



Havalimanlarında Seviye 5 Karbon Akreditasyonu Odağında Sürdürülebilirlik Uygulamaları: Royal Schiphol Grup Örneği

F. Didem GÖÇMEN*

Türk Hava Kurumu Üniversitesi, İzmir Havacılık Meslek Yüksekokulu, Sivil Hava Ulaştırma İşletmeciliği Programı, İzmir, Türkiye

Geliş Tarihi: 02.05.2025

Kabul Tarihi: 22.08.2025

Basım Tarihi: 30.09.2025

Atıf yapmak için: Göçmen, F.D. (2025). Havalimanlarında Seviye 5 Karbon Akreditasyonu Odağında Sürdürülebilirlik Uygulamaları: Royal Schiphol Grup Örneği. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(5), 625-637. <https://doi.org/10.35229/jaes.1689542>

How to cite: Göçmen, F.D. (2025). Sustainability Practices at Airports within the Scope of Level 5 Carbon Accreditation: The Case of Royal Schiphol Group. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(5), 625-637. <https://doi.org/10.35229/jaes.1689542>

*<https://orcid.org/0000-0002-3939-441X>

***Sorumlu yazar:**

F. Didem GÖÇMEN
Türk Hava Kurumu Üniversitesi, İzmir
Havacılık Meslek Yüksekokulu, Sivil Hava
Ulaştırma İşletmeciliği Programı, İzmir,
Türkiye

✉: dgocmen@thk.edu.tr

Öz: Havacılık sektörü, karbon emisyonlarını azaltma ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma konusunda, zorlukları ve beraberinde yenilikçi çözüm fırsatlarını bir arada bulundurmaktadır. Havalimanlarının doğrudan kontrolü dışında kalan karbon emisyonlarının yüksekliği, sürdürülebilirlik stratejilerinin yalnızca operasyonel süreçlerle sınırlı kalmamasını; tedarik zinciri, havayolları, yolcular ve yerel toplulukları da kapsayan çok paydaşlı ve entegre karbon yönetimi yaklaşımları geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada, Royal Schiphol Grup örneği üzerinden havalimanlarında uygulanan sürdürülebilirlik politikaları incelenmekte; Airport Carbon Accreditation (ACA) programının seviyeleri ve özellikle sınırlı sayıda havalimanının ulaştığı Seviye 5'in gereklilikleri ortaya konmaktadır. Schiphol Havalimanı'nın bu seviyeye erişim sürecinde benimsediği çevresel ve yönetsel uygulamalar, nitel araştırma yöntemlerinden doküman analiziyle incelenmektedir. Elde edilen bulgular, 2021–2024 yılları arasında yolcu sayısında %162 oranında artış yaşanmasına rağmen Scope 1 emisyonlarının %22 azaltıldığını ve böylece yolcu başına düşen karbon emisyonunun anlamlı ölçüde düşürüldüğünü ortaya koymaktadır. Bu durum, operasyonel verimliliğin sürdürülebilirlik hedeflerine doğrudan katkı sunduğunu göstermektedir. Ayrıca, karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik dijital yönetim sistemleri, yapay zekâ uygulamaları, yenilenebilir enerji kullanımı, sürdürülebilir havacılık yakıtları ve paydaş iş birlikleri gibi bütüncül yaklaşımların etkinliğine dikkat çekilmektedir. Schiphol Group bünyesindeki havalimanlarında uygulanan yenilenebilir enerji politikaları, atık yönetimi, sürdürülebilir ulaşım çözümleri, tedarik zinciri entegrasyonu ve dijitalleşme stratejilerinin, karbon yönetiminde kapsamlı bir dönüşüm sağladığı görülmektedir. Çalışma genelinde ulaşılan sonuçlar, karbon yönetiminin yalnızca teknik çözümlerle değil; stratejik ve yönetsel yaklaşımlarla desteklendiğinde daha etkili ve sürdürülebilir sonuçlar doğurabildiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca çevresel sürdürülebilirlik, ekonomik büyüme ile çelişmediği; aksine teknolojik yenilikler ve kurumsal stratejilerle uyumlu şekilde ilerleyebileceği vurgulanmaktadır.

Anahtar kelimeler: Sürdürülebilirlik, karbon emisyonu, havalimanı karbon akreditasyonu, havalimanı işletmeciliği.

Sustainability Practices at Airports within the Scope of Level 5 Carbon Accreditation: The Case of Royal Schiphol Group

Abstract: The aviation sector simultaneously encompasses challenges and innovative solution opportunities in achieving carbon emission reduction and sustainability goals. The high volume of carbon emissions beyond the direct control of airports necessitates that sustainability strategies extend beyond operational processes and involve the development of multi-stakeholder and integrated carbon management approaches that include supply chains, airlines, passengers and local communities. This study examines the sustainability policies implemented at airports through the example of the Royal Schiphol Group, highlighting the levels of the Airport Carbon Accreditation (ACA) program, with particular emphasis on the requirements of Level 5, which only a limited number of airports have achieved. The environmental and managerial practices adopted by Schiphol Airport in the process of attaining this level are analyzed through document analysis, one of the qualitative research methods. The findings reveal that despite a 162% increase in passenger numbers between 2021 and 2024, Scope 1 emissions were reduced by 22%, leading to a significant decrease in per-passenger carbon emissions. This demonstrates that operational efficiency contributes directly to sustainability goals. Additionally, the effectiveness of holistic approaches such as digital management systems, artificial intelligence applications, renewable energy use, sustainable aviation fuels and stakeholder collaborations in reducing carbon emissions is emphasized. It is observed that practices implemented at airports operated by

***Corresponding author's:**

F. Didem GÖÇMEN
University of Turkish Aeronautical
Association, İzmir Aviation Vocational
School, Civil Air Transport Management
Program, İzmir, Türkiye
✉: dgocmen@thk.edu.tr

the Schiphol Group-such as renewable energy policies, waste management, sustainable transportation solutions, supply chain integration and digitalization strategies-have led to a comprehensive transformation in carbon management. The overall results of the study indicate that carbon management becomes more effective and sustainable when supported not only by technical solutions but also by strategic and managerial approaches. Furthermore, it is highlighted that environmental sustainability does not conflict with economic growth; on the contrary, it can progress in harmony with technological innovations and institutional strategies.

Keywords: Sustainability, carbon emissions, airport carbon accreditation, airport management.

GİRİŞ

Küresel ulaşım sistemlerinin temel bileşenlerinden biri olan havacılık sektörü, iklim değişikliği üzerindeki etkileri nedeniyle çevresel sürdürülebilirlik kapsamında öncelikli inceleme alanlarından biri hâline gelmiştir. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü'ne (ICAO) göre havacılık sektörü 2023 yılı itibarıyla tarifeli seferlerde yaklaşık 4,3 milyar yolcu taşımış ve pandemi sonrası toparlanma sürecinde %32'nin üzerinde yıllık büyüme göstermiştir. Küresel hava taşımacılığı pazarı büyüme kaydederken karbon ayak izi üzerindeki etkisi de artmaktadır. Sektör, küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %2,5'ini oluşturmakta; su buharı, azot oksitler ve ozon gibi karbon dışı emisyonlar da dikkate alındığında, havacılık, bugüne kadar insan kaynaklı küresel ısınmanın yaklaşık %3,5 ila %4'ünden sorumlu kabul edilmektedir (Lee et al., 2020; Ritchie, 2024; IEA, 2023; ICAO, 2023).

Sektördeki bu hızlı büyüme ve birleşik çevresel etkiler, havalimanı işletmelerinin karbon yönetimine yönelik daha sistematik, veri temelli ve stratejik yaklaşımlar benimsemesini gerektirmektedir. Havalimanları, sektördeki karbon ayak izinin doğrudan yalnızca %5'inden sorumlu olmalarına rağmen toplam emisyonlarının %90'ndan fazlası, doğrudan kontrol alanlarının dışında gerçekleşmektedir (Bahman, 2023; ACI, 2024; ACA, 2024). Havacılıktan kaynaklanan emisyonların büyük bir kısmının havalimanları tarafından doğrudan sahiplenilmemesi veya kontrol edilememesi, sürdürülebilirlik açısından çok paydaşlı ve bütüncül bir yaklaşım gerekliliğini ortaya koymaktadır (Xiong et al., 2023; Dube & Nhamo, 2019). Bu durum, havalimanlarının yalnızca kendi operasyonlarıyla sınırlı kalmayan; tedarik zinciri, havayolları, yolcular ve yerel toplulukları da kapsayan kapsamlı bir sürdürülebilirlik stratejisi geliştirmesini zorunlu kılmaktadır. Bu noktada, çevresel yönetim sistemlerinin entegre edilmesi, sadece karbon ayak izinin azaltılması açısından değil; organizasyonel sürdürülebilirliğin sistematik biçimde izlenmesi açısından da önemlidir (Mazraani & Tucci, 2025).

Son yıllarda, havalimanlarında yenilenebilir enerji kullanımı, dijital enerji yönetim sistemleri ve yapay zekâ tabanlı çözümlerle karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik kapsamlı stratejiler geliştirilmektedir (Goh et al., 2024; Morch et al., 2024; Ammoury & Salman, 2024). Kopenhag, Singapur Changi ve Groningen gibi

havalimanları; yenilenebilir enerji kullanımı, yapay zekâ destekli operasyonel iyileştirmeler ve hidrojen temelli pilot projeleriyle sürdürülebilir havalimanı dönüşümünün göstergelerindendir. Havalimanlarının mikro şebeke sistemleriyle elektrifikasyonunu inceleyen son çalışmalar da altyapı dönüşümünün önemine işaret etmektedir (Miller & Rutledge, 2025).

Havalimanlarında karbon yönetimi uygulamalarının geliştirilmesi; yalnızca iklim hedeflerine ulaşmak açısından değil, aynı zamanda uluslararası sürdürülebilirlik standartlarına uyum, çevresel şeffaflık, ekonomik verimlilik ve kurumsal itibar açısından da stratejik bir zorunluluk hâline gelmektedir (ACI, 2024). Özellikle Uluslararası Havalimanları Konseyi (ACI) tarafından yürütülen Havalimanı Karbon Akreditasyonu (Airport Carbon Accreditation – ACA) programı, bu dönüşüm sürecinde önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Programın en üst seviyesi olan Seviye 5 akreditasyonu, yalnızca doğrudan emisyonların azaltılmasını değil; dolaylı emisyonların yönetilmesini, tedarik zincirine entegre çözümler geliştirilmesini ve şeffaf raporlama mekanizmalarının uygulanmasını gerektirmektedir (ACA, 2024; Sena et al., 2024; Lyudmila, 2024; Smuts & van der Merwe, 2025).

Bu çalışmanın amacı, Royal Schiphol Grubu örneği üzerinden havalimanlarında sürdürülebilirlik uygulamalarının yapılandırılmasına ve Seviye 5 Karbon Akreditasyonunun hangi stratejik, çevresel ve yönetsel uygulamalarla desteklendiğini analiz etmektir. Çalışmada, Schiphol Grubu'nun sürdürülebilirlik raporları temel veri kaynağı olarak kullanılmış, ilgili akademik literatür ve sektörel raporlar doğrultusunda analiz gerçekleştirilmiştir.

Havalimanlarında Karbon Akreditasyonu (ACA) ve Seviye 5 Karbon Kredisi: Havalimanı Karbon Emisyon Akreditasyonu, havalimanlarında sürdürülebilirlik uygulamalarını teşvik etmek üzere karbon emisyonlarını yönetmek ve azaltmak için tasarlanmış bir programdır. 2009 yılında Havalimanları Konseyi Uluslararası tarafından başlatılan program, havalimanlarının karbon yönetimi çabalarını değerlendirebilmeleri için belirleme, planlama, önceliklendirme ve emisyon azaltma stratejilerinin uygulanması gibi bir dizi adımı içeren bir çerçeve sunmaktadır (Sena vd., 2024). ACA programı, havalimanlarının karbon ayak izlerini azaltmaya yönelik önemli bir sertifikasyon sistemidir ve emisyonlar üzerine

politika geliştiren havalimanlarına özgü tek karbon standardıdır. Akreditasyon, küresel çapta karbon ayak izini azalmak üzere havalimanlarının raporlama yapmasını ve karbon faaliyetlerini yöneterek azaltma girişimlerini içermektedir.

Havalimanlarının karbon emisyonlarını hedeflenen düzeyde azaltabilmesi için öncelikle emisyon kaynaklarını tanımlaması, sınıflandırması ve bu kaynakların genel emisyon seviyelerine katkısını ölçülebilir şekilde değerlendirmesi gerekmektedir. Yalnızca doğrudan kontrol edebildiği operasyonel emisyonları azaltmakla kalmayıp aynı zamanda dolaylı emisyonların etkisini dengelemeye yönelik karbon politikaları oluşturması beklenmektedir.

Karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik programlar, başlangıçta gönüllülük esasına dayalı teşvikler üzerinden yürütülse de günümüzde bazı ülkelerde havalimanlarının karbon emisyonlarını yönetmeleri ve azaltmaları konusunda yasal zorunluluklar getirilmiştir. Avrupa Birliği (AB), havacılık sektörünü Emisyon Ticaret Sistemi (EU ETS) kapsamına alarak belirlenen emisyon kotasını aşan havayolu şirketlerinin ek maliyetlerle karşılaşmasını zorunlu hale getirmiştir (Doğan, 2018). Bu düzenleme, havayolu şirketlerine yönelik olsa da havalimanlarının karbon yönetimi politikalarını da dolaylı olarak etkilemektedir.

Bir diğer havacılık karbon izleme sistemi olan CORSIA (Uluslararası Havacılık Karbon Dengeleme ve Azaltım Planı), uluslararası havacılıkta karbon nötr büyümeyi sağlamayı amaçlayan ilk küresel düzenlemedir. 2020'den itibaren uygulanmakta ve karbon dengeleme mekanizmaları ile emisyon azaltımını teşvik etmektedir. 2027 itibarıyla birçok ülke için zorunlu hale gelmesi beklenmektedir (Scheelhaase & Maertens, 2020). ACA programı kapsamında altı farklı akreditasyon seviyesi (4+’a kadar) bulunmaktayken ilk kez 2023 itibarıyla Net Sıfır Karbon Yönergeleri ile uyum sağlamak amacıyla akreditasyona Seviye 5 eklenmiştir (ACI, 2023). Seviye 5, havalimanlarının yalnızca kendi operasyonlarından kaynaklanan karbon emisyonlarını (Scope 1 ve Scope 2) değil tüm operasyon zincirlerini kapsayan Scope 3 emisyonlarının azaltımına yönelik stratejiler geliştirmelerini gerektirmektedir. Net sıfır emisyon seviyesine ulaşmayı amaçlayan havalimanları için bu seviye, küresel ölçekte sürdürülebilirlik çalışmalarının geleceğini şekillendiren önemli bir gelişme olarak değerlendirilmektedir (QSI, 2024; ACI, 2023). Her akreditasyon seviyesi, havalimanlarının karbon azaltım sürecinde belirli hedeflere ulaşmalarını gerektirmektedir. Bu süreç, enerji verimliliğinin artırılması, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişin hızlandırılması ve operasyonel uygulamaların çevre dostu alternatiflerle değiştirilmesi gibi temel bileşenleri içermektedir (ACA, 2024) Tablo 1.

Tablo 1. ACA karbon akreditasyonu seviye gereklilikleri.

Seviye	Başlık	Gereklilikler
1	Haritalama	- Havalimanının operasyonel sınırları içindeki (Scope 1 ve Scope 2*) karbon emisyon kaynaklarını belirlemek, - Bu kaynaklara ait en güncel yıllık karbon emisyonlarını hesaplamak ve raporlamak, - Karbon ayak izi raporu hazırlamak *(Scope 1: Doğrudan emisyonlar, örneğin havalimanı araçlarının egzoz emisyonları, doğal gaz tüketimi, filo kullanımı vb.) Scope 2: Tüm enerji kullanımından kaynaklı dolaylı enerji emisyonları, (Havalimanının satın aldığı elektriğin üretimi sırasında oluşan emisyonlar vb.)
2	Azaltma	- 1. seviyenin tüm gerekliliklerini karşılamak - Etkili bir karbon yönetim prosedürü uygulamak, hedefler belirlemek - Güncel karbon ayak izi verileriyle önceki yılların emisyonlarını karşılaştırarak azaltımı kanıtlamak.
3	Optimizasyon	- 2. seviyenin tüm gerekliliklerini karşılamak - Havalimanı işletmecisinin kontrolü dışındaki (Scope 3*) emisyonları haritalamak ve raporlamak - Karbon ayak izi kapsamını genişleterek Scope 3 emisyonlarını içerecek şekilde yönetmek - Paydaşlarla iş birliği yaparak bu emisyonların azaltılması için ortaklık planları geliştirmek (Scope 3: Diğer dolaylı emisyonlar: tedarik zinciri emisyonları, atık yönetimi, satılan malların kullanımı ve çalışanların işe gidip gelmesi vb.)
3+	Karbon Nötrlüğü	- 3. seviyenin tüm gerekliliklerini karşılamak - Kalan Scope 1 ve Scope 2 emisyonlarını yanı sıra personelin iş seyahatlerinden kaynaklanan emisyonları da uluslararası kabul görmüş denkleştirme projeleriyle dengelemek - Karbon nötrlüğünü sürdürmek için sürekli izleme ve raporlama yapmak
4	Dönüşüm	- 4. Seviyenin (Karbon Nötrlüğü) tüm gerekliliklerini karşılamak - Mutlak emisyon azaltımı için uzun vadeli hedefler belirlemek ve bu hedefleri IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 'nin 1,5°C veya 2°C senaryolarıyla uyumlu hale getirmek - Kapsamlı bir Karbon Yönetim Planı geliştirmek - Tüm ilgili Scope 3 emisyonlarını içeren genişletilmiş bir karbon ayak izi raporu sunmak, Paydaşlarla derinlemesine iş birliği yaparak tüm havalimanı ekosisteminde net sıfır emisyonu ulaşmak için stratejiler uygulamak
4+	Geçiş	- Dönüşüm seviyesinin tüm gerekliliklerini yerine getirmek, - Azaltılmayan karbon emisyonlarını denkleştirme (offset) yoluyla telafi etmek (havalimanının tamamen ortadan kaldıramadığı emisyonları, karbon azaltımı sağlayan projelere finansman sağlayarak telafi etmek)
5	Net Sıfır	- Scope 1 ve Scope 2 emisyonlarında %90 veya daha fazla mutlak azaltım sağlamak ve bu seviyeyi korumak, - Scope 1 ve 2 emisyonları ile Scope 3'te ilgili tüm kategorileri içeren doğrulanmış bir karbon ayak izi raporu sunmak - 2050 yılına kadar Scope 3 emisyonları için Net Sıfır taahhüdünde bulunulmak - Artık kalan emisyonlar için güvenilir karbon giderme mekanizmalarını uygulamak, - Emisyon hedeflerine ulaşmak için bir Karbon Yönetim Planı oluşturmak, - Scope 3 emisyonları için bir Paydaş Ortaklık Planı geliştirmek.

(ACI Europe, 2024; WRI & WBCSD, 2024; QSI, 2024; ACA, 2024).

Seviye 5 akreditasyonu, havalimanlarının Scope 1 ve Scope 2 emisyonlarında %90 veya daha fazla mutlak azaltım sağlamasını, Scope 3 emisyonlarını etkili bir şekilde yönetmesini ve kalan emisyonlarını güvenilir karbon giderme yöntemleriyle telafi etmesini zorunlu kılmaktadır. Bu seviyeye ulaşan havalimanları, yalnızca kendi operasyonlarında değil; havayolları, tedarikçiler, iş ortakları ve diğer üçüncü taraflarla iş birliği yaparak tüm ekosistemlerinde karbon yönetimine yön vermekte ve paydaşların Net Sıfır hedeflerine katkı sağlamasını teşvik etmektedirler.

Havalimanlarında Karbon Emisyonu Odağında Sürdürülebilirlik Çalışmaları: Küresel ölçekte karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik beklentiler, havalimanlarının sürdürülebilirlik uygulamalarını benimseyerek karbon ayak izlerini minimize etmeye yönelik

çeşitli stratejiler geliştirmelerini sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji kullanımının artırılması, havalimanlarında fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmakta; bu doğrultuda yalnızca yeşil enerji dönüşümleri değil, aynı zamanda çok daha kapsamlı enerji yönetim planları da geliştirilmektedir (Goh et al., 2024; Ferreira et al., 2024; Andreopoulou & Gkantlidou, 2023). Sreenath et al. (2021), havalimanlarında, yenilenebilir enerji kullanımının, emisyon, su ve atık su yönetiminin havalimanlarının çevresel etkilerini azaltmada önemi olduğunu ifade etmektedir.

Baxter (2023) çalışmasında, Chhatrapati Shivaji Maharaj Uluslararası Havalimanı'nın tamamen yenilenebilir enerjiye geçiş yaparak yıllık 120.000 ton CO₂ emisyonunu azalttığını, benzer şekilde Indira Gandhi Uluslararası Havalimanı'nın, hidro ve güneş enerjisini kullanarak yıllık 200.000 ton CO₂ azaltımı sağladığını belirtmektedir. Kopenhag Havalimanı, rüzgâr, güneş ve atık-enerji dönüşüm kaynaklarını entegre ederek karbon emisyonlarında önemli azalışlar elde etmiştir (Goh et al., 2024). Hong Kong Uluslararası Havalimanı'nda su yönetimi politikaları aracılığıyla yağmur suyu toplama ve atık su geri dönüşüm sistemlerinin toplam su tüketimini düşürdüğü tespit edilmiştir (Baxter, 2022). Hollanda Groningen Havalimanı, inşa ettiği 22 MW kapasiteli güneş parkı ile 2030 yılına kadar emisyonuz yer operasyonları gerçekleştirmeyi ve aynı zamanda Avrupa'nın ilk Hidrojen Vadisi Havalimanı olmayı hedeflemektedir (Degroot, 2024).

Karbon emisyonlarının azaltılmasında enerji yönetim sistemlerinin geliştirilmesi ve ileri teknoloji ürünlerinin sisteme entegre edilmesi de önemlidir. Kopenhag Havalimanı, rüzgâr, fotovoltaik ve atık-enerji dönüşüm kaynaklarını entegre eden uyarlanabilir bir enerji yönetim stratejisi geliştirmektedir (Goh et al., 2024). Gerçek zamanlı veri analitiği ve tahmine dayalı analizlerden yararlanan akıllı enerji sistemleri, enerji tüketiminin optimize edilmesine olanak sağlamaktadır. Yapay zekâ, uçuş yönetimi ve hava trafik kontrolü süreçlerini optimize ederek karbon emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunmaktadır (Lyudmila, 2024). OSeMOSYS ve Integrate gibi ileri modelleme araçları, yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli kullanılmasını sağlamaktadır (Morch et al., 2024). Singapur Changi Havalimanı, yapay zeka destekli enerji yönetimi ve sıfır atık stratejileri ile karbon ayak izinde azalma sağlamıştır (Changi Airport, 2022.). Gürsel ve Rodoplu (2022), dijitalleşmenin ve akıllı havalimanı uygulamalarının operasyonel verimliliği artırarak çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlayabileceğini ifade etmektedirler. Ammourey & Salman (2024), dijital dönüşüm ve otomasyonun, enerji verimliliği ve karbon azaltımı açısından önemli fırsatlar sunduğunu belirtmektedir. Goh et al. (2024), akıllı enerji yönetimi sistemleri ile karbon emisyonlarının önemli ölçüde azaltılabileceği belirtilmiştir

Buna karşın Korba et al. (2022), havalimanlarının karbon nötrliğe geçiş sürecindeki zorluklarını ele aldıkları çalışmalarında karbon azaltımı için gerekli teknolojik yatırımların maliyet engelleri oluşturabileceği de vurgulamışlardır.

Seviye 5 Karbon Akreditasyonunun gerekliliklerinden de anlaşıldığı üzere havalimanlarının, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşabilmesi için paydaşlarla etkili iş birlikleri kurması gerekmektedir. Chang & Yeh (2016), yerel halkla iş birliğinin sürdürülebilirlik politikalarının başarısında kritik olduğunu belirlemiştir. Budd & Ison (2019), hava yolu ve havalimanı yöneticilerinin karbon azaltımı için daha fazla iş birliği içinde olması gerektiği belirtilmiştir.

Cenevre Havalimanı, hava yollarını daha verimli uçaklar kullanmaya teşvik eden finansal teşvikler sunarak Scope 3 emisyonlarını azaltmayı amaçlamaktadır (Schneider et al., 2024). Havalimanı Karbon Akreditasyon Programı, havalimanlarının karbon emisyonlarını yönetmelerine ve azaltmalarına ilişkin dolaylı faktörlere yönelik de bir çerçeve sunmaktadır (Sena et al., 2024; Lyudmila, 2024).

Havalimanı paydaşları açısından sürdürülebilir havacılık yakıtlarının (SAF) fosil yakıtlara alternatif olarak geliştirilmesi de karbon emisyonlarını azaltmada önemli bir strateji olarak değerlendirilmektedir (Babuder et al., 2024). Elektrikli ve hidrojenle çalışan uçaklar, havacılık sektöründe devrim niteliğinde yenilikler olarak öne çıkmaktadır. Henüz erken aşamada olmalarına rağmen, bu teknolojilerin yaygınlaşması ile uçak operasyonlarından kaynaklanan emisyonların önemli ölçüde düşmesi beklenmektedir (Babuder et al., 2024). Havalimanları sadece havacılık sektöründe faaliyet gösteren paydaşlar açısından değil tüm tedarik zinciri unsurlarını da değerlendirerek karayolu taşımacılığından kaynaklanan karbon emisyonlarını da azaltmak amacıyla sürdürülebilir ulaşım çözümlerine yönelmektedir. Xi'an Xianyang Uluslararası Havalimanı, düşük karbon teşvikleri ve bilinçlendirme programlarıyla yolcuları sürdürülebilir ulaşım seçeneklerine yönlendirmektedir (Shao et al., 2023). Aynı şekilde, Budapeşte Havalimanı, elektrikli ve hibrit araçların kullanımını teşvik etmektedir (ACA, 2025). Havalimanlarında sürdürülebilirlik uygulamalarının başarılı bir şekilde hayata geçirilebilmesi için güçlü stratejilere ve düzenleyici çerçevelere ihtiyaç duyulmaktadır.

MATERYAL VE METOT

Çalışmada, nitel araştırma yöntemleri kullanılmış veriler doküman analiziyle toplanmış ve betimsel analiz esas alınmıştır. Betimsel analiz, önceden belirlenmiş temalar doğrultusunda verilerin düzenlenmesi, tanımlanması ve gerektiğinde doğrudan alıntılarla desteklenerek

yorumlanmasını içeren bir nitel veri analiz yöntemidir (Yıldırım & Şimşek, 2008). Karbon emisyonlarındaki yıllık değişimi izlemek ve emisyon azaltım stratejilerinin etkinliğini değerlendirmek amacıyla Royal Schiphol Grubu'nun 2021, 2022, 2023 ve 2024 yıllarına ait toplam dört faaliyet raporu ile birlikte grubun sürdürülebilirlik belgeleri, kurumsal web sitesi içerikleri, ACI ve ACA gibi otoritelerce yayımlanan kurumsal raporlamalar analize dahil edilmiştir.

Örnekleme zaman aralığı olarak havacılık sektörü açısından Koronavirüs salgını (COVID-19) sonrası toparlanma sürecini içeren 2021 yılı ile tam toparlanma dönemini kapsayan 2024 yılları arasındaki zaman dilimi alınmıştır. İçerik odağında öncelikli olarak karbon emisyonlarının niceliksel olarak raporlandığı faaliyet raporu bölümleri esas alınmış ardından emisyonların azaltılmasına yönelik önlemlerin açıklandığı sürdürülebilirlik göstergeleri incelenmiştir. Verilerin tamamı; Royal Schiphol Group'un yayımladığı resmi dokümanlar, ACA ve ACI gibi akreditasyon kuruluşlarının kılavuz belgeleri olmak üzere doğrudan kurumsal kaynaklardan alınmıştır. Çalışmada sadece Amsterdam Schiphol Havalimanı'nın değil; Royal Schiphol Group bünyesindeki tüm havalimanlarının (Amsterdam Airport Schiphol, Rotterdam The Hague Airport, Eindhoven Airport, Lelystad Airport) verileri esas alınmıştır.

Veriler analiz edilirken ilk aşamada Scope 1, Scope 2 ve Scope 3 başlıkları altında raporlarda yer alan yıllık karbon emisyon verileri niceliksel olarak Tablo 2'de ayrıştırılmıştır. İkinci aşamada, her Scope düzeyine dair emisyon azaltım stratejileri belirlenmiş; bu stratejilerin karşılık geldiği politika ve uygulamalar, faaliyet

raporlarında yer alan ifadeler üzerinden betimsel analiz yaklaşımıyla yorumlanmıştır. Örneğin elektrikli araç kullanımı ve yenilenebilir enerji geçişi, ilgili Scope düzeyine göre gruplandırılarak değerlendirilmiştir. Analiz sürecinde ayrıca karşılaştırmalı bağlam sunmak amacıyla diğer büyük havalimanlarına ilişkin ikincil kaynaklar da değerlendirilmiştir.

Çalışmada yalnızca kamuya açık belgelerin kullanılması ve karbon emisyonu verilerinin raporlar arasında format farklılıkları göstermesi, yönteme bağlı temel sınırlılıklar arasında yer almaktadır. Ayrıca çalışma başında Seviye 5 akreditasyonuna sahip diğer havalimanlarıyla karşılaştırma yapılması amaçlanmış fakat söz konusu kurumların raporlama biçimlerinde standardizasyon bulunmaması nedeniyle değerlendirme imkânı bulunamamıştır.

BULGULAR

Tablo 2'de yer alan emisyon verileri, ACA programının sınıflandırma sistemine dayalı olarak Scope 1, Scope 2 ve Scope 3 kategorileri altında gruplandırılmıştır. Scope 1 doğrudan kontrol altındaki kaynaklardan (örneğin doğalgaz, araç filosu, acil durum sistemleri), Scope 2 ise satın alınan elektriğe bağlı dolaylı emisyonlardan oluşmaktadır. Scope 3 kategorisinde ise tedarik zinciri kaynaklı emisyonlar, çalışan ulaşımı, iş seyahatleri, sermaye malları ve özellikle uçuş yakıtı tüketimi gibi geniş kapsamlı dolaylı emisyon kaynakları yer almaktadır. Sınıflandırma, emisyonların kaynağına göre izlenmesini, analiz edilmesini ve yönetilmesini mümkün hale getirmektedir.

Tablo 2. Scope 1-2-3 emisyonlarının değişimi.

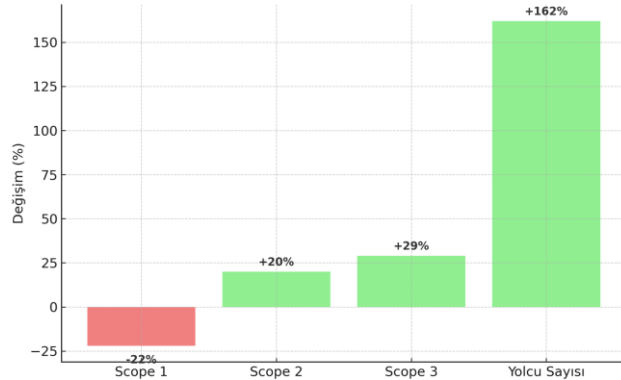
Table 2. Changes in scope 1, 2, and 3 emissions.

Kategori	2021 (tCO ₂ e)	2022 (tCO ₂ e)	2023 (tCO ₂ e)	2024 (tCO ₂ e)	Değişim % Yaklaşık 2021-2024
Scope 1 GHG Emissions					
Doğalgaz Tüketimi	12,898	11,557	10,813	10,883	(-) % 16
Araç Filosu (Kiralık Araçlar Dahil)	1,52	1,253	244	244	(+) %15.950
Yangınla Mücadele, De-icing, Acil Durum Güç Sistemleri ve Diğer	882	542	793	793	(-) % 10
Toplam Brüt Scope 1 Emisyonları (Lokasyon Bazlı)	15,3	13,352	11,85	11,92	(-) % 22
Yeşil Gaz Tüketimi	-2,629	-1,919	-1,569	-1,708	(-) % 35
Net Scope 1 GHG Emisyonu	12,671	11,433	10,281	10,212	(-) % 19
Scope 2 GHG Emissions					
Brüt Scope 2 Emisyonları (Lokasyon Bazlı)	66,293	69,493	68,013	79,467	(+) % 20
Brüt Scope 2 Emisyonları (Pazar Bazlı)	0	0	0	0	
Significant Scope 3 GHG Emissions					
Toplam Brüt Dolaylı Scope 3 Emisyonları	9,101,743	9,864,753	11,025,544	11,790,924	(+) % 29
Kategori 1: Satın Alınan Mal ve Hizmetler	2,989	44,395	19,689	19,689	(+) % 559
Kategori 2: Sermaye Malları (Araç ve Bakım)	67	2,084	233,847	233,847	(+) % 34767
Kategori 3: Yakıt ve Enerjiyle İlgili Aktiviteler	480	12,763	4,612	4,612	(+) % 861
Kategori 5: Atık Taşımacılığı ve İşleme	1,592	3,106	3,985	3,985	(+) % 150
Kategori 6: İş Seyahatleri	86	582	796	796	(+) % 826
Kategori 7: Çalışan Ulaşımı	1,538	3,572	2,21	2,21	(+) % 44
Kategori 11: Satılan Malların Kullanımı (Jet A Yakıtı, Yer Hizmetleri, De-icing, Diğer)	9,015,770	9,698,998	10,683,010	11,448,390	(+) % 27
Kategori 13: Kiralanan Varlıklar (Aşağı Yönlü)	79,221	92,024	69,845	69,845	(-) % 12
Toplam Sera Gazı Emisyonları (Lokasyon Bazlı) 1,2,3	9,183,336	9,947,598	11,105,407	11,883,311	(+) %29
Yolcu Sayısı (Milyon) Amsterdam Schiphol	25,49	52,47	61,89	66,80	(+) %162
Yolcu Sayısı (Milyon) Schiphol Grup	28,90	60,82	61,90	75,90	(+) % 162

Royal Schiphol Grubu'nun 2021-2024 dönemine ait karbon emisyonlarındaki (Scope 1, Scope 2, Scope 3) değişim oranları ve yolcu sayısındaki artış Şekil 1'de karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Operasyonel

büyümenin önemli bir göstergesi olan yolcu sayısının, %162 oranında artmasına rağmen Scope 1 emisyonlarının azaltılabilmiş olması, sürdürülebilirlik performansı ile operasyonel büyümenin birlikte geliştirilebileceğini

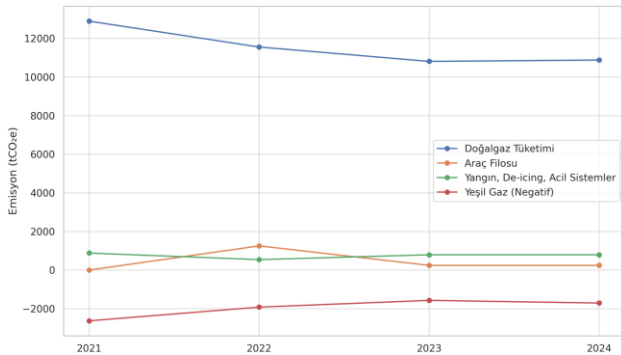
göstermektedir. Scope 1, Scope 2 ve Scope 3 emisyonlarına yönelik spesifik değişimler ve uygulamalar alt başlıklarda detaylandırılmıştır.



Şekil 1. Toplam emisyon ve yolcu değişimi.

Figure 1. Change in total emissions and passenger number.

Scope 1 Emisyonları Değişimi: Scope 1, Schiphol'ün doğalgaz tüketimi, havalimanı araç filosu, yangın tugayı, de-icing faaliyetleri, acil jeneratörler gibi doğrudan kontrol ettiği emisyonları kapsamaktadır. Schiphol Grubu'nun Scope 1 emisyon oranlarındaki yıllar içindeki değişme bakıldığında toplam emisyonların 2024 yılında, 2021 yılına kıyasla % 22 oranında azaldığı görülmektedir (Tablo 2). Yolcu sayısı açısından bakıldığında ise 2021 yılında 28,9 milyon yolcudan, 2024 yılında 75,9 milyon yolcuya çıkarak % 162 lik bir artış yakaladığı görülmektedir. Bu göstergeler, artan yolcu sayısına rağmen grubun, doğrudan emisyonlarında düşüş kaydedebildiğini ve yolcu başına düşen karbon emisyonlarını büyük ölçüde azalttığını göstermektedir.



Şekil 2. Scope 1 Emisyonlarının Yıllara Göre Değişimi.

Figure 2. Change in Scope 1 Emissions by Year.

2021–2024 yılları arasında Schiphol Grubu'nun doğrudan kontrol ettiği emisyon kaynaklarından oluşan Scope 1 emisyonlarının değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu dönemde doğalgaz tüketimi, araç filosu ve yangın, de-icing, acil sistemler gibi kaynaklardan kaynaklanan emisyonlarda genel bir azalma eğilimi gözlemlenmiştir. Özellikle doğalgaz tüketimine bağlı emisyonlar yıllar içinde düşerken, yeşil gaz kullanımındaki artış nedeniyle negatif emisyon katkısı artmıştır.

Schiphol Grubu, doğrudan emisyonlarını azaltmak için son yıllarda kapsamlı önlemler almaktadır. Alt başlıklar özelinde Scope 1 emisyonlarını azaltma stratejilerinde dikkat çeken hususlar ise şu şekildedir:

Elektrikli Araç Kullanımı ve Operasyonel Optimizasyon: Schiphol, apron bölgesinde fosil yakıtlı yer araçlarını, elektrikli modellerle değiştirmiştir. Uçakların, motorlarını çalıştırmadan pist başına kadar çekilmesini sağlayan ve hibrit bir yer aracı olan TaxiBot'u kullanan ilk Avrupa havalimanıdır (Royal Schiphol Group, 2021; 2022). Elektrikli araç kullanımı, Havalimanı araç filosu kaynaklı emisyonların azalmasını sağlamıştır (Royal Schiphol Group, 2023). Schiphol, "Clean Mobility" programı ile hem kendi filosunda hem de sahadaki iş ortaklarının filolarında fosil yakıtlı araçları elektrikliye dönüştürmeye odaklandığını belirtmektedir (Royal Schiphol Group, 2021). Aralık 2023 itibarıyla 51 elektrikli otobüs ve 1.227 şarj istasyonunun konuşlandırılması, yenilenebilir enerjinin kullanımını destekleyerek fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmaktadır. Ayrıca araç kullanımını azaltacak süreç değişiklikleri de uygulanmaktadır (Royal Schiphol Group, 2022).

Yer Güç Üniteleri (GPU) Elektrifikasyonu: Aprondaki uçak güç üniteleri dizelden elektrığe geçirilmiştir (Royal Schiphol Group, 2024). Yer Servis Ekipmanlarını (GSE), elektrikli Yer Güç Üniteleri (e-GPU'lar) ve e-PCA üniteleri gibi elektrik eşdeğerleriyle değiştirme girişi, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş için önemli örneklerdendir. Ayrıca Schiphol, hidrojen yakıt hücreli ekipman gibi yenilikçi çözümleri de denemektedir. KLM Cityhopper iştiraki, Schiphol'de hidrojen enerjili bir mobil yer güç ünitesini (GPU) test etmeye başlamıştır; bu ünite uçaklara gereken elektriği fosil yakıt kullanmadan sağlayarak dizel jeneratörlere bağımlılığı azaltmaktadır (Marcellin, 2025).

Elektrikli bagaj traktörleri, push-back araçları ve yer güç üniteleri gibi yer destek ekipmanının tamamen elektrikliye dönüştürülmesi, büyük hub havalimanlarında yer kaynaklı emisyonları belirgin biçimde azaltmaktadır. Ayrıca bu dönüşüm, hava kalitesini iyileştirmekte ve çalışanlar için gürültü kirliliğini azaltmaktadır (GMR Engineering & Management Services, 2024).

Enerji Verimliliği ve Doğalgaz Tüketiminin Azaltılması: Schiphol, termal enerji depolama sistemleri kurarak ve enerji yönetim sistemlerini modernize ederek enerji verimliliğini artırmıştır (Royal Schiphol Group, 2022). Ayrıca, yeşil gaz (biyogaz) kullanımını artırarak doğalgaz kaynaklı emisyonları düşürmüştür (Royal Schiphol Group, 2023). Schiphol grubunun ayrıca kimyasal kullanımını azaltarak Pist de-icing ve diğer kimyasal kullanımında verimlilik sağladığı da görülmektedir (Royal Schiphol Group, 2022).

Yeşil Gaz Tüketimi: Schiphol'ün doğrudan emisyonlar konusundaki stratejisi, yalnızca yeni teknoloji alımlarını değil aynı zamanda yakıt türlerini dönüştürmeyi de içerir. Havalimanı, yer hizmet araçlarında dizel yerine yeşil yakıtlar (ör. biyoyakıt bazlı dizel – HVO) kullanımını artırmayı hedeflemektedir. Isıtma ve diğer sabit enerji ihtiyaçları için ise doğal gaz tüketimini azaltmayı hedeflemektedir. 2019 yılından itibaren Schiphol, tükettiği doğalgazın bir kısmını “yeşil gaz” ile ikame etmektedir; 2023 itibarıyla toplam gaz alımlarının %17'si biyogaz kaynaklıdır (Royal Schiphol Group, 2023). Bunun yanı sıra lojistik yolların 2026 itibarıyla sıfır emisyon bölgesi ilan edilmesi kararlaştırılmıştır. Bu durum, havalimanı arazisinde fosil yakıtla çalışan araçların sınırlandırılacağı anlamına gelmektedir. Tüm bu çalışmalar, Schiphol'ün 2030 yılına kadar kendi operasyonlarında “sıfır emisyonlu havalimanı” olma hedefinin unsurlarıdır. Schiphol, 2030'a dek Havalimanı içinde doğal gaz kullanımını tamamen sonlandırmayı planlamaktadır (Royal Schiphol Group, 2021). Diğer büyük Avrupa havalimanlarıyla karşılaştırıldığında Schiphol'ün Scope 1 azaltım performansının benzerlikler taşıdığı görülmektedir. Örneğin, Frankfurt Havalimanı işletmecisi Fraport, 1990 'dan itibaren yolcu sayısı artmasına rağmen kendi operasyonlarının karbon emisyonlarını %50'den fazla düşürmeyi başarmıştır. Frankfurt, 2030 için Scope 1 ve 2 emisyonlarını yıllık 50.000 ton seviyesine indirme hedefi belirlemiştir. Filosunun %21'ini elektrikli araçlara dönüştürmüştür. Ayrıca, uyguladığı enerji verimliliği programları sayesinde elektrik, ısıtma ve soğutma sistemlerinde %40'ın üzerinde tasarruf sağladığı belirtilmektedir (Fraport, 2024). Benzer şekilde Heathrow Havalimanı da kara tarafı operasyonlarında elektrikliye geçiş ve enerji verimliliği yatırımları yapmaktadır. Heathrow, Havalimanı operasyonlarındaki karbon emisyonlarını 2019'a kıyasla %45 azaltmayı ve filosundaki ekipmanların büyük kısmını elektrikliye veya hibrite çevirmeyi taahhüt etmiştir. Ayrıca, Heathrow'da yer hizmetlerinde kullanılan ekipman ve araçların %90'ından fazlasının halihazırda elektrikli veya hibrit olduğu belirtilmektedir (Caswell, 2024; Heathrow Airport, 2022; British Airways, 2024).

Scope 2 Emisyonları (Dolaylı Enerji Emisyonları) Değişimi: Scope 2 emisyonları, Schiphol Grubu'nun satın aldığı elektrik enerjisinin üretimi sırasında oluşan dolaylı emisyonları ifade etmektedir. Havalimanlarının terminal binaları, aydınlatma sistemleri, bagaj sistemleri, sabit yer üniteleri ve diğer operasyonları yüksek miktarda elektrik tüketmektedir. Yolcu sayısındaki artış, doğal olarak terminal faaliyetlerinin ve elektrik ihtiyacının da artması demektir. Bu doğrultuda 2024 Yılında, 2021 yılına oranla Scope 2 Emisyonlarının %20 artış gösterdiği görülmektedir (Tablo 2).

Yolcu sayısına paralel olarak emisyondaki artışa rağmen, Schiphol Grubu'nun pazar bazlı emisyonlarını sıfır düzeyinde tutacak şekilde %100 yenilenebilir kaynaklardan elektrik tedarik ettiği ve enerji verimliliği uygulamalarıyla emisyonlarını azaltmaya yönelik düzeltici önlemler aldığı görülmektedir.

Yenilenebilir Elektrik Kullanımı: Schiphol, 2021 yılından itibaren %100 yenilenebilir enerji kullanmaya başlamıştır ve tüm elektrik ihtiyacını, rüzgar ve güneş enerjisinden karşılamaktadır (Royal Schiphol Group, 2022). Grup, işletmelerinde kullandığı elektriğin %100'ünü Hollanda'daki rüzgâr enerjisi çiftliklerinden sağlamaktadır (Royal Schiphol Group, 2021). Bu nedenle Scope 2 emisyonları, piyasa temelli (Pazar bazlı market-based) hesaplamayla sıfır olarak raporlanmaktadır (Royal Schiphol Group, 2024). Bu gösterge, havalimanının ihtiyaç duyduğu elektriğin tamamının rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerjilerden sağlandığı anlamına gelmektedir. Schipol grup, tedarik sürecinde %100 yenilenebilir elektrik satın aldığını ifade etmektedir (Royal Schiphol Group, 2023). Böylece havalimanının, şebeke elektriğine olan talebi artsa da (yerel şebeke kaynaklı elektrik kullanımı, lokasyon bazlı hesaplama 2021 yılında yaklaşık 66 ton CO₂ iken 2024 yılında yaklaşık 76 ton CO₂) pazar bazlı Scope 2 emisyonlarının 0 olarak kaldığı görülmektedir. Elektrik tüketimi kaynaklı emisyonların elimine edilmesi, yolcu sayısı artsa bile havalimanının karbon ayak izinin orantılı büyümemesine katkı sağlamaktadır.

Enerji Verimliliği Projeleri: Schiphol, sadece yenilenebilir enerji tedariğiyle yetinmeyip enerji tasarrufu ve yerinde üretim projelerine de önem vermektedir. Bina Enerji Verimliliği ve modernizasyonu projeleri, LED aydınlatmaya geçiş, akıllı bina otomasyonu, ısıtma-soğutma optimizasyonu ve verimli ekipman kullanımı sayesinde Schiphol, %7 enerji verimliliği sağlamıştır (Royal Schiphol Group, 2021). Havalimanı, akıllı bina teknolojilerini enerji verimliliği odaklı uygulamalarla birleştirmektedir. Enerji tüketimi ve hava basıncı gibi veriler sürekli izlenerek paydaşlarla iş birliği içinde etkin tasarruf sağlanmaktadır. Ayrıca, tahmine dayalı bakım uygulamaları sayesinde arızalar önceden tespit edilerek proaktif müdahale mümkün hale gelmektedir. IBM Maximo, IoT ve Dijital İkiz gibi teknolojilerle entegre edilen sistemler, mobil erişimle desteklenerek bakım süreçlerini daha hızlı ve verimli kılmaktadır (Göçmen, 2024). Sahada güneş enerjisi sistemlerinin kurulmasıyla Schiphol'deki güneş panelleri, 2022 yılında 2,6 milyon kWh elektrik üretirken; Rotterdam The Hague Havalimanı'nda 7,7 hektarlık güneş tarlası devreye alınarak yıllık yaklaşık 11 GWh yenilenebilir elektrik üretimine başlanmıştır (Royal Schiphol Group, 2022). Bunun yanında, elektrik altyapısının güçlendirilmesi için dağıtım şirketi ile işbirliği yapılmış artan talebi karşılamak

ve daha fazla elektrikli ekipmanı şebekeye bağlamak üzere şebeke kapasitesi artırılmıştır. Enerji verimliliğine yönelik bu projeler, yolcu başına enerji kullanımını azaltarak büyümeden kaynaklanan emisyon baskısını dengelemektedir.

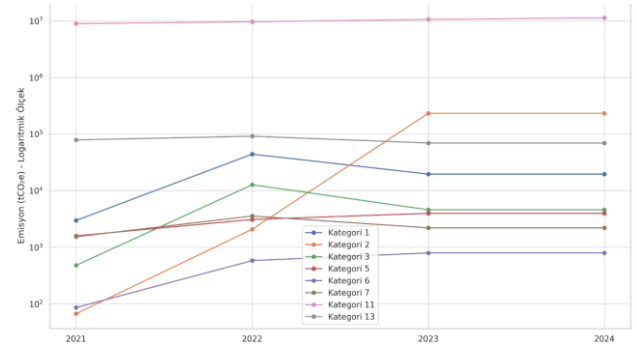
Birçok havalimanının da benzer şekilde Scope 2 emisyonlarını azaltmak için stratejiler uyguladığı görülmektedir. Frankfurt Havalimanı, 2026'dan itibaren elektrik ihtiyacının %85'ini Kuzey Denizi'nden sağlanacak rüzgâr enerjisiyle karşılamayı planlamakta ve enerji verimliliğini artırmak için LED aydınlatma sistemlerine geçiş yapmaktadır (Fraport, 2024). Londra Heathrow Havalimanı, 2022 yılında satın aldığı elektriğin tamamını yenilenebilir kaynaklardan sağlamaya başlamıştır. Ayrıca güneş enerjisi sistemleri kurarak Scope 2 emisyonlarını azaltma yönünde adımlar atmıştır. McGuinness (2024), Dublin Havalimanının, Scope 2 emisyonlarını sıfırlama ve yenilenebilir enerji entegrasyonunda oldukça başarılı olduğunu belirtmektedir (McGuinness, 2024).

Scope 3 Emisyonları (Diğer Dolaylı Emisyonlar)

Değişimi: Scope 3 emisyonları, Schiphol Grubu'nun operasyon zincirindeki diğer dolaylı emisyon kaynaklarını içermektedir. Bunlar arasında satın alınan mal ve hizmetlerin üretimi (ör. inşaat projeleri, altyapı yatırımları), atıktan kaynaklı emisyonlar (çöplerin taşınması ve bertarafı), iş seyahatleri (çalışanların şirket adına yaptığı uçuşlar veya kara yolculukları) ve çalışanların işe gidiş gelişleri örnek gösterilebilir. Ayrıca havalimanına hizmet veren üçüncü tarafların bazı emisyonları (ör. terminaldeki kiracıların enerji kullanımı, apron bölgesinde üçüncü partilerin kullandığı yakıtlar) da Schiphol'ün genişletilmiş emisyon envanterine dahildir. En büyük Scope 3 kalemi ise uçak yakıtı (kerosen) kaynaklı emisyonlardır; her ne kadar bu emisyonlar doğrudan Schiphol'ün kontrolünde olmasa da 2022'de 8,9 milyon ton CO₂ ile toplam ayak izinin büyük kısmını oluşturmaktadır. Ancak raporlama ve hedefler kapsamında Schiphol, bu uçuş kaynaklı emisyonları ayrı ele almakta; kendi sürdürülebilirlik raporlarında "seçilmiş Scope 3" (Havalimanı faaliyetleriyle bağlantılı ancak kısmen etki edebileceği emisyonlar) kalemlere odaklanmaktadır (Royal Schiphol Group, 2022).

2021-2024 yılları arasında Scope 3 emisyonları 2021'de 9,1 milyon ton CO₂ iken, 2024'te 11,8 milyon ton CO₂'ye ulaşmıştır. Schiphol'ün doğrudan etki edebildiği seçilmiş Scope 3 emisyonları, toplam emisyon artışına kıyasla daha düşük seviyede kalmıştır. İncelenen dönem açısından yolcu trafiği ile ilişkilendirildiğinde 2021-2024 yılları arasında yolcu trafiğinin toparlanmasının, Scope 3 emisyon kategorilerinde artışa yol açtığı görülmektedir (Tablo 2). Yolcu sayısının artması, havalimanında atık oluşumunu, tedarik ve hizmet alımını (ikram, temizlik, güvenlik hizmetleri vb.), personel istihdamını ve personel

ulaşımını artırmıştır. Bu sebeple Schiphol'ün bazı Scope 3 kalemlerinde artışlar görülmektedir.



Şekil 3. Scope 3 Emisyon Kategorilerinin Yıllara Göre Değişimi.

Figure 3. Change in Scope 3 Emission Categories by Year.

Schiphol Grubu'nun Scope 3 emisyon alt kategorilerinde meydana gelen değişimler Şekil 3'te gösterilmiştir. İncelenen dönemde, özellikle satın alınan mal ve hizmetler, atık yönetimi, çalışan ulaşımı ve iş seyahatleri gibi kategorilerde artışlar gözlemlenmiştir. Yolcu trafiğindeki toparlanma, altyapı yatırımlarının yeniden hız kazanması ve hizmet alımındaki genişleme bu artışlarda etkili olmuştur. Scope 3 değişimlerini şu başlıklarla özetlemek mümkündür:

Havalimanına Ulaşım ve Çalışan Ulaşımı:

Pandeminin etkisinin azalmasıyla iş seyahatlerinin tekrar başlamasının ve çalışanların işe gidiş gelişinden kaynaklı emisyonların arttığı görülmektedir. Schipol önlem olarak dijital toplantılar ve uzaktan çalışma uygulamalarını kısmen devam ettirerek çalışanlarının gereksiz uçuşlarını azaltmaktadır. Schiphol'ün kendi iş seyahati emisyonları toplam içinde 2023'te yaklaşık 582 ton CO₂ gibi oldukça küçük bir pay oluşturmaktadır (Royal Schiphol Group, 2023). Havalimanı, Hindistan'daki güneş ve rüzgar enerjisi gibi projelerini, bu kategoride kalan fosil yakıt kullanımını dengelemek amacıyla devreye aldığını ifade etmektedir.

Yolcu sayısının artması aynı zamanda Havalimanına ulaşım açısından karayolu taşımacılığı trafiğinin de artacağı anlamına gelmektedir. Schipol, 2030'a kadar havalimanına ulaşımında akıllı ve temiz mobilitenin artırılacağını, bunun için toplu taşıma altyapısının geliştirilmesi, bisiklet yollarının iyileştirilmesi ve elektrikli araç paylaşım sistemlerine yatırım hedefini net olarak belirtmektedir. Havalimanı, çalışanlarını ve yolcuları toplu taşıma kullanmaya teşvik etmek; personel için servisler, bisiklet teşvik programları ve elektrikli servis araçları sunmak, yolcular ve çalışanlar için bisiklet yolları, elektrikli otobüsler ve tren bağlantılarını artırılmak, elektrikli araçlar için şarj altyapısını genişletmek ve taksi filosunu elektrikli araçlara dönüştürmek gibi temiz ulaşımı teşvik etmeye yönelik yatırımlar yapmaktadır (Royal Schiphol Group, 2023). Havalimanı, şehir merkezine yakınlığı ve entegre demiryolu ağı sayesinde yolcuları toplu taşımaya yönlendirmekte böylece yolcu sayısının

artmasına rağmen karayolu trafiği sınırlı kalmaktadır. Heathrow havalimanının da benzer uygulamaları desteklediği, Elizabeth Line gibi yatırımlarla %43 toplu taşıma kullanım oranına ulaştığı görülmektedir (Heathrow Airport, 2023). Bu uygulamalar sadece karbon emisyonlarını değil aynı zamanda hava kalitesini iyileştirmeyi de amaçlamaktadır. Karayolu kaynaklı emisyonların azaltılmasında yeşil altyapı uygulamalarının etkili olduğu da görülmektedir (Ünal vd., 2025)

Atık yönetimi: Schiphol, 2030 yılına kadar sıfır atık hedefine ulaşmayı, operasyonlarından kaynaklı atığın tamamını yeniden kullanma, geri dönüştürme veya kompost etme yoluyla bertaraf etmeyi, düzenli depolama veya yakmaya atık göndermemeyi planlamaktadır (Marcellin, 2025; Royal Schiphol Group, 2023). İncelenen dönemde, Covid sürecinde ertelenen büyük altyapı projelerine yeniden hız verilmesinin, satın alınan mal ve hizmetler kategorisinde özellikle inşaat faaliyetlerinde emisyonları arttırdığı ve yine yolcu sayısının artışıyla birlikte atık yönetimi kaynaklı emisyonların arttığı görülmektedir (2023 yılında yaklaşık 3.106 ton CO₂). Sermaye malları açısından bakıldığında, havalimanı altyapısında yapılan yatırımlar, yeni bina projeleri ve yeşil enerji altyapısı kurumlarının bu artışa neden olduğu özellikle bagaj sistemlerinin yenilenmesi ve yeni terminal inşaatlarının etkili olduğu görülmektedir (Royal Schiphol Group, 2023). Rossy (2018), Schiphol'un ekonomik etkilerini analiz ettiği çalışmada, Havalimanının büyümesiyle birlikte karbon salınımının da artmasının kaçınılmaz olduğunu belirtmektedir (Rossy, 2018).

Schipol, terminal yenileme ve inşaat projelerinde döngüsel tasarım ilkelerini benimsemektedir. Malzemelerin ömrünü uzatmak, modüler ve tekrar kullanılabilir yapı elemanları tercih etmek ve inşaat yıkım atıklarını en aza indirmek gibi uygulamalarla gömülü karbonun (ürün ve malzemelerin yaşam döngülerindeki emisyonlar) azaltılması beklenmektedir (Marcellin, 2025; Atkins, 2023). Havalimanında yeni terminal, ek tesisler gibi büyüme yatırımları gerçekleşirken tedarik zincirinden kaynaklanan emisyonlar, önceki yöntemlere kıyasla azalacaktır. Yeni altyapı yatırımlarında döngüsel tasarım prensiplerinin uygulanması, beton-asfalt tüketimini azaltacak alternatiflerin aranması, inşaat ve malzeme kaynaklı emisyonların (Scope 3 – purchased goods) faaliyetler artsa da sınırlı kalmasına neden olacaktır.

Atıkların ayrıştırılması hususunda ise havalimanında yeni bir atık ayrıştırma sistemi pilotu devreye alınmış; yolcuların atıklarını doğru kutuya atmaları için yönlendirmeler yapılmış ve iş ortaklarıyla tek kullanımlık bazı ürünlerin önlenmesi konusunda çalışmalar yapılmıştır. Yüksek oranda geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı, ahşap ve güneş panelli hibrit yapılar, yağmur suyuyla tuvalet rezervuarı doldurma gibi

uygulama örnekleri de görülmektedir (Royal Schiphol Group, 2022; Royal Schiphol Group 2023).

Havacılık Kaynaklı Emisyonlar: Havalimanlarının toplam emisyonlarının %97'ten fazlası kendi operasyonel kontrol alanlarının dışında kalan aktörlerden kaynaklanmakta; bu durum, havayolları, yakıt tedarikçileri, yerel ulaşım otoriteleri ve yolcularla koordineli hareket etmeyi gerektirmektedir (World Economic Forum, 2023). Schiphol Grubu, uçaklardan kaynaklanan devasa emisyonları, doğrudan azaltma yetkisine sahip olmasa da bu alanda da sorumluluk almaktadır. Hollanda havacılık endüstrisinin, Paris Anlaşması ile uyumlu olarak CO₂ azaltımının hızlanması için küresel kerosen vergisi veya sürdürülebilir havacılık yakıtını (SAF) harmanlama zorunluluğu gibi önlemleri desteklemektedir. Ayrıca, "kirlenen öder" prensibinin hayata geçmesi adına mesafeye dayalı bir havacılık vergisi önerisini desteklemekte ve elde edilecek gelirin sürdürülebilirlik yatırımlarına yönlendirilmesi gerektiğini savunmaktadır (Royal Schiphol Group, 2023). Havalimanı, Sürdürülebilir Havacılık Yakıtları (SAF) kullanımını teşvik etmek üzere 2022-2024 döneminde 15 milyon Euro'luk bir teşvik programı başlatılmıştır. SAF kullanan havayollarına, havalimanı ücretlerinde kredi sağlamaktadır (Salmi, 2023; Royal Schiphol Group, 2024). Bu girişimler, doğrudan Schiphol'un emisyon envanterini azaltmasa da uzun vadede havacılığın, toplam karbon etkisini düşürmeye yönelik önemli adımlardır. Schiphol, Delfzijl'de bir biyokerosen (SAF) üretim tesisinin kurulması ve Rotterdam Havalimanı'nda sentetik yakıt araştırmalarının desteklenmesi gibi SAF üretimini ve kullanımını teşvik eden projelere de ortaktır (Royal Schiphol Group, 2021). Ayrıca, KLM (Kraliyet Hollanda Havayolları) ortaklığı ile bazı uçuşlarda SAF harmanlanmasının pilot uygulamalarını gerçekleştirmektedir. Avrupa Birliği'nin 2023'te kabul ettiği ReFuelEU düzenlemesi de üye ülkelerdeki havalimanlarında yakıt ikmalinin giderek artan oranda SAF içermesini zorunlu kılmaktadır. Bu düzenleme kapsamında, 2025 yılında en az %2, 2030 yılında ise %6 oranında SAF karışımı hedeflenmektedir (World Economic Forum, 2024). Dolayısıyla yolcu ve uçuş sayısı artsa bile havacılığın karbon yoğunluğunu azaltarak Scope 3 emisyonunu düzenlemeyi amaçlamaktadır.

Schiphol, kalan emisyonlar için karbon dengeleme (offset) ve piyasa mekanizmalarını da kullanmaktadır. Kendi operasyonları için karbon nötr sertifikasına sahip olan havalimanı, zorunlu olmamasına rağmen uçuş kaynaklı emisyonlarda da sektörel çabalara katkı sunmaktadır. Örneğin, yolculara uçuşlarının karbon emisyonlarını gönüllü olarak dengeleme imkânı sunulmakta ve bu konuda bilinçlendirme yapılmaktadır (Royal Schiphol Group, 2025). Schiphol, uzun vadede

karbon dengeleme yerine doğrudan emisyon azaltımına odaklanmakta; hava trafik yönetiminin iyileştirilmesi, düşük emisyonlu uçakların teşviki, kısa taksi süreleri, optimize kalkış ve yaklaşma prosedürleri, yüksek doluluk oranları, verimli motor teknolojileri ile dolaylı emisyonların azaltılması hedeflenmektedir. Hollanda hükümeti, çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda Schiphol'de kalkış/iniş sayılarına üst limit getirmiş ve 2023 yılı içerisinde slot kapasitesini azaltarak büyümenin çevresel etkilerini sınırlamayı amaçlamıştır. Bu uygulama, gürültü ve yerel çevre kaygılarına dayansa da dolaylı olarak karbon emisyonlarının artışı da sınırlamaktadır.

Scope 3 emisyonları açısından genel çerçevede satın alınan mallar ve hizmetler, yakıt ve enerjiyle ilişkili faaliyetler ile satılan ürünlerin kullanımına bağlı emisyonlarda artışlar gözlemlenmektedir. Bu artışın temel nedenleri arasında COVID-19 sonrası operasyonel normalleşme ile sürdürülebilir altyapı yatırımlarının hız kazanması yer almakta atık yönetimi ve yeşil enerji projeleri söz konusu artışları dengeleyici unsurlar olarak öne çıkmaktadır.

Schiphol Grubu'nun sürdürülebilirlik uygulamaları, literatürde yer alan çeşitli kuramsal yaklaşımlarla da bütünleşik biçimde değerlendirilebilmektedir. Bu yaklaşımlardan biri olan Triple Bottom Line (TBL), çevresel, ekonomik ve sosyal boyutların dengeli ve eş zamanlı yönetimini esas alan bütüncül bir sürdürülebilirlik anlayışıdır (Elkington, 1997; Schulz & Flanigan, 2016). Schiphol'ün elektrikli araç dönüşümleri, enerji verimliliği yatırımları, yeşil gaz kullanımı ve atık yönetimi gibi çevresel stratejileri; altyapı modernizasyonları, operasyonel verimlilik artışı ve kaynak yönetimine odaklanan ekonomik uygulamaları; çalışan ulaşımı, iş sağlığı ve güvenliği, yolcu bilgilendirme ve paydaşlarla etkileşimi kapsayan sosyal boyutla birlikte değerlendirildiğinde, grubun sürdürülebilirlik yaklaşımının, TBL çerçevesiyle uyumu, sürdürülebilirlik raporlarında yer alan uygulama örnekleri ve performans göstergeleri doğrultusunda kavramsal düzeyde görülebilmektedir.

Bununla birlikte, Schiphol Grubu'nun sürdürülebilirlik stratejileri yalnızca TBL ile sınırlı kalmamakta; aynı zamanda kurumsal karbon yönetimi ve döngüsel ekonomi yaklaşımlarıyla da örtüşmektedir. Kurumsal karbon yönetimi, işletmelerin karbon azaltımını teknik uygulamalarla sınırlı tutmayıp; tedarik zinciri iş birlikleri, piyasa temelli mekanizmalar ve stratejik planlamalarla yönettiğini varsayan daha bütüncül bir modeli ifade etmektedir (Okereke & Russell, 2010). Schiphol'ün SAF teşvikleri, karbon dengeleme yaklaşımları ve paydaşlara yönelik yönlendirme stratejileri bu yapının örnekleridir. Ayrıca, terminal yenilemeleri ve

altyapı projelerinde benimsenen döngüsel tasarım ilkeleri ile pazar bazlı elektrik alımı ve dijital ikiz tabanlı enerji yönetimi gibi uygulamalar, Schiphol'ün hem gömülü karbonu azaltmayı hem de veriye dayalı sürdürülebilirlik optimizasyonunu hedefleyen çağdaş bir strateji izlediğini ortaya koymaktadır.

SONUÇ

Havacılık sektörü, küresel karbon emisyonlarının azaltılması açısından zorlukları ve beraberinde yenilikçi çözüm fırsatlarının bir arada bulunduğu karmaşık bir alandır. Havalimanlarında, Seviye 5 Karbon Akreditasyonu gibi yüksek sürdürülebilirlik standartlarını temel alan uygulamaların incelenmesi, sürdürülebilir havalimanı yönetimine yönelik politika ve uygulama modellerinin anlaşılmasına katkı sağlamaktadır.

Havalimanlarında sürdürülebilirliğe yönelik uygulamaların yalnızca doğrudan operasyonel süreçlerle sınırlı kalmadığı; tedarik zinciri, kiracılar, çalışanlar ve yolcular gibi dolaylı paydaşları da kapsayan yapılarla genişlediği görülmektedir. Bu çalışmada, Schiphol Grubu'nun karbon yönetimi ve sürdürülebilirlik stratejileri çok boyutlu olarak değerlendirilmiştir. Schiphol 2050 yılına kadar net sıfır emisyon hedefini açık biçimde tanımlamakta ve bu hedefi sadece kendi operasyonel faaliyetlerine değil; tüm değer zincirine entegre etmeye çalışmaktadır.

Schiphol, Scope 1 ve Scope 2 emisyonlarını azaltmak için elektrikli araç filosu, yeşil gaz kullanımı ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş gibi somut adımlar atmakta; elektrik ihtiyacının büyük bir bölümünü rüzgâr ve güneş enerjisinden sağlayarak bu alandaki dönüşümünü hızlandırmaktadır. Grup, 2021-2024 yılları arasında yolcu sayısı açısından % 162'lik bir artış kaydetmesine karşın Scope 1 emisyonlarını %22 oranında azaltmayı başarmıştır. Yolcu sayısındaki artışa rağmen emisyonların kontrol altına alınabilmesi, çevresel sürdürülebilirliğin ekonomik büyümeyle uyumlu şekilde yönetilebileceğini de göstermektedir.

Grubun Scope 2 emisyonlarının ise 2021 yılına kıyasla 2024 yılında %20 artış gösterdiği görülmektedir. Buna rağmen, %100 yenilenebilir kaynaklardan elektrik tedarik ederek ve enerji verimliliği önlemleri alarak pazar bazlı Scope 2 emisyonlarını da sıfır düzeyinde tutmayı başarmıştır. Bu dönüşüm, havalimanının yalnızca kendi operasyonel sınırları içerisinde değil, aynı zamanda enerji altyapısı ve tedarik ilişkilerinde de sürdürülebilirliği merkeze aldığını göstermektedir.

Ancak toplam emisyonların önemli bir kısmını oluşturan Scope 3 kategorisinde sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak, daha karmaşık yapılar ve çok paydaşlı iş birlikleri gerektirmektedir (Sena et al., 2024; Bahman, 2023). Yakıt tüketimi, satılan malların kullanımı

ve enerjiyle ilişkili faaliyetler gibi kategorilerde artışlar görülsede Schiphol, bu artışları dengelemek üzere atık yönetimi, yeşil ulaşım çözümleri, çalışan ulaşımı için bisiklet paylaşım programları ve sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi gibi çeşitli uygulamalarla emisyon azaltımını desteklemektedir. Ayrıca Schiphol, doğrudan kontrol edemediği uçak kaynaklı emisyonlarda da sorumluluk alarak, SAF kullanımını teşvik eden programlar, vergi düzenlemeleri ve karbon dengeleme mekanizmaları gibi çeşitli girişimleri desteklemektedir.

Carbon Disclosure Project (CDP, 2023) tarafından tüm sektörler esas alınarak yayınlanan Tedarik Zinciri Raporu'na göre değer zinciri kaynaklı Scope 3 emisyonlarının, operasyonel emisyonlardan ortalama 26 kat daha yüksek olduğu ve iklim risklerinin ele alınmasının, çevresel faydayla birlikte şirketler için önemli finansal fırsatlar yarattığı görülmektedir. Değer zincirine yönelik iklim risklerinin ele alınmasının şirketlere yaklaşık 165 milyar ABD doları tasarruf potansiyeli sunduğu ayrıca düşük karbonlu enerji üretimine dayalı çözümlerin bu kazançların %78'ini oluşturduğu ifade edilmektedir. İç karbon fiyatı uygulayan, iklim sorumluluğu taşıyan yönetim kurullarına sahip olan ve tedarikçileriyle aktif olarak çalışan şirketlerin, emisyon hedeflerini yakalamada çok daha başarılı olacağı değerlendirilmektedir (CDP, 2023). Schiphol'un, bu doğrultuda tedarikçileriyle geliştirdiği sürdürülebilirlik iş birliklerinin hem çevresel hem de ekonomik faydalar yaratacağı öngörülmektedir.

Schiphol aynı zamanda teknolojik çözümleri ve altyapı yeniliklerini sistematik biçimde devreye alarak da karbon ayak izini düşürmektedir. Elektrikli yer araçları, bagaj sistemlerinin modernizasyonu, taksi süresini azaltan operasyonel iyileştirmeler ve yardımcı güç üniteleri (APU) kullanımının sınırlandırılması, bu dönüşümün örneklerindendir. Schiphol'un yapay zekâ destekli enerji yönetimi, dijitalleşme odaklı izleme sistemleri ve enerji verimliliği teknolojileri de sürdürülebilirlik hedeflerinin gerçekleştirilmesinde belirleyici rol oynamaktadır.

Schiphol Grubu'nun sürdürülebilirlik stratejileri yalnızca teknik çözümlerle sınırlı kalmamakta; aynı zamanda kurumsal kültürün geliştirilmesi ve paydaş katılımının artırılması yönünde çeşitli uygulamaları da kapsamaktadır. Havalimanı kiracılarıyla yapılan sürdürülebilir enerji sözleşmeleri, yerel toplumla yürütülen çevresel iletişim faaliyetleri, çalışanlara yönelik farkındalık programları ve yolculara sunulan gönüllü karbon dengeleme seçenekleri bu çerçevede değerlendirilmektedir. Bu uygulamalar, sürdürülebilirliğin sosyal boyutunun kurumsal düzeyde ele alındığını ve çevresel hedeflerin toplumsal katmanlarla ilişkilendirildiğini göstermektedir. Schiphol, elektrifikasyon, yenilenebilir enerji kullanımı, döngüsel ekonomi uygulamaları, iklim adaptasyon stratejileri ve çok

paydaşlı sürdürülebilirlik yönetimiyle havacılık sektörüne yönelik kapsamlı bir sürdürülebilirlik vizyonu sunmakta ve diğer havalimanları için uygulanabilir bir çerçeve oluşturmaktadır. Sonraki çalışmalarda Karbon Akreditasyonu konusunda yöntem bölümünde ifade edilen diğer başarılı havalimanlarının karşılaştırmalı analizlerinin yapılması veya Scope 3 emisyonlarının ölçümüne yönelik standartlaştırılmış araçların geliştirilmesinin, literatüre katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir

KAYNAKLAR

- ACA. (2024).** *Level 5: Transformation*. Airport Carbon Accreditation. <https://www.airportcarbonaccreditation.org/about/7-levels-of-accreditation/level-5/>
- ACI. (2024).** *Airport Carbon Accreditation Annual Report*. Airports Council International. <https://www.aci-europe.org/>
- ACA. (2025).** *Updated framework for Level 5 accreditation: Absolute emissions reduction*. Airport Council International.
- ACI. (2023).** *Airport Carbon Accreditation Application Manual (Version 14)*. Airport Carbon Accreditation. <https://www.airportcarbonaccreditation.org/wp-content/uploads/2023/12/Airport-Carbon-Accreditation-Application-Manual-14-FINAL-01112023.pdf>
- Ammoury, M., & Salman, B. (2024).** Advancing Sustainability and Resilience of Airports through Deployment of New Technologies in the Aftermath of the COVID-19 Pandemic. *ASCE OPEN: Multidisciplinary Journal of Civil Engineering*, 2(1), 04024006.
- Andreopoulou, Z., & Gkantlidou, S. (2023).** Sustainable practices and green policies in airports: the case of airport of Thessaloniki Makedonia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1196, No. 1, p. 012052). IOP Publishing. DOI: 10.1088/1755-1315/1196/1/012052
- Atkins. (2023).** *First embodied carbon tool for airport terminals developed*. IATA. <https://www.iata.org/en/pressroom/2023-releases/2023-07-17-01/>
- Babuder, D., Lapko, Y., Trucco, P., & Taghavi, R. (2024).** Impact of emerging sustainable aircraft technologies on the existing operating ecosystem. *Journal of Air Transport Management*, 115, 102524. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2023.102524
- Bahman, N. (2023).** Airport sustainability through life cycle assessments: A systematic literature review. *Sustainable Development*, 31(3), 1268-1277.
- Baxter, G. (2023).** Towards Carbon Neutral Airport Operations Through the Use of Renewable Energy Sources: The Case of Chhatrapati Shivaji Maharaj and Indira Gandhi International Airports, India. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 8(2), 084-100. DOI: 10.22161/ijeab.82.9
- Baxter, G. (2022).** Sustainable Airport Water Management: The Case of Hong Kong International Airport. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 7(5), 016-032. DOI: 10.22161/ijeab.75.3
- British Airways. (2024).** *British Airways outlines investment in sustainable ground equipment*. Business Traveller. <https://www.businesstraveller.com/business->

- travel/2024/03/19/british-airways-outlines-investment-in-sustainable-ground-equipment/
- Budd, L., & Ison, S. (2021). Public utility or private asset? The evolution of UK airport ownership. *Case Studies on Transport Policy*, 9(1), 212-218.
- Caswell, M. (2024). British Airways outlines investment in sustainable ground equipment. *Business Traveller*. <https://www.businesstraveller.com/business-travel/2024/03/19/british-airways-outlines-investment-in-sustainable-ground-equipment/>
- CDP. (2023). *Strengthening the chain: Why Scope 3 action needs to be faster, bolder and more widespread*. CDP Worldwide. <https://www.cdp.net/en/research/global-reports/supply-chain-report-2023>
- Chang, Y. H., & Yeh, C. H. (2016). Managing corporate social responsibility strategies of airports: The case of Taiwan's Taoyuan International Airport Corporation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 92, 338-348.
- Changi Airport. (2022). Changi Airport Group. (2022). *Changi Airport sustainability report, 2022*
- De Groot, M. (2024). How can a balanced ecosystem of technology, collaboration and innovation build greener airports?" The case study of Groningen Airport Eelde. *Journal of Airport Management*, 18(3), 309-316. DOI: 10.69554/gwj4841
- Doğan, M.E. (2018). Küresel Kamusal Mal Kapsamındaki Hava Kirliliğine Neden Olan Etkenlerin Havacılık Sektörü Odaklı İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 5(13), 142-156.
- Dube, K., & Nhamo, G. (2019). Climate change and the aviation sector: A focus on the Victoria Falls tourism route. *Environmental Development*, 29, 5-15.
- Elkington, J., & Rowlands, I. H. (1999). Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business. *Alternatives Journal*, 25(4), 42.
- Ferreira, D., Baltazar, M.E., & Santos, L.(2024) Developing a comprehensive framework for assessing airports' environmental sustainability. *Sustainability*, 16, 6651. DOI: 10.3390/su16156651
- Fraport. (2024). *Climate protection; Sustainable for the future - Frankfurt Airport - Terminal 3*. Retrieved April 25, 2025, from <https://www.fraport.com/en/sustainability/environment-and-climate/climate-protection.html>
- GMR Engineering & Management Services. (2024). *The impact of electric ground support equipment (GSE) on airport sustainability and efficiency*. <https://www.gmrgems.com/blogs/the-impact-of-electric-ground-support-equipment-on-airport>
- Goh, H.H., Suo, W., Liang, X., Zhang, D., Dai, W., Kurniawan, T.A., & Goh, K.C. (2024). An adaptive energy management strategy for airports to achieve carbon neutrality by 2050 via waste, wind, and solar power. *Frontiers in Energy Research*, 12, 1365650. DOI: 10.3389/fenrg.2024.1365650
- Göçmen, D. (2024). Havalimanlarında inovasyon uygulamalarının karşılaştırılması. *Akıllı Ulaşım Sistemleri Ve Uygulamaları Dergisi*, 7(2), 127-145. DOI: 10.51513/jitsa.1436536
- Gürsel, S., Demir, R., & Rodoplu, H. (2023). The effect of digitalisation on sustainability and smart airport. *International Journal of Sustainable Aviation*, 9(1), 26-40.
- Heathrow Airport Limited. (2023). *A year of progress recorded for Heathrow's sustainability strategy*. Heathrow Media Centre.
- Heathrow Airport. (2022). *Heathrow's Net Zero Plan*. <https://www.heathrow.com/content/dam/heathrow/web/common/documents/company/heathrow-2-0-sustainability/further-reading/Heathrow%20Net%20Zero%20Plan%20FINAL.pdf>
<https://mediacentre.heathrow.com/pressrelease/detail/14991>
- ICAO. (2023). Annual Report of the Council. International Civil Aviation Organization. <https://www.icao.int/about-icao/Pages/annual-reports.aspx>
- IEA. (2023). Aviation: Tracking Clean Energy Progress. International Energy Agency. <https://www.iea.org/energy-system/transport/aviation>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2018). Conceptualizing the circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221-232. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.09.005
- Korba, P., Koščáková, M., Fözö, L., & Sekelová, I. (2022). Current state and possible challenges in the development of green airports. In *2022 New Trends in Civil Aviation (NTCA)* (pp. 191-197). IEEE.
- Lee, D.S., Fahey, D.W., Skowron, A., Allen, M.R., Burkhardt, U., Chen, Q., ..., & Wilcox, L.J. (2020). The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment*, 244, 117834. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2020.117834
- Li, Y., & He, Y. (2024). Unraveling Korea's energy challenge: The consequences of carbon dioxide emissions and energy use on economic sustainability. *Sustainability*, 16(5), 2074. DOI: 10.3390/su17030855
- Lyudmila, C. (2024). Decarbonization With The Help of Artificial Intelligence-one of The Priorities of International Civil Aviation. *Contemporary Issues in Artificial Intelligence*, 1. DOI: 10.69635/ciai.2025.8
- Marcellin, F. (2025). *Schiphol's flight path to a circular future*. Airport Technology. <https://www.airport-technology.com/features/schiphols-flight-path-to-a-circular-future/>
- Mazraani, G., & Tucci, M. (2025). The role of environmental management systems (EMS) in driving organizational development and environmental sustainability. *American Journal of Environment and Climate*, 4(1). DOI: 10.54536/ajec.v4i1.3748
- Mcguinness, J. (2024). Embedding net zero ambition at Dublin Airport: A world to connect and a future to protect. *Journal of Airport Management*, 18(4), 357-366.
- Miller, I., & Rutledge, A.S. (2025). Airport electrification: Funding, microgrids, and sustainability. *Journal of Aviation Technology and Engineering*. DOI: 10.7771/2159-6670.1314
- Morch, A., Laveneziana, L., Erga, I., Restaldo, G., Odisio, M., & Chiaramonti, D. (2024). Electrification of airports and air transport: Airports becoming integrated energy systems. In *2024 20th International Conference on the European Energy Market (EEM)* (pp. 1-6). IEEE.
- Okereke, C., & Russel, D. (2010). Regulatory Pressure and Competitive Dynamics: Carbon Management Strategies of UK Energy-Intensive Companies. *California Management Review*, 52(4), 100-124. DOI: 10.1525/cmr.2010.52.4.100
- QSI. (2024). ACA – Airport Carbon Accreditation. Erişim adresi: <https://www.qsi.com.tr/hizmetler/aca-airport-carbon/> 10.03.2025
- Ritchie, H. (2024). "What share of global CO₂ emissions come from aviation?" *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/global-aviation-emissions>

- Rossy, C.J.K. (2018). *The Economic Impact of Schiphol Airport on the Amsterdam Region*. <https://thesis.eur.nl/pub/43991/Rossy-CJK-423551-BA-thesis.pdf>
- Royal Schiphol Group. (2021). *Annual report 2021*. Royal Schiphol Group. https://assets.ctfassets.net/biom0eqyyi6b/2eFwazvcfkxTRY0wL2Kwpx/5cd9ea0281e2268b6971061ec2009337/Schiphol_Annual_Report_2021.pdf
- Royal Schiphol Group. (2022). *Annual report 2022*. Royal Schiphol Group. https://assets.ctfassets.net/biom0eqyyi6b/6KuDXV8tLObOnmmEyuvtoB/a06ae96544a988a8b5a34f728dd147c2/Schiphol_Group_Annual_Report_2022.pdf
- Royal Schiphol Group. (2023). *Annual report 2023*. Royal Schiphol Group. https://downloads.ctfassets.net/biom0eqyyi6b/04nkMtBLgCVIHTBwHpI49/d310d7413331199e3e30fa163a0724b6/2023_Annual_Report_Schiphol_Final_Version_16-02-2024.pdf
- Royal Schiphol Group. (2024). *Annual report 2024*. Royal Schiphol Group. https://downloads.ctfassets.net/biom0eqyyi6b/4dK3ANlskFq31RXtEu9oyP/17f72a9d7c72c2bb286560609176d025/Schiphol_Group_Annual_Report_2024.pdf
- Royal Schiphol Group. (2025). *How can you contribute to a sustainable airport?* Retrieved April 25, 2025, from <https://www.schiphol.nl/en/sustainability/how-can-you-contribute-to-a-more-sustainable-airport/>
- Salmi, H.M. (2023). The impact of the traffic charge incentives on Sustainable Aviation Fuel (SAF). *USE*.
- Schneider, A., Stern, C., Sachdeva, N., & Mounier, M. (2024). *Can airports be a catalyst for reducing aviation's effect on the climate?* DOI: 10.69554/oibc8419
- Scheelhaase, J., & Maertens, S. (2020). How to improve the global 'carbon offsetting and reduction scheme for international aviation'(CORSIA)?. *Transportation Research Procedia*, 51, 108-117.
- Schulz, S.A., & Flanigan, R.L. (2016). Developing competitive advantage using the triple bottom line: A conceptual framework. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 31(4), 449-458.
- Sena, A., Prayitno, H., & Wicaksono, P. (2024). Airport Carbon Emission Accreditation as a Policy Approach towards Net Zero Carbon 2050. In *Proceeding of International Conference on Artificial Intelligence, Navigation, Engineering, and Aviation Technology*, (Vol. 1, No. 1, pp. 152-153).
- Shao, M., Chen, C., Lu, Q., Zuo, X., Liu, X., & Gu, X. (2023). The Impacts of Low-Carbon Incentives and Carbon-Reduction Awareness on Airport Ground Access Mode Choice under Travel Time Uncertainty: A Hybrid CPT-MNL Model. *Sustainability*, 15(16), 12610.
- Smuts, H., & van der Merwe, A. (2025). Embedding sustainability: Sociotechnical knowledge management guidelines for digital decarbonization in the Society 5.0 era. *Sustainability*, 17(3), 953. DOI: 10.3390/su17030953
- Sreenath S, Sudhakar K, Yusop AF.(2021). Sustainability at airports: Technologies and best practices from ASEAN countries. *J. Environ. Manage.*, 299, 113639. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.113639
- Ünal, S., Tektaş, N., & Tektaş, M. (2025). Karayolu Ulaşımında Bitkisel Yeşil Dokunun Hava Kalitesine Etkisi. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(4), 381-391. DOI: 10.35229/jaes.1637057
- World Economic Forum. (2023). *Financing The Airports of Tomorrow: A Green Transition Toolkit*. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Financing_The_Airports_Of_Tomorrow_2023.pdf
- World Economic Forum. (2024). *How the airports of tomorrow are tackling carbon emissions*. Retrieved April 25, 2025, from <https://www.weforum.org/stories/2024/07/airports-of-tomorrow-are-tackling-carbon-emissions>
- World Resources Institute (WRI). (2024). & World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). (2024). *GHG protocol – Kurumsal standardı*. Erişim adresi: <https://ghgprotocol.org/corporate-standard>
- Xiong, X., Chen, S., Liu, Y., & Zhou, Y. (2023). Aviation and carbon emissions: Evidence from airport operations. *Journal of Air Transport Management*, 109, 102312. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2023.102383
- Yıldırım, A., & Şimşek, H. (2008). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri* (6. baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık.