

Havaalanlarında Bagaj Sıralama İstasyonu Atama Probleminin Tampon Süre Açısından İncelenmesi

Fatma Şeyma YÜKSEL*¹, Figen ANTMEN¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 10.02.2021

Kabul tarihi: 30.06.2021

Öz

Havaalanı performanslarının sıralanmasındaki anahtar göstergelerden biri yanlış işlenen bagaj sayısıdır. Geciken, hasar gören veya çalınan bagaj gibi hatalı işlenen bagajlar para ve itibar kaybına ve yolcu memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Verimli bir bagaj işleme sistemi havaalanı performansını artıracak, yolcu şikayetlerini azaltacaktır. Bagaj işlemlerinden biri olan bagaj sıralama istasyonu atama problemi, çeşitli kısıtların göz önünde bulundurularak bagajların uçağa ulaştırılması işlemidir. Bagaj sıralama istasyonu atama probleminin amacı tüm uçuşları, kısıtları göz önünde bulundurarak sıralama istasyonlarına atamaktır. Çalışmada, bagaj sıralama istasyonu atama problemi üzerine çalışılmış ve tampon süreyle ilgili analizler yapılarak önerilerde bulunulmuştur. Ortaya konulan çözüm yaklaşımı gerçek verilerle problem üzerinde test edilmiştir. Elde edilen bulgular, bagaj atama probleminde tampon süre üzerinde etkili sonuçlar ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Havaalanı optimizasyonu, Atama problemi, Karışık tamsayı programlama

Examining the Baggage Sorting Station Assignment Problem at the Airport in Terms of Buffer Time

Abstract

One of the key indicators in sorting airport performances is the number of baggage that is handled incorrectly. Improperly processed baggage, such as delayed, damaged or stolen baggage, causes loss of money and reputation, passenger dissatisfaction. An efficient baggage handling system will improve airport performance, reduce passenger complaints. The problem of assigning a baggage sorting station, which is one of the baggage operations, is the process of transporting baggage to the aircraft, taking into account various restrictions. The purpose of the baggage sorting station assignment problem is to assign all flights to sorting stations, taking into account constraints. In the study, baggage sorting station assignment problem was studied and recommendations were made by analyzing buffer duration. The results show effective results on buffer time in the baggage assignment problem.

Keywords: Airport optimization, Assignment problem, Mixed integer programming

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Fatma Şeyma YÜKSEL, fdonmez@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

20. yy'nin ikinci yarısından itibaren, hizmet sektörünün ekonomideki yeri dikkatleri üzerine çekecek derecede ilerleme göstermiştir. Hizmet işletmeleri, bireysel ihtiyaçları karşıladığı gibi, endüstriyel ihtiyaçları da karşılamak amacıyla ulaşım, finansal ve iletişim hizmetleri de sunmaktadırlar. Ulaşım hizmetlerinden biri de havayolu taşımacılığıdır. Havayolu taşımacılığının değeri her geçen gün gelişen ağ yapısıyla artmaktadır. Kaynaklarının anlamlı kullanılması havaalanı hizmet kalitesi için önemli bir konudur. Uluslararası bir havaalanı olmak için bu kaynakların yönetilmesi çok önemlidir [1].

Globalleşen yeni pazar yapısında, yolcuların hizmet kalitesine yönelik beklentileri değişmekte, bu değişim yolcuların beklentilerinden doğan hizmet kalitesini de etkilemektedir. Yolcuların değişen beklentileri havayolu işletmelerinin müşteri memnuniyetini sağlayarak rekabetin hâkim olduğu piyasada üstünlük sağlamasını zorlaştırmaktadır. Rekabetin oldukça yoğun hissedildiği havayolu ulaştırma sektöründe firmaların başarılı olmaları için müşterilerinin globalleşen pazarda değişen beklenti ve isteklerini anlaması ve bunlara cevap bulması önem arz etmektedir. Bu nedenle havacılıkta sunulan hizmetlerde başarı sağlamanın ölçütü müşteri memnuniyetidir. Pazarda kalabilme çabalarının sonucu olan sürekli yenilenme, havayollarına bilinçli adımlar atmaları durumunda büyük ölçüde rekabet avantajı kazandıracaktır. Ancak bu durum; zamanında, hatasız, etkin maliyetli çözümler gerektirmektedir.

Havayolu işletmeciliği sektöründe müşteri memnuniyetini doğrudan etkileyen, önem arz eden kısımlar ise yolcuların uçağa biniş ve inişleri sırasında gerçekleşen işlemlerdir. Bir uçağın kalkış zamanı ve varış zamanı arasında birçok işlem meydana gelmektedir. Uçaktan yolcuları çıkışa aktarmak en belirgin işlemlerden biridir. Bagajlarının sirküle olması, uçağın yakıt ihtiyacının giderilmesi, yeni yolcuların giriş işlemleri (check-in) ve uçağa bindirilmesi, yeni malzemelerin uçağa konulması (boarding), uçağın temizlenmesi bu işlemlere ek olarak sayılabilir. Bu

işlemler uçak kapıda beklerken veya ayrılmasından sonra gerçekleştirilecektir. Gerçekleştirilen her işlemde havaalanının en önemli beklentisi müşteri memnuniyeti olacaktır. Kapı atama ve bagajların uçağa ve müşterilere ulaştırılması da memnuniyeti doğrudan etkileyen işlemlerdir. 2019'daki uluslararası hava yolculuğu tüketici raporunda 2. sıraya kadar ilerleyen bagaj teslim şikayetleri 2020'deki raporda 6. sıraya gerilemiştir [2]. Bu şikayetlerin azalmış olması bagaj sorunlarının çözülmesinin müşteri memnuniyeti açısından önemini göstermektedir.

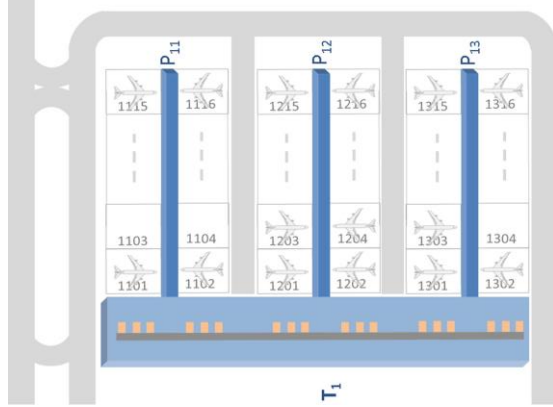
Bagaj işlemlerinin havaalanlarında işletme maliyetlerinin büyük bir bölümünü oluşturduğu düşünülmektedir [2]. Bu nedenle her geçen gün artan yolcu sayıları nedeniyle bagaj işlemlerini verimli hale getirecek bir sistem zorunlu hale gelmektedir. Verimli bir bagaj işleme sisteminin havalimanı performansını arttırıp, yolcu şikayetlerini azaltacağı düşünülmektedir. Havalimanlarındaki bu bagaj işleme sistemi, yolcu bagajlarının giriş işlemlerinde toplanmasından geri teslim edilmesine kadar olan işlemleri kapsamaktadır.

Havaalanı bagaj işleme sisteminin iyileştirilmesinde, bagaj sıralama istasyonu problemi de dahil olmak üzere kaynak kullanım işlemlerinin daha iyi modellenmesi ve çözümü önemlidir. Uçakların geri dönüş sürecinde yer alan belirsizlikler nedeniyle dönüş sürelerini önceden doğru bir şekilde tahmin etmek genellikle kolay değildir. Ortak karar verme, bu durumu iyileştirmek ve büyük faydalar elde etmek için anahtardır. Bagajın yanlış yerde olması veya diğer uçuş bagajlarıyla karıştırılma olasılığını azaltmak ve sıralama istasyonundan uçağa bagaj alma mesafesini azaltmak söz konusu durumu çözümlenmede daha etkili olacaktır. Bu belirsizliklerin azaltılması sağlanarak gecikmelerin önemli ölçüde önüne geçilebilecektir [3].

1.1. Problemin Tanımı ve Amacı

Havaalanları içerisinde uçakların park ettiği stant adı verilen alanlar vardır. Stantların olduğu alan da iskele olarak adlandırılır. Havaalanlarında kapı sayısını arttırmak amacıyla iskelelerin iki tarafına

da çıkıntı yapılabilir (Şekil 1). Kapı ise yolcuların havaalanından uçağa geçtikleri çıkışlardır. Stantlar trafik sıkışıklığına göre kapıya bağlı olabilir veya uzakta olabilir ve yolcular uçağa otobüs aracılığıyla aktarılır.



Şekil 1. Havaalanı iskelelerinde uçak stantlarının yerleşimine örnek [4]

Yolcu bagajlarının uçağa aktarılması uçak kalkışı gerçekleşmeden yapılması gereken bir diğer işlemdir. Geçici depolanan bagajlar seyahat için bagaj sistemlerine yüklenir. Sıralama istasyonlarında bagajlar sıralanır. Bagaj arabalarıyla veya doğrudan uçağa gönderilir. Bu istasyonlar genelde her kapıda bulunmaz, bu nedenle kapıları istasyonlara eşlemek önemlidir. Bagajlar geldiğinde uçak kapıya gelmemiş olabilir ve sıralama istasyonunda bekletilir. Bu istasyonlar ve stantlar arasında birebir uygunluk ve ideal yer garanti edilemez. Bu nedenle sıralama istasyonuna kapıdan daha çok ihtiyaç duyulur. Asco ve arkadaşlarının [4]'da belirttiği gibi bu olay her zaman pratik olmaz; çünkü geri dönüş zamanlarında belirsizlikler de mevcuttur. Bagaj sıralama istasyonlarının en iyi şekilde uçuşlara/kapılara atanması; bagajın yanlış uçuşa gitme olasılığını azaltmaya ve bagaj yolculuğunu kısaltmaya yardımcı olur.

Bu çalışma ile bagaj sıralama istasyonu atama problemi tampon süre açısından farklı bakış açısıyla değerlendirilip, çözüm sunulmaya çalışılmıştır.

Yapılan çalışmada sıralama istasyonları atanırken uçak kalkış saati sınırlarında tüm bagajların ilgili uçaklara gitmiş olması amaçlanmaktadır. Eğer kalkış süresine kadar bu işlem gerçekleşmemiş olursa bagajlar inişte yolculara ulaştırılmamış olacaktır. Sıralama istasyonlarında çakışma olmamasını sağlamak diğer amaçlardan biridir. Aynı zamanda, gerçek zamanlı veriler kullanılarak çıkan atama sonuçlarının gerçeğe yakın olması amaçlanmıştır.

Çalışmada söz konusu problem aşağıdaki kapsamda ele alınmıştır:

- Ataması gerçekleştirilecek bagajlar iç hatlar giden yolcu uçaklarına ait bagajlar olarak ele alınmıştır.
- Modelde incelenen kaynaklar; uçağın havaalanına geliş ve kalkış saatleri, bagajların uçağa ulaşma ortalama süreleri, spesifik bagaj miktarları ve istasyonlar ve uçaklar arasındaki mesafe olarak sınırlandırılmıştır.
- Model çalıştırılırken mevsimler ve olağanüstü nedenlerden kaynaklı ertelenen veya geciken uçuşlar göz ardı edilmiştir.

Bagaj sıralama istasyonu atama problemi, bu çalışmada daha önce yapılmış olan araştırmalar ve kurulan modeller incelenip, bagajların uçağa ulaştırılma süresi için oluşturulan kısıtlar tekrardan revize edilerek ele alınmıştır [3-5]. Böylece gerçek zamana daha uygun sonuçlar elde etmek istenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Çalışmanın bu bölümünde bagaj sıralama istasyonlarıyla alakalı yapılan daha önceki çalışmalar incelenmiş, özetlenmiştir.

Rijsenbrij ve Ottjes [6], uçaklardan bagajların taşınması üzerine çalışma yapmışlardır. Güncel bagaj taşıma yöntemlerinin yorucu ve zaman alıcı olmasından dolayı alternatif ulaşım ve yeniden zamanlanmış plan önermişlerdir. Önerilen çözümün prototip simülasyonunu kurarak test etmişlerdir.

Abdelghany ve arkadaşları [7], sıkışık havaalanlarında bagaj sıralama istasyonu için zamanlama modeli kurmuşlardır. Mevcut iskelelerdeki uçuşlara bagaj sıralama istasyonu atamışlardır ve farklı iskelelere atanan bagaj miktarının, eşdeğer yükü garanti edeceğinden, karşılaştırılabilir olması gerektiğini savunmuşlardır. Ayrıca aynı anda operasyonda olan istasyon sayısının az olması gerektiğini, çünkü az olması durumunda aynı anda daha az insan gücü gerekeceğini savunmuşlardır. Son olarak ise bir bagaj sıralama istasyonu birden çok iskeleye ayrılıyorsa bu iskelelerin birbirine yakın olması gerektiğinden bu koşula göre atama yapılması gerektiği durumunu incelemiştir. Kurdukları model yukarıdaki farklı operasyonel gereksinimleri tatmin ederken mevcut iskelelerden kullanımı optimize etmeye çalışmıştır. Modellerinde Greedy algoritmasından faydalanmışlardır.

Asco ve arkadaşları [3-5] yapmış oldukları bagaj sıralama istasyonlarıyla ilgili 2011'deki [4] çalışmalarında birden fazla hedefle istasyon atama problemi için yapıcı algoritmalar sunup etkilerini ortaya çıkarmış, mevcut sıralamaların farklılıklarını karşılamışlardır. Uygun algoritmayı istasyon sayısına ve hizmet süresinde kısaltma olup olmamasına göre seçmişlerdir. Hizmet süresindeki kısaltmayı her uçuşun bagajları için verilen tampon süreye uygulamışlardır. 2014'teki çalışmalarında bir önceki çalışmalarının genişletilmiş analizini sunmuşlardır [5]. Kabul edilen sabit işlem süresine, diğer uçuşla bagaj karışıklığı olmaması için verilen tampon süreden yapılabilecek maksimum kısaltmayı hesaplama üzerine model kurmuşlardır. Kabul edilir ve yararlı çözümler sunmaya çalışmışlardır.

Alsyouf ve arkadaşları [8], çalışmalarında yanlış işlenen bagajların nedenlerini belirleyip etkili çözümler önermeyi amaçlamıştır. Çalışmada altı sigma metodolojisine dayanan beş aşamadan oluşan bir prosedür kullanmışlardır. Önerilen prosedür, karar vericinin belirlenen hedefe göre bagaj taşıma sisteminin performansını ölçmeyi sağlamıştır.

Shih ve arkadaşları [9], bagaj boşaltma alanlarının iki uçuşun bagajlarını aynı anda dağıtabileceğini göz önünde bulunduran bir model oluşturmuşlardır. Önerilen modelin amacı, boşaltma sürecindeki iş yükünü azaltmaktır.

Huang ve arkadaşları [10], çalışmalarında giden uçuş bagajlarının depolama alanlarına atama problemini iki aşamalı stokastik vektör atama problemi olarak modellemişlerdir. Toplam maliyetleri en aza indirmek için modele ek kısıtlar eklenerek oluşturulan modeli Asya'daki büyük bir havaalanına uygulamışlardır.

Frey ve arkadaşları [11], gelen uçuşlardan bagajları boşaltma alanlarına atama problemini incelemiştir. Amacı iş yükünü en aza indirecek olan modeli çözmek için bir ayrıştırma prosedürü oluşturmuşlardır.

Huang ve arkadaşları [2], çalışmalarında giden uçuş bagajlarının depolama alanlarına atama problemi için bir optimizasyon modeli önermişlerdir. Model iki aşamalı programlama kullanılarak oluşturulmuştur. Eklenmesi düşünülen kısıtların modeli çözülmesi zor hale getirdiğinden hesaplama hızını arttırmak için önerilerde bulunmuşlardır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Havalimanlarında yolcular iç hatlar giden, iç hatlar gelen, dış hatlar giden, dış hatlar gelen ve aktarmalı olarak 5 kısma ayrılır. Bu kısımların hepsini birden ele almak problemi karmaşıklaştıracağından dolayı, bu çalışmada sadece iç hatlar giden yolcularının uçuşları ele alınarak atama yapılmıştır. İç hatlar giden yolcuları için havaalanındaki ilk aşama, biletlerinin giriş işlemlerini yapmaları ve varsa uçak bagajlarını teslim etmeleridir. İkinci aşama, güvenlik kontrolüdür. Üçüncü aşama ise çağrı yapıldığında ilgili kapıdan uçağa geçmeleridir.

Yolcular haricinde uçuşla ilgili bagaj sisteminde de farklı işlemler olmaktadır. İlki giriş işleminde alınan bagajların bekleyeceği sıralama

istasyonlarına yönlendirilmesi, ikincisi ise kalkış zamanı yaklaşan uçuş bagajlarının sıralama istasyonundan uçağa yönlendirilmesidir. Yolcular uçaklarına geçtiklerinde bagajların da hareket saatinden önce uçağa yüklenmiş olması gerekmektedir.

Bu çalışmada bir havaalanında iç hat uçuşlarının kalkış zamanları, bagajların uçağa yüklenme süreleri ve havaalanının mevcut kapı ve istasyon sayıları kullanılarak, daha iyi sonuçlar elde etmek üzere belirli kısıtlar altında test edilmiştir.

3.2. Metot

Havaalanı işletmeciliğinin faaliyet alanlarından biri de bagaj sistemleridir. Müşteri memnuniyetinde ikinci sıraya yükselen bagaj işleminin üç ana fonksiyonu bulunmaktadır [7];

- Giriş işlemleri alanından kalkış kapısına bagajları taşıma,
- Bagajları bir kapıdan başka bir kapıya taşıma,
- Geliş kapılarından bagaj teslim alanına bagaj getirme.

Bu üç ana fonksiyonun da belirli kısıtlar altında gerçekleştirilmesi istenmektedir. En büyük kısıt zamandır. Giden uçuş bagajlarının uçuş saatinden önce uçağa varması, gelen uçuş bagajlarının en kısa sürede yolculara ulaştırılması ve transfer yolcu bagajlarının bir sonraki uçuş bagajlarına eklenmesi önemli zaman kısıtlarındandır. Bu üç fonksiyon arasından çalışmaya konu olan giriş işlemleri alanından kalkış kapısına bagaj taşıma problemi için optimizasyon model oluşturulmuştur.

Bir optimizasyon problemi olan bagaj sıralama istasyonu atama probleminde çok sayıda amaç fonksiyonu kullanılabilir. Bunların bazıları mesafeyi azaltma, tüm uçuşların istasyona atanması, boş kalma zamanlarının azaltılması olarak ifade edilebilir. Tek bir amaç fonksiyonun hedeflenmesi gibi, amaç olarak birden fazla fonksiyonun ele alındığı problemler de bulunmaktadır [3,4,7,8]. Bu çalışmada yararlanılan ve daha önce kurulmuş olan modelde birden fazla amaç fonksiyonu bulunmaktadır [5].

Çalışma kapsamında problem için model doğrusal programlama tekniklerinden olan ulaştırma ve atama problemleri yöntemine dayalı olarak kurulmuştur. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda probleme uygun görülen daha önce kurulmuş modellerden, yeni kısıtlar eklenerek yararlanılmıştır [3-5]. Yeni oluşturulan kısıtlar daha sonraki başlıklarda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Asco ve arkadaşları [5] bagaj sıralama istasyonu atama problemi için geliştirdikleri modelde aşağıdaki notasyonları kullanmışlardır:

N : Dikkate alınacak bagaj sıralama istasyon sayısı

M : Sıralama istasyonu tahsis edilmesi gereken uçuş sayısı

e_i : Uçuş j için hizmet bitiş zamanı

t_j : Uçuş j için hizmet başlangıç zamanı

C_j : Uçuş j için kabul edilen spesifik bagaj miktarı

D_{ij} : i . Bagaj ayırma istasyonu ile j . uçuş arasındaki mesafe

R : Uçuş hizmet süresi için belirlenen tampon süre (dk)

A : En kısa hizmet süresi (dk)

M : Ortalama hizmet süresi (dk)

B : En uzun hizmet süresi (dk)

Yukarıdaki notasyonlardan R bu çalışmada literatürden farklı olarak ele alınmıştır. Asco ve arkadaşları [5] izin verilen hizmet süresinin maksimum azaltılacağı süreyi hesaplatmış ve ona göre probleme çözüm sunmuşlardır. Bu çalışmada ise geçmiş veriler kullanılarak belirlenen, tampon süre kullanılmıştır.

Probleme ilişkin modelleme aşağıdaki varsayımlar dikkate alınarak oluşturulmuştur.

- Sadece iç hatlar giden yolcu bagajları ele alınmıştır.
- Herhangi bir hava muhalefeti veya olağanüstü bir durum olmadığı, tüm uçakların saatinde havaalanına indiği ve kalktığı varsayılmıştır.
- Model bir gün 24 saat olarak çalıştırılmıştır.

Bu bağlamda ele alınan problemin modeli aşağıdaki gibidir (Eşitlik 1-9):

$$\max \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M y_{ij} \quad (1)$$

$$\min \sum_{j=1}^M (C_j \cdot \sum_{i=1}^N (y_{ij} \cdot D_{ij})) \quad (2)$$

$$\min \sum_i \left| \sum_{j=1}^M y_{ij} - \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M y_{ij}}{N} \right| \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^N y_{ij}=1 \quad (4)$$

$$(e_j - t_i) > R \quad \text{ise} \quad y_{ij} + y_{il} \leq 1 \quad (5)$$

$$(e_j - t_i) \leq R \quad \text{ise} \quad (y_{ij} + y_{il} - 1)(e_j - t_i) \leq R \quad (6)$$

$$\mu_j = \frac{a_j + 4m_j + b_j}{6} \quad (7)$$

$$\sigma_j = \frac{b_j - a_j}{6} \quad (8)$$

$$t_j = e_j - (\mu_j + \sigma_j) \quad (9)$$

Eşitlik 1’de verilen çalışmanın amaç fonksiyonlarından ilkinin maksimum atama oluşturmaktadır. Maksimum atama uçuşların maksimum sayıda istasyonlara atanmasını, açıkta kalan uçuş sayısının minimum olmasını ifade etmektedir. Bu amaç, atama problemleri için ortak amaçtır ve atanacak olan kümenin hepsinin atanması hedeflenir, kısıtlar dahilinde maksimum atama gerçekleşir. Kullanılan amaç fonksiyonu; Asco ve arkadaşları’nın [5] çalışmalarında kullandığı amaç fonksiyonundan değiştirilmeden alınmıştır.

Eşitlik 2’de diğer amaç olan minimum mesafe için sıralama istasyonu ve uçuş kapısı arasındaki mesafe dikkate alınmıştır. İstasyon ile uçuş kapısı arasındaki mesafenin minimum olması hem zaman açısından hem de harcanan enerji açısından önemlidir.

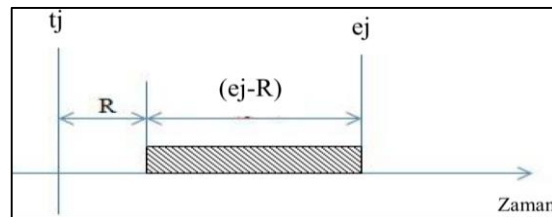
Eşitlik 3’te verilen amaç fonksiyonu ise; adil atama fonksiyonudur. Bu amaç, atamalar arasında daha adil bir dağılım için gereklidir. Çünkü bir istasyon tam dolu olarak çalışırken bir diğerinin boş olması istenmez. Her istasyona eşit olmasa da eşite en yakın dağılım olması istenir. Abdelghany ve arkadaşları’nın [7] çalışmalarında oluşturdukları

adil atama fonksiyonu, bagaj sıralama istasyonlarına toplam atanan uçuş bagaj işlem sürelerinin toplamı arasındaki farkın minimum olmasını hedefler. Bu çalışmada, Abdelghany ve arkadaşları’nın [7] fonksiyonundan farklı olarak sürenin değil atama sayıları arasındaki farkın minimum olması hedeflenmiştir.

Modelde kullanılan kısıtlar ise; atama limiti (4) ve hizmet kısıtı (5), (6) olarak adlandırılmıştır.

Atama limiti: Her uçuş bir istasyona atanabilir. Eşitlik 4’te bu kısıtın göz ardı edilmesi durumunda uçuşlar birden fazla istasyona atanacak ve doğru bir atama gerçekleştirilemeyeceği belirtilmiştir. Bazı özel durumlarda, gelen uçuş yolcularının bir kısmının aktarma yolcusu olması gibi, birden çok istasyona atama gerçekleşebilir. Çalışmada karmaşıklığı azaltmak amacıyla aktarma yolcular göz ardı edilmiştir. Asco ve arkadaşları [5] bu kısıtı en fazla bir istasyona atanmalı olarak kullanmışlardır. Uygulama yaptıkları verilerde istasyona atanmadan bagaj otobüsleriyle uçağa alınan bagajlar olduğundan dolayı böyle bir kullanım tercih etmişlerdir.

Hizmet kısıtı: Bir bagaj sıralama istasyonu aynı anda sadece bir uçuş tarafından kullanılabilir. Çakışma olması durumunda uçuş bagajlarında karışıklık olabilir. Bu karışıklığı önlemek için yakın kalkış saatli uçuşların farklı istasyonlara atanması gerektiği Eşitlik 5 ve Eşitlik 6’da verilmiştir. Eğer tampon süre iki yakın saatli uçuşun bagaj işlemlerini karşılamaya yetiyorsa aynı istasyona atanabilir (Şekil 2).



Şekil 2. Uçuş hizmet süresi için tampon süre kullanımı

Bu kısıtı oluştururken j uçuşuyla aynı olmayan bir l uçuşu ele alınır ($j \neq l$), ve $t_l \leq e_j \leq e_l$ durumunu sağlayan uçuşlarda uygulanır.

Asco ve arkadaşları [5] bu kısıtı oluştururken tampon süreyi sabit almayı tampon süreden de kesinti yapmak için bir karar değişkeni oluşturmuşlardır. Bu çalışmada ise tampon süre sabit kabul edilip hesaplanması PERT (Program Evaluation and Review Technique) mantığıyla elde edilmiştir.

Bagaj Yükleme Zamanı ve Tampon Süre Hesapları:

Eğer faaliyetlerin süreleri kesin olarak bilinmiyorsa proje için belirlenmiş bir teslim zamanında bitirme olasılığını bulmak için PERT yöntemi kullanılabilir. PERT yönteminde eylem için üç zaman tahmini yapılır.

M değerinin $(a+b)/2$ ile çakışması gerekmez, altında veya üstünde bir değer olabilir. a,b,m eylem süreleri benzer projelerden veya deneyimli kişilerin ölçümleriyle elde edilir. Bu zaman tahminleri kullanılarak Eşitlik 7,8 ve 9'da yapılan matematiksel ve istatistiksel işlemler sonucunda, her eylemin ve olayın tahmin edilen süre içinde gerçekleşme olasılıkları hesaplanır.

Bu çalışmada da bagaj yükleme zamanları bilinmediğinden, zamanlar bu yöntem kullanılarak modelde test edilmiştir. Tampon süre ise hesaplanan ortalama süreyle en uzun hizmet süresi arasındaki fark olarak kabul edilmiştir. Oluşan standart sapmayla çeşitli tampon süreler hesaplanarak model çalıştırılıp test edilmiştir.

Uygulanan çözüm yaklaşımının genel amacı, uçuş bagajlarını çakışma olmadan sıralama istasyonlarına atamaktır. Kurulan model GAMS programlama dilinde kodlanıp çalıştırılmıştır.

Modelde kullanılan hizmet zamanları modele dışarıdan girilmiştir. Bolat, çalışmasında, birim zamanı 5 dakika olarak kabul etmiş ve zamanları ona göre modeline aktarmıştır [12]. Birçok kapı atama problemi bu zaman birimini kullanarak çalıştırılmıştır [13,14]. Bu çalışmada ise zamanlar aradaki tampon süreler 5 dakikalık birimlerde net sonuç veremeyeceğinden dolayı; 60 dakika 100'e çevrilerek yazılmıştır. Yazılan yeni e_j 'ler

denkleminde yerine koyularak t_j 'ler hesaplanmıştır.

Tampon Sürenin Hesaplanması:

Bir uçuşun hizmet başlama ve bitiş süresi arasında başka bir uçuşun hizmet başlama zamanı denk geliyorsa; bu iki uçuşun aynı sıralama istasyonuna atanıp atanmayacağına tampon süreye bakılarak karar verilir. Eğer verilen tampon süre bu farktan büyükse, iki uçuşun aynı istasyona atanmasında bir sakınca yoktur. Tampon süre farktan küçükse, istasyon iki uçuşu aynı anda gerçekleştiremeyeceğinden, uçuşların farklı istasyonlara atanmaları gerekecektir. Tampon süre, hesaplanan ort_j ile en kısa hizmet süresi (A) arasındaki fark olarak alınmaktadır.

Modelin çalıştırılacağı programa uçuşların hizmete başlama, hizmeti bitirme zamanları ve tampon süre dışarıdan girilmektedir. Tampon süre, zaman aralıkları tam sayı olma durumuna göre üst ve alt limitlerine göre revize edilmiştir.

Oluşturulan model karışık tam sayılı programlamaya uygun olduğundan; optimizasyon programında model MIP (Mix Integer Programming) olarak çalıştırılmıştır. Amaç fonksiyonu değeri uçuş sayısına eşit bulunup tüm uçuşlar istasyonlara atanmıştır. Model, ayrıca, programda değişen tampon sürelerine göre de test edilmiştir. Elde edilen çıktılar aşağıdaki bölümde verilmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

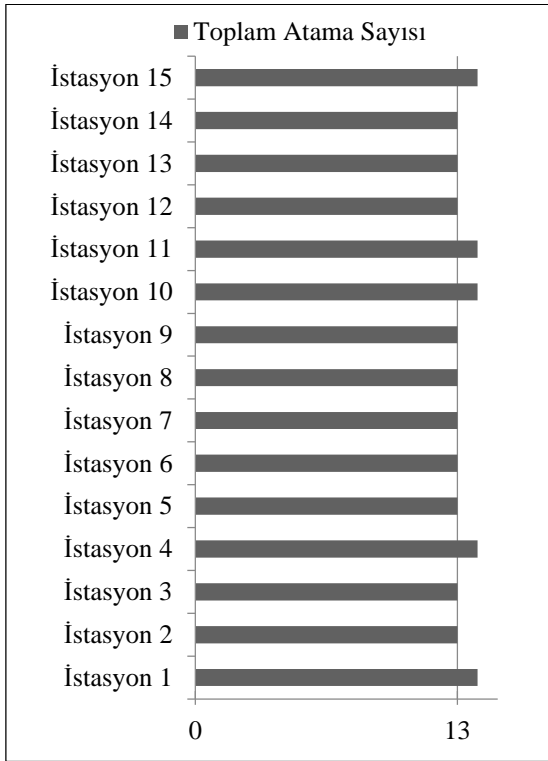
Modelde uygulanmak üzere alınan verilere göre 198 uçuş ve uçuşların atanabileceği 15 sıralama istasyonu bulunmaktadır. Kabul edilen tampon süre (R), hesaplanan standart sapma değerine göre alt ve üst değerleri alınarak modele girilip programda çalıştırılmıştır.

R=24 (dk) Değeri İçin Program Çıktıları:

R=24 tampon süresi için ilk hesaplanan değer bir standart sapma üst değeridir. Program bu değer için (R=24) optimal çözümü 456 iterasyonda, 198

bularak tüm uçuşları sıralama istasyonlarına atamıştır. Çakışma ihtimali olan uçuşlar aynı istasyona atanmadığından atanan uçuşların dağılımı mantıklıdır. R=24 değeri için program tarafından yapılan atama sonuçları R=20 değeri için üretilen atama sonuçlarından farklıdır. Yani bu değerden sonra yapılan atamalar değişmiştir. Modelin kısıtlarından olan adil atama kısıtının sağlandığı görülmektedir. Bu kısıta göre istasyonlara dağıtılan uçuşların dağılımı Şekil 3’de gösterilmiştir. Şekilde görüleceği üzere istasyon 1, 4, 10, 11 ve 15’e 14 tane uçuş atanmıştır. Geri kalan istasyonlara 13’er uçuş atanmıştır.

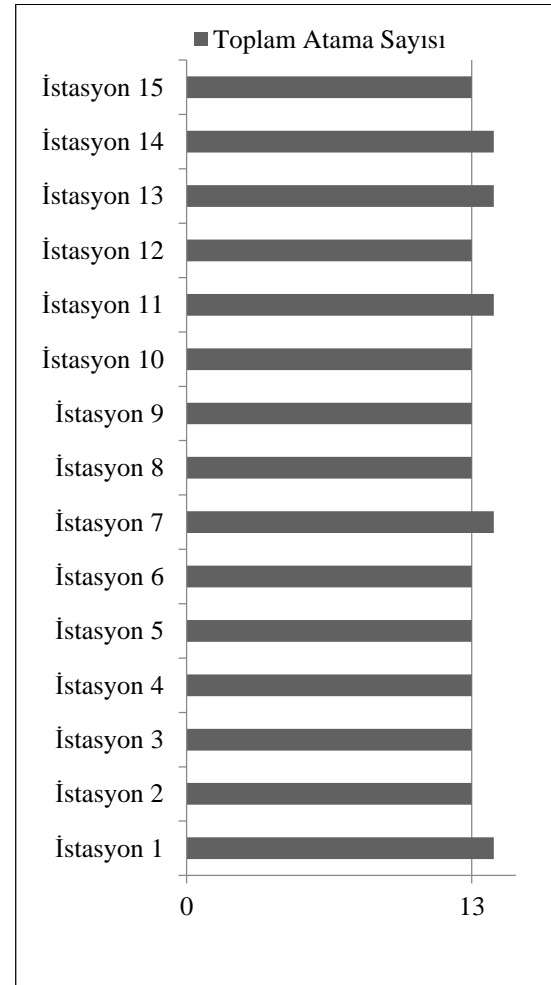
için optimal çözüme 483 iterasyonda ulaşmıştır. 198 uçuş ataması yaparak tüm uçuşları sıralama istasyonlarına atanıp, hiçbir uçuş açıkta kalmamıştır. Çakışma ihtimali olan uçuşlar aynı istasyona atanmadığından, atanan uçuşların dağılımı mantıklıdır. Atamalar incelendiğinde, modelin kısıtlarından olan adil atama kısıtının sağlandığı görülmektedir. Bu değerlere göre istasyonlara dağıtılan uçuşların dağılımı Şekil 4’te gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere istasyon 1, 7, 11, 13 ve 14’e 14 tane uçuş atanmıştır. Geri kalan istasyonlara 13’er uçuş atanmıştır.



Şekil 3. R=24 değeri için yapılan atamaların istasyonlara dağılımları

R=20, R=19, R=18, R=17 (dk) Değerleri İçin Program Çıktıları:

R=20 tampon süresi için ilk hesaplanan değerdir. R=19, R=18 ve R=17 değerleri ise tampon süre için ilk hesaplanan değerlerin standart sapmasına kadar olan alt değerleridir. Program bu değerler

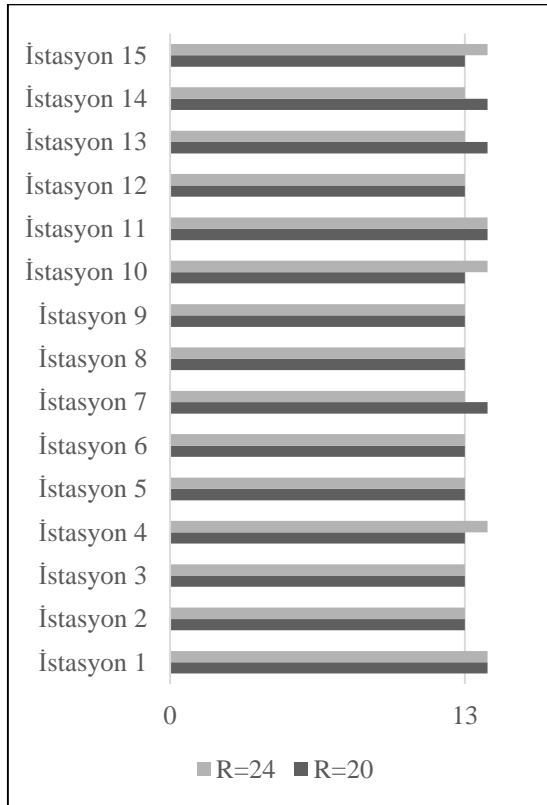


Şekil 4. R=20, R=19, R=18, R=17 değerleri için yapılan atamaların istasyonlara dağılımları

R=16 (dk) Değeri İçin Program Çıktıları:

R=16 tampon süre için ilk hesaplanan değerin bir standart sapma kadar alt değeridir. Program bu değer için (R=16) optimal çözüm bulamamaktadır. Çakışan uçuşları atamak için gerekli olan tampon süre bu değer ve altında yetersiz kaldığından dolayı program mantıklı atama sonucu verememektedir.

Farklı sonuçlar veren R=20 ve R=24 değerlerinin atama dağılımlarının karşılaştırılması Şekil 5'te daha iyi şekilde görülmektedir.



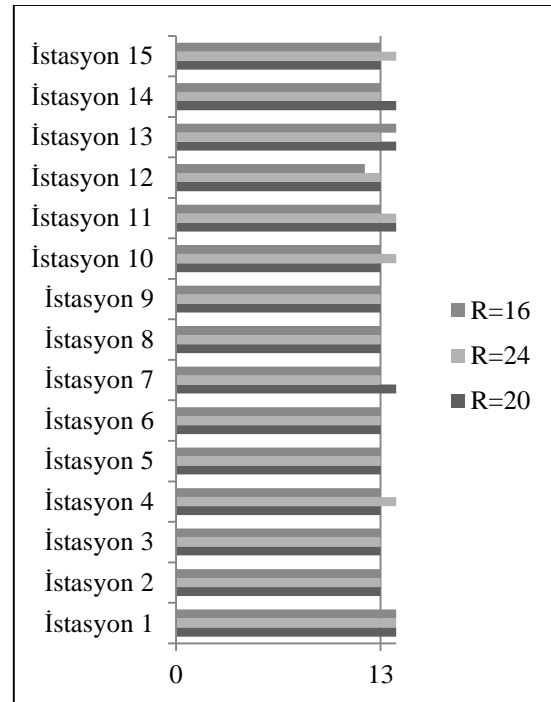
Şekil 5. R=20 ve R=24 değerleri için toplam atama sayısı karşılaştırması

Şekil 5'te görüldüğü üzere İstasyon 4, 7, 10, 13, 14 ve 15'e atamalarda farklı sayılarda uçuş atanmıştır. Örneğin istasyon 4'e R=20 için yapılan atamada 13 uçuş atanırken, R=24 için yapılan atamada 14 uçuş atanmıştır. Geri kalan istasyonlara iki atama sonuçlarında da aynı sayıda uçuş atanmıştır.

5. SONUÇ

Yapılan analizler sonucu değişen R (tampon süre) değerleri için bir istasyonun aynı zaman aralığında iki işi yapıp yapamayacağına bakılmış ve farklı dağılımların olduğu tespit edilmiştir. Tüm uçuşların atandığı çözüm önerilerinin optimal çözüme en yakın değerler olacağı saptanmıştır. Bununla birlikte atanan uçuşları transfer araçlarıyla uçağa yerleştirmenin ekstra maliyet oluşturacak olmasıdır.

Şekil 6'da 3 farklı tampon süre için çalıştırılan modelin atama dağılımları gösterilmiştir. Üç farklı tampon süre için yapılan atama sonuçlarında R=16 için istasyon 12'ye 12 uçuş atanmışken, diğer tampon sürelerde 13'er uçuş atandığı gözlenmektedir. R=16 tampon süresinde tüm uçuşlar istasyonlara atanamamıştır. R=16 için istasyonlara atama sayılarının Şekil 6'da optimal çözüm sağlayan R=20 ve R=24 tampon sürelerine göre atama sayılarının altında kaldığı görülmektedir.



Şekil 6. R=16, R=20 ve R=24 değerleri için toplam atama sayısı karşılaştırılması

Bu çalışmada incelenen problem üzerine tampon süreyle ilgili analizler yapıp, önerilerde bulunulmuştur. Ortaya konulan çözüm yaklaşımı gerçek verilerle problem üzerinde test edilmiştir. Model test edilmek için optimizasyon programında açık şekilde kodlanmış, veriler dışardan girilmiştir.

Çalışmanın sonucunda, bagaj atama probleminde yapılan daha önceki çalışmalar üzerine tampon sürede değişikliğe gidilip, ortaya çıkan sonuçlar yorumlanmıştır.

Çalışmadaki modelde, iç hatlar terminaline giden yolcu bagajları transfer yolcular göz ardı edilerek sıralama istasyonlarına atanmıştır. İleride yapılabilecek çalışmalarda transfer yolcularda dahil edilerek bir model kurulabilir ve model çözümlenebilir.

Ayrıca modelde bagaj sıralama istasyonlarının birbiriyle mesafesi eşit olduğu için minimum mesafe amacı kullanım dışı kalmıştır. Bu durum amaca uygun veriler seçilerek farklılaştırılabilir.

Son olarak bir günlük çalıştırılan bu model daha uzun süreli çalıştırılarak havaalanının karakteristik özellikleri ortaya çıkarılabilir.

6. KAYNAKLAR

1. Asco, A., 2019. An Evolutionary Algorithm and Operators for the Airport Baggage Sorting Station Problem, *Soft Computing*, 23, 10055–10083.
2. Huang, E., Liu, I., Lin, J.T., 2018. Robust Model for the Assignment of Outgoing Flights on Airport Baggage Unloading Areas, *Transportation Research Part E*, 110–125.
3. Asco, A., Atkin, J.A.D., Burke, E.K., 2012. An Evolutionary Algorithm For the Over-constrained Airport Baggage Sorting Station Assignment Problem, 9th International Conference on Simulated Evolution and Learning, Hanoi, Vietnam.
4. Asco, A., Atkin, J.A.D., Burke, E.K., 2011. The Airport Baggage Sorting Station Allocation Problem. 5th Multidisciplinary International Conference, Phoenix, USA.
5. Asco, A., Atkin, J.A.D., Burke, E.K., 2014. An Analysis of Constructive Algorithms for the Airport Baggage Sorting Station Assignment Problem, *Journal of Scheduling*, 17, 601-619.
6. Rijsenbrij, J.C., Ottjes, J.A., 2007. New Developments in Airport Baggage Handling Systems, *Transportation Planning and Technology*, 30(4), 417-430.
7. Abdelghany, A., Abdelghany, K., Narasimhan, R., 2006. Scheduling Baggage-handling Facilities in Congested Airports. *Journal of Air Transport Management*, 12(2), 76-81.
8. Alsyouf, I., Humaid, F., Al Kamali, S., 2014. Mishandled Baggage Problem: Causes and Improvement Suggestions, *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, Bandar Sunway, Malaysia.
9. Shih, P.H., 2015. Airport Baggage Handling System Unloading area Allocation, Master Thesis, *Industrial Engineering and Engineering Management*, National Tsing Hua University in Hsinchu.
10. Huang, E., Mital, P., Goetschalckx, M., Wu, K., 2016. Optimal Assignment of Airport Baggage Unloading Areas to Outgoing Flights, *Transport. Res. E-Log*, 94, 110–122.
11. Frey, M., Kolisch, R., Artigues, C., 2017. Column Generation for Outbound Baggage Handling at Airports, *Transp. Sci.* 51(4), 1226–1241.
12. Bolat, A., 1999. Assigning Arriving Flights at an Airport to the Available Gates, *Journal of the Operational Research Society*, 50, 23–34.
13. Ding, H, Rodrigues Z.Y., 2005. The Over-constrained Airport Gate Assignment Problem, *Computers and Operations Research*, 32(7), 1867-1880.
14. Yüksel, F.Ş., 2016. Büyük Ölçekli Havaalanlarında Bagaj Sıralama İstasyonu Atama Problemi ve Uygulaması, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 76.