

EJONS

Uluslararası Matematik, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi
International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences

Research Article

e-ISSN: 2602 - 4136

<https://doi.org/10.5281/zenodo.15769262>

Hava Yolu Kargo Operasyonlarında İş Güvenliği Risklerinin Değerlendirilmesi

Furkan BERBER *¹ Bülent Oktay AKKOYUNLU ², Serap TEPE ³

¹Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Güvenliği Programı, İstanbul, Türkiye

²Marmara Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, İstanbul, Türkiye

³Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Sosyal Hizmet Bölümü, İstanbul, Türkiye

Sorumlu Yazar Email: serap.tepe@sbu.edu.tr

Makale Tarihçesi

Geliş: 21.05.2025

Kabul: 21.06.2025

Anahtar Kelimeler

İş Güvenliği,
Sivil Havacılık,
Kargo Operasyonları

Özet: Gelişen küreselleşme ve teknolojik gelişmeler doğrultusunda, sivil havacılık sektörü özellikle kargo taşımacılığı alanında kritik bir rol üstlenmektedir. Ancak, operasyonların karmaşıklığı, insan faktörleri ve süreç eksiklikleri gibi unsurlar, iş güvenliği risklerini artırmakta ve sektörde kazalara neden olabilmektedir. Bu çalışma, hava yolu kargo operasyonlarında mevcut iş güvenliği risklerini detaylı bir şekilde analiz ederek, insan faktörleri, süreç hataları ve çevresel koşulların bu riskler üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır. Çalışmada, özellikle çok kriterli karar verme yöntemlerinden ARAS ve CIMAS gibi stratejik değerlendirme teknikleri kullanılarak, risk faktörlerinin ve çözüm önerilerinin etkinliği sistematik biçimde ölçülmüştür. Ayrıca, uzman görüşleri ve literatür verileri ışığında, sektörün özgün ihtiyaçlarına uygun risk yönetim modeli geliştirilmiştir. Analizler sonucunda, yükleme, boşaltma ve bakım süreçlerindeki olumsuz olayların çoğunlukla personel hatalarına dayandığı ve denetimlerin, eğitimlerin güçlendirilmesiyle risklerin önemli ölçüde azaltılabileceği ortaya çıkmıştır. Çalışma, bütünsel risk yönetim yaklaşımıyla, sektörde kalıcı ve sürdürülebilir güvenlik kültürünün yaygınlaştırılmasını hedeflemektedir. Bulgular, personel eğitimleri, teknolojik inovasyonlar ve risk odaklı uygulamaların sektör genelinde benimsenmesine yönelik özgün ve pratik rehberlik sağlar niteliktedir. Bu bağlamda, çalışma hem akademik hem de sektörel uygulamalar açısından yeni ve değerli bir katkı sunmaktadır.

Evaluation of Occupational Safety Risks in Air Cargo Operations

Article Info

Received: 21.05.2025

Accepted: 21.06.2025

Keywords

Occupational Safety,
Civil Aviation,
Air Cargo
Operations

Abstract: With the ongoing globalization and technological advancements, the civil aviation sector, particularly air cargo transportation, has gained critical importance. However, the increasing complexity of operations, coupled with human factors and process deficiencies, elevates occupational safety risks and may lead to accidents within the industry. This study systematically analyzes the current occupational safety risks associated with air cargo operations, highlighting the impacts of human factors, procedural shortcomings, and environmental conditions on risk levels. Employing multi-criteria decision-making methods such as the ARAS and CIMAS techniques, the effectiveness of risk factors and proposed solutions were quantitatively and qualitatively assessed. Furthermore, a comprehensive risk management model tailored to the sector's specific needs was developed based on expert opinions and literature review. The findings indicate that a majority of adverse events during loading, unloading, and maintenance processes stem from personnel errors, and that strengthening safety protocols, training, and supervisory mechanisms can significantly mitigate these risks. The novelty of this work lies in the integration and application of an holistic risk management approach, fostering the dissemination of a sustainable safety culture within the industry. The results provide practical and scholarly guidance for the adoption of personnel training, technological innovations, and risk-oriented practices across the sector. Consequently, this research makes a valuable contribution both academically and practically, establishing a robust framework for enhancing safety and operational reliability in air cargo transportation.

1. Giriş

İnsanlar, tarih boyunca çeşitli sebepler için yer değiştirme ihtiyacı hissetmişlerdir. Sanayileşme dönemiyle birlikte motorlu araçlar icat edilmiş ve modern anlamda seyahat kavramı bu dönemde kullanılmaya başlanmıştır. İlk olarak karayolu, ardından demiryolu ve daha sonrasında denizyolu ile gerçekleştirilen toplu seyahatler ulusal ve uluslararası bir ekonomik faaliyet olarak sistemdeki yerini almıştır. Tüm bunları, özellikle İkinci Dünya Savaşı'nın ardından yeniden canlanan sanayileşme çabalarıyla ve askeri uçakların sivil hava taşımacılığında kullanılmaya başlamasıyla, hava yolu taşımacılığı dördüncü ve son bir ulaşım aracı olarak tamamlandığı görülmektedir. (Akın, 2021)

Sivil havacılığın temel amacı, insanları ve yükleri güvenli, hızlı ve ekonomik bir biçimde bir noktadan başka bir noktaya taşımaktır. Bu çerçevede, sivil havacılık, uluslararası ve ulusal düzeyde hava trafiğinin düzenlenmesi, havaalanlarının işletilmesi, hava yollarının yönetimi ve hava güvenliğinin sağlanması gibi pek çok önemli unsuru kapsar. (Balık, 2015).

Kargo taşımacılığı, sadece ürünlerin fiziksel olarak taşınması değil, aynı zamanda bu süreçteki lojistik yönetimi, ambalajlama, etiketleme ve takip sistemlerini de içinde barındırmaktadır. Kargo taşımacılığında, modern teknolojiye gelen yeniliklerle birlikte dijital çözümler ve otomasyon sistemleri kullanılmakta, bu da süreçlerin daha verimli ve hızlı bir şekilde yönetilmesine olanak tanımaktadır. Kargo takip sistemleri sayesinde gönderilen kargoların anlık olarak nerede oldukları takip edilebilmekte ve bunun sayesinde hem gönderen hem de kargoyu alacak kişiler için büyük bir güvence sağlamaktadır. (Balık, 2015).

İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG), herhangi bir işyerinde personelin mesai süresi içerisinde sağlığının korunması ve/veya emniyetli bir şekilde işleri sürdürebilmesi için oluşturulan sistemler bütünüdür. (Yılmaz ve Polat, 2023).

Sivil havacılıkta İSG' nin önemi, çalışanların karşılaştığı farklı risklerden ortaya çıkmaktadır. Bu riskler içerisinde fiziksel tehlikeler (örneğin, yüksek gürültü düzeyleri, ağır yüklerin taşınması), kimyasal tehlikeler (yakıtlar, yağlar ve diğer kimyasallar), psikolojik stres (vardiyalı çalışma, yoğun iş temposu) ve ergonomik tehlikeler (uzun süreli oturumlar, tekrarlayan hareketler) bulunmaktadır (Yılmaz ve Polat, 2023).

Havacılık alanı, uçuş ve yer güvenliğinden ödün vermeden, sıfır kaza kırım amacına erişmek için uçak bakım kuruluşlarına ve bu kuruluşlarda görev yapan bakım çalışanına gereksinim duymaktadır. Faaliyet alanı nedeniyle, en ufak güvensiz bir durumda ve/veya muhtemel bir uçak kazasında insanların tümü ya da çoğunluğu için hayatlarını kaybetme riski taşıdığı gibi havacılık işletmesi ve yapısında bulunan uçak bakım işletmeleri de önemli bir itibar kaybı ve finansal zarara yaşayacaklardır. Havacılık alanı özellikle birçok sektörde hata ve kazaların başlıca nedeni insan etkenleridir. Havacılık sektöründe eskiden insan etkenlerinin kök nedenleri için yapılan araştırmalar özellikle havayolu çalışanları (pilot, kabin personeli vb.) üzerinde inceleme yaparken, günümüzde uçak bakım şirketlerinde bakım hataları üzerine daha fazla odaklanılmaktadır (Kocamış ve Apak, 2024).

6331 sayılı iş sağlığı ve güvenliği kanunu ülkemizde 2012 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu sayede iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili önlemler almak ve alınan önlemler ile yaşanabilecek iş kazaların önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Risk değerlendirmesi proaktif bir yaklaşım olarak 2013 yılında benimsenmiştir. Tehlikelerin riske dönüşme olasılığını hesaplayarak gerekli önleyici ve koruyucu önlemler alınarak kazaların yaşanmadan önlenmesi amaçlanmıştır. Risk analizinin temel prensibi, iş kazaları meydana gelmeden ortamda var olan tehlikelerin zarar verme potansiyelinin hesaplanmasına dayanmaktadır. Tehlikelerin riske dönüşme olasılığını hesaplayarak gerekli önleyici ve koruyucu önlemler alınarak kazaların yaşanmadan önlenmesi

amaçlanmıştır. Risk analizinin temel prensibi, iş kazaları meydana gelmeden ortamda var olan tehlikelerin zarar verme potansiyelinin hesaplanmasına dayanmaktadır (Barut, 2024).

2. Materyal ve Yöntem

2.1. CİMAS yöntemi

Criteria importance assessment (CİMAS) yöntemi kriter ağırlıklarını hesaplamak için kullanılır (Sun, 2025). Yöntemde uzmanların değerlendirmesini kullanarak bir karar verme sürecinde kriterlerin önemi belirlenir. Uzman bilgisi ve deneyimi ile ilgili önemli bir husus, bu yöntemin uzmanların söz konusu alanda geçirdikleri yıllardaki deneyimlerini dikkate almasıdır (Bošković ve ark., 2023).

CİMAS yöntemi 11 adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar aşağıdaki gibidir (Bouraima ve ark., 2023):

Adım 1: Kriter tanımlama ve değerlendirme: İlk adım, önemi değerlendirmek için kriterleri belirlemektir. Bu kriterler, literatür taraması veya uzman danışmanlığı yoluyla belirlenebilir (Bouraima ve ark., 2023).

Adım 2: Uzman sayısı değerlendirme: Karar verici, alandaki uzmanların sayısını değerlendirir ve onların deneyim süresi hakkında veri toplar (Bouraima ve ark., 2023).

Adım 3: Uzman deneyimi değerlendirme: Uzmanlar, alanlarındaki deneyimlerini yıl bazında detaylandırır ve karar verici, bu deneyimin önemini belirler (Bouraima ve ark., 2023).

Adım 4: Uzman önem derecesi hesaplaması: Tipik bir senaryoda, uzmanın önemi şu şekilde hesaplanabilir (Denklem (2.1.1) (Bouraima ve ark., 2023)):

$$w^{E_i} = \frac{E_i}{\sum_{i=1}^q E_i}, i = 1, 2, \dots, q. \quad (2.1.1)$$

Adım 5: Girdi veri matrisi formülasyonu: Bu adım sırasında, bir girdi karar verme matrisi oluşturulur (bkz: denklem (1)) (Bouraima ve ark., 2023).

Adım 6: Girdi veri matrisi normalizasyonu: Girdi veri matrisinin oluşturulmasının ardından, 6. adım veri normalizasyonunu içerir. Bu süreçte, normalizasyon tekniği Denklem (2.1.2)'yi uygulayarak gerçekleştirilir (Bouraima ve ark., 2023).

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^q x_{ij}}, i = 1, 2, \dots, q; j = 1, 2, \dots, p. \quad (2.1.2)$$

Adım 7: Uzman ağırlık matrisi hesaplaması: Normalleştirilmiş girdi verileri, adım 4'te uzmanlara atanan ağırlıklarla çarpılır. Hesaplama, Denklem (2.1.3) kullanılarak gerçekleştirilir (Bouraima ve ark., 2023).

$$\widehat{x}_{ij} = x_{ij}^* \cdot w^{E_i}, i = 1, 2, \dots, q; j = 1, 2, \dots, p, \quad (2.1.3)$$

Adım 8: Her kriterin maksimum ve minimum değerinin hesaplanması: Her kriterin maksimum ($R_{j \max}$) ve minimum ($R_{j \min}$) değeri, Denklem (2.1.4) ve (2.1.5) kullanılarak değerlendirilir (Bouraima ve ark., 2023).

$$R_{j \max} = \max_i [\widehat{x}_{ij}^*], j = 1, 2, \dots, p, \quad (2.1.4)$$

$$R_{j \min} = \min_i [\widehat{x}_{ij}^*], j = 1, 2, \dots, p, \quad (2.1.5)$$

Adım 9: Minimum ve maksimum fark değerlerinin hesaplanması: Önceki adımdaki elde edilen minimum ve maksimum değerler arasındaki fark B_j , Denklem (2.1.6) kullanılarak hesaplanır (Bouraima ve ark., 2023).

$$B_j = R_{j \max} - R_{j \min}, j = 1, 2, \dots, p. \quad (2.1.6)$$

Adım 10: Son sıralama formülü uygulaması yapılır. (Denklem (2.1.7)) (Bouraima ve ark., 2023).

$$L_j = \frac{B_j}{\sum_{j=1}^p B_j}, j = 1, 2, \dots, p. \quad (2.1.7)$$

Adım 11: Güvenilirlik endeksi (RI) kontrolü: CIMAS gibi öznel yöntemler kullanılırken, uzman yanıtlarının güvenilirliği çok önemlidir. Tutarsızlık oranlarını ölçen Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi aksine, CIMAS güvenilirliği değerlendirmek için alternatif bir yaklaşım kullanmaktadır. Bu iki yaklaşım içerir. İlk tur sonuçlarından habersiz olan uzmanların kriterlere %0-100 ölçeğine yüzdelik önem atadığı mülakat turu. İkinci tur görüşmelerden elde edilen yanıtlar olarak P_j , kapağını kullandığımızı varsayalım ve L_j ise daha önceki elde edilen CIMAS ağırlıklarını ifade eder. Bu durumda, güvenilirlik endeksi (RI) denklem (2.1.8) aracılığıyla hesaplanabilir (Bouraima ve ark., 2023).

$$RI = \frac{\sum_{j=1}^n |F_j * 100 - P_j|}{100}. \quad (2.1.8)$$

2.2. Küresel bulanık kümeler

Bulanık kümeler, dilbilimsel tabanlı yapıları nedeniyle uzman değerlendirmelerinde kullanılmaktadır (Kara ve ark., 2024a).

Bulanık kümelerin Zadeh (1965) tarafından tanıtılması bir ilgi dalgası yaratmış ve çeşitli bilimsel alanlarda yaygın olarak benimsenmesine yol açmıştır (Rahim ve ark., 2025).

Bu yeni model, her derece için farklı terim seviyeleri sunmaktadır (Rahim ve ark., 2025).

p: Üyelik dereceleri (ϑ) için terim seviyesi,

q: Nötr üyelik dereceleri (η) için terim seviyesi,

r: Üyelik dışı dereceleri (φ) için terim seviyesi,

p, q, r-Küresel Bulanık Kümeler SFS (Spherical Fuzzy Set) koşulu aşağıdaki gibi ifade edilebilir.(Rahim ve ark., 2025):

$$(\vartheta_T^U(\alpha))^p + (\eta_{T^U}(\alpha))^q + (\varphi_T^U(\alpha))^r \ll 1,$$

Burada belirtilen p, q ve r herhangi bir pozitif tam sayıdır.

Bu esneklik, üyeliğin, tarafsız üyeliğin ve üye olmamanın belirli özelliklerini daha iyi yakalanabileceğini daha özel bir yaklaşıma olanak tanır. Sonuç olarak, $IV_{(p,q,r)}$ SFSs, bulanık bilgiyi temsil etmek için daha uyarlanabilir ve hassas bir çerçeve sunarak, daha geniş bir karar verme senaryosunu etkili bir şekilde modelleme ve çözmeye yeteneğini artırır. (Rahim ve ark., 2025). Başlangıçta Aralık Değerli Resim Bulanık Kümeleri $IVPiFS$ (Interval-Valued Picture Fuzzy Sets), üyelik, tarafsız üyelik ve üyelik dışı değerlerin toplamının birden küçük veya eşit olması gereken $p = q = r = 1$ sabit terim seviyelerini kullanır. Bu, küresel değerlere aynı kısıtlamayı uygulayarak $p = q = r = 2$ ile interval-valued spherical fuzzy set $IVSFS$ 'ye dönüşür. Bir sonraki ilerleme, t terim seviyesinin birden büyük veya eşit bir değişken olduğu ve daha fazla esneklik sağlayan Interval-Valued Spherical Fuzzy Sets $IV(t)SFS$ 'lerdir. En uyarlanabilir model olan $IV(p,q,r)$ SFSs, her derece için farklı terim seviyelerine izin vererek üyelik, tarafsız üyelik ve üye olmama derecelerine farklı önem seviyeleri atayarak karar vermeye özel bir yaklaşım sağlar (Rahim ve ark., 2025).

Tablo 1. Dilsel değişkenler ve aralık değerli p, q, r-küresel bulanık sayılar arasındaki korelasyon (Rahim ve ark., 2025).

Dilsel Değişkenler	$IV_{(p,q,r)}$ spherical fuzzy numbers
Kesinlikle	([0.85, 0.90], [0.05, 0.10], [0.00, 0.10])
Neredeyse kesinlikle	([0.80, 0.84], [0.11, 0.20], [0.11, 0.15])
Büyük ihtimalle	([0.75, 0.80], [0.15, 0.25], [0.20, 0.30])
Muhtemelen	([0.65, 0.70], [0.26, 0.30], [0.31, 0.40])
Belki olabilir	([0.55, 0.65], [0.31, 0.35], [0.41, 0.45])
Belki olabilir	([0.45, 0.54], [0.36, 0.40], [0.46, 0.55])
Pek muhtemel değil	([0.40, 0.44], [0.41, 0.43], [0.56, 0.65])
İhtimal dışı	([0.30, 0.39], [0.44, 0.46], [0.66, 0.75])
Şüpheli bir şekilde	([0.20, 0.29], [0.47, 0.50], [0.76, 0.80])
Neredeyse hiç	([0.10, 0.19], [0.51, 0.53], [0.81, 0.85])
Asla	([0.05, 0.09], [0.54, 0.57], [0.86, 0.95])

2.2.1. Aralık değerli küresel bulanık kümelerin tanımları

D ve $\tilde{\mathfrak{B}}$ sembolü, Denklem (2.2.1.1)'de ifade edildiği gibi IVSF setleri D setinin kapsayıcı çerçevesi içinde işlem görmektedir (Kara ve Ark., 2024b):

$$\tilde{\mathfrak{B}} = \left\{ d, \begin{pmatrix} (\beta_{\tilde{\mathfrak{B}}}^L(d), \beta_{\tilde{\mathfrak{B}}}^U(d)), \\ (\gamma_{\tilde{\mathfrak{B}}}^L(d), \gamma_{\tilde{\mathfrak{B}}}^U(d)), \\ (\delta_{\tilde{\mathfrak{B}}}^L(d), \delta_{\tilde{\mathfrak{B}}}^U(d)) \end{pmatrix} \mid d \in D \right\}, \quad (2.2.1.1)$$

burada $0 \leq \beta_{\tilde{\mathfrak{B}}}^L(d) \leq \beta_{\tilde{\mathfrak{B}}}^U(d) \leq 1$, $0 \leq \gamma_{\tilde{\mathfrak{B}}}^L(d) \leq \gamma_{\tilde{\mathfrak{B}}}^U(d) \leq 1$ ve $0 \leq \delta_{\tilde{\mathfrak{B}}}^L(d) \leq \delta_{\tilde{\mathfrak{B}}}^U(d) \leq 1$. Söz konusu bağlam dahilinde fonksiyonları $\beta_{\tilde{\mathfrak{B}}}^L(d)$, $\gamma_{\tilde{\mathfrak{B}}}^L(d)$ ve $\delta_{\tilde{\mathfrak{B}}}^L(d)$ soyut olarak yorumlanabilir alt üyelik derecesini temsil eden kavramlar, alt derece ve tereddüt derecesi sırasıyla daha düşüktür. Bu fonksiyonları $\beta_{\tilde{\mathfrak{B}}}^U(d)$, $\gamma_{\tilde{\mathfrak{B}}}^U(d)$ ve $\delta_{\tilde{\mathfrak{B}}}^U(d)$ soyut olarak yorumlanabilir sırasıyla üst üyelik derecesini, üst üye olmama derecesini ve üst tereddüt derecesini temsil eden kavramlardır. Bu fonksiyonlar resmi olarak tanımlanırken eşitsizliğinin $0 \leq (\beta_{\tilde{\mathfrak{B}}}^U(d))^2 + (\gamma_{\tilde{\mathfrak{B}}}^U(d))^2 + (\delta_{\tilde{\mathfrak{B}}}^U(d))^2 \leq 1$ D kümesinin üyesi olan tüm d elemanları için geçerlidir (Kara ve ark., 2024b).

$$\tilde{\mathfrak{B}}_1 \oplus \tilde{\mathfrak{B}}_2 = (\text{Kara ve ark., 2024b}).$$

$$\left\{ \begin{pmatrix} \left(\left((\beta_{\tilde{\mathfrak{B}}_1}^L(d))^2 + (\beta_{\tilde{\mathfrak{B}}_1}^U(d))^2 - (\beta_{\tilde{\mathfrak{B}}_1}^L(d))^2 (\beta_{\tilde{\mathfrak{B}}_1}^U(d))^2 \right)^{1/2}, \right. \\ \left((\beta_{\tilde{\mathfrak{B}}_1}^U(d))^2 + (\beta_{\tilde{\mathfrak{B}}_1}^L(d))^2 - (\beta_{\tilde{\mathfrak{B}}_1}^U(d))^2 (\beta_{\tilde{\mathfrak{B}}_1}^L(d))^2 \right)^{1/2}, \\ \left(\left((\gamma_{\tilde{\mathfrak{B}}_1}^L(d)) (\gamma_{\tilde{\mathfrak{B}}_2}^L(d)) \right), \left((\gamma_{\tilde{\mathfrak{B}}_1}^U(d)) (\gamma_{\tilde{\mathfrak{B}}_2}^U(d)) \right) \right), \\ \left(\left(\left((1 - (\beta_{\tilde{\mathfrak{B}}_2}^L(d))^2) ((\delta_{\tilde{\mathfrak{B}}_1}^L(d))^2) + \right. \right. \right. \\ \left. \left((1 - (\beta_{\tilde{\mathfrak{B}}_1}^L(d))^2) ((\delta_{\tilde{\mathfrak{B}}_2}^L(d))^2) - \right. \right. \\ \left. \left. ((\delta_{\tilde{\mathfrak{B}}_1}^L(d))^2) ((\delta_{\tilde{\mathfrak{B}}_2}^L(d))^2) \right)^{1/2} \right. \\ \left. \left(\left((1 - (\beta_{\tilde{\mathfrak{B}}_2}^U(d))^2) ((\delta_{\tilde{\mathfrak{B}}_1}^U(d))^2) + \right. \right. \right. \\ \left. \left((1 - (\beta_{\tilde{\mathfrak{B}}_1}^U(d))^2) ((\delta_{\tilde{\mathfrak{B}}_2}^U(d))^2) - \right. \right. \\ \left. \left. ((\delta_{\tilde{\mathfrak{B}}_1}^U(d))^2) ((\delta_{\tilde{\mathfrak{B}}_2}^U(d))^2) \right)^{1/2} \right) \end{pmatrix} \mid d \in D \right\} \quad (2.2.1.2)$$

Bir boş olmayan $\mathcal{Y}$ kümesi için, bir $\alpha \in \mathcal{Y}$ elemanı için (IVSFS) S şu şekilde ifade edilir (Rahim ve ark., 2025):

$$S = \{ \alpha, ([\vartheta_S^L(\alpha), \vartheta_S^U(\alpha)], [\eta_S^L(\alpha), \eta_S^U(\alpha)] \cdot [\varphi_S^L(\alpha), \varphi_S^U(\alpha)]) \mid \alpha \in Y \}, \quad (2.2.1.1.1)$$

Burada $[\vartheta_S^L(\alpha), \vartheta_S^U(\alpha)] \subseteq [0,1]$, $[\eta_S^L(\alpha), \eta_S^U(\alpha)] \subseteq [0,1]$ ve $[\varphi_S^L(\alpha), \varphi_S^U(\alpha)] \subseteq [0,1]$ ve bu bileşenler sırasıyla üyelik, nötr (tarafsız) üye olmama derecelerini temsil eder, öyle ki $0 \leq \vartheta_S^L(\alpha) \leq \vartheta_S^U(\alpha) \leq 1, 0 \leq \eta_S^L(\alpha) \leq \eta_S^U(\alpha) \leq 1, 0 \leq \varphi_S^L(\alpha) \leq \varphi_S^U(\alpha) \leq 1$ ve $(\vartheta_S^U(\alpha))^2 + (\eta_S^U(\alpha))^2 + (\varphi_S^U(\alpha))^2 \leq 1$, Eğer $\vartheta_S^L(\alpha) = \vartheta_S^U(\alpha), \eta_S^L(\alpha) = \eta_S^U(\alpha)$ ve $\varphi_S^L(\alpha), \varphi_S^U(\alpha)$ ise IVSFS S , SFS'ye indirgenir. Bir aralık değerli küresel bulanık sayı IVSFNs (Interval-Valued Spherical Fuzzy Number) $([\vartheta_S^L, \vartheta_S^U], [\eta_S^L, \eta_S^U] \cdot [\varphi_S^L, \varphi_S^U])$ olarak gösterilebilir, öyle ki $0 \leq \vartheta_S^L \leq \vartheta_S^U \leq 1, 0 \leq \eta_S^L \leq \eta_S^U \leq 1, 0 \leq \varphi_S^L \leq \varphi_S^U \leq 1$ and $(\vartheta_S^U)^2 + (\eta_S^U)^2 + (\varphi_S^U)^2 \leq 1$ (Rahim ve ark., 2025).

$\alpha = ([\vartheta_S^L, \vartheta_S^U], [\eta_S^L, \eta_S^U] \cdot [\varphi_S^L, \varphi_S^U])$, $\alpha_1 = ([\vartheta_{S_1}^L, \vartheta_{S_1}^U], [\eta_{S_1}^L, \eta_{S_1}^U] \cdot [\varphi_{S_1}^L, \varphi_{S_1}^U])$ ve $\alpha_2 = ([\vartheta_{S_2}^L, \vartheta_{S_2}^U], [\eta_{S_2}^L, \eta_{S_2}^U] \cdot [\varphi_{S_2}^L, \varphi_{S_2}^U])$ herhangi üç IVSFN ise

$$1. \alpha_1 \cup \alpha_2 \left(\begin{array}{l} [\max(\vartheta_{S_1}^L, \vartheta_{S_2}^L), \max(\vartheta_{S_1}^U, \vartheta_{S_2}^U)], \\ [\min(\eta_{S_1}^L, \eta_{S_2}^L), \min(\eta_{S_1}^U, \eta_{S_2}^U)], \\ [\min(\varphi_{S_1}^L, \varphi_{S_2}^L), \min(\varphi_{S_1}^U, \varphi_{S_2}^U)] \end{array} \right)$$

$$2. \alpha_1 \cap \alpha_2 \left(\begin{array}{l} [\min(\vartheta_{S_1}^L, \vartheta_{S_2}^L), \min(\vartheta_{S_1}^U, \vartheta_{S_2}^U)], \\ [\max(\eta_{S_1}^L, \eta_{S_2}^L), \max(\eta_{S_1}^U, \eta_{S_2}^U)], \\ [\min(\varphi_{S_1}^L, \varphi_{S_2}^L), \min(\varphi_{S_1}^U, \varphi_{S_2}^U)] \end{array} \right)$$

$$3. \alpha_1 \oplus \alpha_2 =$$

$$\left(\begin{array}{l} \left[\left((\vartheta_{S_1}^L)^2 + (\vartheta_{S_2}^L)^2 - (\vartheta_{S_1}^L)^2 (\vartheta_{S_2}^L)^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \left((\vartheta_{S_1}^U)^2 + (\vartheta_{S_2}^U)^2 - (\vartheta_{S_1}^L)^2 (\vartheta_{S_2}^U)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right], \\ [\eta_{S_1}^U \eta_{S_2}^U, \eta_{S_1}^L \eta_{S_2}^L], \\ \left[\left((1 - (\vartheta_{S_1}^L)^2) (\varphi_{S_1}^L)^2 + (1 - (\vartheta_{S_1}^L)^2) (\varphi_{S_2}^L)^2 - (\varphi_{S_1}^L)^2 (\varphi_{S_2}^L)^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \right. \\ \left. \left[\left((1 - (\vartheta_{S_2}^U)^2) (\varphi_{S_1}^U)^2 + (1 - (\varphi_{S_1}^U)^2) (\varphi_{S_2}^U)^2 - (\varphi_{S_1}^U)^2 (\varphi_{S_2}^U)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right] \end{array} \right)$$

$$4. \alpha_1 \otimes \alpha_2 =$$

$$\left(\begin{array}{l} [\vartheta_{S_1}^L \vartheta_{S_2}^L, \vartheta_{S_1}^U \vartheta_{S_2}^U], \left[\left((\eta_{S_1}^L)^2 + (\eta_{S_2}^L)^2 - (\eta_{S_1}^L)^2 (\eta_{S_2}^L)^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \left((\eta_{S_1}^U)^2 + (\eta_{S_2}^U)^2 - (\eta_{S_1}^L)^2 (\eta_{S_2}^U)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right], \\ \left[\left((1 - (\eta_{S_2}^L)^2) (\varphi_{S_1}^L)^2 + (1 - (\eta_{S_1}^L)^2) (\varphi_{S_2}^L)^2 - (\varphi_{S_1}^L)^2 (\varphi_{S_2}^L)^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \right. \\ \left. \left[\left((1 - (\eta_{S_2}^U)^2) (\varphi_{S_1}^U)^2 + (1 - (\eta_{S_1}^U)^2) (\varphi_{S_2}^U)^2 - (\varphi_{S_1}^U)^2 (\varphi_{S_2}^U)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right] \end{array} \right)$$

$$5. \omega \alpha =$$

$$\left(\left[\left(1 - \left(1 - (\vartheta_S^L)^2 \right)^\omega \right)^{\frac{1}{2}}, \left(1 - \left(1 - (\vartheta_S^U)^2 \right)^\omega \right)^{\frac{1}{2}} \right], \left[(\eta_S^L)^\omega, (\eta_S^U)^\omega \right], \right. \\ \left. \left[\left(\left(1 - (\vartheta_S^L)^2 \right)^\omega - \left(1 - (\vartheta_S^L)^2 - (\varphi_S^L)^2 \right)^\omega \right)^{\frac{1}{2}}, \right. \right. \\ \left. \left. \left[\left(\left(1 - (\vartheta_S^U)^2 \right)^\omega - \left(1 - (\vartheta_S^U)^2 - (\varphi_S^U)^2 \right)^\omega \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right] \right)$$

6. $\alpha^\omega =$

$$\left(\left[(\vartheta_S^L)^\omega, (\vartheta_S^U)^\omega \right], \left[\left(1 - \left(1 - (\eta_S^L)^2 \right)^\omega \right)^{\frac{1}{2}}, \left(1 - \left(1 - (\eta_S^U)^2 \right)^\omega \right)^{\frac{1}{2}} \right], \right. \\ \left. \left[\left(\left(1 - (\eta_S^L)^2 \right)^\omega - \left(1 - (\eta_S^L)^2 - (\varphi_S^L)^2 \right)^\omega \right)^{\frac{1}{2}}, \left(\left(1 - (\eta_S^U)^2 \right)^\omega - \left(1 - (\eta_S^U)^2 - (\varphi_S^U)^2 \right)^\omega \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right)$$

$\alpha = ([\vartheta_S^L, \vartheta_S^U], [\eta_S^L, \eta_S^U] \cdot [\varphi_S^L, \varphi_S^U])$ bir IVSFS olsun, o zaman α için puan ve doğruluk fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Rahim ve ark., 2025):

$$S_{co}(\alpha) = \frac{(\vartheta_S^L)^2 + (\vartheta_S^U)^2 - (\eta_S^L)^2 - (\eta_S^U)^2 - \left(\frac{\varphi_S^L}{2}\right)^2 + \left(\frac{\varphi_S^U}{2}\right)^2}{2}$$

$$A_{cc}(\alpha) = (\vartheta_S^L)^2 + (\vartheta_S^U)^2 - (\eta_S^L)^2 - (\eta_S^U)^2 - (\varphi_S^L)^2 + (\varphi_S^U)^2$$

Burada $-1 \leq S_{co} \leq 1$ and $0 \leq A_{cc}(\alpha) \leq 1$.

2.2.2. Aralık değerli t-küresel bulanık kümeler (Interval-Valued t-Spherical fuzzy Sets)

Boş olmayan herhangi bir Y kümesi için, bir $\alpha \in Y$ elemanı için aralık değerli bir T küresel bulanık küme (IV(t)SFS) T aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Rahim ve ark., 2025).

$$T = \left\{ \alpha, \left(\left[\vartheta_T^L(\alpha), \vartheta_T^U(\alpha) \right], \left[\eta_T^L(\alpha), \eta_T^U(\alpha) \right], \left[\varphi_T^L(\alpha), \varphi_T^U(\alpha) \right] \right) \mid \alpha \in Y \right\},$$

Burada $\left[\vartheta_T^L(\alpha), \vartheta_T^U(\alpha) \right] \subseteq [0,1], \left[\eta_T^L(\alpha), \eta_T^U(\alpha) \right] \subseteq [0,1]$ ve $\left[\varphi_T^L(\alpha), \varphi_T^U(\alpha) \right] \subseteq [0,1]$ sırasıyla T 'deki α elemanının üyelik, tarafsız üyelik ve üye olmama derecelerini temsil eder. öyle ki tüm $0 \leq \vartheta_T^L(\alpha) \leq \vartheta_T^U(\alpha) \leq 1, 0 \leq \eta_T^L(\alpha) \leq \eta_T^U(\alpha) \leq 1, 0 \leq \varphi_T^L(\alpha) \leq \varphi_T^U(\alpha) \leq 1$ ve $\left(\vartheta_T^U(\alpha) \right)^t + \left(\eta_T^U(\alpha) \right)^t + \left(\varphi_T^U(\alpha) \right)^t \leq 1$ tüm t için ≥ 1 . Eğer $\vartheta_T^L(\alpha) = \vartheta_T^U(\alpha), \eta_T^L(\alpha) = \eta_T^U(\alpha)$ ve $\varphi_T^L(\alpha), \varphi_T^U(\alpha)$ ise IVSFS S t-SFS'ye indirgenir. Bir aralık değerli t-küresel bulanık sayı $IV_{(t)}SFNS = \left[\vartheta_T^L, \vartheta_T^U \right], \left[\eta_T^L, \eta_T^U \right], \left[\varphi_T^L, \varphi_T^U \right]$ ile gösterilebilir, öyle ki $0 \leq \left(\vartheta_T^U \right)^t + \left(\eta_T^U \right)^t + \left(\varphi_T^U \right)^t \leq 1, 0 \leq \eta_T^L \leq \eta_T^U \leq 1, 0 \leq \vartheta_T^L \leq \vartheta_T^U \leq 1$ ve $\left(\vartheta_T^U \right)^t + \left(\eta_T^U \right)^t + \left(\varphi_T^U \right)^t \leq 1$ burada $t \geq 1$. Reddetme derecesi aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\pi(a) = \left(\left[\sqrt[t]{1 - \left(\vartheta_T^U(\alpha)\right)^t - \left(\eta_T^U(\alpha)\right)^t - \left(\varphi_T^U(\alpha)\right)^t}, \sqrt[t]{1 - \left(\vartheta_T^L(\alpha)\right)^t + \left(\eta_T^L(\alpha)\right)^t + \left(\varphi_T^L(\alpha)\right)^t} \right] \right).$$

$$\Pi = ([\vartheta_T^L, \vartheta_T^U], [\eta_T^L, \eta_T^U], [\varphi_T^L, \varphi_T^U]), (\text{Rahim ve ark., 2025}).$$

$$\Pi_1 = ([\vartheta_{T_1}^L, \vartheta_{T_1}^U], [\eta_{T_1}^L, \eta_{T_1}^U], [\varphi_{T_1}^L, \varphi_{T_1}^U]) \quad \text{ve} \quad \Pi_2 = ([\vartheta_{T_1}^L, \vartheta_{T_1}^U], [\eta_{T_1}^L, \eta_{T_1}^U], [\varphi_{T_1}^L, \varphi_{T_1}^U])$$

Herhangi üç $IV_{(t)}SFS$ ' dir, o zaman

$$\begin{aligned} 1. \quad \Pi_1 \oplus \Pi_2 &= \left(\left[\left(\left(\vartheta_{T_1}^L \right)^t + \left(\vartheta_{T_2}^L \right)^t - \left(\vartheta_{T_1}^U \right)^t \left(\vartheta_{T_2}^U \right)^t \right)^{\frac{1}{t}}, \left(\left(\vartheta_{T_1}^U \right)^t + \left(\vartheta_{T_2}^U \right)^t - \left(\vartheta_{T_1}^L \right)^t \left(\vartheta_{T_2}^L \right)^t \right)^{\frac{1}{t}} \right], \left[\eta_{T_1}^L \eta_{T_2}^L, \eta_{T_1}^U \eta_{T_2}^U \right], \left[\varphi_{T_1}^L \varphi_{T_2}^L, \varphi_{T_1}^U \varphi_{T_2}^U \right] \right) (t \geq 1), \\ 2. \quad \Pi_1 \otimes \Pi_2 &= \left(\begin{aligned} &= [\vartheta_{T_1}^L \vartheta_{T_2}^L, \vartheta_{T_1}^U \vartheta_{T_2}^U], [\eta_{T_1}^L \eta_{T_2}^L, \eta_{T_1}^U \eta_{T_2}^U], \\ &\left[\left(\left(\varphi_{T_1}^L \right)^t + \left(\varphi_{T_2}^L \right)^t - \left(\varphi_{T_1}^U \right)^t \left(\varphi_{T_2}^U \right)^t \right)^{\frac{1}{t}}, \left(\left(\varphi_{T_1}^U \right)^t + \left(\varphi_{T_2}^U \right)^t - \left(\varphi_{T_1}^L \right)^t \left(\varphi_{T_2}^L \right)^t \right)^{\frac{1}{t}} \right] \end{aligned} \right) (t \geq 1), \\ 3. \quad \omega \Pi &= \left(\left[\left(1 - \left(1 - \left(\vartheta_T^L \right)^t \right)^\omega \right)^{\frac{1}{t}}, \left(1 - \left(1 - \left(\vartheta_T^U \right)^t \right)^\omega \right)^{\frac{1}{t}} \right], \left[\left(\eta_T^L \right)^\omega, \left(\eta_T^U \right)^\omega \right], \left[\left(\varphi_T^L \right)^\omega, \left(\varphi_T^U \right)^\omega \right] \right) \\ 4. \quad \Pi^\omega &= \left(\left[\left(\vartheta_T^L \right)^\omega, \left(\vartheta_T^U \right)^\omega \right], \left[\left(\eta_T^L \right)^\omega, \left(\eta_T^U \right)^\omega \right], \left[\left(1 - \left(1 - \left(\varphi_T^L \right)^t \right)^\omega \right)^{\frac{1}{t}}, \left(1 - \left(1 - \left(\varphi_T^U \right)^t \right)^\omega \right)^{\frac{1}{t}} \right] \right). \end{aligned}$$

$\Pi = ([\vartheta_T^L, \vartheta_T^U], [\eta_T^L, \eta_T^U], [\varphi_T^L, \varphi_T^U])$ bir IVSFS olsun, o zaman için puan fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Rahim ve ark., 2025):

$$S_{co}(\Pi) = \frac{\left(\vartheta_T^L \right)^t \left(1 - \left(\eta_T^L \right)^t - \left(\varphi_T^L \right)^t \right) + \left(\varphi_T^U \right)^2 \left(1 - \left(\eta_T^U \right)^t - \left(\varphi_T^U \right)^2 \right)^t}{3}$$

2.2.3. Aralık Değerli p, q, r-Küresel Bulanık Kümeler (Interval-Valued p, q, r-spherical fuzzy sets)

Bu bölümde $IV_{(p,q,r)}$ SFS fikri açıklanmaktadır. $IV_{(p,q,r)}$ SFSs için temel işlemsel yasaları tanımlamakta ve özelliklerini incelemektedir. Bu işlemsel yasalara dayanarak bir dizi toplama operatörü önerilmiştir (Rahim ve ark., 2025).

Boş olmayan herhangi bir Y kümesi için, bir $\alpha \in Y$ elemanı için bir aralık değerli (interval-valued) p,q,r-küresel bulanık küme ($IV_{(p,q,r)}SFS$) $\mathcal{E}$ aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Rahim ve ark., 2025):

$$\mathcal{E} = \left\{ \alpha, \left(\left[\vartheta_{\mathcal{E}}^L(\alpha), \vartheta_{\mathcal{E}}^U(\alpha) \right], \left[\eta_{\mathcal{E}}^L(\alpha), \eta_{\mathcal{E}}^U(\alpha) \right], \left[\varphi_{\mathcal{E}}^L(\alpha), \varphi_{\mathcal{E}}^U(\alpha) \right] \right) \mid \alpha \in Y \right\} \quad (2.2.3.1.1)$$

Denklem(6)'da $\left[\vartheta_{\mathcal{E}}^L(\alpha), \vartheta_{\mathcal{E}}^U(\alpha) \right] \subseteq [0,1]$, $\left[\eta_{\mathcal{E}}^L(\alpha), \eta_{\mathcal{E}}^U(\alpha) \right] \subseteq [0,1]$ ve $\left[\varphi_{\mathcal{E}}^L(\alpha), \varphi_{\mathcal{E}}^U(\alpha) \right] \subseteq [0,1]$ sırasıyla Y 'deki α elemanın üyelik, nötr üyelik ve üyelik dışı derecelerini temsil eder, öyle ki $0 \leq \vartheta_{\mathcal{E}}^L(\alpha) \leq \vartheta_{\mathcal{E}}^U(\alpha) \leq 1, 0 \leq \eta_{\mathcal{E}}^L(\alpha) \leq \eta_{\mathcal{E}}^U(\alpha) \leq 1, 0 \leq \varphi_{\mathcal{E}}^L(\alpha) \leq \varphi_{\mathcal{E}}^U(\alpha) \leq 1$ ve $\left(\vartheta_{\mathcal{E}}^U(\alpha) \right)^p + \left(\eta_{\mathcal{E}}^U(\alpha) \right)^r + \left(\varphi_{\mathcal{E}}^U(\alpha) \right)^q \leq 1$ tüm p için, $q \geq 1$ olduğunda $r = LCM_{(p,q)}$. Eğer $\vartheta_{\mathcal{E}}^L(\alpha) = \vartheta_{\mathcal{E}}^U(\alpha), \eta_{\mathcal{E}}^L(\alpha) = \eta_{\mathcal{E}}^U(\alpha)$ ve $\varphi_{\mathcal{E}}^L(\alpha), \varphi_{\mathcal{E}}^U(\alpha)$ ise $IV_{(p,q,r)}SFS \mathcal{E}$ 'ye indirgenir. Bir aralık değerli t-küresel bulanık sayı $IV_{(t)}SFS \mathcal{E} = \left(\left[\vartheta_{\mathcal{E}}^L, \vartheta_{\mathcal{E}}^U \right], \left[\eta_{\mathcal{E}}^L, \eta_{\mathcal{E}}^U \right], \left[\varphi_{\mathcal{E}}^L, \varphi_{\mathcal{E}}^U \right] \right)$ şeklinde gösterilebilir, öyle ki $0 \leq \vartheta_{\mathcal{E}}^L \leq \vartheta_{\mathcal{E}}^U \leq 1, 0 \leq \eta_{\mathcal{E}}^L \leq \eta_{\mathcal{E}}^U \leq 1, 0 \leq \varphi_{\mathcal{E}}^L \leq \varphi_{\mathcal{E}}^U \leq 1$ ve $\left(\vartheta_{\mathcal{E}}^U \right)^p + \left(\eta_{\mathcal{E}}^U \right)^r + \left(\varphi_{\mathcal{E}}^U \right)^q \geq 1$ tüm $p, q \geq 1$ için burada $r = LCM_{(p,q)}$ (Rahim ve ark., 2025).

2.3. ARAS Yöntemi

Çalışmada ayrıca ARAS yönteminden yararlanılmıştır. ARAS yöntemine göre bir araştırmada ihtimal dahilinde bir alternatife göreli etkinliğini saptamakta kullanılan fayda fonksiyonu, kriterlerin ağırlık ve değerlerinin göreli etkileri ile doğrudan orantılıdır. ARAS yöntemi seçeneğin performansını saptamaya yardımcı olur ve her seçeneğin ideal seçeneğe göre oransal benzerliğini açığa çıkarır. Mesela bir kriterin optimal puanın 10 olduğunu, ama bu kriterle değerlendirilmede alternatifler içindeki en yüksek puanın 9 olduğunu varsayalım. Bu durumda kriterin optimallik puanı farklı çok kriterli karar verme yöntemlerinde olduğu gibi 1.0 değil 0.9'dur. Böylece ARAS yöntemi oransal derecelendirme hedefine en yakın yöntem olarak tanımlanmaktadır. (Yıldırım ve ark., 2019).

ARAS yöntemi 4 adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar aşağıdaki gibidir (Yıldırım ve ark., 2019);

Adım 1: Karar matrisi oluşturulması.

Adım 2: Normalize karar matrisi oluşturulması.

Adım 3: Ağırlıklı normalize karar matrisi oluşturulması.

Adım 4: Optimal fonksiyon değerinin hesaplanması.

3. Bulgular ve Tartışma

Tablo 2. Uzmanlara ait demografik veriler

	Yaş	İGU Çalışma Yılı	Toplam Çalışma Yılı	Sertifika Sayısı
Uzman 1	50	15	22	9
Uzman 2	45	13	20	11
Uzman 3	44	12	20	14
Uzman 4	37	10	14	6
Uzman 5	36	5	16	1

Tablo 2 kargo bölümündeki iş güvenliği risklerini değerlendiren uzmanların demografik verilerini içermektedir.

Yaş Dağılımı: Uzmanların yaş aralıkları 36 ile 50 arasında değişmekte olup, ortalama yaşın 43 civarında olduğu görülmektedir. Bu, sektördeki deneyimli profesyonellerin değerlendirme sürecine katkıda bulunduğunu ve yer alan uzmanların belirli bir bilgi ve deneyim seviyesine sahip olduğunu göstermektedir.

İş Güvenliği Uzmanlığı (İGU) Çalışma Yılı: Uzmanların, iş güvenliği alanında ortalama olarak 10-15 yıl arasında tecrübeleri bulunmaktadır. Bu, uzmanların sektörde uzun bir süre geçirdiğini ve dolayısıyla risk değerlendirmelerinde sağlam bir bilgi birikimi sunduklarını göstermektedir.

Toplam Çalışma Yılı: Uzmanların sektördeki toplam çalışma yılları 14 ile 22 yıl arasında değişmektedir. Bu, uzmanların yalnızca iş güvenliği değil, aynı zamanda sektördeki çeşitli süreçler hakkında derin bilgi sahibi olduklarını gösterir.

Sertifika Sayısı: Uzmanların sahip olduğu sertifika sayısı değişkenlik göstermekte olup, bu da uzmanların farklı konularda ne kadar eğitim aldığını ve kendilerini geliştirdiklerini göstermektedir.

Tablo 3.1’de sunulan demografik veriler, iş güvenliği alanında yüksek düzeyde deneyime ve bilgiye sahip uzmanlardan oluşan bir ekibin risk değerlendirmesi sürecine katkı sağladığını ortaya koymaktadır. Bu durum, araştırmanın güvenilirliğini artırmakta ve elde edilen verilerin değerlendirilmesinde dikkate alınması gereken önemli bir unsurdur. Uzmanların tecrübeleri, önerilen modelin uygulanabilirliği ve etkinliği açısından önemli bir dayanak sunmaktadır.

Tablo 3. Merkezileştirilmiş demografik veriler

	Yaş	İGU Çalışma Yılı	Toplam Çalışma Yılı	Sertifika Sayısı
Uzman 1	7,6	4	3,6	0,8
Uzman 2	2,6	2	1,6	2,8
Uzman 3	1,6	1	1,6	5,8
Uzman 4	-5,4	-1	-4,4	-2,2
Uzman 5	-6,4	-6	-2,4	-7,2

Tablo 4. Normalize edilmiş demografik veriler

	Yaş	İGU Çalışma Yılı	Toplam Çalışma Yılı	Sertifika Sayısı
Uzman 1	0,64883839	0,52522573	0,54772256	0,08048436
Uzman 2	0,22197103	0,26261287	0,24343225	0,28169527
Uzman 3	0,13659756	0,13130643	0,24343225	0,58351164
Uzman 4	-0,4610167	-0,1313064	-0,6694387	-0,221332
Uzman 5	-0,5463902	-0,7878386	-0,3651484	-0,7243593

Tablo 5. Kovaryans Matrisi

	Yaş	İGU Çalışma Yılı	Toplam Çalışma Yılı	Sertifika Sayısı
Yaş	0,2	0,18160339	0,1901613	0,13845528
İGU Çalışma Yılı	0,18160339	0,2	0,15183005	0,15852172
Toplam Çalışma Yılı	0,1901613	0,15183005	0,2	0,13347384
Sertifika Sayısı	0,13845528	0,15852172	0,13347384	0,2

Tablo 6. Uzmanların İzdüşümleri ve Ağırlık Değerleri

	iz düşüm	Uzman ağırlıkları
Uzman 1	49,107455	0,240145
Uzman 2	45,377898	0,221907
Uzman 3	45,723756	0,223598
Uzman 4	34,333705	0,167899
Uzman 5	29,947785	0,146451

Tablo 7. Uzman Değerlendirme Matrisi

Kriterler	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 4	Uzman 5
Fiziksel	10	7	11	10	10
Kimyasal	8	6	9	8	8
Biyolojik	7	5	8	7	7
Psikososyal	6	4	7	6	6
Ergonomik	9	9	10	9	9

Tablo 8. Bulanık Girdi Veri Matrisi

MM2	F						K						B						P						E					
Uzman 1	00,8	00,84	00,11	00,2	00,11	00,05	00,65	00,7	00,26	00,3	00,31	00,4	00,55	00,65	00,31	00,35	00,41	00,45	00,45	00,54	0,36	00,4	00,46	00,55	00,75	00,8	00,15	00,25	00,2	00,3
Uzman 2	00,6	00,65	00,31	00,35	00,41	00,45	00,45	00,54	00,36	00,4	00,46	00,55	00,4	00,44	00,41	00,43	00,56	00,65	00,3	0,39	00,44	00,5	00,66	00,75	00,75	00,8	00,15	00,25	00,2	00,3
Uzman 3	00,9	00,9	00,05	00,1	00	00,1	00,75	00,8	00,15	00,25	00,2	00,3	00,65	00,7	00,26	00,3	00,31	00,4	00,55	0,65	00,31	00,4	00,41	00,45	00,8	00,8	00,11	00,2	00,1	00,1
Uzman 4	00,8	00,84	00,11	00,2	00,11	00,05	00,65	00,7	00,26	00,3	00,31	00,4	00,55	00,65	00,31	00,35	00,41	00,45	00,45	0,54	00,36	00,4	00,46	00,55	00,75	00,8	00,15	00,25	00,2	00,3
Uzman 5	00,8	00,84	00,11	00,2	00,11	00,05	00,65	00,7	00,26	00,3	00,31	00,4	00,55	00,65	00,31	00,35	00,41	00,45	00,45	0,54	00,36	00,4	00,46	00,55	00,75	00,8	00,15	00,25	00,2	00,3

Tablo 9. Durağanlaştırılmış Girdi Veri Matrisi

M3	F	K	B	P	E
Uzman 1	0,3021839	0,136017	0,085528	0,037851	0,240141
Uzman 2	0,0855277	0,037851	0,017289	0,007013	0,240141
Uzman 3	0,3926573	0,240141	0,136017	0,085528	0,302184
Uzman 4	0,3021839	0,136017	0,085528	0,037851	0,240141
Uzman 5	0,3021839	0,136017	0,085528	0,037851	0,240141

Tablo 10. Normalleştirilmiş Matris

M4	F	K	B	P	E
Uzman 1	0,2182248	0,198263	0,20866	0,18366	0,190173
Uzman 2	0,0617646	0,055174	0,04218	0,034027	0,190173
Uzman 3	0,283561	0,350037	0,331838	0,414992	0,239307
Uzman 4	0,2182248	0,198263	0,20866	0,18366	0,190173
Uzman 5	0,2182248	0,198263	0,20866	0,18366	0,190173

Tablo 11. Uzman Ağırlıklı Normalize Matris

M5	F	K	B	P	E
Uzman 1	0,0524057	0,0476119	0,0501088	0,0441052	0,0456692
Uzman 2	0,0137060	0,0122434	0,0093601	0,0075508	0,0422008
Uzman 3	0,0634038	0,0782678	0,0741984	0,0927915	0,0535086
Uzman 4	0,0366397	0,0332881	0,0350338	0,0308364	0,0319298
Uzman 5	0,0319592	0,0290357	0,0305585	0,0268972	0,0278510

Tablo 12. Maksimum Değer ile Minimum Değer Arası Fark

B	0,0496978	0,0660244	0,0648383	0,0852408	0,0256576
L	0,1705138	0,226531	0,222461	0,292462	0,088032

Tablo 13. İkinci Defa Uzman Değerlendirmesi

Kriterler	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 4	Uzman 5
Fiziksel	25	22	24	23	2
Kimyasal	20	23	28	23	13
Biyolojik	20	20	21	20	13
Psikososyal	22	24	22	21	60
Ergonomik	13	11	5	13	12

Tablo 14. Kriter Ağırlıkları ve Güvenilirlik Testi

	L	AV		RI
f	0,1705138	19,2	2,148616	0,093984
k	0,2265308	21,4	1,253075	
b	0,2224613	18,8	3,446129	
p	0,2924624	29,8	0,553755	
e	0,0880317	10,8	1,996834	

Tablo 15. Puanlama Uzman 1

Alternatifler	Fiziksel	Kimyasal	Biyolojik	Psikososyal	Ergonomik
Teknolojik iyileştirmeler	10	7	5	3	8
Esnek Taşıma Çözümleri	9	8	7	4	9
Sektörel Eğitim ve Bilinçlendirme Programları	6	5	4	5	6
Uluslararası İş Birlikleri	4	6	5	4	5

Tablo 16. Puanlama Uzman 2

Alternatifler	Fiziksel	Kimyasal	Biyolojik	Psikososyal	Ergonomik
Teknolojik iyileştirmeler	9	9	8	4	7
Esnek Taşıma Çözümleri	10	9	6	4	11
Sektörel Eğitim ve Bilinçlendirme Programları	6	7	5	2	8
Uluslararası İş Birlikleri	6	5	4	3	7

Tablo 17. Puanlama Uzman 3

Alternatifler	Fiziksel	Kimyasal	Biyolojik	Psikososyal	Ergonomik
Teknolojik iyileştirmeler	7	9	4	2	9
Esnek Taşıma Çözümleri	6	8	6	5	10
Sektörel Eğitim ve Bilinçlendirme Programları	3	4	2	1	6
Uluslararası İş Birlikleri	5	6	4	2	8

Tablo 18. Puanlama Uzman 4

Alternatifler	Fiziksel	Kimyasal	Biyolojik	Psikososyal	Ergonomik
Teknolojik iyileştirmeler	6	7	4	1	8
Esnek Taşıma Çözümleri	9	8	6	3	9
Sektörel Eğitim ve Bilinçlendirme Programları	6	4	3	2	7
Uluslararası İş Birlikleri	5	6	5	2	7

Tablo 19. Puanlama Uzman 5

Alternatifler	Fiziksel	Kimyasal	Biyolojik	Psikososyal	Ergonomik
Teknolojik iyileştirmeler	8	8	5	3	8
Esnek Taşıma Çözümleri	9	8	6	4	10
Sektörel Eğitim ve Bilinçlendirme Programları	5	5	4	3	7
Uluslararası İş Birlikleri	5	6	5	3	7

Tablo 20. Bulanık Karar Matrisi

	F						K						B						P						E					
T	00,7	00,75	00,21	00,28	00,34	00,4	00,68	00,74	00,22	00,29	00,33	00,39	00,48	00,53	00,38	00,41	00,58	00,67	00,22	00,3	00,48	00,51	00,78	00,85	00,66	00,72	0,24	00,3	00,32	00,39
E	00,73	00,78	00,17	00,26	00,3	00,37	00,68	00,73	00,23	00,29	00,29	00,38	00,48	00,57	00,35	00,39	00,45	00,53	00,32	00,39	00,44	00,46	00,67	00,74	00,8	00,84	00,1	00,19	00,16	00,23
S	00,42	00,5	00,39	00,42	00,59	00,65	00,43	00,51	00,4	00,42	00,59	00,67	00,31	00,37	00,45	00,47	00,71	00,77	00,28	00,32	00,48	00,51	00,79	00,86	00,55	00,62	00,32	00,36	00,42	00,49
U	00,4	00,46	00,41	00,43	00,57	00,66	00,44	00,52	00,37	00,41	00,49	00,58	00,37	00,42	00,42	00,44	00,61	00,7	00,23	00,31	00,48	00,5	00,77	00,81	00,56	00,63	00,32	00,36	00,45	00,51

Tablo 21. Durağanlaştırılmış Karar Matrisi

	F	K	B	P	E
T	-0,1	-0,11	-0,25	-0,27	-0,11
E	-0,07	-0,1	-0,2	-0,26	0,06
S	-0,25	-0,25	-0,27	-0,29	-0,18
U	-0,24	-0,21	-0,25	-0,27	-0,19

Tablo 22. Optimal Karar Matrisi

	F	K	B	P	E
Opt	-0,25	-0,25	-0,27	-0,29	-0,19
T	-0,1	-0,11	-0,25	-0,27	-0,11
E	-0,07	-0,1	-0,2	-0,26	0,06
S	-0,25	-0,25	-0,27	-0,29	-0,18
U	-0,24	-0,21	-0,25	-0,27	-0,19

Tablo 23. Normalize Karar Matrisi

	F	K	B	P	E
opt	0,27	0,27	0,22	0,21	0,31
T	0,11	0,11	0,2	0,2	0,18
E	0,08	0,1	0,16	0,19	-0,1
S	0,27	0,27	0,22	0,21	0,3
U	0,27	0,23	0,2	0,19	0,31

Tablo 24. Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi ve Satır Toplamları

	F	K	B	P	E	S
opt	0,05	0,06	0,05	0,06	0,03	0,25
Teknolojik İyileştirmeler	0,02	0,03	0,04	0,06	0,02	0,16
Esnek Taşıma Çözümleri	0,01	0,02	0,04	0,06	-0,01	0,12
Sektörel Eğitim ve Bilinçlendirme Programları	0,05	0,06	0,05	0,06	0,03	0,24
Uluslararası İş Birlikleri	0,05	0,05	0,05	0,06	0,03	0,23

Tablo 25. Alternatiflerin Sıralanması

	K Değerleri	Sıralama
Teknolojik iyileştirmeler	0,67	3
Esnek Taşıma Çözümleri	0,48	4
Sektörel Eğitim ve Bilinçlendirme Programları	0,99	1
Uluslararası İş Birlikleri	0,93	2

Bu çalışmada elde edilen bulgular, kargo sektöründe iş sağlığı ve güvenliğinin artırılması amacıyla önerilen alternatiflerin etkinliğini ortaya koymaktadır. Tablo 3.24'te görüldüğü üzere, farklı risk önleme stratejileri arasında yapılan değerlendirme sonucunda, "Sektörel Eğitim ve Bilinçlendirme Programları" en yüksek puanı alarak, kargo operasyonları için en etkili strateji olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, personelin eğitimi ve güvenlik bilincinin artırılmasının, iş güvenliği risklerini minimize etmede kritik bir rol oynadığını göstermektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada hava yolu kargo operasyonlarında yaşanan mevcut iş güvenliği riskleri değerlendirilerek, insan faktörleri, süreç eksiklikleri ve çevresel koşulların, kargo operasyonları içerisinde iş kazalarına ve verimsizliklere etkilerinin bulunduğu gözlenmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen analiz ile yükleme, boşaltma ve bakım süreçlerindeki yaşanan birçok olumsuz olayın personel hatalarından kaynaklandığı ortaya çıkmakta ve çalışan eğitimlerinin ve denetlemelerinin güçlendirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Ayrıca, araştırma, sıkı güvenlik protokollerine ve düzenlemelere uyulmasının önemini göstermiştir. Bu protokollerin tutarlılıkla uygulanması, risklerin önemli ölçüde azaltılmasına katkı sağlayabilir. Bu çalışmada önerilen risk değerlendirme ve yönetim modeli, kargo operasyonları içindeki güvenlik uygulamalarının sürekli izlenmesini ve sistematik risk değerlendirme süreçlerinin entegrasyonunu vurgulayan bütünsel bir yaklaşım olup mevcut endüstri standartlarıyla uyumlu olmanın yanı sıra, operasyonel performansı artıran bir güvenlik kültürünü de teşvik etmektedir.

Çalışmada elde edilen bulgular, kargo operasyonlarında iş güvenliğinin artırılması amacıyla önerilen alternatiflerin etkinliğini ortaya koymaktadır. Birbirinden farklı risk önleme stratejilerinin değerlendirmesi sonucunda, "Sektörel Eğitim ve Bilinçlendirme Programları" en yüksek puanı alarak, kargo operasyonları için en etkili strateji olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, personel eğitimlerinin ve çalışanlarda güvenlik bilinci artırılmasının iş güvenliği risklerini en aza indirmede kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Bulgularda ikinci en yüksek puan, "Uluslararası İş Birlikleri" alternatifidir. Bu bulgu, kargo taşıma süreçlerinde uluslararası standartların ve iş birliğinin önemini vurgulamaktadır. Ayrıca, bu iş birlikleri sayesinde global iyi uygulama örneklerinin paylaşılması, sektör genelinde risklerin daha etkili bir şekilde yönetilmesine yardımcı olabilir. "Teknolojik İyileştirmeler" ve "Esnek Taşıma Çözümleri" alternatifleri ise sırasıyla üçüncü ve dördüncü en yüksek puanları almıştır. Bu durum, teknolojinin kargo operasyonları üzerindeki olumlu etkilerini ve esnek yaklaşımların süreç verimliliğini artırabileceğini ortaya koymaktadır.

Kargo operasyon süreçlerine dair daha kapsamlı araştırmalara ve uygulamalara bir temel oluşturabilmek ve bu sektördeki iş güvenliği risklerini azaltmak amacıyla önerilen bu modelin

uygulanması, eğitim, iş birliği ve teknolojik inovasyon gibi unsurları kapsamaktadır. Bu stratejilerin bütünleşmiş bir şekilde hayata geçirilmesi, sektördeki iş kazalarını ve sağlık sorunlarını minimize etmek için kritik bir adım olacaktır.

Kargo operatörlerinin insan faktörlerine odaklanan ve güvenlik protokollerine uyumun kritik önemi üzerine kapsamlı eğitim programları geliştirmesi hayati önem taşımaktadır. Düzenli eğitimler, acil durumlar sırasında sağlıklı karar alma ve tepki verme becerilerini geliştirmek için simülasyonlar ve senaryo tabanlı uygulamaları içermelidir.

Kargo operasyonları için özel olarak tasarlanmış işlem prosedürlerinin belirlenmesi ve sıkı bir şekilde uygulanması, süreçleri standartlaştırarak değişkenliği azaltabilir ve hata riskini en aza indirebilir. Bu prosedürlerin, süreçte olan operasyonlardan alınan geri bildirimlerle iyileştirilmesi ve güncellenmesi önerilmektedir.

Periyodik güvenlik denetimlerinin yapılması, mevcut uygulamalardaki iyileştirme alanlarını tanımlamak ve güvenlik düzenlemelerine uyumu sağlamak için önemlidir. Bu denetimlerin, yer ekipleri, bakım personeli ve yönetim de dahil olmak üzere tüm paydaşların katılımıyla gerçekleştirilmesi, güvenlik konusuna yönelik iş birliği anlayışını güçlendirecektir.

Otomatik takip sistemleri ve gerçek zamanlı güvenlik izleme araçları gibi gelişmiş teknolojilerin kargo operasyonlarının verimliliğini artırmak ve daha iyi risk yönetimi sağlamak amacıyla entegrasyonu önemlidir. Veri analitiğinin sürece dahil edilmesi güvenlik olaylarına ilişkin kalıpların ve trendlerin belirlenmesine yardımcı olabilir, bu sayede proaktif önlemler alınabilir.

Tüm çalışanların güvenlik standartlarının korunması ve geliştirilmesinde sorumluluk hissetmesini sağlayacak olan güvenlik odaklı bir kültürün kurum içinde; tanıma programları, açık iletişim kanalları ve düzenli takım toplantılarında teşvik edilmesi son derece önemlidir. Yapılan bu önerilerin hayata geçirilmesiyle, sivil havacılık kargo operasyonları iş güvenliği çerçevesini önemli ölçüde güçlendirebilir ve sonuçta daha güvenli ve verimli bir operasyonel ortam sağlanabilir. Gelecek araştırmalar için bu müdahalelerin güvenlik sonuçları ve operasyonel verimlilik üzerindeki uzun dönemli etkilerini değerlendiren derinlemesine çalışmalara odaklanılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Akın, G., 2021. Sivil havayolu taşımacılığının türk tur operatörlüğünün gelişimine etkisi. *Havacılık ve Uzay Çalışmaları Dergisi*, 2(1): 1-16.
- Balik, F.M., 2015. Hava kargo taşımacılığı ve Türkiye'deki gelişimini etkileyen faktörler. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Afyonkarahisar, Türkiye.
- Barut, S., 2024. Fınn-Kınn risk değerlendirme yönetimi ile papyon risk analizi yönetiminin karşılaştırılması; bir havalimanı örneği. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye.
- Bošković, S., Jovčić, S., Simic, V., Švadlenka, L., Dobrodolac, M., Bacanin, N., 2023. A new criteria importance assessment (Cimas) method in multi-criteria group decision-making: Criteria evaluation for supplier selection. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*.
- Bouraima, M.B., Jovčić, S., Švadlenka, L., Simic, V., Badi, I., Maraka, N.D., 2024. An integrated multi-criteria approach to formulate and assess healthcare referral system strategies in developing countries. *Healthcare Analytics*, 5: 100315.

- Kara, K., Yalçın, G.C., Kaygısız, E.G., Simic, V., Örnek, A.Ş., Pamucar, D., 2024a. A picture fuzzy CIMAS-ARTASI model for website performance analysis in human resource management. *Applied Soft Computing*, 162: 111826.
- Kara, K., Yalçın, G.C., Simic, V., Korkuç, Ç., Çiçek, İ., Afacan, E., Pamucar, D., 2024b. An interval-valued spherical fuzzy CIMAS-WISP group decision-analytic model for blockchain platform selection in digital projects. *Applied Soft Computing*, 162: 111810.
- Kocamış, B., Apak, S., 2024. Güvenli havacılık: uçak kabin içi bakım atölyelerinde iş sağlığı ve güvenliği yönetimi. *Journal of Aerospace Science and Management*, 2(1): 42-57.
- Rahim, M., Bajri, S. A., Khan, S., Alqahtani, H., Khalifa, H.A.E.W., 2025. Innovative multi-criteria group decision making with interval-valued p, q, r-spherical fuzzy sets: a case study on optimal solar energy investment location. *International Journal of Fuzzy Systems*, 1-28.
- Yıldırım, B.I., Uysal, F., Ilgaz, A., 2019. Havayolu işletmelerinde personel seçimi: ARAS yöntemi ile bir uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (33): 219-231.
- Yılmaz, İ., Polat, M.M., 2023. Havacılık sektöründe yer hizmetleri iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinde sanal gerçeklik teknolojisinin kullanılması üzerine bir araştırma, *Ergonomi*, 6(2): 117-131.