,17	0,89	
2.	7	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	14 815,04	308,32	12,57	1 007,04	0,88	
3.	9	46,68	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	-	321,17	12,51	4 120,83	0,88	
4.	10	46,68	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	-	320,78	12,58	8 268,94	0,88	
5.	12	62,24	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	-	313,27	12,52	-	0,88	
6.	15	62,24	0	94	55	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	-	313,02	12,47	-	0,89	
7.	5	38,9	312 (Ek 5 kg)	405 (Ek 5 kg)	55	0,96	0,4	0,09	(0,1;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	3 684,12	309,34	13,34	293,07	1	
8.	5	38,9	623 (Ek 10 kg)	716 (Ek 10 kg)	55	0,96	0,4	0,09	(0,1;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	3 693,46	308,57	13,24	293,54	0,91	
9.	5	38,9	1245 (Ek 20 kg)	1339 (Ek 20 kg)	55	0,96	0,4	0,09	(0,1;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	3 674,73	308,45	13,23	293,45	0,93	
10.	5	38,9	1868 (Ek 30 kg)	1961 (Ek 30 kg)	55	0,96	0,4	0,09	(0,1;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	3 658,44	308,98	13,19	292,89	0,91	
11.	5	38,9	0	94	70	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	3 481,97	308,67	12,77	285,32	1	
12.	5	38,9	0	94	94	0,96	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	3 477,76	311	12,61	285,67	0,94	
13.	5	38,9	0	94	55	0,2	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	3 691,75	308,91	13,43	293,03	1	
14.	5	38,9	0	94	55	0,4	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	3 693,15	308,27	13,25	292,79	0,92	
15.	5	38,9	0	94	55	0,6	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	3 689,98	308,2	13,26	292,87	0,94	
16.	3	38,9	0	94	55	0,8	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	3 687,52	308,45	13,19	292,55	0,92	
17.	7	38,9	0	94	55	1	0,4	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	3 691,76	308,48	13,32	293,99	0,91	
18.	10	38,9	0	94	55	0,96	0,2	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	3 814,64	310,96	12,65	285,97	1,04	
19.	12	38,9	0	94	55	0,96	0,6	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	3 809,58	308,54	12,61	287,05	0,93	
20.	15	38,9	0	94	55	0,96	0,8	0,09	(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	3 814,42	308,27	12,54	286,68	0,95	

EK-5. (devam) Pegasus Havayolları için uygulama sonuçları

Çizelge 5.4. (devam) Veri setleriyle yapılan çözümlerin süresi

		Örnek										Çözüm Süresi (sn)							
		f	r_f	$r_{\{1,2,3\}b}$ (20 kg)	r_{4b} (20 kg)	$r_{\{3,4\}a}$	ρ	π	$P_{\{2,3,4\}r}$	$(P_{\{1,2,3\}b}, P_{4b}, P_{\{3,4\}a}, P_{\{1,3,4\}o}, P_{\{3,4\}e})$	λ	v_{10}	DMY-P-ÇTL	DPY-P-ÇTL	SDM-P-ÇTL	DMY-P-GE	SDM-P-GE		
No.		21.	5	38,9	0	94	55	0,96	1	0,09		(0;0,1;-0,2;0,17;0,04)	1	0	3 808,19	308,33	12,54	285,49	0,94
		22.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,2		(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	0	3 496,55	309,85	12,6	285,47	0,96
		23.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,4		(0;0,1;-0,2;0,17;0,04)	1	0	3 494,26	308,29	12,42	288,03	0,88
		24.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,6		(0;0,1;-0,2;0,17;0,04)	1	0	3 491,00	308,79	12,47	284,76	0,89
		25.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,8		(0;0,1;-0,2;0,17;0,04)	1	0	3 495,75	308,25	12,39	284,48	0,87
		26.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	1		(0;0,1;-0,2;0,17;0,04)	1	0	3 493,37	308,36	12,46	285,22	0,88
		27.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09		(0;0,3;0,2;0,17;0,04)	1	0	3 906,21	313,25	12,7	304,89	0,96
		28.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09		(0;0,1;-0,6;0,17;0,04)	1	0	3 894,66	313,01	12,53	303,52	0,88
		29.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09		(0;0,1;-0,2;0,51;0,04)	1	0	3 891,87	312,77	12,53	305,9	0,88
		30.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09		(0;0,1;-0,2;0,17;0,12)	1	0	3 899,29	313,07	12,51	303,53	0,87
		31.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09		(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	0,2	0	3 662,06	308,94	13,31	295,71	1,06
		32.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09		(0;0,1;-0,2;0,17;0,04)	0,4	0	3 653,41	308,39	13,28	293,87	0,92
		33.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09		(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	0,6	0	3 654,65	308,21	13,28	292,58	0,91
		34.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09		(0;0,1;-0,2;0,17;0,04)	0,8	0	3 660,16	308,64	13,33	293,05	0,93
		35.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09		(0;0,1;-0,2;0,17;0,04)	1	1	4 473,80	316,77	13,51	286,19	1,04
		36.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09		(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	2	4 459,97	312,15	13,27	288,12	0,93
		37.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09		(0;0,1;-0,2;0,17;0,04)	1	3	4 460,81	311,84	13,22	285,91	0,95
		38.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09		(0;0,1;0,2;0,17;0,04)	1	4	4 554,13	312,83	13,25	285,53	0,92
		39.	5	38,9	0	94	55	0,96	0,4	0,09		(0;0,1;-0,2;0,17;0,04)	1	5	4 541,88	311,46	13,23	293,48	0,92



GAZİ GELECEKTİR..