

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAVACILIK SEKTÖRÜNDE İKRAM YÜKLEME PLANLARININ VE İKRAM
YÜKLEME LOKASYONLARININ OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seren Bilge YILMAZ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doktor Öğretim Üyesi Eda YÜCEL

AĞUSTOS 2019

Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

.....
Prof. Dr. Osman EROĞUL
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığımı onaylarım.

.....
Prof. Dr. Tahir HANALIOĞLU
Anabilimdalı Başkanı

TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 171311011 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Seren Bilge Yılmaz**'ın ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "**HAVACILIK SEKTÖRÜNDE İKRAM YÜKLEME PLANLARININ VE İKRAM YÜKLEME LOKASYONLARININ OPTİMİZASYONU**" başlıklı tezi **1 Ağustos 2019** tarihinde aşağıda imzaları olan jüri tarafından kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Eda YÜCEL**
TOBB Ekonomik ve Teknoloji Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Nilgün Fescioğlu ÜNVER**
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin TUNÇ
Ankara Sosyal Bilimler Üniversitesi

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Seren Bilge Yılmaz

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HAVACILIK SEKTÖRÜNDE İKRAM YÜKLEME PLANLARININ VE İKRAM YÜKLEME LOKASYONLARININ OPTİMİZASYONU

Seren Bilge Yılmaz

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Eda Yücel

Tarih: Ağustos 2019

Havayolları, ücretsiz veya ücretli olarak servis edilen ve uçuş sırasında uçuş süresine bağlı olarak değişen ikram hizmetleri sunar. Bu ikramlar, havayolu şirketleri ile anlaşması olan gıda dağıtım şirketleri tarafından hazırlanır ve tercihen uçuştan hemen önce uçağa yüklenir. Ancak, yükleme işlemi zaman ve işgücü gerektirdiğinden, her uçuştan hemen önce o uçuşun kalkış havalimanında yeterli miktarda ikram bulundurmaya maliyetli olmaktadır. Bu nedenle, havayolu şirketleri önceden belirlenmiş havalimanlarında ikram yüklemesi gerçekleştirmektedir. Genel olarak, yükleme noktaları (havaalanları) normal veya çapraz olmak üzere iki çeşittir. Normal yükleme noktalarında ikramlar uçaklara sadece yükleme maliyeti içerecek şekilde doğrudan yüklenebilmektedir. Çapraz yükleme noktalarında ise, ikramların yükleme işleminden önce bir normal yükleme noktasından taşınması gerektiğinden çapraz yükleme noktalarında yükleme yapıldığında ek taşıma maliyeti oluşmaktadır. Uçaklar bir uçuşta sonraki uçuşlarına ait ikramları da taşıyabilmektedir ancak taşınabilecek toplam ikram miktarı uçak kapasitesine ve ikramların raf ömrüne bağlıdır ve uçuşun yakıt maliyetini artırmaktadır. Uçuş planı dinamik olarak değiştiğinden; havayolları, belirlenen uçuş planına ve her uçuşta tüketilecek tahmini ikram miktarına bağlı olarak,

her sezondan önce normal ve çapraz yükleme noktalarını belirler. Bu çalışmada, belirli bir planlama çevreni için verilen uçuş planı ve her ikram türü için uçuşlardaki tahmini talep miktarları için normal ve çapraz yükleme noktalarının belirlenmesi ve sezonluk ikram yükleme planlarının hazırlanması problemi ele alınmaktadır. Amaç; uçuşlar için tahmini talep tam olarak karşılanacak şekilde, normal ya da çapraz yükleme noktası açma maliyetlerini, ikram yükleme maliyetlerini, çapraz yükleme için nakliye maliyetlerini ve uçak yakıt maliyetlerini içeren toplam operasyonel maliyetleri en küçükmektir. Problemden, uçak ikram kapasiteleri ve her bir ikram çeşidinin raf ömrü dikkate alınmalıdır. Çalışmamız kapsamında, öncelikle problem için bir karma tamsayı programlama formülasyonu geliştirilmiştir. Fakat problem boyutu büyüdükçe, matematiksel formülasyon ile makul sürede iyi çözümler elde etmek mümkün olmadığından dolayı, gerçek boyutlu problem örneklerini çözmeye yönelik olarak tabu arama algoritmasına ve dinamik programlama yaklaşımına dayalı bir hibrit çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yöntemlerin performansları, Türkiye'de tanınmış bir havayolu şirketinden alınan gerçek problem örnekleri üzerinde analiz edilmiş, ikram yükleme noktalarının belirlenmesi ve sezonluk ikram yükleme planlarının hazırlanması için sistematik bir yaklaşımın kullanılması ile elde edilecek kazanımlar gösterilmiş ve karar vericiler için iç görüler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Tesis yer seçimi, Parti boyutlandırması, Havayolu operasyonları, İkram yükleme planları, Tabu arama, Dinamik programlama.

ABSTRACT

Master of Science

OPTIMIZING ONBOARD CATERING LOADING LOCATIONS AND PLANS

FOR AIRLINES

Seren Bilge Yılmaz

TOBB University of Economics and Technology
Institute of Natural and Applied Sciences
Industrial Engineering Science Programme

Supervisor: Asst. Prof. Eda Yücel

Date: August 2019

Airlines serve complimentary or for-purchase in-flight meals that vary depending on the length of the flight. These meals are prepared by airline catering companies and are ideally loaded just before the flight. However, as the loading process takes time and effort and it is costly to have required amount of meal at the departure airport just before each flight, airline companies carry out catering loading at predetermined airports. In general, the catering loading sites, i.e., airports, can be classified into two types as normal or cross loading sites. At the normal loading sites, the catering can be loaded directly to the aircraft with a fixed loading cost and a variable handling cost that depend on the loaded amount and personnel cost at the corresponding location. At the cross loading sites, the catering should be transported from a catering facility before the loading operation, incurring an additional transportation cost. During a flight, an aircraft may carry the catering demand of next flights. The total amount of catering carried during a flight depends on the shelf life of the catering and the aircraft capacity and affects the fuel consumption during the flight. Although the flight plan might change dynamically, airlines determine catering loading sites before each flight season based on the established flight plan and estimated amount of catering consumed

during each flight. In this study, given the flight plan of an airline for a specified planning horizon with the estimated demand for each catering type at each flight, we address the problem of determining the locations of normal and cross loading sites. The objective is to minimize total operational costs that include fixed costs of opening normal or cross loading sites, fixed and variable costs of loading, transportation costs for cross loading, and additional aircraft fuel costs that depend on the catering load of the aircraft, such that the estimated catering demand for each flight is fully met. The aircraft catering capacity limits and life time for each catering type should be considered. We first develop a mixed integer programming formulation for the problem. As the planning horizon gets larger, it is not possible to obtain good solutions by the mathematical formulation in reasonable time. Therefore, we propose a hybrid solution approach based on a tabu search algorithm and dynamic programming approach for realistic planning horizons. We analyze the performance of the proposed approaches on realistic problem instances obtained from an airline company based in Turkey.

Keywords: Facility location, Lot sizing, Airline operations, Snack loading plans, Tabu search, Dynamic programming.

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca değerli yardım ve katkılarıyla bana yol gösteren, benden desteğini, zamanını ve güler yüzünü hiçbir zaman esirgemeyen, gelecekteki meslek hayatımda da öğretilerinden faydalanacağım kıymetli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Eda YÜCEL'e,

Değerli zamanlarını ayırarak tezimi okuyan ve geri bildirimde bulunan tez jüri üyelerim Doç. Dr. Nilgün FESCİOĞLU ÜNVER ve Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin TUNÇ'a,

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca bana burs sağlayan çok değerli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi'ne ve Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine,

Çalışmalarım boyunca beni motive eden, her zaman yanımda olup bana inanan arkadaşlarıma; bugüne kadar daima yanımda olup beni motive eden çok değerli Elif, Mustafa ve Yavuz'a, lisans öğrenimimden bu yana iyi veya kötü günlerimde sevgisini hissettiren ve bana destek olan Burak'a, yüksek lisans hayatımı güzelleştiren Nurdan ve Seray'a,

Beni bu günlere getiren, maddi manevi her konuda her zaman arkamda duran ve benden desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, bana her zaman inanıp güvenen, hayattaki en büyük şansım olan aileme sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
KISALTMALAR	xi
SEMBOL LİSTESİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	4
2. LİTERATÜR TARAMASI	5
3. PROBLEM TANIMI VE MATEMATİKSEL MODEL	9
3.1 Amaç	9
3.2 Problem Tanımı.....	9
4. ÖNERİLEN ÇÖZÜM YÖNTEMİ	15
4.1 Yükleme Lokasyonlarının Belirlenmesi: Tabu Arama Algoritması	15
4.2 Yükleme Planının Belirlenmesi: Açgözlü Yaklaşım ve Dinamik Programlama Yaklaşımı.....	17
4.2.1 Açgözlü yaklaşımı.....	19
4.2.2 Dinamik programlama yaklaşımı	19
5. VAKA ANALİZİ	23
5.1 Veri Kümeleri.....	23
5.2 Önerilen sezgiselin çözüm kalitesinin değerlendirilmesi.....	27
5.3 Gerçek Vaka	28
5.3.1 Sezon uzunluğu analizi	34
5.3.2 İkram çeşidi sayısı analizi, K	36
6. SONUÇ	39
KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ	47

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1.1: Şirketin kış ve yaz sezonları için yükleme tipi (normal veya çapraz) bilgileriyle uçtuğu havaalanları	24
Çizelge 5.1.2: Normal ve çapraz yükleme noktalarının sabit açılma maliyeti ve sabit ve değişken yükleme maliyeti	25
Çizelge 5.1.3: Pareto analizi sonucunda kış ve yaz sezonları için belirlenmiş normal yükleme noktaları	26
Çizelge 5.2.1: Küçük boyutlu problem örnekleri için matematiksel model ve sezgiselin iki versiyonunun sonuçları.....	29
Çizelge 5.2.2: Orta boyutlu problem örnekleri için matematiksel model ve sezgiselin iki versiyonunun sonuçları	31
Çizelge 5.3.1: Mevcut çözümün yaz mevsimi için TS (DP) çözümleriyle kıyaslanması (problem örneği I6M23A28309L).....	32
Çizelge 5.3.2: Mevcut çözümün kış mevsimi için TS (DP) çözümleriyle kıyaslanması (problem örneği I6M24A23161L).....	33
Çizelge 5.3.1.1: Yaz sezonundan başlayan farklı sezon uzunlukları için yıllık maliyet.....	35
Çizelge 5.3.2.1: Kış mevsimi için farklı ikram çeşidi sayılarının karşılaştırılması...36	

KISALTMALAR

- CLLPP** : Entegre uçak içi ikram yükleme lokasyonu ve planlama problemi (Integrated Onboard Catering Loading Location and Planning Problem)
- FLP** : Kesikli uzayda tesis yer seçimi problemi (Facility Location Problem)
- MIRPTVD** : Çok dönemli zamana bağlı taleple envanter yenileme planlama problemi (Multi-period Inventory Replenishment Planning Problem with Time Varying Demand)
- MM** : Matematiksel Model
- TS (G)** : Açgözlü yaklaşımla entegre edilmiş tabu arama algoritması (Integrated Tabu Search Algorithm with Greedy Approach)
- TS (DP)** : Dinamik programlamayla entegre edilmiş tabu arama algoritması (Integrated Tabu Search Algorithm with Dynamic Programming)

SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A	Uçaklar kümesi
K	İkramlar kümesi
L_a	$a \in A$ uçağının bacaklar kümesi
S	Lokasyonlar kümesi
$S^{(N)}$	Potansiyel normal yükleme lokasyonları kümesi, $S^{(N)} \subseteq S$
$S^{(C)}$	Potansiyel çapraz yükleme lokasyonları kümesi, $S^{(C)} \subseteq S$
$\alpha_a^{(W)}$	a uçağının ağırlık kapasitesi, $\forall a \in A$
$\alpha_a^{(V)}$	a uçağının hacim kapasitesi, $\forall a \in A$
γ_a	a uçağının birim yakıt maliyeti, $\forall a \in A$
p_{al}	a uçağının l bacağına uçuş süresi, $\forall a \in A, l \in L_a$
$s_k^{(W)}$	k ikram tipinin birim ağırlığı, $\forall k \in K$
$s_k^{(V)}$	k ikram tipinin birim hacmi, $\forall k \in K$
d_{alk}	a uçağının l bacağındaki k ikram tipinin tahmini talebi, $\forall a \in A, l \in L_a, k \in K$
t_{al}	a uçağının l bacağına kalkış zamanı, $\forall a \in A, l \in L_a$
β_{amlk}	a uçağının m bacağına başlangıcında yüklenen k ikram tipinin bu uçağın l bacağına tüketilip tüketilemeyeceğini gösteren 0-1 parametre, $\forall a \in A, m, l \in L_a, k \in K$
$f_s^{(N)}$	s noktasında normal yükleme yapmanın sabit maliyeti, $\forall s \in S$
$f_s^{(C)}$	s noktasında çapraz yükleme yapmanın sabit maliyeti, $\forall s \in S$
$v_s^{(N)}$	s noktasında normal yükleme yapmanın birim değişken maliyeti, $\forall s \in S$
$v_s^{(C)}$	s noktasında çapraz yükleme yapmanın birim değişken maliyeti, $\forall s \in S$
$o_s^{(N)}$	s noktasına normal yükleme noktası açmanın sabit maliyeti, $\forall s \in S$

$o_s^{(c)}$

s noktasına çapraz yükleme noktası açmanın sabit maliyeti, $\forall s \in S$

h_{als}

a uçağının l bacağının s lokasyonunundan kalkıp kalkmadığını gösteren 0-1 parametre, $\forall a \in A, l \in L_a, s \in S$

i_{ak}

a uçağının ilk bacağından önce uçakta bulunan k ikram tipinin başlangıç stoğu, $\forall a \in A, k \in K$



1. GİRİŞ

Geçmişte havayolu taşımacılığı uçuş hizmetlerinde mükemmel standartlara sahipti ve ikram hizmeti, havayollarının en iyi özelliklerinden biriydi (de Castro Fortes & Oliveira, 2016). Önde gelen havayolu taşımacıları, ikram hizmetleri konusunda ortalama yolcu beklentisinin ötesinde üstün hizmet sunardı. Bununla birlikte, son on yılda hava taşımacılığı sektörünün karşılaştığı 9/11 gibi ekonomik zorluklar ve krizler nedeniyle, piyasada yaygın olarak ikram hizmeti maliyetlerinde düşüş gözlemlenmiştir (de Castro Fortes & Oliveira, 2016). İyi öğünler ve iyi yemekler, kar ile zarar arasındaki ince çizgiyi oluşturmaktadır. Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği'ne (IATA) göre, her yıl havayolları harcamalarının yaklaşık %2 ila %3'ünü ikram hizmetine ayırmaktadır. Ancak, havayollarının tasarruf amacıyla önemsiz faaliyetleri bırakmasıyla ikram maliyetleri azalmaktadır (IATA, 2010). Düşük maliyetli havayolu şirketlerinin artması, yolcuların ikram hizmeti beklentilerini de etkilemiştir. Bununla birlikte, ikram hizmeti sağlayan birçok havayolu şirketi, kısa ve orta menzilli uçuşlarda uçak içi ikram hizmeti sağlamayı bırakmıştır (Mwanalushi, 2013). Daha az ikram yükü; daha az maliyetin yanı sıra, daha az ağırlık anlamına gelmektedir ve bu sayede daha düşük yakıt tüketimi ve karbondioksit emisyonu ile uçağın dinlenme süresinin azalmasını ve basitleştirilmiş ikram yükleme planlarını sağlamaktadır. Öte yandan, ikram hizmetlerini tamamıyla bertaraf etmek kolay bir karar değildir çünkü sayısız araştırma, yolcuların bir havayoluna karar vermedeki belirleyici faktörler listesinde ikram ve uçak içi hizmetini yüksek düzeylere yerleştirdiklerini göstermiştir (IATA, 2010). Örnek olarak, TAP Air Portugal anketleri, ikram hizmetinin güçlü ve güvenilir bir marka için çok önemli olduğunu göstermektedir. Anketlere göre uçak içi hizmetin bırakılması rakip firmalar tarafından yolcuları cezbetmek adına bir fırsat olarak görülmektedir (IATA, 2010). Buna ek olarak, uçak içi ikram hizmetleri havayolu şirketlerinin marka yüzü haline gelmiştir ve bu sayede ikram hizmeti marka için daha büyük bir fırsat haline gelmiştir (IATA, 2012). Bazı havayolları, yolculara sınırlı bir yelpazeden yiyecek ve içecek satarak, uçak içi ikram hizmeti sağlamayı gelir kaynağına dönüştürmüşlerdir. Bu tür yaklaşımlar, uçak içi ikram hizmeti sunmak için

pazarda farklı stratejiler geliştirilmesiyle sonuçlanmıştır. Bazı havayolları ikram sayısını sınırlandırmış ve yalnızca uçak içi içecekler veya hazır paketlenmiş ve çevre dostu yiyecekler satmaktadır. Bazıları, belirli ücret türlerinde yalnızca sık uçuş yapan yolculara içecekler sunar. Diğer bir strateji, ekonomi sınıfı yolcularına ücretsiz ikram hizmeti sunmak ve buna ek alakart yiyecek satın alma seçeneği sunmaktır. Müşterileri tatmin eden uygun maliyetli ya da kârlı bir uçak içi ikram hizmeti stratejisi geliştirmek; maliyet, markalaşma ve hatta çevre üzerinde önemli etkileri olduğundan giderek daha zorlayıcı hale gelmektedir.

Uçak içi ikram hizmeti, paydaşların standartlarını ve müşterilerin kısıtlarını karşılamaya çalışan bir endüstridir (News, 2013). Uçak içerisindeki kabinde ikram hazırlama ve depolama alanı kısıtlı olabilir. Bu nedenle yolcuların yemek tercihleri tahmin edilmeli, gıda güvenliği standartları ihlal edilmemeli ve tarifeli uçuşlar ikram yükleme nedeniyle geciktirilmemelidir. Uçuş esnasında sunulan ikram hizmeti yemeklerin hazırlanmasından depolanmasına ve teslimatına kadar geçen süreç için kelimenin tam anlamıyla bir planlama bilmesidir (IATA, 2016). Sonuç olarak, çoğu ikram hizmetinin dış kaynaklı olması nedeniyle, havayolu şirketleri hayatta kalabilmek için kendilerini lojistikte de uzman olarak görmelidir. Uçağın yerde geçirdiği her dakikanın havayolu şirketleri için maliyete sebep olması, uçağa hızlı ve etkili bir ikram teslimatı yapılmasını zorunlu kılmaktadır (News, 2013).

Uçak içinde servis edilecek ikramlar, havayolu şirketleri tarafından hazırlandıktan sonra ideal olarak her uçuştan hemen önce uçağa yüklenir. Bir uçuş sırasında, uçak yaklaşmakta olan uçuşların ikram taleplerini de taşıyabilir. Uçuş sırasında taşınacak toplam ikram miktarı belirlenirken, yaklaşmakta olan uçuşların yiyecek içecek talebine ek olarak, havacılık mevzuatı düzenlemeleri ve standartları, ikramların raf ömrü ve lojistik maliyetleri ile ilgili kısıtlamalar da göz önünde bulundurulmalıdır. Ek olarak, ikramlara ilişkin gramaj, havacılıkta ekstra yakıt tüketimi ve karbondioksit emisyonu anlamına gelir. Dahası, yükleme işlemi yetenekli personel, dolayısıyla zaman ve çaba gerektirdiğinden kalkış havaalanında her uçuştan hemen önce gerekli miktarda ikram bulundurmaya masraflı olmaktadır. Bu nedenle, öncelikle, havayolu şirketleri kalkış havalimanları arasından ikram yükleme noktalarını belirler ve bu yükleme noktalarını ikram yüklemesine uygun şekilde ekipmanlandırır. Daha sonra da bu noktalarda ikram yüklemesi gerçekleştirirler. Genel olarak, ikram yükleme

noktaları, yani havaalanları, normal veya çapraz yükleme noktaları olarak iki tipte sınıflandırılabilir.

Normal yükleme noktalarında, ikramlar sabit yükleme maliyeti ve yüklenen miktara ve lokasyondaki personel maliyetine bağlı olarak değişken bir taşıma maliyeti ile doğrudan uçağa yüklenebilir. Çapraz yükleme noktalarında ise ikramlar yükleme işleminden önce ikram tedarik eden bir tesisten çapraz yükleme noktasına taşınmalıdır. Bu nedenle çapraz yükleme noktalarında yapılan yükleme işlemi sabit ve değişken yükleme maliyetlerine ek olarak taşıma maliyeti de içermektedirler. Uçuş planı dinamik olarak değişebileceğinden, havayolları önceden belirlenmiş uçuş planını ve her uçuş sırasında tüketilen ikram miktarını temel alarak her uçuş sezonundan önce ikram yükleme noktalarını belirlerler. Sonuç olarak ortaya çıkan problem, kısaca CLLPP (Integrated Onboard Catering Loading Location and Planning Problem) olarak adlandırdığımız entegre bir uçak içi ikram yükleme yeri kararı verme ve ikram yükleme planı oluşturma sorunudur.

Bu çalışmada, Türkiye'deki bir havayolu şirketinin gerçek bir probleminden ortaya çıkan bir CLLPP ele alınmıştır. Bu problemde, havayolu şirketinin belirli bir planlama çevrenindeki uçuş planında yer alan her uçuşundaki her ikram türüne ait tahmini talebinin karşılanması adına, normal ve çapraz yükleme noktalarının lokasyonlarının belirlenmesi ve ilgili planlama çevreninin ikram yükleme planının oluşturması amaçlanmaktadır. Amaç, normal veya çapraz yükleme noktaları açmanın sabit maliyetlerini, sabit ve değişken yükleme maliyetlerini, çapraz yükleme için nakliye maliyetlerini ve uçağın ikram yüküne bağlı ek uçak yakıt maliyetlerini içeren toplam işletme maliyetlerini en aza indirmektir. Her uçuş için her ikram tipinin tahmini ikram talebi tam olarak karşılanmalıdır. Uçağın ikram kapasite kısıtları ve her ikram türü için yaşam ömrü dikkate alınmalıdır. Problem her ne kadar tesis yer seçimi problemleri sınıfı ve envanter yenileme modelleri ile ilgili olsa da uygulama alanı nedeniyle kendine özgü kısıtlamaları vardır ve bilindiği kadarıyla, literatürde herhangi bir tesis yer seçimi ve envanter modeli çalışmasında yukarıda belirtilen kısıtların tümü birlikte ele alınmamıştır.

Problemin çözümü için öncelikle bir karma tam sayılı programlama formülasyonu geliştirilmiştir. Problem boyutu ve planlama çevreni büyüdükçe, matematiksel formülasyon ile makul sürede iyi çözümler elde etmek mümkün olmadığından gerçek boyutlu problem örneklerini çözebilmek için tabu arama algoritmasına dayalı bir

hibrit sezgisel önerilmektedir. Önerilen yaklaşımların performansı, Türkiye'deki bir havayolu şirketinden elde edilen gerçekçi problem örnekleri üzerinde analiz edilmiştir. Devam eden bölümlerde ilgili probleme dair literatür çalışması sunulmaktadır. Bölüm 3, problem tanımını ve problemin matematiksel formülasyonunu içermektedir. Bölüm 4'te önerilen hibrit sezgisel açıklanmaktadır. 5. bölümde, yaklaşımımızın Türkiye'deki bir havayolu şirketinin gerçek sorunu üzerine bir uygulamasını sunulmuştur. Araştırmaya ve gelecekteki araştırma yönergelerine genel bir bakış ile tez sonuçlandırılmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Son yıllarda havayolu endüstrisinde meydana gelen büyüme ile sektörel rekabet artmıştır. Havayolu şirketleri bu rekabetçi ortama ayak uydurmak için havacılık operasyonlarının maliyetini akılcı bir şekilde azaltmak adına yöneylem araştırması ve yönetim biliminden kapsamlı bir şekilde faydalanmaktadır (Clarke & Ryan, 2001). Fakat yolcular için havayolu tercih sebebi olan hizmetlerden (örneğin; uçak içi ikram servisinden) vazgeçmek rekabet anlamında doğru olmayacağından uçak içi ikram servisi konusu üzerine çalışılması gereken bir problem haline gelmiştir. Bu çalışmada, havayolunun belirli bir planlama çevrenindeki uçuş planını oluşturan her uçuşundaki her ikram türüne ait tahmini talebinin karşılanması adına, normal ve çapraz yükleme noktalarının lokasyonlarının belirlenmesi ve ilgili planlama çevreninin ikram yükleme planının minimum işletme maliyetiyle oluşturulması amaçlanmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Entegre uçak içi ikram yükleme lokasyonu ve planı belirleme problemi, yani bu tezde ele alınan CLLPP, tesis yer seçimi ve stok yenileme planlama problemleri ile ilgilidir. Bu nedenle, bu bölümde CLLPP ile bu sınıflardaki problemler arasındaki benzerlikler ve farklılıklar açıklanmaktadır ve ilgili çalışmalar kısaca gözden geçirilmektedir.

Kesikli uzayda tesis yer seçimi problemleri (FLP) tipik olarak, bir dizi müşterinin talebini minimum toplam maliyetle karşılamak için kurulması gereken tesislerin sayısını ve konumlarını belirlemekle ilgilidir. Kapasiteli FLP'ler için, tesislerin kapasiteleri de karar değişkenleridir. Yer seçimi analizi, geçtiğimiz on yılda aktif ve zengin bir araştırma alanı olmuştur (Melo vd., 2009; Alumur vd., 2015; Ahmadi-Javid vd., 2017). Ayrıca CLLPP, bir dizi müşterinin talebini, diğer bir deyişle uçuşların ikram talebini, karşılamak için potansiyel konumlar arasından hizmet verilecek konumları belirlemeye çalıştığından kapasitesiz FLP sınıfına dahil edilebilir. Bununla birlikte, neredeyse tüm tek dönem FLP çalışmalarında, müşteriler hareketsizdir (Alp vd., 2003; Sun, 2006). Bu çalışmaların bazılarında acil durum tesisinde olduğu gibi talep lokasyonları belirsizlik gösterebilir (Salman & Yucel, 2015; Jiaet vd., 2007). Bildiğimiz kadarıyla, mobil müşterileri tek dönemlik bir FLP kapsamında ele alan literatürdeki tek çalışma, Gul (2011) tarafından yapılmıştır. Gul (2011), daha önce Serra & Marianov (1998) tarafından incelenen Barselona'daki itfaiye lokasyonları sorununu ele alıyor. Barselona'daki itfaiye lokasyonları problemi için Serra & Marianov (1998) senaryo bazlı bir yaklaşımla talep lokasyonlarındaki belirsizliği ele alırken, Gul (2011) zaman senaryosu yaklaşımıyla talep lokasyonlarını farklı senaryolar ile temsil eder. Gul (2011)'de söz konusu problem kapasitesiz FLP kümeleme problemi olarak değerlendirilir, zaman serileri kümelerini bulmak için k-ortalama kümeleme algoritması kullanılır ve zaman serisi kümeleri, bu kümelerin merkezlerinin tesis lokasyonlarını sağladığı veri noktası kümelerine dönüştürülür. Bu nedenle, bu tez kapsamında ele alınan problemden farklı olarak, Gul (2011), talep lokasyonlarındaki belirsizliği modellemek için mobil müşterileri dikkate almaktadır. Çalışmamız, mobil müşteriler, yani mobil uçaklar dikkate alındığında, tesis yerleşimi

problemleri üzerine olan mevcut literatürden farklıdır. CLLPP'de, uçaklar verilen uçuş planlarına göre potansiyel yükleme yerlerini ziyaret etmektedir ve uçak içi ikram stok yenileme işleme ziyaret edilen potansiyel yükleme noktaların açık olanlarında gerçekleştirilebilmektedir. Çok dönemli (veya dinamik) FLP'de talep, zaman dilimleri arasında değişmektedir ve çözüm, tesislerin nerede ve ne zaman kurulacağı ile ilgili sorulara cevap vermelidir (Chardaire vd., 1996). CLLPP'den farklı olarak, tüm çok dönemli FLP çalışmalarında tesislerin zaman boyutlu kuruluşu/yerleştirilmesi karar değişkenleri olarak ele alınmaktadır (Drezner, 1995; Chardaire vd., 1996; Hinojosa vd., 2000).

CLLPP'de olan birkaç gün, hafta veya ay süren bir uçuş planı için ikram yükleme planlarının belirlenmesi problemi, zamana bağlı taleple çok dönemli stok yenileme planlama problemine (MIRPTVD) benzemektedir (Wagner & Whitin, 1958). CLLPP, MIRPTVD'nin bir varyantı olarak düşünülebilir, burada her zaman periyodu bir uçağın farklı bir uçuşuna ve periyot talebi ilgili uçuşun ikram talebine tekabül eder. Envanter yenileme, açık olan ikram yükleme lokasyonlarından kalkış yapan uçuşların (yani periyotların) başlangıcında yapılabilir. Yenileme miktarları ilgili uçağın kapasite sınırlarına uymalıdır. Ek olarak, bir süre zarfında tüketilen envanter için raf ömrü kısıtlamaları dikkate alınmalıdır. Goyal & Giri (2011) çalışmalarında bozulan envanter modellerine ilişkin bir inceleme sunmaktadır. Bozulan envanter ile MIRPTVD'nin farklı varyantları için dinamik programlama tabanlı yaklaşımlar (M. Wagner, 1969; Silver, 1979; Xu & Wang, 1990; Sazvaret vd., 2016) ve sezgisel yaklaşımlar (Giri & Chaudhuri, 1997; Mousavi vd., 2013) önerilmektedir. Bu çalışmanın, MIRPTVD'deki mevcut literatürden temel farkı, CLLPP'de, bir zaman diliminde “yenile veya yenileme” kararının yanı sıra, o zaman dilimine karşılık gelen uçuşun kalkış havalimanının ikram yüklemesi yapmaya uygun bir lokasyon olması durumunda bu havalimanına yükleme noktası “aç veya açma” kararının alınmasının gerekliliğidir. Ayrıca, yükleme noktası açılış kararları filodaki her uçak için ikram yenileme planlarını etkilemektedir.

Son on yılda havayolu endüstrisi dünya çapında oldukça rekabetçi bir ulaşım ağı haline gelmiştir. Bu çarpıcı büyümeye, havacılık operasyonlarının tüm alanlarında geniş kapsamlı yöneylem araştırması ve yönetim bilimi metodolojisi kullanımı eşlik etmiştir (Clarke & Ryan, 2001). Örnek uygulamalar arasında uçuş çizelgeleme (Professor & Cunningham, 1987; Daskin & Panayotopoulos, 1989), uçuşlara personel ataması

(Abara, 1989; Anbil vd.,1991; Barnhart vd., 1994), uçuş seferlerinin gerçek zamanlı çizelgelemesi (Cao & Kanafani, 1997; Jarrah vd., 1993), havayolu şirketinin fazla rezervasyon ve verim yönetimi problemleri (Belobaba,1987; Curry, 1990; Smith vd., 1992) ve bakım planlaması (Sriram & Haghani, 2003; Qin vd., 2019) yer almaktadır. Ancak, bildiğimiz kadarıyla, uçak içi ikram yükleme kararları hakkında sadece iki çalışma yapılmıştır. Goto (1999), Kanada Havayolları'ndaki yemek siparişi sürecini sonlu çevrenli bir Markov karar süreci olarak modellemektedir. Model, tedarikçiye sipariş maliyetlerini en aza indirmek amacıyla her karar noktasında yemek miktarlarını nasıl ayarlayacağını gösteren politikalar oluşturur. Buna ek olarak, aynı model fazla ve eksik ikram sorununu gözlemlemek ve yüksek hizmet seviyelerine ulaşmanın maliyetini tahmin etmek için kullanılmaktadırlar. Teoh & Inderjit Singh (2018), uçuşta en uygun miktarda ikram miktarını belirleyerek uçuştaki toplam ikram atıklarını en aza indirmeyi amaçlayan iki-hedefli bir optimizasyon modeli önermektedir. Bu modelin amaç fonksiyonunda maliyet azaltmanın yanı sıra yolcuların beklentileri de dikkate alınmaktadırlar. Kısaca, yukarıda belirtilen çalışmalar görece uçak içi ikramlarıyla ilgili olsa da havayolları için ikram yükleme kararlarını (hem yükleme yerleri hem de yükleme planları) optimize eden bir çalışma bulunmamaktadır.



3. PROBLEM TANIMI VE MATEMATİKSEL MODEL

3.1 Amaç

Problem, uçak içi ikram yükleme yerleri kararını ve ikram yükleme planlarını toplam işletme maliyetlerini en küçükleyerek ederek optimize etmeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda problem için öncelikle matematiksel model oluşturulmuştur.

3.2 Problem Tanımı

Türkiye'de hizmet veren bir havayolu şirketinin gerçek sorunu ile motive olunmuş entegre ikram yükleme yeri ve planlama problemi, yani CLLPP, aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır. A kümesi havayolu şirketinin uçak filosunu temsil eder, burada L_a , $a \in A$ uçağının belirtilen bir planlama çevrenindeki uçuş planına, yani uçuşlara (bacaklara), karşılık gelir. Kalkış ve varış havalimanları, yani lokasyonlar, S kümesiyle gösterilir. Burada $S^{(N)} \subseteq S$ ve $S^{(C)} \subseteq S$ sırasıyla potansiyel normal yükleme lokasyonları kümesini ve potansiyel çapraz yükleme lokasyonları kümesini temsil eder. h_{als} ikili parametresi, bir $a \in A$ uçağının $l \in L_a$ bacağından $s \in S$ kalkış lokasyonundan kalkıp kalkmadığını ifade eder. t_{al} ve p_{al} bir $a \in A$ uçağının $l \in L_a$ bacağından kalkış zamanına ve uçuş süresine karşılık gelmektedir. İkram tipleri K kümesiyle gösterilir. Burada $s_k^{(W)}$ ve $s_k^{(V)}$ sırasıyla $k \in K$ ikram tipinin birim ağırlık ve birim hacim değerlerini ifade eder. Bir $a \in A$ uçağının $l \in L_a$ bacağındaki $k \in K$ ikram tipinin tahmini talebi d_{alk} ile gösterilir. Her bir $a \in A$ uçağının ikramlar için ağırlık ($\alpha_a^{(W)}$) ve hacim ($\alpha_a^{(V)}$) kapasitesi bulunmaktadır. İkramların yaşam ömrü kısıtları bulunduğundan, β_{amlk} ikili parametresi $a \in A$ uçağının m 'inci bacağından başlangıcında yüklenen $k \in K$ ikram tipinin bu uçağın l 'inci bacağında tüketilip tüketilemeyeceğini göstermek için kullanılmaktadır; burada $m, l \in L_a$ 'dır. Süresi dolmuş ikram atılmaktadır. Her bacaktaki ikram servisinde ilk gelene ilk hizmet (first come first served) esasının kullanıldığı varsayılmaktadır. Bir $a \in A$ uçağının ilk bacağından başında uçakta bulunan $k \in K$ ikram tipinin başlangıç stoğu i_{ak} ile gösterilir.

Problem, normal ve çapraz yükleme noktalarının lokasyonlarını belirlemeyi ve aynı planlama çevreni için normal veya çapraz yükleme noktaları açılmasının sabit maliyetlerini, sabit ve değişken yükleme maliyetlerini, çapraz yükleme için taşıma maliyetlerini ve uçaktaki ikram yüküne bağlı olarak değişen yakıt maliyetlerini içeren toplam işletme maliyetlerini minimize etmek amacıyla ikram yükleme planları oluşturmayı amaçlamaktadır. Bir $s \in S$ normal veya çapraz yükleme noktasının sabit açma maliyeti sırasıyla $o_s^{(N)}$ ve $o_s^{(C)}$ ile gösterilir. Bir $s \in S$ normal veya çapraz yükleme noktasında ikram yüklemesi yapmanın sabit maliyeti sırasıyla $f_s^{(N)}$ ve $f_s^{(C)}$ ile ifade edilir. Bir $s \in S$ normal veya çapraz yükleme noktasında yapılan bir birim ikram yüklemesi yapmanın değişken maliyeti sırasıyla $v_s^{(N)}$ ve $v_s^{(C)}$ 'ye karşılık gelir. Her uçuş için tahmini ikram talebi tam olarak karşılanmalıdır. Uçak ikram kapasitesi sınırlamaları ve her ikram türü için yaşam ömrü dikkate alınmalıdır. Bir $a \in A$ uçağının birim yakıt maliyeti y_a ile gösterilir.

Kısıtlarda kullanılan karar değişkenleri aşağıda verilmiştir:

- $O_s^{(N)}$ Potansiyel s noktasına normal yükleme noktası açılıp açılmadığını gösteren ikili karar değişkeni, $\forall s \in S^{(N)}$
- $O_s^{(C)}$ Potansiyel s noktasına çapraz yükleme noktası açılıp açılmadığını gösteren ikili karar değişkeni, $\forall s \in S^{(C)}$
- $X_{al}^{(N)}$ a uçağının l bacağına kalkış havalimanında normal yükleme planlanıp planlanmadığını gösteren ikili karar değişkeni, $\forall a \in A, l \in L_a$
- $X_{al}^{(C)}$ a uçağının l bacağına kalkış havalimanında çapraz yükleme planlanıp planlanmadığını gösteren ikili karar değişkeni, $\forall a \in A, l \in L_a$
- S_{amlk} a uçağına m bacağına başında yüklenmiş k ikram tipinden, aynı uçağın l bacağına başlangıcında bulunan tüketilebilir miktarı, $\forall a \in A, m, l \in L_a, k \in K$
- $Y_{alk}^{(N)}$ a uçağına l bacağına başında normal yüklemeyle yüklenen k ikram tipi miktarı, $\forall a \in A, l \in L_a, k \in K$
- $Y_{alk}^{(C)}$ a uçağına l bacağına başında çapraz yüklemeyle yüklenen k ikram tipi miktarı, $\forall a \in A, l \in L_a, k \in K$
- P_{amlk} a uçağına m bacağına başında yüklenmiş k ikram tipinden, aynı uçağın l bacağına tüketilen miktarı, $\forall a \in A, m, l \in L_a, k \in K, m \leq l$
- $LC^{(N)}$ Toplam normal yükleme maliyeti

- $LC^{(C)}$ Toplam çapraz yükleme maliyeti
 FC Toplam yakıt maliyeti
 $OC^{(N)}$ Açık normal yükleme noktaları için toplam açma maliyeti
 $OC^{(C)}$ Açık çapraz yükleme noktaları için toplam açma maliyeti

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } TC = LC^{(N)} + LC^{(C)} + FC + OC^{(N)} + OC^{(C)} \quad (1)$$

Kısıtlar

$$LC^{(N)} = \sum_{s \in S^{(N)}} \sum_{a \in A} \sum_{l \in L_a} f_s^{(N)} h_{als} X_{al}^{(N)} + \sum_{s \in S^{(N)}} \sum_{a \in A} \sum_{l \in L_a} \sum_{k \in K} v_s^{(N)} h_{als} Y_{alk}^{(N)} \quad (2)$$

$$LC^{(C)} = \sum_{s \in S^{(C)}} \sum_{a \in A} \sum_{l \in L_a} f_s^{(C)} h_{als} X_{al}^{(C)} + \sum_{s \in S^{(C)}} \sum_{a \in A} \sum_{l \in L_a} \sum_{k \in K} v_s^{(C)} h_{als} Y_{alk}^{(C)} \quad (3)$$

$$FC = \sum_{a \in A} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L_a} \sum_{m=1}^l y_a p_{al} S_k^{(W)} S_{amlk} \quad (4)$$

$$OC^{(N)} = \sum_{s \in S^{(N)}} o_s^{(N)} O_s^{(N)} \quad (5)$$

$$OC^{(C)} = \sum_{s \in S^{(C)}} o_s^{(C)} O_s^{(C)} \quad (6)$$

$$O_s^{(N)} = 0, \quad \forall s \in S \setminus S^{(N)} \quad (7)$$

$$O_s^{(C)} = 0, \quad \forall s \in S \setminus S^{(C)} \quad (8)$$

$$O_s^{(N)} + O_s^{(C)} \leq 1, \quad \forall s \in S \quad (9)$$

$$h_{als} X_{al}^{(N)} \leq O_s^{(N)}, \quad \forall a \in A, l \in L_a, s \in S \quad (10)$$

$$h_{als} X_{al}^{(C)} \leq O_s^{(C)}, \quad \forall a \in A, l \in L_a, s \in S \quad (11)$$

$$Y_{alk}^{(N)} \leq M X_{al}^{(N)}, \quad \forall a \in A, l \in L_a \quad (12)$$

$$Y_{alk}^{(C)} \leq M X_{al}^{(C)}, \quad \forall a \in A, l \in L_a \quad (13)$$

$$S_{alk} = Y_{alk}^{(N)} + Y_{alk}^{(C)}, \quad \forall a \in A, l \in L_a, k \in K \quad (14)$$

$$S_{a01k} = i_{ak} \quad \forall a \in A, k \in K \quad (15)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{m=0}^l S_k^{(W)} S_{amlk} \leq \alpha_a^{(W)} \quad \forall a \in A, l \in L_a \quad (16)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{m=0}^l S_k^{(V)} S_{amlk} \leq \alpha_a^{(V)} \quad \forall a \in A, l \in L_a \quad (17)$$

$$\sum_{m=0}^l P_{amlk} \leq d_{alk}, \quad \forall a \in A, l \in L_a, k \in K \quad (18)$$

$$P_{amlk} \leq M\beta_{amlk}, \quad \forall a \in A, m, l \in L_a, 1 \leq m \leq l, k \in K \quad (19)$$

$$S_{a,m,l-1,k} - P_{a,m,l-1,k} \leq S_{amlk}, \quad \forall a \in A, m, l \in L_a, 1 \leq m \leq l-1, l \geq 2, k \in K \quad (20)$$

$$S_{amlk}, P_{amlk}, Y_{alk}^{(N)}, Y_{alk}^{(C)} \geq 0, \quad \forall a \in A, l \in L_a, k \in K \quad (21)$$

$$LC^{(N)}, LC^{(C)}, FC, OC^{(N)}, OC^{(C)} \geq 0, \quad (22)$$

$$X_{al}^{(N)}, X_{al}^{(C)}, O_s^{(N)}, O_s^{(C)} \in \{0,1\} \quad \forall a \in A, l \in L_a \quad (23)$$

(1)'deki amaç fonksiyonu, toplam normal ve çapraz yükleme maliyetleri, toplam yakıt maliyeti ve açılan normal ve çapraz yükleme tesisleri için toplam açılış maliyetlerinden oluşan toplam ikram yükleme işleminin maliyetini en aza indirmeyi amaçlar. Toplam maliyet formülasyonundaki maliyet terimleri (2)-(6) arasındaki kısıtlar ile hesaplanır. Kısıtlar (7) ve (8) normal veya çapraz yükleme tesislerinin sadece potansiyellerinde açılabilceğini garanti eder. (9) numaralı kısıtlar, bir noktanın hem normal hem de çapraz yükleme noktası olmasını engeller. Kısıtlar (10) ve (11) normal ve çapraz yükleme işlemlerinin sırasıyla açılmış normal ve çapraz yükleme tesislerinde gerçekleştirilebilmesini sağlar. Kısıtlar (12) ve (13) ile bir uçağın bir bacağına kalkış havalimanında normal veya çapraz yükleme işlemi planlanmamışsa, o havalimanındaki yükleme miktarının sıfır olması gerekliliği sağlanır. Tanımı gereği, a uçağının l bacağı için yapılan k ikram türünün yükleme miktarı, yani yükleme

noktasının türüne bağlı olarak $Y_{alk}^{(N)}, Y_{alk}^{(C)}$, aynı bacadan hemen önce yüklenen uçağın l bacağına kalkış anında uçakta bulunan ikram miktarına, S_{alk} , eşittir. (14) numaralı kısıtlar S ve Y karar değişkenleri arasındaki ilişkiyi tanımlar. (15) numaralı kısıtlar, her uçak ve her ikram türü için ikramların başlangıç envanter miktarını belirler. Kısıtlar (16) ve (17), bir uçağın toplam ikram yükünü, sırasıyla ağırlık ve hacim bakımından kapasitesine göre sınırlandırır. (18) numaralı kısıtlar, tüm uçakların her bacağındaki her bir ikram türü talebinin karşılanması gerektiğini, yani bir uçağın bir bacağına tüketilen ikram miktarının karşılık gelen tahmini ikram talebine eşit olmasını sağlar. (19) numaralı kısıtlar eğer bir ikramın yaşam ömrü sona ermişse, uçuş sırasında servis yapılamayacağını (yani tüketilemeyeceğini) garanti eder.

İkramların raf ömrü nedeniyle, her bacağın başında yüklenen ikramlar için stok seviyesi izlenmelidir. Basitleştirme amacıyla, bir uçağın m 'inci bacağına başında yüklenen ikramı, m 'inci bacağın ikram miktarı olarak adlandıralım. Stok dengesi denkleminde göre, l 'inci bacağın kalkış zamanında uçakta bulunan m 'inci bacağın ikram miktarı, burada $l > m$, l 'den önceki bacağın, yani $(l - 1)$ 'inci bacağın, kalkış saatinde bulunan m 'inci bacağın ikram miktarı ile önceki bacağına tüketilen ikram miktarı arasındaki farka eşittir. (20) numaralı kısıtlar, m 'inci bacağın ikram miktarı için karşılık gelen stok dengesi denklemleridir.

(21)-(22) karar değişkenlerinin işaret kısıtları ve (23) ikili karar değişkenleri kısıtlarıdır.

Bölüm 5.2'deki deneysel çalışmaların gösterdiği gibi, ondan fazla uçak ve bir aylık planlama çevrenine sahip olan problem örnekleri matematiksel model kullanılarak makul bir zamanda optimal olarak için çözülemez. Bu nedenle, bu bölümde problem için karma bir çözüm yaklaşımı önerilmektedir.



4. ÖNERİLEN ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Bu bölümde, gerçekçi boyuttaki problem örnekleri için karma bir çözüm yaklaşımı önerilmektedir. Önerilen çözüm yaklaşımına göre, normal ve çapraz yükleme lokasyonlarını belirlemek için bir tabu arama algoritması kullanılmaktadır. Bu algoritmayla belirlenen normal ve çapraz yükleme lokasyonları kümesi doğrultusunda her uçak için yükleme planını belirlemek üzere bir dinamik programlama algoritması veya açgözlü yaklaşımından faydalanılmaktadır.

4.1 Yükleme Lokasyonlarının Belirlenmesi: Tabu Arama Algoritması

Tabu arama yöntemi, tesis yer seçimi problemlerinin (Rolland vd., 1997; Al-Sultan & Al-Fawzan, 1999; Ghosh, 2003; Sun, 2006b; Resende & Werneck, 2007) ve lokasyon rotalama problemlerinin (Rolland vd., 1997; Sun, 2006a; Salman & Yucel, 2015) birçok çeşidine başarıyla uygulanmıştır. Tabu arama algoritması ve uygulamaları hakkında detaylı bilgi Hertz & de Werra (1990) ve Glover & Laguna (1998)'de bulunabilir. Tabu arama algoritması yinelemeli bir süreçtir ve her yinelemede, komşu çözümler komşuluk hareketleri kullanılarak mevcut çözümden elde edilir. Bir yinelemede, tabu koşullarını bozmayan en iyi komşu çözüm bir sonraki yinelemenin mevcut çözümüdür. En iyi çözüm, tüm yinelemeler arasından bulunur (Glover & Laguna, 1998).

Bu çalışmada, problemin gerçekçi boyuttaki örnekleri için makul bir sürede iyi kalitede bir çözüm elde etmek için bir tabu arama algoritması önerilmektedir. Her çözüm, olası normal ve çapraz yükleme konumlarının ikili dizisi ile temsil edilir.

Aslında bu, her uçak için yükleme planının belirlenmesine dayanan problem için kısmi bir çözümdür.

Algoritma, tüm potansiyel normal veya çapraz yükleme konumlarının açık olduğu olurlu bir çözümle başlar. Bu başlangıç çözümü, aşağıdaki üç komşuluk hareketini kullanan bir tabu arama çerçevesi ile geliştirilir:

1. Takas: Mevcut çözümde olurluluk korunduğu sürece aynı anda açık bir normal (veya çapraz) yükleme noktası kapatılır ve kapalı bir normal (veya çapraz) yükleme noktası kapatılır veya tam tersi gerçekleşir. Komşuluk boyutu, $O(|S^{(N)}|^2 + |S^{(C)}|^2)$ kadardır.
2. Yer Değiştirme: Mevcut çözümde olurluluk korunduğu sürece ya açık normal (veya çapraz) bir yükleme noktası kapatılır ya da kapalı bir normal (veya çapraz) yükleme noktası açılır. Komşuluk boyutu, $O(|S^{(N)}| + |S^{(C)}|)$, başka bir ifadeyle $O(|S|)$ kadardır.
3. N-C Çaprazlama: Koşullar uygunsa mevcut çözüme göre aynı anda açık bir normal yükleme noktası kapatılır ve kapalı bir çapraz yükleme noktası açılır veya tam tersi gerçekleşir. Komşuluk boyutu, $O(|S^{(N)}||S^{(C)}|)$ kadardır.

Tüm komşuluğun boyutu $O(|S|^2)$ kadardır.

Çalışmada Glover & Laguna (1998)'nin sistematik dinamik tabu tenürü kullanılmaktadır, burada tabu tenür θ , θ_{min} ile θ_{max} arasında değişmektedir. Algoritmanın başlangıcında, θ bu aralıktaki rastgele bir değer olarak alınır, ardından her iterasyonda θ_{max} 'a ulaşana kadar artırılır ve θ_{max} 'a ulaştığında θ_{min} 'dan yeniden başlatılır. Bir çeşitlendirme stratejisi olarak, γ iterasyonda bir kez, θ karşılık gelen aralıkta rastgele bir değere eşitlenir. Bir aspirasyon kriteri olarak, şu ana kadar bulunan en iyi çözümden daha iyi olan ve tabu listesinde bulunan bir komşu çözümün, bir

sonraki iterasyonun mevcut çözümü olmasına izin verilir. En iyi iyileştirme stratejisi kullanılır.

Durdurulma koşulları olarak iyileşme olmayan maksimum iterasyon sayısı ν veya maksimum iterasyon sayısı ρ kullanılır.

Raf ömrü sınırlamaları ve her uçak için kapasite kısıtlamaları göz önünde bulundurularak her bir bacak için talep kısıtlarını karşılayan en az bir yükleme planı varsa, bu çözüm olurludur. 4.2 bölümünde açıklanan açgözlü yaklaşım, bir çözümün olurluluğunu belirlemek için kullanılır.

4.2 Yükleme Planının Belirlenmesi: Açgözlü Yaklaşım ve Dinamik Programlama Yaklaşımı

Açık normal ve çapraz yükleme konumlarının bilindiği kısmi bir çözüm için, her uçak için yükleme planının belirlenmesi birbirinden bağımsız olduğundan, yükleme planı belirleme problemi her uçak için ayrı ayrı çözülebilir.

Varsayalım ki $L_a^{(o)} = l_1, l_2, \dots, l_{|L_a|}$ kümesi bir $a \in A$ uçağının uçuş planındaki bacakları artan kalkış zamanlarına göre sıralanmış şekilde gösterebiliriz. $L_a'^{(o)}$ kümesi ise a uçağının açık normal ya da çapraz yükleme lokasyonlarından kalkan bacakları artan kalkış zamanlarına göre sıralanmış şekilde içersin. Tanım olarak $L_a'^{(o)} \subseteq L_a^{(o)}$ ilişkisi vardır. Genelliği bozmadan $l'_i \in L_a'^{(o)}$ 'in $l_{m(i)} \in L_a^{(o)}$ 'ya karşılık geldiğini varsayalım. Burada $m(i)$ fonksiyonu, $L_a'^{(o)}$ 'deki bacaklarla $L_a^{(o)}$ 'deki bacaklar arasında birebir eşlemeyi sağlar. Deneysel çalışmalarda kolaylık sağlaması adına, $L_a'^{(o)}$ ve $L_a^{(o)}$ kümelerinin her ikisinin de sonuna $i^{(dummy)}$ adında yapay bacak ekleyelim ve sırasıyla arttırılmış $\overline{L_a'^{(o)}}$ ve $\overline{L_a^{(o)}}$ kümelerini elde edelim. $\overline{L_a'^{(o)}}$ 'daki yapay bacak $l_{|L_a'^{(o)}|+1}$, $\overline{L_a^{(o)}}$ 'daki yapay bacak olan $l_{|L_a^{(o)}|+1}$ ile eşleşir, yani $m(|L_a'^{(o)}| + 1) = m(|L_a^{(o)}|) + 1 = L_a^{(o)} + 1$ 'dir.

Açık normal ve çapraz yükleme lokasyonları kümesi verilen bir uçak için yükleme planının belirlenmesi, ek raf ömrü kısıtları bulunan birden fazla ürün için parti

boyutlandırma problemine eşdeğerdir. $\overline{L'_a^{(o)}}$ 'ın periyotlar kümesi olduğunu varsayalım, burada $k \in K$ ikram tipinin $l_i \in \overline{L'_a^{(o)}}$ 'daki talebi, l_{i+1} 'e kadarki tüm periyotların, yani bacakların, aynı ikram tipinden taleplerinin toplamına eşittir. Başka bir deyişle yükleme noktasından kalkış yapan ilk periyoda kadarki ikram talebi toplamına eşittir. Yani l_i periyodunun talebi $\sum_{l=l_{m(i)}, l \in \overline{L'_a^{(o)}}}^{l_{m(i+1)}-1} d_{alk}$ 'ne eşittir. Karşılık gelen parti boyutlandırması probleminde, sipariş edilecek periyotları ve her bir periyodda sipariş miktarlarını belirlemek gerekmektedir.

Bir yükleme planının olurlu olması için, her ikram türü için raf ömrü kısıtları, ilk ikram yüklemesine kadarki bacakların talep kısıtları ve her uçak için kapasite kısıtları sağlanmalıdır. $i^{(first)}$, ilk ikram yüklemesinin gerçekleştirildiği başlangıç noktası olsun ve P_a , a uçağının yükleme planındaki ardışık ikram yükleme bacak çiftlerinin (i, j) kümesini belirtsin, burada i önceki bacadır. Son ikram yükleme bacağı $(i^{(last)})$ için $(i^{(last)}, i^{(dummy)})$ P_a 'ya dahil edilir. Bu olurluluk koşulları, her $a \in A$ uçağının P_a 'daki her bir bacak çifti ve her bir $k \in K$ ikram tipi için aşağıdaki kısıtlarla kontrol edilmektedir:

$$i_{ak} \geq \sum_{l=l_1, l \in \overline{L'_a^{(o)}}}^{l_{m(i^{(first)})}-1} d_{alk} \quad \forall a \in A, k \in K \quad (24)$$

$$\beta_{a, l_{m(i)}, l_{m(j)-1}, k} = 1 \quad \forall a \in A, k \in K, (i, j) \in P_a \quad (25)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{l=l_{m(i)}, l \in \overline{L'_a^{(o)}}}^{l_{m(j)-1}} s_k^{(W)} d_{alk} \leq \alpha_a^{(W)} \quad \forall a \in A, (i, j) \in P_a \quad (26)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{l=l_{m(i)}, l \in \overline{L'_a^{(o)}}}^{l_{m(j)-1}} s_k^{(V)} d_{alk} \leq \alpha_a^{(V)} \quad \forall a \in A, (i, j) \in P_a \quad (27)$$

(24) numaralı olurluluk kısıtı, her ikram türü için her uçağın başlangıç stoğunun, uçağın ilk ikram yükleme işleminin gerçekleştirildiği bacağına kadar olan talebi karşılamak için yeterliliğini kontrol eder. (25) numaralı olurluluk kısıtı, bir uçağın

bacağının kalkış anında yüklenen ikramların bir sonraki ikram yüklemesine kadar süresinin dolmadığını garanti eder. (26) ve (27) numaralı olurluluk kısıtları, her bir uçağın her ikram yüklemesi için ağırlık ve hacme dayalı kapasite sınırlamalarını kontrol eder.

Parti boyutlandırma problemini çözmek için, yani bir uçak için yükleme planını belirlemek için, iki yaklaşım önermekteyiz: basit açgözlü yaklaşım ve kesin dinamik programlama yaklaşımı.

4.2.1 Açgözlü yaklaşımı

Bir uçağın yükleme planını belirlemek için, her açık yükleme noktasında yükleme yapan basit bir açgözlü yaklaşım kullanılabilir. Yani açgözlü çözüm her $l_i \in L_a^{(o)}$, da burada $i = 1, \dots, |L_a^{(o)}|$, her $k \in K$ ikram türünden $\sum_{l=l_m(i), l \in L_a^{(o)}}^{l_m(i+1)-1} d_{alk}$ kadarlık ikram yüklemesi gerçekleştirmektedir. Bu, havayolu şirketleri tarafından kullanılan ortak bir yaklaşımdır.

Açgözlü çözümün olurluluğunu kontrol etmek için, (24) - (27) arasındaki olurluluk kısıtları kullanılabilir, burada (24) numaralı kısıtta yer alan $i^{(first)}$, 1'e eşittir ve (25 - 27)'deki ardışık ikram yükleme bacak çiftleri kümesi, $P_a, \{(i, i + 1) \mid i = 1, \dots, |L_a^{(o)}|\}$ olarak tanımlanmıştır.

Açgözlü yaklaşımın belirli açık normal ve çapraz yükleme lokasyonları kümesi için en sık yükleme planını sağladığını unutmamak gerekir. Bu nedenle, bu belirli açık normal ve çapraz yükleme lokasyon kümesine karşılık gelen açgözlü çözüm olursuzsa, bu kısmi çözüme karşılık gelen olurlu bir yükleme planı bulmanın mümkün olmadığı anlamına gelmektedir.

Açgözlü yaklaşım, belirli bir açık normal ve çapraz yükleme konumu kümesi için olurlu bir çözüm sunsa da, karşılık gelen yükleme planının optimum yükleme planı olduğu garanti edilemez.

4.2.2 Dinamik programlama yaklaşımı

Literatürde, bozulabilir ürünlerin optimal parti boyutunu belirleyen ve Wilson'ın klasik (Q-r) modeliyle Wagner-Whitin'in dinamik parti boyutlandırma modelinin

genelleştirilmesine dayanan çalışmalar bulunmaktadır (Li, 2010; Aliyu & Sani, 2018; Shah & Shah, 2000). Bu çalışmada, bir uçak için optimum yükleme planını belirlemek için, Wagner-Whitin'in ikram raf ömrünü ve uçak ikram kapasitesi kısıtlamalarını dikkate alan dinamik parti boyutlandırma modeli kullanılmıştır. Bir $a \in A$ için optimum yükleme kararlarının verilmesini sağlayan Bellman denklemleri aşağıdaki gibidir:

$$V_a(l_1) = \min_{i \in \Gamma_a(1)} \{V_a(l_j)\} \quad (28)$$

$$V_a(l_i) = \min_{j \in \Gamma_a(i)} \{c_a(i, j) + V_a(l_j)\}, \quad \forall i = 2, \dots, |L_a^{(o)}| \quad (29)$$

$$V_a(l_{|L_a^{(o)}|+1}) = 0 \quad (30)$$

Burada, $V_a(l_i)$ $a \in A$ uçağının $l_{m(i)}$ 'den başlayıp $l_{m(i)}$ 'yi de içeren bacakları için optimum yükleme planının maliyetidir. $\Gamma_a(i)$, $l_{m(i)}$ 'nin kalkışından hemen önce gerçekleşen ikram yüklemesinden sonraki bacakları içeren kümeyi temsil eder. $c_a(i, j)$, $l_{m(i)}$ 'den başlayıp $l_{m(j)}$ 'ye kadarki, $l_{m(j)}$ hariç, bacakların toplam talebini karşılayacak ikram yüklemesi yapmanın maliyetini gösterir. $\Gamma_a(i)$ kümesi ve $c_a(i, j)$ maliyeti sırasıyla (31)-(32) numaralı ve (33) numaralı denklemlerle tanımlanmıştır.

$$\Gamma_a(1) = \left\{ j \mid j = 1, \dots, |L_a^{(o)}| + 1 \text{ ve (24). kısıtın } i^{(first)} \right. \\ \left. = j \text{ için sağlanması, } \forall k \in K \right\} \quad (31)$$

$$\Gamma_a(i) = \left\{ j \mid j = i + 1, \dots, |L_a^{(o)}| + 1 \text{ ve (25) -} \right. \\ \left. (27) \text{ kısıtlarının } (i, j) \text{ bacak çiftleri için sağlanması, } \forall k \in K \right\}, \\ i = 2, \dots, |L_a^{(o)}| + 1 \quad (32)$$

Burada, (33) numaralı denklemin sağ tarafındaki birinci ve ikinci terimler, sırasıyla s yükleme noktasına ait sabit ve değişken maliyetlerdir. Bu maliyetler s yükleme noktasının normal veya çapraz yükleme noktası olmasına bağlı olarak değişebilmektedir. Üçüncü terim, uçağın $m(i)$ bacağından başlayıp $m(j) - 1$

bacağına kadar uçakta bulunan ikram yükü nedeniyle oluşan ek yakıt maliyetine karşılık gelmektedir.

$$c_a(i, j) = \sum_{s \in S} (h_{a, l_{m(i), s} f_s} + \sum_{k \in K} \sum_{i'=m(i)}^{m(j)-1} v_s d_{a, l'_{i', k}} + \sum_{k \in K} \sum_{i'=m(i)}^{m(j)-1} y_a p_{at} S_k^{(W)} \sum_{i''=i'}^{m(j)-1} d_{a, l''_{i'', k}}) \quad (33)$$

$$i = 2, \dots, |L_a^{(o)}|, j \in \Gamma_a(i)$$

Bu bölümde, önerilen hibrit sezgiselin iki versiyonu açıklanmıştır. Versiyonların her ikisi de açılacak yükleme lokasyonlarını belirlemek için tabu arama algoritması kullanırken, belirlenen açık yükleme (normal veya çapraz) lokasyonları kümesine göre yükleme planını belirlemek için birisi ağgözlü yaklaşımdan diğeri dinamik programlama algoritmasından faydalanmaktadır. Ağgözlü yaklaşım kullanan TS (G), diğeri TS (DP) olarak adlandırılmıştır.



5. VAKA ANALİZİ

Çözüm yaklaşımımızı, Türkiye'nin en büyük havayollarından birinin ikram yükleme yeri ve yükleme planı belirleme problemine uyguladık. Bölüm 5.1'de, kullanılan verileri açıklıyoruz. Bölüm 5.2'de, önerilen hibrid algoritmanın iki versiyonunun, yani TS (G) ve TS (DP) versiyonlarının matematiksel model (MM) ile karşılaştırmalı sonuçları gösterilmektedir. Daha sonra, şirket tarafından kullanılan mevcut çözümün toplam maliyetiyle, iki sezon için TS (DP)'nin önerdiği çözümlerle 5.3 bölümünde karşılaştırılmıştır. Hâlihazırda, şirket, yükleme noktalarına her sezonun başında olmak üzere, yılda iki kez karar vermektedir. Bölüm 5.3.1'de, tesis yer seçimi planlama sıklıklarının, yani sezon uzunluklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisini analiz edilmiştir. Son olarak, 5.3.2 bölümünde, ikram çeşidi sayısının toplam maliyet üzerindeki etkisini analiz edilmiştir.

Önerilen çözüm yöntemlerini Java'da geliştirilmiş ve tüm deneysel çalışmalar 2.30 Gigahertz ve 8 Gigabyte bellekte çalışan Intel Core i5 işlemcili bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Matematiksel model, CPLEX 12.6.2 kullanarak, iki saatlik bir çalışma süresi ve %0,1'lik bir optimallik açığı sınırı ile çözülmüştür. Tabu arama algoritması için beş koşturum yapılmış ve beş koşturum için en iyi çözüm ve beş koşturumun toplam çalışma süresi sunulmuştur.

Önerilen yaklaşımda dört parametre kullanılmaktadır: maksimum iterasyon sayısı (ν), maksimum iyileştirmeyen iterasyon sayısı (ρ), minimum tabu tenür değeri (θ_{\min}), maksimum tabu tenure değeri (θ_{\max}), ve çeşitlendirme parametresi (γ). Örnek koşturumların sonucunda, bu parametre değerleri $\nu = 1000$, $\rho = 100$, $\theta_{\min} = 4$, $\theta_{\max} = 11$, $\gamma = 20$ olarak belirlenmiştir.

5.1 Veri Kümeleri

Veri kümesi, Türkiye'de iç hat uçuşlar gerçekleştiren bir havayolu şirketinden elde edilen gerçekçi örneklerden oluşmaktadır. Örnekler, şirketin geçmişteki bir uçuş planından (2016 yılı) üretilmiştir. İlgili dönemde şirket, Anadolu'nun hava taşımacılığı

ihtiyacını daha ekonomik bir şekilde karşılamak için şirket 24 uçaklık filosu ve 45 havaalanı ile 75 rotada faaliyet göstermektedir.

Şirket $w_1 = 0.07$ kg ve $w_2 = 0.035$ kg ağırlıklarında iki farklı ikram türü ile hizmet vermektedir. Şirket, yükleme kararlarında hacim kapasitesinin önemsiz bir faktör olduğunu belirttiğinden analizlerde sadece ağırlık kapasitesi dikkate alınmıştır. Uçak filusunda iki tip uçak bulunmaktadır bunların ağırlık kapasitesi $\alpha_{Type1}^{(W)} = 84$ ve $\alpha_{Type2}^{(W)} = 56$ 'dir. Her iki uçak tipi için birim kg ve dk. başına yakıt maliyeti $y_a = 8.75 \times 10^{(-4)}$ TL'dir.

Havaalanları, yani lokasyonlar, Çizelge 5.1.1'de verilmiştir. Ayrıca bu çizelge, şirket tarafından ilgili kış ve yaz sezonlarında kullanılan normal ve çapraz yükleme alanlarını da belirtir.

Çizelge 5.1.1: Şirketin kış ve yaz sezonları için yükleme tipi (normal veya çapraz) bilgileriyle uçuğu havaalanları

Lokasyon (s)	Lokasyon Tipi		Lokasyon (s)	Lokasyon Tipi		Lokasyon (s)	Lokasyon Tipi	
	Kış	Yaz		Kış	Yaz		Kış	Yaz
AYT	-	N	ESB	N	N	SAW	N	N
ADB	-	C	KCO	C	C	YEI	C	C
ADA	-	-	ADF	-	-	AJI	-	-
ASR	-	-	BAL	-	-	BGG	-	-
BJV	-	-	CKZ	-	-	DIY	-	-
DLM	-	-	DNZ	-	-	ECN	-	-
EDO	-	-	ERC	-	-	ERZ	-	-
EZS	-	-	GNV	-	-	GZP	-	-
GZT	-	-	HTY	-	-	IGD	-	-
IST	-	-	KCM	-	-	KSY	-	-
KYA	-	-	MLX	-	-	MQM	-	-
MSR	-	-	NAV	-	-	NKT	-	-
OGU	-	-	SXZ	-	-	SZF	-	-
TEQ	-	-	TJK	-	-	TZX	-	-
USQ	-	-	VAN	-	-	VAS	-	-

N: Normal, C: Çapraz, - : Hiçbiri

Lokasyonların yükleme türüne bağlı olarak verilen sabit açılış maliyeti ve sabit ve değişken yükleme maliyetleri Çizelge 5.1.2'de verilmiştir. Bu tezde tüm maliyetlerin birimi Türk Lirasıdır.

Çizelge 5.1.2: Normal ve çapraz yükleme noktalarının sabit açılma maliyeti ve sabit ve değişken yükleme maliyeti

Lokasyon Tipi	Sabit açma maliyeti	Sabit yükleme maliyeti	Değişken yükleme maliyeti
	O	f	v
Normal (N)	100,000	379.4	0.4677
Çapraz (C)	80,000	400	0.5291

Şirket, bir lokasyonu potansiyel normal yükleme, potansiyel çapraz yükleme veya hiçbiri olarak tanımlamaktadır. Bir lokasyon aynı anda hem normal hem de çapraz yükleme noktası olamaz. Kış ve yaz sezonları için potansiyel yükleme noktalarını ayrı ayrı belirlemek için Pareto analizinden faydalanılmıştır.

Pareto analizinde havaalanlarından kalkış sayısı ve havaalanlarından ayrılan yolcu sayısı olmak üzere iki farklı metrik kullanılmıştır. Analizlerde %60, %70 ve %80 olmak üzere üç kırılma yüzdesi kullanılmıştır. Kalkışların (uçuşların sayısına göre veya yolcu sayısı), %60, %70 ve %80'ine sahip havalimanları sırasıyla karşılık gelen kırılma yüzdesi için normal yükleme noktası olarak belirlenmiştir. Lokasyonların geri kalanı çapraz yükleme yeri olarak tanımlanmıştır. Her sezon (kış ve yaz) için belirlenen normal yükleme yerleri, her kırılma yüzdesi (%60, %70 ve %80) ve her metrik (D sütunu kalkış sayısı ve P sütunu ayrılan yolcuların sayısı) için Çizelge 5.1.3'te verilmiştir.

Farklı boyutlardaki problem örneklerini analiz etmek için, uçak sayısı ve planlama çevreninin uzunluğu bakımından farklılık gösteren bir yıllık uçuş planının farklı kısımlarına karşılık gelen örnekler oluşturulmuştur. İsimlendirmede her örneğin adı 'I' harfiyle başlamaktadır. İsmi kalan karakterleri, sırayla planlama çevreni uzunluğunu, uçak sayısını ve toplam bacak sayısını temsil eden üç bölüme ayrılabilir. Örnek olarak, problem örneğinin adının ilk bölümünde yer alabilecek '1D', '2W', '3M' veya '1Y' sırasıyla bir gün, iki hafta, üç ay veya bir yıl anlamına gelmektedir.

Çizelge 5.1.3: Pareto analizi sonucunda kış ve yaz sezonları için belirlenmiş normal yükleme noktaları

Sezon	Kış						Yaz					
Kırılım Yüzdesi	%60		%70		%80		%60		%70		%80	
Metrik (D/P)	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
Lokasyonlar	ESB	ESB	ESB	ESB	ESB	ESB	ESB	ESB	ESB	ESB	ESB	ESB
	SAW	SAW	SAW	SAW	SAW	SAW	SAW	SAW	SAW	SAW	SAW	SAW
	TZX	TZX	TZX	TZX	TZX	TZX	TZX	TZX	TZX	TZX	TZX	TZX
	ADA	ADA	ADA	ADA	ADA	ADA	ADB	ADB	ADB	ADB	ADB	ADB
			AYT	AYT	AYT	AYT			AYT	AYT	AYT	AYT
			ADB	ADB	ADB	ADB			ADA	ADA	ADA	ADA
					DIY	DIY			DIY	DIY	DIY	DIY
					VAN	VAN					ERZ	ERZ
					ERZ	ERZ					GZT	GZT
					GZT	GZT					VAN	VAN
					ECN	ECN					SZF	SZF
											BJV	BJV
											YEI	

Benzer şekilde, örnek adının ikinci kısmında yer alabilecek '3A', örneğin üç uçak içerdiği anlamına gelmektedir. Son olarak, tüm uçaklar için seksen dokuz bacağı olan bir örnek, adlandırmanın üçüncü kısmında '89L' ile temsil edilir. Özetle, I2W4A578L isimli bir örneğin, iki haftalık uçuş planı için 578 bacağı olan dört uçağı vardır. Bu bacakların tüm kalkış ve varış havaalanları problem örneğinin lokasyonlar kümesini oluşturur, normal veya çapraz yükleme noktası kümelerine, yani sırasıyla $S^{(N)}$ veya $S^{(C)}$ ait olup olmaması durumu Çizelge 5.1.1'de belirtilmiştir. i_{ak} uçağı için k ikramı başlangıç stoğu, sıfır ile uçak tarafından bu ikram türü için taşınabilecek maksimum miktarın yarısı arasında rasgele bir sayıya ayarlanır. a uçağının l bacağı için k ikram talebi, d_{alk} , (34) numaralı denklemle hesaplanır:

$$d_{alk} = \alpha_a^{(P)} \beta_{al} r_k \quad (34)$$

Burada $\alpha_a^{(P)}$ a uçağının yolcu kapasitesini, β_{al} karşılık gelen bacağın tahmini doluluk oranını ve r_k k ikram tipinin talep payını (yüzdeler) göstermektedir. İkrâm tiplerinin talep payları $r_1 = \%67$ ve $r_2 = \%33$, burada birincisinin raf ömrü 24 saat ikincisinin raf ömrü altı aydır.

Bacakların kalkış zamanlarına, yani t_{la} , ve her ikram tipinin raf ömrüne göre, a uçağının m bacağına başlangıcında yüklenen k ikram tipinin bu uçağın l bacağına tüketilip tüketilemeyeceğini gösteren 0-1 parametre aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\beta_{amlk} = \begin{cases} 0, & \text{eğer } t_{ma} + l_k \geq t_{la} \\ 1, & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (35)$$

Burada l_k k ikram tipinin raf ömrünü göstermektedir.

5.2 Önerilen sezgiselin çözüm kalitesinin değerlendirilmesi

Önerilen iki hibrit tabu arama algoritması versiyonunun, yani TS (G) ve TS (DP) performansının araştırılması için, dörde kadar uçak ve yaklaşık altı yüz bacak içeren on küçük boyutlu problem örneğiyle, yirmiye kadar uçak ve yaklaşık üç bin baktan oluşan altı yüz bacak ve dört orta boyutlu problem örneklerinin matematiksel model ve hibrit algoritmadan elde edilen sonuçlarını karşılaştırılmıştır. Normal veya çapraz yükleme noktası açılış maliyetinin toplam maliyete egemenliğini önlemek için sabit

açılış maliyetini, küçük boyutlu problem örneklerinde ona, orta boyutlu problem örneklerinde ise beşe bölünmüştür.

Çizelge 5.2.1 ve Çizelge 5.2.2 her problem örneğinin matematiksel model (MM), açgözlü algoritmali hibrit tabu arama algoritması (TS (G)) ve dinamik programlama içeren hibrit tabu arama (TS (DP)) ile elde edilen sonuçlarını sunar. Tabloda açılan normal ve çapraz yükleme siteleri sırasıyla *N Lok.* ve *C Lok.* sütunlarının altında gösterilmiştir. *TC* sütunu, ilgili çözümün toplam maliyetini sunar. *CPU* ve *Gap (%)* sütunları, sırasıyla saniye cinsinden toplam koşturum süresini ve MM'nin en iyi alt sınırına kıyasla yüzde cinsinden optimallik açığını bildirir. Matematiksel model iki saatlik bir koşturum süresi sınırı ile çalıştırılmıştır.

Çizelge 5.3.1'deki sonuçlara göre, yüzden daha az bacak içeren küçük boyutlu örnekler için, tüm çözüm yaklaşımlarının çalışma süreleri bir saniyeden daha azdır ve bu süre içerisinde MM ve TS (DP) optimal sonucu bulabilmektedir. TS (G)'de açılan lokasyonlar optimal çözümün aynı da olsa, yükleme kararlarında açgözlü yaklaşım kullanmak optimale yakın sonuçlar elde etmek ve dolayısıyla problem büyüklüğü arttıkça artan yükleme maliyeti demektir. Daha büyük problem örnekleri için MM iki saatlik zaman kısıtı içinde optimal çözümü bulabilmektedir. TS (DP) ise iki dakikadan daha kısa bir sürede optimal çözümü bulabilmektedir. Orta boyutlu problem örnekleri için MM iki saatlik zaman kısıtı içinde optimal çözümü bulabilmektedir. TS (DP) ise on beş dakikadan daha kısa sürede optimal çözümü bulabilmektedir. Açgözlü yükleme kararları, tüm küçük ve orta büyüklükteki örnekler için optimale yakın çözümler sunmaktadır. Daha büyük örnekler için MM bellek hatası vermektedir.

5.3 Gerçek Vaka

Kış ve yaz mevsimlerinin bölüm 5.1'de açıklanan % 60, % 70 ve % 80 Pareto ilkeleri kullanılarak çeşitli potansiyel normal ve çapraz yükleme noktaları kümeleri elde edilmişti. Bu bölümde, mevcut çözüm ile sezon ve kırılma yüzdelerine karşılık gelen potansiyel yükleme noktaları kümeleriyle elde edilen TS (DP) çözümleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.3.1: Küçük boyutlu problem örnekleri için matematiksel model ve sezgiselin iki versiyonunun sonuçları

Örnek	Çözüm Yöntemi	N Lok.	C Lok.	TC	CPU (s)	Gap (%)
I1D2A11L	MM	ADB, SAW	-	22,212	< 1	0
	TS (DP)	ADB, SAW	-	22,212	< 1	0
	TS (G)	ESB, SAW	-	23,454	< 1	5.59
I1D3A17L	MM	ADA, ADB, SAW	-	33,247	< 1	0
	TS (DP)	ADA, ADB, SAW	-	33,247	< 1	0
	TS (G)	ADA, ADB, SAW	-	35,623	< 1	7.15
I1D4A22L	MM	ESB, SAW	-	24,270	< 1	0
	TS (DP)	ESB, SAW	-	24,270	< 1	0
	TS (G)	ESB, SAW	-	26,919	< 1	10.91
I1W1A42L	MM	SAW	AJI	24,937	< 1	0
	TS (DP)	SAW	AJI	24,937	< 1	0
	TS (G)	ESB, SAW	-	32,886	< 1	31.88
I5D2A65L	MM	ESB, SAW	-	30,078	< 1	0
	TS (DP)	ESB, SAW	-	30,078	< 1	0
	TS (G)	ADA, ESB	ERZ	45,361	< 1	50.81
I4D3A86L	MM	ADA, ESB	-	33,067	< 1	0
	TS (DP)	ADA, ESB	-	33,067	1	0
	TS (G)	ADA, ADB, AYT, TZX	ASR, KSY	74,243	< 1	124.52

Çizelge 5.3.2 (Devam): Küçük boyutlu problem örnekleri için matematiksel model ve sezgiselin iki versiyonunun sonuçları

I1M1A194L	MM	ESB, SAW	DIY	58,088	15	0
	TS (DP)	ESB, SAW	DIY	58,088	4	0
	TS (G)	ADA, ADB, TZX	ASR, DNZ, ERZ, GNY, HTY, KYA, MQM, VAN	147,626	2	154.14
I1M2A421L	MM	ESB, SAW	GZT	93,226	108	0
	TS (DP)	ESB, SAW	GZT	93,226	9	0
	TS (G)	ADA, ADB, AYT, SAW	DIY, ECN, MQM	193,296	4	107.34
I3M1A585L	MM	ESB, SAW	-	111,110	146	0
	TS (DP)	ESB, SAW	-	111,110	27	0
	TS (G)	ADB, AYT, SAW, TZX	AJI, DIY, IGD, VAN	327,693	4	194.93
I1M3A622L	MM	ESB, SAW	GZT	124,361	205	0
	TS (DP)	ESB, SAW	GZT	124,361	21	0
	TS (G)	ADA, ADB, AYT, SAW, TZX	DIY, ECN, MLX, MQM	273,999	4	120.33

Çizelge 5.3.3: Orta boyutlu problem örnekleri için matematiksel model ve sezgiselin iki versiyonunun sonuçları

Örnek	Çözüm Yöntemi	N lok.	C lok.	TC	CPU (s)	Gap (%)
I1W20A1059L	MM	ESB, SAW	ECN, MSR	522,692	42	0
	TS (DP)	ESB, SAW	ECN, MSR	522,692	26	0
	TS (G)	ADA, ADB, AYT, SAW, TZX	DIY, ECN, EDO, GZP, GZT, HTY, IGD, KCM, MLX, OGU, TEQ, VAN, YEI	1,851,776	7	118.02
I2W15A1599L	MM	ESB, SAW	YEI	525,807	202	0
	TS (DP)	ESB, SAW	YEI	525,807	202	0
	TS (G)	ESB, SAW	MSR	785,869	12	109.81
I1M10A2222L	MM	ESB, SAW	ECN, YEI	620,673	7200	0
	TS (DP)	ESB, SAW	ECN, YEI	620,673	626	0
	TS (G)	ESB, SAW	MSR, NKT	1,110,983	14	114.61
I1M14A3023L	MM	ESB, SAW	ECN, YEI	823,355	7200	0
	TS (DP)	ESB, SAW	ECN, YEI	823,355	802	0
	TS (G)	ESB, SAW	AJI, ECN, MSR	1,473,307	18	129.73

Şirketin, her bir uçağın yükleme planını belirlemek için her açık yükleme noktasında ikram yüklemesi yapan açgözlü yaklaşımı kullandığından bölüm 4.2.1’de bahsetmiştik. Bu nedenle, şirket tarafından belirlenen açık normal ve çapraz yükleme noktalar kümeleriyle her sezon için mevcut çözümün toplam maliyetini bulmak için 4.2.2 bölümünde açıklanan açgözlü yaklaşımı uygulanmıştır. Ayrıca, şirket tarafından verilen açık normal ve çapraz yükleme noktaları için, ikram yükleme kararlarında sistematik bir yaklaşım kullanmanın etkisini göstermek için 4.2.2 bölümünde açıklanan dinamik programlama yaklaşımını uygulanmıştır.

Yaz sezonu, altı aylık 28309 bacağı ve 23 uçağı olan I6M23A28309L örneğine karşılık gelir. Kış mevsimi altı aylık 23161 bacağı olan 24 uçağı olan I6M24A23161L örneğine tekabül eder.

Çizelge 5.3.4: Mevcut çözümün yaz mevsimi için TS (DP) çözümleriyle kıyaslanması (problem örneği I6M23A28309L)

Çözüm	N Lok.	C Lok.	TM	CPU (s)
Mevcut	AYT, ESB, SAW	ADB, KCO, YEI	17,621,732	< 1
Mevcut - DP	AYT, ESB, SAW	ADB, KCO, YEI	4,842,251	< 1
TS (DP) - %60	ESB, SAW	ADB, AYT, YEI	4,771,045	7258
TS (DP) - %70	ADB, AYT, ESB, SAW	YEI	4,769,529	6996
TS (DP) - %80	ADB, AYT, ESB, SAW	YEI	4,769,529	6444

Çizelge 5.3.5: Mevcut çözümün kış mevsimi için TS (DP) çözümleriyle kıyaslanması (problem örneği I6M24A23161L)

Çözüm	N Lok.	C Lok.	TM	CPU (s)
Mevcut	ESB, SAW	KCO, YEI	15,120,699	< 1
Mevcut - DP	ESB, SAW	KCO, YEI	3,912,756	< 1
TS (DP) - %60	ESB, SAW, TZX	-	3,827,608	5529
TS (DP) - %70	ESB, SAW, TZX	-	3,827,608	5082
TS (DP) - %80	ESB, SAW, TZX	-	3,827,608	4687

Çizelge 5.3.1 ve Çizelge 5.3.2, sırasıyla yaz ve kış mevsimleri için analiz sonuçlarını sunar. Her çizelge, *N Lok.* ve *C Lok.* sütunları altında sırasıyla açılan normal ve çapraz lokasyonları, *TC* sütununun altında toplam maliyeti ve *CPU (s)* sütunu altında saniye cinsinden koşturum sürelerini sunar. Tablolar aynı zamanda mevcut açık yükleme noktalarıyla yapılan ikram yüklemesinin şuanki maliyetini, bu lokasyonlarla dinamik programlama yaklaşımı kullanılarak elde edilen çözümün maliyetini ve % 60, % 70 ve % 80 Pareto ilkeleri ile elde edilen potansiyel yükleme noktaları kümesi dahilinde TS (DP) aracılığıyla verilen yükleme kararlarını (açılacak yükleme noktaları ve yükleme planı) da içermektedir.

Çizelge 5.3.1 ve Çizelge 5.3.2'nin ilk iki satırı, şu anda ikram yükleme planı oluşturmak için kullanılan ağırlıklı yaklaşıma kıyasla önerilen dinamik programlama yaklaşımı gibi sistematik bir yaklaşım uygulamanın açıkça kayda değer miktarda tasarruf, hatta spesifik olarak toplam maliyette % 70'den fazla azalma sağladığını göstermektedir. Mevcut açık lokasyonlar için dinamik programlama yaklaşımı ile yükleme kararlarının verildiği çözüm, TS (DP) çözümleriyle karşılaştırıldığında, tesis lokasyon kararlarının ikram yükleme planlamasına entegre edilmesinin her iki sezon için de maliyet iyileştirmesi sağladığı görülmektedir. Farklı Pareto oranları kullanan TS (DP) çözümleri karşılaştırıldığında, daha küçük bir normal yükleme lokasyonu kümesine sahip olan % 60'luk kırılma yüzdesinin, yaz mevsimi için biraz daha yüksek bir maliyetle sonuçlandığı, kış mevsimi içinse tüm kırılma yüzdelerinin aynı sonucu

verdiği görülmektedir. Öte yandan, % 70'lik kırılma yüzdesi daha dengeli normal ve çapraz yükleme lokasyonları kümeleri verdiği için, mevcut çözümün tabu arama algoritmasının her iterasyonundaki komşusunun diğer kırılma yüzdelere kıyasla daha küçük olması muhtemeldir dolayısıyla daha küçük koşturum süresine yol açar. Bu nedenle, bu bölümde TS (DP)'den faydalanan analizler için % 70'lik kırılma yüzdesi kullanılır. Ayrıca, her mevsim ve her Pareto kırılma yüzdesi için hibrit yaklaşımın koşturum süresi yaklaşık iki saattir ve bu süre stratejik kararlar için tolere edilebilir.

Yaz sezonu için mevcut uygulamaya kıyasla, yaklaşımımız ADB'de (İzmir) bir çapraz yükleme yerine normal bir yükleme alanı açmayı ve KCO'da (İzmit) çapraz yükleme alanını kapatmayı önermektedir. Öte yandan, kış sezonu için mevcut uygulamaya kıyasla, yaklaşımımız TZX (Trabzon) 'da normal bir yükleme alanı daha açmayı ve KCO (İzmit) ve YEI (Bursa)' deki çapraz yükleme alanlarını kapatmayı önermektedir.

5.3.1 Sezon uzunluğu analizi

Şu anda, şirket ikram yükleme yerlerinin konumu hakkındaki kararları yılda iki kez, yani her mevsim başında almaktadır. Bu bölümde, farklı tesis yer planlama sıklıklarının, yani mevsim uzunluklarının yıllık maliyet üzerindeki etkisini analiz edilmektedir. Üç farklı mevsim uzunluğu, altı ay, üç ay ve bir yıl ele aldık. Uzman danışmanlığından yola çıkarak, her sezonun başında yükleme noktalarının açılış ve kapanış sabit maliyetlerinin şu şekilde tahsil edildiğini varsayılmıştır. Yıllık uçuş planının ilk sezonunda, şirket o mevsime karşılık gelen çözümün açtığı her normal veya çapraz yükleme için sabit açılış ücreti öder. Takibindeki sezon için çözüm yaklaşımı, bir önceki sezonun açık noktaları için sıfır sabit açılış maliyeti ve kapanan lokasyonlar için pozitif sabit kapanış maliyeti (sabit açılış maliyetinin üçte biri olarak kabul edilmiştir) ve yeni açılan lokasyonlar için açılış maliyeti uygulanır. Yıllık maliyet, bir yıllık uçuş planına karşılık gelen tüm mevsimlerin toplam maliyetlerinin toplamı olarak hesaplanır.

Çizelge 5.3.1.1, yaz sezonunun başından itibaren farklı sezon uzunlukları için analiz sonuçlarını sunar. Altı aylık bir sezon uzunluğuna sahip mevcut çözüm ve değişen sezon uzunluklarına sahip TS (DP) çözümleri için çizelge, her sezon için açık normal

ve çapraz lokasyonları sırasıyla *N Lok.* ve *C Lok.* sütunları altında ve yıllık maliyeti bildirir.

Çizelge 5.3.1.1: Yaz sezonundan başlayan farklı sezon uzunlukları için yıllık maliyet

Çözüm	Sezon	N Lok.	C Lok.	Yıllık Maliyet
Mevcut (6Ax2)	1	AYT, ESB, SAW	ADB, KCO, YEI	32,442,431
	2	ESB, SAW	KCO, YEI	
TS (DP) (6Ax2)	1	ADB, AYT, ESB, SAW	YEI	8,279,733
	2	ADB, AYT, ESB, SAW	YEI	
TS (DP) (3Ax4)	1	ESB, SAW	DIY	8,773,200
	2	ESB, SAW	DIY, ERZ, GZT, MLX	
	3	ADB, ESB, SAW	DIY, ERZ, GZT, YEI	
	4	ADA, ADB, AYT, ESB, SAW, TZX	DIY, GZT, YEI	
TS (DP) (12Ax1)	1	ADA, ADB, AYT, ESB, SAW, TZX	EZS, GZT, HTY, IST, YEI	8,787,761

Çizelge 5.3.1.1'deki sonuçlara göre, mevcut uygulamada olduğu gibi, eğer planlama çevreni yaklaşımı altı aylık sezonlara uygulanıyorsa, yaklaşımımız açık normal ve çapraz yükleme alanlarını değiştirmemeyi önermektedir ve aynı zamanda ayrı ayrı en iyilenen sezonların yaklaşık 8.6M TL (yaz mevsiminin maliyeti ~ 4.8M ile kış mevsiminin maliyeti ~ 3.8M toplamı) olan yıllık maliyetinde 317.4K TL tutarında bir tasarruf sağlar. Mevcut uygulamanın yıllık maliyetlerini önerilen çözümün yıllık maliyetleriyle karşılaştırdığımızda, önerilen yaklaşımın % 75 oranında yıllık maliyet tasarrufu sağladığını gözlemlenmektedir. Diğer sezon uzunlukları (üç ve on iki ay),

mevcut uygulamaya kıyasla daha az yıllık maliyet ile sonuçlansa da, en düşük yıllık maliyeti altı aylık sezon uzunluğu sağlamaktadır.

5.3.2 İkram çeşidi sayısı analizi, $|K|$

Şirket günümüzde, her uçuş esnasında iki çeşit ikram sunmaktadır, yani $|K| = 2$ 'dir. Bu bölümde, ikram çeşidi sayısının toplam maliyet üzerindeki etkisini analiz edilmektedir. Öncelikle, şirketin sadece daha fazla talebe sahip olan ikram türünü servis ettiği durum dikkate alınmıştır. $|K| = 1$ durumunda, tüm ikram talebinin bu ikram türü tarafından karşılandığını varsayılmış, yani $r_1 = \% 100$ olarak ele alınmıştır. Bu ikram türünün 24 saatlik raf ömrüne sahiptir. Ardından, $w_3 = 0.03$ kg ağırlığında ve $r_3 = \% 30$ 'luk talep payına sahip yeni ikram türünün portföye eklendiği durum dikkate alınmıştır. Bu durumda yeni ikram türü, önceki ikramların her birinin $\%15$ 'lik talep payını almaktadır. Yani, son haliyle $|K| = 3$ olduğunda $r_1 = \% 51,67$, $r_2 = \% 18,33$ ve $r_3 = \% 30$ olmaktadır. Analiz, kış mevsimi için yapılmıştır ve Çizelge 5.3.2, farklı ikram çeşidi sayıları için yapılan analizin sonuçlarını sunar. Çizelge, iki ikram tipi sunan mevcut çözüm ve çeşitli ikramlara sahip TS (DP) çözümleri için, açılmış normal ve çapraz lokasyonları sırasıyla *N Lok.* ve *C Lok.* sütunları altında, karşılık gelen toplam maliyetleri ise *TC* sütununun altında bildirmektedir.

Çizelge 5.3.2.1: Kış mevsimi için farklı ikram çeşidi sayılarının karşılaştırılması

Çözüm	N Lok.	C Lok.	TM
Mevcut ($ K = 2$)	ESB, SAW	KCO, YEI	14,706,699
TS (DP) ($ K = 1$)	ADB, AYT, ESB, SAW	BGG, DIY, ERZ, EZS, GZT, GZP, HTY, IST, KYA, MLX, TEQ	4,944,189
TS (DP) ($ K = 2$)	ESB, SAW, TZX	-	3,827,608
TS (DP) ($ K = 3$)	ADB, AYT, ESB, SAW	DIY, ERZ, EZS, GZT, GZP, HTY, IST, KYA, MLX, TEQ, YEI	5,275,587

Çizelge 5.3.2.1'deki sonuçlara göre, sadece raf ömrü kısa olan bir ikram türü sunulduğunda, müşteri memnuniyetinde beklenen düşüğe ek olarak, yaklaşımımız tarafından önerilen çözümün toplam maliyeti, mevcut ikram portföyü ile önerilen çözümün maliyetine kıyasla ~% 30 kadar artar. Mevcut iki ikram çeşidinin yanı sıra uzun raf ömrüne sahip ek bir ikram tipi önerildiğinde, önerilen yaklaşımın toplam maliyetinin ~% 27 artması beklenir, ancak bu durumdan müşteri memnuniyeti olumlu yönde etkilenecektir. Fakat fark etmeliyiz ki, üç ikram içeren portföyün toplam maliyeti, halen mevcut uygulamadan ~% 64 daha düşüktür. Bu nedenle, ikram yükleme ve planlamasında kullanılacak sistematik bir yaklaşımla elde edilen tasarrufların bir kısmı ikram çeşitliliğini arttırmak için kullanılarak müşteri memnuniyeti artırılabilir.





6. SONUÇ

Bu çalışmada, uçak içi atıştırmalık veya yemek servisi veren havayolları için ikram yükleme lokasyonu ve planı problemini incelenmiştir. Havayolları bu problemle sezonsal olarak karşılaşmaktadırlar. Problem, filo genelinde tesis yeri kararlarını filodaki her uçağın ikram envanteri yenileme kararlarıyla birleştirir. Her bir uçuş için tahmini ikram talebinin tam olarak karşılanması gerektiği göz önüne alındığında, amaç açılacak yükleme noktalarının sabit maliyetlerini, sabit ve değişken yükleme maliyetlerini ve uçuş sırasında uçakta bulunan ikram yüküne bağlı olarak değişen ek uçak yakıt maliyetini içeren toplam işletme maliyetlerini en aza indirmektir.

Problem için öncelikle bir karma tamsayı programlama modeli geliştirilmiştir. Gerçekçi problem örnekleri, mevsimsel uçuş planlarında çok sayıda uçuşa sahip geniş bir uçak filosunu içerdiğinden, gerçekçi problem boyutları için verimli dinamik bir programlama yaklaşımı ile bir tabu arama sezgiselini birleştiren hibrit bir çözüm yaklaşımı önerilmektedir.

Türkiye'de hizmet veren bir havayolu şirketinin gerçek verileri üzerine yapılan vaka analiziyle, ikram yükleme ve planlamada kullanılmak üzere önerilen sistematik yaklaşımla ikram yükleme maliyetlerinde önemli düzeyde bir azaltma sağlanabildiği gösterilmiştir.

Bu çalışmada ücretsiz ikram servisleri ele alınmıştır. Gelecekteki potansiyel bir araştırma yönü, hava taşımacılığı pazarında yaygınlaşan bir yaklaşım olan uçuş esnasında ikram satılması durumunu dikkate almak olabilir.



KAYNAKLAR

- Abara, J.** (1989). Applying integer linear programming to the fleet assignment problem. *INFORMS Journal on Applied Analytics*, 19 (4), 20–28.
- Ahmadi-Javid, A., Seyed, P., & Syam, S. S.** (2017). A survey of healthcare facility location. *Computers & Operations Research*, 79, 223 – 263.
- Al-Sultan, K. S. & Al-Fawzan, M. A.** (1999). A tabu search approach to the uncapacitated facility location problem. *Annals of Operations Research*, 86, 91–103.
- Aliyu, I. & Sani, B.** (2018). An inventory model for deteriorating items with generalised exponential decreasing demand, constant holding cost and time-varying deterioration rate. *American Journal of Operations Research*, 08, 1–16.
- Alp, O., Erkut, E., & Drezner, Z.** (2003). An efficient genetic algorithm for the p-median problem. *Annals of Operations Research*, 122 (1), 21–42.
- Alumur, S. A., Kara, B. Y., & Melo, M. T.** (2015). Location and logistics. In G. Laporte, S. Nickel, & F. Saldanha da Gama (Eds.), *Location Science* (pp. 419–441). Cham: Springer International Publishing.
- Anbil, R., Gelman, E., Patty, B., & Tanga, R.** (1991). Recent advances in crew-pairing optimization at american airlines. *INFORMS Journal on Applied Analytics*, 21 (1), 62–74.
- Barnhart, C., Johnson, E. L., Anbil, R., & Hatay, L.** (1994). A column-generation technique for the long-haul crew-assignment problem. In T. A. Ciriani & R. C. Leachman (Eds.), *Optimization in Industry 2* (pp. 7–24). New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Belobaba, P. P.** (1987). Survey paper—airline yield management an overview of seat inventory control. *Transportation Science*, 21 (2), 63–73.
- Cao, J. & Kanafani, A.** (1997a). Real-time decision support for integration of airline flight cancellations and delays part i: mathematical

formulation. *Transportation Planning and Technology*, 20 (3), 183–199.

- Cao, J. & Kanafani, A.** (1997b). Real-time decision support for integration of airline flight cancellations and delays part ii: algorithm and computational experiments. *Transportation Planning and Technology*, 20 (3), 201–217.
- Chardaire, P., Sutter, A., & Costa, M.** (1996). Solving the dynamic facility location problem. *Networks*, 28 (2), 117–124.
- Clarke, M. D. D. & Ryan, D. M.** (2001). *Airline industry operations research*, (pp. 10–16). Boston, MA: Springer US.
- Curry, R. E.** (1990). Optimal airline seat allocation with fare classes nested by origins and destinations. *Transportation Science*, 24 (3), 193–204.
- Daskin, M. S. & Panayotopoulos, N. D.** (1989). A lagrangian relaxation approach to assigning aircraft to routes in hub and spoke networks. *Transportation Science*, 23 (2), 91–99.
- de Castro Fortes, J. L. & Oliveira, A. V. M.** (2016). An empirical study of catering costs in an emerging airline market. *E-Zine*, 51, 1–4.
- Drezner, Z.** (1995). Dynamic facility location: The progressive p-median problem. *Location Science*, 3 (1), 1–7.
- Ghosh, D.** (2003). Neighborhood search heuristics for the uncapacitated facility location problem. *European Journal of Operational Research*, 150 (1), 150–162.
- Giri, B. C. & Chaudhuri, K. S.** (1997). Heuristic models for deteriorating items with shortages and time-varying demand and costs. *International Journal of Systems Science*, 28 (2), 153–159.
- Glover, F. & Laguna, M.** (1998). Tabu search. In D.-Z. Du & P. M. Pardalos (Eds.), *Handbook of Combinatorial Optimization: Volume 1–3* (pp. 2093–2229). Boston, MA: Springer US.
- Goto, J.** (1999). A markov decision process model for airline meal provisioning. *Working Paper, University of British Columbia*.
- Goyal, S. & Giri, B.** (2001). Recent trends in modeling of deteriorating inventory. *European Journal of Operational Research*, 134 (1), 1 – 16.

- Gul, E.** (2011). Robust facility location with mobile customers. Master's thesis, Middle East Technical University.
- Hertz, A. & de Werra, D.** (1990). The tabu search metaheuristic: how we used it. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 1 (1), 111–121.
- Hinojosa, Y., Puerto, J., & Fernández, F.** (2000). A multiperiod two-echelon multicommodity capacitated plant location problem. *European Journal of Operational Research*, 123 (2), 271 – 291.
- Jarrah, A. I. Z., Yu, G., Krishnamurthy, N., & Rakshit, A.** (1993). A decision support framework for airline flight cancellations and delays. *Transportation Science*, 27 (3), 266–280.
- Jia, H., Ordóñez, F., & Dessouky, M.** (2007). A modeling framework for facility location of medical services for large-scale emergencies. *IIE Transactions*, 39 (1), 41–55.
- Li, R.** (2010). A review on deteriorating inventory study. *Journal of Service Science and Management*, 03, 117–129.
- M. Wagner, H.** (1969). *Principles of Operations Research: With Applications to Managerial Decisions*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- Melo, M., Nickel, S., & da Gama, F. S.** (2009). Facility location and supply chain management – a review. *European Journal of Operational Research*, 196 (2), 401 – 412.
- Mousavi, S. M., Hajipour, V., Niaki, S. T. A., & Alikar, N.** (2013). Optimizing multi-item multi-period inventory control system with discounted cash flow and inflation: Two calibrated meta-heuristic algorithms. *Applied Mathematical Modelling*, 37 (4), 2241 – 2256.
- Mwanalushi, K.** (October, 2013). Food for thought. *Low Cost and Regional Airline Business*, 6.
- Professor, J. F. B. A. & Cunningham, I. G.** (1987). Improving through-flight schedules. *IIE Transactions*, 19 (3), 242–251.

- Qin, Y., Wang, Z., Chan, F. T., Chung, S., & Qu, T.** (2019). A mathematical model and algorithms for the aircraft hangar maintenance scheduling problem. *Applied Mathematical Modelling*, 67, 491 – 509.
- Resende, M. G. & Werneck, R. F.** (2007). A fast swap-based local search procedure for location problems. *Annals of Operations Research*, 150 (1), 205–230.
- Rolland, E., Schilling, D. A., & Current, J. R.** (1997). An efficient tabu search procedure for the p-median problem. *European Journal of Operational Research*, 96 (2), 329–342.
- Salman, F. S. & Yucel, E.** (2015). Emergency facility location under random network damage: Insights from the istanbul case. *Computers & Operations Research*, 62, 266 – 281.
- Sazvar, Z., Mirzapour Al-e hashem, S., Govindan, K., & Bahli, B.** (2016). A novel mathematical model for a multi-period, multi-product optimal ordering problem considering expiry dates in a fefo system. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 93, 232–261.
- Serra, D. & Marianov, V.** (1998). The p-median problem in a changing network: the case of barcelona. *Location Science*, 6 (1), 383 – 394.
- Shah, N. & Shah, Y.** (2000). Literature survey on inventory models for deteriorating items. *Economic Annals*, 44, 221–237.
- Silver, E.** (1979). Coordinated replenishments of items under time-varying demand: Dynamic programming formulation. *Naval Research Logistics Quarterly*, 26, 141 – 151.
- Smith, B. C., Leimkuhler, J. F., & Darrow, R. M.** (1992). Yield management at american airlines. *INFORMS Journal on Applied Analytics*, 22 (1), 8–31.
- Sriram, C. & Haghani, A.** (2003). An optimization model for aircraft maintenance scheduling and re-assignment. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 37 (1), 29 – 48.
- Sun, M.** (2006a). Solving the uncapacitated facility location problem using tabu search. *Computers & Operations Research*, 33 (9), 2563 – 2589. Part Special Issue: Anniversary Focused Issue of Computers & Operations Research on Tabu Search.

- Sun, M.** (2006b). Solving the uncapacitated facility location problem using tabu search. *Computers & Operations Research*, 33 (9), 2563–2589.
- Teoh, L. & Inderjit Singh, J.** (2018). A bi-objective optimization approach for inflight food waste reduction. *E3S Web Conf.*, 65, 04001.
- Wagner, H. M. & Whitin, T. M.** (1958). Dynamic version of the economic lot size model. *Management Science*, 5 (1), 89–96.
- Xu, H. & Wang, H.-P. B.** (1990). An economic ordering policy model for deteriorating items with time proportional demand. *European Journal of Operational Research*, 46 (1), 21 – 27.
- IATA** (2010). Cutting catering costs. <https://airlines.iata.org/analysis/cutting-catering-costs>. alındığı tarih: 2019-05-09.
- IATA** (2012). Iata catering standard. Alındığı tarih: 2019-05-09.
- IATA** (2016). <https://airlines.iata.org/blog/2016/11/sponsored-chicken-or-pasta>. alındığı tarih: 2019-05-09.
- News, B. A.** (2013). Hygiene, preparation and washing up: a few challenges for in-flight catering. https://www.businessairnews.com/mag_story.html?ident=11011. alındığı tarih: 2019-05-09.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Seren Bilge YILMAZ
Uyruğu : T.C
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.01.1994 - AYDIN
E-posta : serenbilgeyilmaz@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2019, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Yıl	Yer	Görev
2017 - 2019	TOBB ETÜ	Tam Burslu Yüksek Lisans Öğrencisi

YABANCI DİL: İngilizce

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

Yılmaz, S.B., Yücel E, (2019), Havacılık Sektöründe İkram Yükleme Planlarının ve İkram Yükleme Lokasyonlarının Optimizasyonu, *39. Yöneylem Araştırması Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi*, Ankara, Türkiye, 12-14 Haziran.

Yılmaz, S.B., Yücel E, (2019), Optimizing onboard catering loading locations and plans for airlines. *VeRoLog 2019 Conference*, Sevilla, İspanya, 3-5 Haziran.