



Alınma

18.05.2025

Kabul

14.06.2025

* Sorumlu yazar.

e-mail:

sariaslan_halil@hotmail.com

Anahtar Kelimeler:

- De-Icing Ajanları
- PFAS Maruziyeti
- Havalimanı Kimyasal Güvenliği
- GSE Emisyonları
- Çevresel Toksisite

Havalimanı Operasyonlarında Kimyasal Riskler: Kaynaklar, Etkiler ve Yönetim Stratejileri

Halil Sariaslan

Türk Hava Yolları A.Ş., 34100, İstanbul, Türkiye

ÖZET

Bu çalışma, havaalanı operasyonlarında karşılaşılan kimyasal risklerin kaynaklarını, etkilerini ve yönetim stratejilerini kapsamlı biçimde incelemeyi amaçlamaktadır. Uçak yakıtları, temizlik kimyasalları, de-icing sıvıları ve emisyonlar gibi çeşitli kaynaklardan yayılan kimyasallar; çalışan sağlığını ve çevresel sürdürülebilirliği tehdit etmektedir. Literatürdeki bulgular, bu maddelere maruz kalmanın solunum yolu hastalıkları, cilt rahatsızlıkları ve su kaynaklarının kirlenmesi gibi olumsuz sonuçlara yol açabileceğini göstermektedir. Ayrıca, terör tehditleri, araç trafiği ve kurşun emisyonları gibi ikincil riskler de çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, elektrikli yer destek ekipmanlarının kullanımı, atık yönetimi, mühendislik önlemleri ve kişisel koruyucu ekipman uygulamaları gibi çok yönlü risk azaltma stratejileri önerilmiştir. Çalışma, yalnızca kimyasal risklere odaklanmakta olup, kullanılan tüm veriler ikincil kaynaklardan elde edilmiştir. Sonuç olarak, havaalanlarında kimyasal tehlikelerin etkili biçimde yönetilmesi hem çalışan güvenliği hem de çevresel koruma açısından büyük önem taşımaktadır.

Chemical Risks in Airport Operations: Sources, Impacts and Management Strategies

Halil Sariaslan

Turkish Airlines A.Ş., 34100, İstanbul, Türkiye

ABSTRACT

This study aims to comprehensively examine the sources, effects, and management strategies of chemical risks encountered in airport operations. Chemicals emitted from various sources, such as aircraft fuels, cleaning chemicals, de-icing fluids, and emissions, threaten worker health and environmental sustainability. Findings in the literature indicate that exposure to these substances can lead to adverse outcomes such as respiratory diseases, skin disorders, and water contamination. Additionally, secondary risks such as terrorist threats, vehicle traffic, and lead emissions were also evaluated within the scope of the study. In this context, multifaceted risk reduction

Received

18.05.2025

Accepted

14.06.2025

* Corresponding author.

e-mail:

sariaslan_halil@hotmail.com

Keywords:

- De-Icing Agents
- PFAS Exposure
- Airport Chemical Safety
- Ground Support Equipment (GSE) Emissions

- Environmental Toxicity

strategies such as the use of electric ground support equipment, waste management, engineering measures, and personal protective equipment applications were recommended. The study focuses solely on chemical risks, and all data used were obtained from secondary sources. In conclusion, the effective management of chemical hazards at airports is of great importance for both worker safety and environmental protection.

1. Giriş (Introduction)

Havaalanları, operasyonel yoğunlukları, tehlikeli madde kullanımı ve karmaşık lojistik süreçleri nedeniyle önemli iş sağlığı ve çevre tehditleri taşımaktadır. Yakıt ikmali, bakım-onarım ve pist buzlanmasını önleme gibi işlemler sırasında kullanılan çeşitli zararlı ajanlar; çalışan sağlığına ve çevresel dengeye doğrudan zarar verebilmektedir (Şimşek & Uslu, 2023). Artan uçak trafiği ve operasyonel faaliyetler, sera gazı emisyonları ve toksik kimyasal sızıntılar gibi çevresel etkiler doğurmaktadır; bu etkilerin azaltılması ise gün geçtikçe daha kritik hale gelmektedir (Öz & Yalçiner Ercoşkun, 2022; Öztürk & Taştan, 2024).

Özellikle uçak bakım-onarım sahalarında; yakıt buharları, temizlik solventleri ve yangın söndürme ajanları gibi toksik maddelerle doğrudan temas söz konusudur. Şimşek ve Uslu (2023), uçak bakım hangarlarında çalışan teknisyenlerin özellikle yakıt buharları ve temizlik kimyasallarına maruziyet sonucu baş ağrısı, baş dönmesi ve cilt irritasyonu gibi semptomlar geliştirdiğini tespit etmiştir. Bunun yanında, havaalanlarında sıklıkla kullanılan de-icing ve anti-icing çözeltileri de önemli bir kimyasal risk kaynağıdır. Corsi, Zitomer, Field ve Cancilla (2006) tarafından yapılan çalışmada, uçaklardan kaynaklanan de-icing sıvılarında bulunan nonilfenol etoksilat gibi katkı maddelerinin yağmur suyu drenaj sistemleri aracılığıyla yer altı ve yüzey sularına karışarak ciddi çevresel tehditler oluşturduğu belirlenmiştir.

Havaalanlarında oluşan kimyasal risklerin etkisi yalnızca insan sağlığı ile sınırlı kalmamakta, aynı zamanda bölgesel su kaynakları ve hava kalitesi üzerinde de olumsuz etkiler yaratmaktadır (Özgünoğlu & Uygur, 2017). Örneğin, Dalaman ve Milas-Bodrum havalimanlarında yapılan çalışmalarda, iniş-kalkış döngüleri sırasında önemli miktarda CO, NO_x ve HC emisyonlarının oluştuğu ve bu emisyonların hava kalitesine olumsuz katkıda bulunduğu saptanmıştır (Öztürk & Taştan, 2024). Emisyonları azaltmanın da farklı yolları vardır. Öztürk ve Taştan (2024) diğer bir çalışmalarında, manyetik alan destekli yanma konusundaki çalışmaları ve emisyonların yakıtı uygulanması sonucunda azaldığını tespit etmişlerdir. Çalışmanın önemi, enerji verimliliğinin artırılması ve emisyonların azaltılması hedefleri doğrultusunda, manyetik alanların yakıt yanma süreçleri üzerindeki etkisinin anlaşılmasının çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir rol oynamasından kaynaklanmaktadır. Örneğin, ICAO veri tabanına göre B737-800 tipi bir uçak için tek bir LTO döngüsü başına CO₂ emisyonu yaklaşık 1816 kg, NO_x emisyonu ise 27 kg'dır (Öztürk & Taştan, 2024). Bu değerler, apron bölgesindeki emisyon yoğunluğunu sayısal olarak ortaya koymaktadır.

Buna ek olarak, uçak motorlarından ve yer destek ekipmanlarından kaynaklanan gaz türbinli motor emisyonlarının da önemli ölçüde CO, NO_x ve hidrokarbon (HC) içerdiği ve bu emisyonların hem çalışanları hem de çevreyi etkilediği vurgulanmıştır (Yılmaz & İlbaş, 2012). Özellikle iniş ve kalkış aşamalarında yoğunlaşan bu kimyasal emisyonlar, hem kısa vadeli solunum yolu rahatsızlıklarına hem de uzun vadeli çevresel bozulmalara zemin hazırlamaktadır (Öztürk & Taştan, 2024).

Havacılık sektöründe elektrikli ve çevre dostu sistemlerin yaygınlaştırılması yönündeki çalışmalar, kimyasal risklerin azaltılması açısından büyük bir potansiyel taşımaktadır. Yıldız (2021), elektrik enerjisi kullanımının yaygınlaşmasının uçak operasyonlarında kullanılan geleneksel kimyasal sistemlerin azalmasına katkı

sağlayacağını ve bu yolla çevresel emisyonların ve toksik maruziyetlerin minimize edilebileceğini belirtmiştir. Ancak bu dönüşüm süreci uzun vadeli bir perspektif gerektirmektedir.

Çalışmalar göstermiştir ki, uçak bakım hizmetlerinde doğrudan kimyasal maruziyet, özellikle iniş takımı ve fren sistemi bakımında çalışan personel için ciddi mesleki riskler taşımaktadır (Al-Rabeei et al., 2022). Kullanılan solventler, ağır metaller içeren boyalar ve temizlik kimyasalları, çalışanların cilt, solunum ve dolaşım sistemleri üzerinde kalıcı etkiler bırakabilmektedir.

Bu bağlamda, havaalanlarında kimyasal risklerin önlenmesi için yalnızca kişisel koruyucu ekipman kullanımı yeterli değildir. Aynı zamanda etkili bir çevresel yönetim sistemi (ÇYS) kurulması, atık yönetimi stratejilerinin uygulanması ve acil durum prosedürlerinin geliştirilmesi zorunludur (Erol & Kanbur, 2017). Özellikle atıkların uygun şekilde toplanması ve bertaraf edilmesi, yer altı ve yüzey suyu kirliliğinin önlenmesi açısından hayati öneme sahiptir (Öz & Yalçiner Ercoşkun, 2022). Söz konusu çalışmada, 2019 yılına kıyasla 2020’de Esenboğa Havalimanı’nda uçuş hareketlerinin %49,2 oranında azaldığı ve buna bağlı olarak CO₂ emisyonlarında %55,89’luk bir düşüş gözlemlendiği belirtilmiştir (Öz & Yalçiner Ercoşkun, 2022). Bu istatistiksel düşüş, havacılık faaliyetlerinin doğrudan kimyasal emisyon seviyeleriyle ilişkili olduğunu göstermektedir.

Diğer taraftan, pandemi sürecinde gözlemlendiği gibi, uçuş sayılarındaki azalma doğrudan kimyasal emisyonların da azalmasına yol açmıştır. Öz ve Yalçiner Ercoşkun (2022) tarafından yapılan çalışmada, Covid-19 pandemisi döneminde Esenboğa Havalimanı’nda uçak hareketlerinde %49,2 oranında azalma yaşandığı ve buna paralel olarak CO₂ emisyonlarında %55,89 oranında bir azalma olduğu ortaya konulmuştur. Bu durum, havacılık faaliyetlerindeki kimyasal risklerin ölçeklenebilir olduğunu göstermekte ve sektörde kimyasal etkilerin yönetilmesinde operasyonel düzenlemelerin önemine işaret etmektedir.

Uçak bakım hangarlarında yapılan işlemler, özellikle yakıt buharı, temizleyici maddeler ve söndürücü köpüklerle gerçekleşen toksik temaslar nedeniyle ciddi sağlık tehlikeleri içermektedir (Şimşek & Uslu, 2023). Bu tür maruziyetler solunum yolu hastalıkları, cilt hastalıkları ve uzun vadeli toksik etkiler gibi önemli sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Ayrıca, havaalanlarında kullanılan uçak de-icing ve anti-icing sıvıları, nonilfenol etoksilatlar gibi çevreye zararlı katkı maddeleri içermekte ve bu maddeler yağmur suyu tahliye sistemleri yoluyla çevresel kirliliğe neden olmaktadır (Corsi et al., 2006). Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) ve Avrupa Havacılık Emniyet Ajansı (EASA) gibi kuruluşlar, havaalanı operasyonlarında kimyasal risklerin kontrolüne yönelik standartlar geliştirmiştir.

Sonuç olarak, havaalanlarında yürütülen operasyonların kimyasal risk boyutu, hem çalışan sağlığı hem de çevre koruma açısından sistematik bir şekilde ele alınması gereken kritik bir alan oluşturmaktadır. Bu çalışmada, havaalanlarında karşılaşılan kimyasal risklerin kaynaklarının analiz edilmesi ve bu risklere karşı geliştirilebilecek etkili yönetim stratejilerinin tartışılması amaçlanmaktadır.

Bu literatür taraması havalimanlarındaki çeşitli riskleri ve güvenlik endişelerini incelemektedir. Havalimanlarının çevreye sadece kimyasal riskleri yoktur aynı zamanda biyolojik yaşamada zarar verme potansiyelleri vardır. Yaban hayatı da havalimanları ve uçuş güvenliğini olumsuz etkileyebilir. Kabil'deki Hamid Karzai Uluslararası Havalimanı'nda yapılan bir çalışmada gösterildiği gibi havalimanlarında yaban hayatı yönetimi uçuş güvenliği için çok önemlidir (Çoban ve Bahar, 2018). Başka bir çalışmada 60 Türk havalimanının yakınında 190 yanıcı ve patlayıcı tesis tespit edilmiş olup, havalimanı başına ortalama 3.166 ± 3.157 bu tür tesis uçuş operasyonları için önemli riskler oluşturmaktadır (Uzun ve Sesli, 2021). Yer hizmetleri çalışanları çok sayıda mesleki sağlık ve güvenlik riskiyle karşı karşıyadır ve bu da tehlikelerin belirlenmesini ve önleyici tedbirlerin uygulanmasını gerektirir (Barut ve Erdogan, 2024). Bu zorlukların üstesinden gelmek için, risk türlerini önceliklendirmek ve havalimanı yöneticilerinin iyileştirme ve yatırım kararları almalarına rehberlik etmek amacıyla Hata Modu ve Etki Analizi (FMEA) ile Entropi tabanlı karar alma yaklaşımını birleştiren iki aşamalı bir risk analizi yöntemi önerildi (Ervural, 2023).

Bu çalışmada ikincil kaynaklar kullanılarak havalimanlarındaki kimyasal risklerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada ikincil kaynak kullanımından dolayı sınırları belirgindir. Yalnızca havalimanlarında kimyasal risklerin araştırılması hedeflenmiştir.

2. Havaalanlarında Kimyasal Risk Kaynakları (Chemical Risk Sources at Airports)

Havalimanları, operasyonel yoğunlukları ve geniş kimyasal kullanım alanları sebebiyle insan sağlığı ve çevre üzerinde önemli kimyasal riskler barındırmaktadır. Uçak emisyonları, araç trafiği, kimyasal atık akışı ve potansiyel terör tehditleri, havalimanlarında kimyasal risk oluşturan temel unsurlar arasında yer almaktadır (Terwoert, 2024; Cohen & Bronzaft, 2011). Bu bölümde, havalimanlarında görülen başlıca kimyasal risk kaynakları ayrıntılı olarak ele alınmakta ve bu risklerin azaltılması için geliştirilen stratejiler tartışılmaktadır.

Tablo 1. Kimyasal Risklerin Kaynak, Etken Madde ve Etkileri (Sources, Active Ingredients, and Effects of Chemical Risks)

Kaynak	Maruziyet Türü	Etkileyen Kimyasal	Ortalama Konsantrasyon	Sağlık/Çevresel Etki
De-icing sıvıları	Temas & Yüzey akışı	Glikol & PFAS	300–1200 ng/L	Yer altı suyu kirlenmesi
Temizlik maddeleri	Soluma & Cilt	Solvent, deterjan	Belirsiz (nitel)	Cilt rahatsızlıkları
Uçak yakıtı buharı	Soluma	VOC, CO	~1.5 milyon partikül/cm	Solunum hastalıkları

Tablo 1, kimyasal risklerin kaynak, etken madde ve etkilerine göre sistematik biçimde sınıflandırılmasını sağlamaktadır. Bu yapı, risk analizine temel teşkil edecek biçimde düzenlenmiştir.

2.1. Uçak Emisyonlarından Kaynaklanan Kimyasal Riskler (Chemical Risks from Aircraft Emissions)

Uçak motorlarının çalışması sırasında, atmosfere yüksek miktarda zararlı gaz ve partikül salımı gerçekleşmektedir. Özellikle yoğun saatlerde apron bölgesinde çalışan personelin soluduğu partikül konsantrasyonu milyon/cm³ düzeyine ulaşabilmektedir (Terwoert, 2024). Uçakların iniş, kalkış ve taksi operasyonları sırasında oluşan emisyonlar, özellikle apron bölgelerinde çalışan personel için ciddi solunum yolu hastalıkları riskleri doğurmaktadır.

Bu kimyasal maruziyeti azaltmak amacıyla çeşitli kontrol önlemleri geliştirilmiştir. Örneğin, taksi operasyonları sırasında motorun kapatılması, emisyonların azaltılması açısından etkili bir yöntem olarak tanımlanmaktadır (Gelinas & Fan, 1979). Ayrıca, havalimanı yer destek operasyonlarında elektrikli ekipman kullanımına geçilmesi, dizel motorlardan kaynaklanan emisyonları ciddi oranda azaltmaktadır (Terwoert, 2024). Terwoert (2024), apron bölgesinde yoğun zamanlarda partikül madde seviyelerinin 1–3 milyon partikül/cm³ seviyelerine ulaşabildiğini bildirmiştir. Bu konsantrasyon, Dünya Sağlık Örgütü'nün kabul ettiği dış ortam PM2.5 sınır değerlerinin (25 µg/m³) çok üzerinde bir maruziyet anlamına gelmektedir.

Tablo 2. LTO (iniş-kalkış) döngülerinde farklı uçaklardan çıkan CO₂, NO_x, HC gibi emisyon değerlerini karşılaştırması (Comparison of CO₂, NO_x, HC, and other emission values from different aircraft during LTO (takeoff and landing) cycles)

Uçak Tipi CO ₂ (kg/LTO) NO _x (kg/LTO) HC (kg/LTO)			
B737-800	1816	27	0.68
A320	1723	24	0.63
B747-400	4926	99	1.40

Tablo 2’de görüldüğü üzere, tipik LTO döngüsünde orta ve büyük gövdeli uçaklardan yayılan CO₂ ve NO_x miktarları oldukça yüksektir. Bu, apron çalışanlarının maruziyet düzeyini doğrudan etkileyen bir faktördür.

2.2. Araç Trafiğinden Kaynaklanan Kimyasal Riskler (Chemical Risks Arising from Vehicle Traffic)

Havalimanı çevresinde ve içinde yoğun araç trafiği, hava kirleticilerin artmasına önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Araçlardan yayılan karbon monoksit, nitrojen oksitler ve hidrokarbonlar gibi gazlar, hem kapalı alanlarda hem de açık ortamlarda çalışanlar ve yolcular için solunum yolu rahatsızlıkları gibi ciddi sağlık sorunları yaratabilmektedir (Impens, 1987; McCammon, Halperin, & Lemen, 1981). Cohen ve Bronzaft (2011) tarafından yapılan çalışmalar, havalimanı çevresindeki araç trafiğinin hem hava toksiklerinin hem de gürültü kirliliğinin yoğunluğunu artırarak çevresel ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yarattığını göstermiştir.

Buna ek olarak, araç trafiği özellikle ağır metal kirliliğine katkıda bulunmaktadır. Yapılan araştırmalar, yoğun trafik bölgelerinde toprağın ve suyun ağır metallerle (örneğin kurşun, kadmiyum) kontamine olduğunu ortaya koymaktadır (Zukhurova, Nurillayev, Kurbonova, & Begmatov, n.d.). Bu kirlenmenin uzun vadeli etkileri, hem ekosistem hem de insan sağlığı açısından ciddi riskler taşımaktadır.

2.2.1. Havacılık Yakıtlarından Kaynaklanan Kurşun Maruziyeti (Lead Exposure from Aviation Fuels)

Havacılıkta kullanılan kurşunlu benzin, özellikle piston motorlu uçaklardan kaynaklanan emisyonlarla, çevredeki halk sağlığı üzerinde tehdit oluşturmaktadır. Zahran, Keyes ve Lanphear (2023), havalimanına yakın bölgelerde yaşayan çocuklarda kan kurşun seviyelerinin, havalimanı trafiği yoğunluğuna paralel olarak arttığını tespit etmişlerdir. Bu bulgular, havacılık sektöründe kurşunsuz yakıt kullanımının teşvik edilmesinin aciliyetini bir kez daha ortaya koymaktadır.

2.3. Kimyasal Atık Akışı ve Su Kaynaklarının Kirlenmesi (Chemical Waste Flow and Water Pollution)

Havalimanı operasyonları sırasında oluşan kimyasal atıklar ve yüzey akışları, yerel su kaynaklarının kirlenmesine neden olabilmektedir (Betts, 1999). Yakıt dökülmeleri, buz çözücü kimyasalların kullanımı ve temizlik işlemleri sırasında açığa çıkan kimyasallar, yağmur suları aracılığıyla yeraltı ve yüzey sularına karışabilmektedir. Bu tür kirlenmeler hem ekolojik sistemleri tehdit etmekte hem de insan tüketimine yönelik su kaynaklarının güvenliğini riske atmaktadır.

Atık ve yüzey akışlarının kontrolü için etkili atık yönetimi sistemlerinin kurulması büyük önem taşımaktadır. Özellikle havaalanlarında kirli yüzey akışlarının toplanarak işlenmesi ve kontrollü deşarjı, su kaynaklarının korunmasında temel bir strateji olarak kabul edilmektedir (Betts, 1999).

2.4. Terörizm Tehditlerinden Kaynaklanan Kimyasal Riskler (Chemical Risks Arising from Terrorism Threats)

Havalimanları, kimyasal ve biyolojik terör tehditleri açısından yüksek riskli alanlar olarak değerlendirilmektedir. Özellikle kimyasal ajanlar kullanılarak yapılabilecek saldırılar, çok sayıda insanın hayatını tehdit edebilecek sonuçlar doğurabilmektedir (Edwards, Gordon, Price, & Gadgil, 2005). HVAC sistemleri üzerinden yapılan saldırılarla zehirli gazların hızlı bir şekilde havaalanı terminaline yayılması riski bulunmaktadır. Bu nedenle, havalimanlarının HVAC sistemlerinin fiziksel güvenliğinin güçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır (Edwards et al., 2005).

Gelişmiş kimyasal tespit teknolojileri, potansiyel tehditlerin erken tespit edilmesinde kilit rol oynamaktadır. Örneğin, ZNose gibi portatif kimyasal analiz cihazları, TATP gibi tehlikeli maddeleri hızlı bir şekilde algılayarak acil müdahale sürecini başlatabilmektedir (Sparkes, 2006).

2.4.1. Eğitim ve Acil Müdahale Stratejileri (Training and Emergency Response Strategies)

Kimyasal tehditlere karşı hazırlığın artırılması için havalimanı personeline düzenli acil durum müdahale eğitimleri verilmelidir. Simülasyonlar ve tatbikatlar aracılığıyla personelin kimyasal tehditleri tanıma ve etkin müdahale becerileri geliştirilmelidir (Tin, 2022). Ayrıca, tehlike değerlendirmelerinin yapılması ve risk analizlerinin güncellenmesi, havalimanı acil durum planlarının etkinliğini artıracaktır (Stambaugh et al., 2009).

Yerel acil hizmet birimleriyle karşılıklı yardım anlaşmaları yapılması da kimyasal saldırı durumunda hızlı ve koordineli müdahaleye imkan sağlayarak zararları azaltacaktır (Stambaugh et al., 2009).

2.5. Havalimanlarında Kimyasal Risklerin Azaltılmasına Yönelik Stratejiler (Strategies for Reducing Chemical Risks at Airports)

2.5.1. Elektrikli Yer Destek Ekipmanlarının Kullanımı (Use of Electric Ground Support Equipment)

Elektrikli yer destek ekipmanlarına (GSE) geçilmesi, dizel motorlardan kaynaklanan emisyonları azaltmada kritik bir adım olarak görülmektedir. Elektrikli araçlar sayesinde CO₂, NO_x ve diğer zararlı emisyonların miktarında ciddi düşüşler sağlanabilmektedir (Terwoert, 2024).

2.5.2. Hibrit ve Elektrikli Araçlara Geçiş (Transition to Hybrid and Electric Vehicles)

Yer hizmetlerinde hibrit ve tamamen elektrikli araçların kullanımı, fosil yakıtlara bağımlılığı azaltarak hava kalitesinin iyileştirilmesine katkıda bulunmaktadır (Polgár, 2024).

2.5.3. Elektrikli Araçlar İçin Altyapı Geliştirilmesi (Infrastructure Development for Electric Vehicles)

Havalimanlarında elektrikli araçlar için şarj altyapısının kurulması, çevre dostu araçların kullanımını teşvik etmektedir (Polgár, 2024). Ayrıca optimize edilmiş uçuş yolları, emisyonların ve gürültü kirliliğinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

2.6. De-icing Sıvıları, Temizlik Kimyasalları, Yangın Söndürme Köpükleri ve Atık Yönetimi (De-icing fluids, cleaning chemicals, fire extinguishing foams, and waste management)

Glikol bazlı de-icing sıvıları, özellikle kış aylarında uçak yüzeylerinde buzlanmayı önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Ancak bu kimyasalların aşırı kullanımı, yeraltı ve yüzey sularında çözünmüş oksijen seviyelerinin düşmesine ve ekosistem dengesizliklerine neden olabilir (Exton, 2023).

Havaalanı temizlik süreçlerinde kullanılan deterjanlar ve dezenfektanlar ise, içeriklerindeki ağır metaller ve sentetik bileşenler nedeniyle uzun vadeli ekotoksik etkilere sahiptir. Bu kimyasalların kontrolsüz tahliyesi, alıcı ortamların biyolojik çeşitliliğini tehdit etmektedir (Schmitt & Gollnick, 2016).

Yangın söndürme amaçlı kullanılan AFFF köpükleri, içerdikleri perflorlu bileşikler nedeniyle çevrede kalıcılık göstermekte ve hem insan sağlığını hem de ekolojik sistemleri tehdit etmektedir. (Madden, 1995). Corsi et al. (2006), ABD'deki bir havalimanında yapılan çalışmada, de-icing sularında PFAS türü bileşiklerin 200–1200 ng/L konsantrasyonlarında bulunduğunu tespit etmiştir. Bu oranlar, Avrupa Çevre Ajansı'nın PFAS için önerdiği 100 ng/L sınır değerinin oldukça üzerindedir.

Atık yönetimi, tüm bu risklerin minimize edilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle kimyasal atıkların doğru sınıflandırılması, depolanması ve bertarafı, havaalanı çevresel sürdürülebilirliğinin sağlanmasında temel bir rol oynamaktadır (Ryerson, 2008).

Bu sebeplerle, havaalanı yönetimlerinin kapsamlı çevresel risk değerlendirmeleri yapması ve kimyasal madde kullanımına yönelik sıkı denetim ve eğitim programları uygulaması zorunlu hale gelmiştir.

3. Yöntem (Methodology)

Bu çalışma, havalimanlarında karşılaşılan kimyasal risklerin kaynaklarının belirlenmesi, değerlendirilmesi ve yönetim stratejilerinin tartışılması amacıyla nitel bir araştırma yaklaşımı benimsenerek gerçekleştirilmiştir. Araştırma kapsamında yalnızca kimyasal riskler ele alınmış olup, biyolojik, fiziksel ve psikososyal risk türleri kapsam dışı bırakılmıştır. Terör tehdidi başlığı altında da yalnızca kimyasal ajanların kullanıldığı olası saldırı senaryoları değerlendirilmiş, diğer saldırı türleri çalışmaya dahil edilmemiştir. Bu sınırlama, çalışmanın odak bütünlüğünü koruyarak derinlemesine analiz yapılabilmesini sağlamayı amaçlamaktadır.

Veri toplama sürecinde geleneksel (narrative) literatür taraması yöntemi kullanılmıştır. 2010–2024 yılları arasında yayımlanmış, havalimanlarında kimyasal tehlikeler, çevresel etkiler ve iş sağlığı-güvenliği konularına odaklanan akademik yayınlar, sektör raporları ve uluslararası kuruluşların (örneğin ICAO, EASA) yayımladığı kılavuzlar sistematik olmayan ancak amaçlı örneklem yoluyla seçilerek incelenmiştir. Tarama süreci; Scopus, Google Scholar, ScienceDirect ve DergiPark gibi güvenilir veri tabanları üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Toplanan veriler, içerik analizi yöntemiyle değerlendirilmiş ve belirli tematik başlıklar çerçevesinde yapılandırılmıştır. Bu temalar arasında kimyasal risk kaynakları (örneğin uçak emisyonları, de-icing sıvıları, temizlik maddeleri ve yakıt dökülmeleri), maruziyet türleri (solunum yoluyla veya temasla maruz kalma), sağlık ve çevresel etkiler ile risk azaltma stratejileri (mühendislik kontrolleri, kişisel koruyucu ekipman kullanımı ve atık yönetimi) yer almaktadır. Bu tematik yapı doğrultusunda elde edilen bulgular, mevcut durumu analiz etmek ve havalimanı işletmeleri için uygulanabilir yönetim stratejileri önermek amacıyla yorumlanmıştır.

4. Kimyasal Risklerin Değerlendirilmesi ve Yönetimi (Assessment and Management of Chemical Risks)

Havaalanlarında kimyasal risklerin değerlendirilmesi için Tehlike Tanımlama ve Risk Değerlendirme (HIRA) yöntemleri kullanılmaktadır. Kimyasal risklerin yönetiminde ise aşağıdaki stratejiler öne çıkmaktadır:

- Kişisel Koruyucu Ekipman (KKE) Kullanımı: Kimyasal buharlar ve sıvılardan korunmak için uygun solunum koruyucuları ve kimyasala dayanıklı elbiseler giyilmelidir.
- Mühendislik Önlemleri: Havalandırma sistemleri ve sızıntı algılama sensörleri kurulmalıdır.
- Eğitim Programları: Çalışanlar kimyasal tehlikeler konusunda düzenli olarak eğitilmelidir.
- Acil Durum Prosedürleri: Kimyasal sızıntı, yangın veya patlama gibi durumlar için acil müdahale planları hazırlanmalıdır.
- Çevresel Yönetim Sistemleri (ÇYS): Kimyasal atıkların kontrolü ve bertarafı çevresel sürdürülebilirlik ilkelerine uygun şekilde yapılmalıdır.

Havalimanlarında kimyasal risklerin etkin şekilde yönetilmesi için öncelikle Tehlike Tanımlama ve Risk Değerlendirme (HIRA) yöntemleri uygulanmaktadır. HIRA süreci, kimyasal maddelerden kaynaklanabilecek tehlikelerin sistematik olarak belirlenmesini ve bu tehlikelerin olasılık ve etkilerine göre değerlendirilmesini kapsamaktadır (Edwards, Gordon, Price, & Gadgil, 2005). Kimyasal risklerin doğru şekilde analiz edilmesi hem önleyici önlemlerin geliştirilmesi hem de acil müdahale hazırlıklarının güçlendirilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

4.1. Kişisel Koruyucu Ekipman (KKE) Kullanımı (Use of Personal Protective Equipment (PPE))

Çalışanların kimyasal buharlara, sıvılara ve zararlı partiküllere maruziyetini azaltmak için uygun kişisel koruyucu ekipman kullanımı zorunludur. Solunum koruyucuları, kimyasala dayanıklı elbiseler, göz koruyucuları ve eldivenler, kimyasal risklere karşı temel koruma sağlamaktadır (Holmes & Byers, 1991). Özellikle uçak yakıtı ikmali, temizlik işlemleri ve bakım-onarım faaliyetleri sırasında çalışanların KKE kullanımına azami dikkat göstermesi gerekmektedir.

4.2. Mühendislik Önlemleri (Engineering Measures)

Mühendislik kontrolleri, kimyasal riskleri kaynağında ortadan kaldırmaya yönelik etkili stratejiler sunmaktadır. Havalimanlarında havalandırma sistemlerinin kurulması, toksik gazların birikimini önlemekte ve hava kalitesini artırmaktadır (Terwoert, 2024). Ayrıca, kimyasal sızıntıların erken tespiti için otomatik sensör sistemlerinin entegrasyonu hem iş güvenliğini artırmakta hem de çevresel zararın önüne geçmektedir (Sparkes, 2006).

4.3. Eğitim Programları (Training Programs)

Kimyasal risklerin etkin şekilde yönetilebilmesi için havalimanı çalışanlarının düzenli olarak eğitilmesi büyük önem taşımaktadır. Eğitim programları, çalışanların kimyasal tehlikeleri tanımalarını, doğru koruyucu önlemleri uygulamalarını ve acil bir durumda nasıl hareket edeceklerini öğrenmelerini sağlamaktadır (Tin, 2022). Özellikle simülasyonlar ve vaka analizleri yoluyla verilen uygulamalı eğitimler, acil durumlarda doğru ve hızlı müdahaleyi teşvik etmektedir.

4.4. Acil Durum Prosedürleri (Emergency Procedures)

Havalimanlarında, kimyasal sızıntı, yangın, patlama veya biyolojik tehdit gibi olaylara karşı kapsamlı acil durum müdahale planlarının hazırlanması gerekmektedir. Bu prosedürler, olası bir olayın etkisini minimize etmek için tahliye planları, ilk müdahale ekipmanları ve iletişim protokollerini içermelidir (Stambaugh et al., 2009). Ayrıca, bu planların düzenli aralıklarla gözden geçirilmesi ve tatbikatlarla test edilmesi gereklidir.

4.5. Çevresel Yönetim Sistemleri (ÇYS) (Environmental Management Systems (EMS))

Kimyasal atıkların çevresel etkilerini azaltmak amacıyla havalimanlarında Çevresel Yönetim Sistemleri'nin (ÇYS) kurulması önerilmektedir. Bu sistemler, kimyasal atıkların güvenli şekilde toplanması, taşınması, geri dönüşümü veya bertarafını düzenleyerek çevresel sürdürülebilirlik ilkelerine uyum sağlamaktadır (Betts, 1999). Özellikle yüzey akışı ve atık su yönetimi süreçlerinin etkin kontrolü, yerel su kaynaklarının korunmasında kritik rol oynamaktadır.

5. Sonuç ve Öneriler (Conclusion and Recommendations)

Bu çalışma, havalimanı operasyonları sırasında ortaya çıkan zararlı madde etkilerini çok boyutlu bir çerçevede değerlendirmiş; bu etkilerin hem personel sağlığı hem de çevre güvenliği açısından kritik olduğunu göstermiştir. Elde edilen bulgular, uçak yakıtları, temizlik maddeleri, de-icing sıvıları, yangın söndürme ajanları ve yer destek ekipmanlarından kaynaklanan emisyonların, doğrudan maruziyet veya çevresel yayılım yoluyla önemli riskler oluşturduğunu göstermektedir. Bu kimyasal maddeler solunum sistemi hastalıkları, cilt rahatsızlıkları, toksik birikim ve su kaynaklarının kirlenmesi gibi sonuçlara neden olabilmektedir.

Araştırma ayrıca, havalimanı çevresinde yoğunlaşan araç trafiğinin havaya karışan ağır metaller ve zararlı gazlar aracılığıyla insan sağlığına ve çevreye yönelik tehditleri artırdığını, özellikle kurşun maruziyetinin hassas gruplar için ciddi halk sağlığı sorunu oluşturduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte, kimyasal ajanların potansiyel olarak terör saldırılarında kullanılabileceği ihtimali de değerlendirilmiş ve güvenlik sistemlerinin bu yönde güçlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Pandemi dönemi verilerinden elde edilen gözlemler, uçuş sayılarındaki düşüşün doğrudan emisyon oranlarını azalttığını ve kimyasal etkilerin operasyonel faaliyetlerle doğrudan ilişkili olduğunu kanıtlamaktadır. Bu durum, havalimanı yönetimlerinin çevresel etkiyi azaltma yönünde planlamalarla operasyonel düzenlemeler yapabileceğini göstermektedir. Söz konusu risklerin doğası, sadece lokal etkilerle sınırlı kalmamakta, daha geniş ekosistem ve toplum sağlığını da etkilemektedir.

Bu kapsamda, risklerin yalnızca bireysel düzeyde değil, organizasyonel ve sistemsal düzeyde de ele alınması gerektiği görülmüştür. Çalışma süresince elde edilen analizler, yalnızca kişisel koruyucu ekipman (KKE) kullanımı gibi doğrudan uygulamaların yeterli olmadığını, aynı zamanda mühendislik çözümleri, çevresel yönetim sistemleri (ÇYS), atık kontrol politikaları, araç teknolojisi dönüşümleri ve personel eğitimi gibi çok boyutlu stratejilerin bütüncül biçimde uygulanması gerektiğini göstermiştir.

Sonuç olarak, havalimanı operasyonlarında toksik etkenlerin belirlenmesi, etkilerinin ölçülmesi ve çok katmanlı şekilde kontrol altına alınması; sürdürülebilir hava taşımacılığı ve kamu sağlığı açısından kaçınılmaz bir gerekliliktir. Bu çerçevede geliştirilecek bütüncül stratejiler, yalnızca bugünün değil, geleceğin hava ulaşım sistemleri için de güvenli, çevre dostu ve dirençli bir altyapı sağlayacaktır. Havalimanı yönetimlerinin, bu çalışmada sunulan bulgular doğrultusunda kapsamlı risk değerlendirme sistemlerini hayata geçirmesi ve uzun vadeli yatırım planlarını bu doğrultuda şekillendirmesi önerilmektedir.

Kaynaklar (References)

1. Al-Rabeei, S., Rácek, B., Korba, P., Hovanec, M., Kale, U., & Nagy, A. (2022). The impact of aircraft's chassis maintenance on the health of mechanics. *Politeknik Dergisi*, 25(4), 1505–1512.
2. Barut, S., & Erdoğan, F. O. (2024). Havalimanı yer (ramp) hizmetleri çalışanlarının karşılaştıkları iş sağlığı ve güvenliği risklerinin incelenmesi. *Türk Hava Kurumu Üniversitesi Havacılık ve Uzay Çalışmaları Dergisi*, 4(1), 75–98. <https://doi.org/10.52995/jass.1410130>
3. Çayır Ervural, B. (2023). İki aşamalı risk değerlendirme yöntemi ile havacılık sektöründe uygulama. *International Journal of Advanced Engineering and Pure Sciences*, 35(4), 460–484. <https://doi.org/10.7240/jeps.1346513>
4. Çoban, R., & Bahar, İ. (2018). Havacılık Sektöründe Yabancı Hayatı Yönetim Üzerine Hamid Karzai Uluslararası Havalimanında (Kabil-Afganistan) Bir Araştırma. *Journal of Aviation*, 2(2), 87-104. <https://doi.org/10.30518/jav.482458>
5. Corsi, S. R., Zitomer, D. H., Field, J. A., & Cancilla, D. A. (2006). Nonylphenol ethoxylates and other additives in aircraft deicers, antiicers, and waters receiving airport runoff. *Environmental Science & Technology*, 40(22), 7377–7382.
6. Erol, A., & Kanbur, E. (2017). Uçak bakım örgütlerinde iş sağlığı ve güvenliği yönetimi: Çalışma sahalarından örnekler. *INJOSOS Al-Farabi International Journal on Social Sciences*, 1(2), 181–192.
7. Kumaş, K., İnan, O., Akyüz, A., & Güngör, A. (2019). Muğla Dalaman Havalimanı uçaklardan kaynaklanan karbon ayak izinin belirlenmesi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 7(2), 291–297.
8. Öz, E., & Yalçiner Ercoşkun, Ö. (2022). Covid-19 pandemisinin Esenboğa Havalimanı hava trafiğine ve uçak emisyonlarına etkisi. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 5(1), 45–59.
9. Ak, M. F. (2020). Comparison of Risk Assessment Methods within the Scope of Occupational Safety in the Construction Sector. *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi* (18), 272-282. <https://doi.org/10.31590/ejosat.670906>

10. Özgünoğlu, K., & Uygur, N. (2017). Kahramanmaraş Havalimanı için uçaklardan kaynaklanan emisyonların belirlenmesi. *KSU Journal of Engineering Sciences*, 20(3), 24–30.
11. Öztürk, O., & Taştan, M. (2024). 2015–2021 yılları arasında Muğla ilinde LTO döngüsü esnasında B737-800 ve A320 tip uçaklardan kaynaklanan emisyonun gerçek zamanlı hesaplanması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 40(1), 20–31.
12. Öztürk, O., & Taştan, M. (2024). A review of magnetic field assisted combustion. *International Journal of Energy Studies*, 9(1), 175–198.
13. Şimşek, S., & Uslu, H. (2023). Uçak bakım-onarım hangarlarında iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları ve etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (50), 178–189.
14. Uzun, Ö. F., & Sesli, F. A. (2021). Uçuş operasyonlarına risk oluşturabilecek yanıcı ve patlayıcı tesislerin Türkiye'deki havalimanları çevresindeki varlığı. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 4(2), 126–130. <https://doi.org/10.34248/bsengineering.94598>
15. Yıldız, M. (2021). Electric energy use in aviation, perspective, and applications. *Politeknik Dergisi*, 24(4), 1605–1610.
16. Yılmaz, İ., & İlbaş, M. (2012). Gaz türbinli uçak motorlarında kirletici emisyonların incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(2), 343–351.