



A decision support system based on simulation for airline boarding problem

Erol Azuz¹, Tuba Tatar², Çiğdem Alabaş Uslu*³

Department of Industrial Engineering, Marmara University, İstanbul, 34722, Turkey

Highlights:

- Development of decision support system
- Presentations of new boarding methods
- Simplicity in implementation of the presented methods

Keywords:

- Airline boarding problem
- Passenger interferences
- Decision support system

Article Info:

Research Article
Received: 15.02.2018
Accepted: 23.10.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.571553

Correspondence:

Author: Çiğdem Alabaş Uslu
e-mail:
cigdem.uslu@marmara.edu.tr
phone: 02163471360

Graphical Abstract

This study analyzes the traditional methods for airplane boarding problem and propose new methods which can help companies to decrease the duration of boarding process. A new mathematical model was proposed to compute the passenger interferences for a given scenario of passenger arrivals to the plane. Additionally, a decision support system (DSS), which is based on the Monte Carlo simulation to estimate the average interferences for a given boarding method using the mathematical model proposed, was developed.

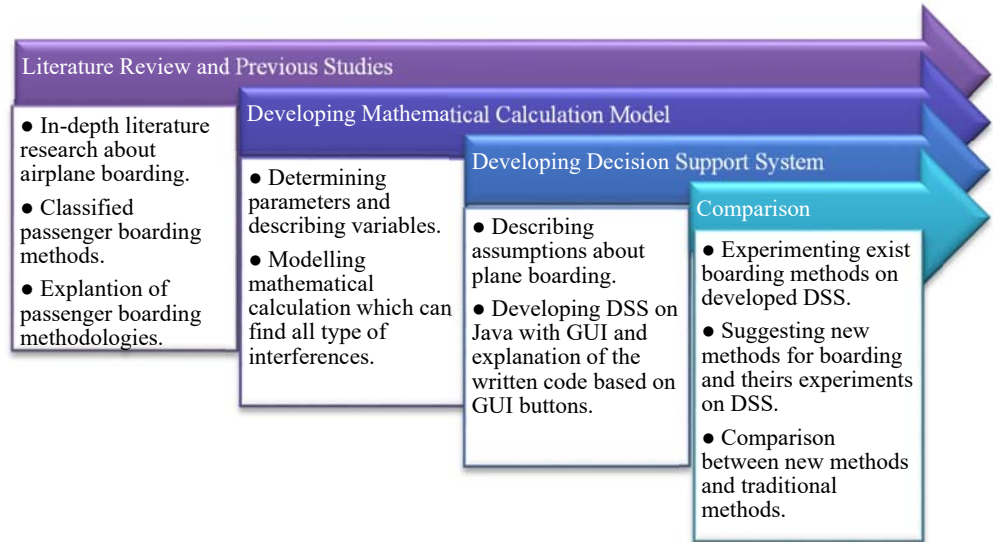


Figure A. Improvement of Decision Support System for Airplane Boarding.

Purpose: The most appropriate way to prepare aircraft and taking passengers into aircraft within possible minimum time may yield enormous profit for airplane companies. Decrement in the duration of boarding process also has a positive impact on passenger satisfaction. This study aims to develop both new methods for the airline boarding problem and a new DSS for the application of the suggested methods.

Theory and Methods:

A DSS has been developed to help generation and evaluation new boarding methods. The system estimates mean interferences for boarding methods created by the user and compares these methods in terms of the number of interferences. Also, in this study two different boarding methods have been suggested.

Results:

Experiments conducted using the DSS showed that either suggested boarding methods in this study have less mean interferences than the other methods which are available in the literature or the suggested methods are simpler and more realistic to apply into real-life.

Conclusion:

The suggested boarding methods have simplicity and/or less interference advantageous compared to the other boarding methods existing in the literature or adapted by the airline companies. Additionally, the decision support system developed provides the easiness in the implementation of the boarding methods. Therefore, it can be expected that boarding processes of airline companies can be improved using the presented methods and system in this study.



Uçağa yolcu alma problemi için benzetim temelli bir karar destek sistemi

Erol Azuz^{ID}, Tuba Tatar^{ID}, Çiğdem Alabaş Uslu*^{ID}

Marmara Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34722, Göztepe, İstanbul, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Karar destek sistemi geliştirilmesi
- Yeni yolcu alım yöntemleri önerilmesi
- Önerilen yöntemlerin uygulama kolaylığı

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 15.02.2018

Kabul: 23.10.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.571553

Anahtar Kelimeler:

Yolcuların uçağa
yerleştirilme problemi,
yolcu çakışması,
karar destek sistemi

ÖZET

Uçakla yolculuk giderek yaygınlaşan ve tercih edilen bir ulaşım şeklidir. Artan taleple birlikte havayolu şirketleri, en yüksek kazancı elde etmeyi ve yolcularına en kaliteli şekilde hizmet vermeyi hedeflemektedirler. Uçakların sadece havada oldukları sürece para kazandırdıkları ve kazancı arttırmanın temelini de ancak uçuş sıklığını arttırmak olduğu bir gerçektir. Uçakların havada kalma süresini kısaltan önemli unsurlardan biri yolcuların uçağa yerleştirilmesi sürecidir. En uygun yöntemi uygulayarak uçağın hazırlanması ve yolcuların yerleştirilme süresinin en aza indirilmesi havayolu şirketlerine önemli ölçüde kâr sağlayacaktır. Yolcuların uçağa yerleşme süresinin kısaltılması aynı zamanda yolcu memnuniyetini de arttıracaktır. Bu çalışmada, yolcuların uçağa alınması için farklı yöntemler oluşturulmasını ve bu yöntemlerin değerlendirmesini sağlayan bir karar destek sistemi (KDS) geliştirilmiştir. KDS, kullanıcının oluşturduğu yöntemlerin neden olabileceği ortalama yolcu çakışma sayısını hesaplamakta ve geliştirilen alternatif yöntemleri çakışma sayılarına göre karşılaştırmaktadır. Bu çalışmada ayrıca, iki ayrı yolcu alma yöntemi önerilmiş ve geliştirilen KDS kullanılarak test edilmiştir. Yapılan testler, geliştirilen yöntemlerin literatürdeki mevcut yöntemlere göre ya daha az ortalama çakışma sayısına yol açtığını ya da uygulama kolaylığına sahip olduğunu göstermiştir.

A decision support system based on simulation for airline boarding problem

H I G H L I G H T S

- Development of decision support system
- Suggesting new boarding methods
- Application simplicity of new suggested boarding methods

Article Info

Research Article

Received: 15.02.2018

Accepted: 23.10.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.571553

Keywords:

Airplane boarding problem,
passenger interferences,
decision support system

ABSTRACT

Travelling by airplanes is an increasingly popular and preferred way of transportation. Due to the increasing demand, airplane companies aim to have highest profit and the best service to their passengers. Since airplanes make money just when they are on the air, flight frequency has to be increased. Preparation of the aircraft and taking passengers into aircraft is known as passenger boarding which is one of the crucial factors to decrease turn-over time. The most appropriate way to prepare aircraft and taking passengers into aircraft within possible minimum time may yield enormous profit for airplane companies. Decrement in the duration of boarding process also has a positive impact on passenger satisfaction. In this study, a Decision Support System (DSS) has been developed to help generation and evaluation of new boarding methods. DSS calculates mean interferences for new boarding methods created by user and compares these methods in terms of the number of interferences. Also, in this study two different boarding methods have been suggested and tested by using developed DSS. Tests showed that either suggested methods have less mean interferences than the other methods which are available in the literature or they are simpler and more realistic to apply into real-life.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: erolazuz@gmail.com, tataartuba@gmail.com, cigdem.uslu@marmara.edu.tr /

Tel: +90 216 348 0292

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Havayolu yolculuğuna duyulan talep son on yıldan beri giderek artmaktadır [1]. Artan taleple birlikte, her uçak şirketinin bir noktadan birçok noktaya çok sayıda uçuşa sahip olması, havaalanlarının çok iyi yönetilmesini ve organize edilmesini gerektirmektedir. Tüm uçuşların zamanında gerçekleştirilmesi yolcu memnuniyetini sağlayan önemli unsurlardan birisidir. Uçuşların zamanında olması için tüm uçuşların önceden belirlenmiş zamanlarda gerçekleşmesi ve uçuşlarda gecikmeye neden olan her faktörün uçak yönetim stratejileri tarafından önlenmesi gerekir. Uçakların havaalanına varış ve kalkış süreci kendi içinde etkileşimli birçok alt sistemden oluşur. Bu alt sistemlerdeki işlemlerden herhangi birinde olan gecikme, takip eden tüm işlerin öngörülen zamanını ertelemek zorunda bırakır. "Stratejik uçak kalkış tahmin yöntemi", uçağa alım sistemindeki gecikme zamanlarını belirlemek ve böylece uçağa yolcu alım sürecinde beklenmedik gecikmelerin önüne geçme amacıyla yapılandırılmıştır [2]. Havayollarının sadece uçaklar havadayken para kazandırdığı gerçeğinden hareketle uçak dönüş süresindeki her azalma büyük önem taşımaktadır. Uçak dönüş süresi, bir uçağın kapıya (*gate*) vardıktan sonra boşaltılması ve tekrar kalkışa hazırlanması için gereken süre olarak tanımlanmaktadır [3]. Uçak dönüş süreci ise, yolcuların uçağa yerleştirilmesi, yükün yerleştirilmesi, bakım, temizlik, güvenlik kontrolü, yolcu yerleşimi ve yük yükleme gibi işlemleri kapsar. Steiner ve Philipp [4] dönüş zamanından kısaltılan her 1 dakikanın havayolu şirketi için 77 dolara dönüştüğünü göstermektedir. Nyquist ve McFadden [5], uçak dönüş süresindeki 1 dakikalık ortalama kısaltmanın her dönüş süresi başına 30 dolar maliyet tasarrufu sağladığını ve bu tasarrufun, günde 1000'den fazla uçuşa sahip büyük bir havayolu şirketi için yılda yaklaşık 11 milyon dolar kazanç getirdiğini belirtmektedir. Sonuç olarak havayolları, uçuşların zaman planlamasındaki verimliliği artırmak için hava trafiğini en iyi şekilde yönetmeyi amaçlamakta ve karşılaşılan problemlerle sürekli olarak başa çıkmaya çalışmaktadırlar. Uçağa yolcu alım (yerleşim) problemi, bu kapsamda karşılaşılan önemli problemlerden birisidir.

Yolcuların koltuklarına yerleşmeye çalışmaları sırasında birçok yolcu çakışması meydana gelir ve bu çakışmalar tüm yolcuların uçağa binışı için geçen toplam süreyi artırır. Yolcu çakışması, bir yolcunun başka bir yolcunun koltuğuna ulaşmasını engelleyen bir olay olarak tanımlanmaktadır. Yolcu çakışmaları, koridor çakışmaları ya da koltuk çakışmaları şeklinde oluşmaktadır. Koltuk çakışması bir yolcu koridora yakın koltukta otururken aynı sıradaki başka bir yolcunun gelmesiyle oluşabilir. Koridor çakışmaları ise yolcuların bagajlarını yüklerken diğer yolcuların koltuğa erişimini engellediğinde ortaya çıkar [6]. Uçağa yolcu alımı problemi, yolcuların uçağa alınma planının belirlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu problemin amacı, yolcuların uçak içinde en az toplam çakışma ile koltuklarına yerleşmelerini sağlamak ve dolayısıyla uçağa yerleşim süresini en aza indirmektir. Bu problem için uygulamada

kullanılan ve/veya ilgili literatürde önerilen çoğu yöntem yolcuların farklı kriterlere göre gruplara ayrılmasına ve belirlenen grupların uçağa alınma sıralarının belirlenmesine dayalı olan ve Bölüm 2.1'de açıklanan benzetim temelli yöntemlerdir. Bu durumda da uçaklara binen gruplarda koridor ve koltuk çakışmaları hem grup içinde hem de gruplar arasında meydana gelebilmektedir.

Bu çalışmada öncelikle uçağa yolcu alım probleminde yolcuların uçağa biniş sıralarına göre ortaya çıkacak çakışma sayıları formüle edilmiştir. Ancak geliştirilen formüller üzerinden yolcuların uçağa optimum biniş sıralarının belirlenmesi, çözüm elde etmek için gereken zamandan dolayı gerçek hayata uygulanabilir değildir. Bu nedenle, yolcuların uçağa alım süresinin ortalama yolcu çakışma sayısı cinsinden tahmini değerini hesaplayan bir karar destek sistemi (KDS) geliştirilmiştir. Burada, yolcu çakışmalarının en aza indirilmesinin aynı zamanda yolcuların uçağa yerleşme süresini azaltacağı kabul edilmektedir. Geliştirilen bu sistemde kullanıcı, yolcuların uçağa alınış yöntemini kendisi oluşturabilmekte ve oluşturduğu yöntemin yol açacağı uçağa yerleşme süresini ortalama yolcu çakışma sayısı cinsinden elde edebilmektedir. Bu çalışmada, ayrıca, iki yeni uçağa yolcu alma yöntemi önerilmiş ve geliştirilen KDS kullanılarak test edilmiştir. Hem yolcu memnuniyeti hem de havayolu şirketlerinin maliyetleri göz önüne alındığında uçağa yolcu alma problemi için önerilecek çözüm yöntemlerinin ve uygulamaların önemi büyüktür. Buna rağmen, konu ile ilgili geniş bir literatür yoktur ve özellikle Türkçe literatürün geliştirilmeye ihtiyacı vardır. Sunulan çalışma ile bir yandan uygulamada kullanılabilecek bir KDS ve iki yöntemin önerilmesiyle hem gerçek uygulama hayatına hem de ilgili literatüre katkıda bulunulması amaçlanmaktadır.

Çalışmanın devamında öncelikle problem için literatürde mevcut olan yöntemler kısaca anlatılmakta ve daha sonra bu çalışma kapsamında yapılanlar açıklanmaktadır. Bölüm 3'te uçağa yolcu alımında ortaya çıkabilecek yolcu çakışmalarının hesaplanmasıyla ilgili modeller verilmektedir. Daha sonra, geliştirilen KDS Bölüm 4'te detaylı olarak anlatılmaktadır. Bölüm 5'te KDS kullanılarak literatürde mevcut olan yöntemler test edilerek, sistemin tutarlı sonuçlar verdiği gösterildikten sonra, bu çalışmada önerilen iki ayrı uçağa yolcu alma yöntemi mevcut olan diğer yöntemlerle karşılaştırılmaktadır. Çalışma, sonuçlar ve yorumlar bölümüyle bitirilmektedir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE SURVEY)

Uçağa yolcu alımı problemi için yapılmış bilimsel araştırmaların çoğu, önceden belirlenmiş uçak ağ çizelgesinde gerçekleşen gecikmeler nedeniyle ortaya çıkan maliyeti, uçak şirketlerinin nasıl en aza indirebileceklerini bulmaya yöneliktir [7]. Uçağa yolcu alımı problemi temel olarak kuyruk teorisine dayanır ancak kuyruk modelleme yaklaşımı, çok fazla kısıtlama içermesi nedeniyle bu probleme uygulanamamaktadır. Uçağa yolcu alım

probleminde, uçak koridorunda meydana gelen yalnızca bir kuyruk vardır. Diğer yandan kuyruk yaklaşımı, genellikle sorunları çözmek için yeni bir sunucu ve dolayısıyla yeni bir kuyruk eklemeyi önerir, bu da yolcu alım problemi için uygulanabilir bir çözüm değildir. İki koridorlu büyük uçaklarda da yine aynı nedenden dolayı kuyruk yaklaşımı kullanışlı olmamaktadır. Literatürde uçağa yolcu alımı problemini irdeleyen çok fazla araştırma bulunmamaktadır. Nitekim ilk araştırmalar 90'lı yılların sonlarında başlamış olmasına rağmen, günümüzde hava alanlarının yoğunluğunun artmasıyla araştırmaya gereksinim olduğu fark edilmiştir. Uçağa alım sürecine çözüm yaklaşımlarını bir bütün olarak görmek için Tablo 1 oluşturulmuştur. Bu tabloda verilen benzetim yöntemi, doğrusal ve doğrusal olmayan optimizasyon temelli yöntemler, sezgisel yöntemler ve bu yöntemler kullanılarak yapılan çalışmalar ise alt başlıklar halinde Bölüm 2.1, 2.2 ve 2.3'de açıklanmıştır.

2.1. Benzetim Temelli Yöntemler (Simulation Based Methods)

Literatürde en yaygın kullanılan ve benzetim tekniği ile performansı gösterilmeye çalışılan uçağa yolcu alım yöntemleri şunlardır: WILMA-düz, WILMA-blok, arkadan-öne, Steffen yöntemi, ters piramit ve koltuklu rastgele yerleşim metodu. Bu teknikler genel olarak koltuk sayısı, bagaj kapasitesi, koltukların önceliği, koltuk boyutları gibi ortak parametreleri kullanmaktadır. Buna ek olarak, kullanılan metodların başarılı bir şekilde karşılaştırılması için bazı değerler eşit olarak varsayılmaktadır. Buna, uçağın koltuk düzeni, yolcuların yürüme hızları, yolcuların el bagajlarını yerleştirme süreleri örnek olarak verilebilir [14]. Her yöntemin kendine göre üstünlük ve zayıflıkları vardır. Günümüzde, uçak şirketleri tarafından uygulamada kullanılan en yaygın yöntem arkadan-öne yöntemidir. Bununla birlikte, arkadan-öne yöntemi yolcuların toplam uçak yolculuğu süresinde çok fazla gecikmeye neden olan yolcu çakışma sayısını engelleyememekte veya azaltamamaktadır [15]. Bu yöntemlerin kısa açıklamaları aşağıda verilmektedir.

WILMA-düz: WILMA kısaltması, pencere (*window*), orta koltuk (*middle*) ve koridor (*aisle*) kelimelerinin baş harflerinden türetilmiştir. Buna göre yolcular, pencere, orta koltuk ve koridor tarafında oturmalarına göre Şekil 1'deki

gibi gruplandırılmakta ve pencere, orta koltuk ve koridor grupları bu sırayla uçağa alınmaktadır. Şekil 1'de aynı numara verilmiş koltuklar birlikte uçağa alınacak yolcu gruplarını göstermektedir. Yolcuların sadece pencere, orta koltuk ve koridor yolcuları olarak gruplara ayrılmasından dolayı bu yöntemin geliştirilmesi kolaydır. Diğer yandan, yolcular el bagajlarını koymak için birbirlerini beklediklerinden dolayı koridor yeterince verimli kullanılmamakta, daha da önemlisi aile gibi birlikte yolculuk yapan yolcular var ise bu yolcular mutlaka farklı bir grup içine atanmış olacaklarından WILMA-düz yöntemi uygulamada zorluklara yol açmaktadır.

Pen.	Orta	Kor.		Pen.	Orta	Kor.
1	2	3		3	2	1
1	2	3		3	2	1
1	2	3		3	2	1
1	2	3		3	2	1
1	2	3		3	2	1
1	2	3		3	2	1
1	2	3		3	2	1
1	2	3		3	2	1
1	2	3		3	2	1
1	2	3		3	2	1
1	2	3		3	2	1
1	2	3		3	2	1
1	2	3		3	2	1
1	2	3		3	2	1
1	2	3		3	2	1
1	2	3		3	2	1
1	2	3		3	2	1
1	2	3		3	2	1
1	2	3		3	2	1
1	2	3		3	2	1

Şekil 1. WILMA-düz yöntemi (Method of WILMA-straight)

WILMA-blok: Yolcular koltuk numaraları uçağın ön, orta ve arka kısmında olanlar şeklinde üç kısma ayrılır ve her kısmın kendi içinde WILMA-düz yöntemi uygulanır. Uçağa ön, orta ve arka kısımların hangi sırada alınması gerektiğinin belirlenmesi gerekir. Bu gruplar kendi içinde WILMA-düz yönteminde olduğu gibi sırasıyla pencere, orta koltuk ve koridor yolcularının uçağa alınmasını gerektirmektedirler.

Tablo 1. Literatürdeki uçağa yolcu alma yöntemlerinin sınıflandırılması
(Classification of passenger boarding methods in the literature)

Araştırmacılar	Benzetim / Monte Carlo	Optimizasyon temelli yöntemler	Sezgisel yöntem
Steiner ve Philipp[4]	X		
Landeghem ve Beuselinck [8]	X		
Ferrari ve Nagel [9]	X		
Steffen [10]	X		
Mas vd. [11]	X		
Van den Briel vd. [6]		X	
Bazargan [12]		X	
Soolaki vd. [13]		X	X
Milne ve Kelly [14]		X	X

Daha az yolcunun el bagajını koymak için beklemesini temin ettiğinden dolayı, WILMA-blok yöntemi koridorun daha verimli kullanımını sağlamaktadır. Bununla beraber, tüm yolcuları 9 gruba ayırmayı gerektirdiğinden gerçek hayata uygulanması daha zordur.

Arkadan-Öne: Uçak koltukları belli sayıda gruplara ayrılır. Grup sayısı değiştirilebilir bir parametredir. Tüm yolcular ait oldukları gruplara göre uçağın arkasından öne doğru sırayla alınarak yerleştirilir. Aynı sırada oturan yolcuların el bagajlarını koymak için birbirlerini beklemesi durumuna izin verdiğinden dolayı verimli bir yöntem değildir. Ancak, gerçek hayata uygulanmasının çok kolay olması avantajına sahiptir.

Ters piramit: Arkadan-Öne yönteminde olduğu gibi, tüm uçak gruplara ayrılır. Uçak tipine göre değişmekle birlikte en az beş grup olmasını gerekmektedir. Bu gruplandırma şekli görsel olarak Şekil 2’de de verildiği gibi arkadan öne doğru ters bir üçgene benzer ve yolcular ait oldukları gruplara göre (aynı numara ile gösterilmiş koltuk yolcuları) uçağa alınırlar. Bu yöntem, America West Airlines firmasının yaptığı çalışma sonucunda ortaya konmuştur ancak uygulamak için biraz karmaşıktır. Özellikle, farklı uçak modellerinde farklı ters piramit uygulamalarının zorunluluğu ortaya çıkmakta, yöntem tüm uçak modelleri için genellenememektedir.

Pen.	Orta	Kor.		Pen.	Orta	Kor.
3	4	5		5	4	3
3	4	5		5	4	3
3	4	5		5	4	3
3	3	5		5	3	3
2	3	5		5	3	2
2	3	5		5	3	2
2	3	5		5	3	2
2	3	5		5	3	2
2	3	5		5	3	2
1	3	5		5	3	1
1	3	5		5	3	1
1	3	5		5	3	1
1	3	4		4	3	1
1	2	4		4	2	1
1	2	4		4	2	1
1	2	4		4	2	1
1	2	4		4	2	1
1	2	4		4	2	1
1	2	4		4	2	1
1	2	4		4	2	1
1	2	4		4	2	1
1	2	4		4	2	1

Şekil 2. Ters Piramit yöntemi (Method of Reverse Pyramid)

Steffen yöntemi: Bu yöntem adını, çıkış salonunda uzun bir kuyrukta sıkıştıktan sonra 2008’de “meraktan” çalışma yapan Amerikan astrofizikçisi Jason Steffen’den alır. Steffen [10], uçağa yolcu alım işlemi için tüm nedenin bagaj yükleme ve koridorun verimli bir şekilde kullanılmamasından ibaret olduğunu gözlemlemiştir. Steffen’in [10], Markov Zinciri Monte Carlo algoritması ve benzetim tekniği kullanarak geliştirdiği yöntem günümüze

kadar geliştirilen en hızlı uçağa yolcu alma yöntemidir. Ancak bu yöntem yolcular için fazla karışık olduğundan hiçbir havayolu firması tarafından kullanılmamaktadır. Bu yöntemde göre yolcular oturma sıralarını tek sıra halinde düzlemin bir tarafında alır ve her seferinde düzlemin sonuna kadar bir sıra atlayarak uçağın arka tarafında yerleşirler. Ardından aynı sistem düzlemin diğer tarafına uygulanır. Bu yöntem, iki veya daha fazla yolcunun el bagajlarını yüklemek için birbirlerini beklediği yerdeki koltuk ve koridor çakışmalarını önler. Pencere koltuğunun yarısı her iki tarafa da tam olarak yerleştiğinde, her iki taraf için çift sayı sıra için tekrar aynı işlem yapılır ve tüm pencere koltukları dolar. Sistem, tüm yolcular uçakta yerini alana kadar kendini tekrarlar. Eğer 20 sıralı bir uçak için bu yöntemi uygularsak, ilk yolcu en arkada bulunan 20A yolcusu olacaktır. Sonraki sıra ise 18A, 16A olarak 2A yolcusuna kadar devam edecektir. Ardından diğer kenardaki 20F, 18F ve 16F yolcuları gelerek yine uçağın en ön kısmında bulunan 2F yolcusuna kadar devam edecektir. Artık tek sayılı yolcular alınmaya başlanabilir ve 19A yolcusu ile başlanıp 1A yolcusu ile son bulacaktır, elbette bu işlem F sırası için de uygulandığında cam kenarında oturan bütün yolcular yerleşmiş olacaktır. Aynı şekilde orta koltuk yolcuları ve koridor yolcuları da alındığında uçağın yerleşimi çok kısa sürede tamamlanmış olacaktır.

Koltuklu rastgele yerleşim yöntemi: Yolcular rastgele yerlerini alır. Bu yöntemde her yolcu kendi koltuk numarasını bulmaya çalışır. En kolay yöntem olmakla beraber, yolcu memnuniyeti bakımından çok zayıf sonuçlar vermektedir. Landeghem ve Beuselinck [8] çalışmalarında uçağa yolcu alma sistemlerinin bu sürecin süresi üzerinde tam bir etkisi olduğunu ve ardışık gelen yolcuların birbirlerinden koltuk numaraları ne kadar uzaksa yolcu çakışma sayısının o kadar azalacağını benzetim tekniği ile göstermişlerdir. Ferrari ve Nagel [9] farklı yolcu alma yöntemlerini yine benzetim tekniği ile analiz eden araştırmacılar. Ferrari ve Nagel [9], özellikle, arkadan-öne yönteminin kendi grubundan önce ya da sonra uçağa binen yolcular olduğunda daha iyi sonuçlar verebildiğini göstermişler ve grubu dışında uçağa binen yolcuların olması durumunu göz önüne alan stratejiler önermişlerdir. Steiner ve Philipp [4] ve Mas vd. [11] yine farklı yolcu alma yöntemlerini benzetim kullanarak karşılaştıran araştırmacılar arasındadırlar. Onlar, rasgele yerleşim yönteminin uygulamada en çok kullanılan arkadan-öne yöntemine göre daha iyi olduğunu göstermişlerdir. Mas vd. [11], ayrıca, uçak boyutu ve doluluk oranını analizlerine dâhil etmişler ve sonuç olarak, bu parametreleri dikkate alan yolcu alma yöntemlerinin uygulanması gerektiğini tespit etmişlerdir.

2.2. Optimizasyon Temelli Yöntemler (Optimization Based Methods)

Literatürdeki optimizasyon temelli yöntemler, uçağa yolcu alım süresini en aza indirmek için, toplam yolcu çakışma sayısını minimize eden yöntemi bulmak üzerine kurulu modellerdir. Van der Briel vd. [6], kurmuş olduğu doğrusal

olmayan tam sayılı matematiksel modelde, toplam yolcu çakışma sayısını minimize eden yolcu alma planını seçmeyi hedeflemiştir. Her bir çakışma durumuna göre belirli bir ceza puanı atamış ve bu cezaların toplamını minimize etmeyi amaçlamıştır. Van der Briel vd. [6], yolcuları uçağa bindirirken oluşabilecek muhtemel yolcu çakışma sayılarının olasılıksal değerini önceden hesaplamıştır. Kullandığı kısıtlarla her yolcuyu mutlaka bir gruba yerleştirdiğini garanti ederken tahmini çakışma değerlerini kullanarak uçağa yolcu alma probleminin farklı yöntemleri için geliştirdiği optimizasyon modelini denemiştir. Yapılan çalışmada elde edilen gözlemler, Ters Piramit yönteminin başarısını ortaya koymuştur. Los Angeles Uluslararası Havaalanı'nda uygulanmış ve yolcu alımı süresini %26 oranında azaltmıştır. Bazargan [12] toplam gerçekleşen yolcu çakışmalarını azaltmaya yönelik farklı yolcu kapasiteleri için de uygulanmayı mümkün kılan karışık tam sayılı doğrusal modeli geliştirmiştir. Bu modelde, çakışmalar koltuk çakışmaları ve koridor çakışmaları olarak iki kategoriye ayrılır. Her kategori *grup içinde ve gruplar arasında* olmak üzere iki alt kategori bulundurulur. Koltuk numaralarının önceden belirlenen gruplara atanmasını optimize etmeye çalışan modelden elde edilen etkin çözümler benzetim tekniği kullanılarak mevcut diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. (0,1) aralığında değer alan bir α parametresinin değişmesine göre ($\alpha = 0$ ters piramit, $\alpha = 1$ arkadan-öne yöntemi olacak şekilde) yaptığı analizlerde α değerinin artmasıyla gerçekleşen yolcu çakışmalarının sayısının da arttığını kanıtlamıştır. Ancak, ters piramit yönteminden tamamen arkadan-öne yöntemine geçerken kullanılan yolcu çağırma yöntemi de daha karmaşıklaştığından yolcular tarafından anlaşılabilirliği zayıflamıştır.

2.3. Sezgisel Yöntemler (Heuristic Methods)

Soolaki vd. [13], sezgisel yöntemlerden biri olan ve birçok farklı problemin çözümünde kullanılan genetik algoritmayı uçak yolcu alım problemi için kullanmıştır. Uçak koltuk düzeni kromozom olarak oluşturulmuş ardından tek noktalı çaprazlama yapılarak farklı kromozomlar oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryolardaki toplam çakışma sayıları diğer metotlar ile karşılaştırılarak daha kısa sürede aynı sonuçlara ulaşıldığı ispatlanmıştır. Milne ve Kelly [14] ise ağgözlü algoritmayı kullanmış ve yolcuları koltuklara tahsisinde yolcuların el çantası sayısını dikkate almıştır. Her bir yolcunun 0, 1, 2 veya 3 el çantası olduğu varsayılarak her bir sıraya çanta sayısı toplamları belirlenmiş sayıda olan yolcular ağgözlü yaklaşımı kullanılarak atanmıştır. Ardından, her bir sırada çok el çantası olan yolcular olabildiğince cam kenarlarına doğru atanarak yolcu alımı gerçekleştirilmiştir.

3. UÇAĞA YOLCU ALIM PROBLEM İÇİN YOLCU ÇAKIŞMASI HESAPLAMALARI (CALCULATION of INTERFERENCES for the BOARDING PROBLEM)

Uçağa yolcu alımı için birçok farklı optimizasyon modeli geliştirilmiş olsa da önerilen yöntemler maalesef gerçek

hayata uygulanması mümkün olmayan senaryolardır. Bu çalışmada ise öncelikle kullanıcının kendi yöntemini yaratma olanağı sağlayacak bir KDS geliştirilmesi ve daha sonra hem uygulama kolaylığı olan hem de toplam yolcu çakışmasını azaltan yeni yöntemlerin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla öncelikle, yolcu çakışmalarının daha iyi anlaşılması ve daha sonra KDS içinde kullanılabilmesi için çakışma sayılarının hesaplanması formüle edilmiştir.

120 yolcu kapasiteli, 20 sıralı bir uçak için yolcu çakışması sayıları hesaplarında gerekli parametreler şöyle açıklanabilir:

- X_{ijrg} : i sırasında j koltuk pozisyonunda (W: pencere, M: orta, A: koridor) oturan yolcunun uçağa g grup numarasının içindeki r . sırada geldiye 1, değilse 0 değerini alan parametre
- λ_i^{SB} : Gruplar arasında i adet koltuk çakışması olması, $i = 0, 1, 2, 3$
- λ_i^{SW} : Grup içinde i adet koltuk çakışması olması, $i = 0, 1, 2, 3$
- λ_i^{AB} : Gruplar arasında i adet koridor çakışması olması, $i = 0, 1, 2, 3$
- λ_i^{AW} : Grup içinde i adet koridor çakışması olması, $i = 0, 1, 2, 3$
- N : Uçaktaki sıra sayısı
- G : Yolcu grupları, $G = 1, 2, \dots$
- R : Yolcu geliş sırası, $R = 1, 2, \dots, 120$

Grup içinde ya da gruplar arası olma durumuna göre, koltuk ve koridor çakışmaları hesaplamalarında gerekli olan λ_i^j parametrelerinin değerleri Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Yolcu çakışma sayıları (The number of interferences)

Gösterim	Çakışmalar	Gösterim	Çakışmalar
λ_0^{SW}	0	λ_1^{SB}	1
λ_1^{SW}	1	λ_2^{SB}	2
λ_2^{SW}	2	λ_3^{SB}	3
λ_3^{SW}	3	λ_1^{AW}	1
λ_0^{SB}	0	λ_1^{AB}	1

Verilen bu parametre değerlerini kullanarak, grup içi toplam koltuk çakışma sayısı (SW), gruplar arası toplam koltuk çakışma sayısı (SB), grup içi toplam koridor çakışma sayısı (AW) ve gruplar arası toplam koridor çakışması (AB) sırasıyla Eş. 1, Eş. 2, Eş. 3 ve Eş. 4'te verilmektedir. Eş. 1'de, her bir g grubu için olmak üzere aynı grupta olan yolcuların o grupta uçağa giriş sıralamalarına ve koltuk pozisyonlarına (pencere, orta ve koridor koltukları) bakarak ve Tablo 2'de verilen çakışma sayıları ile çarpılarak SW grup içi toplam koltuk çakışması hesaplanmaktadır. Eş. 2'de ise, grupların uçağa alınıp sırasına, grup içindeki pencere, koridor ve orta koltuk yolcularının geliş sırasına ve çakışma sayılarına (Tablo 2) göre gruplar arası toplam koltuk çakışma sayısı hesaplanmaktadır. Grup içinde oluşan AB toplam koridor çakışması, her bir grup için, o grupta olan yolcuların uçaktaki koltuk sırasına ve yolcuların birbirlerine göre uçağa önce ya

da daha sonra binmiş olmasına bakılarak Eş. 3'te verilmektedir. Son olarak, grupların uçağa alınış sırasına, farklı gruptaki yolcuların uçaktaki koltuk sırasına ve uçağa biniş sırasına göre gruplar arası toplam koridor çakışması Eş. 4'te verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned}
 SW = & \lambda_0^{SW} \sum_{i \in N} \sum_{g \in G} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ k < l < m}} X_{iWkg} X_{iMlg} X_{iAmg} + \lambda_1^{SW} \\
 & \sum_{i \in N} \sum_{g \in G} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ k < l < m}} X_{iWkg} X_{iAlg} X_{iMmg} + \\
 & \lambda_1^{SW} \sum_{i \in N} \sum_{g \in G} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ k < l < m}} X_{iMkg} X_{iWlg} X_{iAmg} + \lambda_2^{SW} \\
 & \sum_{i \in N} \sum_{g \in G} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ k < l < m}} X_{iMkg} X_{iAlg} X_{iWmg} + \\
 & \lambda_2^{SW} \sum_{i \in N} \sum_{g \in G} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ k < l < m}} X_{iAkg} X_{iWlg} X_{iMmg} + \lambda_3^{SW} \\
 & \sum_{i \in N} \sum_{g \in G} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ k < l < m}} X_{iAkg} X_{iMlg} X_{iWmg} + \\
 & \lambda_0^{SW} \sum_{i \in N} \sum_{\substack{a, b \in G \\ a < b}} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ k < l < m}} X_{iWka} X_{iMla} X_{iAmb} + \lambda_1^{SW} \\
 & \sum_{i \in N} \sum_{\substack{a, b \in G \\ a < b}} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ k < l < m}} X_{iMka} X_{iWla} X_{iAmb} + \\
 & \lambda_1^{SW} \sum_{i \in N} \sum_{\substack{a, b \in G \\ a < b}} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ k < l < m}} X_{iAka} X_{iMlb} X_{iWmb} + \lambda_1^{SW} \\
 & \sum_{i \in N} \sum_{\substack{a, b \in G \\ a < b}} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ k < l < m}} X_{iAka} X_{iWla} X_{iMmb} + \\
 & \lambda_1^{SW} \sum_{i \in N} \sum_{\substack{a, b \in G \\ a < b}} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ k < l < m}} X_{iMka} X_{iAlb} X_{iWmb} + \lambda_1^{SW} \\
 & \sum_{i \in N} \sum_{\substack{a, b \in G \\ a < b}} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ k < l < m}} X_{iAka} X_{iMla} X_{iWmb} + \\
 & \lambda_0^{SW} \sum_{i \in N} \sum_{\substack{a, b \in G \\ a < b}} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ k < l < m}} X_{iWka} X_{iMlb} X_{iAmb} + \lambda_1^{SW} \\
 & \sum_{i \in N} \sum_{\substack{a, b \in G \\ a < b}} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ k < l < m}} X_{iWka} X_{iAlb} X_{iMmb}
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 SB = & \lambda_0^{SB} \sum_{i \in N} \sum_{\substack{a, b \in G \\ a < b}} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ k < l < m}} X_{iWka} X_{iMla} X_{iAmb} + \lambda_2^{SB} \\
 & \sum_{i \in N} \sum_{\substack{a, b \in G \\ a < b}} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ k < l < m}} X_{iAka} X_{iWlb} X_{iMmb} + \\
 & \lambda_2^{SB} \sum_{i \in N} \sum_{\substack{a, b \in G \\ a < b}} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ k < l < m}} X_{iAka} X_{iMlb} X_{iWmb} + \lambda_1^{SB} \\
 & \sum_{i \in N} \sum_{\substack{a, b \in G \\ a < b}} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ k < l < m}} X_{iWka} X_{iAla} X_{iMmb} +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \lambda_1^{SB} \sum_{i \in N} \sum_{\substack{a, b \in G \\ a < b}} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ k < l < m}} X_{iAka} X_{iWla} X_{iMmb} + \lambda_1^{SB} \\
 & \sum_{i \in N} \sum_{\substack{a, b \in G \\ a < b}} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ k < l < m}} X_{iMka} X_{iWlb} X_{iAmb} + \\
 & \lambda_1^{SB} \sum_{i \in N} \sum_{\substack{a, b \in G \\ a < b}} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ k < l < m}} X_{iMka} X_{iAlb} X_{iWmb} + \lambda_2^{SB} \\
 & \sum_{i \in N} \sum_{\substack{a, b \in G \\ a < b}} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ k < l < m}} X_{iMka} X_{iAla} X_{iWmb} + \\
 & \lambda_2^{SB} \sum_{i \in N} \sum_{\substack{a, b \in G \\ a < b}} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ k < l < m}} X_{iAka} X_{iMla} X_{iWmb} + \lambda_0^{SB} \\
 & \sum_{i \in N} \sum_{\substack{a, b \in G \\ a < b}} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ k < l < m}} X_{iWka} X_{iMlb} X_{iAmb} + \\
 & \lambda_0^{SB} \sum_{i \in N} \sum_{\substack{a, b \in G \\ a < b}} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ a < b < c \\ k < l < m}} X_{iWka} X_{iMlb} X_{iAmc} + \lambda_1^{SB} \\
 & \sum_{i \in N} \sum_{\substack{a, b, c \in G \\ a < b < c}} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ a < b < c \\ k < l < m}} X_{iWka} X_{iAlb} X_{iMmc} + \\
 & \lambda_1^{SB} \sum_{i \in N} \sum_{\substack{a, b \in G \\ a < b < c}} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ a < b < c \\ k < l < m}} X_{iMka} X_{iWlb} X_{iAmc} + \lambda_2^{SB} \\
 & \sum_{i \in N} \sum_{\substack{a, b, c \in G \\ a < b < c}} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ a < b < c \\ k < l < m}} X_{iMka} X_{iAlb} X_{iWmc} + \\
 & \lambda_2^{SB} \sum_{i \in N} \sum_{\substack{a, b \in G \\ a < b < c}} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ a < b < c \\ k < l < m}} X_{iAka} X_{iWlb} X_{iMmc} + \lambda_3^{SB} \\
 & \sum_{i \in N} \sum_{\substack{a, b, c \in G \\ a < b < c}} \sum_{\substack{k, l, m \in R \\ k < l < m}} X_{iAka} X_{iMlb} X_{iWmc}
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$AW = \lambda_1^{AW} \sum_{\substack{x, y \in N \\ x < y}} \sum_{g \in G} \sum_{\substack{k \in R \\ k < k+1}} \sum_{j=W, M, A} X_{xjkg} X_{yj(k+1)g} \tag{3}$$

$$AB = \lambda_1^{AB} \sum_{\substack{x, y \in N \\ x < y}} \sum_{\substack{a, b \in G \\ a \neq b}} \sum_{\substack{k \in R \\ k < k+1}} \sum_{j=W, M, A} X_{xjka} X_{yj(k+1)b} \tag{4}$$

4. KARAR DESTEK SİSTEMİ (DECISION SUPPORT SYSTEM)

Uçağa yolcu çağırma senaryolarının çoğu, yolcuları uçağa önceden belirlenmiş gruplar halinde alır. Yolcu alım stratejileri geliştirilirken amaç, toplam yolcu çakışma sayısını en aza indirmektir. Literatürde ispat edildiği gibi, toplam uçağa yolcu alım süresi, yolcuların koltuk ve koridor çakışma sayılarının toplamına bağlıdır. Bu nedenle, tüm yolcu grupları bir sıraya göre çağrıldığında ortaya çıkacak olan olası sonuçların sayısı, yolcuları ayırarak elde edilen grup sayısının faktöriyeline eşit olmak ve dolayısıyla grup sayısı arttıkça uygun grup sıralamasının bulunması için gereken süre de hızla artmaktadır. Yolcu alım stratejisi geliştiricileri, yolcuları uçağa alırken grupları çağırarak için hangi sıranın kullanılacağını belirleyip kontrol edebilseler de grupların içindeki yolcu geliş sırasını kontrol edemezler. Bir

yöntem hem yolcu geliş sıralarının hem de grup sıralarının olası tüm sonuçlarını dikkate alırsa, hesaplama zorluğundan dolayı hesaplama süresi katlanarak artacaktır. Örneğin, yolcuların sırasıyla 6 grupta uçağa alınacağını varsayılırsa, bu altı grubun yolcularının (her grup 20 yolcudan oluşacak şekilde) uçağa binış sıralamalarının $6! \cdot 20! \cdot 20! \cdot 20! \cdot 20! \cdot 20!$ olası sonucu olacaktır. Bu zorluktan dolayı, sunulan bu çalışmada problemin uygulanabilir çözümlerinin bazı varsayımlar altında bulunmasını temin edecek bir karar destek sisteminin (KDS) geliştirilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen KDS, kullanıcının, yolcuların uçağa alınmasında farklı yöntemler tasarlamasına ve tasarladığı yönteme karşılık gelen toplam yolcu çıkışmasını hesaplayabilmesine izin vermektedir. Kullanıcı, ayrıca, geliştirdiği farklı yöntemleri bir arada karşılaştırabilmektedir. Böylece bu problem için optimum bir çözüm bulmak yerine, uygulanabilir ve karar vericiyi tatmin edici bir çözümün bulunması hedeflenmektedir. Dikkate alınan varsayımlar ve açıklamaları aşağıda verilmektedir:

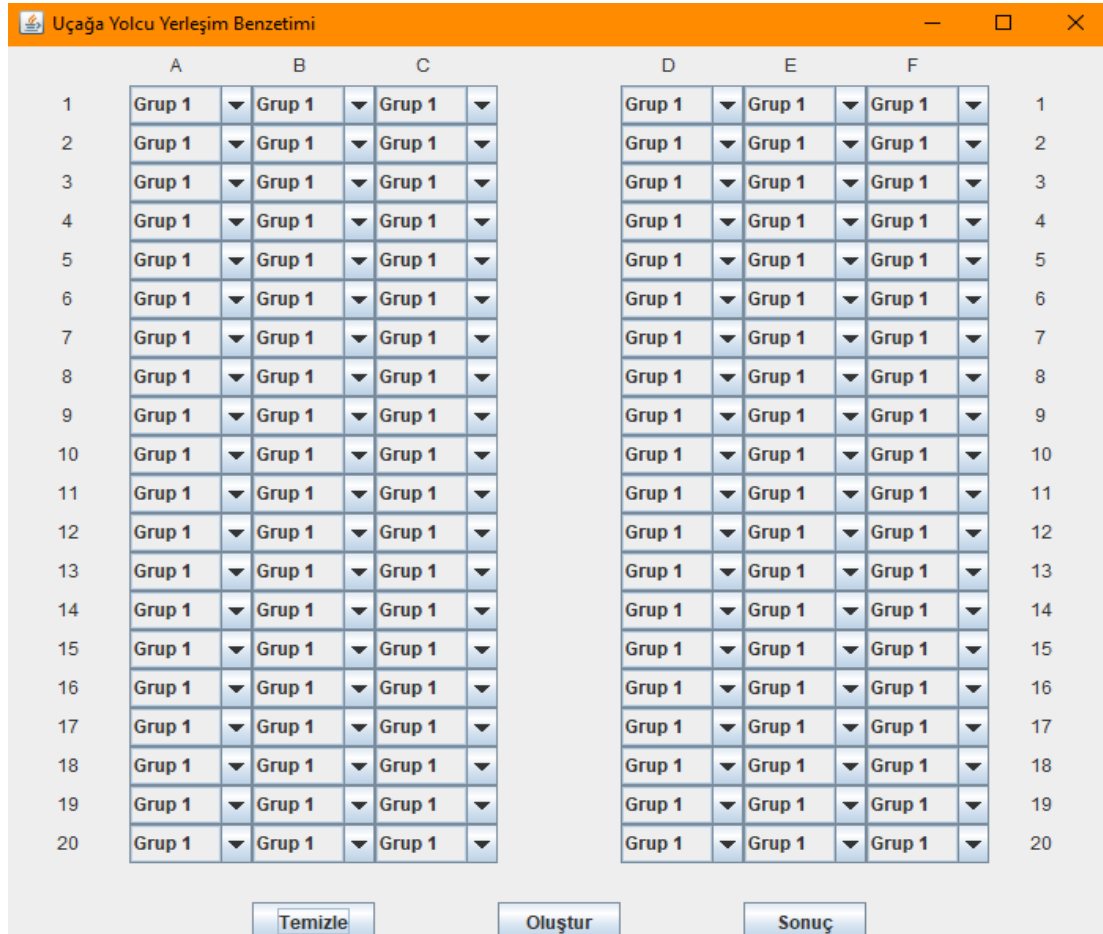
Tüm yolcuların uçak kapısına varış süresi sıfır olarak kabul edilmiştir. Bu varsayım, uçağa yolcu alım sürecinin başlaması için bekleme süresinin bulunmadığı anlamına gelmektedir.

Yolcular en fazla dört gruba ayrılmaktadır.

Uçakta boş koltuk bulunmamakta ve son yolcu uçaktaki yerini aldığı anda uçağa yolcu alma süreci tamamlanmaktadır.

Koridordaki herhangi bir yolcu, arkasındaki yolcuya geçmesi için yer verip kendinden önce koltuğuna yerleşmesine izin vermemektedir.

Bu çalışmada önerilen KDS, Java programlama dilinde ve kullanıcı dostu olmasını temin etmek için nesne tabanlı olarak geliştirilmiştir. KDS, öncelikle uçaktaki koltuk düzenini kullanıcıya gösterecek Şekil 3'deki gibi bir arayüz oluşturmaktadır. Şekil 3'teki örnekte 6 koltuklu, 20 sıralı, dolayısıyla 120 yolcu kapasiteli bir uçak için arayüz gösterilmektedir. Kombo kutular, daha önce ayrılmış olan grup numarasını seçmek için kullanıcıya dört grup seçeneği sunmaktadır. Kullanıcı, yolcuların kaç gruba ayrılacağına ve hangi sırada uçağa alınacaklarına kendi karar vermektedir. Ancak daha önce belirtildiği gibi literatürdeki araştırmacıların birçoğu, yolcuların 4'den fazla gruba ayrılmasının uçağa yolcu alım işlemi için etkili olmadığını işaret etmektedir ve bu nedenle geliştirilen KDS en çok dört gruba izin vermektedir. Kullanıcı grup numarasını 1'den 4'e kadar (veya daha az) kombo kutulardan işaretledikten sonra *Oluştur* butonunu seçerek yolcu alım yöntemini



Şekil 3. KDS'de yolcu alma yöntemi oluşturma arayüzü (Interface of creating passenger boarding method on DSS)

oluşturabilmektedir. Bundan sonra, KDS seçilen her bir yolcuyu kullanıcının seçtiği uygun gruba atamaktadır. Grup numarası aynı zamanda grubun uçağa alınma sırasını vermektedir, yani ilk olarak grup 1, son olarak grup 4 (ya da en büyük grup numarası) uçağa alınmaktadır.

KDS, yolcu çakışma sayılarını hesaplamak üzere oluşturulan grupları girdi olarak işleme almaktadır. Bunun için, KDS arkasında çalışan algoritma kombo kutuları tek tek kontrol ederek ve eğer-değilse koşulunu kullanarak grup sırasına ve her gruptaki yolcu sayısına göre düzenlemiş bir dizi oluşturur. Oluşturulan yöntemin yol açacağı beklenen çakışma sayısını hesaplayabilmek için grup içindeki yolcuların uçağa rasgele giriş sırasını verecek bir algoritmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla, rasgele karıştırma algoritmaları arasındaki üstünlüğü nedeniyle Fisher-Yates karıştırma algoritması grup içi yolcuların rasgele gelişini taklit etmek için kullanılmıştır. Her bir sıralamanın ortaya çıkma olasılığının eşit olması ve algoritmanın polinom zamanlı hesaplama karmaşıklığının olması iki önemli avantajı olarak bilinmektedir [16]. Fisher-Yates algoritması, Şekil 4'te açıklanmaktadır.

Girdi: n elemanlı bir X dizisi

$k = n$ 'den 2 'ye kadar adım 1 ve adım 2 'yi tekrar et:

Adım 1. 1 ile k arasında rassal bir j sayısı seç

Adım 2. $X[k]$ ve $X[j]$ elemanlarını yer değiştir

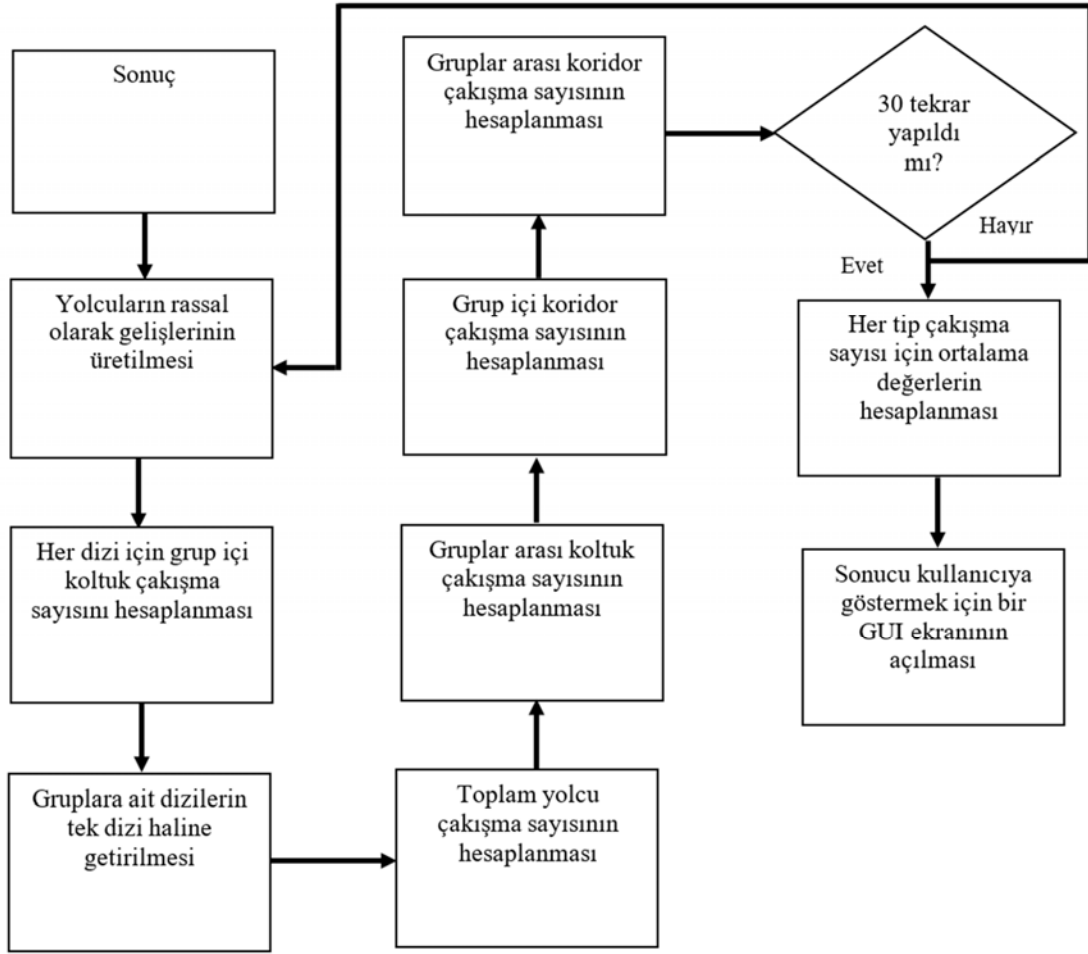
Çıktı: Elemanları karıştırılmış bir X dizisi

Şekil 4. Fisher-Yates algoritması (Fisher-Yates algorithm)

Sonuç butonunun seçilmesi yolcu çakışmalarının hesaplanmasını başlatmaktadır. Fisher-Yates algoritmasıyla karıştırılmış yolcu geliş sıraları kullanılarak grup içi koltuk çakışma sayılarını hesaplamak için her yarım satır (3 koltuktan oluşan pencere-W, orta koltuk-M ve koridor-A) kontrol edilir. Aynı sırada oturacak olan yolcu sayısı aynı grup içinde tespit edildiğinde, grup içi koltuk çakışma sayısını hesaplamak için aynı sırada bulunan yolcuların sırasına bakılmaktadır. Örneğin, bir dizide aynı satır numaraları 17M-17A-17W olduğu tespit edildiğinde 2 koltuk çakışması ortaya çıkacaktır, çünkü M ve A yolcuları W yolcusundan önce yerleştiği için W yolcusu koltuğuna geldiğinde M ve A yolcularının kalkması gerekecektir. Program, bu yöntemle tüm kontrolleri yaparak grup içinde oluşan toplam koltuk çakışmasını hesaplamaktadır. Ancak bu yolcuların tamamı aynı grupta olmayabilir. Örneğin; 17M ve 17A yolcuları 1. grupta iken 17W yolcusunun 2. grupta olsun. 17A-17M-17W sırasında gelen yolcuları için 17M yolcusunun yerine geçebilmesi için 17A yolcusunun kaldırması gerektiğinden grup içi koltuk çakışması olduğu görülecektir, 17W yolcusu geldiğinde ise 17A ve 17M yolcularının kalkması gerekmektedir ve bu yolcular 1. gruba dâhil olduğundan (17W 2. grubun yolcusudur) 2 tane gruplar arası koltuk çakışması olduğu hesaplanacaktır. Bu üç yolcunun da farklı gruba atandığı senaryoda ise oluşacak tüm koltuk çakışmaları gruplar arası koltuk çakışması olarak

hesaplanacaktır. KDS, grup içi koridor çakışmalarını hesaplarken her bir grubun gelen yolcularını ayrı olarak listelemektedir. Listelenen yolcuların koltuk numaralarına bakarak, o yolcunun, önündeki yolcuya göre uçağın daha arka kısmında (öndeki yolcunun numarasının daha küçük olması halinde) oturduğunu tespit ederse grup içi koridor çakışması olduğu ortaya çıkacaktır. Örneğin; 3. grubun içindeki yolcuların 15W-12A-18W sırasında geldiğini ele alınsın. 12A yolcusu 15W yolcusuna göre uçağın önüne (uçak giriş kapısına) daha yakın olduğundan bir çakışma yaşanmayacaktır ancak 18W yolcusu geldiğinde koridorda hala el valizini yerleştirmekle meşgul olan 12A yolcusunu beklemek zorundadır. Bahsedilen bu kıyaslamalar her grup için ayrı ayrı yapılmakta ve her grubun içindeki koridor çakışma sayısı hesaplanmaktadır. Grupların uçağa alınma sırası göz önüne alındığında, öndeki grubun son yolcusu ile bir sonraki grubun ilk yolcusu arasında gruplar arası koridor çakışması ortaya çıkabilmektedir. Örnek olarak, önceki grubun son yolcusunun 8M yolcusu olduğu ve yeni alınmaya başlanılan grubun ilk yolcusunun 10A yolcusu olduğu düşünülürse, 10A yolcusu 8M yolcusunu beklemesi gerektiğinden gruplar arası koridor çakışması yaşanacaktır.

KDS, sonuçları kullanıcıya göstermek için yeni bir pencere oluşturmaktadır. Bu sonuç penceresinde kullanıcı, geliştirdiği uçağa yolcu alma yöntemlerini, literatürde yer alan arkadan-öne, WILMA, ters piramit vb. gibi yöntemlerle karşılaştırmak için gerekli tüm değerleri görebilir. Sonuç penceresi, her grup için grup içi koltuk ve koridor çakışmalarının toplamı ve gruplar arası koltuk ve koridor çakışmalarının toplamı değerlerini içermektedir. Sonuç penceresinin altında toplam yolcu çakışma sayısı (hem koltuk hem de koridor bazında) kullanıcı tarafından görülebilir durumdadır. Tahmini çakışma değerlerini hesaplamak için, algoritma 30 tekrar yapmaktadır. Her tekrarda, grup içindeki yolcuların rassal olarak oluşturulan farklı bir geliş senaryosuyla uçağa biniş senaryosuna göre yolcu çakışmaları hesaplanmaktadır ve sonuç penceresi bu tekrarlardan elde edilen değerlerin ortalamasını göstermektedir. *Sonuç* düğmesinin arkasında gerçekleşen tüm işlemler Şekil 5'te özetlenmektedir. Şekil 6'da verilen "Sonuç" penceresinin sol kısmında, her bir grup için grup içi koltuk çakışmaları, sağ kısmında grup içi koridor çakışmaları yer almaktadır. Hemen alt kısımlarında toplam gruplar arası koridor ve koltuk yolcu çakışmaları gösterilirken en alt kısımda toplam yolcu çakışması verilmektedir. Uçağa yolcu alım işlemi sırasında oluşan toplam çakışma sayısı kullanıcıya oluşturulan yolcu alım yönteminde toplam yolcu alım sürecinin ne kadar kadardığıyla ilgili fikir vermektedir. Ayrıca, kullanıcının oluşturduğu farklı yöntemleri bir arada karşılaştırması imkânını sağlamak için KDS'ye bir karşılaştırma sistemi eklenerek Şekil 7'deki gibi, kullanıcının farklı gruplandırma yöntemlerinin yol açacağı toplam çakışma sayısını bir arada görmesi ve en az çakışmaya yol açan yöntemi seçmesi imkânı sağlanmaktadır. Bundan başka olarak, geliştirilen KDS'de üretilen sonuçlar, istatistiksel analiz yapmak amacıyla MS Excel, Minitab, Easy Fit vb. gibi başka bir yazılım programına aktarılabilir durumdadır.



Şekil 5. KDS *Sonuç* butonunun işlevi (Function of result button in DSS)

Sonuç	
Grup1 içindeki koltuk çakışma sayısı 29.57	Grup1 içindeki koridor çakışma sayısı 41.93
Grup2 içindeki koltuk çakışma sayısı 6.57	Grup2 içindeki koridor çakışma sayısı 8.33
Grup3 içindeki koltuk çakışma sayısı 4.57	Grup3 içindeki koridor çakışma sayısı 6.37
Grup4 içindeki koltuk çakışma sayısı 5.57	Grup4 içindeki koridor çakışma sayısı 7.77
Toplam grup içi koltuk çakışma sayısı 46.29	Toplam grup içi koridor çakışma sayısı 64.4
Gruplar arası koltuk çakışma sayısı 14.57	Gruplar arası koridor çakışma sayısı 1.7
Toplam koltuk çakışma sayısı 60.86	Toplam koridor çakışma sayısı 66.1
<input type="button" value="Çakışma list..."/>	Toplam çakışma sayısı 127.0

Şekil 6. KDS *Sonuç* penceresi (Result window in DSS)

Karşılaştırma Sonuçları	
Toplam çakışma sayısı	
1.Yöntem	124
2.Yöntem	117
3.Yöntem	126
4.Yöntem	103

Şekil 7. KDS karşılaştırma penceresi
(Comparison window in DSS)

5. DENEYSSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Bu bölümde, öncelikle, geliştirilen KDS kullanılarak literatürde mevcut olan yöntemler test edilmiş ve elde edilen sonuçların yine literatürdeki mevcut bulgularla tutarlılığı ortaya konulmuştur. Daha sonra, yolcu alım problemi için iki yeni yöntem önerilmiş ve bu öneriler yine mevcut yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Literatürde mevcut olan yöntemlerin KDS kullanılarak test edilmesi Bölüm 5.1’de, önerilen yöntemlerin test edilmesi ise Bölüm 5.2’de verilmektedir.

5.1. Yolcu Çağırma Yöntemlerinin Karşılaştırılması (Comparison of Call-off Methods)

Arkadan-öne (2, 3 ve 4 gruba sahip alternatiflere göre), koltuklu rasgele, WILMA-düz ve Ters Piramit yöntemleri geliştirilen KDS programında denenerek, her çakışma tipi ayrı ayrı olmak üzere tüm yolcu çakışma sayıları hesaplanmıştır. Program, her bir çakışma sayısını hesaplamak ve sonuç elde etmek için 10 kez tekrar

edilmiştir. 10 tekrarın ortalama değeri Tablo 3’te verilmektedir. Tablo 3, seçilen çağrı yöntemlerinin toplam koltuk ve koridor yolcu çakışma sayısına göre karşılaştırmasını göstermektedir. Tablodaki gibi yöntemlerin toplam koridor ve toplam koltuk çakışma sayıları birbiriyle karşılaştırılabilir olsa da toplam çakışma sayısı diğer çakışma tiplerine göre gerçek hayata uygulanacak en iyi yöntemi belirlemede daha belirleyici olmaktadır. Hesaplanan toplam çakışma sayıları Tablo 4’te görülmektedir. Tablo 3’teki sıfır değerleri WILMA-düz ve ters piramit metodlarında aynı satırlarda aynı numaralı gruplar olmadığı için koltuk çakışması yaşanmadığını göstermektedir. Çakışma sayıları toplam olarak değerlendirildiğinde, Tablo 4, WILMA düz yönteminin en az sayıda çakışmaya sahip olduğunu göstermektedir. Ters Piramit yöntemi, denenen diğer çağırma metodları içinde en az çakışma sayısına sahip olarak WILMA düz yöntemini ikinci olarak takip etmektedir. WILMA-düz algoritması program sonuçlarından en verimli olması rağmen, Bölüm 5.2’de daha detaylı açıklandığı üzere, bu yöntemin gerçek hayata uygulanması kolay değildir. Bunun temel nedeni WILMA-düz yönteminin aynı sıradaki yolcuları (aile ya da eşlikli olarak yolculuk yapması muhtemel kişileri) birbirinden ayırmasıdır.

Tablo 4. Toplam yolcu çakışma sayılarının karşılaştırılması
(Comparison of total number of interferences)

Yolcu Çağırma Yöntemi	Toplam Çakışma Sayısı
Koltuklu rastgele	122,094
Arkadan-öne (2 Grup)	125,666
Arkadan-öne (3 Grup)	124,616
Arkadan-öne (4 Grup)	124,603
WILMA-düz	61,165
Ters piramit	61,8

Tablo 3. Yolcu Çağırma Yöntemlerinin Karşılaştırılması (Comparison of call-off methods)

Yolcu Çağırma Yöntemi	Grup içi ortalama koltuk çakışma sayısı				Toplam grup	Gruplar arası	Genel toplam
	Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4	çakışması	çakışması	
Koltuklu rastgele	60,323	0	0	0	60,323	0	60,323
Arkadan-öne (2 Grup)	30,727	31,027	0	0	61,754	0	61,754
Arkadan-öne (3 Grup)	20,007	20,107	18,607	0	58,721	0	58,721
Arkadan-öne (4 Grup)	14,603	14,512	14,186	13,236	56,537	0	56,537
WILMA-düz	0	0	0	0	0	0	0
Ters piramit	0	0	0	0	0	0	0
Yolcu Çağırma Yöntemi	Grup içi ortalama koridor çakışma sayısı				Toplam grup	Gruplar arası	Genel toplam
	Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4	çakışması	çakışması	
Koltuklu rastgele	61,771	0	0	0	61,771	0	61,771
Arkadan-öne (2 Grup)	31,976	31,936	0	0	63,912	0	63,912
Arkadan-öne (3 Grup)	22,91	22,927	20,058	0	65,895	0	65,895
Arkadan-öne (4 Grup)	17,1	17,056	16,907	17,003	68,066	0	68,066
WILMA-düz	20,016	20,011	20,11	0	60,137	1,028	61,165
Ters piramit	15,037	16,224	17,132	12,028	60,421	1,379	61,8

Literatürdeki araştırmalar Tablo 3 ve Tablo 4'te elde edilen sonuçları desteklemektedir. Örnek olarak Majid Soolaki vd. [13], Ters Piramit ve Arkadan-Öne yöntemlerini karşılaştırıp Ters Piramit yönteminin daha iyi olduğunu ispatlamıştır. Ayrıca, Rasgele yönteminin Arkadan-Öne yönteminden %20 daha iyi olduğu yönündeki güçlü bir iddia vardır [15]. Bu konuda Steiner ve Philipp [4], Rasgele yönteminin Arkadan-Öne yönteminden daha iyi olduğunu ispatlamıştır. Ayrıca Mas vd. [11] konuyla ilgili ANOVA analizi yaparak Rasgele yönteminin daha iyi olduğunu istatistiksel olarak göstermiştir. Ters Piramit ve WILMA-düz yöntemlerinin diğer her tip Arkadan-Öne (2, 3 veya 4 gruplu) metoduna göre belirgin bir avantaja sahip olduğu Bazargan [12] tarafından kanıtlanmıştır. Ayrıca Dožić ve Kalić [17], WILMA-düz yönteminin hiç koltuk çakışmasına sahip olmadığı için Arkadan-Öne yönteminden daha iyi olduğu sonucunu ortaya koymuştur. Ancak bahsedilen bu çalışmalar, yöntemleri çakışma sayıları açısından karşılaştırmakta, gerçek hayatta uygulanabilirliklerini irdelememektedir.

5.2. Önerilen Yolcu Çağırma Yöntemlerin Mevcut Yöntemlerle Karşılaştırılması (Comparison of Suggested Method with Existing Call-off Methods)

Geliştirilen KDS programının literatürde mevcut bulgularla karşılaştırılarak geçerliliği kanıtlandıktan sonra, bu çalışmada iki farklı uçağa yolcu alma yöntemi önerilmiş ve geliştirilen programda uygulanmıştır. Daha sonra, önerilen iki yöntem geleneksel yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Etkili

yolcu yerleşme süreci için genel ilke, yolcuların koridor kullanımının artırılmasıdır. Koridorda meydana gelen kuyruklar, koltuğuna doğru yürümek isteyen yolcuları engellemektedir. Diğer yandan, önerilen yolcu çağırma yöntemi uçak yolculuğu için gerçekçi olmalıdır çünkü yöntemler uçağa yolcu alım süreci için en iyisi olsa dahi gerçek hayat için uygulanabilir olmadığı sürece kullanışlı olmayacaktır. Örneğin, WILMA-düz metodunda yolcuların çoğu dışarıdan içeriye alındığı için çakışma sayısı sıfırdır ancak bireysel yolculuk yapan yetişkinleri ayırmanın herhangi bir problem yaratmamasına rağmen genellikle yolcuların gruplar halinde seyahat etmesi ve çocuklarla ebeveynlerinin ayrılmasının yasak olması sebebiyle WILMA-düz metodu gerçek yaşam için kolayca uygulanabilir değildir.

Bu çalışmada önerilen ilk yolcu çağırma yöntemi Şekil 8'de gösterilmektedir. Yolcular bu şekilde görüldüğü gibi dört gruba ayrılmaktadırlar. Buna göre, uçağın ilk yarısında koridorun her iki tarafında pencere ve orta koltuk yolcuları grup1, uçağın aynı yarısındaki koridor yolcuları grup3, uçağın diğer yarısında koridorun her iki tarafındaki koridor ve orta koltuk yolcuları grup4 ve nihayetinde uçağın bu yarısında pencere yolcuları grup2 olarak sınıflandırılmaktadır. Bu yöntemde önerilen seçenekler çiftli yolculuk yapanları ayırmadığından dolayı gerçek hayata uygulanması daha kolay olacaktır. En önemlisi, önerilen yöntemler koltuk veya koridor çakışmasını azaltacağı için toplam uçak yerleşim süresini de kısaltacaktır. KDS

Uçağa Yolcu Yerleşim Benzetimi		A			B			C			D			E			F		
1		Grup 2	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4
2		Grup 2	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4
3		Grup 2	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4
4		Grup 2	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4
5		Grup 2	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4
6		Grup 2	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4
7		Grup 2	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4
8		Grup 2	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4
9		Grup 2	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4
10		Grup 2	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4	Grup 4
11		Grup 1	Grup 1	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3
12		Grup 1	Grup 1	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3
13		Grup 1	Grup 1	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3
14		Grup 1	Grup 1	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3
15		Grup 1	Grup 1	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3
16		Grup 1	Grup 1	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3
17		Grup 1	Grup 1	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3
18		Grup 1	Grup 1	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3
19		Grup 1	Grup 1	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3
20		Grup 1	Grup 1	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3	Grup 3

Şekil 8. Uçağa yolcu alımı için önerilen ilk yöntem (First suggested method for passenger boarding)

kullanıcısına kolaylık sağlamak amacıyla her gruba ayrı bir renk verilmiştir. Mavi renk uçağa ilk çağırılacak olan grup1'i temsil etmektedir. Ardından gelecek olan grup2 ise pembe olarak gösterilmiş ve grup3 yeşil olarak temsil edilmiştir. Uçağa çağırılacak son grup olan grup4 ise turuncu olarak belirlenmiştir. İkinci olarak önerilen uçak yolcu çağırma yöntemi ise Şekil 9'de gösterilmektedir. İlk önerilen yöntemden farklı olarak bu yöntemde, toplam koltuk çakışma sayısının, grup1 bloklarının yerleri değiştirilerek azaltılması hedeflenmektedir. Tablo 5 önerilen iki yöntemin diğer yolcu çağırma yöntemleriyle karşılaştırılmasını vermektedir.

Tablo 6'da verilen toplam çakışma sayısı göz önünde bulundurulduğunda WILMA-düz ve Ters Piramit yöntemlerinin, bu çalışmada önerilen yöntemlerden daha az toplam çakışmaya yol açtığı görülmektedir. Bu çalışmada önerilen yöntemler, koridor/koltuk çakışma sayılarında ve toplam çakışma sayılarında, WILMA-düz ve Ters Piramit yöntemleri hariç, diğer yöntemlere göre üstün bir performans sergileyerek toplam çakışmaları %31 ile %34 arasında azaltabilmişlerdir. Diğer yandan, WILMA-düz ve Ters Piramit yöntemleri en az çakışma sonuçlarını veren yöntemler olmalarına rağmen, daha önce de vurgulandığı gibi gerçek hayata uygulama açısından zayıf kalmaktadırlar. WILMA-düz yöntemine göre grupların oluşturulması kolay olmakla birlikte, özellikle çift ve aile gibi eşli yolculuk yapan yolcular varsa bu yolcuların mutlaka farklı bir grup (pencere, orta koltuk ya da koridor grubu) içinde uçağa alınmasına yol

açmaktadır. Örneğin, 3 kişilik bir aile yan yana olan pencere, orta koltuk ve koridor koltuklarını seçerek biletlerini almışlarsa, bu üç kişinin de mutlaka ayrı bir grup içinde uçağa alınması gerekecektir. Ters Piramit yöntemi, diğer yandan, yolcuları uçağın arkasından önüne doğru bir üçgen oluşturacak şekilde gruplara ayırmaktadır. Bu gruplama şekli farklı uçak modelleri için farklılıklar gösterebilmektedir. Yine WILMA-düz yönteminde olduğu gibi Ters Piramit yönteminde de hiçbir koltuk sırasında aynı grup numarası olmadığı için eşli yolculuk yapanların eşlikçilerinden ayrılması kesindir. WILMA-düz ve Ters Piramit yöntemleri, sonuç olarak, gerçek hayat uygulamasında eşli yolculuk yapanlar için istisna yapılmasını gerektirmektedir. Ters Piramit yönteminin diğer bir dezavantajı ise oluşturulması gereken grup sayısının en az 5 olmasıdır, ancak grup sayısı arttıkça yöntemin uygulama karmaşıklığı da artmaktadır. Bu çalışmada önerilen yöntemler ise, bir yandan farklı uçak modelleri için değiştirilmeden uygulanabilirken, bir yandan da her sırada en az 2 çift yolculuyu aynı grupta tuttuğundan çift olarak yolculuk yapanlar uçağın arka kısmında oturmayı tercih etseler bile eşlik edenlerinden ayrılmamalarını sağlamaktadır. Önerilen yöntemlerin kullanılabilirliğini artırmak için giriş esnasında (*check-in*) çift olarak yolculuk yapanların önceden seçilen aynı gruplar içinde olacak şekilde bilet almalarını temin etmek uygulamayı özellikle avantajlı hale getirecektir. Bilhassa tatil dönemlerinde yolculuk eden aile sayılarının arttığı düşünülürse WILMA-düz ve Ters Piramit yöntemlerinin uygulanması neredeyse imkânsız olmaktadır. Bu çalışmada önerilen yöntemlerde ise

Uçağa Yolcu Yerleşim Benzetimi							
	A	B	C	D	E	F	
1	Grup 2	Grup 4	Grup 4	Grup 3	Grup 1	Grup 1	1
2	Grup 2	Grup 4	Grup 4	Grup 3	Grup 1	Grup 1	2
3	Grup 2	Grup 4	Grup 4	Grup 3	Grup 1	Grup 1	3
4	Grup 2	Grup 4	Grup 4	Grup 3	Grup 1	Grup 1	4
5	Grup 2	Grup 4	Grup 4	Grup 3	Grup 1	Grup 1	5
6	Grup 2	Grup 4	Grup 4	Grup 3	Grup 1	Grup 1	6
7	Grup 2	Grup 4	Grup 4	Grup 3	Grup 1	Grup 1	7
8	Grup 2	Grup 4	Grup 4	Grup 3	Grup 1	Grup 1	8
9	Grup 2	Grup 4	Grup 4	Grup 3	Grup 1	Grup 1	9
10	Grup 2	Grup 4	Grup 4	Grup 3	Grup 1	Grup 1	10
11	Grup 1	Grup 1	Grup 3	Grup 4	Grup 4	Grup 2	11
12	Grup 1	Grup 1	Grup 3	Grup 4	Grup 4	Grup 2	12
13	Grup 1	Grup 1	Grup 3	Grup 4	Grup 4	Grup 2	13
14	Grup 1	Grup 1	Grup 3	Grup 4	Grup 4	Grup 2	14
15	Grup 1	Grup 1	Grup 3	Grup 4	Grup 4	Grup 2	15
16	Grup 1	Grup 1	Grup 3	Grup 4	Grup 4	Grup 2	16
17	Grup 1	Grup 1	Grup 3	Grup 4	Grup 4	Grup 2	17
18	Grup 1	Grup 1	Grup 3	Grup 4	Grup 4	Grup 2	18
19	Grup 1	Grup 1	Grup 3	Grup 4	Grup 4	Grup 2	19
20	Grup 1	Grup 1	Grup 3	Grup 4	Grup 4	Grup 2	20

Şekil 9. Uçağa yolcu alımı için önerilen ikinci yöntem (Second suggested method for passenger boarding)

Tablo 5. Önerilen yöntemlerin mevcut yolcu çağırma yöntemleriyle karşılaştırılması
(Comparison of suggested methods with existing call-off methods)

Yolcu Çağırma Yöntemi	Grup içi ortalama koltuk çıkışma sayısı				Toplam grup içi koltuk çıkışması	Gruplar arası koltuk çıkışması	Genel toplam
	Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4			
Koltuklu rastgele	60,323	0	0	0	60,323	0	60,323
Arkadan-öne (2 Grup)	30,727	31,027	0	0	61,754	0	61,754
Arkadan-öne (3 Grup)	20,007	20,107	18,607	0	58,721	0	58,721
Arkadan-öne (4 Grup)	14,603	14,512	14,186	13,236	56,537	0	56,537
WILMA-düz	0	0	0	0	0	0	0
Ters piramit	0	0	0	0	0	0	0
Önerilen 1. yöntem	10,8	0	0	11	21,8	0	21,8
Önerilen 2. yöntem	11	0	0	10,8	21,8	0	21,8
Yolcu Çağırma Yöntemi	Grup içi ortalama koridor çıkışma sayısı				Toplam grup içi koridor çıkışması	Gruplar arası koridor çıkışması	Genel toplam
	Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4			
Koltuklu rastgele	61,771	0	0	0	61,771	0	61,771
Arkadan-öne (2 Grup)	31,976	31,936	0	0	63,912	0	63,912
Arkadan-öne (3 Grup)	22,91	22,927	20,058	0	65,895	0	65,895
Arkadan-öne (4 Grup)	17,1	17,056	16,907	17,003	68,066	0	68,066
WILMA-düz	20,016	20,011	20,11	0	60,137	1,028	61,165
Ters piramit	15,037	16,224	17,132	12,028	60,421	1,379	61,8
Önerilen 1. yöntem	20,821	10,046	10,018	20,982	61,867	1	62,867
Önerilen 2. yöntem	19,955	9,562	9,561	20,017	59,095	1,652	60,747

çift olarak yolculuk yapanların birbirlerinden ayrılmaması giriş aşamasında temin edilmese bile ayrılma ihtimalleri en fazla %50 olacaktır. Önerilen yöntemlerde, üç kişi olarak yolculuk yapanların her birinin ayrı bir gruba atanması ise imkânsızdır, aileden iki kişi mutlaka aynı grupta olacaktır. Yine de aile olarak birbirinden ayrılamama durumu göz önüne alınırsa aileler için istisna yapılmasını gerektirecektir. Diğer yandan WILMA-düz ve Ters Piramit yöntemlerinde, üçlü olarak yolculuk yapanların her biri mutlaka başka bir gruba atanmaktadır. Sonuç olarak, bu çalışmada önerilen iki yöntemin de eşli yolculuk yapanlar açısından WILMA-düz ve Ters Piramit yöntemine göre üstünlüğü kesindir.

Tablo 6. Önerilen yöntemlerinin diğer yöntemlerle toplam çıkışma sayısı açısından karşılaştırılması
(Comparison of the suggested methods with other methods in terms of total number of interferences)

Yolcu Çağırma Yöntemi	Toplam Çıkışma Sayısı	Çıkışma sayısında yüzde azalma (+), artma (-)	
		1. yöntem	2. yöntem
Koltuklu rastgele	122,09	%31 -	%32 -
Arkadan-öne (2 Grup)	125,67	%33 -	%34 -
Arkadan-öne (3 Grup)	124,62	%32 -	%34 -
Arkadan-öne (4 Grup)	124,60	%32 -	%34 -
WILMA-düz	61,17	%38 +	%35 +
Ters piramit	61,80	%37 +	%34 +
Önerilen 1. yöntem	84,67		
Önerilen 2. yöntem	82,55		

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Hava taşımacılığı endüstrisi son 30 yıl içerisinde artan bir büyüme göstermiştir. Bu durum, uçaklara olan talebin artışı ile beraber konuyu karmaşık bir ağ sistemi haline getirmiştir. Havaalanında ulaşım ağındaki her süreç birbiriyle bağlantılıdır ve süreçlerden birinin gecikmesi geri kalan süreçlerin de etkilenmesine sebep olmaktadır. Araştırmacılar, yolcu davranışları dışında kalan süreçlerin tahmin edilebileceğini göstermiştir. Ancak yolcuların davranışları önceden belirlenemediğinden uçağa yolcu alım süreci havaalanındaki uçakların planlanma sürecinde pek çok soruna neden olmaktadır. İlk araştırmalar, 1998 yılında yolcu çağırma sistemleri için en iyi yöntemi bulmak için başlamış ve bu dönemden sonra, yolcu alım süreci, en çok benzetim yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Bu çalışmada, uçağa yolcu alım probleminin optimum çözümünün bulunması zorluğu ile başa çıkabilmek için, kullanıcıya uçağa yolcu alma yöntemi yaratma imkânı sağlayan ve bu yöntemin yol açacağı ortalama çıkışma değerlerini hesaplayan bir KDS geliştirilmiştir. Geliştirilen KDS'nin verdiği sonuçlar literatürde mevcut olan yöntemlerle karşılaştırılıp teyit edildikten sonra, uçağa yolcu alma problemi için iki ayrı yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemler yine KDS kullanılarak toplam çıkışma sayısı kriterine göre mevcut diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Bu yöntemlerin, literatürde mevcut olan WILMA-düz ve Ters Piramit yöntemlerinden sonra en düşük ortalama toplam çıkışma sayısına yol açtıkları gösterilmiştir. WILMA-düz ve Ters Piramit yöntemlerine göre daha uzun bir uçağa alma

süreci gerektirse bile bu çalışmada önerilen yöntemlerin uygulanmasının daha kolay olduğu gösterilmiştir. Özellikle WILMA-düz yönteminin aile olarak yolculuk yapan yolcuların birbirinden ayrılmadan uçağa binmesini imkânsız kılması göz önüne alındığında bu çalışmada önerilen yöntemlerin uygulamada daha avantajlı olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu konuyla ilgili olarak Ters Piramit yöntemiyle yapılan karşılaştırma çalışması yine önerilen iki yöntemin de eşli yolculuk yapan yolcular açısından kullanışlı olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, bu çalışmada geliştirilen KDS ve önerilen yolcu alma yöntemleri kullanılarak uçağa yolcu alma sürecinde ve dolayısıyla havaalanı ulaşımında önemli iyileştirmeler sağlanabilecektir.

Bu çalışmanın devamında, ortaya konan KDS'nin, kullanıcıya önceden hazırlanmış yolcu alma yöntemlerini sunması ve farklı uçak kapasitesi seçme imkânı sağlaması yönünde geliştirilmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kalić, M., Marković, B., Kuljanin, J., The Airline Boarding Problem: Simulation based Approach fom Different Players' Perspective. 1st Logistics International Conference, Belgrade, Serbia 28-30 November, 2013.
2. Tu, Y.F., Ball, M.O., Jank, W.S., Estimating flight departure delay distributions – a statistical approach with long-term trend and short-term pattern. Journal of the American Statistical Association 103, 112–125, 2008.
3. Marelli, S., Mattocks, G. ve Merry, R., The role of computer simulation in reducing airplane turn time. AERO Magazine, 1, 1998.
4. Steiner, A., Philipp, M., Speeding up the airplane boarding process by using pre-boarding areas. In: Swiss Transport Research Conference, 9–11 September 2009, Ascona, Switzerland, 2009.
5. Nyquist, D.C. & McFadden, K.L., A study of the airline boarding problem. Journal of Air Transport Management, 14 (4), 197–204, 2008.
6. Van den Briel, M.H.L., Villalobos, J.R., Hogg, G.L., Lindemann, T., Mule, A.V., America west airlines develops efficient boarding strategies. Interfaces 35,191-201, 2005.
7. Milan, J., The flow management problem in air traffic control: a model of assigning priorities for landings at a congested airport transportation. Journal of Transportation Planning and Technology, 20 (2), 131-162, 1997.
8. Van Landeghem, H., Beuselinck, A., Reducing passenger boarding times in airplanes: a simulation based approach, Eur. J. Oper. Res. 142, 294–308, 2002.
9. Ferrari, P., Nagel, K., Robustness of efficient boarding in airplanes. Transportation Research Record 1915, 44–54, 2005.
10. Steffen, J.H., Optimal boarding method for airline passengers. Journal of Air Transport Management, 14 (3), 146–150, 2008.
11. Mas, S., Juan, A. A., Arias, P., Fonseca, P., A simulation study regarding different aircraft boarding strategies. In Modeling and Simulation in Engineering, Economics, and Management, Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 145–152, 2013.
12. Bazargan, M., A linear programming approach for aircraft boarding strategy. European Journal of Operational Research 183, 394-411, 2006.
13. Soolaki, M., Mahdavi, I., Mahdavi-Amiri, N., Hassanzadeh, R., & Aghajani, A., A new linear programming approach and genetic algorithm for solving airline boarding problem. Applied Mathematical Modelling, 36 (9), 4060-4072, 2012.
14. Milne, R.J., Kelly, A.R., A new method for boarding passengers onto an airplane. Journal of Air Transport Management, 34, 93-100, 2013.
15. Bachmat, E., Elkin, M., Bounds on the performance of back-to- front airplane boarding policies. Operations Research Letters 36, 597–601, 2008.
16. Ade-Ibijola, Abejide Olu, A Simulated Enhancement of Fisher-Yates Algorithm for Shuffling in Virtual Card Games using Domain-Specific Data Structures. International Journal of Computer Applications, 54 (11), 0975-8887, 2012.
17. Dožić, S, Kalić, M., Comparison of Two MCDM Methodologies in Aircraft Type Selection Problem. Transportation Research Procedia, 10, 910-919, 2015.

