



HAVA YOLU GELİR YÖNETİMİ

Aslı Emine ŞEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 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.

Aslı Emine ŞEN

14/01/2022

HAVA YOLU GELİR YÖNETİMİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Aslı Emine ŞEN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2021

ÖZET

Covid-19 pandemisi, tüm dünyada hayatı olumsuz etkilemiş ve çok sayıda can kayıplarına neden olmuştur. Aynı zamanda işletmelerin ekonomik faaliyetlerine de zarar vermiştir ve vermeye devam etmektedir. Hava yolu sektörü bu durumdan en çok etkilenen sektörlerden birisidir. Bu şartlar altında, bir hava yolu şirketinin hayatta kalmak için yapması gereken şeylerden biri de hava yolu gelir yönetiminde en iyisini yapmaktır. Bu tez çalışmasında, Hava yolu Gelir Yönetimi (HGY) için Toplam Gelir Sınırları (TGS) ve Beklenen Marjinal Koltuk Geliri-Toplam Gelir Kontrolü (BMKGtgk) isimli iki sezgisel metot geliştirilmiştir. Bu metotlar ücret sınıfı karmaşıklık probleminde kullanılması amacıyla geliştirilmiş olup kolay anlaşılabilir, uygulanabilir ve etkin performans gösterebilir niteliktedirler. Her iki metot da HGY alanındaki en ünlü ve yaygın kullanılan Beklenen Marjinal Koltuk Geliri (BMKG) metodunun literatürdeki üç farklı çeşidiyle karşılaştırılmıştır. Bunlar BMKGa, BMKGb ve BMKGc'dir. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda, TGS ve BMKGtgk'nin diğer üç metottan daha yüksek gelirler elde ettiği bulunmuştur. Sonuç olarak, geliştirilen metotların HGY için etkili birer araç olabileceği gösterilmiştir.

Bilim Kodu : 90610
Anahtar Kelimeler : Gelir Yönetimi, hava yolu, optimizasyon, ücret sınıfı dağılımı
Sayfa Adedi : 35
Danışman : Doç. Dr. Ramazan ŞAHİN

AIRLINE REVENUE MANAGEMENT

(M. Sc. Thesis)

Aslı Emine ŞEN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2021

ABSTRACT

The Covid-19 pandemic has negatively affected life all over the world and has caused catastrophic loss of life. At the same time, it has damaged the economic activities of businesses and continues to do so. The airline industry is one of the sectors most affected by this situation. Under these circumstances, one of the things an airline must do is to do the best in airline revenue management to survive. In this thesis, two heuristic methods named Total Revenue Boundaries (TRB) and Expected Marginal Seat Revenue-Total Revenue Control (EMSRtrc) are developed for Airline Revenue Management (ARM). These methods are developed for use in the fare class mix problem and are easy to understand, applicable, and can perform effectively. Both methods are compared with three different types of the most famous and widely used method in the literature, which is Expected Marginal Seat Revenue (EMSR). These are EMSRa, EMSRb, and EMSRc. As a result of the comparisons, it shows that TRB and EMSRtrc achieved higher revenues than the other three methods. As a result, it has been shown that the developed methods can be effective tools for ARM.

Science Code : 90610

Key Words : Revenue management, airline, optimization, fare level distribution

Page Number : 35

Supervisor : Associate Prof. Dr. Ramazan ŞAHİN

TEŞEKKÜR

Hayat kurma gayesi içinde olduğum, üzücü bir hastalık atlattığım, yuva kurmaya ve kariyer yapmaya çalıştığım, hayatımda ilk kez ailemden ayrı kaldığım ve tüm dünyanın salgın hastalıkla savaştığı bir dönemde yazdığım bu tezin bana ve okuyucularına ilham vermesini diliyorum. Tez çalışmalarımda beni hem bilimsel hem de insani anlamda destekleyen danışmanım Doç. Dr. Ramazan ŞAHİN'e her zaman anlayışlı, yapıcı ve iyi niyetli yaklaşımlarından dolayı teşekkür ederim. Bu süreçte desteklerini benden esirgemeyen ailem, eşim ve akademisyen arkadaşlarıma da teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. METODOLOJİ.....	7
2.1. Toplam Gelir Sınırları Yöntemi	7
2.2. Beklenen Marjinal Koltuk Geliri-Toplam Gelir Kontrolü.....	8
2.2.1. Beklenen marjinal koltuk geliri metodu.....	9
2.2.2. Beklenen marjinal koltuk geliri-toplam gelir kontrolü metodu	11
3. SAYISAL ÖRNEKLER.....	15
3.1. Toplam Gelir Sınırları Yöntemi: Sayısal Örnek.....	15
3.2. BMKGtgk Sayısal Örnekler.....	17
3.2.1. Birinci Problem	18
3.2.2. İkinci Problem.....	19
3.2.3. Üçüncü Problem.....	21
4. TARTIŞMA.....	25
5. SONUÇ	29
KAYNAKLAR	31
ÖZGEÇMİŞ	35

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. TGS problemi ücret sınıfları ve bilet fiyatları.....	16
Çizelge 3.2. TGS problemi ücret sınıfları için ortalama talep ve standart sapma değerleri	16
Çizelge 3.3. TGS probleminin sonuçları	17
Çizelge 3.4. TGS probleminin standart sapma sonuçları	17
Çizelge 3.5. BMKGtgk için birinci probleme ilişkin veriler	17
Çizelge 3.5. BMKGtgk birinci problemin sonuçları	18
Çizelge 3.6. BMKGtgk birinci problemin sonuçları	19
Çizelge 3.7. BMKGtgk birinci problemin standart sapma sonuçları	19
Çizelge 3.8. BMKGtgk için ikinci probleme ait veriler	20
Çizelge 3.9. BMKGtgk için ikinci problemin talep geliş dağılımı	20
Çizelge 3.10. BMKGtgk ikinci problemin sonuçları.....	21
Çizelge 3.11. BMKGtgk ikinci problemin standart sapma sonuçları	21
Çizelge 3.12. BMKGtgk için üçüncü probleme ait veriler	22
Çizelge 3.13. BMKGtgk üçüncü problemin talep geliş dağılımı.....	22
Çizelge 3.14. BMKGtgk üçüncü problemin sonuçları	23
Çizelge 3.15. BMKGtgk üçüncü problemin standart sapma sonuçları	23
Çizelge 4.1. TGS problemindeki doluluk oranları	25
Çizelge 4.2. BMKGtgk problemlerindeki doluluk oranları	26

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. BMKGtgk akış şeması.....	13



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

%	Yüzde
F	Bilet ücreti
i	Ücret sınıfı
S	Ücret sınıfı için korunan koltuk sayısı

Kısaltmalar

Açıklamalar

BMKG	Beklenen Marjinal Koltuk Geliri
BMKGtgk	Beklenen Marjinal Koltuk Geliri-Toplam Gelir Kontrolü
EMSR	Expected Marginal Seat Revenue
EMSRtrc	Expected Marginal Seat Revenue-Total Revenue Control
HGY	Hava Yolu Gelir Yönetimi
TGS	Toplam Gelir Sınırları
TL	Türk Lirası
TRB	Total Revenue Boundaries

1. GİRİŞ

1903 yılında, Wright kardeşlerin yaptığı ilk motorlu uçağın ardından geçen yaklaşık 120 yılda, uçmak insanoğlu için bir hayal olmaktan çoktan çıkmıştır. Bugün hem ülkemizde hem de dünyada hava yolu ile ulaşılabilen hemen hemen hiçbir lokasyon bulunmamaktadır. Havacılık sektörü birçok ülkenin en önemli endüstrilerinden biri haline gelmiştir. Ülkemizde de oldukça önemli olan bu sektörde büyük yatırımlar yapılmıştır. Bunlardan biri olan İstanbul Havalimanı 29 Ekim 2018 tarihinde faaliyete geçerek Türkiye’de sivil hava trafiğine açık havalimanı sayısını 56’ya çıkarmıştır. Devlet Hava Meydanları İşletmesi 2019 yıl sonu raporunda, 56 havalimanına gelen-giden yolcu trafiği iç hatlarda 99 946 572 kişi, dış hatlarda ise 108 427 124 kişi olmak üzere toplam 208 373 696 kişi olarak kaydedilmiştir. Yine aynı raporda bulunan verilere göre, ülkemizde tarifeli ve tarifesiz sefer düzenleyen hava yolu firma sayısı 379’dur. Covid-19 salgını sebebiyle zor günler geçiren havacılık sektörünün salgın sonrasında birkaç yıl içinde eski haline döneceği öngörülmektedir.

Hem dünyada hem de ülkemizde oldukça önemli yer tutan havacılık endüstrisinin, şüphesiz en önemli bileşenlerinden birisi hava yolu şirketleridir. Hava yolu şirketleri verdikleri güvenli ve kısa seyahat hizmetiyle, özellikle uzun menzilli yolculuklarda insanlar tarafından sıklıkla tercih edilmektedir. Yüksek ilk yatırım maliyetleri, yakıt tüketimleri, işletme maliyetleri vb. ile hava yolu sektöründe maliyet kalemleri toplamı büyüktür. Bu sebeple hava yolu şirketlerinin karlılığını artırmak için yıllardır pek çok alanda, hem hava yolu şirketleri hem de bilim insanları tarafından araştırmalar yapılmaktadır. Hava yolu Gelir Yönetimi (HGY) de bu alanlardan en önemlisi olmuştur.

Oteller, hava yolları ve gemi turları gibi bazı şirketler; gelirlerinin optimizasyonu için gelir yönetimi araçlarına başvurur. Çünkü bu şirketlerin ürünleri somut, elle tutulabilir veya stoklanabilir değildir. Bu tip ürünlere literatürde “çabuk bozulan veya stoklanamayan (perishable)” denilmektedir. Bir gece için boş kalan bir otel odası veya bir uçuşta boş kalan bir koltuk, gece veya uçuş bittiğinde kaybolan bir ürün haline gelir. Bu nedenle, bu sınırlı ürün kaynağının belirlenen zaman aralıklarında mümkün olduğu kadar verimli satılması gerekmektedir. Verimliliği sağlamak içinse firmalar tarafından gelir yönetimi metotları uygulanmaktadır.

Hava yolları özelinde ürettikleri ürün veya servis ele alındığında, marjinal maliyeti oldukça düşük olan şirketlerdir. Neredeyse tüm masraf kalemlerinin (kabin ve uçuş personelinin masrafları, uçak satın alma ya da kiralama masrafları vb.) sabit maliyet olduğu bir uçuşta, fazladan bir yolcunun daha uçakta olmasının maliyeti göz ardı edilebilecek kadar azdır. Fazladan yemek masrafı ve çok küçük miktardaki ek yakıt maliyeti dışında hava yolu şirketinin katlanmak zorunda olduğu yüksek bir ek maliyet söz konusu değildir (Belobaba, 2015). Bu sebeple hava yolu şirketleri genellikle kârını en büyükmek yerine gelirini en büyükmeyi tercih ederler.

HGY’nde genellikle koltuk envanter yönetimi problemi üzerinde durulmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalar temel olarak üçe ayrılmaktadır: fazla rezervasyon, ücret sınıfı karması ve kalkış-varış noktası kontrolüdür (Belobaba, 2009: 92). Fazla rezervasyon, hava yolu şirketlerinin bir uçuştaki satılabilir koltuk kapasitesinden daha fazla koltuk satması mantığına dayanmaktadır. Uçuşa gelmeyen yolcuların koltuklarının ikinci kez satılması sayesinde hava yolları uçuştan daha fazla gelir elde etmeyi hedeflerler. Burada, hava yollarının vermesi gereken karar kaç tane fazladan koltuk satılacağıdır. Fazla rezervasyon sayısının çok olması, bazı yolcuların uçuşu yapamaması anlamına gelirken, bu sayının az olması ise potansiyel fazla gelirin kaybedilmesi anlamına gelmektedir. Ücret sınıfı karması ise, bir uçaktaki koltukların ücret sınıfları arasında paylaştırılmasını konu almaktadır. Hangi ücret sınıfından kaç adet koltuk satılacağına karar verilmesi, uçuştan elde edilecek geliri doğrudan etkilemektedir. Burada, ucuz olan ücret sınıflarından fazla bilet satılarak toplam gelirin düşmesinin ve aynı zamanda yüksek ücret sınıfları için fazla koltuk ayrılarak uçağın boş kalmasının önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Ücret sınıfı karması problemlerinde tek bir uçuş bacağı temel alınır. Üçüncü çalışma alanı olan kalkış-varış noktası probleminde, ücret sınıfı dağılımı ile birlikte, uçuştaki yolcuların ait oldukları kalkış-varış pazarları da dikkate alınarak bilet satışı yapılması amaçlanır. Kalkış-varış pazar kavramının da problemin içine katılmasıyla, aynı koltuğun fiyatı daha yüksek olan bir kalkış-varış pazar yolcusuna satılması sağlanır.

HGY ile alakalı ilk çalışmalar Amerika Birleşik Devletleri’ndeki hava yolu düzenlemelerinden sonra, 1970’lerde başlamıştır. İlk ve en önemli çalışmalar Littlewood (1972) ve Belobaba (1987) tarafından yapılmıştır. Littlewood çalışmasında Littlewood’s kuralını geliştirirken Belobaba ise 1987’deki çalışmasında, bu kuralı temel alarak bulduğu Beklenen Marjinal Koltuk Geliri (BMKG) metodunu tanıtmıştır. Takip eden yıllarda ise

BMKG yöntemi, Belobaba tarafından yenilenmiş (1992) ve bu yeni yöntem BMKGb olarak isimlendirilmiştir. BMKG'nin ilk hali ise bu çalışmadan sonra BMKGa olarak adlandırılmıştır. İlerleyen dönemde BMKG yöntemi literatürde oldukça yaygın olarak kullanılmış, çeşitli şekillerde uygulanmış ve başka yöntemlerle sıkça karşılaştırılmıştır. Wollmer (1992) çalışmasında kendi geliştirdiği HGY metodunun değişik koşullar altında BMKG ile karşılaştırmasını yapmıştır. Bir başka çalışmada ise Beklenen Marjinal Koltuk Faydası (Expected Marginal Seat Utility-EMSU) isimli yöntem geliştirilerek, klasik BMKG metodunun risk faktörü düşürülmeye çalışılmış ve bu yeni yöntem BMKG ile karşılaştırılmıştır (Weatherford, 2004). Fiig ve arkadaşları (2010) yazdıkları makalede BMKGb yöntemini temel alarak geliştirdikleri BMKGb-MR metodunu açıklamışlardır. BMKG ile ilgili başka bir makalede, tek bacak olarak ele alınan ücret sınıfı problemleri için yeni bir HGY metodu geliştirilmiştir (Gönsch, Koch, ve Steinhardt, 2013). Makalede, BMKGa temel alınarak geliştirilen bu yeni metodun, diğer HGY metotlarına göre üstün bir performans gösterdiği ve daha iyi gelir elde ettiği belirtilmiştir. 2017'de Tavana ve Weatherford'un yaptıkları çalışmada BMKGc metodu tanıtılmıştır. Yazarlar, BMKGc'yi BMKGa, BMKGb ve BMKGb-MR ile farklı koşullar altında karşılaştırmıştır. Sonuçlar, BMKGc'nin diğer üç BMKG türünden daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Diğer bir çalışmada, BMKG metodunun ücret sınıfları arasındaki bağımlılık göz önünde bulundurularak ücret sınıflarına ait rezervasyon limiti hesaplaması yapılmıştır (Banciu, Odegaard, ve Stanciu, 2019). Bu çalışmada ayrıca farklı talep dağılımları da ücret sınıfı karması problemi için denenmiştir. İç içe (nested) yöntemlerin temel alındığı bir başka çalışmada yazarlar literatürde bulunan iki temel iç içe koltuk envanter yönetimi metoduna bir alternatif geliştirdiklerinden söz etmişlerdir. Standart iç içe yerleştirme politikası ve aşırı iç içe yerleştirme politikasına ek olarak sadece koltuk envanterini değil aynı zamanda bu iki politika arasında da geçişler yaparak ARM algoritmasını da optimize ettiklerini iddia eden yazarlar bu yönteme geliştirilmiş iç içe yerleştirme politikası adını vermişlerdir. Makalede geliştirilmiş iç içe yerleştirme politikasının BMKG sezgisel yöntemleri ile karşılaştırıldığı ve geliştirilmiş iç içe yerleştirme politikasının daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir (Luo, Yan, ve Zhang, 2020). Shihab ve Wei (2021) ise makalelerinde literatürdeki çoğu algoritmadan farklı olarak koltuk envanter yönetimi problemini daha geniş bir kapsamda ele almıştır. Derin pekiştirmeli öğrenme ismini verdikleri bir sinirsel sistem ile havayolu sektöründeki müşteri davranışları ve diğer önemli dinamikleri öğrenerek optimal gelir seviyesini elde eden bir HGY metodu geliştirmişlerdir. BMKGb ile karşılaştırdıkları bu metodun daha iyi gelir seviyeleri elde etmekle birlikte, doluluk oranını

da yüzde yüze yaklaştırmayı başarmışlardır. HGY dışında deniz yolu kargo taşımacılığı gelir yönetimi ile alakalı bir çalışmada, geliştirilen bir gelir yönetimi metodu BMKGB ile karşılaştırılmıştır (Seo, Chang, Cheong, ve Baek, 2021). Görüldüğü üzere BMKGa ve BMKGB yöntemlerine literatürde oldukça sık rastlanmakta, sadece HGY için değil benzer başka alanlarda da ele alınmaktadır.

HGY’nde ücret sınıfı karması problemleri için geliştirilen yöntemler, elbette BMKG ile sınırlı değildir. 1993 yılında Lee ve Hersh tarafından yapılan çalışma ücret sınıfı karması problemini dinamik programlama ile ele almıştır. Yazarlar, belirsiz talebe karşı dinamik programlamanın literatürde iç içe olarak adlandırılan BMKG vb. yöntemlere göre avantajlarından bahsetmişlerdir. Daha önce söz edilen, kalkış-varış noktası problemleri de literatürde geniş yer bulmaktadır. Ücret sınıfı karması problemine benzer olan bu problem, tek bacak bazlı problem çözmek yerine yolcuların kalkış ve varış noktalarını dikkate alarak bilet satışı yapmaktadır. Teklif fiyatı kontrolü (bid price control) metodu kalkış-varış noktası problemlerinde oldukça yaygın olarak başvurulmuş bir yöntemdir. Teklif fiyatı kontrolü üzerine yapılan ilk çalışma Simpson’ın 1989 yılında yaptığı çalışmadır (Talluri ve Ryzin, 1998). Bundan sonraki çalışma ise Williamson (1992) tarafından teklif fiyatı kontrolü ile ilgili yazılan doktora tezidir. Teklif fiyatı kontrolü ile ilgili yapılan çalışmalar genellikle teklif fiyatını belirlemek üzerine odaklanmıştır. Topaloğlu (2008) tarafından yapılan çalışmada teklif fiyatı belirlemek için deterministik karar kurallı örnek yol tabanlı türevler olarak adlandırılan bir yöntem açıklanmıştır. Yine Topaloğlu (2009) bir diğer çalışmasında, teklif fiyatı belirlenmesinde lagrange gevşemesi yönteminden yararlanmıştır. Bu yöntemi kullanırken teklif fiyatını belirlemek için henüz satılmamış koltukların sayısı ve uçağın kalkışına kalan zamanı ele almıştır.

HGY ile alakalı yukarıda bahsedilen çalışmalar dışında, bu konuyu farklı bakış açıları ile ele alan yazarların çalışmaları da mevcuttur. Aslani, Madarres ve Sibdari (2014) makalelerinde, HGY ile ilgili kullanılan en popüler yöntemleri kısaca özetlemiş ve bu yöntemlerin arkasındaki mantığı açıklamaya çalışmışlardır. Literatürdeki bir başka bakış açısı ise ARM yöntemlerinin riskleri ile alakalıdır. Barz ve Waldmann (2007), Huang ve Chang (2011), Koenig ve Meissner (2016) ARM’nin risk perspektifini konu alan çalışmalar arasındadır. Son yıllarda yapılan çalışmalardan örnek verilecek olursa Buyruk ve Güner (2021) makalelerinde HGY’nde müşteri bazlı özgülleştirmenin (customization) önemine vurgu yapmışlardır. HGY üzerine yapılan çalışmaları da inceleyerek her müşteriye belirli

parametreler üzerinden ayrı fiyatlandırma yapılmasını tartışmışlardır. Ayrıca makalede HGY ile alakalı 1970’li yıllardan bugüne yapılmış belli başlı çalışmalardan söz etmişlerdir.

Bu tez çalışmasında ücret sınıfı karması problemi üzerine odaklanılacaktır. Tek uçuş bacağı, yani bir noktadan başka bir noktaya aktarmasız tek uçuş içeren bir hava yolu operasyonu için farklı ücret sınıflarından kaçar tane bilet satılması gerektiği ile alakalı bir problem üzerinde durulacaktır. Bu problemde, farklı ücret sınıfları bulunmaktadır fakat tüm ücret sınıflarına ait biletler tamamen aynı hizmeti alacaktır. Diğer bir deyişle, tüm koltuklar aynı konfora sahiptir, tüm yolcular aynı yiyecek servisini almaktadır ve tüm yolcular aynı miktarda bagaj taşıma hakkına sahiptir. Üzerinde çalışılacak problem, fazla rezervasyon (overbooking), grup rezervasyon ve bilet iptali durumlarını göz ardı etmektedir. Pazardaki talep ise normal dağılımlıdır ve bağımsızdır. Satılabilecek toplam bilet sayısı arz edilen koltukla sınırlıdır.

Tez çalışması kapsamında, ücret sınıfı problemi için iki adet sezgisel yöntem geliştirilmiş, matematiksel ve mantıksal açıklaması yapılmış, örnek problemlerle denenmiş ve literatürde hâlihazırda bulunan diğer metotlarla karşılaştırması yapılmıştır. İlk yöntem TGS (Toplam Gelir Sınırları), ikinci yöntem ise BMKGtrc (Beklenen Marjinal Koltuk Geliri Toplam Gelir Kontrolü) olarak adlandırılmıştır. Her iki yöntem de, doğası gereği birçok parametreyi barındıran ücret sınıfı karması problemini daha basit, kolay uygulanabilir ve anlaşılır hale getirerek çözmeyi amaçlamaktadır. Daha az kaynak tüketerek, uzun ve karmaşık hesaplamalara gerek duymadan verimli ve etkin sonuçlar alınması planlanmaktadır.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde metodolojik olarak geliştirilen yöntemler açıklanacaktır. Üçüncü kısımda ise geliştirilen iki metot sayısal örneklerle denenerek sonuçlar incelenecektir. Tartışma bölümünde ise yapılan çalışmanın avantaj ve dezavantajlarından söz edilerek, literatürdeki diğer çalışmaların sonuçları ile yorumlanmaya çalışılacaktır. Son kısım olan sonuç bölümünde, tez çalışmasının tamamı özetlenerek elde edilen çıktılarına değinilecektir.



2. METODOLOJİ

Genel olarak ücret sınıfı karmaşı problemlerinde, yolcuların satış süresi boyunca bilet almak için sisteme girişleri ve ardından yolcunun kabul edilip edilmemesi şeklinde bir karar süreci vardır. Yolcu, ait olduğu ücret sınıfı için belirlenmiş fiyatla sisteme gelerek bilet satın almak ister, sistem ise koltuk envanter dağılımını göz önünde bulundurarak, maksimum geliri elde etmek için yolcuyu değerlendirir. Bu noktada karar değişkeni 0 veya 1'dir. Koltuk envanterinin ücret sınıfları arasındaki dağılımı için kullanılan algoritma, yolcuyu reddedip daha üst ücret sınıflarından yolcu gelmesini bekleyebilir. Bu durumda karar değişkeni 0 olur. Veya yolcu kabul edilir ve karar değişkeni 1 olarak belirlenir. Bilet satışları T satış süresi içinde yapılır ve t adet alt dönem bulunur. Her t alt döneminde, en fazla 1 tane satış gerçekleşebilir. Arz edilen koltukların hepsi satıldığında, T süresinin sonuna gelinmemiş olsa da satış işlemi durur.

Burada verilen 0 veya 1 kararı oldukça önemlidir. Zira sistem, alt ücret sınıflarından gelen yolcuları sürekli reddeder ve T satış süresi boyunca üst ücret sınıflarından yeterli sayıda müşteri gelmezse uçak boş kalabilir. Unutulmamalıdır ki, uçaktaki herhangi bir koltuğun herhangi bir fiyata satılması, her zaman için boş kalmasından iyidir (Belobaba, 2009: 89). Öte yandan, alt ücret sınıflarından fazla müşteri kabul edilmesi, üst ücret sınıfındaki yolcular için uçakta yer kalmamasına sebep olabilir. Böyle bir durumda ise ortaya fırsat maliyeti çıkmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen iki algoritma aşağıdaki bölümlerde anlatılmaktadır.

2.1. Toplam Gelir Sınırları Yöntemi

Geliştirilen ilk yöntem olan TGS, diğer pek çok HGY metodu gibi, bilet satın almak için gelen müşterileri belirli kurallar çerçevesinde kabul veya reddederek işleyen bir metottur. Maksimum satış geliri elde etmeye dayanır. TGS'nin çalışma mantığı, T süresi içinde belirli noktalarda elde edilen toplam gelirin kontrol edilmesine dayanır. Hangi noktada ve ne kadarlık bir toplam gelir seviyesi ile kontrol yapılacağı, deneme yanılma yöntemi ile bulunmaktadır. Kaç noktada kontrol yapılacağı $l = n-1$ eşitliğine göre bulunur. Örneğin, 4 ücret sınıfı olan bir uçuş için, kontrol noktası sayısı 3 olacaktır. TGS, T süresinin ilk toplam

gelir kontrolü noktasına kadar, bilet satın almak için gelen tüm müşterileri sınıf ayırt etmeksizin kabul eder. Ardından T süresi içinde daha önce belirlenen bir t noktasında ilk toplam gelir kontrolünü yapar. Elde edilen gelir, ilk kontrol noktası için belirlenmiş toplam gelirden büyük veya ona eşitse, ikinci kontrol noktasına kadar gelen tüm müşterilere bilet satılmaya devam edilir. Eğer t anında elde edilen gelir önceden belirlenmiş toplam gelirden küçükse, en düşük fiyatlı ücret sınıfı satışa kapatılır. İkinci ve üçüncü kontrol noktasında benzer işlemler tekrarlanır. Kontrol noktaları için belirlenmiş gelir limitlerine göre, düşük fiyatlı ücret sınıfları kapanabilir veya satışı devam edebilir. TGS ile ilgili matematiksel açıklama Eş. 2.1’de verilmiştir.

$$\text{Eğer } \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n x_{it} F_i \leq r_t \text{ ise, } \sum_t x_{ikt} = 0 \quad (2.1)$$

Eş 2.1.’de görülen parametre ve değişkenlerin tanımları aşağıda verilmiştir.

i: ücret seviyesi

t: En fazla bir biletin satılabileceği birim zaman

x_{it} : t zamanında i ücret seviyesinden bilet satılıp satılmama durumu (1 veya 0)

F_i : ücret seviyesi i’nin bilet fiyatı

r_t : t zamanında kontrolü yapılan toplam gelir seviyesi

i_k : satışa sunulan en ucuz ücret seviyesi

x_{ikt} : t zamanında i_k ücret seviyesinden bilet satılıp satılmama durumu

k: satışa sunulan ücret seviyelerinin sayısı

i_k : satışa sunulan en ucuz ücret seviyesi

n: Ücret sınıfı sayısı

l: kontrol noktası sayısı

2.2. Beklenen Marjinal Koltuk Geliri-Toplam Gelir Kontrolü

BMKG, önceki bölümde de söz edildiği gibi, HGY çalışmalarında en çok ele alınan ve atıfta bulunulan yöntemlerden birisidir. Dünya literatüründe hemen hemen her çalışmada adı geçen Peter Belobaba tarafından geliştirilmiş bu yöntem, geliştiricisinin HGY literatüründeki yeri bakımından da önem arz etmektedir. Aynı zamanda, anlaşılması ve uygulanması basit olan bu yöntem, birçok parametreyi barındıran ücret sınıfı karmaşıklık problemini daha anlaşılır ve kolay ele alınabilir bir hale getirmektedir. BMKG’nin sözü edilen bu avantajları korunarak, yöntemin performansını da artıracak bazı geliştirmelerle

birlikte, bu tez çalışmasında yeni bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir. BMKGtgk'ye geçmeden önce, BMKG metodunun açıklaması, geliştirilen yöntemin anlaşılmasını kolaylaştıracaktır.

2.2.1. Beklenen marjinal koltuk geliri metodu

Önceki bölümde değinildiği üzere, BMKG 1987 yılında Belobaba tarafından geliştirilmiştir. Modelin mantığı Littlewood kuralına dayanmaktadır. BMKG, kullanılması ve anlaşılması kolay bir yöntemdir. Buna ek olarak, ücret sınıfı karması problemlerinde tatmin edici sonuçlar vermektedir. BMKG yöntemi, en yüksek ücret sınıfındaki yolculara her zaman uçakta yer kalması için koltuk kapasitelerinin ücret sınıflarına dağılımını iç içe yapar. Yöntemin çalışma mantığını bir örnekle açıklayacak olursak, iki ücret sınıfının olduğu bir uçuş düşünelim. Sırasıyla yüksek ve düşük olarak adlandırılan bu ücret sınıfları M ve L olsun, bu ücret sınıfları için bilet fiyatları ise sırasıyla 60 ve 30 TL'dir. Yapılan talep analizleri sonucu, hava yolu şirketi M ücret sınıfı için 20, L ücret sınıfı için ise 30 tane koltuk ayırmaktadır. Fakat M ücret sınıfı için pazarda 30'dan daha fazla talep olması durumunda, bir fırsat maliyeti oluşacaktır. Bu durumda, daha pahalıya satılabilecek aynı koltuk daha düşük bir ücretle L ücret sınıfından satılmış ve M ücret sınıfı için uçakta koltuk kalmamış olacaktır. Bu durumdan kaçınmak için kapasite dağılımı iç içe gerçekleştirilir. Uçuştaki koltuk kapasitesi 50 tane M ve 20 tane L ücret sınıfı olmak üzere dağıtılır. Burada yapılan uygulama, her ücret sınıfı için kapasite belirlemek değil, kapasiteyi düşük ücret sınıflarına karşı korumaktır. Ayrıca bu yöntem ile yüksek ücret sınıfları için gelen rezervasyonlarda kapasite olduğu sürece, hiçbir rezervasyon reddedilmemiş olunur. Bu örnekteki dağılımda talep olduğu sürece 50 koltuğun tamamı M sınıfından satılabilir. Ancak 30 adet koltuk ($50 - 20 = 30$) M ücret sınıfı için ayrılmış olup, ya bu ücret sınıfından satılır ya da hiç satılmaz. Böylece 30 adet koltuk L ücret sınıfından korunmuş olur. Fakat M ücret sınıfı için 30'dan az talebin olması durumunda, koltuklar diğer sınıflardan da satılamayacağı için boş kalmış olacaktır. Bu nedenle korunacak kapasitenin iyi belirlenmesi önem arz etmektedir.

$$EMSR_i(S_i) = F_i * P(S_i) \quad (2.2)$$

Verilen sembollerin ifade ettiği nicelikler aşağıda verilmiştir.

S_i : i sınıfı için korunan daha alt sınıflardan korunan koltuk sayısı

F_i : i sınıfının fiyatı

$P(S_i)$: i sınıfı için pazardaki talebin S_i 'ye eşit olması ihtimali

BMKG, yüksek ücretli yolculara daha fazla koltuk satmak için, koltukları düşük ücretli yolculara karşı korumaya çalışır. Alt ücret sınıflarından korunan koltuk sayısı tanımlanırken, Eş. 2.2’den faydalanılır. Bu denklemin sağ tarafında bulunan i ücret sınıfının fiyatı ve i ücret sınıfından S ’inci koltuğun satılma ihtimali yer almaktadır. Sol tarafta ise i ücret sınıfından S ’inci koltuğun satılması ile beklenen marjinal gelir seviyesi bulunmaktadır. Ücret sınıfı i için pazardaki talebe ait ortalama ve standart sapma değerlerinin bilinmesi durumunda, $P(S_i)$ değeri de belirlenebilir. Bu değer, i sınıfından satış yapıldıkça yani S değeri büyüdükçe azalacaktır. Yani ücret sınıfı i ’den elde edilecek beklenen marjinal gelir seviyesi, S değeri büyüdükçe azalır. Bu değer, ücret sınıfı $i+1$ ’in fiyatının altına düştüğü noktada ise, i ücret sınıfı için daha fazla koltuk korumaya ihtiyaç yoktur. M ve L ücret sınıfından koltuk satışı yapılan bir önceki örneğe göre, M ücret sınıfı için 30 koltuk L ücret sınıfından korunmuştur. Bu 30 koltuk, sadece M ücret sınıfına satılabilmektedir. O halde M ücret sınıfından 30’uncu koltuğun satılma ihtimali ile M ücret sınıfının bilet fiyatı olan 60 TL çarpıldığında, çıkan rakam L ücret sınıfının bilet fiyatını geçmemelidir. Ancak 31’inci koltuğun satılma ihtimali ile 60 TL çarpıldığında, L ücret sınıfının bilet fiyatının altında kalmalıdır.

Daha önce de söz edildiği üzere, 1987 yılında BMKG yöntemi Belobaba tarafından geliştirilmiştir. Ardından 1992’de yeniden üzerinde çalışılarak ikinci bir BMKG modeli yine Belobaba tarafından ortaya konmuştur. 1992’deki çalışmanın ardından ilk geliştirilen yöntem BMKGa, ikincisi ise BMKGb yöntemi olarak adlandırılmıştır.

BMKGa

BMKGa yönteminde, her bir ücret sınıfının kendinden düşük tüm ücret sınıflarından koruması gereken koltuk sayısı hesaplanır. Örneğin, üç ücret sınıfı olan bir uçuş için sırasıyla en yüksekten düşüğe Y, M ve L ücret sınıfları olsun. Y, en yüksek fiyata sahip ücret sınıfı olduğundan, hem M hem de L ücret sınıfından koruması gereken koltuk sayısı denklem 2.2’ye göre hesaplanır. Daha sonra M ücret sınıfının L’den kaç koltuk koruması gerektiği, yine aynı denkleme göre hesaplanır. Bu işlemler sonucu, Y ve M’nin L ücret sınıfından koruduğu koltuk sayıları toplanır. Arz edilen koltuk sayısından bu toplam çıkartıldığında, L ücret sınıfının bu uçuş için rezervasyon limiti bulunmuş olur.

BMKGb

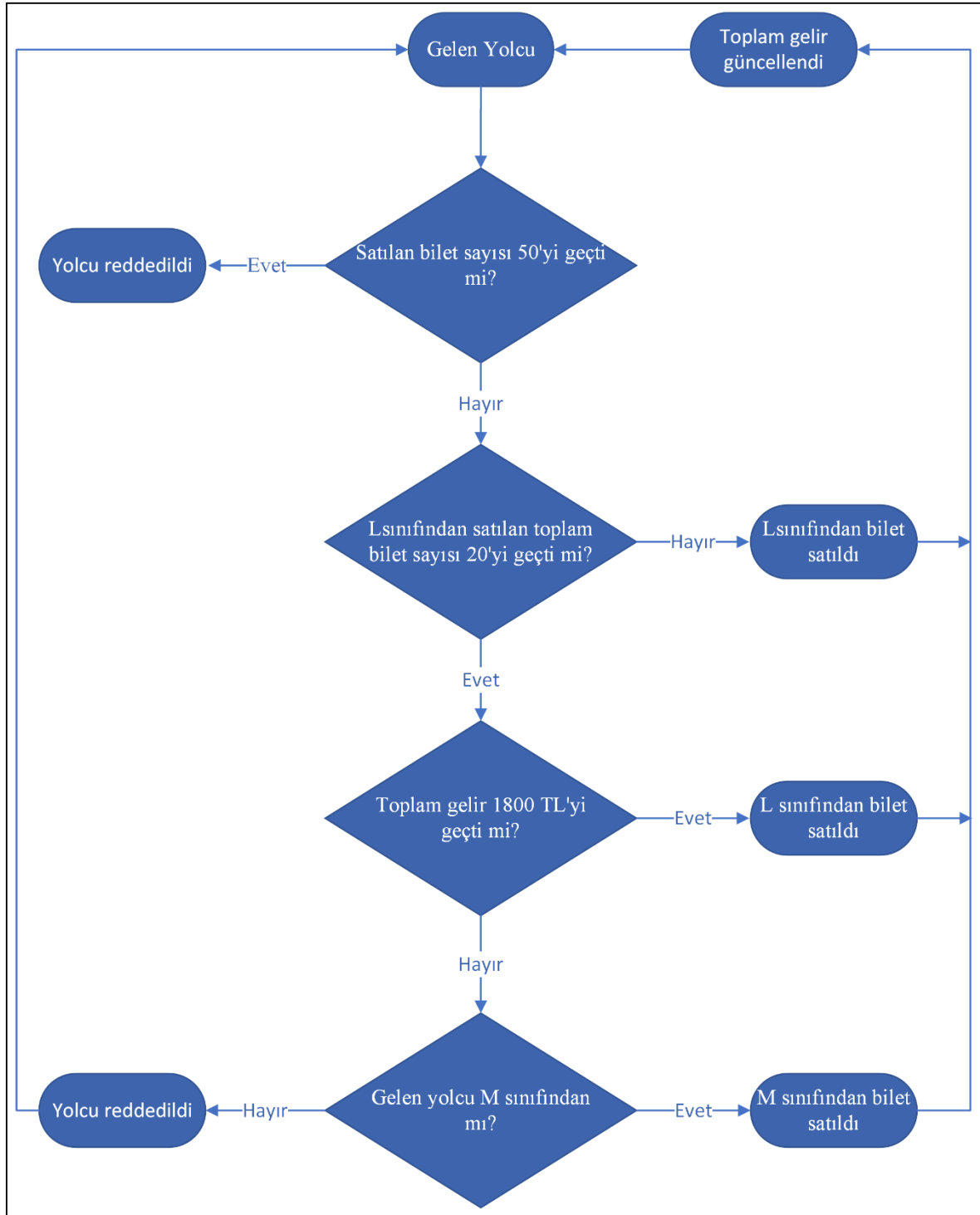
BMKGb yönteminin BMKGa'dan tek farkı, her ücret sınıfı için tüm alt ücret sınıflarına ait koltuk koruma seviyelerinin ayrı ayrı bulunmasındansa tek seferde bulunmasıdır. Yukarıda bahsedilen örnek üzerinden, Y, M ve L ücret sınıfı için bu durum şöyle açıklanabilir. Y ücret sınıfı için M ve L ücret sınıfından korunacak koltuk sayısı toplamı tek seferde hesaplanır. Bu hesaplama yapılırken, M ve L ücret sınıfının bilet fiyatlarının ortalaması alınır. Elde edilen sayı, arz edilen toplam koltuk sayısından çıkartıldığında L ücret sınıfının rezervasyon limitine de erişilmiş olunur. Böylece tüm ücret sınıfları için korunacak koltuk sayılarının bulunması daha kısa sürer.

2.2.2. Beklenen marjinal koltuk geliri-toplam gelir kontrolü metodu

Bu tez çalışmasında, BMKGtgk (Beklenen Marjinal Koltuk Geliri-Toplam Gelir Kontrolü) isimli yeni bir metot geliştirilmiştir. BMKG metodunu temel alan bu yöntem, yolcu kabul ve ret işlemlerindeki karar mekanizması bakımından, klasik BMKG metodundan bazı noktalarda ayrılmaktadır. Normalde, BMKG yöntemi yalnızca ücret seviyelerinin rezervasyon limitlerini dikkate alır. Herhangi bir ücret seviyesinden satılan koltuk sayısı rezervasyon limitine eşitse, model bu ücret seviyesinden daha fazla yolcu kabul etmez. Ayrıca, T satış süresi içinde hedeflenen seviyedeki yolcunun gelmemesi durumunda korumalı koltuklar satılmaz.

BMKG, her bir koltuk satışı için, her ücret seviyesinin beklenen gelirini hesaplar. Böylece, tüm rezervasyon limitleri ve ücretleri bilindiğinde, toplam beklenen gelir de hesaplanabilir. Sonuç olarak BMKG, tüm rezervasyon limitleri uygulandığında, hava yolu şirketine toplam bir gelir vaat etmektedir. Vaat edilen bu gelir, Eş. 2.2'de belirtilen şekilde her koltuğun marjinal gelirlerinin hesaplanarak toplanması ile elde edilir. Hava yolu şirketleri BMKG uygulayarak, hedeflenen geliri elde etmeyi amaçlar. i tarife seviyesinden S 'inci koltuğu satma olasılığına göre, BMKG her bir koltuğun beklenen gelirini verir. Bu metot kullanılarak, hava yolları bazen hedeflenen gelirden daha fazla, bazen de daha az gelir elde edebilir. Bu durum satış periyodunun performansına bağlıdır. Yüksek ücret sınıfları için korunan koltuklar, satış döneminin performansına bağlı olarak boş dahi kalabilir. Bu noktada, geliştirilen BMKGtgk metodu kullanışlı hale gelmektedir. Satış periyodu iyi gittiğinde ve gelir beklenen seviyeyi aştığında, BMKGtgk rezervasyon limiti dolduğu için

kapatılan ücret seviyelerini yeniden satmaya başlar. Daha önce, M ve L olmak üzere iki ücret sınıfına sahip uçuşta, L ücret sınıfı için 20 koltukluk bir rezervasyon limiti olduğu belirtilmişti. Geriye kalan 30 koltuk ise sadece M ücret sınıfına satılabilmekteydi. M ücret sınıfından 30 koltuk ve L ücret sınıfından ise 20 koltuk satarak elde edilecek beklenen toplam gelirin 1800 TL olduğu varsayılırsa, bu durumda M ücret sınıfına 30 koltukluk koruma seviyesinin uygulanması ve tüm koltukların satılması durumunda, BMKG'nin hava yolu şirketine 1800 TL kazandırması beklenmektedir (Eş. 2.2 ile her koltuğun marjinal geliri hesaplanıp bu sayılar toplandığında elde edilen gelir 1800 TL'dir). Öte yandan, M ücret sınıfından 20 koltuk ve L ücret sınıfından 20 koltuk satıldığında ($30 \cdot 20 + 20 \cdot 20 = 1800$ TL) bu hedefe zaten ulaşılır. Bu noktadan sonra BMKG'in vaat ettiği gelir elde edildiğinden rezervasyon limiti dolduğu için, daha önce satışa kapatılmış olan L ücret sınıfının tekrar satışa açılması mantıklıdır. Hedeflenen toplam gelir, rezervasyon limitinden önce elde edildiğinde, satış döneminin beklenenden daha iyi geçtiği anlamına gelir. Ancak bu, satış döneminin ilerleyen kısımlarında da iyi geçeceği anlamına gelmemektedir. Bu nedenle uçakta boş koltuk kalma riskini almamak için, satışa kapatılmış olan ücret seviyesi yeniden açılabilir. Böylelikle, M sınıfı için ayrılmış olan 30 koltuğun bu ücret sınıfından yeterli yolcu gelmemesi durumunda boş kalması riski de azalır. Aynı zamanda düşük ücret sınıflarına satılan bilet de artacağından, bu yolculara da bilet satın almak için daha fazla fırsat verilmiş olur. Verilen bu örneğe göre BMKGtgk'nin akış şeması Şekil 2.1'de verilmiştir. Algoritmanın matematiksel açıklaması ise Eş. 2.3'te yer almaktadır.



Şekil 2.1. BMKGtgk akış şeması

Eğer $\sum_{i=1}^m F_i * b_i \geq \sum_{j=1}^m EMSR_{ji}$ & $\sum_{i=1}^m b_i \geq n_i$ ise, $a_i > n_i$ (2.3)

Verilen sembollerin ifade ettiği nicelikler aşağıda verilmiştir.

b_i : i sınıfından satılan toplam bilet sayısı

F_i : i sınıfının fiyatı

m : ücret sınıfı sayısı

$EMSR_{ji}$: Toplam elde edilmesi beklenen gelir

n_i : i ücret sınıfının rezervasyon limiti (iç içe limit)

a_i : i ücret sınıfının yeni rezervasyon limiti

BMKGtgk, rezervasyon limitlerini kendi algoritmasına göre hesaplayan bir metot değildir. Bu metot, başka bir BMKG modelinden alınan rezervasyon limitlerine ve BMKG değerlerine göre çalışmaktadır. Örneğin, BMKGb kullanılarak rezervasyon limitleri ve her koltuk satışı için BMKG değerleri belirlenir. Bu değerler üzerinden satış periyodu başlatılır. Satış periyodunda müşterileri kabul ederken, hem BMKGb'nin her ücret sınıfı için belirlediği rezervasyon limitlerine uyulur, hem de hedeflenen toplam gelir seviyeleri gözetilir. Her satıştan önce rezervasyon limitleri kontrol edilir ve rezervasyon limiti aşılmadıysa yolcu kabul edilir. Rezervasyon limiti aşıldıysa, hedeflenen toplam gelir seviyesi kontrol edilir. Toplam gelir hedeflenen gelire eşit ya da ondan büyükse, yolcu yine kabul edilir. Her iki şart aynı anda sağlanmazsa, bu durumda yolcu reddedilir.

3. SAYISAL ÖRNEKLER

3.1. Toplam Gelir Sınırları Yöntemi: Sayısal Örnek

Bu bölümde, geliştirilen TGS yöntemi bir problem çözümü ile gösterilmiştir. Aynı problemin literatürde bulunan üç farklı BMKG yöntemi olan, BMKGa, BMKGb ve BMKGc metotları ile karşılaştırılmıştır. BMKGa ve BMKGb'nin Belobaba tarafından 1987 ve 1992 yıllarında geliştirilmiş yöntemler olduğundan daha önce söz edilmişti. BMKGc ise Tavana ve Weatherford (2017) tarafından geliştirilen bir yöntemdir. Tavana ve Weatherford (2017) çalışmalarında, BMKGc'nin BMKGa ve BMKGb'den belirli koşullar altında daha iyi performans sergilediğini belirtmişlerdir. Geliştirilen TGS yöntemi ve karşılaştırmada kullanılan BMKGa, BMKGb ve BMKGc yöntemleri C# dilinde kodlanmış ve Microsoft Visual Studio Express 2015 kullanılarak çözümleri elde edilmiştir. Simülasyonlar, Intel i5 işlemcili, 2,50 GHz CPU kapasiteli ve 8 GB RAM'e sahip dizüstü bilgisayar üzerinde çalıştırılmıştır.

Karşılaştırmada kullanılan problemde, toplamda dört farklı ücret sınıfı bulunmaktadır. Bu ücret sınıflarının hepsinde talep normal dağılıma sahiptir. Uçuş için arz edilen koltuk sayısı 150'dir. Giriş bölümünde belirtildiği üzere, problem tek bacak uçuş için, fazla rezervasyon, grup rezervasyon ve bilet iptali durumları göz ardı edilerek çözülecektir. Ayrıca pazardaki talep yapısı kısıtlı (restricted) olarak kabul edilmiştir. Bu talep yapısına göre, her müşteri kendi ücret sınıfı neyse bileti o ücret sınıfından alır. Bunun tam tersi olan sınırsız (unrestricted) talep yapısında ise, her müşteri satışta olan en düşük ücretli bileti almaktadır. Bu iki talep yapısı Boyd ve Kallasen (2004) tarafından uygun fiyatlı (priceable) ve kolay bozulan (perishable) olarak adlandırılmıştır. Tavana ve Weatherford (2017) ise kısıtlı (restricted) ve sınırsız (unrestricted) şeklinde isimlendirmeyi tercih etmişlerdir.

Çizelge 3.1. TGS problemi ücret sınıfları ve bilet fiyatları

Ücret sınıfı	Bilet fiyatı
Y	500
B	420
M	290
Q	125

Çizelge 3.1’de ele alınacak problemde kullanılan dört farklı ücret sınıfı ve bu sınıflara ait bilet fiyatları TL cinsinden verilmiştir. Çizelge 3.2’de ise, ücret sınıflarına ait normal dağılım değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. TGS problemi ücret sınıfları için ortalama talep ve standart sapma değerleri

Ücret sınıfı	Ortalama talep	Standart sapma
Y	16,5	5,6
B	44,2	15
M	35,1	11,2
Q	55,0	9,3

Ele alınan problemde, dört farklı ücret sınıfı olduğu için, kontrol noktası sayısı üç olacaktır. İlk kontrol noktası, $t = 140$ ’ta gerçekleştirilecektir ve toplam gelir seviyesi kontrolü 42 000 TL ile yapılacaktır. $t = 140$ zamanı ve toplam 42 000 TL değeri deneme yanılma yöntemi ile bulunmuştur. İkinci ve üçüncü kontrol noktaları $t = 150$ ve $t = 160$ üzerinde bulunur. İkinci ve üçüncü kontrol noktaları için toplam gelir kontrolü seviyeleri 10 koltuktan elde edilebilecek yaklaşık gelirine göre hesaplanmıştır. 10 koltuğun ilave satışından elde edilen gelir, 42 000 TL’nin üzerine eklenmiştir. Daha sonra, limitler sistematik olarak artırılarak deneme yanılma yoluyla en uygun toplam gelir seviyeleri bulunmuştur. Sonunda, gelir limitleri birinci, ikinci ve üçüncü kontrol noktaları için sırasıyla 42 000 TL, 45 000 TL ve 49 000 TL olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.3. TGS probleminin sonuçları

Metot	Ortalama gelir	Maksimum gelir	Minimum gelir
TGS	45 623,25 TL	53 860,00 TL	35 380,00 TL
BMKGa	45 494,75 TL	53 860,00 TL	33 005,00 TL
BMKGb	45 571,50 TL	53 860,00 TL	30 825,00 TL
BMKGc	44 978,00 TL	51 810,00 TL	29 190,00 TL

Çizelge 3.4 TGS probleminin standart sapma sonuçları

Metot	Standart sapma
TGS	4 079,21
BMKGa	5 174,81
BMKGb	5 151,45
BMKGc	5 594,84

Verilen talep dağılımları (Bkz. Çizelge 3.2) doğrultusunda, 20 farklı senaryo oluşturulmuştur. Her senaryo, teker teker tüm metotlar için çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3.3'te verilmektedir. Çizelge 3.3'te görüldüğü gibi, önerilen TGS yöntemi diğer metotlara göre genel olarak daha iyi bir sonuç vermektedir. Ortalama gelir ve minimum gelir seviyelerinde tek başına en iyi sonucu vermiştir. Maksimum gelirden ise, en iyi sonucu veren üç metottan biri olmuştur. Çizelge 3.4'te ise standart sapma değerleri verilmiş olup, en düşük sapmanın TGS'de olduğu görülmüştür. Problemin çözümünde 20 senaryo sonucu diğer metotlara üstünlüğü gözlemlenebildiğinden daha fazla senaryo üzerinde denenmesi gerekli görülmemiştir.

3.2. BMKGtgk Sayısal Örnekler

Bu bölümde BMKGtgk'nin, BMKGa, BMKGb ve BMKGc'ye göre performansını görmek için üç adet örnek problem çözülmüştür. Burada ele alınan problemler, Tavana ve Weatherford (2017) tarafından yapılan çalışmadan alınmıştır. Tıpkı Tavana ve

Weatherford'un problemlerinde olduğu gibi talep tipi sınırsız (unrestricted) olarak kabul edilmiştir. Geliştirilen BMKGtgk yöntemi ve karşılaştırmada kullanılan tüm metotlar C# dilinde kodlanmış ve Microsoft Visual Studio Express 2015 kullanılarak çözümleri yapılmıştır. Her problemde, talep dağılımlarına göre ortaya çıkarılmış 20 farklı senaryo, her bir BMKG metodu için birer kez çalıştırılmıştır. Önceki örnekte olduğu gibi her metot 20'şer kez çalışmış, her çalışmasında farklı bir senaryo için sonuçlar kaydedilmiştir.

3.2.1. Birinci Problem

Literatürden alınan birinci problemde, toplam 2 adet farklı ücret sınıfı bulunmaktadır. Ücret sınıfları ile alakalı veriler, Çizelge 3.5'te verilmiştir. Satışa arz edilen koltuk sayısı 50'dir.

Çizelge 3.5. BMKGtgk için birinci probleme ilişkin veriler

Ücret sınıfı	Ortalama talep	Standart sapma	Bilet fiyatı
Y	16,5	5,6	500
B	44,2	15,0	300

Daha önce bahsedildiği gibi, BMKGtgk rezervasyon limitlerinin belirlenmesi için farklı bir BMKG metodundan yararlanır. Bu sebeple, problem çözümlerinde üç farklı BMKG modeline karşılık gelecek şekilde, üç farklı BMKGtgk versiyonu kullanılmıştır. Birinci problemde sadece iki adet ücret sınıfı bulunduğu için, BMKGa ve BMKGb metotlarının rezervasyon limitleri aynıdır. Bu nedenle bu problemde, BMKGtgk için BMKGtgk-(a/b) ve BMKGtgk-(c) olmak üzere iki adet metot ile problem çözümü yapılmıştır. Her metodun, 20 farklı senaryo ile çalıştırılması sonucu elde edilen gelir seviyeleri Çizelge 3.6'da verilmiştir. Sonuçlara göre, ortalama gelir değeri ve minimum gelir değeri kategorisinde en iyi metot olarak BMKGtgk-(a/b) olmuştur. Maksimum gelirden ise, en iyi performansı BMKGc göstermiştir. BMKGtgk metotları maksimum gelirden en düşük iki sonucu vermişlerdir. Çizelge 3.7'de ise her yöntemin standart sapma sonuçları verilmiş olup, en az sapmanın BMKGtgk-(a/b)'de olduğu gözlemlenmektedir.

Çizelge 3.6. BMKGtgk birinci problemin sonuçları

Metot	Ortalama gelir	Maksimum gelir	Minimum gelir
BMKGa	14 750,00 TL	18 600,00 TL	10 100,00 TL
BMKGb	14 750,00 TL	18 600,00 TL	10 100,00 TL
BMKGc	14 700,00 TL	19 000,00 TL	10 000,00 TL
BMKGtgk-(a/b)	15 100,00 TL	18 000,00 TL	11 100,00 TL
BMKGtgk-(c)	14 550,00 TL	18 200,00 TL	10 500,00 TL

Çizelge 3.7. BMKGtgk birinci problemin standart sapma sonuçları

Metot	Standart sapma
BMKGa	2 806,69
BMKGb	2 806,69
BMKGc	2 502,00
BMKGtgk-(a/b)	2 487,17
BMKGtgk-(c)	2 665,99

3.2.2. İkinci Problem

Ele alınan ikinci problemde, altı adet ücret sınıfı vardır. Ücret sınıfları bu problemde harflerle değil rakamlarla ifade edilmektedir. En yüksek fiyata sahip ücret sınıfı 1, en düşük fiyata sahip ücret sınıfı ise 6'dır. Ücret sınıflarına ait parametreler Çizelge 3.8'de verilmiştir. Satışa sunulan koltuk sayısı bu problem için 65'tir. Bu problem için, Tavana ve Weatherford (2017) satış dönemini dört alt rezervasyon dönemine ayırmıştır. Gelen yolcuların ücret seviyelerine göre yüzdeleri, her alt rezervasyon döneminde farklılık göstermektedir. Yolcuların geliş talep dağılımı Çizelge 3.9'da verilmiştir. Örneğin, 1. ve 2. ücret sınıfından hiçbir müşteri ilk alt rezervasyon döneminde gelmemektedir. Öte yandan 6. ücret sınıfındaki müşterilerin %70'i ilk rezervasyon döneminde gelmektedirler.

Çizelge 3.8. BMKGtgk için ikinci probleme ait veriler

Ücret sınıfı	Ortalama talep	Standart sapma	Bilet fiyatı
1	10,9	3,5	1333
2	19,9	6,7	920
3	7,9	2,5	725
4	7,2	2,4	602
5	14,1	4,4	504
6	47,9	15,5	416

Çizelge 3.9. BMKGtgk için ikinci problemin talep geliş dağılımı

	Rezervasyon alt dönemi			
Ücret sınıfı	1	2	3	4
1	%0	%0	%20	%80
2	%0	%5	%30	%65
3	%20	%25	%30	%25
4	%25	%25	%25	%25
5	%60	%35	%5	%0
6	%70	%30	%0	%0

Modellerin çalıştırılması ile ikinci probleme ait sonuçlar Çizelge 3.10’da bulunabilir. Çizelge 3.10’daki sonuçlara göre, ortalama, maksimum ve minimum gelir kategorilerinin hepsinde en iyi performansların tümü önerilen BMKGtgk metotlarına aittir. Çizelge 3.11’de ise her metoda ait standart sapma değerleri verilmiş olup, en düşük sapmanın BMKGtgk-(a) metodunda olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.10. BMKGtgk ikinci problemin sonuçları

Metot	Ortalama gelir	Maksimum gelir	Minimum gelir
BMKGa	41 052,40 TL	48 168,00 TL	32 491,00 TL
BMKGb	41 744,40 TL	47 987,00 TL	32 216,00 TL
BMKGc	41 389,00 TL	49 617,00 TL	31 687,00 TL
BMKGtgk-(a)	41 883,40 TL	46 104,00 TL	36 266,00 TL
BMKGtgk-(b)	41 303,50 TL	47 477,00 TL	31 254,00 TL
BMKGtgk-(c)	41 682,00 TL	49 630,00 TL	35 286,00 TL

Çizelge 3.11. BMKGtgk ikinci problemin standart sapma sonuçları

Metot	Standart sapma
BMKGa	3 544,65
BMKGb	4 192,02
BMKGc	4 333,41
BMKGtgk-(a)	3 381,34
BMKGtgk-(b)	4 389,38
BMKGtgk-(c)	4 450,30

3.2.3. Üçüncü Problem

Son problemde sekiz adet ücret sınıfı bulunmaktadır. Ücret sınıfları ile ilgili parametreler Çizelge 3.12’de verilmiştir. İkinci problemde olduğu gibi bu problem için de satışa arz edilen koltuk sayısı 65’tir. Yine ikinci probleme benzer şekilde, satış dönemi dört alt döneme ayrılmıştır. Talep geliş dağılımı Çizelge 3.13’de verilmiştir.

Çizelge 3.12. BMKGtgk için üçüncü probleme ait veriler

Ücret sınıfı	Ortalama talep	Standart sapma	Bilet fiyatı
1	10	5	1000
2	8	3	800
3	22	12	550
4	30	12	450
5	40	20	300
6	35	18	200
7	15	6	160
8	10	1	120

Çizelge 3.13. BMKGtgk üçüncü problemin talep geliş dağılımı

	Rezervasyon alt dönemi			
Ücret sınıfı	1	2	3	4
1	%2	%8	%20	%70
2	%10	%20	%30	%40
3	%20	%25	%30	%25
4	%30	%30	%20	%20
5	%40	%35	%15	%10
6	%50	%40	%10	%0
7	%60	%35	%5	%0
8	%70	%30	%0	%0

Üçüncü probleme ait elde edilen sonuçlar Çizelge 3.14’te verilmiştir. Bir kez daha en iyi gelir seviyelerinin tamamı BMKGtgk metotlarına aittir. Üç problemin sonuçlarında da açıkça görülmektedir ki BMKGtgk diğer tüm BMKG metotlarından gelir seviyesi olarak

daha iyi sonuçlar vermektedir. Çizelge 3.15’te de standart sapma değerleri verilmiş olup, en düşük sapmanın BMKGtgk-(a) metodunda elde edildiği görülmektedir.

Çizelge 3.14. BMKGtgk üçüncü problemin sonuçları

Metot	Ortalama gelir	Maksimum gelir	Minimum gelir
BMKGa	32 290,00 TL	36 650,00 TL	23 650,00 TL
BMKGb	31 805,00 TL	37 300,00 TL	20 400,00 TL
BMKGc	31 017,50 TL	36 650,00 TL	20 600,00 TL
BMKGtgk-(a)	31 565,00 TL	32 550,00 TL	24 250,00 TL
BMKGtgk-(b)	32 335,00 TL	34 250,00 TL	22 200,00 TL
BMKGtgk-(c)	30 925,00 TL	37 650,00 TL	21 450,00 TL

Çizelge 3.15. BMKGtgk üçüncü problemin standart sapma sonuçları

Metot	Standart sapma
BMKGa	3 477,13
BMKGb	4 340,91
BMKGc	3 650,90
BMKGtgk-(a)	2 054,33
BMKGtgk-(b)	2 950,85
BMKGtgk-(c)	4 125,64



4. TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında, HGY’nde ücret sınıfı karması problemi için kolayca anlaşılabilir, uygulanabilir; karmaşık işlemler ve gerçek hayat problemleri için büyük ve güçlü bilgisayar kaynakları gerektirmeyen iki adet metot geliştirilmiştir. Bu iki metodun tüm bu avantajlarla beraber, gelir en büyükleme konusunda da performanslı olmaları bakımından geliştirilme amaçlarına ulaştıkları söylenebilir. Geliştirilen ilk metot olan TGS, koltuk rezervasyon limitini göz ardı ederek toplam gelire odaklanmaktadır. Geliştirilen ikinci metot olan BMKGtgk ise, hem koltuk rezervasyonlarını hem de toplam geliri gözeterek, en iyi gelir seviyesini elde etmeye çalışmaktadır. Genel olarak iki metodun da yapmaya çalıştığı şey toplam elde edilen geliri de gözden kaçırmayarak uçaktaki boş koltukları daha iyi doldurabilmektir. Çünkü her iki yöntem de daha fazla talebe sahip olan alt ücret sınıflarına daha fazla bilet satın alma imkânı vermektedir.

Her iki metot için çözülen örnek problemlerde, doluluk oranı bakımından bir değerlendirme yapıldığında, karşılaştırıldıkları literatürde en yaygın olarak kullanılan diğer üç yöntemle göre daha iyi performans gösterdikleri görülmüştür. Koltuk doluluk oranları ile ilgili bilgiler önerilen yöntemlere göre sırasıyla Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilmektedir. Unutulmamalıdır ki, uçaktaki 1 TL’ye satılan koltuk boş bir koltuktan çok daha karlıdır.

Çizelge 4.1. TGS problemi için doluluk oranları

Metot	Ortalama doluluk oranı
TGS	%99,93
BMKGa	%93,8
BMKGb	%98,33
BMKGc	%87,73

Çizelge 4.2. BMKGtgk problemlerindeki doluluk oranları

Metot	Birinci problemdeki doluluk oranı	İkinci problemdeki doluluk oranı	Üçüncü problemdeki doluluk oranı
BMKGa	%84,6	%91,7	%92,8
BMKGb	%84,6	%89,4	%88,8
BMKGc	%82,8	%87,3	%84,8
BMKGtgk-(a)	%86,8	%94,5	%98,0
BMKGtgk-(b)	%86,8	%91,5	%95,9
BMKGtgk-(c)	%83,0	%89,2	%87,9

Doluluk oranlarına bakıldığında BMKGtgk'nin %98'e varan bir doluluk oranı yakaladığı görülmektedir. Her üç problem için metotların elde ettikleri ortalama doluluk oranları hesaplandığında ise en iyi sonucu BMKGtgk-(a) vermektedir. Sonuç olarak hem hava yolu şirketine daha iyi gelir elde ettiren, hem de düşük ücret sınıflarındaki yolculara daha fazla hizmet verebilen bir metodun elde edildiği söylenebilir.

Çalışma kapsamında çözülen problemlerde araştırma sınırlarını belirlemek için bazı varsayımlarda bulunulmuştur ve belirli koşullar izlenmiştir. Bunlardan bazıları normal dağılımlı ve bağımsız talep; rezervasyon iptali ve grup rezervasyonların yok sayılmasıdır. Bu varsayımlardan bazıları ele alınan problemi gerçek hayattan uzaklaştırmaktadır. Ayrıca, gerçek hayatta ücret sınıfı karması probleminin çok daha fazla parametresi olması (piyasa koşulları, rekabet, tüketici davranışları ve hatta pandemi) da ele alınan problemlerin gerçeği ne kadar yansıttığı konusunda bazı soru işaretlerine yol açabilir.

Literatürde, HGY problemlerine daha iyi çözümler elde etmek için koşulların daha gerçekçi hale getirilmesine işaret eden çalışmalar bulunmaktadır. Weatherford ve Ratliff (2010), HGY yöntemlerinin başarısı için bağımlı talebin öneminden bahsetmektedir. Ücret seviyelerinin talep bağımlılığını dikkate almanın BMKG rezervasyon limitlerinin sonucunu değiştirdiğini bu çalışmalarında belirtmişlerdir. Makalelerinde, Gallego, Li ve Ratliff'in (2009) çalışmasının bir sonucu olarak, bağımlı talep gelir yönetimi araçlarının sürekli olarak %5'ten fazla gelir iyileştirmesi sağladığına değinmişlerdir. Öte yandan bu tez

çalışmasında, ücret sınıflarının taleplerinin birbirinden bağımsız olduğu varsayımı bulunmaktadır.

Başka bir tartışma, HGY için talep tahmini ile ilgilidir. Bu çalışmada talep dağılımı normal dağılım olarak kabul edilmiştir. Ancak literatürde talep tahmini ile ilgili gerçek hayat problemlerini daha iyi temsil edebilecek çalışmalar mevcuttur. Gautam, Nayak ve Shebalov (2021), makalelerinde talep tahmininin önemi ve geçerliliğinden bahsetmektedir. Sadece hava yollarının geçmişe dönük talep verilerini değil, aynı zamanda talep tahmini için pazar büyüklüğü ve pazar payı gibi diğer boyutları da dikkate almanın önemine dikkat çekmişlerdir. Talep tipi olarak literatürde tanımlanan sınırlı ve sınırsız talep tipinden ise TGS problemi için sınırlı, BMKGtgk problemleri için ise sınırsız talep tipi seçilmiştir. Ancak Tavana ve Weatherford (2017) yaptıkları çalışmada gerçek hayattaki talebin bu iki durumun ortası olduğunu belirtmişlerdir. Öyleyse çözülen problemlerdeki talep tipinin gerçek hayatı tam anlamıyla temsil ettiği de söylenemez. Sonuç olarak, gerçek hayata daha iyi benzetim yapmak için bu tez çalışmasındaki problemlerin koşulları değiştirilebilir. Ancak bu çalışmanın amacı, problemin anlaşılmasını, ele alınmasını ve çözülmesini kolaylaştırmaktır. Daha sonraki çalışmalarda aynı algoritma daha gerçekçi problemlerle değerlendirilebilir.



5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında HGY alanındaki ücret sınıfı karması problemi üzerinde durulmuştur. Bu problem, tek uçuş bacağı için hava yolu tarafından satışa arz edilen koltukların, birden fazla ücret sınıfı arasında en uygun şekilde dağıtılması ile alakalıdır. Bu kapsamda, öncelikle literatürdeki çalışmalar incelenmiş ve kullanılan başlıca metotlar bütçe altına alınmıştır. Ardından, oldukça karmaşık bir hale gelebilen bu problem için anlaşılması ve uygulanması kolay ve az maliyetli yöntemler üzerinde durulmuştur.

Sonuç olarak, HGY literatürüne katkı sağlayan TGS ve BMKGtgk isminde iki tane sezgisel metot geliştirilmiş, matematiksel ve mantıksal açıklamaları yapılmış ve denenmiştir. Çözülen problemlerle alakalı sonuçlar tez içerisinde açıkça verilmiş, literatürde çokça yer alan bir metot olan BMKG'nin üç çeşidi ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Böylelikle dünya literatüründe 1970'lerden bugüne birçok çalışma yapılan HGY literatürünün geliştirilmesine katkı sağlanmıştır.

Çözülen problemler sonucunda, TGS ve BMKGtgk'nin karşılaştırıldıkları yöntemlerden daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Hatta karşılaştırmanın daha adil olması açısından BMKGc metodunun geliştirildiği çalışmadaki (Tavana ve Weatherford, 2017) örnekler direkt kullanılmıştır. Tartışma bölümünde, yapılan çalışmanın daha objektif ve bilimsel olması açısından tez içerisindeki varsayımlar tartışılmıştır. Literatürdeki farklı çalışmalardan alınan farklı sonuçlar da irdelenerek bu tezdeki çalışmaların literatür içerisindeki konumlandırılması yapılmaya çalışılmıştır.

Geliştirilen her iki yöntemin açıkça anlatılması ve örneklerle somutlaştırılması; çalışmanın lisans, yüksek lisans ve doktora seviyesindeki tüm öğrenciler tarafından kolayca anlaşılabilmesine olanak sağlamıştır. Böylece TGS ve BMKGtgk'nin literatürdeki geçerliliği ve yaygınlığı da artırılmış olacaktır.

BMKGtgk üçüncü problemin standart sapma sonuçları devamı olarak, geliştirilen yöntemlerin diğer efektif HGY metotları ile karşılaştırmaları yapılabilir. Aynı zamanda, bu tez çalışmasında yapılan varsayımlardan bazıları değiştirilerek, farklı koşullar altında TGS ve BMKGtgk'nin davranışları irdelenebilir.



KAYNAKLAR

- Aslani, S., Madarres, M., and Sibdari, S. (2014). On the Fairness of Airlines' Ticket Pricing As a Result of Revenue Management Techniques. *Journal of Air Transport Management*, 40, 56-64.
- Banciu, M, Odegaard, F and Stanciu, A. (2019). Distribution-Free Bounds for the Expected Marginal Seat Revenue Heuristic with Dependent Demands. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 18(2), 155-163.
- Barz, C., and Waldmann, K.-H. (2007). Risk-Sensitive Capacity Control in Revenue Management. *Mathematical Methods and Operations Research*, 65(3), 565-579.
- Belobaba, P. (2009). Fundamentals of Pricing and Revenue Management. In P. Belobaba, A. Odoni, and C. Barnhart (Eds), *The Global Airline Industry*. Chichester: A John Wiley and Sons, 73-151
- Belobaba, P. (2015). Airline Revenue Management. In P. Belobaba, A. Odoni, and C. Barnhart (Eds.), *The Global Airline Industry*. Chichester: A John Wiley & Sons, 99-125
- Belobaba, P. (1987). Airline Yield Management An Overview of Seat Inventory Control. *Transportation Science*, 21(2), 63-73.
- Belobaba, P. (1992, January). *Optimal vs. Heuristic Methods for Nested Seat Allocation*. Paper presented at the Agifors Yield Management Study Group, Brussels.
- Boyd, E. A., and Kallasen, R. (2004). Practice Papers: The Science of Revenue Management When Passengers Purchase the Lowest Available Fare. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 3(2), 171-177.
- Buyruk, M., and Güner, E. (Baskıda). Personalization in Airline Revenue Management: An Overview and Future Outlook. *Journal of Revenue and Pricing Management*.
- Devlet Hava Meydanları İşletmesi. (2020). 2019 Faaliyet Raporu, *DHMI*, Ankara, 133-136.
- Fiig, T., Isler, K., Hopperstad, C., and Belobaba, P. (2010). Optimization of Mixed Fare Structures. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 9(1-2), 152-170.
- Gallego, G., Li, L., and Ratliff, R. M. (2009). Choice-based EMSR Methods for Single-Leg Revenue Management with Demand Dependencies. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 8(2-3), 207-240.
- Gautam, N., Nayak, S., and Shebalov, S. (2021). Machine Learning Approach to Market Behavior Estimation. *Journal of Pricing and Revenue Management*, 20(3), 344-350.
- Gönsch, J., Koch, S., and Steinhardt, C. (2013). An EMSR-based Approach for Revenue Management with Integrated Upgrade Decisions. *Computers & Operations Research*, 40(10), 2532-2542.

- Huang, K., and Chang, K.-C. (2011). A Model for Airline Seat Control Considering Revenue Uncertainty and Risk. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 10(2), 161-171.
- Koenig, M., and Meissner, J. (2016). Risk Minimizing Strategies for Revenue Management Problems with Target Values. *Journal of the Operational Research Society*, 67(3), 402-411.
- Littlewood, K. (1972, October). *Forecasting and Control of Passenger Bookings*. Paper presented at the Twelfth Annual AGIFORS Symposium, Nathanya.
- Lee, T. and Hersh, M. (1993). A Model for Dynamic Airline Seat Inventory Control with Multiple Seat Bookings. *Transportation Science*, 27(3), 252-265.
- Luo, Y., Yan, H., and Zhang, S. (2020). Simulation-based Integrated Optimization of Nesting Policy and Booking Limits for Revenue Management. *Computers & Industrial Engineering*, 150, 1-15.
- Seo, D.-W., Chang, K., Cheong, T., and Baek, J.-G. (2021). A Reinforcement Learning Approach to Distribution-Free Capacity Allocation for Sea Cargo Revenue Management. *Information Science*, 571, 623-648.
- Shibab, S. A., and Wei, P. (Baskida). A Deep Reinforcement Learning Approach to Seat Inventory Control for Airline Revenue Management. *Journal of Revenue and Pricing Management*.
- Talluri, K., and van Ryzin, G. (1998). An Analysis of Bid-Price Controls for Network Revenue Management. *Management Science*, 44(11), 1577-1593.
- Tavana, H., and Weatherford, L. (2017). Application of an Alternative Expected Marginal Seat Revenue Method (EMSRc) in Unrestricted Fare Environments. *Journal of Air Transport Management*, 62, 65-77.
- Topaloğlu, H. (2008). A Stochastic Approximation Method to Compute Bid Prices in Network Revenue Management Problems. *Inform Journal on Computing*, 20(4), 596-610.
- Topaloğlu, H. (2009). Using Lagrangian Relaxation to Compute Capacity-Dependent Bid Prices in Network Revenue Management. *Operations Research*, 57(3), 637-649.
- Weatherford, L. (2004). EMSR versus EMSU: Revenue or Utility? *Journal of Revenue and Pricing Management*, 3(3), 277-284.
- Weatherford, L. R., and Ratliff, R. M. (2010). Review of Revenue Management Methods. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 9(9), 326-340.
- Williamson, E. L. (1992). *Airline network seat inventory control: methodologies and revenue impacts* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology, 1992). Dissertation Abstracts International, 92, 28030370.

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.







GAZİ GELECEKTİR..