



Düşük Maliyetli Bir Türk Havayolu İşletmesi İçin Uçak Tipi Seçimi: Sezgisel Bulanık SWARA-TOPSIS Yaklaşımı

Mevlüt Coşkun Tezcan¹

¹Sosyal Bilimler Programları, Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ Kuzey Kıbrıs Kampüsü), Güzelyurt, KKTC

ÖZET

Ekonomik yönden maksimum verimliliği elde edebilmeyi ve bu seviyede işletme süreçlerini devam ettirebilmeyi amaçlayan organizasyonların yerine getirmesi muhtemel en önemli görev kaynaklarını aktif ve verimli bir şekilde kullanmaktır. Havayolu şirketleri açısından finansal kaynakların aktif ve verimli bir şekilde kullanılması noktasında uçak tipi seçiminin doğru bir planlama ile gerçekleştirilmesi kritik bir öneme sahiptir. Çünkü uçak seçimi işletmeye hem büyük yatırım maliyeti gerektirmekte hem de geri dönüşü mümkün olmayan bir karar olarak işletmenin karşısına çıkabilecektir. Bu nedenle uçak seçim sürecinde muhtemel alternatiflerin maliyet, kalite ve miktar bakımından somut ve net bir biçimde araştırılarak ihtiyaçların karşılanması ve ekonomik uygunluk bakımından somut veriler haline dönüştürülerek planlamada kullanılması havayolu işletmeleri açısından büyük bir öneme sahiptir. Bu çalışmada havayolu işletmelerinin yatırım planları içerisinde en önemli ve pahalı kaynaklardan birisi olan uçak seçimi üzerine çalışılmıştır. Bu kapsamda düşük maliyetli bir Türk Havayolu firması adına en uygun dar gövdeli standart kabin konfigürasyonuna sahip yolcu uçak tipinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda 4 adet yolcu uçağı alternatifleri teknik özellikler, maliyet ve zaman olmak üzere 3 ana boyut altında 13 alt kriter üzerinden değerlendirilmiştir. Araştırma probleminin çözümünde bütünleşik sezgisel bulanık SWARA (Aşamalı Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi) ve TOPSIS (İdeal Çözüme Benzerlik Yoluyla Tercih Sıralaması) yöntemleri kullanılmıştır. Bu çerçevede kriter ağırlıkları sezgisel bulanık SWARA yöntemi ile belirlenmiş olup, alternatiflerin ilgili kriterler açısından uygunluğu sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi ile incelenmiştir. Sonuç olarak B737 Max10 tipi uçak firma adına en avantajlı model olarak belirlenmiştir.

Alınma

18 Haziran 2024

Kabul

09 Eylül 2024

* Sorumlu yazar.

e-mail: coskun.tezcan@metu.edu.tr

Anahtar Kelimeler:

- Uçak seçimi
- Düşük maliyetli havayolu
- Sezgisel bulanık SWARA
- Sezgisel Bulanık TOPSIS

Aircraft Type Selection for a Low-Cost Turkish Airline: Intuitionistic Fuzzy SWARA-TOPSIS Approach

Mevlüt Coşkun Tezcan¹

¹Social Sciences Programs, Middle East Technical University (METU Northern Cyprus Campus), Güzelyurt, TRNC

Received

18 June 2024

Accepted

09 September 2024

* Corresponding author.

e-mail:
coskun.tezcan@metu.edu.tr

Keywords:

-Airplane selection
- Low cost airline
-Intuitionistic
Fuzzy SWARA
-Intuitionistic
Fuzzy TOPSIS

ABSTRACT

The most important task that organizations that aim to achieve maximum economic efficiency and maintain business processes at this level is to use their resources actively and efficiently. For airline companies, it is critical that aircraft type selection is carried out with correct planning in order to use financial resources actively and efficiently. Because aircraft selection requires large investment costs for the business and may be an irreversible decision. For this reason, it is of great importance for airline companies that during the aircraft selection process, possible alternatives are researched concretely and clearly in terms of cost, quality and quantity and converted into concrete data in terms of meeting the needs and economic suitability and used in planning. In this study, aircraft selection, which is one of the most important and expensive resources in the investment plans of airline companies, was studied. In this context, it was aimed to determine the most suitable narrow-body passenger aircraft type with standard cabin configuration for a low-cost Turkish Airline company. For this purpose, 4 passenger aircraft alternatives were evaluated on 13 sub-criteria under 3 main dimensions: technical features, cost and time. Integrated intuitionistic fuzzy SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis) and TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) methods was used to solve the research problem. In this framework, criterion weights were determined by the intuitionistic fuzzy SWARA method and the suitability of the alternatives in terms of the relevant criteria was examined by the intuitionistic fuzzy TOPSIS method. As a result, the B737 Max 10 type aircraft was determined as the most advantageous model for the company.

1. Giriş (Introduction)

Taşımacılık hizmeti ile tüm varlıklar canlı ya da cansız fark etmeksizin, vakitten tasarruf edilerek bir noktadan farklı bir noktaya kolay bir şekilde nakledilir. Bu hizmet; elverişli yer değişimine ve iktisadi büyümeye sunduğu katkılar kadar değerlendirilir ve böylece dünya çapında zaman ve mekan arasında bir bağlantı oluşturur. Asırlardır gelişen taşımacılık ve ulaştırma hizmetleri, insanların hayatında sosyo-kültürel ve iktisadi açıdan oldukça önemlidir.

Havayolu taşımacılığı tarifeli iç ve dış hat uçuşlarında ve ağ bağlantılarında çeşitli amaçlar için oluşturulan girdisi insan, kargo, hava araçları ve havaalanları olan, sonucunda ise yolcu ve kargo taşıma, hizmet sunumu gibi çıktılara dönüşen bir sistemdir. Bu sektör havayolu firmaları, havalimanları, bakım kuruluşları ve uçak imalatçıları gibi hava trafiğinin yönetimine katkıda bulunan tüm unsurları içerir. Hızlı bir şekilde büyüyerek gelişen havayolu taşımacılığı, global ekonomiyle devletlerin iktisadi, sosyal ve kültürel gelişimine katkıda bulunan önemli sektörlerden biridir (Tezcan, 2022: 84).

İşletmelerin kuruluş amaçları ürün ve hizmet üretmek ve ürettikleri bu ürün ve/veya hizmeti topluma servis ederek toplumsal ihtiyacı karşılamak olduğu kadar başlıca hedeflerinden birisi de ekonomik fayda elde ederek sektördeki varlığını sürdürmektir. Ekonomik yönden maksimum verimliliği elde edebilmeyi ve bu seviyede işletme süreçlerini devam ettirebilmeyi amaçlayan organizasyonların yerine getirmesi muhtemel en önemli görev kaynaklarını aktif ve verimli bir şekilde kullanmaktır. Havayolu şirketleri açısından finansal kaynakların aktif ve verimli bir şekilde kullanılması noktasında uçak tipi seçiminin doğru bir planlama ile gerçekleştirilmesi kritik bir öneme sahiptir. Çünkü uçak seçimi işletmeye hem büyük yatırım maliyeti gerektirmekte hem de geri dönüşü mümkün olmayan bir karar olarak işletmenin

karşısına çıkabilecektir. Bu nedenle havayolu şirketleri gereksinimlerine uygun uçak tipini belirlemek için çok boyutlu değerlendirmeler yapmaktadırlar.

Hayatımıza anlam veren ve vazgeçilemeyen bir gereksinim olan karar verme işlemini, yaşantımızın tüm anlarında yaparız. Ayrıca hayatımızda oldukça önemli olan bu işlemin, sıkça kullanıldığı başka bir yer ise işletme yönetimidir. Firmaların mevcudiyetini devam ettirebilmeleri, büyümeleri, sektörde rekabetçi olabilmeleri en ideal ve doğru kararların alınmasıyla olanaklıdır. Sürekli olarak artan rekabetle firmalar birden fazla ölçüt içinden kendileri için en rasyonel seçeneğin hangisi olduğunu bilmek istemektedir. Bu noktada klasik metotlar yetersiz kaldığı için “çok kriterli karar verme (ÇKKV)” metotlarından yararlanılmaktadır. ÇKKV metotları, problemlerdeki yapılarına dayalı olarak amaç veya nitelikleri değerlendiren ve birbirleri ile çatışma durumunda bulunan ölçütlerin dikkate alınması ile sonlu sayıda alternatifin değerlendirilmesi prosesinden müteşekkildir.

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan SWARA (Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis / Aşamalı Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi) yöntemi, Kersuliene, Zavadskas ve Turskis tarafından 2010 yılında ortaya konmuştur. Yöntem, her karar vericinin kendi önceliklerini ve en uygun alternatifi seçmelerini sağlamaktadır. Yöntemde kriter ağırlıklarının belirlenmesi için uzman görüşleri dikkate alınmaktadır (Kersuliene vd., 2010 : 243). SWARA yöntemi ilk olarak anlaşmazlıkların akılcı çözüm yollarını belirlemek amacı ile ortaya konulsa da günümüzde birçok farklı problemin çözümünde kullanılmaktadır. Ayrıca diğer çok kriterli karar verme yöntemleri ile beraber fazlaca kullanılmaktadır. Bu yöntemlerle kullanıldığında çoğunlukla kriterlerin ağırlıklandırılması için SWARA yönteminden yararlanılmaktadır. SWARA'nın matematiksel algoritmasının daha anlaşılabilir olması ve farklı uzmanların aynı anda bir amaç uğruna çalışabilmelerini sağlaması, SWARA'nın kriter ağırlıklandırmada kullanılan diğer yöntemlerden farkını ve tercih edilme sebebini ortaya koymaktadır. Böylece zaman tasarrufu sağlamaktadır. Ayrıca yöntemin daha kolay uygulanabilmesi işlem sürelerini ve maliyetlerini azaltmakta ve karar vericilere önceliklerini belirleme imkanı da vermektedir (Doğan, 2020: 27). Çok kriterli karar verme problemlerinde kullanılan bir diğer yöntem TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution / İdeal Çözüme Benzerlik Yoluyla Tercih Sıralaması) yöntemidir. İlk defa 1981 yılında Yoon ve Hwang tarafından ortaya atılmış olan TOPSIS yöntemi, Hwang, Lai ve Lui'nin 1993 yılındaki ortak çalışmalarıyla daha da gelişmiştir. TOPSIS yöntemi ekonomiden bilişime, üretimden hizmet sektörüne kadar pek çok alanda, karar verilmesi gereken yöneylem problemlerinde sıkça kullanılmaktadır. Ayrıca, çözüm öncesinde kullanıcı tarafından az sayıda parametre girilmesine ihtiyaç duyması ve bu girdilerle belirlenen kıstaslara göre alternatifler içinden en iyi seçeneğin tercih edilmesine imkân sağlaması sebebiyle öne çıkmaktadır (Wei, 2010: 182).

Bu çalışmada düşük maliyetli bir Türk Havayolu işletmesi için uçak tipi seçimi üzerine bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada havayolunun tercih edebileceği dar gövdeli standart kabin konfigürasyonuna sahip 4 alternatif uçak modelinin değerlendirilebilmesi için literatür incelemesi ve uzman görüşleri doğrultusunda 3 ana ve 13 alt kriterden oluşan bir model önerilmiştir. Önerilen çözüm yaklaşımında, sezgisel bulanık kümelere entegre edilen SWARA ve TOPSIS çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak kriterler bazında 4 alternatif uçak arasından değerlendirme yapılmış ve en iyi çözüm bulunmuştur.

Yapılan literatür araştırmasına göre, uçak seçim problemini ele alan çalışmalarda sezgisel bulanık kümelerle entegre edilen SWARA-TOPSIS hibrit yöntemin kullanılmamış olması çalışmayı diğerlerinden ayırt etmektedir. Bu kapsamda çalışmanın literatürdeki boşluğu tamamlayacağı, havacılık sektöründeki uygulamacılara ve konuya ilgi duyan araştırmacılara referans olacağı düşünülmektedir. Çalışmanın birinci bölümünde, havayolu endüstrisinde iş modeli ve düşük maliyetli havayolu kavramları açıklanmış, literatürde uçak seçimi üzerine önceki çalışmalara yer verilmiştir. İkinci bölümde araştırma modeli tanımlanarak materyal ve yöntem açıklanmıştır. Üçüncü bölümde ise sezgisel bulanık SWARA-TOPSIS yöntemine göre çalışma yapılmıştır. Tartışma ve Sonuç bölümüne müteakip Kaynakça ile çalışma sonlandırılmıştır.

2. Kavramsal Çerçeve (Conceptual Framework)

2.1. Havayolu Endüstrisinde İş Modelleri (Business Models in the Airline Industry)

Havayolu endüstrisi, kısa sürede hızlı yapısal değişimlere uğrayan, teknoloji devir hızı yüksek bir sektördür. Yakıt verimli, yüksek kapasiteli ve düşük çevresel etkilere sahip uçaklar geliştirilmesinin havayolu şirketlerinin, yönetimini, hizmet kalitesini ve erişimini önemli ölçüde etkilerken, başka bir açıdan yaklaşıldığında; Amerika Birleşik Devleti'nin 1978 yılında Havayolu Deregülasyon yasası ile iç hatlarda başlattığı serbestleşme ve özelleştirme düzenlemeleri ile sektörün daha da ticari bir yapıya dönüşmesi ve havayolu şirketleri arasında işbirliklerinin yapılması sektörün yapısını değiştirmiş, tüketici taleplerine göre şekillenmesine neden olmuştur. Bu durum havayolu işletmelerinin, paydaşlarına değer katmak için tarife bazlı bileşenlerde farklılık ortaya koymasını gerektirmektedir.

“İş Modeli” kavramı işletmenin bir ya da birkaç müşteri segmentine sunduğu değer ve bu değeri oluşturmak ve pazarlamak için işletmenin yapılandırılma şekli olarak tanımlanırken, havacılık terminolojisinde ise havayolu şirketlerinin faaliyetlerini gerçekleştirme tarzına ve paydaşları için nasıl değer kattığına işaret etmektedir (Holloway, 2008: 25). Havayolu endüstrisinde iş modeli sınırları, genellikle rekabet, düzenlemeler, teknolojik gelişmeler ve tüketici talepleri gibi faktörlerle belirlenir. Rekabet yoğunluğu, havaalanı erişimi, düzenleyici kısıtlamalar ve yakıt fiyatları gibi dış faktörler de havayolu iş modelinin sınırlarını belirler. Ayrıca, müşteri beklentileri ve endüstri trendleri de iş modelinin şekillenmesinde önemli rol oynar. Bu nedenle, havayolu şirketleri sürekli olarak iş modelini güncellemek ve uyum sağlamak zorundadır.

Havayolları belirledikleri stratejiye göre iş modellerini oluşturan temel prensiplerle farklı iş modelleri ortaya çıkarmaktadır. Farklı sınıflandırmalar olsa da yolcu pazarına ait iş modelleri genel olarak; Geleneksel (tam hizmet sunan) havayolu, Düşük maliyetli havayolu, Charter (tarifersiz) havayolu ve Bölgesel havayolu olmak üzere dört kategoride sınıflandırılmaktadır.

2.2. Düşük Maliyetli Havayolları (Low Cost Airlines)

Düşük maliyetli havayolu taşımacılığının ortaya çıkışı ve büyümesi, sektörün serbestleşmesine yönelik atılan adımlarla paralel olarak gerçekleşmiştir. Pek çok ülkede sıkı düzenlemelerin gevşetilmesi ve pazarı merkeze alan hizmet sunumuna geçiş, söz konusu anlayışın gelişmesini hızlandırmıştır. “Basitlik” düşük maliyetli havayolu iş yaklaşımında oldukça önemlidir. Farklı bir ifadeyle, düşük maliyetli havayolları

basit ürün ya da hizmetler sunar. Söz konusu havayolları, geleneksel havayollarının sunmuş olduğu kimi hizmetleri sunmamaktadır ya da ürünlerle hizmetleri birbirinden ayırıp, yolcuların ekstradan talep ettiği ürünlerle hizmetler için ödeme yapmalarını istemektedir (Belobaba vd., 2009).

Düşük maliyetli havayolu taşımacılığı, uçuş faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi ile firma maliyetleri noktasında önemli bir kar elde edebildiği için bugün havayoluyla gerçekleştirilen ulaştırmanın önemli bir bölümü olmuştur. Söz konusu anlayışın öncüsü Southwest Havayolu firmasıdır. Bu firmaların hizmet anlayışı, sınırlı ücretsiz müşteri hizmetleri sunarak düşük maliyetler sağlamak ve düşük fiyat politikası ile fiyat konusunda hassasiyeti bulunan müşterileri memnun ederek önemli bir başarıya imza atmaktır. Southwest Havayolları'nın başarısının ardından günümüzde birçok firma düşük maliyetlere sahip olan bu modeli uygulamaktadır (Schmitt ve Gollnick, 2016; Cento, 2009: 19-20).

Düşük maliyetli havayollarının temel özellikleri arasında sık gerçekleştirilen uçuşlar, ikincil havalimanlarının tercih edilmesiyle vaktinde gerçekleştirilen uçuşlar, müşterilere kısa bekleme süreleri sunulması, bilet fiyatına dahil olmayan yiyecek ve içecek servisi, sınırlı bagaj hakkı ve konaklama ile bilet alımında kısıtlı hizmetler bulunmaktadır. Bu özellikler, düşük maliyetli havayolu şirketlerinin maliyetleri düşürmesine ve müşterilere rekabetçi fiyatlar sunmasına yardımcı olmaktadır.

2.3 Literatür Taraması (Literature Review)

Havayolu işletmelerinin yatırım planlamasında en stratejik olan konulardan birisi uçak tipi seçimidir. Uçak seçimi çoklu ve çelişen kriterleri içeren karmaşık bir karar problemi olmasından dolayı, problemin çözümünde kararı etkileyen bütün kriterlerin bir arada değerlendirilmesine imkan tanıyan ÇKKV yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Literatürde ÇKKV yöntemleri kullanılarak yapılan uçak seçim çalışmalarından bazıları şu şekildedir;

Çelikyay (2002) çalışmasında, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak 5 farklı muharip uçak alternatifini 21 kriter ile değerlendirmiştir. Wang ve Chang (2007) çalışmalarında, TOPSIS yöntemini kullanarak Tayvan Hava Kuvvetleri için başlangıç düzeyinde eğitim uçağı seçimi amaçlamışlardır. Bu kapsamda 7 farklı pervaneli eğitim uçağı, 16 kriter baz alınarak değerlendirilmiştir. Yeh ve Chang (2009) çalışmalarında, Tavyan'da ulusal bir havayolu işletmesi için ÇKKV teknikleri ile uçak seçimi gerçekleştirmişlerdir. B757-200, A-321, B767-200, MD-82 ve A310-300 olmak üzere beş alternatif uçak 11 kriter baz alınarak incelenmiştir. Buna göre B757-200 uçak modelinin seçilmesi gerektiği sonucuna varmışlardır. Özdemir vd. (2011) çalışmalarında, Türk Havayolları (THY) işletmesi için yolcu uçağı seçim kararını 3 ana kriter altında toplam 10 kriter esas alarak incelemişlerdir. ANP (Analitik Ağ Süreci) yöntemi ile elde edilen bulgulara göre TYH için B737 tipi uçağın en uygun model olduğu belirlenmiştir. Gomes vd. (2014) çalışmalarında, Brezilya'da hava taksi hizmeti sunmayı planlayan bir işletme için uçak seçim problemini ele almışlardır. Stokastik ÇKKV yöntemlerinden NAIADE (Değerlendirme ve Karar Ortamlarını Kısıtlamaya İlişkin Yeni Yaklaşım) yöntemi kullanılarak yapılan çalışmada 11 uçak alternatifi arasından Let L-410 tipi uçağın seçimine karar kılmışlardır. Dozic ve Kalic (2014) çalışmalarında, Güneydoğu Avrupa'da uçuşlar düzenlediği varsayılan bölgesel bir havayolu işletmesi için uçak seçim kararını AHP yöntemi ile incelemişlerdir. Çalışmada koltuk kapasitesi, satın alma fiyatı, koltuk-km başına maliyet, ödeme koşulları, bagaj kapasitesi ve maksimum kalkış

ağırlığı/MTOW kriterleri baz alınarak 4'ü turbofan ve 3'ü turboprop olmak üzere 7 uçak alternatifi değerlendirilmiş olup, ATR 72-600 tipi turboprop uçağın en avantajlı model olduğu tespit edilmiştir.

Bruno vd. (2015) çalışmalarında, AHP ve Bulanık Küme Teorisi (FST)'ne dayalı hibrit bir yaklaşım ile Air Italy için uçak seçim problemini ele almışlardır. Dört ana kriter altında sekiz alt kriter gözetilerek yapılan değerlendirmede, üç alternatif uçak arasından Sukhoi SSJ-100'ün seçilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Gürün (2015) çalışmasında Türkiye'de bireysel kullanım amaçlı iş jeti seçimini ÇKKV yöntemleri ile analiz etmiştir. Çalışmada Bombardier Challenger 300, Dassault Falcon 200, Citation X ve Gulfstream G450 tipi uçak alternatifleri arasından 9 kriter dikkate alınarak seçim yapılmıştır. Kiracı ve Bakır (2018) çalışmalarında, hibrit ÇKKV yaklaşımı ile havayolu işletmeleri için dar gövdeli yolcu uçak tipi seçimini incelemişlerdir. Çalışmada kriterlerin ağırlıkları AHP yöntemi ile belirlenmiş, alternatiflerin sıralaması ise COPRAS (Karmaşık Oransal Değerlendirme) ve MOORA (Çok Amaçlı Optimizasyon) yöntemleri kullanılarak elde edilmiştir. Her iki yöntemin sonucuna göre B737-800 en iyi uçak olarak belirlenmiştir. Akyurt ve Kabadayı (2020) çalışmalarında, kargo taşıyıcı bir Türk Havayolu firması için uçak seçim problemini ele almışlardır. Bulanık AHP yöntemi uygulanarak birim yakıt maliyeti en önemli kriter olarak belirlenirken, alternatif uçak modellerinin değerlendirildiği bulanık Gri İlişkisel Analiz (GİA) yöntemine göre firma için en uygun kargo uçağının B777F olduğu tespit edilmiştir. Durmaz ve Gencer (2020) çalışmalarında, Türk Hava Kuvvetleri için akrobasi uçağı seçim problemini stokastik ÇKKV yöntemleri ile analiz etmişlerdir. Beş kriter üzerinden yapılan değerlendirmede F-16 tipi uçağın en uygun model olduğu belirlenmiştir. Lozano ve Rodriguez (2020), İspanya Hava Kuvvetleri için ileri seviye eğitim uçağı seçimini 11 kriter çerçevesinde 5 alternatif uçak modeli ile analiz etmişlerdir. AHP ve Bulanık İdeal Referans Yöntemi (FRIM) sonuçlarına göre Alenia Aermacchi M-346 Master tipi uçağın öne çıktığı görülmüştür.

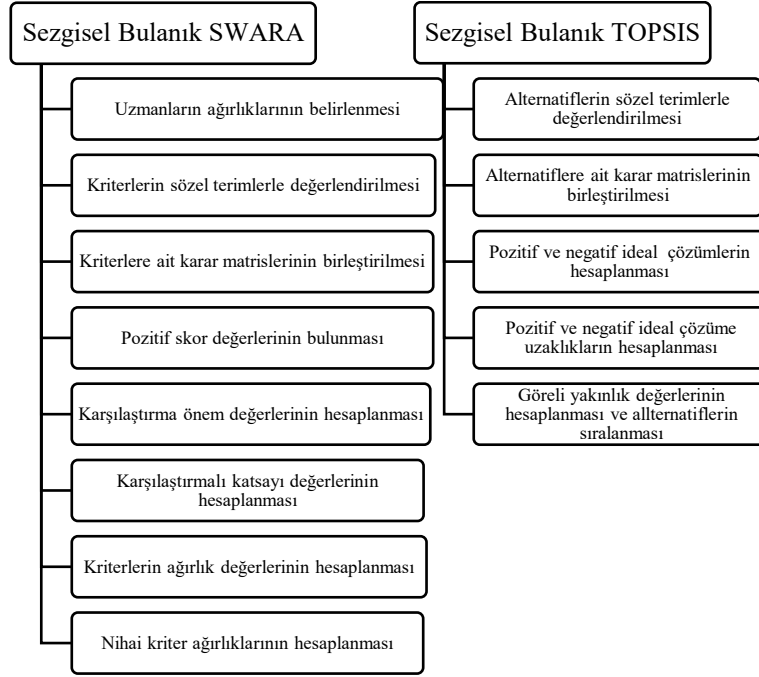
Kocaoğlu vd. (2021) çalışmalarında, Türkiye'de pistonlu tek motorlu uçak seçimini AHP ve TOPSIS yöntemleri ile incelemişlerdir. Çalışmada kriterlerin ağırlıkları AHP yöntemi ile belirlenirken, 3 uçak alternatifinin sıralaması TOPSIS yöntemi ile yapılmıştır. Kocakaya vd. (2021) çalışmalarında, Türkiye'de bölgesel havacılık faaliyetinin başlatılması halinde gerekli uçak tipinin belirlenmesi amaçlamışlardır. Çalışmada küresel bulanık kümeler ile bütünleşik AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak 3 ana kriter altında 10 alt kriter ile 9 farklı bölgesel jet değerlendirilmiştir. Çalışmanın yöntemine göre; Küresel Ağırlıklı Aritmetik Ortalama (SWAM) operatörü ile CRJ-100/200 tipi uçak, Küresel Ağırlıklı Geometrik Ortalama (SWGGM) operatörü ile ERJ-135'in bölgesel havacılık operasyonlarına en uygun uçaklar olduğu belirlenmiştir. Tezcan (2024) çalışmasında, havayolu işletmeleri için geniş gövdeli yolcu uçak tipi seçim problemini ele almış ve yöntem olarak Pisagor bulanık kümelerle entegre edilen AHP ve TOPSIS metodolojisini kullanmıştır. Çalışmada 8 farklı yolcu uçağı 6 kriter esas alınarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda A350-1000 tipi uçak modelinin ideal çözüme en yakın alternatif olduğu tespit edilmiştir.

3. Yöntem (Method)

3.1. Araştırma Modeli (Research Model)

Düşük maliyetli bir Türk havayolu firması için en uygun dar gövdeli standart kabin konfigürasyonuna sahip yolcu uçak tipinin belirlenmesi bu vaka çalışmasının temelini oluşturmaktadır. Çalışmada bütünleşik

SWARA-TOPSIS yöntemi ve sezgisel bulanık kümelerle genişletilmiş hibrit bir model önerilmektedir. Önerilen metodoloji sezgisel bulanık SWARA yöntemi kullanılarak kriter ağırlıklarının elde edilmesi ve sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi ile muhtemel alternatifler içerisinde en uygun hava aracının belirlenmesi olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Sezgisel bulanık SWARA-TOPSIS hibrit yöntemine ait akış diyagramı Şekil 1’ de sunulmuştur.



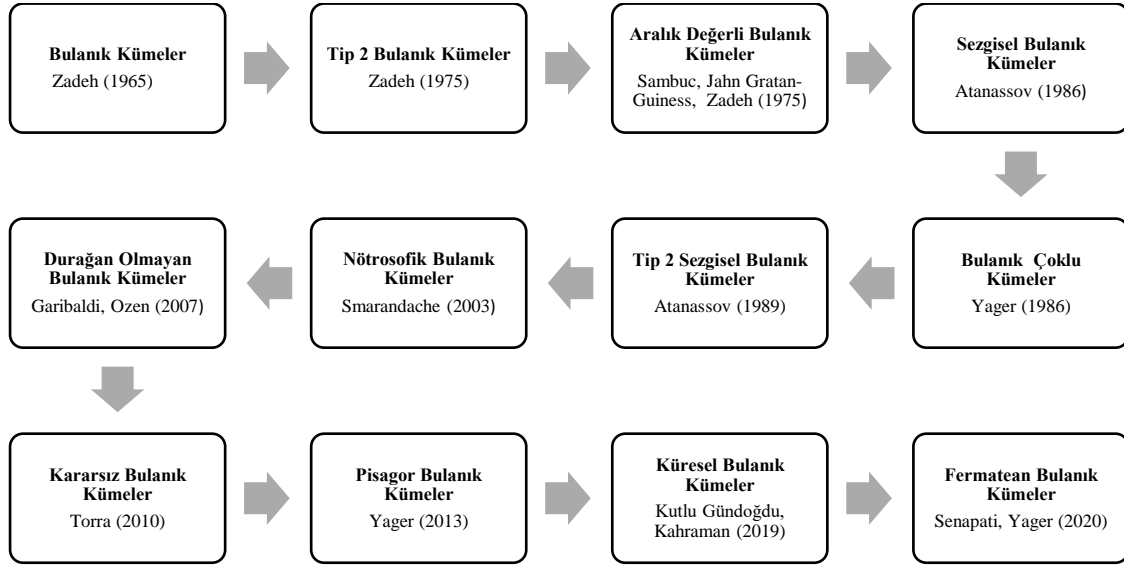
Şekil 1. Sezgisel Bulanık SWARA-TOPSIS Hibrit Yöntemin İşlem Adımları (Process Steps of Intuitionistic Fuzzy SWARA-TOPSIS Hybrid Method)

3.2. Bulanık Kümeler (Fuzzy Sets)

İnsan düşüncelerini ve yargılarını kullanarak kendisini rahatça ifade edebilme özelliğini bulunduran bulanık küme (fuzzy set) teorisi 1965 yılında Lotfi Aliasker Zadeh’in katkıları sayesinde ortaya çıkmıştır. Bulanık kümelerin temel bileşeni bulanık mantıktır. Bulanık mantık, aktif olarak yaşantımızda kullanabildiğimiz değişkenlere üyelik dereceleri belirleyerek, yaşanan olayların ne düzeyde gerçekleştiğinin bulunmasına olanak sağlayan çoklu mantığın kullanıldığı bir sistemdir. Bulanık mantık, bilinen klasik küme gösterimlerinin genişletilmiş hali olup lineer olmayan fonksiyonları da modelleyebildiği için belirsizliği ifade etme konusunda önemli bir araçtır (Altaş, 1999; Peng ve Selvachandran, 2019).

Klasik kümeler ile bulanık kümeler arasındaki temel fark, elemanlar tarafından alınan üyelik dereceleridir. Klasik kümede belirtilen bir elemanın, kümenin elemanı olduğunun göstergesi 1, kümenin elemanı olmadığına göstergesi 0 ile belirtilmektedir. Bulanık kümede ise bir elemanın kümeye ait olma derecesi 0 ile 1 arasında bulunan üyelik derecesine göre ifade edilmektedir (Kabak ve Erdebilli, 2021; Şimşek vd., 2022).

Çok ölçütlü karar verme sorunlarında kesin sayıların yerine belirsizliği yönetme konusunda dille ifade edilebilen terimlerin tercih edilmesi ve insanların fikir yapısına yakın olması, bulanık kümelerin popülaritesini arttırmıştır. Bulanık kümelerin, belirsizlik durumlarında matematiksel altyapılarına göre esnek neticeler vermesine karşın değişen şartların getirmiş olduğu karmaşık belirsizlikler ile mücadele edebilme hususunda yeterli olmadığına inanılmıştır. Bu fikir, değişik bulanık küme uzantılarıyla varyantlarının ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bulanık küme uzantılarının gelişimi zaman dizimsel olarak Şekil 2’ de sunulmuştur.



Şekil 2. Bulanık Küme Uzantıları (Fuzzy Set Extensions)

3.3. Sezgisel Bulanık Kümeler (Intuitionistic Fuzzy Sets)

Atanassov 1986 yılında, sezgisel belirsizliği ele alan bir yaklaşım olan sezgisel bulanık kümeleri (IFS) ortaya atmıştır. Bu yeni kümeler, üyelik ve üyelik dışı olma derecelerinin yanı sıra belirsizlik derecesini de içerir. Bu sayede, karar vericilerin daha etkili sonuçlar elde etmelerine olanak tanır. Sezgisel bulanık sayılara ait tanımlar ve matematiksel operatörler aşağıda verilmiştir (Atanassov, 1986; Akram vd., 2013):

Tanım 1: X evrensel uzayında sezgisel bulanık kümeler (IFS) Denklem (1)’deki gibi gösterilmektedir.

$$IFS = \{[x, \mu_1(x), \nu_1(x)] : x \in X\} \quad (1)$$

Sezgisel bulanık kümeler $\mu_1(x) : X \in [0,1]$ ve $\nu_1(x) : X \in [0,1]$ olmak üzere Denklem (2)’deki koşulu yerine getirmelidir.

$$0 \leq \mu_1(x) + \nu_1(x) \leq 1 \quad (2)$$

Sezgisel bulanık kümelerin belirsizlik derecesi Denklem (3)’te belirtilen formülle hesaplanmaktadır.

$$\pi_1(x) = 1 - \mu_1(x) - \nu_1(x) \quad (3)$$

Tanım 2: $I = (\mu, \nu)$ sezgisel bulanık bir küme olmak üzere $I_1 = (\mu_{I_1}, \nu_{I_1})$ ve $I_2 = (\mu_{I_2}, \nu_{I_2})$ iki farklı IFS üzerinde Denklem (4-5-6-7-8)'de gösterilen operatörler tanımlıdır.

$$I_1 \cap I_2 = (\min\{\mu_{I_1}, \mu_{I_2}\} \text{ maks}\{\nu_{I_1}, \nu_{I_2}\}) \quad (4)$$

$$I_1 \cup I_2 = (\text{maks}\{\mu_{I_1}, \mu_{I_2}\} \min\{\nu_{I_1}, \nu_{I_2}\}) \quad (5)$$

$$I^c = (\nu_1, \mu_1) \quad (6)$$

$$I_1 \boxplus I_2 = (\mu_{j_1} + \mu_{j_2} - \mu_{j_1}\mu_{j_2}, \nu_{j_1}\nu_{j_2}) \quad (7)$$

$$I_1 \boxtimes I_2 = (\mu_{j_1}\mu_{j_2}, \nu_{j_1} + \nu_{j_2} - \nu_{j_1}\nu_{j_2}) \quad (8)$$

3.4. Sezgisel Bulanık SWARA – TOPSIS Yöntemi (Intuitionistic Fuzzy SWARA – TOPSIS Method)

Sezgisel bulanık SWARA-TOPSIS hibrit yöntemi ile bir problemin çözülmesi 13 farklı adımda gerçekleşir. Sistematik şekilde izlendiğinde sonuca götürecek bu işlem adımları aşağıda sunulmuştur.

Adım 1: Karar vericilerin uzmanlık derecesini belirlemek için kullanılan sözel ifadeler ve sayısal karşılıkları Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Karar Vericilerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Sözel İfadeler ve Sayısal Karşılığı (Verbal Expressions and Their Numerical Equivalents Used in the Evaluation of Decision Makers)

Dilsel Terimler	μ	ν
Kesinlikle Uzman (AS)	0.90	0.10
Yeterince Uzman (VS)	0.70	0.20
Ortalama Uzman (S)	0.60	0.30
Neredeyse Uzman (LS)	0.40	0.50
Uzman Değil (NS)	0.10	0.80

$|P|$ çalışmaya katılan karar vericilerin sayısı olmak üzere; karar vericilerin uzmanlık derecesi $Ep = (\mu_p, \nu_p)$ ile temsil edilmektedir. Tüm karar vericilerin uzmanlık derecesi ($p = (1, \dots, |P|)$) Denklem (9)'da belirtilen formülle hesaplanır.

$$\psi_p = \frac{\mu_p + \pi_p \left(\frac{\mu_p}{\mu_p + v_p} \right)}{\sum_{p=1}^{|P|} \left(\mu_p + \pi_p \left(\frac{\mu_p}{\mu_p + v_p} \right) \right)} \quad (9)$$

Adım 2: Karar vericiler Tablo 2’de sunulan sözel ifadeleri kullanarak kriterlerin önemini değerlendirir. i kriteri için p numaralı karar vericinin değerlendirmesi $c_{ip} = (\mu_{ip}, v_{ip})$ şeklinde gösterilir.

Tablo 2. Kriterleri ve Alternatifleri Değerlendirmede Kullanılan Sözel İfadeler ve Sayısal Karşılığı (Verbal Expressions and Numerical Equivalents Used in Evaluating Criteria and Alternatives)

Dilsel Terimler (Kriter / Alternatif)	μ	v
Kesinlikle Önemli (AI) / Kesinlikle İyi (AG)	0.99	0.01
Çok Güçlü Önemli (VSI) / Çok İyi (VG)	0.90	0.05
Güçlü Önemli (SI) / İyi (G)	0.75	0.20
Önemli (I) / Biraz İyi (LG)	0.65	0.30
Eşit Önemli (EI) / Orta (M)	0.55	0.40
Önemsiz (U) / Biraz Kötü (LB)	0.40	0.50
Güçlü Önemsiz (SU) / Kötü (B)	0.30	0.60
Çok Güçlü Önemsiz (VSU) / Çok Kötü (VB)	0.20	0.70
Kesinlikle Önemsiz (AU) / Kesinlikle Kötü (AB)	0.10	0.80

Adım 3: Sezgisel bulanık karar matrisi, karar vericilerin uzmanlık derecelerinin (ψ_p) dikkate alınmasıyla birlikte kriterlere ilişkin değerlendirmeleri de toplanarak Denklem (10)’da belirtilen formülle oluşturulur. n , kriterler setinin kardinalitesi $z = (z_1, \dots, z_n)$ olmak üzere: z_i karar vericilerin ortak yargılarının vektörünü temsil etmektedir.

$$z_i = \left(\mathbf{1} - \prod_{p=1}^k (1 - \mu_{ip}) \psi_p, \prod_{p=1}^k (v_{ip}) \psi_p \right) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

Adım 4: Kriterlerin pozitif skor değeri (PS_i) Denklem (11)’de belirtilen formülle hesaplanmaktadır.

$$PS_i = \frac{(1 + \mu_i - v_i)}{2} \quad (11)$$

Adım 5: Azalan pozitif skor değerine göre sıralanan kriterlerin karşılaştırmalı önem değerleri (CS_i) Denklem (12)’de belirtilen formülle hesaplanmaktadır.

$$CS_i = \begin{cases} 0 & i = 1 \\ PS_i - PS_{i-1} & i > 1 \end{cases} \quad (12)$$

Adım 6: Denklem (13)'te belirtilen formül vasıtasıyla tüm kriterler için karşılaştırmalı katsayı değerleri (CC_i) hesaplanır.

$$CC_i = \begin{cases} 1, & i = 1 \\ CS_i + 1, & i > 1 \end{cases} \quad (13)$$

Adım 7: Tüm kriterlerin ağırlık değerleri (q_i) Denklem (14)'de belirtilen formülle hesaplanmaktadır.

$$q_i = \begin{cases} 1, & i = 1 \\ \frac{q_{i-1}}{CC_i}, & i > 1 \end{cases} \quad (14)$$

Adım 8: Kriterlerin nihai ağırlıkları (ω_i) Denklem (15)'te belirtilen formülle hesaplanır.

$$\omega_i = \frac{q_i}{\sum_{i=1}^n q_i} \quad (15)$$

Adım 9: Karar vericilerin Tablo 2'de sunulan sözel ifadelere göre alternatifleri değerlendirmesi istenir. Sezgisel bulanık (IF) karar matrisi $I_p = [i_{ij}^p]$ şeklinde gösterilir.

Adım 10: I_p matrisleri, Denklem (16)'daki gibi tüm karar vericilerin uzmanlık ağırlıkları (ψ_p) kullanılarak birleştirilir.

$$I = \left(\left(1 - \prod_{i=1}^k (1 - I_{\mu_{ij}}) \right)^{\psi_p}, \left(\prod_{i=1}^k (I_{v_{ij}}) \right)^{\psi_p} \right) \quad (16)$$

Adım 11: \mathfrak{B} faydalı kriterler seti, \mathcal{C} maliyet kriterleri setini temsil etmekte olup $|\mathfrak{B}| + |\mathcal{C}| = n$ olması koşulu ile IF-TOPSIS yöntemine göre alternatiflerin değerlendirilmesi için sezgisel bulanık pozitif ideal çözüm (S^*) ve sezgisel bulanık negatif ideal çözüm (S^-) belirlenmelidir. S^* ve S^- noktaları Denklem (17) ve (18)'deki gibi belirlenir.

$$\begin{aligned} S^* &= \{(\mu_{1*}, v_{1*}), \dots, (\mu_{n*}, v_{n*})\} \\ &= \left\{ \max_i \langle I_{\mu_{ij}} | j \in \mathfrak{B} \rangle, \min_i \langle I_{v_{ij}} | j \in \mathcal{C} \rangle | i = 1.., m \right\} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} S^- &= \{(\mu_{1-}, v_{1-}), \dots, (\mu_{n-}, v_{n-})\} \\ &= \left\{ \min_i \langle I_{\mu_{ij}} | j \in \mathfrak{B} \rangle, \max_i \langle I_{v_{ij}} | j \in \mathcal{C} \rangle | i = 1.., m \right\} \end{aligned} \quad (18)$$

Adım 12: Her bir alternatif ile sezgisel bulanık pozitif ideal çözüm arasındaki mesafe d_{i,S^*} Denklem (19)'da ve her bir alternatif ile sezgisel bulanık negatif ideal çözüm arasındaki mesafe d_{i,S^-} Denklem (20)'de verilen formüller ile hesaplanmaktadır.

$$d_{i,s^*} = \sum_{j=1}^n \omega_j d(I, S^*) = \sum_{j=1}^n \omega_j \sqrt{[(\mu_{ij} - \mu_j^+)^2 + (v_{ij} - v_j^+)^2]} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (19)$$

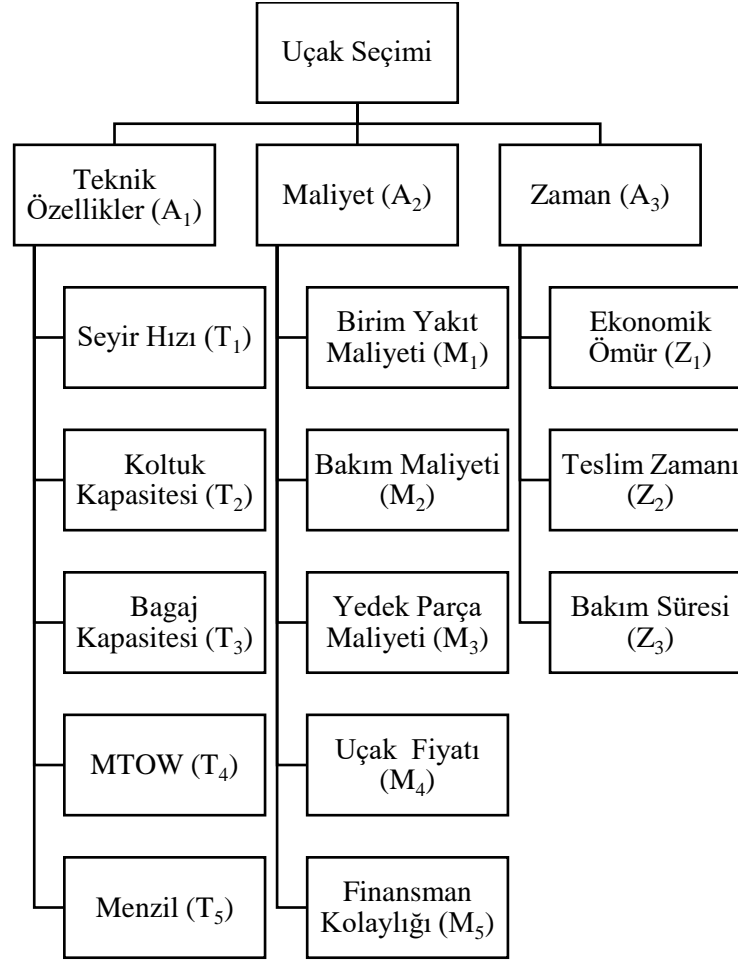
$$d_{i,s^-} = \sum_{j=1}^n \omega_j d(I, S^-) = \sum_{j=1}^n \omega_j \sqrt{[(\mu_{ij} - \mu_j^-)^2 + (v_{ij} - v_j^-)^2]} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (20)$$

Adım 13: Alternatiflerin göreceli yakınlık değerleri (RC_i) Denklem (21)'de belirtilen formülle hesaplanır. RC_i değerinin büyük olması alternatifin ideal çözüme yakın olduğunu göstermektedir.

$$RC_i = \frac{d_{i,s^-}}{d_{i,s^*} + d_{i,s^-}} \quad (21)$$

4. Bulgular (Findings)

Bu çalışmada düşük maliyetli bir Türk Havayolu firması için dar gövdeli yolcu uçak tipi seçimi yapılmıştır. Uygulama öncesinde araştırmacı tarafından kapsamlı bir literatür incelemesi yapılmış ve ilgili havayolunun yöneticileri ve filo planlama uzmanları ile ön görüşme gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda 3 ana kriter altında 13 alt kriter ve 4 alternatif uçak belirlenmiştir. Bu kapsamda çalışmanın kriterlerine ait hiyerarşi yapısı Şekil 3'te ve alternatifler kümesi Tablo 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. Kriterler Hiyerarşisi (Criteria Hierarchy)

Tablo 3. Alternatifler Kümesi (Set of Alternatives)

(Alt _i)	Uçak Tipi	(Alt _i)	Uçak Tipi
Alt ₁	B737 Max10	Alt ₃	A321neo
Alt ₂	B737 Max9	Alt ₄	A320neo

Araştırma probleminin çözümü için birisi departman yöneticisi olmak üzere 3 filo planlama uzmanının görüşleri alınmıştır. Karar vericiler, kriterleri kendi içerisinde ve alternatifleri kriterler bazında sözel terimlerle değerlendirmişlerdir. Çalışmaya katılan uzman karar vericiler sırasıyla KV₁, KV₂, KV₃ kısaltmasıyla gösterilmiştir.

Sezgisel bulanık SWARA-TOPSIS hibrit yöntemine göre ana kriterler (R_A) ve alt kriterler (R_T, R_M, R_Z) SWARA, alternatifler ise TOPSIS yöntemine göre değerlendirilmiştir. Karar vericilerin uzmanlık derecesi

(ağırlıkları) Denklem (9)'da belirtilen formülle hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçlar Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Karar Vericilere Ait Uzmanlık Ağırlıkları (Expertise Weights of Decision Makers)

KV_i	Uzmanlık Derecesi
KV_1	0.381
KV_2	0.331
KV_3	0.331

Karar vericilerin sözel değişkenleri kullanarak kriterleri değerlendirmelerinden sonra tüm karar vericilerin uzmanlık derecesi de dikkate alınarak kriterler seti için IF karar matrisleri (z) Denklem (10)'da belirtilen formülle hesaplanmıştır.

Tablo 5. Kriterlerin Birleştirilmiş Ana Karar Matrisleri (Combined Main Decision Matrices of Criteria)

z	z Değerleri	z	z Değerleri
A_1	(0.90,0.06)	M_1	(0.98,0.02)
A_2	(0.97,0.03)	M_2	(0.89,0.06)
A_3	(0.80,0.12)	M_3	(0.84,0.10)
z	z Değerleri	M_4	(0.95,0.05)
T_1	(0.83,0.10)	M_5	(0.90,0.06)
T_2	(0.99,0.01)	z	z Değerleri
T_3	(0.96,0.02)	Z_1	(0.88,0.07)
T_4	(0.95,0.05)	Z_2	(0.70,0.15)
T_5	(0.85,0.09)	Z_3	(0.68,0.20)

Tablo 5'te sunulan birleştirilmiş karar matrislerinden sonra ana kriterlerin ve alt kriterlerin pozitif skor değerleri (PS_i) Denklem (11)'de belirtilen formülle hesaplanmıştır. Kriterler setine ait PS_i değerleri Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Kriterlerin Pozitif Skor Değerleri (Positive Score Values of Criteria)

RA	PS_i	RT	PS_i	RM	PS_i	RZ	PS_i
A_1	0.91	T_1	0.85	M_1	0.98	Z_1	0.89
A_2	0.97	T_2	0.99	M_2	0.90	Z_2	0.71
A_3	0.82	T_3	0.96	M_3	0.86	Z_3	0.70
		T_4	0.95	M_4	0.95		
		T_5	0.86	M_5	0.91		

Pozitif skor değerlerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanmış olan kriterler seti için sırasıyla; karşılaştırma önem değerleri (CS_i), karşılaştırmalı katsayı değerleri (CC_i), yeniden hesaplanan ağırlık değerleri (qi) ve kriter ağırlıkları (ω_i) Denklem (12), (13), (14) ve (15)'te formülize edildiği gibi hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Tablo 7 ile sunulmuştur.

Tablo 7. Kriterlerin Ağırlıkları (Weights of Criteria)

RA	PS_i	CS_i	CC_i	qi	ω_i
A_2	0.97	0	1	1	0.40
A_1	0.91	0.02	1.02	0,96	0.37
A_3	0.82	0.14	1.14	0.88	0.23
RT	PS_i	CS_i	CC_i	qi	ω_i
T_2	0.99	0	1	1	0.23
T_3	0.96	0.02	1.02	0.98	0.22
T_4	0.95	0.03	1.03	0.96	0.21
T_5	0.86	0.08	1.08	0.89	0.18
T_1	0.85	0.06	1.06	0.86	0.16
RM	PS_i	CS_i	CC_i	qi	ω_i

M_1	0.98	0	1	1	0.24
M_4	0.95	0.01	1.01	0.96	0.22
M_5	0.91	0.03	1.03	0.94	0.20
M_2	0.90	0.03	1.03	0.92	0.18
M_3	0.86	0.06	1.06	0.88	0.16
RZ	PS_i	CS_i	CC_i	qi	ω_i
Z_1	0.89	0	1	1	0.36
Z_2	0.71	0.19	1.19	0.83	0.33
Z_3	0.70	0.05	1.05	0.79	0.31

Tüm kriterlerin ağırlıkları (ω_i) belirlendikten sonra her bir ana kritere ait ağırlıklar hiyerarşik olarak alt kriterlerine sentezlenerek alt kriterlerin nihai ağırlıkları (ω_{iF}) elde edilmiştir. Hesaplanan değerler Tablo 8’de sunulmuştur.

Tablo 8. Alt Kriterlerin Nihai Ağırlıkları (Final Weights of Subcriteria)

Alt Kriterler	ω_{iF}	Alt Kriterler	ω_{iF}	Alt Kriterler	ω_{iF}
T_1	0.06	M_1	0.10	Z_1	0.09
T_2	0.09	M_2	0.07	Z_2	0.07
T_3	0.08	M_3	0.06	Z_3	0.07
T_4	0.07	M_4	0.09		
T_5	0.07	M_5	0.08		

Sezgisel bulanık SWARA yöntemine göre alt kriterlere ait öncelik vektörünün bulunmasıyla birlikte araştırma modelinin 1. Aşaması tamamlanmış, ardından sezgisel bulanık TOPSIS yöntemine göre alternatiflerin değerlendirilmesi için modelin 2. Aşamasına geçilmiştir.

Karar vericilerin değerlendirmelerine göre sözel değişkenlere karşılık gelen sayısal değerler üzerinden alternatifler için birleştirilmiş karar matrisleri Denklem (16)’daki gibi hesaplanmıştır. Birleştirilmiş karar

matrislerine göre alternatiflerin kriterler bazında değerlendirilmesi için S^* noktaları Denklem (17)'deki gibi, S^- noktaları Denklem (18)'deki gibi belirlenmiştir. Alternatiflerin teknik özellikler, maliyet, zaman ana kriterleri altında tanımlanan alt kriterlere göre S^* ve S^- noktalarını da gösteren birleştirilmiş karar matrisleri Tablo 9, 10, 11 ile aşağıda sunulmuştur.

Tablo 9. Teknik Özellikler Ana Kriteri Alt Kriterlerine Göre Alternatifler İçin Birleştirilmiş Karar Matrisi (Aggregated Decision Matrix for Alternatives According to Sub-Criteria of Technical Specifications Main Criteria)

Alt_i	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
Alt_1	(0.98,0.02)	(0.69,0.25)	(0.69,0.25)	(0.61,0.35)	(0.96,0.03)
Alt_2	(0.96,0.03)	(0.57,0.38)	(0.71,0.23)	(0.74,0.19)	(0.74,0.19)
Alt_3	(0.79,0.14)	(0.61,0.35)	(0.62,0.34)	(0.48,0.43)	(0.82,0.12)
Alt_4	(0.70,0.24)	(0.59,0.36)	(0.78,0.15)	(0.67,0.27)	(0.42,0.50)
S^*	(0.98,0.02)	(0.69,0.25)	(0.78,0.15)	(0.74,0.19)	(0.96,0.03)
S^-	(0.70,0.24)	(0.59,0.36)	(0.62,0.34)	(0.48,0.43)	(0.42,0.50)

Tablo 10. Maliyet Ana Kriteri Alt Kriterlerine Göre Alternatifler İçin Birleştirilmiş Karar Matrisi (Aggregated Decision Matrix for Alternatives According to Cost Main Criteria Sub-Criteria)

Alt_i	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5
Alt_1	(0.99,0.01)	(0.92,0.06)	(0.68,0.26)	(0.95,0.03)	(0.88,0.09)
Alt_2	(0.94,0.05)	(0.57,0.38)	(0.71,0.23)	(0.68,0.26)	(0.62,0.34)
Alt_3	(0.99,0.01)	(0.79,0.14)	(0.74,0.20)	(0.91,0.06)	(0.80,0.13)
Alt_4	(0.95,0.04)	(0.74,0.20)	(0.48,0.43)	(0.87,0.12)	(0.55,0.39)
S^*	(0.99,0.01)	(0.92,0.06)	(0.74,0.20)	(0.95,0.03)	(0.88,0.09)
S^-	(0.94,0.05)	(0.57,0.38)	(0.48,0.43)	(0.68,0.26)	(0.55,0.53)

Tablo 11. Zaman Ana Kriteri Alt Kriterlerine Göre Alternatifler İçin Birleştirilmiş Karar Matrisi (Aggregated Decision Matrix for Alternatives According to Time Main Criterion Sub-Criteria)

Alt_i	Z_1	Z_2	Z_3
Alt_1	(0.83,0.11)	(0.94,0.05)	(0.96,0.03)
Alt_2	(0.83,0.11)	(0.96,0.03)	(0.67,0.27)
Alt_3	(0.85,0.10)	(0.96,0.03)	(0.96,0.03)
Alt_4	(0.57,0.38)	(0.58,0.39)	(0.58,0.39)
S^*	(0.85,0.10)	(0.96,0.03)	(0.96,0.03)
S^-	(0.57,0.38)	(0.58,0.39)	(0.58,0.39)

Alternatiflerin sezgisel bulanık pozitif ideal çözüme uzaklık değerleri (d_{i,S^*}) Denklem (19)'daki gibi, sezgisel bulanık negatif ideal çözüme uzaklık değerleri (d_{i,S^-}) Denklem 20'deki gibi hesaplanmıştır. Alternatif uçak tipleri arasında nihai sıralamayı sağlamak için d_{i,S^*} ve d_{i,S^-} değerlerine göre göreceli yakınlık değerleri (RC_i) Denklem (21)'deki gibi hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Tablo 12'de sunulmuştur.

Tablo 12. Alternatiflerin Pozitif ve Negatif İdeal Çözüm Noktalarına Uzaklıkları ve Göreceli Yakınlık Değerleri (Distances and Relative Closeness Values of Alternatives to Positive and Negative Ideal Solution Points)

Alt_i	d_{i,S^*}	d_{i,S^-}	RC_i	Alt_i	d_{i,S^*}	d_{i,S^-}	RC_i
Alt_1	0.10	0.70	0.910	Alt_3	0.12	0.65	0.846
Alt_2	0.20	0.60	0.760	Alt_4	0.35	0.39	0.537

Alternatiflerin tercih edilebilirlik sırası RC_i değerinin en büyük değerden en küçük değere doğru sıralanmasıyla elde edilmiştir. Tercih edilebilirlik sıralaması sonucu Tablo 13'te sunulmuştur.

Tablo 13. Alternatiflerin Sıralanması (Ranking of Alternatives)

Sıra	Uçak Tipi (Alt_i)	RC_i	Sıra	Uçak Tipi (Alt_i)	RC_i
1	B737 Max10	0.910	3	B737Max9	0.760
2	A321neo	0.846	4	A320neo	0.537

5. Tartışma ve Sonuç (Discussion and Conclusion)

Küresel ekonominin ve şehirleşmenin artmasıyla birlikte, havayolu taşımacılığı giderek büyüyen bir sektör haline gelmektedir. Önde gelen havacılık devleri Airbus ve Boeing, yapılan pazar araştırmalarında havayolu trafiğindeki büyümenin devam edeceğini öngörmektedir. Airbus'ın "Global Market Forecast 2019-2038" raporuna göre, önümüzdeki 20 yılda yüzde 4.3'lük bir büyüme beklenirken, Boeing'in "Commercial Market Outlook 2019-2038" raporunda ise bu rakam yüzde 4.6 olarak tahmin edilmektedir. Bu projeksiyonlara dayanarak, havayolu taşımacılığına olan talebin artacağı ve dolayısıyla yolcu sayısının da artacağı öngörülmektedir. Artan yolcu sayısı doğal olarak uçak talebini artıracaktır. Airbus'ın araştırmasına göre, 2019'da 22680 olan yolcu uçak sayısının 2038'de 47680'e yükseleceği tahmin edilmektedir (Tezcan ve Aktaş, 2022: 3). Benzer şekilde, 2018'de yayınlanan Oliver Wyman raporunda, o yıl dünya genelinde 15800 dar gövdeli yolcu uçağının hizmet verdiği belirtilmektedir. 2028 tahminlerine göre ise bu rakamın 25038'e çıkması beklenmektedir (Oliver Wyman, 2018).

Günümüz koşullarında artan rekabet unsurları ve ekonomik koşullar sebebiyle işletmelerin varlıklarını devam ettirip gelişmeleri ve karlılık oranlarını artırabilmeleri için maliyetlerini ve giderlerini kontrol altına almaları gerekmektedir. Bu nedenle, yüksek yatırım ve işletme maliyetleri gerektiren uçakların seçim sürecinde doğru bir planlama ile en çok fayda sağlayacak uçak tipinin belirlenmesi havayolu şirketleri için önem arz etmektedir. Havayolu işletmeleri açısından doğru uçak tipinin filoya dahil edilmesi, hizmet operasyonlarının çok daha etkili sunulmasına imkan sağlayacağı gibi, işletme süreçlerinde karşılaşılabilecek kaçınılmaz olan maliyet oluşturacak eylemlerden de en düşük ekonomik boyutta etkilenmelerine imkan sağlayacaktır. Böylelikle havayolu işletmeleri ekonomik avantaj elde edecek ve pazar içerisinde rakiplerine karşı avantajlı bir konuma gelebileceklerdir. Bu nedenle havayolu şirketleri işletme maliyetlerini, mevcut ve gelecekteki yolcu taleplerini ve sektör trendlerini dikkate alarak gereksinimlerine uygun uçaklar seçmelidir.

Bu çalışmada bulanık küme uzantılarından sezgisel bulanık kümeler ile ÇKKV yöntemlerinden SWARA ve TOPSIS yöntemleri birleştirilerek düşük maliyetli bir Türk Havayolu firması için uçak seçim problemi ele alınmıştır. Bu kapsamda firma yöneticileri ile yapılan görüşmede 4 muhtemel alternatif uçak tipi ve 3 ana boyut altında 13 alt kriter belirlenmiştir. Sezgisel bulanık SWARA yöntemi ile hesaplanmış olan kriter ağırlıklarına göre; "maliyet" kriteri %40 ağırlık değeri ile en önemli ana kriter olarak belirlenirken bunu sırasıyla %37 ağırlık değeri ile "teknik özellikler" ve %23 ağırlık değeri ile "zaman" ana kriteri takip etmiştir. Alt kriterler açısından yapılan değerlendirmede ise maliyet ana kriteri altında "birim yakıt maliyeti" en önemli kriter olarak belirlenmiştir. Bu kriterden sonra maliyet ana kriteri altında "uçak fiyatı" ve "finansman kolaylığı", teknik özellikler ana kriteri altında "koltuk kapasitesi" ve "bagaj kapasitesi", zaman ana kriteri altında "ekonomik ömür" uçak seçiminde önemli kriterler olarak belirlenmiştir. Sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi ile yapılan hesaplamalar sonucunda ilgili kriterler açısından B737 Max10 tipi yolcu uçağının firma için en uygun model olduğu belirlenmiştir. Diğer alternatiflerin tercih edilebilirlik sıralaması; A321neo, B737 Max9 ve A320neo şeklinde tespit edilmiştir. Havayolu firmasının B737 serisi

uçaklardan oluşan ve bu uçağın son varyantı Max ailesi uçakları da içeren filo yapısı dikkate alındığında ortaya çıkan sonucun filo yapısına uyumlu olduğu görülmektedir.

Literatürde ÇKKV yöntemlerinden faydalanılarak uçak seçimi ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmanın diğer yapılan çalışmalardan ayrı tutulmasını sağlayan temel fark; uçak tipi seçiminde literatürde daha önce kullanılmamış olan sezgisel bulanık kümelerle genişletilmiş SWARA-TOPSIS hibrit yönteminin kullanılmış olmasıdır. Çalışmanın bu yönüyle havacılık ve çok kriterli karar verme alanında literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca, çalışmada kullanılan yöntemlerin havacılık alanındaki başka konularda ve uçak seçiminde farklı alternatif ve kriterlerle yapılacak çalışmalarda kullanılabilir olması, çalışmanın literatüre bir diğer katkısı ve önemi olarak ortaya çıkmaktadır. Çalışmada elde edilen bulgular ve havayolu firmasının yöneticileri ile yapılan görüşmelerden alınmış olan geri bildirim doğrultusunda, sezgisel bulanık SWARA-TOPSIS yaklaşımı, firma tarafından sipariş verilmesi planlanan en uygun uçak tipinin belirlenmesinde kullanılabilirliğini göstermiş ve bu şekilde gerçek hayatta karşılaşılan bir probleme çözüm bulunmuştur. Önerilen bu yaklaşım havayolu şirketlerinin ihtiyaçlarına göre zaman içinde sürekli geliştirilebilir ve başka sektörlerde uygulanabilir yapıdadır. Bununla birlikte uçak seçimi gibi belirsizlik koşulları altındaki karmaşık bir karar verme probleminde hızlı, etkin ve ekonomik şekilde çözüm üretebilen bu yaklaşımın, diğer deterministik veya entegre yöntemlere kıyasla daha basit ve uygulanabilir olduğunu söylemek mümkündür.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda karar verici olarak filo planlama personeli haricinde akademisyen, uçak mühendisi ve hava aracı bakım teknisyeni olarak çalışan uzmanların da görüşleri alınıp farklı bakış açılarıyla kriterlerin puanlaması daha etkili yapılabilir. İlerleyen çalışmalarla birlikte kriter ağırlıklarının belirlenmesinde CRITIC ve DEMATEL, alternatiflerin değerlendirilmesinde ise TOPSIS yerine MACBETH, PROMETHEE ve ELECTRE gibi uçak seçim sürecinde henüz kullanılmamış farklı ÇKKV yöntemlerinin yardımıyla çalışmalar yapılabilir ve elde edilen sonuçlar bu çalışma sonuçlarıyla karşılaştırılabilir. Ayrıca nütrosifik bulanık kümeler, kararsız bulanık kümeler ve fermatean bulanık kümeler gibi yeni tip bulanık küme uzantılarının farklı ÇKKV yöntemlerine entegrasyonu gerçekleştirilerek literatüre katkı sağlanabilir.

Kaynakça (Source)

Akyurt, İ. Z., & Kabadayı, N. (2020). Bulanık AHP ve bulanık gri ilişkisel analiz yöntemleri ile kargo uçak tipi seçimi: Bir Türk havayolu firmasında uygulama. *Journal of Yasar University*, 15(57), 38-55.

Akram, M., Shahzad, S., Butt, A., & Khaliq, A. (2013). Intuitionistic fuzzy logic control for heater fans. *Mathematics in Computer Science*, 7, 367-378.

Altaş, İ. H. (1999). Bulanık mantık: Bulanıklılık kavramı. *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e*, 62, 80-85.

- Atanassov, K. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy sets and systems* 20(1), 87- 96. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(86\),80034-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(86),80034-3).
- Atanassov, K. (2012). *On intuitionistic fuzzy sets theory* (Vol. 283). Springer
- Belobaba, P., Odoni, A., & Barnhart, C. (2009). *The global airline industry*. West Sussex: Wiley Publication.
- Bruno, G., Esposito, E., & Genovese, A. (2015). A model for aircraft evaluation to support strategic decisions. *Expert Systems with Applications*, 42(13), 5580-5590.
- Cento, A. (2009). *The Airline Industry Challenges in the 21st Century*. Segrate: Physica-Verlag.
- Çelikyay, S. (2002). Çok Amaçlı Savaş Uçağı Seçiminde Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemlerinin Uygulanması (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi) İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Doğan, G. (2020). SWARA ve WASPAS Metotlarına Dayalı Bir Performans Değerlendirme Modeli, (Yüksek Lisans Tezi), Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Dozic, S., & Kalic, M. (2014). An AHP approach to aircraft selection process. *Transportation Research Procedia*, 3, 165-174.
- Durmaz, K. İ., & Gencer, C. (2020). JSMAA tabanlı yeni bir eklenti: SWARA-JSMAA ve akrobasi uçağı seçimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(3), 1487-1498.
- Gomes, L. F. A. M.; de Mattos Fernandes, J. E. & de Mello, J. C. C. S. (2014). A Fuzzy Stochastic Approach to the Multicriteria Selection of an Aircraft for Regional Chartering. *Journal of Advanced Transportation*, 48(3), 223-237.
- Gürün, A. (2015). Sivil Havacılık Sektöründe İş Jeti Modeli Seçimi: AHP yöntemi uygulaması (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi) Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Holloway, S. (2008). *Straight And Level- Practical Airline Economics*, Hampshire: Ashgate Publishing Limited
- Kabak, M., & Erdebilli, B. (2021). *Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri - MS Excel ve software çözümlü uygulamalar*. Ankara: Nobel Yayın.
- Kıracı, K., & Bakır, M. (2018). Application of commercial aircraft selection in aviation Industry through multi-criteria decision making methods. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 16(4), 307-332.
- Kocakaya, K., Engin, T., Tektaş, M., & Aydın, U. (2021). Türkiye’de bölgesel havayolları için uçak tipi seçimi: Küresel bulanık AHP-TOPSIS yöntemlerinin entegrasyonu. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulama Dergisi*, 4(1), 27-58.
- Kocaoğlu, B., Odabaşoğlu, Ş., & Özaslan, İ. H. (2021). Türkiye’de pistonlu tek motorlu uçak seçiminde çok kriterli karar verme AHP ve TOPSIS yöntemlerinin kullanılması. *Journal of Aviation Research*, 3(2), 243-263.

- Lozano, J. M. S., & Rodriguez, O. N. (2020). Application of fuzzy reference ideal method (FRIM) to the military advanced training aircraft selection. *Applied Soft Computing Journal*, 88, 1-12.
- Oliver, W. (2018). Global Fleet & MRO market forecast commentary 2018-2028, <https://www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2018/jan/2018-2028-fleetandmro-forecast-commentary.html>. Erişim Tarihi: 14.06.2024.
- Özdemir, Y., Basligil, H., & Karaca, M. (2011). Aircraft selection using analytic network process: A case for Turkish airlines. *Proceedings of the World Congress on Engineering (WCE) Vol II*, London, 9-13.
- Peng, X., & Selvachandran, G. (2019). Pythagorean fuzzy set: State of the art and future directions. *Artificial Intelligence Review*, 52(3), 1873-1927.
- Schmitt, D., & Gollnick, V. (2016). *Air transport system*. New York: Springer.
- Şimşek, H., Özaslan, İ. H., & Eryılmaz, İ. (2022). Pilot Selection in Airline Organizations with the Analytical Hierarchy Process. *Journal of Aviation*, 6(2), 218-227.
- Tezcan, M. C. (2022). Uçak Teknisyenlerinde negatif vijilans faktörlerinin analitik belirlenmesi ve vijilans düzeylerinin ölçümü. *Journal of Aviation Research*, 4(1), 76-104.
- Tezcan, M. C. (2024). Pisagor Bulanık Kümelere Entegre AHP ve TOPSIS Yöntemleri ile Uçak Tipi Seçiminin Optimizasyonu: Havayolu İşlemeleri İçin Model Önerisi. *Journal of Aviation Research*, 6(1), 1-24. <https://doi.org/10.51785/jar.1371387>
- Tezcan, M. C., & Aktaş, B. B. (2022). İş sağlığı ve güvenliği performans değerlendirmesi: Uçak bakım organizasyonu üzerine bir araştırma. *OHS ACADEMY*, 5(1), 1-12.
- Yeh, C.-H. & Chang, Y.-H. (2009), Modeling Subjective Evaluation For Fuzzy Group Multicriteria Decision Making, *European Journal of Operational Research*, 194(2), 464–473.
- Wang, T., & Chang, T. (2007). Application of TOPSIS in evaluating initial training aircraft under a fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 33(4), 870-880.
- Wei, J. (2010). TOPSIS Method for Multiple Attribute Decision Making with Incomplete Weight Information in Linguistic Setting, *Journal of Convergence Information Technology*, 5(10), 181-187.