



Araştırma Makalesi / Research Article

HAVAYOLU OPERASYONLARINDA DAYANIKLI EKİP EŞLEMESİ İÇİN BİR KARAR DESTEK MODELİ ÖNERİSİ: PİSAGOR AHP- PİSAGOR WASPAS YAKLAŞIMI

Emine Elif NEBATİ¹

Öz

Havayolu taşımacılığında etkili ekip planlaması, operasyonların güvenli, düzenli ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi için kritik bir öneme sahiptir. Havayolu işletmelerinin büyüme ve rekabet avantajı elde edebilmeleri için beklentileri karşılamaları gerekmektedir. Havayolu operasyonlarında gerçekleştirilen yenilikler ve yolcu memnuniyetleri, yolcuların ilgili havayolu işletmesini tercih etmesini ve bu tercihin devamlılığının sağlanmasını mümkün kılmaktadır. Bu bağlamda, işletmeler yüksek kârlar elde edecek ve daha çok yolcuya ulaşma imkânı bulacaktır. Operasyonel süreçlerdeki başarıyı etkileyen en önemli aşamalardan biri de ekip planlamasıdır. Zira yakıt maliyetlerinden sonra havayolu işletmelerinin en büyük gider kalemi personel maliyetleridir. Kompleks ve çok kısıtlı bir yapıya sahip olan ekip planlama süreçleri başarıyla yönetildiği zaman işletmeye önemli avantajlar sağlayacaktır. Bu çalışmada, Türkiye'deki bir havayolu işletmesinin filolar için kabin ekibi planlama süreçleri incelenmiş ve ekip planlaması için bir karar modeli sunulmuştur. Çalışmada, 9 kriter ve 3 alternatif uçak tipi belirlenerek, Pisagor AHP-WASPAS yöntemi ile analiz yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, ekip eşlemesi konusunda farklı bir bakış açısı ile havacılık sektörüne katkı sağlayacağı umulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Havayolu lojistiği, Ekip planlama, Havacılık sektörü, Pisagor AHP, Pisagor WASPAS

JEL Kodları: L93, M12, C02.

A DECISION SUPPORT MODEL FOR RESILIENT CREW MAPPING IN AIRLINE OPERATIONS: PYTHAGOREAN FUZZY AHP- PYTHAGOREAN FUZZY WASPAS APPROACH

Abstract

In airline transport, crew planning has a critical importance in carrying out operations in a safe, organised and efficient manner. Airline companies need to meet expectations in order to achieve growth and competitive advantage. Innovation in airline operations and passenger satisfaction are key drivers of passenger preference and continuity. In this context, businesses will earn high profits and have the opportunity to reach more passengers. One of the most important stages affecting the success in operational processes is crew planning. After fuel costs, the biggest expense item of airline companies is personnel costs. Team planning processes, which have a complex and very limited structure, will provide significant advantages to the business when managed successfully. In this study, cabin crew planning processes of an airline in Turkey for fleets were analysed and a decision model for crew planning was presented. In the study, 9 criteria and 3 alternative aircraft types were determined and analysed using with Pythagorean AHP-WASPAS method. According to the findings, it is hoped that it will contribute to the aviation industry with a unique perspective in terms of team mapping.

Keywords: Airline logistics, Team planning, Aviation industry, Pythagorean AHP, Pythagorean WASPAS

JEL Codes: L93, M12, C02

¹ Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, emine.nebati@izu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-3950-4279
Başvuru Tarihi (Received): 01.02.2024 **Kabul Tarihi** (Accepted): 31.05.2024

Giriş

Havacılık endüstrisi, lojistik yönetiminde her geçen gün önemini artırmaktadır. Operasyonların karmaşıklığı, yüksek maliyetler, ileri düzey kullanılan üretim ve teknolojiler, güvenlik odağı, kompleks tedarik zinciri ağları gibi özellikleriyle havacılık sektörü, diğer sektörlerden farklılık göstermektedir. Havayolu taşımacılığı mesafeleri kısaltması, zaman tasarrufu sağlaması ve konforlu olmasından dolayı rağbet gören ulaşım alternatiflerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Havayolu işletmeleri daha fazla yolcuya ulaşmak, maliyetleri azaltmak, kâr marjını arttırmak ve havacılık endüstrisinde söz sahibi olabilmek için her geçen yıl çalışmalarını arttırmaktadır. Teknolojik gelişmeleri takip ederek bünyelerine entegre etmeleri, daha fazla destinasyonlara ulaşmaları, yolculara konforlu ve emniyetli uçuş imkânı sağlamaları havayolu işletmelerinin büyümelerine yardımcı olmaktadır.

Bu süreçte, tedarik zinciri yönetiminin etkin bir şekilde uygulanması büyük bir önem taşımaktadır. Havacılık operasyonlarında, tedarik zinciri yönetiminin ana hedefi, uçuş hizmetini kullanacak müşterilerin memnuniyetini sağlamaktır. Bu memnuniyet, operasyonların emniyetli bir şekilde gerçekleşmesi, uçakların zamanında kalkış yapması, yüksek kaliteli hizmetin sunulması, kısacası zincirdeki her bir aktörün uçuş amacına yönelik iş birliği yapması ile elde edilir. Havayolu operasyonlarında en önemli faaliyetlerden biri de, ekip planlamalarının doğru yapılmasıdır. Havayolu şirketleri için gider kalemleri göz önüne alındığında birinci sırada yakıt maliyetleri yer alırken akabinde ekip personel giderleri bulunmaktadır. Operasyonel maliyetlerinin yaklaşık %15-20'sini oluşturmaktadır (Özkan Aksu ve Temiz, 2021: 417; Chutima ve Arayikanon, 2020). Bununla beraber her geçen gün filo sayılarındaki artış mevcut personel haricinde yeni personel ihtiyacını da doğurmaktadır. Ekip ve filo sayısının artması taşımacılık süreçlerinde optimum planlama yapılmasını gerektirmektedir. Eksik yapılan planlamalar uçuş aksaklığı ve yolcu memnuniyetsizliği oluşturabileceği gibi fazla yapılan planlamalarda işletmelerin personel maliyetini arttıracaktır. Ekip planlamasında iki temel kriter bulunmaktadır. Bunlar; ekip eşleme (pairing) ve ekip atama (rostering) olarak belirtilmiştir (Akyurt ve Yaşlıoğlu, 2018:424). Havacılık sektöründe uçağa atanacak ekip beraber hareket edeceğinden uçuşlara atama yapılabilmesi için önceden belirlenmesi gerekmektedir (Danışman, 2021).

Havacılık operasyonlarında ekip planlaması ile ilgili ilk çalışmalar 1960'lı yılların başında ortaya çıkmaya başlamıştır. Problem yöneylem araştırması alanında yer alan farklı metotlar ile çözülmeye çalışılmıştır. İlerleyen yıllarda gelişen teknolojinin yardımı ile çözüm süreleri azaltılmış, yeni yöntemler geliştirilmiştir (Az ve Ayvaz, 2022:194). Havayolu operasyonları, karmaşık yapısı ve büyük ölçekli problem boyutu nedeniyle literatürde genellikle dört ana alt problem üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu alt problemler; uçuş planlaması, uçak planlaması (filo atanması ve uçak rotalama), ekip planlaması (ekip eşleştirme ve ekip atanması) ve düzensiz durumların yönetimi (uçuş ve uçak yeniden planlama ile ekip yeniden planlama) olarak adlandırılır (Özkan Aksu ve Temiz, 2021:417). Ekip planlama problemi hiçbir zaman tek başına ele alınamamaktadır. Uçuş planlama ve filo planlamaları da dikkate alınarak uygun atamaların gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Zira havayolu taşımacılığında birçok kısıt yer almaktadır. Bu kısıtlara örnek olarak; güvenlik standartları, kapasite düzenlemeleri, pazara giriş düzenlemeleri, ekonomik düzenlemeler, çevresel ve teknik düzenlemeler söylenebilir (Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, 2015).

Kısıtlar göz önüne alınarak literatürde birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Yöneylem araştırması metotlarının kullanıldığı bu çalışmalarda genel olarak sütun oluşturma, genetik algoritma, memetik algoritma, doğrusal ve doğrusal olmayan programlama, dal-sınır yaklaşımının kullanıldığı görülmektedir (Özkan Aksu ve Temiz, 2021:417; Quesnel, Desaulniers ve Soumis, 2017:159; Az ve Ayvaz, 2022:194; Parmentier ve Meunier, 2020; Aydemir-Karadağ, Dengiz ve Bolat, 2013: 87; Chen, Liu ve Chou, 2013: 107). Ekip planlama probleminin kompleks olması havayolu işletmelerinin

kullandığı yöntemlerin farklı olmasına neden olmaktadır çünkü işletmelerin sahip olduğu ekip ve filo sayısında, işletme kurallarında farklılıklar bulunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, bir havayolu işletmesi için kabin ekiplerinin filolara optimum bir şekilde atanmasıdır. Çalışma kapsamında, 9 kriter ve 3 alternatif belirlenmiştir. Kriter ağırlıklarının elde edilmesinde, Pisagor Bulanık AHP yöntemi, alternatif uçak tiplerinin sıralamasında Pisagor Bulanık WASPAS yöntemi tercih edilmiştir. Kabin ekibi sayısının fazla olması ve planlama aşamasında birçok kısıtın bulunmasından dolayı, çalışma bulanık karar verme yöntemleri tercih edilmiştir. Önerilen metodoloji, aralık değerli pisagor bulanık sayıların klasik AHP ve WASPAS yöntemine uyarlanması ile geliştirilmiştir (İlbarhar ve Kahraman, 2018:3835). Pisagor bulanık yaklaşımının klasik bulanık yaklaşımına göre, belirsizlik seviyelerini daha iyi yönetir ve etkili sonuçlar alınmasında katkı sağlar. Çalışmada, yeni tip bulanık küme uzantılarından pisagor bulanık kümeler kullanılmasının sebebi, karmaşıklığın yüksek olduğu bu problemde, deterministik yöntemler yerine belirsizliği modellemede klasik ve sezgisel bulanık kümelere göre daha güçlü olması ve daha iyi sonuçlar vermesidir (Sancar, 2022). Bilindiği kadarıyla, önerilen metodolojinin ekip eşleme probleminde ilk kez kullanılması çalışmanın özgünlüğü ortaya çıkarmıştır. Bu bağlamda, çalışmanın hem yazına hem havacılık sektörüne katkı sağlayacağı umulmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde literatür taramasına, ikinci bölümde önerilen metodolojiye, üçüncü bölümde havayolu operasyonlarında dayanıklı ekip eşlemesi için bir karar destek modeli önerisine, son bölümde ise, sonuç yer almaktadır.

1. Literatür Taraması

Havayolu işletmeleri maliyetini azaltıp, kârını arttıracak yaklaşımlar kullanmaktadır. Bu yaklaşımların başında ise ekip planlama problemi yer almaktadır zira operasyonlar için optimum ekip planlamasının yapılması işletmelere ciddi kazançlar sağlayacaktır. Literatürde konu hakkında çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Literatür taraması kapsamında, 2007 ile 2024 yılları arasında ulusal ve uluslararası veritabanları “havacılık sektörü ekip planlama” ve “havacılık ekip eşleme” anahtar kelimeleri taranarak araştırılmıştır. Yazında öne çıkan çalışmalardan bir kısmı paylaşılmıştır.

Medard ve Sawney (2007) tarafından yapılan çalışmada, ekip eşleştirme ve atama, ekip kurtarma problemi hakkında bilgi verilmiştir. Ekip kurtarma probleminin çözümü için tam sayılı bir çözüm metodu önerilmiştir. Eşleştirme ve atamanın tek adımda nasıl yapıldığı açıklanmış ve basit ağaç araması, daha karmaşık sütun oluşturma ve en kısa yol algoritmalarına dayalı çözüm teknikleri kullanılmıştır.

Orhan, Kapanoğlu ve Karakoç (2010) tarafından yapılan çalışmada, havayolu operasyonlarında ekip planlama ve atama üzerine incelemeler yapılmıştır. Uçak çizelgeleme, uçuş çizelgeleme, ekip çizelgeleme ve düzensiz olayların yönetimi üzerine bilgiler verilmiş olup, dört temel operasyonel süreçlerde yapılacak iyileştirmelerin havayolu işletmelerine maliyet üstünlüğü sağlayacağı belirtilmiştir. Çalışma ile gelişmekte olan havayolu sektörü için bir kaynak oluşturulmuş ve havayolu sektöründe işletmelerin çözmesi gereken temel operasyonel problemler detaylı olarak değerlendirilmiştir.

Salazar-González (2014) tarafından yapılan çalışmada, karma tam sayılı doğrusal programlama modeli ile İspanya ve Portekiz’de hizmet vermekte olan bir havayolu firması için ekip eşleştirme, ekip atama, filo atama ve hava aracı problemlerinin çözümünü beraber yapmaya çalışmışlardır. Sonuç olarak, çalışmada ayırıcı araç rotalama problemindeki yaklaşımların sezgisel biçimde tam sayılı bir model haline getirilmesi ve ekip atamada nasıl kullanılması gerektiğine dair yol haritası sunulmuştur.

Soykan ve Erol (2014) tarafından yapılan çalışmada, çalışmada, aksaklıklara karşı dayanıklı ekip eşleme problemi için çift-amaçlı genel küme kapsama modeli önermiştir. Çalışmanın amacı, daha az aksaklığa maruz kalan veya aksaklıklar yaşandığında daha kolay yeniden planlanabilen ekip eşleme modellerinin geliştirilmesidir. Bu amaçla, her bir düğümde sütun oluşturma yöntemi uygulanan ve

Dal-Ücret algoritmasına dayalı bir algoritma olan Dal-Sınır Ağacı yöntemi kullanılarak bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Araştırma sonuçları, maliyeti en aza indirerek tüm ekip eşleme kombinasyonlarının daha dirençli hale getirilebileceğini ve bununla birlikte maliyetin sadece minimal bir artışla kabul edilebilir seviyelere yükseltilebileceğini göstermektedir.

Kasirzadeh, Saddoune ve Soumis (2017) tarafından yapılan çalışmada, internet üzerinden elde edilen bir ABD havayolu işletmesine ait veriler kullanılarak havayolu taşımacılığında ekip planlaması üzerine kapsamlı bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Ekip planlaması için sıralı yaklaşımla, matematiksel bir model önermiştir. Sonuç olarak, pilotlar için aylık çizelgeler sıralı bir yöntemle oluşturulduğunda kabul edilebilir bir ekip memnuniyeti ortaya çıkmıştır.

Deveci ve Demirel (2018a) tarafından yapılan çalışmada, havayolu ekip planlama problemlerine ilişkin bir araştırmayı ve literatürden önerilen çözümleri sunmaktadır. Sonuç olarak, sütun üretme yaklaşımının en sık kullanıldığı belirtilmiştir.

Deveci ve Demirel (2018b) tarafından yapılan çalışmada, havacılık endüstrisinde ekip planlaması üzerine bir araştırma yapılmıştır. Çalışmada ekip planlamasının minimum maliyetle en verimli şekilde planlanabilmesi için kullanılacak metotlar araştırılmış ve listelenmiştir. Ekip eşleştirme (crew pairing) problemi genetik algoritma ve memetik algoritma yaklaşımları ile karşılaştırmıştır. Çalışma sonunda memetik algoritmanın en iyi performans gösteren yaklaşım olduğu kanısına varılmıştır.

Zeighami, Saddoune ve Soumis (2020) tarafından yapılan çalışmada, kokpit ekibi planlaması için Lagrange ayrıştırması, sütun oluşturma ve dinamik kısıtlama toplamı birleştirilerek bir algoritma geliştirmiştir. Çalışmada bir ABD havayolu işletmesine ait gerçek veriler kullanılmıştır. Önerilen yaklaşımın, geleneksel sıralı yaklaşıma göre önemli ölçüde maliyet tasarrufu sağladığı ve ekip memnuniyetinin daha iyi karşılandığı belirtilmiştir.

Chutima ve Arayikanon (2020) tarafından yapılan çalışmada, havayolu operasyonlarında kokpit planlamasının minimum maliyetle yürütülmesi hususunda çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çok amaçlı optimizasyon yöntemi kullanılarak problem çözülmüştür. Önerilen yaklaşımın uygulanması ile ekip planlayıcının iş yükünü önemli ölçüde azaltacağı ifade edilmiştir.

Aksu ve Temiz tarafından (2021) tarafından yapılan çalışmada, ekip eşleme problemini ele alınmıştır. Yapılan uygulamada uçuşların gecikmeli ve gecikmesiz olması dikkate alınarak 2 farklı senaryo gerçekleştirilmiştir. Bu gecikmelerin analizi yapılmış ve klasik ekip eşleme problemi kullanılmıştır. Senaryoda eşleme maliyetlerinin de aynı ve farklı alındığı durumlar göz önünde bulundurularak problem çözülmüştür. Çalışma, iki amaçlı optimizasyon tabanlı bir küme bölme formülasyonu ile modellenmiş ve ardından amaçlar ağırlıklı toplam yöntemiyle birleştirilmiştir. Yeni yöntemle, problemin kabul edilebilir bir işlem zamanı içinde çözülebileceği gösterilmiştir.

Altundal (2021) tarafından yapılan çalışmada, havayollarındaki ekip planlama departmanı, ekiplerin memnuniyet düzeyini belirlemek amacıyla bir araştırma gerçekleştirmiştir. Ekip planlarında yapılan değişikliklerin ekiplerin moral ve motivasyonunu etkilediği göz önüne alınarak, bu değişikliklerin sayısı ve nedenleri değerlendirilmiştir. Araştırmada, belirli yıllar boyunca geçmiş verilerin karşılaştırılması için retrospektif bir yöntem kullanılmıştır. Özel bir havayolunun 2018 ve 2019 yaz aylarında gerçekleştirdiği uçuş sayıları, kış aylarına kıyasla daha yüksek olduğundan, değişiklik sayısının da yaz aylarında daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Wen, Sun, Sun ve Yue tarafından (2021) tarafından yapılan çalışmada, havayolu ekip planlaması model ve algoritmaları üzerine bir inceleme gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, kabin ve kokpit ekipleri için standart ve kesin ölçümün olmadığı bulunmuştur. Çalışma sonunda, literatürü araştırdıktan ve ilgili bazı modelleri ve çözüm algoritmalarını inceledikten sonra, kabin ekipleri için aksaklık yöntemi, Covid-19'un etkisi ve blok zincir teknolojisine dair incelemelere ve yorumlara da yer verilmiştir.

Az ve Ayvaz tarafından (2022) tarafından yapılan çalışmada, havayolu işletmelerinin ekip rotasyonu için genetik algoritma ile optimizasyon geliştirilmesi incelenmiştir. Kapsamlı bir literatür araştırmasından sonra genetik algoritma yaklaşımı kullanılmıştır. Uygulamada geliştirilen yeni kromozom iyileştirme operatörü sayesinde algoritma daha düşük maliyetli çözümler vermiştir.

Montlaur, Delgado ve Prats (2023) tarafından yapılan çalışmada, havayolu şirketlerinin tercihlerini ve ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak yörünge optimizasyonu için en uygun yöntemleri seçmeye yönelik alan odaklı bir yaklaşımın uygunluğunu ortaya koymuştur. Çalışmada, AHP-VIKOR yöntemleri kullanılmıştır.

İncelenen çalışmalara göre; literatürde havayolu ekip eşleme probleminin çözümü için, her kurum için değişebilen kurallar ve kısıt yapısı nedeniyle farklı yaklaşımlar ile ele alınmıştır. Yazında en sık tercih edilen yaklaşımlar ise, yönelem araştırması teknikleridir. Bunlardan öne çıkanlar; Sütun Oluşturma Algoritması (Çankaya ve Arıkan, 2009: 43; Zeren ve Özkol, 2016:133; Parmentier ve Meunier, 2020; Cacchiani ve Salazar-González, 2020), Genetik Algoritma (Aydemir-Karadağ, Dengiz ve Bolat, 2013:87; Chen, Liu ve Chou, 2013: 1077), Küme Kapsama Formülasyonu (Deveci ve Çetin Demirel, 2018:115; Zeren ve Özkol, 2016:133; Muter, ve diğerleri, 2013:815) örnek verilebilir. Bilindiği kadarıyla, önerilen metodoloji ile havacılık sektöründe ekip eşleme problemine ise rastlanmamıştır. Bu bağlamda, çalışmanın hem yazına hem havacılık sektörüne katkı sağlayacağı umulmaktadır.

2. Yöntem

Çok kriterli karar verme teknikleri, belirsizlikle mücadele etmek için bulanık mantıkla entegre edilmiştir. Pisagor bulanık kümeleri, insan düşüncelerindeki belirsizlikleri daha iyi ele alabilmek amacıyla geliştirilmiştir (Yager, 2013). Pisagor bulanık kümeler, Yager tarafından 2013 yılında önerilmiş ve sezgisel bulanık kümelerden geliştirilmiş bir türdür. Bu bulanık küme türü, belirsizlik içeren problemleri çözmek için sezgisel bulanık kümelerin yeteneklerini aşabilme özelliğiyle dikkat çeker. Bu yüzden Pisagor bulanık kümeler, sezgisel bulanık kümelerin ele alamayacağı belirsizlik düzeylerinde daha güçlü ve esnektir (İlbarhar, Karaşan, Cebi, Kahraman, 2018:124; Onar, Oztaysı, Kahraman, 2018:88). Karar alma aşamasında üye olmama ve üyelik derecelerinin toplamı 1'den fazla olma ihtimali vardır. Bu durumda, sezgisel bulanık kümeler (IFS) sorunlarını önleyebilmek için IFS'lerin genişletilmiş hali olan Pisagor bulanık kümeleri (PFS) ortaya çıkmıştır. Bu teori ile diğer bulanık kümelerin eksikliklerini ortadan kaldırılmaktadır (Rani, Mishra, Pardasani, Mardani, Liao, ve Streimikiene, 2019) Bu çalışmada kabin ekibi seçiminde kriter ağırlıklarının belirlenmesinde Pisagor Bulanık AHP, alternatiflerin sıralanmasında Pisagor Bulanık WASPAS yöntemleri kullanılmıştır.

2.1. Pisagor Bulanık AHP Yöntemi

Pisagor Bulanık AHP yönteminin en önemli avantajı, üyelik ve üyeliksizlik derecelerinin toplamından farklı olarak, karelerinin toplamının 1'i geçmemesidir (Gül ve Ak, 2018:653). Bu teoriye göre μ bir elementin üye olma derecesi, ν ise üye olamama derecesi olmak üzere; $0 \leq \mu + \nu \leq 1$ eşitliğinin sağlanması gerekir. Yager, sezgisel bulanık küme teorisinin uzantısı olarak Pisagor Bulanık Küme teorisini önermiştir. Bu teoriye göre ise; $0 \leq \mu^2 + \nu^2 \leq 1$ eşitliğinin sağlanma şartı aranmaktadır (Peng ve Yang, 2016:444). L ve U ise bu dereceler alt ve üst sınırlarını ifade eder. w_i kriter ağırlıklarını, x_{ij} karar verici görüşlerini, n karar verici sayısını, m kriter sayısını ifade etmektedir. Uygulama adımları aşağıda verilmiştir (İlbarhar, ve diğerleri, 2018: 124; Sancar, 2022).

Adım 1. Karar verici görüşleri dilsel ifadeler ile alınıp, değerlendirme sonuçları Tablo 1.'e göre Pisagor bulanık sayılara dönüştürülür.

Tablo 1: Pisagor bulanık AHP için kriter karşılaştırma ölçeği

	Dilsel İfadeler	Pisagor bulanık sayılar			
		μ^L	μ^U	ν^L	ν^U
CCZ	Çok çok önemsiz	0	0	0,9	1
CZ	Çok önemsiz	0,1	0,2	0,8	0,9
NZ	Nispeten Önemsiz	0,2	0,35	0,65	0,8
BZ	Biraz önemsiz	0,35	0,45	0,55	0,65
E	Eşit önemde	0,45	0,55	0,45	0,55
B	Biraz önemli	0,55	0,65	0,35	0,45
O	Oldukça önemli	0,65	0,8	0,2	0,35
C	Çok önemli	0,8	0,9	0,1	0,2
CC	Çok çok önemli	0,9	1	0	0
EE	Kesinlikle eşit	0,1965	0,1965	0,1965	0,1965

Kaynak: (İlbarar, ve diğerleri, 2018: 124)

Adım 2. Her uzmana ait Pisagor bulanık sayılardan oluşan matrislerin geometrik ortalamaları alınarak $R = [r_{jt}]_{m \times n}$ birleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. $R = [r_{jt}]_{m \times n}$ ifadesi, matrisin $m \times n$ boyutlarda olduğunu i -inci kriter ile j -inci karar vericiye karşılık gelen değerleri göstermektedir.

$i=(1,2,\dots,m)$ kriterlerin listesini, $j=(1, 2,\dots,n)$ karar verici sayısını ifade etmektedir.

Adım 3. Üye olma ve üye olmama fonksiyonlarının alt ve üst sınırları arasındaki fark matrisi

$D = (d_{ij})_{m \times m}$ Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 ile bulunur.

$$d_{ij}^L = (\mu_{ij}^L)^2 - (\vartheta_{ij}^U)^2 \quad (1)$$

$$d_{ij}^U = (\mu_{ij}^U)^2 - (\vartheta_{ij}^L)^2 \quad (2)$$

Adım 4. Aralıklı çarpım matrisi $S = (s_{ij})_{m \times m}$ Eşitlik 3 ve 4 aracılığıyla bulunur.

$$s_{ij}^L = \sqrt{1000d_{ij}^L} \quad (3)$$

$$s_{ij}^U = \sqrt{1000d_{ij}^U} \quad (4)$$

Adım 5. Eşitlik 5 kullanılarak r_{jt}' nin belirsizlik değeri $H = (h_{ij})_{m \times m}$ bulunur.

$$h_{ij} = 1 - ((\mu_{ij}^U)^2 - (\mu_{ij}^L)^2) - ((\vartheta_{ij}^U)^2 - (\vartheta_{ij}^L)^2) \quad (5)$$

Adım 6. Normalleştirilmemiş ağırlık matrisi $T = (t_{ij})_{m \times m}$ bulmak için belirsizlik değerleri ile $S = (s_{ij})_{m \times m}$ matrisi çarpılır. Bunun için Eşitlik 6 kullanılır.

$$t_{ij} = \left(\frac{s_{ij}^L + s_{ij}^U}{2} \right) h_{ij} \quad (6)$$

Adım 7. Kriterlerin normalize edilmiş ağırlıkları olan w_i değerlerini bulmak için Eşitlik 7 kullanılır.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^m w_i}{\sum_{j=1}^m \sum_{j=1}^m w_{ij}} \quad (7)$$

2.2. Pisagor Bulanık WASPAS Yöntemi

Pisagor bulanık WASPAS yöntemi, Pisagor bulanık sayılarının klasik WASPAS yöntemine uyarlanması sonucu oluşturulmuş olup, uygulama adımları aşağıda verilmiştir (İlbarar ve Kahraman, 2018: 3835; Peng ve Yang, 2016: 444; Sancar, 2022).

Adım 1. Uzman görüşleri dilsel ifadeler ile alınıp, değerlendirme sonuçları Tablo 2.'e göre Pisagor bulanık sayılara dönüştürülür.

Tablo 2: Pisagor bulanık WASPAS için kriter karşılaştırma ölçeği

Dilsel Terimler	Pisagor bulanık sayılar			
	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U
Aşırı derecede iyi	0,750	0,900	0,030	0,180
Çok iyi	0,660	0,810	0,120	0,270
İyi	0,570	0,720	0,210	0,360
Kısmen iyi	0,480	0,630	0,300	0,450
Eşit	0,390	0,540	0,390	0,540
Kısmen Kötü	0,300	0,450	0,480	0,630
Kötü	0,210	0,360	0,570	0,720
Çok kötü	0,120	0,270	0,660	0,810
Aşırı derecede kötü	0,030	0,180	0,750	0,900

Kaynak: (İlbahar ve Kahraman, 2018: 3835; Peng ve Yang, 2016:444)

Adım 2. Her uzmana ait Pisagor bulanık sayılardan oluşan matrislerin aritmetik ortalamaları kullanılarak ve x_{ij} karar matrisi oluşturulur.

Adım 3. Öncelikle WASPAS denklemlerinden Eşitlik 5 kullanılarak x_{ij} j karar matrisinin normalize edilmesi gerekir. Bu denklemdeki $\max_i x_{ij}$ değerini bulabilmek için x_{ij} karar matrisinin durulaştırılması gerekir. Durulaştırma için Eşitlik 8 kullanılır.

$$\rho = \frac{\mu^L + \mu^U + \sqrt{1 - (\nu^L)^2} + \sqrt{1 - (\nu^U)^2} + \mu^L \mu^U - \sqrt{\sqrt{1 - (\nu^L)^2} \sqrt{1 - (\nu^U)^2}}}{4} \quad (8)$$

$$r_{jt} = \frac{\tilde{x}_{ij}}{\max_i p_{ij}} \quad (9)$$

$$r_{jt} = \frac{\tilde{x}_{ij}}{\max_i p_{ij}} \quad (10)$$

Durulaştırma işlemi sonrası $\frac{1}{\max_i x_{ij}}$ değeri bulunur ve x_{ij} matrisi ile çarpılır. Böylece \tilde{x}_{ij} normalize karar matrisi elde edilmiş olur.

$$\lambda_p = ([\sqrt{1 - (1 - (\mu^L)^2)^\lambda}, \sqrt{1 - (1 - (\mu^U)^2)^\lambda}], [(v^L)^\lambda (v^U)^\lambda]) \quad (11)$$

Adım 4. WASPAS yönteminin ilk bölümü olan Ağırlık Toplam Matrisi $\tilde{Q}_i^1 = \sum_{j=1}^n x_{ij} w_j$ denklemi ile oluşturulur. (w_j = Pisagor Bulanık AHP'den elde edilen kriter ağırlıkları)

Adım 5. WASPAS yönteminin ikinci bölümü olan Ağırlık Çarpım Matrisi $\tilde{Q}_i^2 = \prod_{j=1}^n (\tilde{x}_{ij})^{w_j}$ denklemi kullanılarak oluşturulur.

Adım 6. WASPAS yönteminin üçüncü bölümü olan Sonuç Matrisi oluşturulur. ($\lambda=0.5$ alınır)

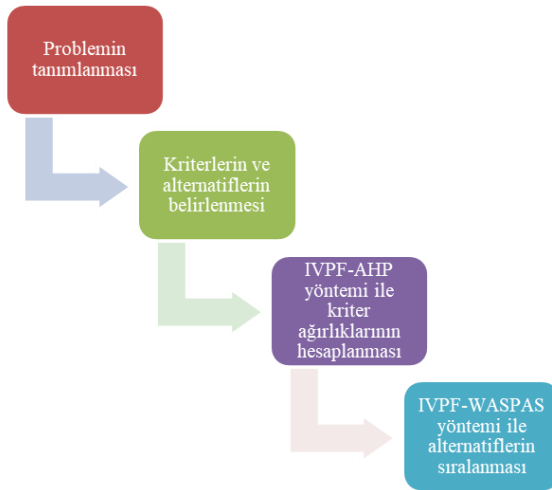
Adım 7. Pisagor bulanık sayılardan oluşan \tilde{Q}_i matrisi durulaştırılır ve en yüksek değere sahip olan alternatif, en uygun alternatif olarak belirlenmiş olur.

$$\tilde{Q}_i = \lambda \tilde{Q}_i^1 + (1 - \lambda) \tilde{Q}_i^2 \quad (12)$$

3. Uygulama

İşletmelerin gider kalemlerinde yer alan en önemli unsurlardan biri de personel maliyetleridir. Havayolu taşımacılığı gibi önemli bir taşımacılık sisteminde ise bu maliyetler daha fazla artmaktadır. Bu sebeple havayolu işletmeleri maliyeti azaltıp, kârı arttıracak yaklaşımlar kullanmaktadır. Bu yaklaşımların başında ise ekip planlama problemi yer almaktadır. Operasyonlar için optimum ekip planlamasının yapılması işletmelere önemli getiri sağlamaktadır. Havayolu işletmelerinin filolarında dar ve geniş gövde olarak farklı uçak tipleri bulunmaktadır. Kabin ve kokpit ekipleri sadece sahip oldukları uçak tipi sertifikasında görevlerini gerçekleştirmektedirler. Kabin ekibi planlaması gerçekleştirilirken, personelin ilgili uçak tipi için sertifikasının olması gerekmektedir. Sertifikanın yanı sıra planlama sürecinde Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü kuralları, işletme kuralları ve Türk-Hava İş Sendikası kuralları baz alınmaktadır. Ekip planlama sürecinde, bu kuralların önem ağırlıklarının belirlenmeli ve buna uygun bir planlama gerçekleştirilmelidir. Bu bölümde, havayolu işletmelerinde geniş gövde uçaklar için uygun kabin ekibi planlaması problemi ele alınmıştır. Çalışmada 9 kriter ve 3 alternatif uçak tipi değerlendirilmiştir. Kriterler ve açıklamaları Tablo 3'te verilmiştir. Uygulama adımları ise, Şekil 1'de yer almaktadır. Analizde, 3 karar verici havayolu ekip planlama müdürlüğünde tam zamanlı çalışan personeller arasından belirlenmiştir. 2 ila 5 yıldır müdürlükte uzman ve uzman yardımcısı olarak görev alan personellerdir.

Şekil 1: Önerilen Metodoloji



Tablo 3: Kriterler ve Açıklamaları

Kriter Kodu	Kriter Adı
K1	Toplam uçuş süresi (total flight time): Planlanan seferler için toplam uçuş süresi farklılık göstermektedir ve kabin ekibi planlamasında önemli unsurlardan biridir. Her seferin toplam uçuş süresi ekiplerin mesai toleransını ve aylık uçuş saatini belirlemektedir. (Kasirzadeh, Saddoune ve Soumis, 2017:111)
K2	Zindelik değerleri (fatigue): Planlanan seferlerin uçuş süreleriyle orantılı olarak fatigue (zindelik değeri) sistem tarafından hesaplanmaktadır. Planlanacak kabin memurlarının zindelik değerleri uçuş sürelerine göre değişmektedir ve ekip planlama sürecinde göz önüne alınmaktadır (Göker, 2018:185).
K3	Briefing ve debriefing time: Uçuşların kalkış saatinden 1 saat 30 dakika önce ve motor kapama saatinden 30 dakika sonra ekiplerin uçağı hazırlaması, emniyet unsurlarının kontrol edilmesi sürecidir (Kasirzadeh, Saddoune ve Soumis, 2017:111).
K4	Uçuş bacak sayısı (flight-air leg): Her bir uçuşa verilen isimdir. Örneğin; İstanbul-Ankara (gidiş), Ankara- İstanbul (dönüş) 2 uçuş bacağı olarak kabul edilmektedir (Orhan, Kapanoğlu ve Karakoç, 2010:181).
K5	İmza bitişi (sign out): Ekiplerin mesaisinin bitiş zamanıdır. (Deveci & Demirel, 2018: 54).
K6	Gece dinlenme süresi (overnight rest): Görev bitişlerinden sonra hak edilen süredir. Toplam uçuş süresine, uçuş bacak sayısına ve görev başlangıç-bitiş zamanına göre değişmektedir (Deveci & Demirel, 2018, s.54).
K7	Kıdem (seniority): Personelin sahip olduğu derecedir. İşletmeye giriş yılına ve toplam uçuş süresine göre değişiklik göstermektedir (Orhan, Kapanoğlu ve Karakoç, 2010:181).
K8	Sertifika (qualification): Personelin uçabildiği uçak tipi için sahip olduğu belgedir. 1 kabin memuru en fazla 3 farklı uçak tipinde uçabilir (Ünver,2021).
K9	Base (görevli olunan airport): Personelin görevli olduğu ana havalimanıdır. Örneğin; Sabiha Gökçenden daimi uçuşlarını gerçekleştiren personel SAW Base olarak geçmektedir (Kasirzadeh, Saddoune ve Soumis, 2017:111).

3.1 Pisagor bulanık AHP yönteminin uygulanması

Çalışmada, havayolu operasyonlarında ekip planlamasında dikkat edilen kriterlerin önem ağırlıklarının değerlendirilmesi için pisagor bulanık AHP yöntemi tercih edilmiştir.

Adım 1. Karar vericilerden 9 kriteri ikili karşılaştırması istenmiştir. Karşılaştırma da 1-9 skalası kullanılmıştır. Hem karar vericilerin hem de kriterlerin ağırlıklarıyla ilgili bilgilerin tamamen bilinmediği, pisagor bulanık ortamdaki çok kriterli grup kararı verme problemlerini çözmek için bir grup karar verici belirlenmelidir (İlbahar ve diğerleri, 2018: 124; Demiralay,2022). Karar verici-1 için oluşturulan karar matrisi Tablo 4’de yer almaktadır. Benzer matrisler karar verici 2 ve karar verici 3 içinde oluşturulmuştur.

Tablo 4: Karar Verici-1 Karar Matrisi Dilsel İfadeler

Karar verici 1	Toplam Uçuş Süresi	Zindelik Değerleri	Briefing ve Debriefing Zamanı
Toplam Uçuş Süresi	E	O	C
Zindelik Değerleri	NZ	E	C
Briefing ve Debriefing Zamanı	CZ	CZ	E
İmza Bitiş Zamanı	CZ	BZ	NZ
Gece Dinlenme Süresi	NZ	NZ	CZ
Kıdem	CZ	CZ	CZ
Sertifika	BZ	BZ	BZ
Uçuş Bacak Sayısı	NZ	NZ	CZ
Base	NZ	CZ	BZ
	İmza Bitiş Zamanı	Gece Dinlenme Süresi	Kıdem
Toplam Uçuş Süresi	C	O	C
Zindelik Değerleri	B	O	C
Briefing ve Debriefing Zamanı	O	C	C
İmza Bitiş Zamanı	E	B	O
Gece Dinlenme Süresi	BZ	E	7
Kıdem	NZ	CZ	E
Sertifika	BZ	NZ	NZ
Uçuş Bacak Sayısı	BZ	NZ	BZ
Base	BZ	CZ	BZ
	Sertifika	Uçuş Bacak Sayısı	Base
Toplam Uçuş Süresi	B	O	O
Zindelik Değerleri	B	O	C
Briefing ve Debriefing Zamanı	B	C	B
İmza Bitiş Zamanı	B	B	B
Gece Dinlenme Süresi	O	O	C
Kıdem	O	B	B
Sertifika	E	CC	C
Uçuş Bacak Sayısı	CCZ	E	B
Base	CZ	BZ	E

Adım 2. Her karar vericiden elde edilen ikili karşılaştırma matrisleri pisagor bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Örnek olarak, karar verici 1 için Tablo 4'teki veriler pisagor bulanık sayılara dönüştürülerek Tablo 5'de ki değerler elde edilmiştir. Aynı adımlar karar verici 2 ve 3 içinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5: Karar Verici- 1 Bulanık Değerler

Karar verici 1	Toplam Uçuş Süresi				Zindelik Değerleri				Briefing-Debriefing Time			
	ML	MU	VL	VU	ML	MU	VL	VU	ML	MU	VL	VU
Toplam Uçuş Süresi	0,45	0,55	0,45	0,55	0,65	0,8	0,2	0,35	0,8	0,9	0,1	0,2
Zindelik Değerleri	0,2	0,35	0,65	0,8	0,45	0,55	0,45	0,55	0,8	0,9	0,1	0,2
Briefing ve Debriefing Zamanı	0,1	0,2	0,8	0,9	0,1	0,2	0,8	0,9	0,45	0,55	0,45	0,55
İmza Bitiş Zamanı	0,1	0,2	0,8	0,9	0,35	0,45	0,55	0,65	0,2	0,35	0,65	0,8
Gece Dinlenme Süresi	0,2	0,35	0,65	0,8	0,2	0,35	0,65	0,8	0,1	0,2	0,8	0,9
Kıdem	0,1	0,2	0,8	0,9	0,1	0,2	0,8	0,9	0,1	0,2	0,8	0,9
Sertifika	0,35	0,45	0,55	0,65	0,35	0,45	0,55	0,65	0,35	0,45	0,55	0,65
Uçuş Bacak Sayısı	0,2	0,35	0,65	0,8	0,2	0,35	0,65	0,8	0,1	0,2	0,8	0,9
Base	0,2	0,35	0,65	0,8	0,1	0,2	0,8	0,9	0,35	0,45	0,55	0,65
Karar verici 1	İmza Bitiş Zamanı				Gece Dinlenme Süresi				Kıdem			
	ML	MU	VL	VU	ML	MU	VL	VU	ML	MU	VL	VU
Toplam Uçuş Süresi	0,8	0,9	0,1	0,2	0,65	0,8	0,2	0,35	0,8	0,9	0,1	0,2
Zindelik Değerleri	0,55	0,65	0,35	0,45	0,65	0,8	0,2	0,35	0,8	0,9	0,1	0,2
Briefing ve Debriefing Zamanı	0,65	0,8	0,2	0,35	0,8	0,9	0,1	0,2	0,8	0,9	0,1	0,2
İmza Bitiş Zamanı	0,45	0,55	0,45	0,55	0,55	0,65	0,35	0,45	0,65	0,8	0,2	0,35
Gece Dinlenme Süresi	0,35	0,45	0,55	0,65	0,45	0,55	0,45	0,55	0,8	0,9	0,1	0,2
Kıdem	0,2	0,35	0,65	0,8	0,1	0,2	0,8	0,9	0,45	0,55	0,45	0,55
Sertifika	0,35	0,45	0,55	0,65	0,2	0,35	0,65	0,8	0,2	0,35	0,65	0,8
Uçuş Bacak Sayısı	0,35	0,45	0,55	0,65	0,2	0,35	0,65	0,8	0,35	0,45	0,55	0,65
Base	0,35	0,45	0,55	0,65	0,1	0,2	0,8	0,9	0,35	0,45	0,55	0,65
Karar verici 1	Sertifika				Uçuş Bacak Sayısı				Base			
	ML	MU	VL	VU	ML	MU	VL	VU	ML	MU	VL	VU
Toplam Uçuş Süresi	0,55	0,65	0,35	0,45	0,65	0,8	0,2	0,35	0,65	0,8	0,2	0,35
Zindelik Değerleri	0,55	0,65	0,35	0,45	0,65	0,8	0,2	0,35	0,8	0,9	0,1	0,2
Briefing ve Debriefing Zamanı	0,55	0,65	0,35	0,45	0,8	0,9	0,1	0,2	0,55	0,65	0,35	0,45
İmza Bitiş Zamanı	0,55	0,65	0,35	0,45	0,55	0,65	0,35	0,45	0,55	0,65	0,35	0,45
Gece Dinlenme Süresi	0,65	0,8	0,2	0,35	0,65	0,8	0,2	0,35	0,8	0,9	0,1	0,2
Kıdem	0,65	0,8	0,2	0,35	0,55	0,65	0,35	0,45	0,55	0,65	0,35	0,45
Sertifika	0,45	0,55	0,45	0,55	0,9	1	0	0	0,8	0,9	0,1	0,2
Uçuş Bacak Sayısı	0	0	0,9	1	0,45	0,55	0,45	0,55	0,55	0,65	0,35	0,45
Base	0,1	0,2	0,8	0,9	0,35	0,45	0,55	0,65	0,45	0,55	0,45	0,55

Adım 3. Tüm karar vericilerin Pisagor bulanık sayılara dönüştürülmüş matrisleri birleştirilerek ana kriterlere ait $R = (r_{jt})_{m \times n}$ birleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Tablo 6'de matrisler gösterilmiştir.

Tablo 6: Birleştirilmiş İkili Karşılaştırma Matrisi - R

Ana kriterler	Toplam Uçuş Süresi				Zindelik Değerleri				Briefing-Debriefing Time			
	ML	MU	VL	VU	ML	MU	VL	VU	ML	MU	VL	VU
Toplam Uçuş Süresi	0,45	0,55	0,45	0,55	0,70	0,83	0,16	0,29	0,75	0,87	0,13	0,24
Zindelik Değerleri	0,16	0,29	0,70	0,83	0,45	0,55	0,45	0,55	0,75	0,86	0,13	0,24
Briefing ve Debriefing Zamanı	0,13	0,24	0,75	0,87	0,13	0,24	0,75	0,86	0,45	0,55	0,45	0,55
İmza Bitiş Zamanı	0,13	0,24	0,75	0,86	0,29	0,41	0,58	0,70	0,16	0,29	0,70	0,83
Gece Dinlenme Süresi	0,13	0,24	0,75	0,87	0,24	0,38	0,61	0,75	0,16	0,29	0,70	0,83
Kıdem	0,13	0,24	0,75	0,87	0,13	0,24	0,75	0,86	0,13	0,24	0,75	0,86
Sertifika	0,35	0,45	0,55	0,65	0,29	0,41	0,58	0,70	0,38	0,48	0,51	0,62
Uçuş Bacak Sayısı	0,16	0,29	0,70	0,83	0,24	0,38	0,62	0,75	0,13	0,24	0,75	0,87
Base	0,24	0,38	0,61	0,75	0,13	0,24	0,75	0,86	0,24	0,38	0,62	0,75
Ana kriterler	İmza Bitiş Zamanı				Gece Dinlenme Süresi				Kıdem			
	ML	MU	VL	VU	ML	MU	VL	VU	ML	MU	VL	VU
Toplam Uçuş Süresi	0,75	0,86	0,13	0,24	0,75	0,87	0,13	0,24	0,75	0,87	0,13	0,24
Zindelik Değerleri	0,58	0,70	0,29	0,41	0,61	0,75	0,24	0,38	0,75	0,86	0,13	0,24
Briefing ve Debriefing Zamanı	0,70	0,83	0,16	0,29	0,70	0,83	0,16	0,29	0,75	0,86	0,13	0,24
İmza Bitiş Zamanı	0,45	0,55	0,45	0,55	0,58	0,70	0,29	0,41	0,58	0,70	0,29	0,41
Gece Dinlenme Süresi	0,29	0,41	0,58	0,70	0,45	0,55	0,45	0,55	0,75	0,86	0,13	0,24
Kıdem	0,24	0,38	0,62	0,75	0,13	0,24	0,75	0,86	0,45	0,55	0,45	0,55
Sertifika	0,35	0,45	0,55	0,65	0,29	0,41	0,58	0,70	0,24	0,38	0,62	0,75
Uçuş Bacak Sayısı	0,24	0,38	0,62	0,75	0,16	0,29	0,70	0,83	0,24	0,38	0,62	0,75
Base	0,29	0,41	0,58	0,70	0,13	0,24	0,75	0,86	0,23	0,34	0,62	0,73
Ana kriterler	Sertifika				Uçuş Bacak Sayısı				Base			
	ML	MU	VL	VU	ML	MU	VL	VU	ML	MU	VL	VU
Toplam Uçuş Süresi	0,55	0,65	0,35	0,45	0,70	0,83	0,16	0,29	0,61	0,75	0,24	0,38
Zindelik Değerleri	0,58	0,70	0,29	0,41	0,62	0,75	0,24	0,38	0,75	0,86	0,13	0,24
Briefing ve Debriefing Zamanı	0,51	0,62	0,38	0,48	0,75	0,87	0,13	0,24	0,62	0,75	0,24	0,38
İmza Bitiş Zamanı	0,51	0,61	0,38	0,48	0,62	0,75	0,24	0,38	0,58	0,70	0,29	0,41
Gece Dinlenme Süresi	0,58	0,70	0,29	0,41	0,70	0,83	0,16	0,29	0,75	0,86	0,13	0,24
Kıdem	0,62	0,75	0,24	0,38	0,62	0,75	0,24	0,38	0,62	0,73	0,23	0,34
Sertifika	0,45	0,55	0,45	0,55	0,86	0,96	0,00	0,00	0,80	0,90	0,10	0,20
Uçuş Bacak Sayısı	0,00	0,00	0,86	0,96	0,45	0,55	0,45	0,55	0,58	0,70	0,29	0,41
Base	0,10	0,20	0,80	0,90	0,29	0,41	0,58	0,70	0,45	0,55	0,45	0,55

Adım 4-5-6-7. Kriterlere ait fark matrisi $D = (d_{ij})_{m \times m}$, kriterlere ait $S = (s_{ij})_{m \times m}$ aralıklı çarpım matrisleri, kriterlere ait $H = h_{ij_{m \times m}}$ belirsizlik değerleri ve kriterlere ait $T = t_{ij_{m \times m}}$ normalize edilmemiş ağırlık matrisi hesaplanmıştır.

Adım 8. Son adımda, kriterlerin normalize edilmiş ağırlıkları w_i değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 7.' da yer almaktadır.

Tablo 7: Normalize Edilmiş Ağırlıklar

Kriterler	Önem Ağırlıkları	Sıralama
Toplam Uçuş Süresi	0,235	1
Zindelik Değerleri	0,172	2
Briefing ve Debriefing Zamanı	0,159	3
İmza Bitiş Zamanı	0,066	6
Gece Dinlenme Süresi	0,123	5
Kıdem	0,056	7
Sertifika	0,152	4
Uçuş Bacak Sayısı	0,022	8
Base	0,013	9

Elde edilen sonuçlara göre 0,235 ile toplam uçuş süresi kriteri en fazla ağırlığa sahipken onu sırasıyla zindelik değerleri, briefing/debriefing zamanı, sertifika, gece dinlenme süresi, imza bitiş zamanı, kıdem, uçuş bacak sayısı ve base kriterleri takip etmektedir.

3.2 Pisagor Bulanık WASPAS Yönteminin Uygulanması

Adım 1. Her bir karar vericiden alternatiflerin dilsel değerlendirilmeleri alınmış ardından bulanık sayılara dönüştürülmüştür.

Adım 2. Elde edilen karar matrislerinin geometrik ortalaması alınarak birleştirilmiş karar matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan matris Tablo 8'da yer almaktadır.

Tablo 8: Pisagor Bulanık WASPAS Karar Matrisi

Kriterler	Toplam Uçuş Süresi				Zindelik Değerleri				Briefing/Debriefing Time			
Alternatifler	μ_L	μ_U	v_L	v_U	μ_L	μ_U	v_L	v_U	μ_L	μ_U	v_L	v_U
Airbus 330	0,689	0,839	0,076	0,236	0,719	0,869	0,048	0,206	0,390	0,540	0,390	0,540
Airbus 350	0,570	0,720	0,210	0,360	0,629	0,779	0,145	0,297	0,390	0,540	0,390	0,540
Boeing 789	0,480	0,630	0,300	0,450	0,538	0,689	0,237	0,388	0,390	0,540	0,390	0,540
Kriterler	İmza Bitiş Zamanı				Gece Dinlenme Süresi				Kıdem			
Alternatifler	μ_L	μ_U	v_L	v_U	μ_L	μ_U	v_L	v_U	μ_L	μ_U	v_L	v_U
Airbus 330	0,599	0,749	0,174	0,327	0,719	0,869	0,048	0,206	0,390	0,540	0,390	0,540
Airbus 350	0,508	0,659	0,266	0,418	0,629	0,779	0,145	0,297	0,390	0,540	0,390	0,540
Boeing 789	0,448	0,598	0,327	0,478	0,538	0,689	0,237	0,388	0,390	0,540	0,390	0,540
Kriterler	Sertifika				Uçuş Bacak Sayısı				Base			
Alternatifler	μ_L	μ_U	v_L	v_U	μ_L	μ_U	v_L	v_U	μ_L	μ_U	v_L	v_U
Uçak Tipi 1	0,390	0,540	0,390	0,540	0,629	0,779	0,145	0,297	0,390	0,540	0,390	0,540
Uçak Tipi 2	0,390	0,540	0,390	0,540	0,474	0,626	0,291	0,444	0,390	0,540	0,390	0,540
Uçak Tipi 3	0,390	0,540	0,390	0,540	0,372	0,526	0,364	0,523	0,390	0,540	0,390	0,540

Adım 3: \tilde{x}_{ij} karar matrisini normalize ederken kullanılacak $max_i \tilde{x}_{ij}$ değerini hesaplamak için yapılan durulaştırma işlemi ile maksimum durulaştırılmış değerler ardından Pisagor bulanık sayılar

biçiminde normalize karar matrisi elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 9 ve Tablo 10'de yer almaktadır.

Tablo 9: Durulaştırılmış Pisagor Bulanık WASPAS Karar Matrisi

Alternatifler	Toplam Uçuş Süresi	Zindelik Değerleri	Brifing Debrifing Zamanı
Uçak Tipi 1	0,773	0,800	0,506
Uçak Tipi 2	0,664	0,718	0,506
Uçak Tipi 3	0,584	0,636	0,506
Maksimum	0,773	0,800	0,506
(1/Maksimum)	1,294	1,249	1,978
Alternatifler	İmza Bitiş Zamanı	Gece Dinlenme Süresi	Kıdem
Uçak Tipi 1	0,690	0,800	0,506
Uçak Tipi 2	0,610	0,718	0,506
Uçak Tipi 3	0,557	0,636	0,506
Maksimum	0,690	0,800	0,506
(1/Maksimum)	1,448	1,249	1,978
Alternatifler	Sertifika	Uçuş Bacak Sayısı	Base
Uçak Tipi 1	0,506	0,718	0,506
Uçak Tipi 2	0,506	0,581	0,506
Uçak Tipi 3	0,506	0,497	0,506
Maksimum	0,506	0,718	0,506
(1/Maksimum)	1,978	1,394	1,978

Tablo 10: Pisagor Bulanık WASPAS Normalize Edilmiş Karar Matrisi

Kriterler	Toplam Uçuş Süresi				Zindelik Değerleri				Brifing/Debrifing Time			
Alternatifler	μ_L	μ_U	v_L	v_U	μ_L	μ_U	v_L	v_U	μ_L	μ_U	v_L	v_U
Uçak Tipi 1	0,752	0,891	0,036	0,154	0,773	0,910	0,023	0,139	0,528	0,703	0,155	0,296
Uçak Tipi 2	0,631	0,782	0,133	0,267	0,683	0,830	0,090	0,219	0,528	0,703	0,155	0,296
Uçak Tipi 3	0,536	0,693	0,211	0,356	0,589	0,743	0,166	0,306	0,528	0,703	0,155	0,296
Kriterler	İmza Bitiş Zamanı				Gece Dinlenme Süresi				Kıdem			
Alternatifler	μ_L	μ_U	v_L	v_U	μ_L	μ_U	v_L	v_U	μ_L	μ_U	v_L	v_U
Uçak Tipi 1	0,689	0,835	0,079	0,198	0,773	0,910	0,023	0,139	0,528	0,703	0,155	0,296
Uçak Tipi 2	0,592	0,750	0,147	0,283	0,683	0,830	0,090	0,219	0,528	0,703	0,155	0,296
Uçak Tipi 3	0,526	0,688	0,198	0,343	0,589	0,743	0,166	0,306	0,528	0,703	0,155	0,296
Kriterler	Sertifika				Uçuş Bacak Sayısı				Base			
Alternatifler	μ_L	μ_U	v_L	v_U	μ_L	μ_U	v_L	v_U	μ_L	μ_U	v_L	v_U
Uçak Tipi 1	0,528	0,703	0,155	0,296	0,710	0,853	0,068	0,184	0,528	0,703	0,155	0,296
Uçak Tipi 2	0,528	0,703	0,155	0,296	0,546	0,707	0,179	0,323	0,528	0,703	0,155	0,296
Uçak Tipi 3	0,528	0,703	0,155	0,296	0,433	0,603	0,245	0,405	0,528	0,703	0,155	0,296

Adım 4-5-6. Ağırlıklandırılmış toplam değeri için ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi elde edilmiştir. Daha sonrasında alternatiflerin Pisagor bulanık ağırlıklı toplam değerleri elde edilmiştir. Hesaplanan Ağırlık Toplam Matrisi \tilde{Q} Tablo 11'te, hesaplanan ağırlık çarpım matrisi Tablo 12'de

verilmiştir. $\lambda=0.5$ değeri için bulunan sonuç matrisi durulaştırıldıktan sonra bulunan alternatiflerin WASPAS skorları ise, Tablo 13’de verilmiştir.

Tablo 11: *Pisagor Bulanık Ağırlıklı Toplam Değerleri*

Alternatifler	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U
Uçak Tipi 1	0,274	0,332	0,000	0,000
Uçak Tipi 2	0,243	0,305	0,000	0,000
Uçak Tipi 3	0,217	0,282	0,000	0,000

Tablo 12: *Pisagor Bulanık Ağırlıklı Değerleri*

Alternatifler	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U
Uçak Tipi 1	0,658	0,815	0,101	0,222
Uçak Tipi 2	0,599	0,760	0,134	0,273
Uçak Tipi 3	0,545	0,709	0,179	0,327

Tablo 13: *Durulaştırılmış Sonuç Matrisi*

Alternatifler	
Uçak Tipi 1	0,586
Uçak Tipi 2	0,552
Uçak Tipi 3	0,521

Pisagor bulanık WASPAS yöntemine göre, en yüksek skora sahip alternatif uçak tipi, en uygun alternatif olarak seçilmektedir. Bu sonuçlara göre, kurumun belirlediği bir ekibin uygun uçağa eşleşmesi yapılırken önceliğin uçak tipi 1, 2 ve 3 sıralamasına göre yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Farklı uçak tipleri farklı kabin düzenlemelerine ve yolcu kapasitelerine sahiptir. Uygun ekip ve uçak eşleşmesi ile yolcu hizmetlerinin daha iyi koordine edilmesi, uçuş operasyonlarının daha verimli bir şekilde yürütülmesi sağlanacaktır. Sonuç olarak, uygun ekip ve uçak eşleşmesi, güvenlik, hizmet kalitesi, verimlilik ve yasal uyum gibi birçok faktörü etkilemektedir. Havayolu işletmeleri, her uçuş için en uygun ekip ve uçak eşleşmesini sağlamak için dikkatli bir planlama ve koordinasyon yapmalıdır. Bunun yanı sıra, havayolu ekip eşleme problemi için birçok kısıtlayıcı kural ve sınırlama vardır. Farklı kıstaslara göre sıralamaların değişkenlik gösterebileceği unutulmamalıdır.

4. Sonuç

Havayolu taşımacılığı geçmişten günümüze büyük gelişmeler göstermiştir. Geçmiş yıllarda minimum filo ile uçuşa başlayan birçok işletme filosunu genişleterek günümüzde küresel havayolu işletmesi haline gelmiştir. Dolayısıyla havayolu işletmelerinin gerek uçuş ağını genişletmesi gerek yolcu ihtiyaçlarını karşılayabilmesi gerekse kâr sağlayabilmesi için rekabet avantajını her daim elinde tutması gerekmektedir. Havayolu işletmelerinin stratejik, taktiksel ve operasyonel kararları ve bunlar neticesinde aldıkları aksiyonlar o havayolu işletmesinin bugününü ve geleceğini inşa edecektir. Önceki dönemlerde işletmelerin sadece kar odaklı bir yapıya sahip olmaları, çalışanların ve müşterilerin istek ve ihtiyaçlarına yeterince önem verilmediğini ortaya koymuştur. Ancak günümüzde özellikle çalışanların bilgi, yetenek ve yetkinliklerinin en etkin şekilde kullanılmasını sağlayacak olan yönetimi anlayışı giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Küçükönel ve Korul, 2002:67). Bu süreçte, havayolu şirketleri için en önemli hususlardan biri de ekip planlamasıdır. Ekip giderleri akaryakıt giderlerinden sonra en yüksek paya sahiptir (Özkan Aksu ve Temiz,2021:417). Ekip planlama yönetimi, optimizasyon teknikleriyle verimliliği arttırmayı hedeflerken bir yandan da insan faktörünü dikkate almayı gerektirmektedir (Akyurt ve Yaşlıoğlu, 2018:424). Özellikle uçuş ekibinin planlanmasına yönelik, ulusal ve uluslararası birçok standart ve kural bulunmakta olduğundan dikkatli bir çalışma yapılması önem taşımaktadır (Saldıraner, 1992).Ek olarak sektördeki artan rekabetçi koşullar, havayolu firmalarını maliyetlerini verimli uçuş ve ekip planlama teknikleri ile yönetmesini zorunlu kılmaktadır (Zeren ve Özkol, 2012).

Belirtilen sebeplerden ötürü bu çalışmada, havayolu operasyonlarında dayanıklı ekip eşlemesi için bir karar destek modeli önerisi geliştirilmiştir. Çalışmada, havayolu işletmelerinin kârını ve maliyetlerini doğrudan etkileyen kabin ekibi planlama problemi ele alınmıştır. Ekip planlamaları havayolu işletmelerinin en önemli giderleri arasında personel maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Bu sebeple bu hususta alınacak aksiyon, işletmeye ciddi katkılar sağlayacaktır. Havayolu taşımacılığında çok fazla kısıtın ve uçucu personelin olması optimum bir planlama yapılmasını gerektirmektedir. Ekiplerin planlanan seferlerde görev alabilmesi için öncelikle ilgili uçak tipi için sertifikası olmalıdır. Aynı sertifikaya sahip olan kabin ekiplerinde ise dikkat edilen birçok kriter vardır.

Çalışma içerisinde bu kriterlerin bazılarını literatür araştırması kapsamında değinilmiştir. Problem için toplam 9 kriter ve 3 alternatif belirlenmiştir. Alternatifler için üç geniş gövde uçak tipi belirlenmiştir. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi için Pisagor Bulanık AHP, alternatiflerin sıralanması için ise Pisagor Bulanık WASPAS yöntemi kullanılmıştır. Pisagor Bulanık AHP yöntemi sonucunda toplam uçuş süresi kriterinin en yüksek ağırlığa, base kriterinin ise en düşük ağırlığa sahip olduğu görülmektedir. Buradan, kabin ekibi planlaması yapılırken uygun kişiler arasında ilk önce toplam uçuş süresi kriterinin dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu kriteri sırasıyla zindelik değerleri, briefing/debriefing zamanı, sertifika, gece dinlenme süresi, imza bitiş zamanı, kıdem, uçuş bacak sayısı ve base kriterleri takip etmektedir. Toplam uçuş süresi ve zindelik değerleri, uzun uçuş süreleri ve ardışık uçuşlar, kabin ekibi üyelerinin yorgunluk seviyelerini artırabilir. Yorgun ekip üyeleri, performanslarını düşürebilir ve hizmet kalitesini etkileyebilir. Uygun zindelik düzeyi, ekip üyelerinin uçuş sırasında daha uyanık, dikkatli ve etkin olmalarını sağlar. Ayrıca, kabin ekibi üyelerinin dinlenmiş ve zinde olması, uçuş güvenliği için çok önemlidir. Bu yüzden bu iki faktöre özellikle dikkat edilmesi gerekmektedir. Pisagor Bulanık WASPAS yöntemi sonucunda ise en yüksek öncelikli olan uçak tipinin uçak tipi 1 olduğu tespit edilmiştir. Bunu sırasıyla uçak tipi 2 ve 3 takip etmektedir. Uygun kabin ekibi planlamasında bu değerler dikkate alındığı takdirde havayolu işletmesinin hedeflerine ulaşmasında yardımcı olunacaktır. Diğer öneriler ise, kabin ekibi üyelerinin toplam uçuş sürelerinin belirli sınırlar içinde kalması sağlanmalıdır. Bu sınırlamalar, kabin ekibi üyelerinin yorgunluk ve stres seviyelerini azaltarak güvenli bir uçuş sağlamaya yardımcı olacaktır. Uluslararası sivil havacılık düzenlemelerine uygun olarak, kabin ekibi üyelerinin toplam uçuş süreleri ve ardışık uçuşlar arasındaki dinlenme süreleri göz önünde bulundurulmalıdır. Zindelik, havacılık sektöründe güvenlik için, önemli bir faktördür. Uyku kaybı, uyanık kalma süresinin uzaması, optimal düzeyden daha az dinlenme, tutarsız vardiya çalışması, görev süresi gibi nedenler insan hatalarına neden olabilmektedir. Uçuş sırasındaki performansın azalmasının yanısıra yorgunluğun uzun vadede sağlık üzerinde olumsuz etkileri olacağından planlama da mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Çalışmanın sınırlılığını ise, araştırmanın bir havayolu işletmesinde uygulanması oluşturmaktadır. Ayrıca, Havayolu ekip eşleme problemi için birçok kısıtlayıcı kural ve sınırlama vardır. Ülkemizde bu kısıtlamalar Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) tarafından yayımlanan “Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı (SHT-6A.50 Rev. 05)” ile belirlenmiş olup, bunun dışında havayolu şirketinin kendi koyduğu kurallar da olabilmektedir (Özkan Aksu ve Temiz,2021:417).

Gelecek dönemdeki çalışmalarda, birden fazla havayolu işletmesi için model önerilebilir. Fakat her kurumun planlamasında etkili faktörler değişebileceğinden dikkatli olunması gerekmektedir. Bilindiği kadarıyla, önerilen metodoloji ile havacılık sektöründe ekip eşleme problemine ise rastlanmamıştır. Bu bağlamda, çalışmanın hem yazına hem havacılık sektörüne katkı sağlayacağı umulmaktadır.

Kaynakça

Aksu, E. Ö., ve Temiz, İ. (2021). Havayolu operasyonlarında dayanıklı ekip eşleme için eniyileme yaklaşımı: Bir havayolu şirketi uygulaması. *Politeknik Dergisi*, 24(2), 417-429.

- Akyurt, İ. Z. ve Yaşlıoğlu, D. T. (2018). Havacılık sektöründe ekip planlama yönetimi: Bir Türk havayolu örneği. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 10(1), 424-446.
- Aydemir-Karadağ A., Dengiz B. ve Bolat A. (2013). Crew pairing optimization based on hybrid approaches. *Computers & Industrial Engineering*, 65(1): 87-96,
- Az, M. T., ve Ayvaz, B. (2022). Havayolu ekip rotasyon optimizasyonu için genetik algoritma kullanımı. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 21(42), 194-210.
- Cacchiani, V. & Salazar-González, J. J. (2020). Heuristic approaches for flight retiming in an integrated airline scheduling problem of a regional carrier. *Omega*, 91, 102028.
- Chen C. H., Liu T. K. & Chou J. H. (2013). Integrated short haul airline crew scheduling using multiobjective optimization genetic algorithms. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics: Systems*, 43(5), 1077-1090.
- Chutima, P., & Arayikanon, K. (2020). Many-objective low-cost airline cockpit crew rostering optimisation. *Computers & Industrial Engineering*, 150, 106844.
- Çankaya, G., ve Arıkan, M. (2009). Sütun oluşturma yaklaşımı ile bir havayolu ekip çizelgeleme uygulaması. *Journal of The Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 24(1), 43-50.
- Danışman, O. (2021). *Ekip atama probleminin çok kriterli karar verme yöntemleri ile incelenmesi* [Yüksek lisans tezi, Başkent Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi Veri Tabanı.
- Demiralay, E. (2022). *Bulanık ortamda akıllı ve sürdürülebilir kriterlerle tedarikçi seçim süreci için strateji geliştirme* [Yüksek lisans tezi, Konya Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi Veri Tabanı.
- Deveci, M., & Demirel, N. Ç. (2018). A survey of the literature on airline crew scheduling. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 74, 54-69.
- Deveci, M., & Demirel, N. Ç. (2018). Evolutionary algorithms for solving the airline crew pairing problem. *Computers & Industrial Engineering*, 115, 389-406.
- Gül M. & Ak M. F. (2018). A comparative outline for quantifying risk ratings in occupational health and safety risk assessment. *J. Clean. Prod.*, 196, 653-664.
- Göker, Z. (2018). Fatigue in the aviation: An overview of the measurements and countermeasures. *Journal of Aviation*, 2(2), 185-194.
- İlbahar, E., Karaşan, A., Cebi, S., & Kahraman, C. (2018). A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system. *Safety Science*, 103, 124-136.
- İlbahar, E., & Kahraman, C. (2018). Retail store performance measurement using a novel interval-valued Pythagorean fuzzy WASPAS method. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 35(3), 3835-3846.
- Kasirzadeh, A., Saddoune, M., & Soumis, F. (2017). Airline crew scheduling: models, algorithms, and data sets. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 6(2), 111-137.
- Küçükönel, H., & Korul, V. 2002. Havayolu işletmelerinde insan kaynakları yönetimi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 4(12), 67-90.
- Medard, C. P., & Sawhney, N. (2007). Airline crew scheduling from planning to operations. *European Journal of Operational Research*, 183(3), 1013-1027.

- Havayolu Operasyonlarında Dayanıklı Ekip Eşleşmesi İçin Bir Karar Destek Modeli Önerisi: Pisagor AHP- Pisagor WASPAS Yaklaşımı
- Muter, İ., Birbil, Ş. İ., Bülbül, K., Şahin, G., Yenigün, H., Taş, D., & Tüzün, D. (2013). Solving a robust airline crew pairing problem with column generation. *Computers & Operations Research*, 40(3), 815-830.
- Montlaur, A., Delgado, L., & Prats, X. (2023). Domain-driven multiple-criteria decision-making for flight crew decision support tool. *Journal of Air Transport Management*, 112, 102463.
- Orhan, İ. E., Kapanoğlu, M., ve Karakoç, T. H. (2010). Havayolu operasyonlarında planlama ve çizelgeleme. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(2), 181-191.
- Onar, S. Ç., Öztürk, E., Öztayşi, B., Yüksel, M., Kahraman, C., & Teknoloji, T. (2018). Pisagor bulanık akıllı çok ölçütlü yasal takip avukatlık ofisi performans değerlendirme modeli. Ed. Hür Bersam Bolat, *Bildiriler Kitabı*, 88. 89-97.
- Özkan Aksu, E., ve Temiz, i. (2021). Havayolu operasyonlarında dayanıklı ekip eşleme için eniyileme yaklaşımı: Bir havayolu şirketi uygulaması. *Politeknik Dergisi*, 24(2), 417-429.
- Quesnel F., Desaulniers G., & Soumis F. (2017). A new heuristic branching scheme for the crew pairing problem with base constraints. *Computers and Operations Research*, 80, 159-172.
- Parmentier, A. ve Meunier, F. (2020). Aircraft routing and crew pairing: Updated algorithms at Air France. *Omega*, 93, 102073.
- Peng, X., ve Yang, Y. (2016). Fundamental properties of interval-valued Pythagorean fuzzy aggregation operators. *International Journal of Intelligent Systems*, 31(5), 444-487.
- Rani, P., Mishra, A. R., Pardasani, K. R., Mardani, A., Liao, H., & Streimikiene, D. (2019). A novel VIKOR approach based on entropy and divergence measures of Pythagorean fuzzy sets to evaluate renewable energy technologies in India. *Journal of Cleaner Production*, 238, 117936.
- Salazar-González, J. J. (2014). Approaches to solve the fleet-assignment, aircraft-routing, crew-pairing and crew-rostering problems of a regional carrier. *Omega*, 43, 71-82.
- Saldıraner, Y. (2015). *Sivil havacılık faaliyetleri ve Türk sivil havacılık otoritesi için organizasyon yapısı önerisi* [Doktora tezi, Anadolu Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi Veri Tabanı.
- Sancar, S. (2022). *Pisagor bulanık AHP ve pisagor bulanık WASPAS yöntemleri ile bakım stratejisi seçimi: Gazete matbaası örneği*. [Yüksek lisans tezi, İbn Haldun Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi Veri Tabanı.
- Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (2015). *Havayolu taşımacılığı ve ekonomik düzenlemeler teori ve Türkiye uygulaması*. Ankara: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Soykan, B. ve Erol, S. (2014). A branch-and-price algorithm for the robust airline crew pairing problem. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 13(1), 37-74.
- Ünver, S. (2021). *Pandemi sürecinin havayolu işletmelerinde görev yapan kabin memurlarının işgören devir hızına etkisi: Türkiye ve Avrupa hava sahası örneği* [Yüksek lisans tezi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi Veri Tabanı.
- Wen, X., Sun, X., Sun, Y., ve Yue, X. (2021). Airline crew scheduling: Models and algorithms. *Transportation Research Part E: Logistics And Transportation Review*, 149, 102304.
- Yager, R. R. (2013, June). Pythagorean fuzzy subsets. Paper presented at the IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS) Conference Edmonton, AB, Canada. doi: 10.1109/IFSA-NAFIPS.2013.6608375.

- Zeighami, V., Saddoune, M., ve Soumis, F. (2020). Alternating lagrangian decomposition for integrated airline crew scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 287(1), 211-224.
- Zeren, B., & Özkol, I. (2012). An improved genetic algorithm for crew pairing optimization. *Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*, 4(1), 70–80
- Zeren, B., & Özkol, I. (2016). A novel column generation strategy for large scale airline crew pairing problems. *Expert Systems with Applications*, 55, 133-144.