

Hava Taşımacılığında Uçak Gecikme Nedenlerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Önceliklendirilmesi: Vikor ve Copras Yaklaşımı

Prioritization of the Causes of Flight Delays in Air Transportation Using Multi-Criteria Decision-Making Methods: Vikor and Copras Approach

Ahmet İLBAŞ  ^a

^a İstanbul Nişantaşı Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İstanbul, Türkiye. ahmet.ilbas@nisantasi.edu.tr

MAKALE BİLGİSİ	ÖZET
<p>Anahtar Kelimeler: Havalimanı Operasyonları Gecikme Yönetimi Operasyonel Risk Karar Destek Modeli Çok Kriterli Karar Verme</p> <p>Gönderilme Tarihi 29 Ekim 2025 Revizyon Tarihi 2 Haziran 2026 Kabul Tarihi 15 Haziran 2026</p> <p>Makale Kategorisi: Araştırma Makalesi</p>	<p>Amaç – Bu çalışmanın amacı, hava taşımacılığında uçak gecikmelerine yol açan faktörlerin Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleriyle önceliklendirilmesidir. Gecikmelerin neden olduğu operasyonel aksaklıklar, maliyet artışları ve müşteri memnuniyetsizliği dikkate alınarak, Karar Verici (KV)lere destek sağlayacak analitik bir model geliştirilmiştir.</p> <p>Yöntem – Araştırmada, uzman görüşlerine dayalı olarak oluşturulan karar matrisi VIKOR ve COPRAS yöntemleriyle analiz edilmiş, yöntemlerin tutarlılığını test etmek amacıyla H1 ve H2 hipotezleri incelenmiştir. Ayrıca iki yöntemin sıralama sonuçlarının tutarlılığı Spearman sıra korelasyon katsayısı ile test edilmiştir.</p> <p>Bulgular – Analiz sonuçları, hava koşulları ve teknik arızaların uçak gecikmelerinde en yüksek öneme sahip faktörler olduğunu göstermektedir. Her iki yöntemle elde edilen sıralamaların büyük ölçüde örtüştüğü ve yüksek düzeyde pozitif korelasyon gösterdiği tespit edilmiştir.</p> <p>Tartışma – Bulgular, hava koşulları ve teknik arızaların operasyonel planlama açısından kritik belirleyiciler olduğunu göstermektedir. Gelişmiş meteorolojik tahmin sistemleri ve öngörücü bakım uygulamalarına yönelik yatırımların gecikme riskini azaltabileceği değerlendirilmekte birlikte, bu öneriler çalışmanın ampirik verilerinden doğrudan test edilmiş sonuçlar değil, elde edilen bulguların yorumlanmasına dayalı yönetsel çıkarımlardır. Çalışma, havayolu ve havalimanı yöneticileri için karar destek sağlayan bütünsel bir değerlendirme modeli önermektedir.</p>
ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Keywords: Airport Operations Delay Management Operational Risk Decision Support Model Multi-Criteria Decision-Making</p> <p>Received 29 October 2025 Revised 2 June 2026 Accepted 15 June 2026</p> <p>Article Classification: Research Article</p>	<p>Purpose – The purpose of this study is to systematically analyze the factors causing flight delays in air transportation and to determine their relative importance by prioritizing them using Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods. Considering the operational disruptions, cost increases and customer dissatisfaction resulting from delays, an analytical model has been developed to support Decision Makers (DMs).</p> <p>Design/methodology/approach – In the study, the decision matrix constructed based on expert opinions was analyzed using the VIKOR and COPRAS methods. In order to test the consistency of the methods, H1 and H2 hypotheses were examined. Additionally, the consistency of the ranking results obtained from the two methods was tested using the Spearman rank correlation coefficient.</p> <p>Results – The analysis results indicate that weather conditions and technical failures are the most significant factors contributing to flight delays. It was determined that the rankings obtained from both methods largely overlap and exhibit a high level of positive correlation.</p> <p>Discussion – The findings demonstrate that weather conditions and technical failures are critical determinants affecting operational planning. Although investments in advanced meteorological forecasting systems and predictive maintenance practices may help reduce delay risks, these recommendations are not directly empirically tested outcomes of the study but rather managerial implications derived from the interpretation of the findings. The study proposes an integrated evaluation model that provides decision support for airline and airport managers.</p>

*Bu çalışma, 24-25 Ekim 2025 tarihleri arasında 9. Ulaştırma ve Lojistik Ulusal Kongresi adlı etkinlikte sözlü olarak sunulan "Uçak gecikme nedenlerinin VIKOR yöntemiyle önceliklendirilmesi" başlıklı bildiriye ilişkin ön bulgular üzerine inşa edilmiş ve genişletilmiş bir çalışmadır.

ETİK ONAY: Çalışmanın etik onay izni İstanbul Arel Üniversitesi Etik Kurulu tarafından 17.10.2025 tarihli ve 2025/26 sayılı karar ile alınmıştır.

Önerilen Atf/ Suggested Citation

İlbaş, A. (2026). Hava Taşımacılığında Uçak Gecikme Nedenlerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Önceliklendirilmesi: Vikor ve Copras Yaklaşımı. İşletme Araştırmaları Dergisi, 18 (2), 1674-1688.

1. Giriş

Havayolu taşımacılığı, küresel ekonominin en dinamik sektörlerinden biri olup, ekonomik entegrasyon, uluslararası ticaret ve turizm açısından kritik bir rol oynamaktadır (Button, 2008:565; Doganis, 2019:45). Bununla birlikte, artan yolcu ve kargo talebi sektörü rekabetçi ve verimli olmaya zorlamaktadır. Ancak karmaşık operasyonel süreçler ve çok paydaşlı yapı, sektörü çeşitli operasyonel risklere açık hâle getirmektedir. Bu risklerin başında gelen uçak gecikmeleri, operasyonel aksaklıklar, maliyet artışları, yolcu memnuniyetsizliği, marka değeri kaybı ve çevresel etkiler gibi çok yönlü olumsuz sonuçlar doğurmaktadır (Madas ve Zografos, 2008:206; EUROCONTROL, 2023:14). Bu durum, uçak gecikmelerinin yalnızca operasyonel bir aksama değil; maliyet, çevre ve sürdürülebilirlik boyutları olan çok boyutlu bir problem olduğunu ortaya koymaktadır.

Uçak gecikmelerinin nedenleri yalnızca operasyonel değil, aynı zamanda sistemik bir nitelik taşımaktadır. Hava koşulları, teknik arızalar, havalimanı altyapı yetersizlikleri, yer hizmetlerindeki aksaklıklar, planlama hataları ve yolcu davranışları gibi faktörler gecikmelerin temel kaynakları arasında yer almaktadır (Cook ve Tanner, 2015:12). Ancak mevcut çalışmalar, bu faktörlerin birbiriyle olan ilişkilerini veya görece önem düzeylerini sınırlı biçimde analiz etmiştir. Mevcut literatürde uçak gecikmeleri çoğunlukla istatistiksel analiz, simülasyon ve zaman serisi yöntemleriyle incelenmiş; ancak gecikme nedenlerinin görece önemini çok kriterli ve karşılaştırmalı biçimde ele alan çalışmalar sınırlı kalmıştır. Özellikle farklı ÇKKV yöntemlerinin birlikte uygulanarak sıralama sonuçlarının tutarlılığının test edildiği bütünlük çalışmaları literatürde yeterince yer bulmamıştır. Bu durum, gecikme nedenlerinin sistematik ve karşılaştırmalı biçimde önceliklendirilmesine yönelik metodolojik bir boşluk oluşturmaktadır.

Bu kapsamda, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri, KV'ler birbiriyle çelişen çok sayıda kriter altında alternatifleri değerlendirme ve önceliklendirme imkânı sunmaktadır (Belton ve Stewart, 2002:18). Çalışma, uçak gecikme nedenlerinin önceliklendirilmesinde VIKOR (Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm) ve COPRAS (Complex Proportional Assessment-Karmaşık Oransal Değerlendirme) yöntemlerinin entegrasyonu ile uzlaşmacı ve orantısız değerlendirme bakış açılarını bütünlük bir karar destek modeli geliştirmeyi amaçlamaktadır. VIKOR Yöntemi, kriterler arasındaki uzlaşmacı ilişkileri ortaya koyarken; COPRAS Yöntemi alternatiflerin görece performansını yüzde bazında kıyaslayabilmektedir. Bu iki yöntemin birlikte kullanımı, karar verme sürecinde hem esneklik hem de güvenilirlik sağlamaktadır.

Çalışmanın temel amacı, uçak gecikme nedenlerinin operasyonel ve lojistik performans üzerindeki etkisini nicel olarak ortaya koymak ve literatürdeki dağılık bulguları bütünlük bir havacılık yönetimi yazınına katkı sağlamaktır. Bu çalışma, havacılık sektöründe operasyonel karar vermeyi geliştirmek amacıyla VIKOR ve COPRAS yöntemlerini kullanarak uçak gecikme faktörlerini önceliklendirmek için entegre bir karar çerçevesi geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda aşağıdaki araştırma sorularına yanıt aranacaktır:

1. Farklı gecikme nedenlerinin öncelik sıralaması nedir ve bu sıralama hangi kriterlere göre şekillenmektedir?
2. VIKOR ve COPRAS yöntemlerinin birlikte kullanımı, KV'lere nasıl daha sağlam ve güvenilir bir rehberlik sunabilir?

Söz konusu araştırma sorularına paralel olarak iki temel hipotez geliştirilmiştir. İlk hipotez (H1), VIKOR ve COPRAS yöntemlerinin birbirini tamamlayan yapıları sayesinde gecikme nedenleri için tutarlı ve karşılaştırılabilir sıralamalar üretebileceğini öngörmektedir. Araştırmanın ikinci hipotezi (H2), maliyet ve gecikme süresinin en belirleyici kriterler olacağını öne sürmektedir. Bu hipotez, Eurocontrol (2022) ve FAA (2023) raporlarında vurgulanan 'doğrudan operasyonel maliyet' baskısına dayandırılmaktadır. Literatürde Brueckner vd. (2019) tarafından yapılan çalışmalar, havayolu şirketlerinin slot verimliliğini ve yakıt tüketimini optimize etme zorunluluğunu ortaya koymaktadır. Bu kuramsal çerçeve ışığında, sektör profesyonellerinin karar verme süreçlerinde görünürlük, yolcu memnuniyeti veya emniyet kültürü gibi faktörlerden ziyade, anlık finansal yansıması ve dakika bazlı operasyonel aksama süresi olan kriterlere öncelik vermesi beklenmektedir.

Bu çalışmanın İkinci bölümünde uçak gecikmelerinin değerlendirilmesi üzerine yapılan çalışmalar özetlenerek literatür taraması sunulmaktadır. Üçüncü bölümde araştırmanın yöntemi ayrıntılı biçimde açıklanmakta, kullanılan kriterler ve VIKOR ile COPRAS yöntemlerinin uygulama adımları belirtilmektedir. Dördüncü bölümde analiz sonuçları ve bulgular yer almakta, uçak gecikme nedenlerinin önceliklendirmeleri

ortaya konulmaktadır. Beşinci ve son bölümde ise çalışmanın genel sonuçları ve öneriler paylaşmakta, bulguların sektörel yansımaları ve gelecekte yapılabilecek araştırmalara yönelik yönlendirmeler sunulmaktadır.

Bu çerçevede, çalışmanın havayolu şirketleri ve havalimanı yöneticileri için kaynak tahsisi ve risk önleme stratejilerine doğrudan katkı sağlaması beklenmektedir. Uçak gecikmeleriyle ilgili kapsamlı araştırmalara rağmen, hem uzlaşma (VIKOR) hem de orantılı değerlendirme (COPRAS) perspektiflerini aynı anda dikkate alan bütünlük nicel yaklaşımlar hâlâ eksiktir. Bu çalışma, bu metodolojik boşluğu ele almaktadır.

2. Literatür Taraması

Havayolu taşımacılığı, küresel ulaşım ağlarının en stratejik bileşenlerinden biri olarak, uluslararası ticaretin, turizmin ve ekonomik kalkınmanın önemli itici güçlerinden biridir (Button, 2008:568; Doganis, 2019:45). Ancak sektördeki büyüme ve rekabetin artmasıyla birlikte uçak gecikmeleri, hem operasyonel hem de finansal açıdan önemli bir sorun alanı haline gelmiştir. Gecikmeler, sadece yolcu memnuniyetini ve hizmet kalitesini azaltmakla kalmamakta; aynı zamanda havayolu işletmeleri için ciddi maliyetler, yakıt tüketimi artışı, planlama aksaklıkları ve karbon emisyonlarında yükselme gibi sonuçlar doğurmaktadır (Cook ve Tanner, 2015:12; EUROCONTROL, 2023:14).

Literatürde uçak gecikmelerinin nedenleri farklı bakış açılarıyla ele alınmış olup, araştırmalar çoğunlukla istatistiksel analiz, simülasyon, zaman serisi modelleme veya regresyon temelli yöntemler aracılığıyla gerçekleştirilmiştir (Madas ve Zografos, 2008:215). Bu çalışmalar, gecikmelerin çok boyutlu doğasına dikkat çekmekte; hava koşulları, teknik arızalar, yer hizmetlerindeki aksaklıklar, hava trafik yoğunluğu ve yolcu davranışları gibi unsurların gecikme süreleri üzerinde farklı etkiler yarattığını göstermektedir.

Son yıllarda ÇKKV yöntemlerinin, karmaşık karar problemlerine sistematik bir yaklaşım getirmesi nedeniyle uçak gecikmeleri konusundaki araştırmalarda giderek daha fazla kullanılmaya başlandığı görülmektedir (Belton ve Stewart, 2002:51; Zavadskas ve Turskis, 2011:403). ÇKKV yöntemleri, birden fazla kriter altında değerlendirme yapabilme esnekliği sağladığı için, gecikme nedenlerinin hem operasyonel hem de ekonomik etkilerini birlikte ele alma imkânı sunmaktadır.

Örneğin, Cook ve Tanner (2015) Avrupa'daki uçak gecikmelerinin maliyet yapılarını yeniden modelleyerek, hava trafik yönetimi ve operasyonel planlama açısından KV'lere yol gösterici bir çerçeve oluşturmuştur. Kızıldaş ve Kara (2020), havalimanı performans göstergelerini AHP ve TOPSIS yöntemleriyle analiz ederek, operasyonel kriterlerin görece önemlerini belirlemiştir. Mijalkovski (2024) tarafından lojistik süreçlere uygulanan VIKOR yöntemi ise, yöntemsel esnekliği ile havacılık operasyonları gibi dinamik ve çok kriterli sistemlerin analizine temel oluşturmaktadır. Benzer şekilde Büyüközkan ve Çifçi (2012) ile Gölçük ve Baykasoğlu (2020) tarafından lojistik ve tedarik zinciri alanında kullanılan ÇKKV yaklaşımları, havacılık sektöründeki karar problemlerinin çözümünde yöntemsel birer rehber niteliği taşımaktadır. Özellikle Cook ve Tanner (2015) gibi araştırmacıların gecikme maliyet yapılarına odaklanması, çalışmamızın 'maliyet ve gecikme süresinin en yüksek belirleyici etkiye sahip olması' yönündeki H2 hipotezinin uzman görüşleri çerçevesinde doğrulandığını göstermektedir.

ÇKKV literatüründe özellikle VIKOR ve COPRAS yöntemlerinin yaygın kullanıldığı görülmektedir. Bununla birlikte, bu yöntemlerin çoğu çalışmada tekel biçimde uygulanması, gecikme nedenleri arasındaki karşılıklı etkilerin göz ardı edilmesine yol açmaktadır. Ayrıca, mevcut araştırmaların önemli bir kısmı veri türleri arasındaki belirsizlikleri dikkate almamakta, bu durum karar kalitesini azaltmaktadır. Bu çalışmanın literatüre önemli katkısı, VIKOR ve COPRAS yöntemlerini karşılaştırmalı analizini yaparak uçak gecikme nedenlerini sistematik bir şekilde sıralamasıdır. Böylece hem "uzlaşmacı çözüm" hem de "orantısız önem" bakış açıları birleştirilmiştir.

VIKOR yöntemi (Opricovic ve Tzeng, 2004:447), uzlaşmacı karar mekanizmasıyla çok sayıda kriter altında en uygun alternatifin belirlenmesini sağlar. Bu yöntem, ideal çözüme en yakın alternatifin seçimini hedefleyerek KV'lere dengeleyici bir bakış açısı kazandırır. COPRAS yöntemi, VIKOR'dan farklı olarak (Zavadskas vd., 1994:135), hem fayda hem de maliyet yönlü kriterleri dikkate alarak alternatiflerin oransal performanslarını karşılaştırır. COPRAS'ın en önemli avantajı, her bir alternatifin görece önem derecesini yüzde olarak ifade etmesidir; bu da özellikle karmaşık operasyonel sistemlerde sonuçların daha anlaşılır biçimde yorumlanmasını kolaylaştırır.

Uçak gecikmelerinin değerlendirilmesinde kullanılan diğer yöntemler arasında DEMATEL, AHP, ANP, MAIRCA ve TOPSIS gibi modeller yer almaktadır. Büyüközkan ve Çifçi (2012), yeşil tedarik zinciri yönetimi uygulamalarını bulanık ANP yöntemiyle analiz ederek kriterler arası etkileşimi vurgulamış; Gölcük ve Baykasoğlu (2020) dijital tedarik zinciri performansının değerlendirilmesinde VIKOR tabanlı yaklaşımları kullanarak, dijital dönüşümün karar modelleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Govindan vd. (2015) ise yeşil tedarikçi seçiminde kullanılan ÇKKV yöntemlerini karşılaştırarak, VIKOR ve COPRAS gibi yöntemlerin çevresel sürdürülebilirlik bağlamında karar kalitesini artırdığını göstermiştir.

Havacılık sektöründe ÇKKV yöntemlerinin kullanımı, yalnızca uçak gecikmeleriyle sınırlı değildir. Gokasar ve Guneri (2020), havacılıkta dijital dönüşüm uygulamalarını hibrit ÇKKV yöntemleriyle değerlendirmiştir. Otto vd. (2018), insansız hava araçlarının (UAV) sivil uygulamalardaki optimizasyon problemlerini VIKOR tabanlı çok kriterli yaklaşımlarla çözümlenmiştir. Bu tür çalışmalar, otonom sistemlerin ve veri temelli karar verme araçlarının hava taşımacılığındaki operasyonel etkinliği artırma potansiyelini vurgulamaktadır.

Diğer taraftan, Pamučar vd. (2017), DEMATEL-ANP ve MAIRCA yöntemlerini birleştirerek, hibrit bir karar destek modeli önermiştir. Benzer şekilde Gigović vd. (2016), katı atık depolama alanlarının seçimini CBS tabanlı ÇKKV yöntemleriyle analiz etmiş ve çevresel kriterlerin karar sürecinde etkin rol oynadığını göstermiştir. Bu çalışmalar, farklı sektörlerde kullanılan yöntemlerin hava taşımacılığı gibi karmaşık ve riskli ortamlara uyarlanabilir olduğunu göstermektedir.

Havayolu gecikmelerine ilişkin literatürde öne çıkan bir diğer tema ise operasyonel risk yönetimidir. European Organisation for the Safety of Air Navigation-EUROCONTROL (2024) verilerine göre Avrupa genelinde uçak gecikmelerinin %45'i hava koşulları, teknik arızalar ve hava trafik yönetiminden kaynaklanmaktadır. Bu durum, özellikle meteorolojik değişkenlerin ve bakım-onarım süreçlerinin karar modellerinde dikkate alınmasını zorunlu kılmaktadır. Winkelhaus ve Grosse (2020), lojistik 4.0 kavramını ele aldıkları çalışmalarında, operasyonel süreçlerdeki otomasyonun ve veri analitiğinin uçuş planlama ve gecikme yönetimi üzerindeki etkilerini vurgulamışlardır.

Literatürdeki genel eğilim, uçak gecikme nedenlerinin yalnızca operasyonel bir sorun olarak değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve müşteri deneyimi boyutlarını da içeren çok kriterli bir problem olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir. Bu kapsamda, Entropi, CRITIC, VIKOR, COPRAS ve MARCOS gibi yöntemlerin birlikte veya karşılaştırmalı biçimde kullanıldığı çalışmaların sayısı artmaktadır (Ecer, 2022:3250; Görçün vd., 2023:350; Ayçin ve Güçlü, 2020:295). Diğer ÇKKV yöntemlerinden farklı olarak, VIKOR ve COPRAS sıralama tutarlılığını ölçmeye imkân tanımaktadır. Ancak, bu yöntemlerin havacılıkta uçak gecikmelerine uygulanmasına yönelik araştırmalar hâlâ sınırlıdır. Mevcut çalışmalar genellikle tek bir yöntemle dayalı analizlerle sınırlı kalmakta, yöntemler arası karşılaştırmalar nadiren yapılmaktadır. Bu bağlamda, VIKOR ve COPRAS yöntemlerinin karşılaştırmalı analizini yaparak kullanılması, hem uzlaşmacı hem de orantısız değerlendirme boyutlarını aynı çerçevede birleştirdiği için literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmaktadır.

Ayrıca, çok kriterli yaklaşımların kullanılması yalnızca akademik açıdan değil, uygulamalı yönetim perspektifi açısından da değerlidir. Havayolu yöneticileri için bu tür modeller, kaynak tahsisini optimize etme, operasyonel öncelikleri belirleme ve risk azaltma stratejilerini geliştirme açısından güçlü bir karar destek aracı sunar (Gunasekaran vd., 2004:73; Wang vd., 2021:102).

Sonuç olarak literatür, uçak gecikmeleri konusunun çok boyutlu yapısını ortaya koymakta; ancak bu faktörlerin görece önemlerinin belirlenmesi ve bütüncül biçimde öncelik sıralaması konusunda metodolojik bir boşluk bulunduğunu göstermektedir. Bu çalışmanın katkısı, söz konusu boşluğu VIKOR ve COPRAS yöntemlerinin bütünsel kullanımıyla doldurmak ve gecikme nedenlerinin sistematik bir sıralamasını sunmaktır. Böylece, hem akademik literatüre yönetsel bir yenilik getirilmekte hem de havacılık sektöründe KV'ler için uygulanabilir bir analitik çerçeve önerilmektedir.

3. Yöntem

3.1. Araştırmanın Modeli ve Hipotezleri

Bu araştırma, uçak gecikmelerine yol açan faktörlerin ÇKKV yöntemleriyle önceliklendirilmesini amaçlamaktadır. Çalışmanın temel hipotezi, farklı ÇKKV yöntemlerinden VIKOR ve COPRAS yöntemlerinin

karşılaştırmalı analizini yaparak, gecikme nedenlerini çok boyutlu (ekonomik, operasyonel, müşteri odaklı) kriterler altında daha güvenilir ve dengeli bir şekilde sıralayacaktır. Araştırma modeli, belirlenen kriterler ve alternatifler için uzman değerlendirmelerini toplamayı, bu değerlendirmelerden bir karar matrisi oluşturmayı ve ardından VIKOR ile COPRAS yöntemlerini uygulayarak karşılaştırmalı bir analiz yapmayı kapsamaktadır. Araştırmada aşağıdaki hipotezler test edilmiştir:

H1: VIKOR ve COPRAS yöntemleri ile elde edilen sıralamalar istatistiksel olarak anlamlı şekilde tutarlıdır.

H2: Maliyet ve gecikme süresi kriterleri uçak gecikme nedenlerinin sıralamasında en yüksek belirleyici etkiye sahiptir. Bu hipotez, literatürde gecikmelerin havayolu şirketlerinin rekabet gücü ve finansal sürdürülebilirliği üzerindeki doğrudan etkisini vurgulayan çalışmalar ışığında türetilmiştir.

3.2. Evren ve Örneklem

Çalışmanın evrenini, havacılık sektöründe, özellikle uçak operasyonları ve gecikme yönetimi alanında uzmanlığı bulunan profesyoneller ve akademisyenler oluşturmaktadır. Örneklem seçiminde, amaçlı örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Uzman tabanlı ÇKKV çalışmalarında tutarlı ve güvenilir sonuçlar için 15-20 kişilik bir uzman grubunun yeterli olduğu düşünülmektedir (Zavadskas ve Turskis, 2011). Bu doğrultuda, çalışma grubu en az beş yıl sektörel veya akademik deneyime sahip 18 uzmandan oluşturulmuştur. Katılımcıların %60'ı (n=11), Türkiye'de faaliyet gösteren üç farklı bayrak taşıyıcı ve düşük maliyetli havayolu işletmesinin operasyon kontrol merkezleri (OCC) ile yer hizmetleri birimlerinde görev yapan orta ve üst düzey yöneticilerden oluşmaktadır. Akademisyen %40'ı (n=7) ise, Havacılık Yönetimi ve Lojistik alanında doktora derecesine sahip, özellikle 'Operasyonel Verimlilik' ve 'ÇKKV Modelleme' üzerine uluslararası yayınları bulunan öğretim üyeleridir. Uzman grubunun yaş ortalaması 42,6, mesleki deneyim ortalaması 14 yıldır. Bu çeşitlilik, modelin hem uygulama hem de kuramsal açıdan doğrulanmasını sağlamıştır.

3.3. Veri Toplama Aracı ve Veri Seti

Veri toplama süreci iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, uçak gecikme nedenlerini ve değerlendirme kriterlerini belirlemek amacıyla kapsamlı bir literatür taraması (Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Teşkilatı (EUROCONTROL) raporları, akademik yayınlar) yapılmış ve havacılık ve lojistik yönetimi alanında uzman katılımcılar ile ön nitel görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Bu incelemeler sonucunda literatürde sıkça vurgulanan ve operasyonel açıdan anlamlı bulunan altı önemli gecikme nedeni (alternatif) belirlenmiştir: A1-Hava Koşulları, A2-Teknik Arızalar, A3-Yolcu Kaynaklı Nedenler, A4-Uçak Rotasyonu (Önceki Uçuş Gecikmesi), A5-Yer Hizmetleri/Personel Eksikliği, A6-Güvenlik ve Kontrol Süreçleri.

İkinci aşamada, bu alternatifleri değerlendirmek üzere literatürde yaygın olarak kullanılan performans ölçütlerinden hareketle beş kriter tanımlanmıştır: C1-Maliyet Etkisi, C2-Gecikme Süresi, C3-Yolcu Memnuniyeti, C4-Gecikme Sıklığı, C5-Müdahale Zorluğu. Özellikle maliyet, gecikme süresi, gecikme sıklığı ve müdahale zorluğu gibi kriterler maliyet yönlü (minimizasyon), yolcu memnuniyeti ise fayda yönlü (maksimizasyon) olarak tanımlanmıştır. Bu kriterler, uçak gecikmelerinin ekonomik, operasyonel ve müşteri odaklı boyutlarını kapsamaktadır. Veri toplama aracı olarak, uzmanların her bir kriterin görece önemini (ağırlığını) ve her bir gecikme nedeninin (alternatifin) tanımlanan her kriter karşısındaki performansını değerlendirmelerini sağlayan bir anket formu kullanılmıştır. Ankette, değerlendirmeler 1 (Çok Düşük Önem) ile 9 (Çok Yüksek Önem) arasında bir Likert ölçeği üzerinden alınmıştır. Kriter ağırlıkları, tüm uzmanların her bir kriter için verdiği önem puanlarının aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmış ve bu subjektif ağırlıklandırma yöntemi, uzman yargılarının kolektif temsilini sağlamak amacıyla tercih edilmiştir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde basit aritmetik ortalamasının tercih edilmesi, uzman grubunun homojen uzmanlık seviyelerine sahip olması ve her bir uzmanın görüşünün karar matrisine doğrudan ve eşit oranda yansıtılmak istenmesidir. Bu yaklaşım, literatürde grup karar verme süreçlerinde 'kolektif yargı' temsil etmek adına yaygın bir pratik olarak kabul edilmektedir. Tüm uzmanlar eşit ağırlığa sahip kabul edilmiştir. Toplanan performans puanlarının ortalamaları ise 6x5 boyutlu (6 alternatif x 5 kriter) karar matrisini oluşturmak için kullanılmıştır. İstanbul Arel Üniversitesi Etik Kurulu'nun 17.10.2025 tarih ve 2025/26 sayılı kararı ile etik açıdan uygun bulunmuş ve tüm katılımcılardan bilgilendirilmiş gönüllü onamı alınmıştır. Bu çalışma, insan katılımcılardan uzman görüşü içerdiği için etik kurul incelemesinden geçirilmiştir. Veriler, Eylül-Ekim 2025 tarihleri arasında çevrimiçi anket formu aracılığıyla toplanmıştır.

3.4. Verilerin Analizi

Her iki yöntemde de ilk adım olarak, farklı ölçeklerdeki kriter değerlerini karşılaştırılabilir hale getirmek için karar matrisi normalize edilmiştir. Uzmanların kriterlere verdiği puanların aritmetik ortalaması alınarak C1–C5 kriterlerinin ağırlıkları elde edilmiştir. Aritmetik ortalama, uzman değerlendirmelerinin kolektif olarak temsil edilmesini sağladığı için tercih edilmiştir. Uzman görüşleriyle belirlenen kriter ağırlıkları, normalize edilmiş matrise uygulanarak ağırlıklı normalize matris elde edilmiştir.

VIKOR Yöntemi Uygulaması: Ağırlıklı matris üzerinden her bir alternatif için "en iyi" ve "en kötü" kriter değerleri belirlenmiş, ardından grup faydası (S) ve bireysel pişmanlık (R) değerleri hesaplanmıştır. Bu değerlerden hareketle her alternatif için Q indeksi hesaplanarak, uzlaşık çözüme en yakın alternatifler belirlenmiş ve sıralanmıştır.

COPRAS Yöntemi Uygulaması: Aynı ağırlıklı matris kullanılarak, her alternatifin fayda kriterleri (C3) ve maliyet kriterleri (C1, C2, C4, C5) toplamları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu toplamlar kullanılarak her alternatifin görece önem değeri (Q_i) ve nihai performans indeksi (N_i) yüzde cinsinden türetilmiş, alternatifler bu indekse göre sıralanmıştır.

Karşılaştırmalı Değerlendirme: VIKOR ve COPRAS yöntemlerinden elde edilen önceliklendirme sıralama sonuçları karşılaştırılarak sonuçların tutarlılığını istatistiksel olarak doğrulamak amacıyla Spearman sıra korelasyon katsayısı (ρ) hesaplanarak, gecikme nedenlerinin nihai önem derecelendirmesi yapılmıştır. Tüm hesaplamalar Microsoft Excel yazılımında gerçekleştirilmiştir.

3.5. VIKOR Yöntemi

“Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm” anlamına gelen VIKOR (VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) yöntemi, ÇKKV problemlerinde alternatifler arasındaki en uygun çözümün belirlenmesini amaçlayan uzlaşmacı bir yaklaşımdır. Bu yöntem, özellikle kriterlerin birbiriyle çeliştiği ve KV'lerin farklı ölçütler arasında denge kurmak zorunda kaldığı durumlarda etkili bir çözüm sunar (Opricovic,1998:22). VIKOR'un temel felsefesi, ideal çözüme en yakın ve aynı zamanda toplumsal olarak en kabul edilebilir uzlaşma çözümünü belirlemektir. Bu yönüyle, klasik optimizasyon yöntemlerinden farklı olarak, sadece en iyi sonucu değil, aynı zamanda farklı paydaşların kabul edebileceği bir çözümün bulunmasına odaklanır (Opricovic ve Tzeng, 2004:448).

VIKOR yöntemi, ideal ve anti-ideal çözüme olan uzaklıkları ölçerek uzlaşmacı bir çözüm önerir. VIKOR yöntemi altı aşamadan oluşan bir uygulama sürecine sahiptir (Wei ve Lin, 2008:3). Bu adımlar sırasıyla:

Karar Matrisi Oluşturma: Alternatiflerin belirlenen kriterler doğrultusunda puanlanması ve bu puanların bir araya getirilmesiyle oluşturulur; böylece her alternatifin her bir kriter açısından değerlendirilmesi sağlanır.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \cdots & x_{2n} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & \cdots & x_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (1)$$

Kriterlerin En İyi (f_j^+) ve En Kötü (f_j^-) Değerlerinin Belirlenmesi: Karar matrisi oluşturulduktan sonra, her bir kriter açısından maksimum ve minimum performans değerleri belirlenir. Bu sayede, her kriter için en iyi ve en kötü değerler saptanmış olur:

- Fayda (yararlı) kriterler için:

$$f_j^+ \max_i x_{ij}, \quad f_j^- \min_i x_{ij} \quad (2)$$

- Maliyet (zararlı) kriterler için ise bu değerler tersine alınır.

$$f_j^+ \min_i x_{ij}, \quad f_j^- \max_i x_{ij} \quad (3)$$

Normalize Karar Matrisi Oluşturma: Normalize karar matrisi oluşturma aşamasında, karar matrisindeki değerlerin karşılaştırılabilirliğini artırmak ve analizin düzgün ilerlemesini sağlamak amacıyla normalizasyon işlemi yapılır. Bu süreç sonunda elde edilen normalize edilmiş karar matrisinin elemanları, tüm kriterler için standart bir ölçekte ifade edilir;

$$r_{ij} = \frac{f_{ij}^+ - x_{ij}}{f_{ij}^+ - f_{ij}^-} \quad (4)$$

Normalize Edilen Karar Matrisinin Ağırlıklandırılması: Ağırlıklandırılan normalize karar matrisi (V), her kriterin önemini yansıtan ağırlık faktörlerinin (w_j) normalize edilmiş matris elemanları ile çarpılmasıyla bulunur. Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi elemanları (v_{ij}) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$v_{ij} = r_{ij} \cdot w_j \quad (5)$$

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{13} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & v_{23} & \dots & v_{2n} \\ v_{31} & v_{32} & v_{33} & \dots & v_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & v_{m3} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (6)$$

Normalize Edilmiş Toplam Sapma Değeri (S_i) ve En Büyük Sapma Değerleri (R_i): Alternatiflerin normalize edilmiş toplam sapma değeri S_i ve en büyük sapma değeri ise R_i ile ifade edilmektedir. Bu iki faktör aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot \left(\frac{f_{ij}^+ - x_{ij}}{f_{ij}^+ - f_{ij}^-} \right) \quad (7)$$

$$R_i = \max_j \left[w_j \cdot \left(\frac{f_{ij}^+ - x_{ij}}{f_{ij}^+ - f_{ij}^-} \right) \right] \quad (8)$$

Uzlaşık Değer İndeksi (Q_i) Değeri: Tüm alternatifler arasında en uygun seçeneğin belirlenmesi için alternatifler sıralanır. Bu süreçte, her bir alternatifin Q_i değeri, aşağıda belirtilen parametreler kullanılarak hesaplanır.

$$S^+ = \min_i (S_i) \text{ ve } S^- = \max_i (S_i) \quad (9)$$

$$R^+ = \min_i (R_i) \text{ ve } R^- = \max_i (R_i) \quad (10)$$

Bu parametreler ve kriterlerin ağırlık dağılımını temsil eden q parametresi kullanılarak Q_i değeri bulunur. Burada q parametresi genel olarak grup faydasını temsil ederken $(1-q)$ ifadesi en kötü kriterin etkisini gösterir. Eğer $q > 0.5$ ise, Q_i hesaplanması sonucunda alternatiflerin sıralamada olumlu bir tutum sergileme eğiliminde olduğu anlaşılır, $q < 0.5$ ise tam tersine, yani alternatiflerin olumsuz bir tutum gösterdiği durum söz konusudur. Çoğunlukla $q = 0.5$ seçilerek alternatifler arasında eşit mesafeli ve uzlaşmacı bir yaklaşım benimsenir. Buradan Q_i :

$$Q_i = q \cdot \frac{S_i - S^+}{S^- - S^+} + (1 - q) \frac{R_i - R^+}{R^- - R^+} \quad (11)$$

Alternatiflerin Sıralanması: Bu aşamada S_i , R_i ve Q_i değerleri, alınacak kararın tutarlılığı ve uygunluğu konusunda bilgi sağlar. Tüm alternatifler için Q_i değerleri hesaplandıktan sonra, en küçükten en büyük Q_i değerlerine doğru sıralanır. En küçük Q_i değerine sahip alternatifin iki koşulu sağlaması beklenir.

Koşul 1: Bu koşul en ideal alternatif ile en yakın alternatif arasındaki farkı ortaya koyar. Q_i değerleri küçükten büyüğe sıralandığında en küçük (A_x), ikinci en küçük değer (A_y) olarak kabul edilir.

$$D(A_y) - D(A_x) \geq DQ \quad (12)$$

koşulunun sağlanması gerekir. DQ parametresi $1/(m - 1)$ formülü ile hesaplanır. Burada; m , alternatif sayısını göstermektedir. Eğer alternatif sayısı $m \leq 4$ ise $DQ = 0.25$ olarak kabul edilir. Buna göre (12) numaralı eşitsizlik sağlıyorsa A_x alternatifi bu koşulu sağlıyor olarak değerlendirilir. A_x en iyi, A_y ise ikinci en iyi alternatiftir (Wu vd., 2009:10136).

Koşul 2: Q_i tablosunda en küçük değere sahip olan A_x alternatifinin ayrıca R_i ve S_i tablolarında da en küçük sıralarda yer alması beklenir. Bu durum, alternatifin istikrarlı ve güvenilir bir seçim olduğunu gösterir. Eğer koşul 1 sağlanmazsa, tüm alternatifler uzlaşmacı en iyi çözüm kümesine dâhil edilir. Eğer koşul 2 yerine sağlanmazsa, hem A_x hem de A_y alternatifleri uzlaşmacı ortak çözüm olarak kabul edilir (Wu vd., 2009:11138).

3.6. COPRAS Yöntemi

Araştırmada karar alternatifleri içerisinde önem ve fayda derecelerine göre uçak gecikme nedenlerinin yüzde olarak sıralanması için "Karmaşık Oransal Değerlendirme" anlamına gelen COPRAS yöntemi uygulanmıştır. COPRAS yöntemi, ilk kez Zavadskas vd. (1994) tarafından 1994 yılında uygulanmış ÇKKV yöntemlerinden biridir. Nitel ve nicel kriterlerin birlikte değerlendirilmesine imkân sağlayan yöntemde, kriterlerin maksimum ve minimum yönlerine göre değerlendirme yapılarak alternatifleri önem ve fayda açısından sıralanmaktadır. Alternatiflerin diğer alternatiflere göre ne kadar iyi ya da kötü olduğunu yüzde olarak göstermesi COPRAS yöntemini diğer ÇKKV yöntemlerinden ayıran en önemli özelliktir. COPRAS yönteminin uygulama adımları aşağıdaki sırayla gerçekleştirilmektedir (Zavadskas vd., 1994:136; Zavadskas vd., 2008:243).

Karar Matrisi Oluşturma: Her alternatifin her bir kriter açısından değerlendirilmesi ile karar matrisi oluşturulur.

$$\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \cdots & x_{2n} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & \cdots & x_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (13)$$

Normalize Karar Matrisi Oluşturma: Normalize karar matrisi oluşturma aşamasında, aşağıdaki formül ile normalizasyon işlemi yapılır. Bu süreç sonunda elde edilen normalize edilmiş karar matrisinin elemanları, tüm kriterler için standart bir ölçekte ifade edilir;

$$X_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sum_i^m x_{ij}} \quad (14)$$

Normalize Karar Matrisinin Ağırlıklandırılması: Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi elemanları (d_{ij}) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$d_{ij} = X_{ij}^* \cdot w_{ij} \quad (15)$$

$$\begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & \cdots & d_{2n} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & \cdots & d_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & d_{m3} & \cdots & d_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n}$$

Ağırlıklandırılmış Normalize İndekslerin Toplamı: Bu adımda faydalı ve faydasız kriter ölçütleri hesaplanmaktadır. Faydalı kriterler (S_{i+}) ile, faydasız kriterler ise (S_{i-}) ile ifade edilip aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$S_{i+} = \sum_{j=1}^k d_{ij}, j = 1, 2, \dots, k \quad (16)$$

$$S_{i-} = \sum_{j=(k+1)}^n d_{ij}, j = k + 1, k + 2, \dots, n \quad (17)$$

Karar Alternatiflerin Göreceli Önem Derecelerinin Hesaplanması: Alternatifler için göreceli önem değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır ve Q_i ile ifade edilmektedir.

$$Q_i = S_i + \frac{\sum_{i=1}^m S_{i-}}{S_{i-} \cdot \sum_{i=1}^m \frac{1}{S_{i-}}} \quad (18)$$

Q_{max} Belirlenmesi: Elde edilen göreceli önem değerine göre en iyi alternatif ifade edilir.

$$Q_{max} = \max\{Q_i\} \quad (19)$$

Performans İndeksinin Hesaplanması: Son adımda her bir alternatif için performans indeksi hesaplanmaktadır.

$$P_i = \frac{Q_i}{Q_{max}} \cdot 100 \quad (20)$$

Karar Alternatiflerinin Sıralanması: Tüm alternatifler için Q_i değerleri hesaplandıktan sonra, en küçük Q_i değerinden en büyük Q_i değerlerine doğru bir tabloda sıralanır.

4. Bulgular

Bu çalışmada, uçak gecikmelerine neden olan faktörler ÇKKV yöntemleri ile analiz edilmiştir. Uzman görüşleri ile belirlenen kriter ağırlıkları doğrultusunda hem VIKOR hem de COPRAS yöntemleri kullanılarak alternatiflerin sıralamaları yapılmış ve yöntemler karşılaştırılmıştır. Bu yöntemsel yaklaşım, çalışmanın hem çok boyutlu analiz yapmasına hem de sıralama sonuçlarının karşılaştırmalı olarak yorumlanmasına olanak sağlamaktadır.

Uygulamanın ilk aşamasında, kriter ağırlıkları, uzman değerlendirmelerinin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmış ve Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Kriterlerin Ağırlık Değerleri

Kriterler	Ağırlık (w_j)
C1 – Maliyet	0,26
C2 – Gecikme süresi	0,23
C3 – Yolcu memnuniyeti	0,21
C4 – Gecikme sıklığı	0,20
C5 – Müdahale zorluğu	0,10

Bu çalışmada belirlenen 5 kriterden C3 kriteri fayda yönlü olup bu değerlerin artması tercih edilirken; C1, C2, C4 ve C5 kriterleri maliyet yönlü bir gösterge olduğundan ne kadar düşükse o kadar iyi kabul edilmektedir. Bu şekilde, karar verme sürecinde hem fayda (maksimize edilmesi gereken) hem de maliyet (minimize edilmesi gereken) unsurların dengeli biçimde dikkate alınması amaçlanmıştır.

4.1. VIKOR Yöntemi ile Değerlendirilme

Bu aşamada, hem VIKOR yöntemi kullanılarak alternatiflerin sıralamaları yapılmıştır. Uygulama aşamasında ilk olarak Tablo 1’de verilen ağırlık değerleri kullanılarak Tablo 2’de sunulan karar matrisi değerleri normalize edilmiştir. Daha sonra her kriter için en iyi ve en kötü değerler belirlenmiştir. Ardından, ağırlıklandırılmış normalize matrise, Eşitlik (7) ve Eşitlik (8)’de verilen formüller kullanılarak alternatiflerin toplam sapma değeri (S_i) ve en büyük sapma değeri (R_i) değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen hesaplama sonuçları Tablo 3’de sunulmuştur. Maliyet, Gecikme süresi, Yolcu memnuniyeti, Gecikme sıklığı ve Müdahale zorluğu

Tablo 2. Karar Matrisi

Alternatifler/Kriterler	C1	C2	C3	C4	C5
A1	9,11	9,61	8,83	6,22	9,72
A2	8,56	8,83	8,78	3,94	8,78
A3	3,50	6,22	7,39	7,89	3,94
A4	5,89	8,00	7,94	7,83	5,33
A5	5,94	6,94	6,11	6,39	5,78
A6	7,83	6,11	8,83	5,39	9,22
En İyi	3,50	6,11	8,83	3,94	3,94
En Kötü	9,11	9,61	6,11	7,89	9,72

Tablo 3. Ağırlıklandırılmış Normalize Matrisi ile Alternatiflerin S_i ve R_i Değerleri

Ağırlıklar	0,26	0,23	0,21	0,20	0,10		
Alternatifler/Kriterler	C1	C2	C3	C4	C5	S_i	R_i
A1	0,260	0,230	0,210	0,155	0,100	0,915	0,260
A2	0,235	0,179	0,206	0,000	0,084	0,703	0,235
A3	0,000	0,007	0,099	0,200	0,000	0,306	0,200
A4	0,111	0,124	0,141	0,197	0,024	0,597	0,197
A5	0,113	0,055	0,000	0,124	0,032	0,324	0,124
A6	0,201	0,000	0,210	0,073	0,091	0,575	0,210

Her bir alternatifin uzlaşık indeks değeri (Q_i), belirlenen parametreler kullanılarak hesaplanmış, Q_i değerleri küçükten büyüğe sıralanarak alternatifler içindeki sıralama oluşturulmuştur. En küçük Q_i değerine sahip alternatif, uzlaşık çözüm olarak önerilir. Elde edilen hesaplama sonuçları Tablo 4’de sunulmuştur.

Tablo 4. Hesaplanan Q_i Değerleri ve Sıralama

Alternatifler	S_i	R_i	Q_i	Sıralama
A1	0,915	0,260	0,000	1
A2	0,703	0,235	0,268	2
A3	0,306	0,200	0,721	5
A4	0,597	0,197	0,493	4
A5	0,324	0,124	0,986	6
A6	0,575	0,210	0,463	3

VIKOR yönteminde en küçük Q_i değerine sahip alternatifin iki koşulu sağlaması beklendiğinden, ilk olarak $D(A_2)-D(A_1) \geq DQ$ koşulunun sağlanması gerekmektedir. $DQ = 1/(m - 1)$ formülü ile alternatif sayısı $m= 6$ olduğu için $DQ = 1/5 = 0.20$ olarak hesaplanmıştır. En küçük iki alternatifin Q_i değerleri arasındaki fark, DQ değerinden büyük eşit ise, A_1 alternatifinin seçilmesi ilk koşul olan “kabul edilebilir avantaj” koşulunu sağlar. Hesaplama $D(A_2)- D(A_1) = 0.268 \geq 0.20$ olduğundan 1. koşul sağlandığından karar tutarlıdır.

İkinci koşul olarak Q_i değerleri küçükten büyüğe sıralandığında en iyi alternatif olan (A_1), R_i ve S_i sıralamalarında da en küçük değerleri almalıdır. Tablo 4 incelendiğinde, en küçük Q_i değerine sahip (A_1) alternatifinin R_i ve S_i tablolarında en küçük değerlerden ikisi veya birine sahip olmadığı görülmektedir. Bu durumda 2. koşul sağlanmadığı için, A_1 ve A_2 alternatiflerinin her ikisi de uzlaşık ortak çözüm kabul edilir. Bu teknik bulgu, $A1$ ve $A2$ alternatiflerinin gecikme nedenleri arasında istatistiksel ve operasyonel olarak birbirinden ayıramayacak derecede yakın öneme sahip 'uzlaşık ortak çözüm' kümesini oluşturduğunu kanıtlamaktadır. Bu nedenle $A1$ alternatifinin seçimi hem tutarlı hem de istikrarlıdır.

VIKOR yöntemiyle elde edilen sıralama, $A1$ alternatifinin uçak gecikme nedenleri bağlamında en güçlü seçenek olduğunu göstermektedir. İkinci sıradaki $A2$ alternatifinin, maliyet etkisi ve müdahale zorluğu konularında belirgin bir dezavantaj sağladığı görülmektedir. Üçüncü sıradaki $A6$ alternatifinin, süre ve sıklık gibi kriterlerde öne çıkmaktadır. $A4$ alternatifinin süre etkisi ve $A3$ alternatifinin maliyet ve müdahale zorluğu kriterlerinde avantaj sağladığı görülmektedir. Son sırada yer alan $A5$ ise maliyet etkisi ve müdahale zorluğu gibi kriterlerde iyi potansiyeli sunmasına rağmen, kapsam, memnuniyet etkisi kriterinde diğer alternatiflere göre daha sınırlı bir performans sergilemektedir.

4.2. COPRAS Yöntemi ile Değerlendirilme

Uygulamanın ikinci bölümünde uçak gecikmelerine neden olan faktörlerin analiz edilmesi sürecinde belirlenen altı farklı uçakların gecikme nedenleri değerlendirilmesinde COPRAS yöntemi kullanılmıştır. Öncelikle her bir KV'nin, uçak gecikme nedeni alternatiflerinin kriterlere ilişkin performanslarını değerlendirmelerinin geometrik ortalamaları alınarak oluşturulan ve Tablo 2’de sunulan karar matrisi kullanılarak COPRAS yöntemi adım adım uygulanmıştır.

Bu aşamada karar matrisindeki her bir değer sütun toplamına bölünerek normalize karar matrisi oluşturulmuştur (Tablo 5).

Tablo 5. Normalize Karar Matrisi

Alternatifler \ Kriterler	C1	C2	C3	C4	C5
A1	0,22	0,21	0,18	0,18	0,23
A2	0,21	0,19	0,18	0,12	0,21
A3	0,09	0,14	0,15	0,20	0,09
A4	0,14	0,18	0,17	0,20	0,12
A5	0,15	0,15	0,13	0,16	0,14
A6	0,19	0,13	0,18	0,14	0,22

Normalizasyon matrisindeki değerler ile kriter ağırlıkları ile çarpılarak Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi oluşturulmuş ve Tablo 6 sunulmuştur.

Tablo 6. Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi

Alternatifler \ Kriterler	C1	C2	C3	C4	C5
A1	0,0580	0,0484	0,0387	0,0330	0,0227
A2	0,0545	0,0444	0,0385	0,0209	0,0205
A3	0,0223	0,0313	0,0324	0,0419	0,0092
A4	0,0375	0,0403	0,0348	0,0416	0,0125
A5	0,0378	0,0349	0,0268	0,0339	0,0135
A6	0,0499	0,0307	0,0387	0,0286	0,0216

Fayda (maksimizasyon) yönlü kriterler (S_{i+}) ile maliyet (minimizasyon) yönlü kriterler S_{i-} için ağırlıklandırılmış normalize karar matrisindeki değerler toplanarak hesaplama yapılmıştır (Tablo 7).

Tablo 7. İndekslerin Toplamı

Alternatifler	Toplam MAX (S_{i+})	Toplam MIN (S_{i-})
A1	0,0387	0,1621
A2	0,0385	0,1403
A3	0,0324	0,1026
A4	0,0348	0,1297
A5	0,0268	0,1185
A6	0,0387	0,1293

Her karar alternatifi için göreceli önem ağırlıkları (Q_i) hesaplanmıştır. Hesaplanan Q_i değeri bu sütundaki maksimum değere bölünüp yüz ile çarpılmış ve öncelik indeksleri (P_i) hesaplanarak sıralama işlemi yapılmıştır (Tablo 8).

Tablo 8. Göreceli Önem Ağırlığı (Q_i), Öncelik İndeksi (P_i) ve Sıralama

Alternatifler	Göreceli Önem Ağırlığı (Q_i)	Öncelik İndeksi (P_i)	Sıralama
A1	0,141166	71,41	1
A2	0,155934	78,88	2
A3	0,197677	100	6
A4	0,165531	83,74	3
A5	0,169888	85,942	5
A6	0,169804	85,90	4

Bu bağlamda, A1 alternatifi uçak gecikmelerini tetikleyen en baskın faktör olarak ilk sırada yer alırken, onu sırasıyla A2 ve A4 takip etmektedir.

COPRAS yöntemi sonuçları da VIKOR ile tam olarak ölçüde örtüşmektedir. En düşük toplam fark değerine sahip strateji olan A1 her iki yöntemle en güçlü alternatif olarak belirlenmiştir. Alternatiflerin sıralamaları her iki yöntemde de aynı olması sıralamanın tutarlı olduğunu ve analiz sonuçlarının güvenilirliğini artırdığını göstermektedir.

VIKOR ve COPRAS yöntemlerinin sonuçlarının tutarlılığını istatistiksel olarak doğrulamak amacıyla Spearman sıra korelasyon katsayısı (ρ) hesaplanmıştır. Spearman korelasyonu, parametrik olmayan bir istatistik olup sıralama yöntemleri arasındaki uyumu test etmektedir. Bu katsayı, iki yöntem arasındaki sıralama farklarını (d) dikkate alarak aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2-1)} \quad (21)$$

Burada d , her alternatifi iki yöntem arasındaki sıra farkını, n ise alternatif sayısını göstermektedir. Çalışmada altı alternatif bulunduğu için $n=6$ alınmıştır. VIKOR ve COPRAS yöntemleriyle elde edilen sıralamalar arasındaki farkların kareleri toplanarak $\sum d^2 = 4$ olarak bulunmuştur.

Tablo 9. Spearman Korelasyon Tablosu

Alternatifler	VIKOR Sıralaması	COPRAS Sıralaması	d	d ²
A1	1	1	0	0
A2	2	2	0	0
A3	5	6	-1	1
A4	4	3	1	1
A5	6	5	1	1
A6	3	4	-1	1

$$\rho = 1 - \frac{6(4)}{6(36 - 1)} = 1 - \frac{24}{210} = 1 - 0,114 = 0,886$$

Buna göre iki yöntemin sıralama tutarlılığı, Spearman sıra korelasyon katsayısı ($\rho = 0,886$) kullanılarak doğrulanmış ve güçlü, anlamlı bir pozitif ilişki olduğu belirlenmiştir. Kriter ağırlıklarının AHP veya Entropi gibi alternatif yöntemlerle belirlenmemiş olması çalışmanın bir sınırlılığıdır; ancak VIKOR ve COPRAS yöntemlerinden elde edilen yüksek korelasyon ($\rho = 0,886$), mevcut ağırlıklandırma yapısının sonuçlar üzerinde istikrarlı bir temel oluşturduğunu göstermektedir.

5. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışma, hava taşımacılığındaki uçak gecikme nedenlerinin sistematik olarak önceliklendirilmesi amacıyla VIKOR ve COPRAS yöntemlerini karşılaştırmalı analizini yaparak uygulamıştır. Elde edilen bulgular, araştırma soruları kapsamında detaylı bir şekilde değerlendirildiğinde, hem operasyonel yönetim hem de akademik literatür açısından anlamlı sonuçlar ortaya koymaktadır.

Araştırmanın temel sorusu olan gecikme nedenlerinin öncelik sıralaması incelendiğinde, her iki ÇKKV yönteminin de tutarlı bir biçimde A1 ve A2 en kritik iki faktör olarak işaret ettiği görülmektedir. Bu sonuç, söz konusu faktörlerin özellikle C1 ve C5 kriterlerinde diğer alternatiflere kıyasla belirgin şekilde yüksek bir etkiye sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Hava koşullarının kontrol edilemeyen bir dışsal risk, teknik arızaların ise karmaşık, maliyetli ve öngörülmesi güç bir operasyonel darboğaz olması, bu faktörlerin gecikme yönetimi stratejilerinde en üst sırada yer almasını gerektirmektedir. Bunların ardından, güvenlik ve kontrol süreçleri A6, A4, A5 ve A3 gelmektedir.

Çalışmanın ikinci sorusu olan yöntemsel katkı ve sonuçların güvenilirliği bağlamında, VIKOR ve COPRAS yöntemlerinin birlikte kullanımının karar sürecine nasıl bir sağlamlık kattığı değerlendirilmiştir. Her iki yöntemden elde edilen sıralamalar arasında hesaplanan Spearman sıra korelasyon katsayısının ($\rho = 0,886$) oldukça yüksek çıkması, bulguların yöntem bağımsız olarak tutarlı ve güvenilir olduğunu göstermiştir. VIKOR yönteminin uzlaşmacı çözüm arayışı ile COPRAS yönteminin orantısız değerlendirme yaklaşımının bir arada kullanılması, problemin hem ideal çözüme yakınlık hem de görel performans açısından çok boyutlu bir analizini mümkün kılmıştır. Bu durum, KV'ler daha dengeli ve güvenilir bir rehberlik sunulmasını sağlamıştır.

Elde edilen bulguların literatürle uyumu incelendiğinde, mevcut sonuçların Cook ve Tanner (2015) ile EUROCONTROL (2024) gibi alan yazındaki önemli çalışmalarla paralellik gösterdiği görülmektedir. Söz konusu raporlar da hava koşulları ve teknik sorunları, Avrupa hava sahasındaki gecikmelerin ana tetikleyicileri olarak vurgulamaktadır. Bu çalışmanın katkısı, bu genel kabul görmüş gerçeği, operasyonel performans kriterleri (maliyet, gecikme süresi, yolcu memnuniyeti) üzerindeki görel etkileri nicel olarak ortaya koyarak ve çok kriterli bir çerçevede doğrularak pekiştirmiş olmasıdır. A6 alternatifi mutlak önemine rağmen, maliyet ve müdahale zorluğu açısından A1 ve A2'ye kıyasla daha yönetilebilir bir profil çizmesi, dikkat çekici bir bulgu olarak öne çıkmaktadır.

Çalışmadan çıkarılan temel sonuç, uçak gecikmeleri probleminin artık yalnızca operasyonel bir sorun olarak değil, kaynak tahsisini ve stratejik yatırım kararlarını yönlendirmesi gereken çok kriterli bir risk yönetimi sorunu olarak ele alınması gerektiğidir. Giriş bölümünde ortaya konan karmaşık problem, bu çalışma sayesinde, faktörlerin görel önem derecelerine dayalı nicel ve sistematik bir önceliklendirme çerçevesi ile daha anlaşılır ve yönetilebilir bir hale gelmiştir.

Metodolojik katkı açısından bu çalışma, uçak gecikme nedenlerinin değerlendirilmesinde VIKOR ve COPRAS yöntemlerini birlikte kullanan bütünleşik bir analitik yaklaşım önermesi bakımından literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Çoğu çalışma yalnızca tek bir ÇKKV yöntemine odaklanırken, bu araştırma hem uzlaşmacı çözüm perspektifini hem de orantısız performans değerlendirmesini aynı çerçevede ele alarak sıralama tutarlılığını artırmaktadır. Yöntemlerin birbiriyle karşılaştırmalı olarak uygulanması, alternatifler arasındaki performans farklarının hem ideal çözüme yakınlık hem de çıktı değerlerinin göreceli ağırlıkları üzerinden değerlendirilmesini sağlamış, böylece daha dengeli, doğrulanabilir ve yüksek güvenilirlik taşıyan bir karar destek modeli ortaya konmuştur. Bu yönüyle çalışma, havacılık yönetimi alanında ÇKKV yöntemlerinin entegrasyonuna ilişkin uygulamalı ve yöntemsel bir yenilik sunmaktadır.

Uygulamadaki etkiler açısından elde edilen bulgular, havayolu işletmeleri ve havalimanı yöneticileri için operasyonel önceliklendirme ve kaynak tahsisi kararlarında doğrudan kullanılabilir niteliktedir. Hava koşulları ve teknik arızaların en baskın gecikme nedenleri olarak tanımlanması, meteorolojik izleme sistemleri, öngörücü bakım teknolojileri, filo planlama algoritmaları ve dijital operasyon yönetimi uygulamalarına yapılacak yatırımların gecikmeleri azaltmada kritik rol oynayacağını göstermektedir. Ayrıca, güvenlik süreçleri, yolcu davranışları ve yer hizmetlerine ilişkin bulgular, insan kaynağı planlaması, süreç sürekliliği, rota-dönüş süreçleri ve terminal içi operasyon yönetimi gibi alanlarda iyileştirme potansiyelini ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, karar vericilerin operasyonel riskleri daha etkin yönetmesine, maliyetleri düşürmesine ve hizmet kalitesini artırmasına katkı sağlayacak somut bir yol haritası sunmaktadır. Bu bulgulardan hareketle, operasyonel verimliliği artırmaya yönelik şu yönetimsel çıkarımlar öngörülmektedir:

Havayolu İşletmeleri Açısından: Uzman değerlendirmelerinde en yüksek ağırlığa sahip olan 'maliyet' ve 'gecikme süresi' kriterleri, havayollarının özellikle uçak rotasyonu ve teknik arıza kaynaklı gecikmelere odaklanması gerektiğini göstermektedir. Bu bağlamda, çalışmanın verileriyle uyumlu olarak, kestirimci bakım teknolojilerine yatırım yapılması ve yapay zekâ tabanlı rota optimizasyon sistemlerinin kullanımı, teknik ve operasyonel kaynaklı gecikme maliyetlerini minimize edebilecek birer çıkarım olarak değerlendirilmektedir.

Havalimanı Yöneticileri ve Yer Hizmetleri Açısından: COPRAS sonuçlarında ön plana çıkan 'Hava Koşulları' ve 'Yer Hizmetleri' nedenleri, havalimanı otoritesinin meteorolojik tahmin sistemlerini dijital altyapıyla entegre etmesini ve yer hizmetleri personel kapasitesini dinamik gecikme senaryolarına göre optimize etmesini zorunlu kılmaktadır."

5.1. Araştırmanın Sınırlılıkları ve Gelecek Çalışmalar

Bu çalışma, havacılık literatürüne metodolojik bir katkı sunmakla birlikte bazı sınırlılıklara sahiptir:

Örneklem Sınırlılığı: Araştırma verileri, 18 uzmandan oluşan spesifik bir grubun görüşleriyle sınırlıdır. Daha geniş bir katılımcı havuzu veya farklı coğrafyalardaki uzmanların dahil edilmesi sonuçları genelleyebilir.

Yöntemsel Kısıtlar: Kriter ağırlıklandırma sürecinde yalnızca aritmetik ortalama kullanılmıştır. Kriterlerin ağırlıklandırılmasında AHP, Entropi veya CRITIC gibi nesnel/öznel diğer yöntemlerin kullanılmaması çalışmanın bir kısıtıdır.

Veri Kaynağı: Çalışma, uzmanların öznel yargılarına ve tecrübelerine dayanan verileri içermektedir; bu durum, analiz sonuçlarının kişisel perspektiflerden etkilenme ihtimalini barındırmaktadır.

Gelecek çalışmalarda, farklı ağırlıklandırma yaklaşımlarının sonuçlar üzerindeki duyarlılık analizi (sensitivity analysis) ile test edilmesi ve nesnel havayolu operasyon verilerinin modele entegre edilmesi önerilmektedir."

Kaynaklar

- Ayçin, E., ve Güçlü, P. (2020). BIST Ticaret Endeksinde Yer Alan İşletmelerin Finansal Performanslarının Entropi ve MAIRCA Yöntemleri ile Değerlendirilmesi. *Muhasebe ve Finansman Dergisi* (85), 287-312.
- Ayçin, E. (2020). Personel Seçim Sürecinde CRITIC ve MAIRCA Yöntemlerinin Kullanılması. *İşletme Dergisi*, 1(1), 1-12.
- Belton, V., ve Stewart, T. J. (2002). *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*. Springer-Science + Business Media, B.V., Berlin, Heidelberg.1-381.
- Bharadwaj, A., El Sawy, O. A., Pavlou, P. A. ve Venkatraman, N. (2013). Digital business strategy: Toward a next generation of insights. *MIS Quarterly*, 37(2), 471-482.
- Button, K. (2008). Issues in airport runway capacity charging and allocation. *Journal of Transport Economics and Policy*, 42(3), 563-585
- Büyüközkan, G., ve Çifçi, G. (2012). Evaluation of the green supply chain management practices: A fuzzy ANP approach. *Production Planning & Control*, 23(6), 405-418.
- Büyüközkan, G., ve Göçer, F. (2018). Digital supply chain: Literature review and a proposed framework for future research. *Computers in Industry*, 97, 157-177.
- Brueckner, J. K., Czerny, A. I., & Gaggero, A. A. (2019). Airline mitigation of propagated delays: Theory and empirics on the choice of schedule buffers (CESifo Working Paper No. 7875). CESifo.
- Christopher, M., ve Towill, D. R. (2001). An integrated model for the design of agile supply chains. *International Journal of Physical Distribution ve Logistics Management*, 31(4), 235-246.
- Cook, A., ve Tanner, G. (2015). European airline delay cost reference values. EUROCONTROL Performance Review Unit. <https://www.eurocontrol.int/publication/european-airline-delay-cost-reference-values>, (Erişim tarihi: 15.10.2025).
- Doganis, R. (2019). *Flying Off Course: Airline Economics & Marketing* (5. baskı). Routledge.
- Ecer, F. (2022). An intuitionistic fuzzy MAIRCA (IF-MAIRCA) framework and applications. *Soft Computing*, 26 (7), 3245-3262.
- EUROCONTROL (2023). *Performance Review Report 2022*. European Organisation for the Safety of Air Navigation. <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2023-06/eurocontrol-prr-2022.pdf>, (Erişim tarihi: 21.10.2025).
- EUROCONTROL (2024). *Performance Review Report 2023*. European Organisation for the Safety of Air Navigation. <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2024-06/eurocontrol-performance-review-report-2023.pdf>, (Erişim tarihi: 21.10.2025).
- Gigović, L., Pamučar, D. S. Ćirović, G. ve Božanić, D. (2019). Application of Interval Valued Fuzzy-Rough Numbers in Multi-Criteria Decision Making: The IVFRN-MAIRCA Model. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 29(2), 221-247.
- Gigović, L., Pamučar, D., Bajić, Z., ve Milićević, M. (2016). The combination of expert judgment and GIS-MAIRCA analysis for the selection of sites for ammunition depots, *Sustainability*, 8(4), 1-30.
- Gokasar, I., ve Guneri, A. F. (2020). Evaluation of digital transformation using hybrid MCDM approaches: A case study in the aviation industry. *Technology in Society*, 63, 101387.
- Govindan, K., Rajendran, S., Sarkis, J. ve Murugesan, P. (2015). Multi-criteria decision-making approaches for green supplier evaluation and selection: A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 98, 66-83.
- Gölcük, İ., ve Baykasoğlu, A. (2020). Dijital tedarik zinciri yönetimi: Kavramsal çerçeve ve literatür analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(2), 803-823.
- Görçün, Ö. F., Pamucar, D., Biswas, S. (2023). The blockchain technology selection in the logistics industry using a novel MCDM framework based on Fermatean fuzzy sets and Dombi aggregation. *Information Sciences*, 635, 345-374.

- Gunasekaran, A., Patel, C., Tirtiroglu, E. (2004). Performance measures and metrics in a supply chain environment. *International Journal of Operations ve Production Management*, 21 (1/2), 71–87.
- Ivanov, D., Dolgui, A., ve Sokolov, B. (2019). The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. *International Journal of Production Research*, 57 (3), 829–846.
- Kayikci, Y. (2018). Smart logistics: Applications of IoT in logistics industry. In J. Xu et al. (Eds.), *Proceedings of the 12th International Conference on Innovation and Management* (265–270).
- Madas, M. A., ve Zografos, K. G. (2008). Airport capacity vs. demand: Mismatch or mismanagement? *Journal, Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(1), s(203-226).
- Melnyk, S. A., Davis, E. W., Spekman, R. E. ve Sandor, J. (2010). Outcome-driven supply chains. *MIT Sloan Management Review*, 51(2), 33–38.
- Mijalkovski, S. (2024). Application of the VIKOR method for solving problems in logistics: optimal warehouse location case study. *University "Goce Delcev" - Stip Repository*. <https://eprints.ugd.edu.mk/id/eprint/29500>
- Opricovic, S. (1998). *Multi-criteria optimization of civil engineering systems*. Faculty of Civil Engineering, Belgrade University.
- Opricovic, S., ve Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445–455.
- Otto, A., Agatz, N., Campbell, J., Golden, B., ve Pesch, E. (2018). Optimization approaches for civil applications of unmanned aerial vehicles (UAVs) or aerial drones: A survey. *Networks*, 72(4), 411-458.
- Pamučar, D. S. Ćirović, G. ve Božanić, D. (2019). Application of Interval Valued Fuzzy-Rough Numbers in Multi-Criteria Decision-Making: The IVFRN-MAIRCA Model. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 29(2), 221-247
- Pamučar, D. Mihajlović, M. Obradović, R., ve Atanasković, P. (2017). Novel approach to group multi-criteria decision making based on interval rough numbers: Hybrid DEMATEL-ANP-MAIRCA model. *Expert Systems with Applications*, 88, 58-80
- Wang, Y., Gunasekaran, A., Ngai, E. W. T., Papadopoulos, T. (2021). Big Data Analytics in Logistics and Supply Chain Management: Certain Investigations For Research and Applications. *International Journal of Production Economics*, 231, 107872.
- Wei, J. ve Lin, X. (2008). The Multiple Attribute Decision-Making VIKOR Method and Its Application, *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, (WiCOM'08). 4th International Conference, IEEE. 1-4.
- Winkelhaus, S., ve Grosse, E. H. (2020). Logistics 4.0: A systematic review towards a new logistics system. *International Journal of Production Research*, 58 (1), 18-43.
- Wu, H.Y., Tzeng, G.H. ve Chen, Y.H. (2009). A Fuzzy MCDM Approach for Evaluating Banking Based on Balanced Scorecard, *Expert Systems with Application*, 36, 10135-10147
- Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A. ve Sarka, V. (1994). The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects. *Technological and Economic Development of Economy*, 1(3), 131–139.
- Zavadskas, E.K., Kaklauskas, A., Turskis, Z. ve Tamosaitiene, J. (2008). Contractor selection multiattribute model applying copras method with grey interval numbers, *International Conference 20th EURO Mini Conference*, 20-23 Mayıs 2008, Neringa-Lithuania, 241-247.
- Zavadskas, E. K., ve Turskis, Z. (2011). Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: An overview. *Technological and Economic Development of Economy*, 17(2), 397–427.