

Yapay Zekâ Tabanlı Emniyet ve Uyumluluk İzleme Yönetimi: Bir Uygulama Değerlendirmesi

Tevfik Uyar¹

Özet

Havacılık sektöründe emniyet yönetimi (SMS) ve kalite yönetimi (QMS) süreçlerinin dijital dönüşümü, veri temelli karar desteği sağlayan akıllı sistemlerin önemini artırmıştır. Bu çalışmada, Türkiye’de geliştirilen emniyet ve uyumluluk yönetimi aracı olan SAFEJETS MS adlı programın YZ destekli modülleri incelenmektedir. Bu kapsamda SAFEJETS MS yazılımının, denetim, kök neden analizi, risk yönetimi ve değişiklik yönetimi modüllerini yapay zekâ ile bütünleştirerek yöneticilere ve denetçilere bir karar destek altyapısı sunmaktadır. Sistem dört temel YZ modülünden oluşmaktadır: (1) denetçilere düzeltici/önleyici faaliyet (DÖF) öneri motoru, (2) Balık Kılçığı modeliyle kök neden analizi yapan destek aracı, (3) Bowtie risk analizi modülü ve (4) Değişiklik yönetimi süreçlerinde potansiyel riskleri belirleyen değişiklik analizi modülü. Çalışma, bu modüllerin operasyonel verimlilik, insan hatasının azaltılması ve emniyet kültürünün güçlendirilmesi üzerindeki etkilerini nitel bir yaklaşımla değerlendirmektedir. SAFEJETS MS örneğinin, EASA ve ICAO’nun yapay zekâya ilişkin açıklanabilirlik ve insan-merkezlilik ilkeleriyle uyumlu bir yönetim modeli sunarak, havacılıkta dijital dönüşümün örneklerinden biri haline gelmiştir.

1. Giriş

Havacılık sektörü, emniyeti en önemli önceliği olarak gördüğünden tarihsel olarak teknolojik yeniliklerin her daim öncüsü olmuştur. Bilhassa insan faktörüne olan bağımlılığı azaltmak için havacılık her daim çok hassas ve karmaşık otomasyon sistemlerinin geliştirilmesine sahne olmuştur. Otomasyon çağının yapay zekâ çağına evrildiği günümüzde, bu yaklaşım, yapay zekâ (YZ) teknolojilerinin benimsenmesiyle yeni bir boyut kazanmıştır.

1 Dr., Entropol Arge, tevfik@entropol.com, 0000-0003-0124-6910

Uçakların, bakım sistemlerinin, hava trafik kontrolünün ve emniyet yönetim sistemlerinin ürettiği devasa miktarda verinin anlamlandırılması artık insan kapasitesini aşmaktadır ve bu nedenle, YZ temelli analiz ve karar destek sistemleri havacılığın neredeyse her alanında etkin rol oynamaya başlamıştır (Demir vd., 2024). Makine öğrenmesi, derin öğrenme ve doğal dil işleme gibi YZ yöntemleri; **öngörücü bakım**, **anomali tespiti**, **uçuş emniyeti izleme**, **otomatik denetim** ve **kalite kontrol**, **pilot destek sistemleri** ve **hava trafik yönetimi** gibi uygulamalarda kullanılmaktadır (Pilon, 2024). Örneğin, büyük hava yolu şirketleri motor ve sistem sensörlerinden elde edilen verileri analiz ederek arıza olasılıklarını önceden tahmin etmekte, böylece hem uçuş emniyetini artırmakta hem de operasyonel maliyetleri azaltmaktadır (Pilon, 2024). Benzer şekilde, doğal dil işleme algoritmaları uçuş ekibi raporlarını analiz ederek potansiyel risk eğilimlerini ortaya çıkarabilmekte; bilgisayarlı görü sistemleri ise bakım sırasında gövde üzerindeki hasarları insan gözünden çok daha hassas biçimde tespit edebilmektedir (Ricketts vd., 2023; Tikayat Ray vd., 2023). YZ'nin havacılıktaki kullanımı yalnızca teknik alanlarla sınırlı değildir; **emniyet yönetim sistemleri (SMS)** ve **kalite yönetimi** süreçlerinde de YZ temelli reaktif ve proaktif karar destek mekanizmalarına yönelik çalışmalar yaygınlaşmaktadır (Nanyonga vd., 2025; Siddeshwar vd., 2024). Bu çalışmada uygulama örneği olarak bu dönüşümün Türkiye'deki öncü örneklerinden biri olan SAFEJETS MS yazılım sistemi ele alınmış, dahilinde YZ destekli olan dört modüle ait örnekler sunulmuştur. Sistem, uçak bakım ve operasyon süreçlerinde kullanılan klasik kalite ve emniyet yönetimi modüllerini yapay zekâ destekli karar destek araçlarıyla zenginleştirerek, yöneticilere ve denetçilere bir karar altyapısı sunmaktadır.

2. Havacılıkta ve Havacılık Yönetiminde Yapay Zekâ

Havacılıkta yapay zekâ uygulamaları genellikle üç ana amaca hizmet etmektedir: operasyonel verimliliği artırmak, insan hatasını azaltmak ve karar süreçlerini desteklemek. Ancak yönetim boyutunda en kritik katkı, YZ'nin karmaşık süreçleri analiz edebilme, düzenleyici gereksinimlerle uyumlu şekilde veri temelli öneriler sunabilme kabiliyetidir. Bu yönüyle YZ, havacılık yönetiminde yalnızca teknik bir araç değil, aynı zamanda emniyet kültürünü güçlendiren bir destek mekanizmasıdır.

YZ, Uçuş operasyonlarında rota optimizasyonu, bakım alanında arıza tahmini ve insan faktörleri analizleri gibi alanlarda etkin biçimde kullanılmaktadır. Öngörücü bakım en eski ve etkin kullanım örneklerinden birisidir (Merlo, 2024) ve mevcut sağlamlık göstergelerinden yola çıkılarak gelecekteki olası arızalar pek çok yöntemle başarılı bir şekilde tespit edilebilmektedir (Fu & Avdelidis, 2023). Kullanılan teknikler, havayolu

şirketleri ya da ana üreticiler tarafından uygulamalara dönüştürülmüştür. Örneğin Lufthansa Technik'in geliştirdiği ve kendi bakım faaliyetlerinde kullandığı AVIATAR adlı sistem YZ temelli öngörücü bakım konusunda hedeflenen başarıyı göstermiştir (Lang, 2023). Airbus'un geliştirdiği SkyWise binlerce uçaktan gelen sensör verisini kullanarak operatörlere bakım ve operasyon konusunda öngörüler sunmaktadır (Bernard & Hoffmann, 2023). Boeing AHM veya Collins Aerospace Ascentia gibi uygulamalar da üreticiler tarafından geliştirilmiş öngörücü bakım uygulamalarına verilebilecek örneklerdendir (Hawley, 2025).

Hava operasyonlarındaki en önemli gider kalemlerinden olan yakıt tüketimi de YZ temelli optimizasyonun ana hedeflerinden biridir. Aynı zamanda önemli bir karbon emisyonu kaynağı olduğundan havacılık sektöründeki yakıt tüketimini düşürmeye yönelik uygulamalar son derece popülerdir (Nimmala, 2023). Storkjet adlı şirket geliştirdikleri yapay zekâ temelli sistemlerle havayolu şirketleri için rota ve yakıt optimizasyonu yapmaktadır ve Wizzair (Waldhorn, 2024) ve Flair (Flair Airlines, 2025) gibi şirketler bu yazılımlar vasıtasıyla yakıt sarfiyatlarını azaltmışlardır. Sadece havayolu sektöründe değil, iş jeti sektöründe de YZ ile optimizasyon çabaları mevcuttur. En büyük iş jeti işleticilerinden biri olan NetJets şirketiyle yapılan pilot bir uygulamada %9 ila %14 yakıt tasarrufu sağlanmıştır (Mgbachi, 2024).

Hava trafik kontrolü ya da hava durumu tahmininde YZ rolü her geçen gün artmaktadır ve 2027 yılında olasılıksal tehlike analiziyle dünya genelinde hava durumu tahmininde büyük bir sıçrama beklenmektedir (Hawley, 2025).

Otoriteler de YZ'nin havacılık sektöründeki önemi ve gelişimini yakından takip etmekte ve uygun kullanım için regüle etmektedir. EASA, ilki 2020, ikincisi 2023'te olmak üzere bir yapay zekâ yol haritası hazırlamıştır (EASA, 2023). FAA, 2024 yılında üniversite öğrencileri arasında \$100.000 ödüllü "FAA Data Challenge" yarışma düzenlemiş ve havacılık verisinin YZ ile nasıl anlamlandırılacağına yönelik projeler sunulmasını istemiştir ve seçilen 3 projeye yoluna devam etmektedir (2024 FAA Safety Data Challenge Winner Announcement, 2024).

3. SAFEJET MS Yönetim Sistemi

Bu çalışmada ele alınan SAFEJETS MS, Türkiye menşei YZ temelli havacılık çözümü sunan bir ticari uygulamadır. SAFEJETS MS, uçuş işletme ruhsatı (AOC) sahipleri ve bakım organizasyonlarının emniyet, kalite ve değişiklik yönetimi süreçlerini bütünleştiren web tabanlı bir yazılım çözümüdür. Entropol Arge Limited Şirketi (İstanbul, Türkiye) tarafından

2022 yılında geliştirilmiş ve piyasaya sunulmuştur (safejets.net, 2022). İlk olarak SAFEJETS QMS adıyla piyasaya sürülen yazılım, 2024 yılında hem altyapı hem de görünüm bakımından yenilenmiş ve SAFEJETS MS ismiyle yeniden markalanmıştır (safejets.net, 2024).

SAFEJETS MS'in temel amacı, havacılık sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin emniyet ve uyumluluk süreçlerini tek bir platformda yönetilebilir ve denetlenebilir hale getirmektir. Sistem, hem Türkiye ulusal mevzuatı hem de uluslararası regülasyonlarla uyumlu bir şekilde çalışmak üzere tasarlanmış olup, kullanıcıların denetim, kalite ve emniyet yönetimi gibi kritik operasyonları takip etmelerini ve raporlamalarını sağlamaktadır. SHGM ve EASA gibi otoritelerin gereklilikleri doğrultusunda şekillendirilen modüller, havacılık sektöründe faaliyet gösteren şirketlerin yasal uyumluluğunu sağlamasına ve emniyet seviyesini artırmasına yardımcı olmaktadır (ENTROPOL, 2025).

SAFEJETS MS içerisindeki ana modüller; Uyumluluk İzleme (CM), Emniyet (SM), Acil Durum Eylemi (ER), Yorgunluk Risk Yönetim Sistemi (FRMS), Kontrollü Dokümanlar ve Toplantı Modülleridir. Uyumluluk İzleme Modülü, denetim bulgularının ve uygunsuzlukların takibini kolaylaştırırken, Emniyet Modülü ise operasyonel risklerin ve olay raporlarının analizini sağlar. Acil Durum Eylemi Modülü, olası acil durumlarda eşzamanlı ve organize bir müdahale planı oluşturulmasına yardımcı olurken, FRMS modülü ise uçuş personelinin yorgunluk seviyelerini izleyerek emniyeti artırmayı hedefler. Kontrollü Dokümanlar ve Toplantı Modülleri ise dokümantasyon ve iletişim süreçlerinin düzenli ve şeffaf biçimde yürütülmesini amaçlar.

Yapay zekâ desteği içeren işlevler ise DÖF önerisi, Kök Neden Analizi, Emniyet Risk Analizi ve Değişiklik Yönetimi başlıkları olarak sıralanmıştır (ENTROPOL, 2025). Bu modüller, geleneksel yönetim sistemlerinden farklı olarak kullanıcıların karar alma süreçlerinde YZ desteği sunar. Düzeltici ve Önleyici Faaliyet (DÖF) öneri sistemi, denetim bulgularına otomatik olarak en uygun çözüm yollarını sunar ve böylece hem zaman tasarrufu sağlar hem de insan hatasını minimize eder. Kök Neden Analizi modülü, olayların ve uygunsuzlukların temel nedenlerini belirlemek için algoritmalar kullanır; böylece tekrar eden hataların önüne geçilir. Emniyet Risk Analizi, olası riskleri proaktif biçimde tespit eder ve kullanıcıları uyarır. Değişiklik Yönetimi modülü ise operasyonel ve teknik değişikliklerin etkilerini önceden analiz ederek, riskleri azaltmaya yönelik önerilerde bulunur.

Ticari bir yazılım olan SAFEJETS MS, yapay zekâ modelini paylaşmamaktadır ama çalışma prensibi havacılığa özelleşmiş birden fazla geniş dil modelinin, programın içerisindeki anonimleştirilmiş veriyle

bağlam yapılarak yuvarlak masa mantığıyla işletilmesidir. Bu yaklaşım, farklı algoritmaların ve veri kaynaklarının bir araya getirilerek en doğru ve güvenilir kararların alınmasını hedefler. Kullanıcılar, sisteme girdikleri veriler doğrultusunda, yapay zekâ tarafından oluşturulan öneriler ve analizlerle operasyonel süreçlerini daha etkin biçimde yönetebilirler.

Yapay zekâ bileşenleri bu süreçlerin her birinde kullanıcılara öneriler, otomatik analizler ve risk uyarıları sunarak operasyonel karar süreçlerini kolaylaştırır. Özellikle karmaşık ve çok sayıda verinin yönetilmesi gereken havacılık sektöründe, SAFEJETS MS'in sunduğu otomasyon ve karar desteği hem emniyet standartlarının yükseltilmesine hem de operasyonel verimliliğin artırılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Sistem, kullanıcı dostu arayüzü ve modüler yapısı sayesinde farklı büyüklükteki işletmeler için ölçeklenebilir çözümler sunmaktadır. Böylece havacılık sektöründe faaliyet gösteren firmalar, teknolojinin sağladığı imkânlardan en üst düzeyde faydalanarak, rekabet güçlerini ve kurumsal emniyet kültürlerini geliştirme fırsatı bulurlar.

4. SAFEJETS MS İçerisindeki YZ Temelli Karar Destek Sistemlerinin Çıktıları

SAFEJETS MS sisteminde YZ içeren dört modül bulunmaktadır:

- (1) denetçilere düzeltici/önleyici faaliyet (DÖF) öneri motoru,
- (2) Balık Kılçığı modeliyle kök neden analizi yapan destek aracı,
- (3) Bowtie risk analizi modülü ve
- (4) MOC süreçlerinde potansiyel riskleri belirleyen değişiklik analizi modülü.

Aşağıda bu modüllerin örnek çıktılarına yer verilmiştir.

4.1 DÖF Öneri Modülü

Düzeltilici ve Önleyici Faaliyet (DÖF/CAPA) kavramı, kökenini 1960–80’lerde üretim sanayisindeki kalite güvence uygulamalarından alır; bu dönemde, ürün ve süreçlerdeki hataların tespiti ve tekrarının önlenmesi amacıyla sistematik bir yaklaşım olarak geliştirilmiştir. Özellikle Japonya ve ABD’deki otomotiv ve elektronik sektörlerinde kalite yönetimi uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte, DÖF süreçleri de kalite sistemlerinin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir (Garvin, 1988). 1990’larda ise bu kavram, özellikle medikal cihaz üreticilerinin kalite uygulamaları kapsamında ABD Gıda ve İlaç Dairesi’nin (FDA) “Quality System

Regulation” çerçevesinde “Corrective and Preventive Action – CAPA” adıyla biçimlenip yaygınlaşmıştır.

2000–2008 döneminde, ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi standardında “düzeltici” ve “önleyici” faaliyetler 8.5.2 ve 8.5.3 maddelerinde ayrı başlıklar altında detaylandırılmıştır. Bu dönemde standart, işletmelerin tespit edilen uygunsuzluklara müdahale etmek için düzeltici faaliyetler yürütmesini ve potansiyel uygunsuzlukları önceden tespit ederek önleyici faaliyetler geliştirmesini zorunlu kılmıştır. Ancak, 2015 yılında yapılan ISO 9001 revizyonu ile birlikte, “önleyici faaliyet” kavramı risk-temelli yaklaşım kapsamında tüm ISO yönetmeliklerinden çıkarılmış ve risk temelli düşünme yaklaşımı standardın tamamına entegre edilmiştir. Bu değişiklik ile birlikte, önleyici faaliyetlerin ayrı bir başlık altında ele alınmasından vazgeçilmiş, bunun yerine risklerin belirlenmesi ve yönetilmesi temel bir gereklilik haline gelmiştir (John & Cianfrani, 2016).

Havacılık sektöründe ise DÖF kavramı hem düzeltici hem de önleyici faaliyetleri kapsayacak şekilde kullanılmaya devam etmektedir. Havacılıkta, uçuş emniyetinin sağlanması ve operasyonel risklerin azaltılması amacıyla, tespit edilen her türlü uygunsuzluğun sadece düzeltilmesiyle yetinilmemekte, aynı zamanda benzer uygunsuzlukların tekrarının önlenmesi için önleyici tedbirler de alınmaktadır. Türkiye’de Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü’nün (SHGM) uyumluluk izlemeye ilişkin talimatı olan SHT-UYUMLULUK İZLEME’de de önleyici işleme açıkça yer verilmektedir (SHGM, 2018). Bu talimat, havacılık işletmelerinin denetim bulgularına ilişkin hem düzeltici hem de önleyici faaliyetler planlamasını ve uygulamasını zorunlu kılarak, sektörün emniyet kültürünü güçlendirmeyi hedeflemektedir.

Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı (EASA) ise, örneğin Part-CAMO AMC 1 CAMO.A.150 Bulgular maddesinde veya Part 21 eklerinde halen “preventive action” ifadesine yer vermeye devam etmektedir. EASA’nın bu yaklaşımı, havacılıkta proaktif risk yönetiminin ve sürekli iyileştirmenin vazgeçilmez unsuru olarak önleyici faaliyetlerin önemini vurgular. Bu nedenle, havacılık sektöründe DÖF uygulamaları, ulusal ve uluslararası regülasyonlara uyumun sağlanması, emniyet seviyesinin artırılması ve organizasyonların kurumsal hafızasının güçlendirilmesi açısından kritik bir rol oynamaktadır. Faaliyete nasıl isim verilirse verilsin, bir uygunsuzluğun giderilmesi için onun tekrarının da önüne geçilmesi gerekir. Bu nedenle bir denetleme bulgusunun kapatılması sürecinde “önleyici”, dolayısıyla risk azaltıcı “muhafaza işlemleri” gerçekleştirilmesi gerekir.

SAFEJETS MS içerisindeki *DÖF Beklenen Kanıtlar Öneri Desteği*, denetim sırasında tespit edilen bulgular için denetçiye bir bulgunun kapatılması için

olası uygun düzeltici ve önleyici faaliyet yelpazesi sunar. Denetçi (ler)den beklenen, yazmış oldukları bulguya ya da yapmış oldukları tespiti göre önerilen düzeltici ve önleyici faaliyet önerilerinden seçim, eleme veyahut da geliştirme yapmalarıdır.

Şekil 1’de SAFEJETS MS’teki DÖF öneri sisteminin kullanımına ilişkin ekran görüntüsü yer almaktadır. Denetçi(ler) burada süreci seçmekte, bulgu açıklamasını yazmakta ve buna yönelik olarak YZ’den DÖF tavsiyesi almaktadır.

Edit the Finding

Field

Flight Operations

Finding Reference *

AMCI CAMO.A.315(c) x

Finding Explanation *

One AD is not applied although applicable to TC-XXX. Relevant CAMO personnel stated that AD is applicable because a modification was made to A/C in the past, but the mod number was overlooked while reading the AD applicability.

Expected Evidences

Expected Evidence

CP Action

1. Conduct a comprehensive review of all Airworthiness Directives (ADs) to ensure all applicable ADs are identified and applied to relevant Technical Configurations (TCs).
2. Implement a standardized checklist for CAMO personnel to verify AD applicability during modification assessments.
3. Provide training sessions for CAMO personnel on the importance of AD compliance and the process for verifying applicability.
4. Establish a regular audit schedule to review AD compliance and ensure ongoing adherence to regulatory requirements.
5. Create a centralized database to track modifications and

Finding Level

Level 1 (Major)

Due Date

30.09.2025

☐ Notify CPA Request addresses about this edit.

Update

Şekil 1. DÖF Beklenen Kanıtlar Öneri Desteği

Tablo 1’de birbirinden farklı süreçlerde tespit edilmiş bir takım uygunsuzluk örnekleri ve SAFEJETS MS’in önerdiği DÖF Beklenen Kanıt Önerileri yer almaktadır. Bu öneriler “Beklenen Kanıtlar” başlığı altında Düzeltici Önleyici Faaliyet (DÖF) formu içerisinde DÖF isteğinde bulunulan kişiye de iletilmiş olur.

Tablo 1. DÖF Beklenen Kanıt Önerileri

Bulgu	Tavsiye Edilen DÖF Talebi
Ramp denetiminde acil çıkış kapısının sabitlenmemiş eşyalarla engellendiği görüldü.	1. Ramp denetimi sırasında acil çıkışları engelleyen tüm sabitlenmemiş eşyaların derhal kaldırılmasını sağlayın. 2. Uçak kalkışından önce tüm acil çıkışların kullanılabilir olduğunun doğrulanmasını içeren standart bir ramp kontrol listesi oluşturun. 3. Yer personeline, acil çıkışların açık tutulmasının önemi ve uygunsuzluk durumunda oluşabilecek riskler konusunda eğitim verin. 4. Acil çıkış yönetmeliğine uyumun sürekliliğini izlemek amacıyla düzenli denetim planı oluşturun. 5. Yer personelinin acil çıkış yakınında tespit ettiği engelleri hızla raporlayabileceği bir bildirim sistemi geliştirin.
EFB yazılımı güncellendi, ancak mürettebatın %20’si hâlâ eski sürümü kullanıyor.	1. Tüm mürettebata yönelik zorunlu bir eğitim düzenleyerek, EFB yazılımının güncel tutulmasının önemi ve eski sürüm kullanımının operasyonel riskleri anlatılmalıdır. 2. Her mürettebatın cihazındaki sürüm durumunu takip eden bir izleme sistemi kurulmalıdır. 3. Güncelleme için net bir son tarih belirlenmeli, ardından uyum kontrolü yapılmalıdır. 4. Yazılım güncellemeleri hakkında düzenli hatırlatma ve bilgilendirme planı oluşturulmalıdır. 5. Güncelleme yapmayan mürettebat için, tamamlayana kadar uçuş görevinden geçici uzaklaştırma gibi bir yaptırım içeren acil durum planı hazırlanmalıdır.
Uygulanması gereken AD (Airworthiness Directive) TC-XXX için uygulanmamış.	1. Tüm Uçuşa Elverişlilik Direktiflerinin (AD) kapsamlı biçimde gözden geçirilerek ilgili teknik konfigürasyonlara (TC) eksiksiz uygulanması sağlanmalıdır. 2. CAMO personelinin modifikasyon değerlendirmelerinde AD uygulanabilirliğini doğrulaması için standart bir kontrol listesi hazırlanmalıdır. 3. CAMO personeline, AD uyumunun önemi ve uygulanabilirlik doğrulama süreci hakkında eğitim verilmelidir. 4. AD uyumunun düzenli olarak gözden geçirilmesi amacıyla periyodik iç denetim (audit) planı oluşturulmalıdır. 5. Modifikasyonlar ve ilişkili AD’lerin kolay erişimle izlenebilmesi için merkezi bir veri tabanı oluşturulmalıdır.

4.2 Kök Neden Analizi – Balık Kılçığı Modeli

Kök neden analizi, bir sorunun yüzeydeki belirtilerinin ötesine geçerek, altında yatan asıl sebepleri ortaya çıkarmak için kullanılan neden-sonuç ilişkisini tespit etmeye dayanan sistematik bir yaklaşımdır. Özellikle havacılık ve bakım operasyonlarında, belirlenen uygunsuzlukların veya hataların sadece sonuçlarını düzeltmek yerine, tekrarlanmalarını önleyecek şekilde kök nedenlerine odaklanmanın, operasyonel emniyet ve kaliteyi artıracak muhakkaktır. Bu nedenle kök neden analizleri, sorunların geçici çözümlerle değil, kalıcı olarak ortadan kaldırılması için kritik bir rol oynar.

Kök neden analizinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri Balık Kılçığı modeli (Ishikawa diyagramı) olup, karmaşık problemlerin ana nedenlerini kategorize ederek görsel olarak ortaya koyar. Balık Kılçığı modeli; insan faktörleri, yöntemler, ekipman, malzeme, çevre, yönetim ve iletişim gibi başlıklar altında olası nedenleri sistematik şekilde incelemeye olanak tanır (Bilsel & Lin, 2012). Dolayısıyla havacılık sektöründe de kök neden analizinin titizlikle uygulanması, uçuş emniyetinin sağlanmasında ve regülasyonlara uyumda temel bir gereklilik olarak öne çıkar.

SAFEJETS MS’te DÖF talep edilen kullanıcıya denetleme bilgileri, bulgu içeriği ve isteğe bağlı olarak da 4.1’de bahsedilen beklenen kanıtlar / düzeltici önleyici faaliyet önerileri sunulur. Ancak bunlar sadece birer öneridir. DÖF talep edilen kullanıcının ilgili bulguya ilişkin kök neden veya kök nedenleri bularak, bu kök nedenleri ortadan kaldıran bir DÖF planı sunması istenir. Bu noktada SAFEJETS MS’in Balık Kılçığı modeli destekli kök neden analizi aracı kullanılabilmektedir.

SAFEJETS MS Balık Kılçığı Modeli aşağıdaki kategorilerde öneride bulunmaktadır:

- i) İnsan Faktörleri / Personel,
- ii) Yöntemler, Prosedürler, Süreçler,
- iii) Makine / Ekipman / Araçlar / Uçak Sistemleri,
- iv) Malzeme / Sarf Malzemeleri / Parçalar
- v) Çevre
- vi) Yönetim / Misyon / Politika
- vii) İletişim
- viii) Eğitim

CPA AI Analysis

×

Category: Man / Personnel / Human Factors

- ☒ Inattention to detail by CAMO personnel
- ☐ Overlooked modification number due to human error
- ☐ Lack of awareness regarding the importance of AD applicability

Category: Methods / Procedures / Processes

- ☒ Ineffective procedures for tracking modifications and ADs
- ☒ Lack of a systematic approach to verify AD applicability
- ☐ Inadequate review process for AD compliance

Category: Communication

- ☐ Insufficient communication regarding modification impacts on ADs
- ☐ Lack of clarity in documentation related to modifications and ADs

Category: Training

- ☒ Insufficient training on AD applicability and modification tracking
- ☐ Lack of training on the importance of thorough review processes

Save Selected

Şekil 2. SAFEJETS MS Kök Neden Önerileri Ekran Görüntüsü

Bu kategorilerin tamamı zorunlu değildir. Eğer bir kategori için yeterli veri yoksa veya o kategori için anlamlı bir öneride bulunamıyorsa, YZ o kategoriye boş geçerek yukarıdaki kategori kümesinin herhangi bir altkümesinde sonuç verebilir. Hem Şekil 2, hem de Tablo 2’de görüleceği üzere, bazı bulgular için her kategoriden öneri alınabilirken, bazı bulgular için sadece 4 kategoride kök neden önerisi alınmıştır.

YZ içeriği zorunlu ya da değiştirilemez değildir. Kullanıcı, ilgili başlıklar altına kendi kök nedenlerini ekleyebileceği gibi, tamamen yeni bir kategori açarak, altına yine kendi kök nedenlerini ekleyebilir.

Tablo 2. YZ Kök Neden Analizi Öneri Örnekleri

Bulgu	Kök Neden Analizi (Balık Kılçığı Yöntemi)
Ramp denetiminde acil çıkış kapısının sabitlenmemiş eşyalarla engellendiği görüldü.	İnsan / Personel / İnsan Faktörleri: • Yer ekibinin ön uçuş kontrollerinde dikkat eksikliği./ • Emniyet protokollerine ilişkin farkındalık yetersizliği. / • Gevşek eşyaların emniyete alınmasında ihmal. Yöntem / Prosedür / Süreç: • Kabin içindeki eşyaların emniyete alınmasına yönelik yetersiz prosedürler./ • Acil çıkış erişilebilirliğinin düzenli kontrol edilmemesi. / • Emniyet prosedürlerinin tutarsız uygulanması. Makine / Ekipman / Sistem: • Gevşek eşyalar için uygun depolama çözümlerinin eksikliği./ • Yer operasyonlarında sabitleme donanımı eksikliği. Malzeme / Parça: • Eşyaları sabitlemede yetersiz depolama malzemeleri kullanımı. Çevre: • Kalabalık apron alanı nedeniyle düzensizlik./ • Ramp tasarımının eşyaların yanlış konumlandırılmasına yol açması. Yönetim / Politika: • Apron emniyeti ve eşya yönetimine ilişkin net politika eksikliği./ • Ramp operasyonlarında yetersiz denetim. İletişim: • Emniyet protokollerinin yer ekibine yetersiz aktarılması / • Acil çıkış erişiminin önemi hakkında bilgilendirme eksikliği. Eğitim: • Acil durum prosedürleri ve eşya yönetimi eğitim eksikliği. / • Yer personeline yönelik düzenli tazeleme eğitimi yapılmaması.
EFB yazılımı güncellendi, ancak mürettebatın %20'si hâlâ eski sürümü kullanıyor.	İnsan Faktörleri: • Mürettebatın yazılım güncellemesi konusunda motivasyon eksikliği. / • Güncellenmenin önemine dair farkındalık yetersizliği. / • Önceki sürüme alışkanlıktan kaynaklı direnç. Yöntem / Süreç: • Güncelleme tamamlandığını doğrulayan prosedürlerin olmaması./ • Takip mekanizmasının eksikliği./ • Kurulum yönergelerinin yetersizliği. İletişim: • Güncelleme duyurusunun etkisiz yapılması./ • Güncelleme yapılmamasının sonuçlarının vurgulanmaması./ • Hatırlatma veya takip iletişimlerinin yapılmaması. Eğitim: • Güncellenenin nasıl yapılacağına dair yetersiz eğitim./ • Yeni sürümün avantajları hakkında bilgilendirme eksikliği.
Uygulanması gereken Uçuşa Elverişlilik Direktifi (AD), TC-XXX için uygulanmamış.	İnsan Faktörleri: • Personelin dikkat eksikliği./ • Modifikasyon numarasının gözden kaçırılması./ • AD uygulanabilirlik kriterlerine ilişkin bilgi yetersizliği. Yöntem / Süreç: • AD uygulanabilirliğini doğrulayan prosedürlerin yetersizliği./ • Modifikasyon-AD çapraz kontrol sürecinin eksikliği. İletişim: • Modifikasyon geçmişine dair bilgi paylaşımının yetersizliği./ • AD uygulanabilirliği hakkında ekip içi iletişim eksikliği. Eğitim: • AD uyumu ve modifikasyon takibi eğitim eksikliği./ • AD kontrollerinin önemi üzerine farkındalık eksikliği.

Yapay zekâ bu noktada DÖF isteğinde bulunulan kişiye olası kök nedenler hakkında öneriler sunarak rehberlik eder. Bu rehberlik sayesinde kullanıcıların problem çözme becerisi gelişeceği ve tekrar eden bulgu oranının düşeceği varsayılmaktadır.

4.3 Bowtie Temelli Risk Analizi

Bowtie (papyon) yöntemi, risklerin neden-sonuç ilişkilerini görselleştirmek için kullanılan bir risk yönetimi aracıdır. Bu yöntem, adını şekil olarak bir papyonu (bow tie) andırmasından alır ve bir olayın meydana gelmesine yol açan tetikleyicilerle (tehditler) bu olayın olası sonuçlarını (consequence) ve bu iki uç arasında yer alan kontrol veya azaltıcı bariyerleri açıkça ortaya koyar. Bowtie diyagramında, merkezde “tehlikeli olay” yer alırken, olayın sol tarafında bu olayı tetikleyebilecek tehditler, sağ tarafında ise olayın gerçekleşmesi halinde ortaya çıkabilecek sonuçlar yer alır. Tehditlerin hemen yanında, olayın meydana gelmesini önlemeye yönelik alınan önleyici bariyerler; sonuçların yanında ise olayın etkilerini azaltmaya veya kontrol etmeye yönelik azaltıcı bariyerler gösterilir. Bu yapı, risklerin sistematik olarak analiz edilmesini ve her aşamada hangi kontrol önlemlerinin mevcut olduğunu görsel olarak izlemeyi mümkün kılar. Böylece hem risklerin daha iyi anlaşılması hem de risk yönetiminde eksik veya geliştirilmesi gereken noktaların tespiti kolaylaşır (Book, 2012). Bowtie yöntemi, özellikle havacılık, enerji ve sağlık gibi yüksek riskli sektörlerde yaygın olarak kullanılmakta ve kurumların proaktif risk yönetimi uygulamalarında önemli bir rol oynamaktadır.

SAFEJETS MS içerisindeki risk yönetim modülünde Bow tie yöntemi kullanılmaktadır. Bu nedenle SAFEJETS MS içerisindeki YZ Risk Analizi aracı, belirli bir risk senaryosu girildiğinde, olası tetikleyicileri (threat), sonuçları (consequence) ve talep edilirse bu riskin izlenmesi için uygun emniyet performans göstergeleri (SPI) bulur ve önerir.

SAFEJETS MS kullanıcı el kitaplarında bu asistan Emniyet Eylem Grubu toplantılarında kullanılmak üzere bir beyin fırtınası aracı olarak önerilmektedir. Bu özellik, risk değerlendirme döngüsünü hızlandırmakta ve yöneticilere proaktif uyarı mekanizmaları sağlamaktadır.

Tablo 3 ve Tablo 4’te SAFEJETS MS içerisindeki YZ Risk Analizinin “Pist İhlali” riski için önerdiği tehditler (tetikleyiciler), sonuçlar, bariyerler (azaltım ve kontrol eylemleri) yer almaktadır.

Tablo 3. SAFEJETS MS “Pist İhlali” riski için tehdit analizi

Tehdit (Threat)	Önleyici / Azaltıcı Bariyerler (Mitigations)
1. Yetersiz İletişim	• ATC ve pilotlar için standart iletişim protokolleri uygulamak. • Etkin iletişim teknikleri üzerine düzenli eğitimler yapmak. • Talimatların netliği için dijital iletişim sistemleri (örn. dijital gösterge ekranları) kullanmak.
2. İnsan Hatası	• Uçuş ve yer ekipleri için yorgunluk yönetimi programları uygulamak. • Durumsal farkındalık geliştirmek için simülasyonlar ve eğitimler yapmak. • Pist erişim protokolleri için kontrol listeleri kullanmak.
3. Yetersiz Yer İşaretlemeleri	• Pist ve taksi yolu işaretlerini düzenli denetlemek ve bakımını yapmak. • Görünürlüğü artırmak için yansıtıcı malzeme veya aydınlatma kullanmak. • Yer işaretlerinin önemine yönelik farkındalık kampanyaları düzenlemek.
4. Araç Yönetiminde Yetersizlik	• Pist bölgelerine araç erişimi için sıkı protokoller oluşturmak. • Yer araçlarını izlemek için araç takip sistemi kurmak. • Yer personeline pist emniyeti prosedürleri eğitimi vermek.
5. Yetersiz Eğitim	• Pist emniyeti odaklı kapsamlı eğitim programları geliştirmek. • Bilgi ve becerileri tazelemek için düzenli eğitimler yapmak. • Simülasyon eğitimleriyle ihlal senaryolarını çalışmak.
6. Zayıf Durumsal Farkındalık	• Kokpit kaynak yönetimi (CRM) tekniklerinin kullanımını teşvik etmek. • Tüm personel için durumsal farkındalık bilgilendirmeleri yapmak. • Yer radarları gibi teknolojilerle gerçek zamanlı durum farkındalığı sağlamak.
7. Yetersiz ATC Prosedürleri	• ATC prosedürlerini düzenli olarak gözden geçirip güncellemek. • ATC iletişim ve prosedür denetimleri yapmak. • Pist yönetimi konusunda ATC personeline sürekli eğitim sağlamak.
8. Çevresel Faktörler	• Gelişmiş hava durumu izleme sistemleri uygulamak. • Olumsuz hava koşulları için operasyonel acil durum planları hazırlamak. • Çevresel risklere karşı tanıma ve tepki eğitimleri vermek.
9. Teknoloji Arızaları	• Teknolojik sistemleri düzenli bakım ve güncellemelerle güvenilir tutmak. • Arızalara karşı yedek (redundant) sistemler oluşturmak. • Teknoloji kesintilerine hazırlık tatbikatları yapmak.

Tablo 4. SAFEJETS MS “Pist İhlali” riski için sonuç analizi

Sonuç (Consequence)	Azaltıcı / Hafifletici Bariyerler (Mitigations)
1.Çarpışma Riski	- Hava trafik kontrolü ile uçuş ekipleri arasındaki iletişim protokollerini güçlendirmek. - Yer personeline pist emniyeti prosedürleri konusunda düzenli eğitimler vermek. - Pist faaliyetlerini izlemek için gelişmiş gözetim teknolojilerini kullanmak.
2.Operasyonel Gecikmeler	- Pist ihlallerini yönetmek ve gecikmeleri en aza indirmek için hızlı müdahale ekibi kurmak. - Yer operasyonları ile hava trafik kontrolü arasındaki koordinasyonu artırmak. - İhlallerin analiz edilmesi ve öğrenilmesi için güçlü bir olay raporlama sistemi uygulamak.
3. Artan Sigorta Maliyetleri	- Pist ihlallerine yol açan faktörleri belirlemek ve azaltmak için kapsamlı risk değerlendirmeleri yapmak. - Sigorta sağlayıcılarıyla risk yönetimi stratejileri hakkında iletişim kurmak. - Pist emniyeti taahhüdünü gösteren emniyet girişimleri uygulamak.
4.Düzenleyici Denetim ve Soruşturma	- Tüm düzenleyici gerekliliklere ve pist emniyeti en iyi uygulamalarına tam uyumu sağlamak. - Güvenlik protokollerini düzenleyici beklentilerle uyumlu olacak şekilde düzenli olarak gözden geçirmek ve güncellemek. - Emniyete bağlılığı göstermek için düzenleyici otoritelerle proaktif iletişim kurmak.
5.Yolcu Güvenliği Endişeleri	- Yolculara mevcut güvenlik önlemleri hakkında bilgilendirme yapmak. - Yolcu farkındalığını artırmak için pist emniyeti konusunda kamu bilinci kampanyaları yürütmek. - Yolcu endişelerini ele almak için geri bildirim mekanizmaları oluşturmak.
6.Uçak ve Altyapı Hasarı	- Pist ve taksi yolu altyapısının düzenli denetim ve bakımını yapmak. - İzinsiz girişleri önlemek için pist alanına sıkı erişim kontrolleri uygulamak. - Potansiyel ihlalleri gerçek zamanlı tespit edip personeli uyararak teknolojiler kullanmak.
7.Hukuki Sorumluluk	- Hukuki sonuçları etkin biçimde yönetmek için kapsamlı olay müdahale planları geliştirmek. - Hukuki danışmanlarla çalışarak sorumluluk koruma önlemlerini güçlendirmek. - Hukuki savunmaları desteklemek için kapsamlı dokümantasyon uygulamaları benimsemek.

8. İtibar Kaybı	• Olaylara şeffaf biçimde yanıt verecek bir kriz iletişim planı uygulamak. • Güveni yeniden tesis etmek için toplumla iletişim ve bilinçlendirme faaliyetleri yürütmek. • Güvenlik başarılarını ve iyileştirmeleri iletişim materyallerinde vurgulamak.
9.Yer Ekibi Moralinin Düşmesi	• Yer personeline ruh sağlığı desteği ve kaynakları sağlamak. • Pozitif bir çalışma ortamı için düzenli ekip çalışması ve motivasyon etkinlikleri düzenlemek. • Güvenlik endişeleri ve iyileştirme önerileri hakkında açık iletişimi teşvik etmek.

4.4 MOC (Management of Change) Değişimin Yönetimi Risk Analizi

Değişiklik Yönetimi (MOC), organizasyonlarda yapılan her türlü değişikliğin sistematik ve kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlayan kritik bir süreçtir. Özellikle havacılık gibi yüksek emniyet seviyesi gerektiren sektörlerde, değişikliklerin plansız veya denetimsiz şekilde yapılması; emniyet, yasal uyumluluk ve operasyonel bütünlük açısından ciddi riskler doğurabilir. Bu nedenle MOC süreçleri, değişikliğin potansiyel etkilerini önceden değerlendirmeyi ve olası olumsuz sonuçları en aza indirmeyi amaçlar.

MOC Risk analizi ise, yapılacak değişikliğin beraberinde getirebileceği tehlikeleri ve bu tehlikelere karşı alınması gereken önlemleri sistematik olarak belirler. Böylece, insan faktörlerinden altyapı ve teknolojiye kadar farklı alanlarda riskler önceden tespit edilir ve bunlara yönelik etkili kontrol mekanizmaları geliştirilir. Risk analizinin etkin bir şekilde uygulanması hem operasyonel sürekliliğin hem de çalışan ve yolcu emniyetinin sağlanmasında hayati bir rol oynar. Sonuç olarak, MOC ve ona entegre edilen risk analizleri, sürdürülebilir ve emniyetli bir işletme için vazgeçilmezdir.

SAFEJETS MS’te değişiklik yönetimi süreçlerinde kullanılmak üzere tasarlanan MOC Analyzer sistemi, tasarlanan değişikliğin doğurabileceği olası riskleri tespit eder. Bu riskleri aşağıdaki altı kategoride tasnif etmektedir:

- i) İnsan Faktörleri
- ii) Uçak Sistemleri & Teknoloji
- iii) Bakım ve Uçuşa Elverişlilik
- iv) Operasyon ve Prosedürler
- v) Mevzuat ve Uyumluluk
- vi) Altyapı ve Tesisler

Bunu, geçmiş MOC kayıtları, olay raporları ve risk matrisleriyle karşılaştırarak yapar. AI destekli bu analiz, kullanıcıyı kritik risklere karşı önceden uyarır ve kontrol önlemleri oluşturmada yardımcı olur.

Tablo 5.

Kategori	Açıklama / Alt Alan	Risk Tanımı	Risk Seviyesi
İnsan Faktörleri	Mürettebat eğitimi, yetkinlik ve insan performansı faktörleri	Resmî adres değişikliği, düzenleyici otoritelerden gelen kritik bildirimlerde veya güncellemelerde yanlış anlaşılmalara ve iletişim aksaklıklarına yol açabilir.	Yüksek Risk
Bakım ve Uçuş Elverişlilik	Bakım programları, uçuş elverişlilik uygunluğu ve denetimler	Bakım kayıtları ve teknik dokümantasyonda eski adresin yer alması, denetimler sırasında tutarsızlıklara veya uygunsuzluk bulgularına neden olabilir.	Orta Risk
Operasyon ve Prosedürler	Uçuş operasyonları, prosedürler ve operasyonel dokümantasyon	Eski adresin SOP’lerde yer alması, personel arasında iletişim protokolleriyle ilgili karışıklığa neden olabilir.	Orta Risk
Mevzuat ve Uyumluluk	Havacılık mevzuatı, uygunluk ve emniyet yönetimi	Resmî adresin SHGM/EASA gibi havacılık otoritelerine bildirilmemesi, düzenleyici gerekliliklere uyumsuzluk oluşturabilir.	Yüksek Risk

Tablo 5’te, SAFEJETS MS’ten elde edilen “resmi adres değişikliği” değişimine ilişkin riskler yer almaktadır. SAFEJETS MS, 4 kategoride 2’si yüksek, 2’si orta derecede sınıflanmış birer adet olmak üzere, toplamda 4 adet risk önermiştir.

5. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada SAFEJETS MS adlı, Türkiye menşeli yazılımın özellikler incelenmiştir. Havacılığın diğer alanlarında yapılmış olan bilimsel araştırmalara ait oldukça geniş sistematik ve bibliyometrik bir analize Demir vd. (2024) çalışmasından ulaşılabılır. Bu çalışmanın yazarının bildiği kadarıyla ve Demir vd. (2024) sistematik gözden geçirmesinde de yer almadığı üzere, doğrudan uyumluluk izleme ve ICAO SMS kapsamındaki emniyet yönetim süreçlerinde, denetçi, yöneticiler ve personele karar destek sistemi olarak rol alan bir uygulama ya da bu yönde bir çalışma bulunmamaktadır.

SAFEJETS MS deneyimi, yapay zekânın havacılıkta sadece teknik analiz değil, aynı zamanda yönetim ve kültürel dönüşüm aracı olarak da işlev görebileceğini ortaya koymaktadır. AI destekli öneri sistemleri,

denetçilerin bilgi birikimini sistematik biçimde yansıtarak kurumsal hafızayı güçlendirmekte, kullanıcılar arası tutarlılığı artırmaktadır. Ancak kullanıcı güveni, veri kalitesi ve açıklanabilirlik (explainable AI) halen kritik öneme sahiptir.

Bazı kullanıcılar sistemin önerilerini sorgulama eğilimindedir; bu nedenle şeffaflık, eğitim ve

geri bildirim mekanizmaları hayati rol oynamaktadır.

Çalışmada konu alınan örnek yazılım SAFEJETS MS, sınırlı süre ve kaynakla bile yapay zekânın havacılık yönetimi süreçlerine anlamlı katkılar sunabileceğini göstermektedir.

SAFEJETS MS'in dört temel yapay zekâ modülü, havacılıkta emniyet ve kalite süreçlerinin dijitalleşmesinde önemli bir örnek teşkil etmektedir. CAPA öneri motoru, kök neden analizi, Bowtie tabanlı SPI öneri sistemi ve MOC risk analizi birlikte çalışarak uçtan uca bir emniyet zekâsı ekosistemi oluşturmuştur.

Gelecekte sistemin performansının artırılması için üç temel öneri öne çıkmaktadır:

- (1) Yapay zekâ algoritmalarının açıklanabilirliğini artırmak,
- (2) Kullanıcı geri bildirimlerinden öğrenen adaptif modeller geliştirmek,
- (3) AI yönetişimi ve etik çerçevelerini SMS politikalarıyla entegre etmek.

Bu adımlar atıldığında, YZ temelli yönetim sistemi yazılımları, yalnızca bir yazılım değil, aynı zamanda havacılık yönetimi alanında sürdürülebilir bir yapay zekâ dönüşüm modeli olarak konumlanacaktır. SAFEJETS MS örneği, veri temelli ve öğrenen organizasyon yaklaşımının Türkiye havacılık endüstrisinde uygulanabilirliğini kanıtlayan bir öncü uygulama olarak değerlendirilebilir.

Kaynakça

- 2024 FAA Safety Data Challenge Winner Announcement. (2024, Aralık 19). 2024 FAA Safety Data Challenge Winner Announcement
- Bernard, W., & Hoffmann, A. (2023, Eylül 14). SKYWISE-Big data platform as a foundation of airlines predictive and health monitoring. *4th Asia Pacific Conference of the Prognostics and Health Management*. <https://aircraft.airbus.com/en/s>
- Bilsel, R. U., & Lin, D. K. J. (2012). Ishikawa Cause and Effect Diagrams Using Capture Recapture Techniques. *Quality Technology & Quantitative Management*, 9(2), 137-152. <https://doi.org/10.1080/16843703.2012.11673282>
- Book, G. (2012, Nisan). Lessons Learned from Real World Application of the Bow-tie Method. *SPE Middle East Health, Safety, Security, and Environment Conference and Exhibition*.
- Demir, G., Moslem, S., & Duleba, S. (2024). Artificial Intelligence in Aviation Safety: Systematic Review and Biometric Analysis. İçinde *International Journal of Computational Intelligence Systems* (C. 17, Sayı 1). Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s44196-024-00671-w>
- EASA. (2023). *ARTIFICIAL INTELLIGENCE ROADMAP 2.0: Human-centric approach to AI in aviation*. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/easa-artificial-intelligence-roadmap-20>
- ENTROPOL. (2025). *SAFEJETS MS*. <https://www.safejets.net/safejets-ms-brochure>
- Flair Airlines. (2025, Ocak). Case Study: AI for efficiency at Flair Airlines. *Aircraft IT OPS*.
- Fu, S., & Avdelidis, N. P. (2023). Prognostic and Health Management of Critical Aircraft Systems and Components: An Overview. İçinde *Sensors* (C. 23, Sayı 19). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/s23198124>
- Garvin, D. A. (1988). *Managing Quality: The Strategic and Competitive Edge*. Free Press. <https://books.google.com.tr/books?id=K-LWY2qgSHwC>
- Hawley, D. (2025, Ekim 3). *When AI takes off: how aviation is becoming smarter and safer*. <https://www.sedgwick.com/blog/when-ai-takes-off-how-aviation-is-becoming-smarter-and-safer>
- John, E., & Cianfrani, C. A. (2016). Where is preventive action? *Quality Progress*, 49(3), 56.
- Lang, S. (2023, Eylül 14). AVIATAR-Deep dive into prediction with AVIATAR with in-service examples from airlines. *4th Asia Pacific Conference of the Prognostics and Health Management*. www.aviatar.com

- Merlo, T. R. (2024). Emerging Role of Artificial Intelligence (AI) in Aviation: Using Predictive Maintenance for Operational Efficiency. İçinde A. A. Yilmaz (Ed.), *Harnessing Digital Innovation for Air Transportation* (ss. 28-46). IGI Global Scientific Publishing. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-0732-8.ch002>
- Mgbachi, V. (2024). AI in Business Aviation Route Optimization: Reducing Fuel Consumption and Environmental Impact. *Journal of Business and Strategic Management*, 9(5), 48-82.
- Nanyonga, A., Wasswa, H., Joiner, K., Turhan, U., & Wild, G. (2025). A Multi-Head Attention-Based Transformer Model for Predicting Causes in Aviation Incidents. *Modelling*, 6(2). <https://doi.org/10.3390/modelling6020027>
- Nimmala, R. (2023). Applying Machine Learning to Financial Risk Management for Fuel Savings and Carbon Emissions Reduction in Airline Operations. *Journal of Artificial Intelligence, Machine Learning and Data Science*, 1(3), 308-311. <https://doi.org/10.51219/jaimld/rohit-nimmala/90>
- Pilon, R. V. (2024). *Artificial Intelligence in Commercial Aviation*. Routledge.
- Ricketts, J., Barry, D., Guo, W., & Pelham, J. (2023). A Scoping Literature Review of Natural Language Processing Application to Safety Occurrence Reports. İçinde *Safety* (C. 9, Sayı 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/safety9020022>
- safejets.net. (2022, Ağustos 25). *SAFEJETS QMS is ready*. SAFEJETS.net.
- safejets.net. (2024, Kasım 22). *Exciting Update: SAFEJETS QMS is Now SAFEJETS MS*. Safejets.net.
- SHGM. (2018). *Uyumluluk izleme fonksiyonunun izlenmesine ilişkin talimat (SHT-UYUMLULUK İZLEME)*.
- Siddeshwar, V., Azim, A., Alwidian, S., & Makrehchi, M. (2024). Towards Enhancing Aviation Safety Through Advanced Incident Analysis Using Large Language Models. *2024 34th International Conference on Collaborative Advances in Software and ComputING (CASCON)*, 1-7. <https://doi.org/10.1109/CASCON62161.2024.10837802>
- Tikayat Ray, A., Bhat, A. P., White, R. T., Nguyen, V. M., Pinon Fischer, O. J., & Mavris, D. N. (2023). Examining the Potential of Generative Language Models for Aviation Safety Analysis: Case Study and Insights Using the Aviation Safety Reporting System (ASRS). *Aerospace*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/aerospace10090770>
- Waldhorn, J. R. (2024, Kasım). Improving efficiency of Wizz Air's taxi fuel planning. *Aircraft IT OPS*.

