



Yazar/Author

Nilgün ÇAYALAN*, Hakan RODOPLU**

Makale Adı/Article Name

Sürdürülebilir Havaalanı Uygulamaları: Enerji Verimliliği ve Karbon Ayak İzi Azaltma Stratejileri

Sustainable Airport Applications: Energy Efficiency and Carbon Footprint Reduction Strategies

ÖZ

Sürdürülebilirlik en basit anlamda sınırlı doğal kaynakların gelecek nesilleri düşünerek, bilinçsizce harcanmasının önüne geçilmesi adına alınan bir dizi önleme dair farkındalıktır. Sürdürülebilirlik çevrenin etkin şekilde korunduğu, ekonomik büyümenin sürekliliğinin sağlandığı düzendir. Birleşmiş Milletler 2030 sürdürülebilirlik hedefleri kapsamında karbon salınımının sınırlanmaya çalışıldığı önemli sektörlerden havacılık sektöründe sıkı uygulamalar ve denetimler dikkat çekmektedir. Birçok havalimanı sürdürülebilirlik hedeflerini yakalamak adına sosyal sorumluluk faaliyetleri ile toplumsal etki yaratmaya çalışmakta, teknolojik uygulamalar geliştirmeye çalışarak; enerji verimliliği uygulamaları, katı atık uygulamaları, su ve atık su yönetimi uygulamaları, ulaşılabilirlik ve erişilebilirlik uygulamaları geliştirmektedir. Bu çalışmada, sürdürülebilirliğin sağlanması, enerji verimliliği ve karbon ayak izi azaltmak adına dünyanın önde gelen sürdürülebilir havalimanlarında hayata geçirilen bu uygulamalar tanıtılmakta ve bu uygulamaların yarattığı faydalar yansıtılmaya çalışılmaktadır. Türkiye’de sürdürülebilirliğin yerleştirilmesi adına geliştirilen proje ve mevzuat düzenlemeleri ile havalimanlarının sürdürülebilirlik uygulamaları ele alınmaktadır. Bu uygulamaların bütüncül bir şekilde yansıtılmasıyla sürdürülebilirlik hedeflerini yakalamak isteyen havalimanı yönetimlerinde farkındalık oluşturulması ve uygulama örnekleri ile yol gösterilmesi planlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, Havalimanı, Sürdürülebilir havalimanı uygulamaları.

ABSTRACT

Sustainability, in its most fundamental sense, is the awareness of a series of measures taken to prevent the unconscious spending of limited natural resources with future generations in mind. It is an order in which the environment is effectively protected and the continuity of economic growth is ensured. Within the scope of the United Nations' 2030 sustainability goals, strict practices and audits are noteworthy in the aviation sector, one of the important sectors where carbon emissions are tried to be limited. In pursuit of these objectives, numerous airports have embarked on endeavors to generate social impact through the implementation of social responsibility initiatives, the development of technological applications, energy efficiency applications, solid waste applications, water and wastewater management applications, and accessibility and accessibility applications. This study undertakes a comprehensive examination of the practices employed in the world's leading sustainable airports, with the aim of ensuring sustainability, energy efficiency, and carbon footprint reduction. It further seeks to illuminate the benefits engendered by these practices. The study will address the sustainability practices of the airports and the projects and legislative arrangements developed for the establishment of sustainability in Turkey. By reflecting these practices in a holistic manner, it is planned to create awareness among airport managements that want to achieve sustainability goals and to guide them with examples of practices.

Keywords: Sustainability, Airport, Sustainable airport practices.

* Öğr. Gör., Iğdır Üniversitesi Iğdır MYO, Ulaştırma Hizmetleri Bölümü, Kabin Hizmetleri Programı, nilguncayalan@gmail.com

** Dr. Öğr. Üyesi, Kocaeli Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık Yönetimi, hakan.rodoplu@kocaeli.edu.tr



Extended Abstract

Airports play a critical role in the growth of today's economy. They enable the acceleration of international trade, contribute significantly to the tourism sector, and strengthen global transportation networks (ACI, 2004). The degree to which airports contribute to economic growth is directly proportional to the increase in flight activity (Edwards, 2004). However, these increases have been associated with various environmental concerns (Douglas and Lawson, 2003; Morrell and Lu, 2000). These environmental concerns encompass elevated energy consumption, carbon emissions during take-off and landing, noise pollution, solid waste generation, and wastewater pollution (ACI Europe, 2015: 8).

The management of environmental problems created by airports is imperative for airports to achieve their sustainability goals. The aviation sector is a major contributor to environmental degradation. To mitigate these adverse effects, sustainable airports have developed a series of plans and methodologies (Ma, 2024). Airports employ sustainability practices to ensure their environmental, social, and economic survival.

In order to embed sustainability at airports, a number of practices are highlighted. These include environmental projects for energy efficiency, water and wastewater management, waste management and carbon emission reduction, as well as technological and digital applications and transportation accessibility practices, cooperation with local communities, training and social awareness campaigns. These practices are instrumental in the integration of sustainable development goals into the aviation sector.

In terms of the effective and efficient use of natural resources, the expansion of solar energy panels and water and wastewater management stand out. The integration of energy efficiency and renewable energy sources within smart airport ecosystems is conducive to the implementation of sustainable transportation strategies. The integration of solar panels, geothermal energy, LED lighting, building automation systems, and high-efficiency heating and cooling technologies not only reduces the energy consumption of terminal buildings but also that of waiting areas for transportation vehicles and garages (Chin & Hooper, 2018). Consequently, while the airport's overall carbon footprint is reduced, the transportation modes preferred by passengers during their travels are also made sustainable, either directly or indirectly.

Wastewater management constitutes a significant responsibility for airport operators, as it pertains to the avoidance of superfluous freshwater usage at airports. The predominant source of wastewater at airports originates from various activities, including aircraft maintenance, ground handling, aircraft washing at the stand, and airport maintenance. The quality of water at airports can be compromised during fuel spills, oil spills, solid waste disposal, and de-icing operations (Liao et al., 2021). To mitigate these challenges, it is imperative to adopt a multifaceted approach, including the minimization of chemical usage, the replacement of water valves with sensor valves, and the treatment and recycling of wastewater for non-drinking purposes.

Technological applications at sustainable airports, in conjunction with digital airport transformation, have been demonstrated to facilitate streamlined check-ins and baggage handling, while concomitantly effecting substantial enhancements in overall operational processes (Baxter, Srisaeng & Wild, 2018; Baxter, 2022). Moreover, technological innovations utilized in Smart airports encompass applications that optimize the utilization of energy, water, and other natural resources, in alignment with sustainability objectives. For instance, the implementation of advanced sensors, automation systems, and data analytics solutions can facilitate the reduction of water consumption, the enhancement of stormwater management, and the reuse of wastewater (Baxter, 2022; Baxter, Srisaeng & Wild, 2018).

A significant body of research underscores the pivotal role of sustainable waste management practices in fostering airport sustainability. This is evidenced by studies highlighting the collection of environmentally and public health hazardous waste, including batteries, vegetable oils, electronic devices, and fluorescent lamps, with specialized equipment and subsequent storage in designated temporary areas (Dündar & Toy, 2021). This multifaceted approach, aimed at curbing environmental degradation and generating economic benefits, is a crucial component of comprehensive airport sustainability strategies.

Airports are of critical importance to transportation infrastructure, and as such, must develop strategies that contribute to environmental, economic, and social sustainability goals. In this regard, social responsibility

and social impact practices emerge as a pivotal component of sustainable development. These practices contribute to a transformation in which airports are perceived not only as entities that generate economic benefits, but also as actors that contribute to environmental and societal well-being.

The sectoral contribution of this study is twofold: first, it aims to raise airport managements' awareness of sustainability by discussing sustainable airport practices within the study's scope; and second, it seeks to guide them with a number of national and international best practices in achieving sustainability goals. This study is poised to play a significant role in the broader efforts to mitigate the environmental impact of airports.

However, the study's primary limitation is its exclusion of sustainability practices applicable to the development of airports in terms of sustainability. To address this gap, researchers are advised to develop and implement field research initiatives that explore the applicability of these sustainability practices in the context of developing airports.

Giriş

Havalimanları, uluslararası ticaretin hızlanmasına olanak tanırken, turizm sektörüne de önemli katkılarda bulunmakta ve küresel ulaşım ağlarını güçlendirerek günümüz ekonomisinin büyümesinde kritik bir rol oynamaktadır (ACI, 2004). Havalimanlarının ekonomideki büyümeye katkısı gerçekleşen uçuş sefer sayılarının fazlalaşmasıyla birlikte artış gösterir (Edwards, 2004). Ancak bu artışlar çeşitli çevresel sorunlara sebebiyet verir (Douglas ve Lawson, 2003; Morrell ve Lu, 2000). Bu çevresel sorunlar; yüksek enerji tüketimi, iniş kalkış esnasında gerçekleşen karbon salınımı, gürültü kirliliği, katı atıklar ve atık suların kaynaklı kirlilik olarak sıralanmaktadır (ACI Europe, 2015: 8).

Havalimanları, terminal binaları, aydınlatma sistemleri, güvenlik sistemleri ve diğer altyapı unsurları için büyük miktarda enerji tüketir. Enerji verimliliği önlemleri, bu tüketimi azaltmak için kritiktir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, enerji tüketimini azaltma potansiyeline sahiptir (Demirci, Doğan ve Eroğlu, 2023). İniş ve kalkış esnasında uçaklar, önemli miktarda karbondioksit (CO₂) ve diğer sera gazları salınımı yapar. Bu emisyonlar, iklim değişikliği üzerinde olumsuz etkiler yol açar. Havalimanları, emisyonları azaltmak için çeşitli sürdürülebilirlik projeleri geliştirmekte ve uygulamaktadır (Torum ve Yılmaz, 2009). Uçakların iniş ve kalkışları sırasında meydana gelen gürültü, çevredeki topluluklar üzerinde olumsuz etkiler yaratmakta, gürültü kirliliği, özellikle yoğun hava trafiği olan havalimanlarında önemli bir sorun teşkil etmektedir. Havalimanları, gürültü düzeylerini azaltmak için çeşitli önlemler almakta ve bu konuda düzenlemelere uymak zorundadır (Andreopoulou ve Gkantidou, 2023). Havalimanları, yolcu ve kargo işlemleri sırasında büyük miktarda katı atık üretmektedir. Bu atıkların yönetimi, çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir konudur. Sürdürülebilir atık yönetimi uygulamaları, atıkların kaynağında azaltılması, geri dönüşümü ve yeniden kullanımı gibi yöntemleri içerir (Sarbasov vd.,2020). Sürdürülebilir atık yönetiminin kapsamına atık sularda girmektedir. Havalimanları, çeşitli faaliyetler sonucunda atık su üretmektedir. Bu atık sular, uygun şekilde yönetilmediğinde çevre kirliliğine yol açabilir. Atık suyun arıtılması ve yeniden kullanılması, çevresel etkilerin azaltılması açısından önemlidir (Greer, Rakas ve Horvath, 2020).

Havalimanlarının yarattığı çevresel sorunların yönetimi, havalimanlarının sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşması açısından önemlidir. Havacılık, çevreyi en çok etkileyen sektörlerden biridir. Havalimanları çevresel, sosyal ve ekonomik anlamda varlıklarını sürdürebilmek için sürdürülebilirlik uygulamalarından faydalanmaktadır. Dünyada birçok havalimanı sürdürülebilirlik uygulaması bulunmaktadır. Başarıları da ülkeden ülkeye değişmektedir (Rodoplu ve Gürsel, 2022). Havalimanlarında sürdürülebilirlik, mevcut ve gelecekteki nesillerin ihtiyaçlarını karşılamak için çevresel, sosyal ve ekonomik etkilerini en aza indirmeyi amaçlayan bir yaklaşımdır. Havalimanları, altyapıyı geliştirmek, toplumla etkileşim kurmak ve operasyonel faaliyetlerini sürdürülebilir bir şekilde yönetmek için bu fikirden yararlanır (Karaman, Kılıç ve Uyar, 2018) Sürdürülebilir havalimanları, bu zararlı sonuçları azaltmak için bir dizi plan ve yöntem geliştirmektedir (Ma, 2024).

Havalimanlarında sürdürülebilirlik planları kapsamında katı atık geri dönüşümü, tek kullanımlık ürünler yerine yeniden kullanılabilir ürünlerin teşvik edilmesi, suyun etkin kullanımı ve tasarrufuna yönelik uygulamalar, emisyon azaltımı için elektrikli ve hibrit araç kullanımı, çevresel gürültü kontrolü için stratejik gürültü haritaları oluşturulması gibi projeler hayata geçirilmiştir (Kalyoncu,2023; Torun ve Küçük Yılmaz, 2023; Dhmi, 2023).

Bu çalışmanın amacı, havalimanlarının sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için uygulayabileceği enerji verimliliği ve karbon ayak izi azaltma stratejilerini incelemek, havalimanlarının çevresel etkilerini azaltma yollarını araştırarak, bu alandaki en iyi uygulamaları ve yenilikçi çözümleri belirlemektir. Bu çalışma, sürdürülebilir havalimanı uygulamalarını teorik çerçevede ele almaktadır. Bu kapsamda ortaya koyulan araştırma soruları; havalimanlarında enerji verimliliğini artırmak için hangi teknolojik yenilikler kullanılmaktadır? Karbon ayak izini azaltmak için hangi stratejiler uygulanabilir? Sürdürülebilir havalimanı uygulamalarının ekonomik etkileri nelerdir? Havalimanı işletmecileri ve paydaşları arasında sürdürülebilirlik konusunda nasıl bir işbirliği sağlanabilir? Çalışmada, güncel sürdürülebilir uygulamalarının havalimanlarında sosyal çevresel ve ekonomik açıdan ne şekilde gerçekleştirildiği uluslararası ve ulusal örnekler ile konu ile alakalı ortaya koyulan araştırma makaleleri üzerinden incelenmektedir.

1. Havalimanlarında Sürdürülebilirlik

1.1. Sürdürülebilirlik

Kavramın günümüzdeki anlamını kazanması ve topluluklar tarafından resmen tanınması 1972'de İsveç'te yapılan Stockholm Conference on the Human Environment ile başlar. Konferansta çevre ve kalkınma arasındaki bağlantı derinlemesine irdelenirse de ekonomik kalkınma biçiminin sürdürülebilirlik kavramıyla ilişkilendirilerek değiştirilmesi gerektiği üzerinde durulması önemli bir adımdır (Baral, 2012). Eylül 2015'te BM Genel Kurulu, 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi' ni (Transforming Our World: The 2030 Agendafor Sustainable Development) kabul etmiştir. Kurul böylece 17 evrensel hedef ve 169 amaçtan oluşan 2030 sürdürülebilir kalkınma hedeflerini kabul etmiştir (Gedik, 2020).

Sürdürülebilirlik kavramı, sıkça kullanılsa da tanımı, bağlama göre farklılık gösterebilmektedir. En geniş anlamıyla, sürdürülebilirlik; tüm insanlığın ihtiyaçlarını karşılayan sosyal bir ilerleme ile doğal kaynakların mevcut ve gelecek nesiller için daha iyi bir yaşam kalitesi sağlama amacıyla kullanıldığı, çevrenin etkin bir şekilde korunduğu ve ekonominin istikrarlı bir şekilde büyüdüğü bir düzen olarak tanımlanabilir (Zabihi ve Habib,2012). Sürdürülebilirlik kavramına havalimanları açısından çevresel etkilerin azaltılması, kaynakların verimli kullanımı ve ekonomik, sosyal ve çevresel faktörlerin dengelenmesi olarak değerlendirilir (Torun ve Yılmaz, 2009). ACI, sürdürülebilirliği; havalimanlarının ekonomik sürdürülebilirliği, işletme verimliliği, doğal kaynakların korunması ve sosyal sorumlulukların entegre bir biçimde yönetilmesi olarak tanımlamaktadır. Bu tanım, sürdürülebilirliğin tüm bu unsurların bir arada ele alınarak bütünsel bir yaklaşım ile gerçekleştirilmesi gerektiğini vurgular (ACI, 2005).

Havalimanları, özellikle enerji kullanımı, sera gazı emisyonları, gürültü kirliliği ve doğal kaynakların kullanımı açısından önemli bir çevresel sorun oluşturmaktadır (Chen vd., 2024). Bu çevresel sorunları azaltma veya en aza indirme hedefleriyle sürdürülebilir hava limanları kavramı ortaya çıkmış ve havalimanlarında sürdürülebilirlik çalışmaları uygulanmaya başlanmıştır.

1.2. Sürdürülebilir Havalimanları ve Havalimanlarında Sürdürülebilirliğin Önemi

Sürdürülebilir havaalanları, çevresel, sosyal ve ekonomik boyutları dengeli bir biçimde ele alarak hem mevcut hem de gelecekteki nesiller için sağlıklı bir hava ulaşım sistemi oluşturmayı amaçlamaktadır (Carvalho vd., 2013). Bu tür havaalanları, çevre üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirmek için enerji verimliliği, atık yönetimi, su tasarrufu ve gürültü kontrolü gibi çeşitli sürdürülebilirlik uygulamalarını hayata geçirmektedir. Ayrıca, yerel topluluklarla ilişkilerini güçlendirerek sosyal sorumluluk projelerine öncelik verir ve toplulukların ihtiyaçlarına duyarlı bir yaklaşım benimser.

Havaalanı operasyonlarında sürdürülebilirliğin önemi, aşağıdaki temel faktörlere dayanmaktadır:

Çevresel Etkiler: Havaalanları, hava kirliliği, gürültü ve doğal yaşam alanlarının bozulması gibi çevresel sorunlara neden olabilir. Sürdürülebilir uygulamalar, bu olumsuz etkileri azaltmak için enerji verimliliği sağlamak, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek ve karbon ayak izini azaltmak gibi yöntemler kullanarak çevreye duyarlı bir yaklaşımı benimsemektedir (Culberson,2011).

Toplumsal Sorumluluk: Havaalanları, buldukları topluluklarla sürekli etkileşim halindedir. Sürdürülebilirlik yaklaşımı, havaalanlarının yerel topluluklarla ilişkilerini güçlendirir; sosyal sorumluluk projeleri geliştirerek, toplulukların ihtiyaçlarını göz önünde bulundurur ve yerel halkın desteğini kazanır (Chang ve Yeh, 2016).

Ekonomik Verimlilik: Sürdürülebilir havaalanı operasyonları, uzun vadede maliyetleri düşürebilecek niteliktedir. Enerji tasarrufu, atık yönetimi ve kaynakların etkin kullanımı gibi uygulamalar, işletme maliyetlerini azaltarak havaalanlarının ekonomik sürdürülebilirliğini artırır ve rekabet gücünü pekiştirir (Sreenath vd.,2021).

Regülasyon ve Standartlar: Hükümetler ve uluslararası kuruluşlar, havaalanlarının çevresel etkilerini azaltmalarını sağlamak amacıyla çeşitli düzenlemeler ve standartlar geliştirmiştir. Sürdürülebilirlik, bu yasal düzenlemelere uyum sağlama zorunluluğu açısından da önemli bir unsurdur (DHMI,2023).

Gelecek Nesiller İçin Kaynakların Korunması: Sürdürülebilir havaalanı operasyonları, doğal kaynakların korunmasına katkı sağlar. Su, enerji ve diğer kaynakların verimli kullanımı, gelecek nesillerin bu kaynaklara erişiminin sürdürülebilir bir şekilde devam etmesini güvence altına alır (Gedik, 2020).

Bu faktörler ışığında, sürdürülebilir havaalanları, çevresel, sosyal ve ekonomik boyutları bütünleştirerek daha sağlıklı ve dengeli bir hava ulaşım sistemi oluşturmayı amaçlar. Bu bağlamda, havaalanı yönetimlerinin sürdürülebilirlik stratejilerini benimseyerek uygulamaya geçirmesi büyük önem taşımaktadır.

1.3. Havalimanlarında Sürdürülebilirlik Uygulamaları

Sürdürülebilirliğin havalimanlarında yerleştirilebilmesi adına bir dizi uygulama öne çıkarılmaktadır. Bunlar; enerji verimliliği, su ve atık su yönetimi, atık yönetimi ve karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik çevresel projelerin yanı sıra, teknolojik, dijital uygulamalar ve ulaşım erişilebilirlik uygulamaları, yerel topluluklarla iş birliği, eğitim ve sosyal farkındalık kampanyaları gibi uygulamalardır. Bu uygulamalar sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin havacılık sektörüne entegrasyonunda kilit bir rol oynamaktadır. Bu kapsamda bu uygulama başlıkları ile ilgili güncel uygulama örnekleri bu başlık altında ele alınmaktadır.

1.3.1. Enerji Verimliliği Uygulamaları

Enerji yönetimi, havaalanlarının enerji tüketimini belirleyip izleyerek, bu tüketimi azaltmak için gerekli önlemleri almasını sağlayan bir süreçtir. Havaalanlarında sunulan hizmetler ve yürütülen operasyonlar nedeniyle enerji tüketimi oldukça yüksektir. Ortega Alba ve Manana'nın 2017'deki çalışmasına göre, havaalanlarındaki enerji tüketiminin büyük bir kısmı terminal binasında gerçekleşmektedir. En fazla enerji gerektiren uygulamalar ise ısıtma, havalandırma ve aydınlatmadır. Bunları, yer hizmetlerinde kullanılan araçlar, güvenlik sistemleri ve hava trafik kontrol kuleleri için harcanan enerji izlemektedir.

Havalimanlarında enerji kaynağı olarak elektrik ve fosil yakıtlar kullanılır. Diğer bir enerji alternatifi ise yenilenebilir enerji olarak karşımıza çıkar (Akyüz vd., 2018) Yüksek miktarda enerji harcaması ve yeterli alanın bulunması havalimanlarında yenilenebilir enerji üretimi yapılmasını mantıklı kılar. Havalimanlarında yenilenebilir enerji kullanımı, artan enerji talebini karşılamak, maliyetleri düşürmek ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamak açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu enerji kaynakları, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak enerji güvenliğini artırmakta ve uluslararası regülasyonlara uyum sağlama gerekliliğini karşılamaktadır. Dolayısıyla, havalimanları için yenilenebilir enerji projeleri hem ekonomik hem de çevresel açıdan stratejik bir tercih olarak öne çıkmaktadır (ICAO, 2017).

Havalimanlarında yenilenebilir enerji üretimi, güneş enerjisi panelleri ve rüzgâr türbinleri gibi çeşitli teknolojilerle gerçekleştirilmektedir. Geniş alanlara sahip olmaları sayesinde, havalimanları güneş enerjisi sistemleri için uygun bir ortam sunarken, rüzgâr enerjisi de çevresindeki rüzgâr koşullarından faydalanarak elektrik üretimi sağlar. Ayrıca, jeotermal ve hidroelektrik enerji gibi diğer yenilenebilir kaynaklar da çevresel sürdürülebilirlik kriterlerine uygun şekilde havalimanlarının enerji ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılabilir (Yıldız vd., 2020). Havalimanlarında yenilenebilir enerji yönteminin belirlenmesi, coğrafi konum, enerji ihtiyacı ve mevcut altyapı gibi faktörlere dayanmaktadır. Bu unsurlar, enerji verimliliği ve maliyet etkinliği açısından en uygun yenilenebilir enerji kaynaklarının seçilmesine yön vermektedir (Radomska vd., 2018).

Güneydoğu Asya Uluslar Birliği (ASEAN) bölgesinde faaliyet gösteren bazı havalimanlarının, geleneksel enerji kaynaklarının kullanımını azaltmak amacıyla güneş enerjisi panelleri, jeotermal sistemler ve yüksek verimli LED aydınlatma gibi teknolojilere yöneldiği vurgulanmaktadır. Bu sayede hem karbon ayak izinde azalma hem de işletme maliyetlerinde düşüş sağlandığı ifade edilmektedir (Sreenath vd., 2021).

Dünya genelinde yenilenebilir enerji kullanan havalimanları arasında, Hindistan'daki Cochin Uluslararası Havalimanı, 12 MWp kapasiteye sahip fotovoltaik sistemleriyle tamamen güneş enerjisiyle çalışarak bu alanda öncü bir örnek oluşturmaktadır. Ekvador'daki Galapagos Havalimanı ise tüm tesislerini yalnızca yenilenebilir enerji ile işletmekte ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunmaktadır (Yıldız vd., 2020). Türkiye'de ise İzmir Adnan Menderes Havalimanı, 5.200 m² alanda kurulu fotovoltaik panelleriyle yılda 450 MW elektrik üretmekte olup, Avrupa'nın en çevreci havalimanları arasında yer almaktadır. Antalya Havalimanı, 250 kWp kapasiteye sahip güneş enerjisi sistemleriyle enerji maliyetlerini düşürmekte ve çevresel etkilerini azaltmaktadır. Erzincan Havalimanı ise 2.09 MWp kapasiteye sahip fotovoltaik sistemleriyle enerji talebini karşılamada önemli bir kaynak sağlamaktadır. 2023 yılı itibarıyla Sivas Nuri Demirağ Havalimanı, 995 kWe gücünde tasarlanmış olup, yıllık 2 milyon kWh elektrik üretmeyi hedeflemektedir (DHMİ, 2023).

Bu havalimanları, yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımı ile enerji verimliliğini artırma ve çevresel etkileri azaltma çabalarını yansıtmaktadır.

1.3.2. Katı Atık Uygulamaları

Havalimanları sürdürülebilirliğine katkı sağlayan çalışmalardan bir tanesi de sürdürülebilir atık yönetimi uygulamalarıdır (Cheremisinoff, 2003). Havaalanlarında, atık piller, bitkisel yağlar, elektronik cihazlar ve floresan lambalar gibi çevre ve halk sağlığına zararlı atıklar, özel ekipmanlarla toplanarak geçici depolama alanlarında muhafaza edilmektedir (Dündar ve Toy, 2021: s.273). Bu süreç, hem çevresel kirliliği önlemek hem de ekonomik fayda sağlamak amacıyla gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemle atıkların azalması, geri dönüşümle tekrar kullanılabilmesi hatta enerjiye çevrilerek ekonomiye ve çevreye katkı sağlanması amaçlanır.

San Francisco Uluslararası Havalimanı (SFO), atık yönetiminde "Zero Waste" (Sıfır Atık) hedefi doğrultusunda önemli uygulamalar gerçekleştirmiştir. Havalimanında organik atıkların kompostlanması, geri dönüştürülebilir malzemelerin ayrıştırılması ve yeniden kullanım stratejileri benimsenmiştir. Bu kapsamda, 2021 yılında atıkların %80'i geri dönüştürülmüştür. Ayrıca, terminalde plastik şişe satışının yasaklanması gibi yenilikçi politikalarla tek kullanımlık plastiklerin kullanımı azaltılmıştır (San Francisco International Airport, 2021).

Changi Havalimanı, atık azaltma stratejileri ve sürdürülebilirlik odaklı projeleriyle dikkat çekmektedir. Terminalde yer alan restoranlarda kullanılan akıllı ölçüm cihazları, yiyecek atıklarının izlenmesi ve azaltılması için veri sağlamaktadır. Ayrıca, geri dönüştürülemeyen atıkların enerjiye dönüştürülmesi amacıyla atık yakma tesislerinden yararlanılmaktadır (Tan & Wong, 2020).

Amsterdam Schiphol Havalimanı, döngüsel ekonomi prensiplerini benimseyerek atık yönetiminde yenilikçi çözümler geliştirmiştir. Terminal binalarında inşaat ve yıkım süreçlerinden kaynaklanan atıkların %90'ı geri dönüştürülmekte ve bu malzemeler yeni projelerde

kullanılmaktadır. Bu sayede döngüsel bir işletme modeli uygulanmaktadır (Schiphol Group, 2022).

Tokyo Narita Havalimanı, atık yönetiminde çevre dostu çözümleriyle öne çıkmaktadır. Terminalde kağıt ve plastik atıkların ayrıştırılarak geri dönüştürülmesi ve yiyecek atıklarının biyogaza dönüştürülmesi gibi yöntemler uygulanmaktadır. Yolcuların geri dönüşüm süreçlerine katılımını artırmak amacıyla farkındalık kampanyaları da düzenlenmektedir (Narita International Airport Corporation, 2021). Heathrow Havalimanı, atıkların düzenli depolama alanlarına gitmesini önlemek amacıyla kapsamlı bir ayrıştırma sistemi kullanmaktadır. Terminaldeki geri dönüşüm noktaları, yolcuların kağıt, plastik ve cam gibi malzemeleri ayırmasını sağlamaktadır. Ayrıca, yiyecek atıklarının biyogaza dönüştürülmesi yoluyla enerji üretimi yapılmaktadır (Heathrow Airport, 2020).

ASEAN havalimanlarında organik atıklarından enerji üretme, biyogaz veya kompost elde etme gibi döngüsel ekonomi prensiplerini benimsediği görülmektedir. Böylece hem çevresel etki azaltılmakta hem de ekonomik değer yaratılmaktadır (Sreenath vd., 2021).

İstanbul Havalimanı, sürdürülebilir atık yönetimi politikaları çerçevesinde, atıkların kaynağında ayrıştırılması ve türlerine göre ayrı toplanması gibi uygulamalarla geri dönüşüm oranlarını artırmayı hedeflemiştir; organik atıkların kompostlanması ve biyogaz üretimi gibi enerji geri kazanım yöntemlerini devreye sokarak çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmuştur. Ayrıca, personel ve yolculara yönelik eğitim programları ile atık yönetimi bilincini artırmayı amaçlamış ve bu çabaları sonucunda sıfır atık belgesi olarak, atık yönetimi alanında önemli bir başarı elde etmiştir. Bu stratejilerin uygulanması, havalimanının atık miktarını azaltmasına ve geri dönüşüm oranlarını yükseltmesine olanak tanımıştır (Kalyoncu, 2023).

1.3.3. Su ve Atık Su Yönetimi Uygulamaları

Havalimanlarının, büyük ölçekli endüstriler gibi su ihtiyacı oldukça fazladır. Havalimanlarındaki bu su sarfiyatları genel olarak yolcu, personel temel ihtiyaçlarının giderilmesi (içme, el yıkama, hijyen uygulamaları vs.), araç-aksam temizliği, havalimanı peyzaj yeşil alanların bakım faaliyetleri, yemek pişirme, içecek satış noktaları ve havayolu ikramcılarının faaliyetlerinde kullanılmaktadır. Havalimanlarında inşaat faaliyetleri ve yolcu trafiği arttıkça su tüketiminin de giderek artması beklenmektedir (Sreenath vd., 2021).

Atık su yönetimi de havaalanı işletmeleri için önemli sorumluluklardandır. Havaalanındaki atık suların birincil kaynağı, uçak bakımı ve yer hizmetleri, uçakların stantta yıkanması ve havaalanı bakımı ile ilişkili su deşarjlarından kaynaklanmaktadır. Havaalanlarındaki su kalitesi yakıt sızıntıları, petrol sızıntıları, katı atık bertarafı ve buz çözme operasyonları sırasında düşebilmektedir (Liao vd., 2021). Havaalanları, pist alanlarındaki karı temizlemek için glikol bazlı sıvılar gibi buz çözücü kimyasallar kullanır (AVINOR, 2018). Koenig ve Ryerson (2011) havalimanlarındaki su kalitesi riskini azaltmak adına buz çözme operasyonları için kızılötesi buz çözme sistemlerini önermektedir. Havalimanlarındaki pist genişletme gibi inşaat ve yıkım çalışmaları da su kaynaklarının kirlenmesine neden olabilir. Havaalanından deşarj edilen tüm su, hidrokarbonların, ağır metallerin ve tortu maddelerinin izlerini giderecek şekilde itinayla arıtılmalıdır. Buz çözümede kimyasal kullanılan havalimanlarında toplanan yağmur sularının da arıtılması gerekmektedir.

Thomas ve Hooper (2013)'a göre bir havaalanının sürdürülebilir su yönetimi ilkesi, hiyerarşik bir yaklaşımı içerir; çevresel ve ekonomik olarak en etkili olanı, suyu kaynağında en aza indirmektir. Bu doğrultuda yazarların önerileri;

- farkındalığı artırma ve “kapatma” programlarını teşvik etme;
- otomatik kapatma ve toplama sistemleri takma;
- örneğin, yakıt dökülmeleriyle başa çıkmak için su ve deterjan yerine kum kullanma gibi basit düşük su işletme uygulamalarının tanıtılması;
- susuz önlük süpürgeleri gibi düşük su tüketimli ekipmanların kullanılması.

Havalimanlarında su koruma stratejileri geliştirebilmek için öncelikle su tüketim profillerinin doğru bir biçimde anlaşılması gerekmektedir. Araştırma, terminal binalarındaki tuvalet, lavabo ve mutfak alanları, bakım tesisleri, pist temizliği, yeşil alan sulaması, itfaiye hizmetleri ve uçak temizliği gibi farklı su kullanım noktalarının detaylı biçimde izlenmesini önermektedir. Bu izleme sürecinde akıllı sayaçlar, otomasyon sistemleri ve dijital veri tabanları kullanılarak su tüketim alışkanlıklarının belirlenmesi, tasarruf fırsatlarının tespitini kolaylaştırmaktadır. Gri suyun (lavabo, duş, mutfak gibi kaynaklardan gelen nispeten daha az kirlenmiş atık su) arıtılarak yeniden kullanımının, havalimanlarında su tasarrufunun sağlanması için temel yöntemlerden biridir. Buna ek olarak, yağmur suyu hasadı sistemleriyle çatılardan, apronlardan ve diğer beton yüzeylerden toplanan suların depolanıp arıtılarak yeşil alan sulama, pist temizliği veya tuvalet rezervuarlarında kullanım gibi amaçlara yönelik değerlendirilebileceği vurgulanmaktadır. Havalimanlarındaki sanitasyon donanımlarının (lavabo bataryaları, pisuarlar, klozet rezervuarları gibi) su tasarruflu modellere dönüştürülmesi de önem arz etmektedir. Otomatik algılayıcılar, hareket sensörleri, basınç kontrollü püskürtme sistemleri ve düşük debili armatürler sayesinde su tüketiminde önemli oranda azaltım sağlanabilmektedir. Teknolojik çözümlerin yanı sıra, personel, yolcular ve tedarikçiler başta olmak üzere tüm paydaşların bilinçlendirilmesi de sürdürülebilir su yönetimi için kritik bir rol oynamaktadır. Uzun vadeli su yönetim planları, hedef belirleme, performans ölçümü, raporlama ve sürekli iyileştirme döngüleriyle desteklenmeli; böylece havalimanları küresel ölçekte giderek önem kazanan su yönetimi hedefine yapıcı katkılarda bulunmalıdır (de Castro Carvalho vd., 2013).

2018-2019 yıllarında 66,3 milyon yolcuya hizmet veren Changi Havalimanı yaklaşık 3,23 milyon m³ tüketmiştir (Changi Airport Company, 2020). Malezya havalimanı şirketi MAHB, uygulamaya koyduğu su ve atık su yönetimi sayesinde yolcu trafiğinde %5,6'lık bir artışa rağmen 2019'da su tüketim yoğunluğunu (litre/yolcu) %17,8 oranında azaltmıştır (Malaysia Airports Holdings Berhad, 2018). Hong Kong Uluslararası Havaalanının üçlü su temini (TWS) sisteminin uygulanmasıyla içme suyu talebini %52 oranında azalttığı bildirilmiştir. Bir TWS sisteminde, tatlı su, deniz suyu ve geri kazanılmış gri su olmak üzere üç tür su temini vardır (Leung vd., 2012). Bazı havaalanları, kamu su tesislerine ve yeraltı suyu kaynaklarına olan bağımlılığı azaltmak için bir yağmur suyu hasadı sistemi uygulamıştır. Hong Kong Uluslararası Havalimanı, su tüketimini azaltmak, yeniden kullanımı teşvik etmek ve deşarj edilen atık suları çevresel açıdan zararsız hale getirmek için kapsamlı bir su yönetimi politikası uygulamaktadır (Baxter, 2022). Kansai Uluslararası Havalimanı da benzer uygulamaları benimserken, Havalimanının su stratejileri; yağmur suyu toplama, gri su arıtma, peyzaj alanlarının sulanması için geri dönüştürülmüş su kullanımı ve terminal içi su tüketiminin optimize edilmesi gibi çözümleri içermektedir (Baxter, Srisaeng & Wild, 2018).

Tropik iklimin etkisiyle yoğun yağış alan ASEAN ülkelerinin havalimanlarında yağmur suyu toplama, gri su geri kazanımı ve arıtma sistemlerinin uygulanmasıyla su tüketimi minimize edilmektedir. Bu uygulamaların terminal binalarındaki tuvalet sistemlerinden pist temizliğine kadar geniş bir yelpazede kullanıldığı ve su israfının önüne geçildiği belirtilmektedir (Sreenath vd., 2021). Bu sayede havalimanları, içme suyu kaynaklarını korumakla kalmayıp uzun vadede su giderlerini de azaltmaktadır. Kurak bölgelerdeki havalimanlarında su ve atık su yönetimine örnek verilebilecek havalimanlarından Avustralya Mildura Havalimanıdır. Bu havalimanının ortaya koyduğu en önemli stratejilerden biri, yağmur suyunun toplanması, depolanması ve bakım gerektiren alanlarda (örneğin pist ve çevre yeşil alanların sulanması) yeniden kullanılmasıdır. Mildura Havalimanı'nda, yağmur suyu toplama sistemleri, terminal çatılarında ve yakındaki altyapıda suyun biriktirilmesine imkan tanımaktadır. Bu yaklaşım, bölgedeki sınırlı su kaynaklarının üzerindeki baskıyı azaltırken aynı zamanda su kullanım maliyetlerinde düşüş sağlamaktadır. Çevresel etkileri azaltmak amacıyla havalimanında kurulan veya önerilen gri su arıtma tesisleri, arıtılmış suyun bahçe sulama, pist temizliği ve hatta belli teknolojik donanımlarda tekrar dolaşıma sokulmasını mümkün kılmaktadır. Bu yaklaşım çevresel kazanımların yanında önemli maliyet avantajları sağlayarak ekonomik katkılarda sunmaktadır. (Somerville vd., 2015).

Sreenath ve arkadaşları (2021), havalimanlarında su yönetimi uygulamalarını ele alırken su kaynaklarının verimli kullanımını, yağmur suyu hasadı, gri su geri dönüşümü, atık su arıtma ve yeniden kullanım gibi çeşitli bileşenleri içeren bütüncül bir yaklaşım olduğunu vurgulamaktadırlar. Ayrıca zamanında onarım ve sızıntı kontrolü mekanizmaları ile gereksiz sarfiyatların azaltılması da önerilmektedir. Havalimanı işletmelerinin temizlik, sulama ve çeşmelerde içilebilir olmayan su kaynaklarını tercih etmeleri önerilmektedir. Bu çerçevede, “su yönetimi” sadece kullanım verimliliğini değil, su kalitesinin korunmasını da içeren çok boyutlu bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Ammoury ve Salman (2024) dijital atık-su yönetimi çözümlerine dair önerilerinde su tüketiminde akıllı sensörlerin kullanımının yaygınlaştırılmasına dikkat çekmektedir.

Uluslararası Havalimanları Konseyi (ACI, 2020) tarafından önerilen sürdürülebilir altyapı rehberlerine göre yağmur suyu, terminal tuvaletlerinden pist yıkama operasyonlarına kadar pek çok alanda kullanılabilir, böylece yerel tatlı su kaynaklarına olan bağımlılığı azaltacak yenilikçi bir su yönetimi yöntemi olarak tanımlanmaktadır. Yağmur suyu asfaltlanmış havaalanı alanlarından oldukça hızlı bir şekilde boşalır ve yağmur giderleri tarafından beslenen su yollarında su baskınlarına neden olabilir. Sel suları bu nedenle tipik olarak tutma tanklarını besler (Kazda ve diğerleri, 2007).

Sürdürülebilir su yönetimi salt teknik çözümlerle sınırlandırılmaz. Havaalanı işletmecileri, yerel hükümet birimleri, su tedarikçileri ve hatta bölge halkının katılımının gerektiği belirtilmektedir. Böylece, farklı çıkar gruplarının beklentilerini karşılayacak, ekonomik açıdan uygulanabilir, çevresel açıdan duyarlı ve toplumsal kabul gören bütüncül bir su yönetim planı oluşturmanın önemi vurgulanır (Somerville vd., 2015).

1.3.4. Teknolojik Yeniliklerin Uygulanması

Günümüzde havacılık sektörü, hızla artan yolcu talepleri, yükselen güvenlik standartları, iklim değişikliğinden kaynaklanan riskler ve sürdürülebilirlik merkezli beklentiler ile yüzleşmektedir. Bu koşullarda, havalimanı işletmecileri operasyonel süreçleri daha etkin, esnek ve çevre dostu kılmak amacıyla dijital teknolojilere yönelmektedir (Halpern vd., 2021). Dijital havaalanı dönüşümü daha sorunsuz check-in'ler, bagaj işlemleri ve genel operasyon süreçlerinde ciddi iyileştirmeler sağlar. Bu hususta ortaya koyulan istatistikler bekleme sürelerinde %23'lük kayda değer bir azalma, genel güvenlik verimliliğinde %16'lık bir artış ve yolcu memnuniyetinde %8'lik önemli bir artış olduğunu yansıtmaktadır (Wavetec, 2024). Yolculara daha kısa kuyuklar, daha hızlı süreçler ve check-in'den uçuşa kadar sorunsuz bir yolculuk imkanı sunulmaktadır. Havalimanlarındaki dönüşümün sürükleyicisinin büyük oranda yolcu merkezli perspektife dayandığı kabul edilebilir.

Akıllı havalimanlarının en önemli özelliklerinden biri, çok sayıda sensör, kamera, hava koşulu istasyonu ve terminal içi izleme noktası tarafından üretilen verinin büyük veri analitiği kullanılarak işlenmesidir. Makine öğrenimi ve yapay zeka gibi öngörücü analiz teknikleri, bakım-onarım, operasyonel planlama ve hava trafiği yönetiminde kullanılarak verimlilik artırılmaktadır (Halpern et al., 2021).

Nesnelerin interneti (IoT) tabanlı cihazlar ve akıllı sensör ağları, havalimanı pistlerinden terminal holüne kadar tüm fiziksel altyapıyı dijital olarak izleyebilir. Bu cihazlar ayrıca uçak park pozisyonlarını, yakıt ikmal süreçlerini, yolcu hareketlerini ve su kaynaklarının kullanımını izleyebilir (ACI, 2017; Baxter, 2022). Paydaşlar (havayolları, yer hizmetleri, güvenlik birimleri ve tedarik zinciri aktörleri) bu verileri bulut tabanlı platformlarda saklayarak anlık olarak paylaşabilirler. Böylece operasyonel süreçler daha esnek hale gelir ve kaynak yönetimi daha verimli hale gelir (Mohammed & Latif, 2024).

Dijitalleşme sadece havalimanlarını dönüştürmekle kalmamakta, yolcu deneyimini de dönüştürmektedir. Kiosk tabanlı check-in, mobil uygulamalar, yüz tanıma ve biyometrik güvenlik geçişleri gibi teknolojiler, yolcu işlemlerini hızlandırarak bekleme sürelerini azaltmakta ve memnuniyeti artırmaktadır. Bagaj takip sistemleri, gerçek zamanlı uçuş bilgileri ve yönlendirme

hizmetleri, yolcuların terminal içindeki hareketlerini kolaylaştırırken bilgi akışını şeffaf ve erişilebilir kılmaktadır (Halpern et al., 2021).

Akıllı havalimanlarında kullanılan teknolojik yenilikler arasında; sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda enerji, su ve diğer doğal kaynakların kullanımını optimize eden uygulamalarda sayılmalıdır. Örneğin, su tüketimini azaltmak, yağmur suyu yönetimini iyileştirmek ve atık suları yeniden kullanmak için gelişmiş sensörler, otomasyon sistemleri ve veri analitiği çözümleri uygulanabilmektedir (Baxter, 2022; Baxter, Srisaeng & Wild, 2018). Bu teknolojiler, hem maliyetleri düşürmekte hem de havalimanının karbon ayak izini azaltarak çevresel sorumluluklarını yerine getirmesine yardımcı olmaktadır (Sulej-Suchomska vd., 2024).

Gürsel ve arkadaşları (2023) dijitalleşmenin akıllı havalimanları ve sürdürülebilirlik üzerine etkilerini ele aldıkları çalışmalarında; dijitalleşme ile IoT tabanlı ağ teknolojilerinin operasyonlarda yaygınlaşmasının kağıt israfının önüne geçtiğini ve çevresel atık ve kirleticilerin de azalmasına katkıda bulunduğunu savunmaktadırlar.

1.3.5. Ulaşım ve Erişilebilirlik Uygulamaları

Hızlı kentleşme, artan hava yolu trafiği ve iklim değişikliği baskıları havalimanlarını ulaşım ve erişilebilirlik anlamında dönüşüme zorlamaktadır. Özellikle sürdürülebilirlik, ulaşım bütünleşmesi ve erişilebilirlik boyutlarında ileri uygulamalar geliştirilmektedir (Budd & Ison, 2019). Sürdürülebilir akıllı havalimanları; enerji verimliliği, çevresel etkiyi azaltma, yenilenebilir kaynak kullanımı, dijitalleşme ve tüm yolcular için kapsayıcı erişim çözümlerini aynı potada eritmeyi amaçlamaktadır. Sürdürülebilir akıllı havalimanlarının temel unsurlarından biri, havalimanını kent merkezine, diğer ulaşım ağlarına (demiryolu, metro, otobüs, elektrikli taksi hatları) ve bölgesel ulaşım stratejilerine entegre etmektir. Örneğin, Avrupa'da birçok büyük havalimanı, düşük karbon salımı hedeflerini desteklemek için toplu taşımaya kolay erişim sunmakta ve elektrikli araç şarj istasyonları, bisiklet park alanları gibi altyapılarla karayolu ulaşımının çevresel etkilerini azaltmaktadır (ACI Europe, 2017). Bu sayede yolcular, özel otomobil kullanımını asgariye indirerek karbon ayak izlerini küçültebilir, ulaşım sürelerini kısaltabilir ve seyahatlerini daha ekonomik hale getirebilirler.

Ayrıca, akıllı ulaşım yönetimi için gerçek zamanlı veri paylaşımı, IoT tabanlı sensörler ve yapay zekâ destekli yönlendirme sistemleri gibi teknolojiler devreye alınmaktadır. Bu sistemler, hava durumundan yolların yoğunluğuna, toplu taşıma sefer sıklıklarından park yeri müsaitliğine kadar çeşitli bilgileri toplayarak yolcuların yolculuk planlamalarını kolaylaştırmaktadır (SITA, 2022). Böylece tüm ulaşım ağında etkin bir senkronizasyon sağlanmakta, rötör ve gereksiz beklemelemlerin önüne geçilmektedir.

Sürdürülebilir akıllı havalimanlarında bir diğer kritik boyut da erişilebilirliktir. Erişilebilirlik sadece fiziksel engellerin ortadan kaldırılmasıyla sınırlı değildir. Aynı zamanda bilgiye, hizmetlere ve güvenliğe eşit erişimi de kapsamaktadır (European Commission, 2019). Özellikle engelli yolcular, yaşlılar, çocuklar ve kısıtlı hareket kabiliyetine sahip bireyler için havalimanı içinde sorunsuz bir deneyim sunmak öncelik haline gelmiştir.

Bu çerçevede, mobil uygulamalar ve dijital platformlar aracılığıyla anlık bilgilendirme, işitsel ve görsel yönlendirme sistemleri, dokunsal haritalar, tekerlekli sandalye erişimine uygun asansör ve rampalar, özel yardım hizmetleri ve güvenli geçiş noktalarının yeniden tasarlanması gibi düzenlemeler gündemdedir. Örneğin, Avrupa Birliği'nin havacılık standartları, havalimanlarında dezavantajlı yolcuların deneyimini iyileştirmeye yönelik yenilikçi teknolojilerin kullanımını teşvik etmektedir (European Commission, 2019). Sonuç olarak, bu tür uygulamalar sadece yasal bir zorunluluk olarak değil, aynı zamanda marka itibarını artıran, müşteri memnuniyetini ve sadakatini güçlendiren rekabetçi bir avantaj olarak da değerlendirilmektedir.

Akıllı havalimanı ekosistemlerinde enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, sürdürülebilir ulaşım stratejilerini desteklemektedir. Güneş panelleri, jeotermal enerji, LED aydınlatma, bina otomasyon sistemleri ve yüksek verimli ısıtma-soğutma teknolojileri kullanılarak sadece terminal binaları değil, ulaşım araçlarının bekleme alanları ve garajlar da daha az enerji tüketir hale getirilmektedir (Chin & Hooper, 2018). Bu sayede,

havalimanının genel karbon ayak izi azaltılırken, yolcuların seyahatlerinde tercih ettikleri ulaşım modları da doğrudan ya da dolaylı olarak sürdürülebilir kılınmış olur.

1.3.6. Sosyal Sorumluluk ve Toplumsal Etki

Havalimanları, yalnızca ulaşım altyapısının kritik bileşenlerinden biri olmakla kalmaz, aynı zamanda çevresel, ekonomik ve toplumsal sürdürülebilirlik hedeflerine de katkıda bulunacak stratejiler geliştirmek zorundadır. Bu bağlamda sosyal sorumluluk ve toplumsal etki uygulamaları, sürdürülebilir kalkınmanın önemli bir parçası olarak öne çıkmaktadır.

Havalimanları, faaliyet gösterdikleri bölgelerde yerel toplulukların yaşam kalitesini artırmaya yönelik projeler geliştirmektedir. Örneğin, Heathrow Havalimanı (Birleşik Krallık), yerel halk için eğitim ve istihdam programları düzenleyerek ekonomik fırsatlar yaratmaktadır (Heathrow, 2023). Bu tür projeler, havalimanlarının çevresel etkilerini dengelemek ve toplumsal kabulünü artırmak adına önemlidir.

Gençlerin eğitime destek olmak, havalimanlarının sosyal sorumluluk stratejilerinde sıkça görülen bir yaklaşımdır. İstanbul Havalimanı (IGA), “Küçük Kanatlar” adlı programıyla çocuklara havacılık ve çevre bilinci aşılamak üzere atölyeler düzenlemektedir. Bu program, erken yaşta farkındalık kazandırmayı hedeflemektedir (IGA, 2023).

Sürdürülebilirlik projelerinin toplumla bütünleştirilmesi, çevresel farkındalığın artırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. San Francisco Uluslararası Havalimanı (SFO), plastik atıkların azaltılması için yerel işletmeler ve topluluklarla ortak kampanyalar düzenlemiştir (SFO Sustainability Report, 2023). Bu kampanyalar sayesinde, havalimanı kaynaklı çevresel etkilerin azaltılması hedeflenmiştir.

Havalimanları, kriz dönemlerinde önemli bir lojistik merkez olarak rol oynamaktadır. Örneğin, Atatürk Havalimanı, 2020 yılında gerçekleşen büyük bir depremin ardından bölgeye acil yardım malzemelerinin ulaştırılmasında kritik bir rol oynamış, bu süreçte çalışanlar ve gönüllüler aracılığıyla yerel topluluklara destek sağlamıştır (Kara, 2021).

Bazı havalimanları, kültürel ve sosyal etkinlikler düzenleyerek yerel kültürü desteklemekte ve tanıtmaktadır. Örneğin, Changi Havalimanı (Singapur), ulusal bayramlarda düzenlediği sergiler ve etkinliklerle yerel halkın havalimanıyla bütünleşmesini sağlamaktadır (Changi, 2022).

Bu uygulamalar, havalimanlarının sadece ekonomik fayda sağlayan kurumlar değil, aynı zamanda çevreye ve topluma katkı sunan aktörler olarak görülmesine yardımcı olmaktadır. Sürdürülebilirlik çerçevesinde sosyal sorumluluk projelerinin genişletilmesi, havacılık sektörünün toplumsal algısını güçlendirecek ve gelecekte daha geniş kitlelerin desteğini kazanmasını sağlayacaktır.

2. Türkiye Havalimanlarında Sürdürülebilirlik Uygulamaları

Türkiye’de sürdürülebilirliğe dair yürütülen projeler ve mevzuat düzenlemeleri aşağıda Tablo 1’de derlenmiştir;

Tablo 1. Türkiye’deki Havalimanlarının Sürdürülebilirliği İle İlgili Yürütülen Çalışmalar

Çalışma	Açıklama	Sonuç/İlerleme
ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi	Çevresel etkilerin yönetimi için iç tetkik faaliyetleri ve denetimler gerçekleştirilmiştir.	Belgelendirme başarıyla tamamlanmıştır.
Stratejik Gürültü Haritaları Projesi	Gürültü seviyelerinin belirlenmesi ve yönetilmesi amacıyla haritalar oluşturulmuştur.	Diyarbakır, İstanbul Atatürk, Mardin, Muğla, Trabzon haritaları tamamlanmıştır; diğerleri 2024’te tamamlanacaktır.
İklim Değişikliği Stratejileri Projesi	İklim değişikliğinin etkileri analiz edilerek azaltım ve uyum stratejileri geliştirilmiştir.	Etkilenebilirlik analizleri ve fayda-maliyet analizleri yapılmıştır.

Sıfır Atık Yönetmeliği	Sıfır atık belgelerinin devamlılığının sağlanması için çalışmalar sürdürülmektedir.	Atık yönetimi ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflenmektedir.
Erişilebilirlik Projesi	Hareket kabiliyeti kısıtlı yolcular için 40 havalimanının "Erişilebilirlik Belgesi" alması sağlanmıştır.	Sosyal sürdürülebilirlik açısından önemli bir gelişme.

Kaynak: DHMİ (2023) Faaliyet Raporundan Derlenmiştir.

Türkiye'de "Yeşil Havalimanı Projesi" kapsamında sertifika alan havalimanları, çevresel sürdürülebilirliği destekleyen uygulamalarıyla öne çıkmaktadır. Örneğin, İstanbul Atatürk Havalimanı, enerji yönetimi ve çevresel etkilerin azaltılması yönündeki uygulamaları ile sertifikayı alan ilk havalimanlarından biri olmuştur. Ankara Esenboğa Havalimanı, su ve atık yönetimi sistemleriyle dikkat çekerken, İzmir Adnan Menderes Havalimanı, yenilenebilir enerji kullanımını teşvik eden projeleriyle ön plana çıkmaktadır. Muğla Dalaman ve Milas-Bodrum Havalimanları ise turistik bölgelerde olmalarına rağmen, karbon emisyonlarının azaltılması ve enerji verimliliği konusundaki uygulamalarıyla örnek teşkil etmektedir. Bu havalimanlarının hepsi ulusal ve uluslararası sürdürülebilirlik standartlarına uyum sağlayarak çevreye duyarlı işletme politikalarını benimsemekte ve Yeşil Kuruluş unvanını taşımaktadır.

Enerji verimliliği uygulamalarında İstanbul Havalimanı öne çıkmaktadır. Ayrıca atık yönetimi konusunda başarılı çalışmalara imza atmıştır. 2023 yılında, atıkların %34,66'sı ekonomiye geri kazandırılmış olup bu oranın 2030 yılında %50'ye çıkarılması hedeflenmektedir. İstanbul Havalimanı, su yönetimi konusunda da önemli adımlar atmıştır. Kullandığı suyun %30'unu geri dönüştürülmüş sudan elde ederek yolcu başına su ayak izini önceki yıla göre %5 azaltmıştır (enerjigunlugu.net, 2024).

Antalya havaalanı atık yönetimi ile ilgili çalışmaları ile öne çıkmaktadır. Atık piller, bitkisel yağlar, elektronik cihazlar ve floresan lambalar gibi atıklar, çevre ve halk sağlığına zarar vermemeleri için havaalanlarında ayrı toplanıp uygun şekilde geri dönüştürülmektedir. Atık piller ve elektronik cihazlar, ağır metaller içerdiği için çevreye zararlı olup geri dönüştürüldüklerinde ekonomik fayda sağlamaktadır. Bitkisel yağlar, su sistemlerinde tıkanmalara ve kirliliğe yol açtığından ayrıştırılarak toplanmaktadır. Floresan lambalar ise özel saklama kaplarında muhafaza edilmektedir. Tehlikeli atıklar, uzman Atık Departmanı tarafından yönetilmekte, böylece çevresel riskler minimize edilmektedir (Yavuz, 2022: 54). Ayrıca 2013 yılının Aralık ayında Antalya Havaalanına kurulan güneş enerjisi santrali, 260W gücünde 962 adet fotovoltaik panel kullanılarak toplam 500 kWp güce sahiptir. Fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında, bu sistem havaalanındaki enerji maliyetlerini ve emisyonları düşürmektedir (Yılmaz ve Korkmaz, 2021: s.82).

İzmir Adnan Menderes Havaalanı, enerji verimliliği uygulamalarıyla karbon emisyonlarını minimum seviyeye indirerek kalan kısmını nötralize etmiş ve Avrupa'nın en çevreci 20 havaalanı arasında yer almıştır. Türkiye'de Enerji ve Çevre Dostu Tasarımında Liderlik (LEED) sertifikası alan ilk havaalanı olan iç hatlar terminali, dünya genelinde bu sertifikaya sahip yalnızca 10 havaalanından biridir. Yeni terminalde kurulan 5200 m²'lik fotovoltaik panellerle yılda 450 MW elektrik güneş enerjisinden üretilmektedir (Yılmaz ve Korkmaz, 2021: s.82).

Bu uygulamalar, Türkiye'deki havalimanlarının sürdürülebilirlik alanında attığı adımları göstermektedir. Enerji verimliliği, atık yönetimi ve su tasarrufu konularında gerçekleştirilen bu çalışmalar, havalimanlarının çevresel etkilerini azaltma ve topluma katkı sağlama çabalarının birer göstergesidir.

Sonuç ve Değerlendirme

Birleşmiş milletler 2030 hedefleri kapsamında dünya kaynaklarının verimli kullanımı ve sürdürülebilirlik vurgusunun en yoğun uygulandığı ve vurgulandığı sektörlerden havacılık

sektöründe öne çıkan uygulamalar bu çalışma kapsamında ele alınmaya çalışılmıştır. Atık ayrıştırma süreçlerinde robotik teknolojiler, su tüketiminde akıllı sensörler ve yapı malzemelerinin ömrünü uzatan dijital envanter sistemleri sayesinde havalimanları, kaynak kullanımını minimize ederek sürdürülebilirlik performanslarını yükseltebilmektedir (Ammoury & Salman, 2024). Bu yaklaşımlar, hem maliyetleri düşürmekte hem de doğal kaynakların korunmasına katkıda bulunmaktadır.

Doğal kaynakların etkin ve verimli kullanımı noktasında güneş enerjisi panellerinin yaygınlaştırılması ve su ve atık su yönetimi öne çıkmaktadır. de Castro Carvalho ve arkadaşları (2013), havalimanlarında su koruma uygulamalarının, teknoloji, yönetim, eğitim ve politika gibi farklı boyutların bir araya gelmesiyle etkin bir biçimde gerçekleştirilebileceğini ortaya koymaktadır. Gri su geri kazanımı, yağmur suyu hasadı, düşük debili armatürler, otomasyon sistemleri, paydaş farkındalığı ve düzenleyici çerçevelerin desteğiyle, havalimanları su tüketimini etkin bir şekilde azaltarak hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirlik hedeflerine daha yakın bir konuma gelebilir.

Sürdürülebilirlikle ilgili bir diğer önemli nokta, sürdürülebilirliğin sadece teknolojik çözümlerle sınırlı olmadığıdır. Sürdürülebilirliğin aynı zamanda yönetim, politika ve paydaş katılımıyla desteklenmesi gerekir. ASEAN ülkelerindeki havalimanlarında, kamu kurumları, işletmeciler, havayolu şirketleri, sivil toplum kuruluşları ve yerel halkın bir araya gelerek sürdürülebilir stratejilerin geliştirilmesine katkı sağladığı belirtilmektedir. Bu şekilde bütüncül bir yaklaşım benimsenmekte, çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan dengeli çözümler üretilebilmektedir (Sreenath vd., 2021).

Havalimanlarında dijitalleşme, 5G iletişim teknolojilerinin gelişimi, otonom araçların yaygınlaşması, yapay zekâ uygulamalarının çeşitlenmesi ve blockchain tabanlı veri güvenliği çözümlerinin benimsenmesiyle daha da hız kazanabilir. Bu gelişmeler, havaalanı ekosistemini daha esnek, verimli ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşturacak; hava taşımacılığının küresel ölçekte daha güvenli, çevre dostu ve yolcu odaklı bir nitelik kazanmasına katkı sağlayacaktır (Halpern et al., 2021).

Sürdürülebilir akıllı havalimanları, ulaşım ve erişilebilirlik uygulamaları ile kentli yaşam kalitesini yükselten ve aynı zamanda çevresel etkileri asgariye indiren çok boyutlu bir yaklaşım da sunmaktadır. Bu yaklaşım, toplu taşıma ile bütünleşik ulaşım ağlarının kurulması, engelli ve hareket kısıtlılığı olan yolcuların gereksinimlerine özel çözümlerin üretilmesi ve enerji verimliliği temelli akıllı teknolojilerin kullanımını bir arada harmanlamaktadır. Uluslararası sivil havacılık otoriteleri, kamu kurumları ve özel sektör paydaşları, bu dönüşümü destekleyen politika ve uygulamaları teşvik ederek havacılık sektörünün uzun vadeli sürdürülebilirliğini sağlamaktadır.

Havalimanlarında sürdürülebilirlik kapsamında yürütülen sosyal sorumluluk ve toplumsal etki uygulamaları, havalimanlarının ekonomik aktörler olmanın ötesinde çevreye, topluma ve yerel kalkınmaya yönelik önemli birer paydaş olarak konumlanmasını sağlamaktadır. Yerel topluluklara destek programları, eğitim ve gençlik projeleri, çevresel farkındalık kampanyaları, afet yönetimi süreçlerindeki katkılar ve kültürel etkinlikler gibi çeşitli uygulamalar, havalimanlarının sosyal değer üretimindeki rolünü güçlendirmektedir. Bu tür uygulamalar, toplumsal fayda sağlamanın yanı sıra havalimanlarının sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasını desteklemekte ve uzun vadede sektörel algıyı olumlu yönde şekillendirmektedir. Dolayısıyla, bu yaklaşımların yaygınlaştırılması, havacılık sektörünün daha kapsayıcı ve sorumlu bir yapıya dönüşmesine katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmanın sektörel katkısı; bu çalışma kapsamında ele alınan sürdürülebilir havalimanı uygulamaları örnekleri ile havalimanı yönetimlerinin sürdürülebilirliğe dair farkındalıklarına katkıda bulunması ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma noktasında bir takım ulusal ve uluslararası örnek uygulamalar ile yol gösterilmesidir. Bu çalışma, havalimanlarının çevresel etkilerini azaltma çabalarına katkıda bulunabilir.

Bu çalışmanın en önemli sınırlılığı ele alınan sürdürülebilirlik uygulamalarının sürdürülebilirlik anlamında gelişmekte olan havalimanlarında uygulanabilirliğine dair uygulama içermemesidir.

Bu konuda çalışma yapmak isteyen araştırmacılara bu uygulamaların uygulanabilirliğine dair saha araştırmaları geliştirmeleri ve uygulamaları önerilebilir.

Kaynakça

- ACI Europe (2004). The Social and Economic Impacts of Airports, InterVISTAS and Airports Council International Europe and York Aviation.
- ACI Europe, (2020). Accredited airports. Erişim Adresi: <https://www.airportcarbonaccreditation.org/participants/all.html#tabs-7>, Erişim Tarihi: 10.12.2024.
- ACI Europe. (2015). The economic impact of European airports. InterVISTAS.
- ACI Europe. (2017). Airport Carbon Accreditation Annual Report 2016-2017. ACI Europe.
- Airport Council International (ACI). (2017). Airport Digital Transformation: Best Practices and Case Studies. ACI World.
- Akyüz, M. K., Altuntaş, Ö., Söğüt, M. Z., Karakoç, T. H., & Kurama, S. (2018). Determination of optimum insulation thickness for building's walls with respect to different insulation materials: a case study of International Hasan Polatkan Airport terminal. *International Journal of Sustainable Aviation*, 4(2), 147-161.
- 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., & Gkantidou, S. (2023). Sustainable practices and green policies in airports: The case of airport of Thessaloniki Makedonia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1196/1/012052>
- AVINOR (2018). Annual and CSR Report.
- Barral, V. (2012). Sustainable development in international law: nature and operation of an evolutive legal norm. *European Journal of International Law*, 23(2), 377-400.
- Baxter, G. (2022). Sustainable Airport Water Management: The Case of Hong Kong International Airport. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 7, 5.
- Baxter, G., Srisaeng, P., & Wild, G. (2018). An assessment of sustainable airport water management: The case of Osaka's Kansai international airport. *Infrastructures*, 3(4), 54.
- Budd, L., & Ison, S. (2019). *Air Transport Management: An International Perspective*. Routledge.
- 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 Company (2020). CHAMP10NING SUSTAINABILITY.
- Changi Airport. (2022). Annual Sustainability Report.
- Chen, S., Wu, L., Ng, K. K., Liu, W., & Wang, K. (2024). How airports enhance the environmental sustainability of operations: A critical review from the perspective of Operations Research. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 183, 103440.
- Cheremisinoff, N.P., (2003). *Handbook of Solid Waste Management and Waste Minimization Technologies*. Elsevier Science, Burlington, USA, pp. 20-58.
- Culberson, S. D. (2011). Environmental impact of airports. *Airport Engineering: Planning, Design, and Development of 21st Century Airports*, 704-738.
- de Castro Carvalho, I., Calijuri, M. L., Assemany, P. P., e Silva, M. D. F. M., Neto, R. F. M., da Fonseca Santiago, A., & de Souza, M. H. B. (2013). Sustainable airport environments: A review of water conservation practices in airports. *Resources, Conservation and Recycling*, 74, 27-36.
- Demirci, S., Doğan, T. G., & Eroğlu, E. Havalimanlarında Sürdürülebilirlik: Singapur Changi Havalimanı. *Düzce Üniversitesi Süs ve Tıbbi Bitkiler Botanik Bahçesi Dergisi*, 2(1), 14-26.
- DHMİ (2023). DHMİ Faaliyet Raporu 2023. Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü.
- Douglas, I. & Lawson, N. (2003). Airport construction: materials use and geomorphic change. *Journal of Air Transport Management*, 9(3), 177-185.

- Edwards, B. (2004). *The modern airport terminal: New approaches to airport architecture* (2. bs.). London, UK & New York, ABD: Taylor & Francis.
- Enerjigunlugu.net (2024). “İstanbul Havalimanı enerji tüketimini yüzde 11 azalttı” Erişim adresi: <https://www.enerjigunlugu.net/istanbul-havalimani-enerji-tuketimini-yuzde-11-azaltilti-60942h.htm> Erişim Tarihi: 10.12.2024.
- European Commission. (2019). *Union of equality: Strategy for the rights of persons with disabilities 2021-2030*. European Commission.
- Gedik, Y. (2020). Sosyal, ekonomik ve çevresel boyutlarla sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma. *Uluslararası Ekonomi Siyaset İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi*, 3(3), 196-215.
- Greer, F., Rakas, J., & Horvath, A. (2020). Airports and environmental sustainability: a comprehensive review. *Environmental Research Letters*, 15(10), 103007.
- Gürsel, S., Demir, R. ve Rodoplu, H. (2023) The effect of digitalisation on sustainability and smart airport, *Int. J. Sustainable Aviation*, 9(1), 26–40.
- Halpern, N., Budd, T., Suau-Sanchez, P., Bråthen, S., & Mwesumo, D. (2021). Conceptualising airport digital maturity and dimensions of technological and organisational transformation. *Journal of Airport Management*, 15(2), 182-203.
- Heathrow. (2023). *Sustainability Strategy*.
- ICAO, A Focus on the Production of Renewable Energy at the Airport Site. Québec, Canada: International Civil Aviation Organization, 2017.
- IGA İstanbul Havalimanı. (2023). *Küçük Kanatlar Programı*.
- Kalyoncu, M. A. (2023). *Havaalanlarında sürdürülebilir atık yönetimi uygulamaları: İstanbul Havalimanı* (Master's thesis, Hasan Kalyoncu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Çevre Bilimleri ve Enerji Yönetimi Ana Bilim Dalı).
- Kara, F. (2021). Havalimanlarının Afet Yönetimindeki Rolü. *Havacılık ve Çevre Dergisi*.
- Karaman, A. S., Kilic, M., & Uyar, A. (2018). Sustainability reporting in the aviation industry: worldwide evidence. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, 9(4), 362-391.
- Kazda, T.; Caves, B.; Kamenický, M. (2007). Environmental control, in A. Kazda, R. E. Caves (Eds.). *Airport design and operation*. 2nd ed. Bingley, UK: Emerald Group Publishing, 457–500.
- Koenig, G.G., Ryerson, C.C. (2011). An investigation of infrared deicing through experimentation. *Cold Reg. Sci. Technol.* 65, 79–87.
- Leung, R.W.K., Li, D.C.H., Yu, W.K., Chui, H.K., Lee, T.O., Loosdrecht, M.C.M.V., Chen, G.H., (2012). Integration of seawater and grey water reuse to maximize alternative water resource for coastal areas: the case of the Hong Kong International Airport. *Water Sci. Technol.* 65, 410–417.
- Liao, Z., Chen, Z., Xu, A., Gao, Q., Song, K., Liu, J., Hu, H.Y., 2021. Wastewater treatment and reuse situations and influential factors in major Asian countries. *J. Environ. Manag.* 282, 1–8.
- Ma, D. (2024). *Research on Green and Sustainable Management Strategy for Airports: a Case Study of Zhengzhou Xinzheng Airport*.
- Malaysia Airports Holdings Berhad (2019). *Gaining Momentum-Sustainability Report*.
- Mohammed, M. H., & Latif, S. D. (2024). Forecasting daily rainfall in a humid subtropical area: an innovative machine learning approach. *Journal of Hydroinformatics*, jh2024016.
- Morrell, P., & Lu, C. H.-Y. (2000). Aircraft noise social cost and charge mechanisms – a case study of Amsterdam Airport Schiphol. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 5(4), 305–320.
- Ortega Alba S and Manana M 2017 *Characterization and analysis of energy demand patterns in airports* Energies
- Radomska, M., Chernyak, L., & Samsoniuk, O. (2018). The improvement of energy-saving performance at Ukrainian airports. *Advances in sustainable aviation*, 189-203.
- Rodoplu, H. & Gürsel, S. (2022). “Sustainability Practices in Airport”. In: Karakoc, T.H., Colpan, C.O., Dalkiran, A. (eds) *New Frontiers in Sustainable Aviation*. Sustainable Aviation. Springer, Cham.
- San Francisco International Airport. (2023). *Sustainability Report*.

- Sarbasov, Y., Venetis, C., Aiyymbetov, B., Abylkhani, B., Yagofarova, A., Tokmurzin, D., ... & Inglezakis, V. J. (2020). Municipal solid waste management and greenhouse gas emissions at international airports: a case study of Astana International Airport. *Journal of Air Transport Management*, 85, 101789.
- SITA. (2022). 2022 Air Transport IT Insights. SITA. Erişim adresi: <https://www.sita.aero/resources/surveys-reports/air-transport-it-insights-2022/> Erişim tarihi: 12.12.2024.
- Somerville, A., Baxter, G. S., Richardson, S., & Wild, G. (2015). Sustainable water management at major Australian regional airports: The case of Mildura Airport. *Aviation*, 19(2), 83-89.
- Sreenath, S., Sudhakar, K., & Yusop, A. F. (2021). Sustainability at airports: Technologies and best practices from ASEAN countries. *Journal of environmental management*, 299, 113639.
- Sulej-Suchomska, A. M., Szumińska, D., de la Guardia, M., Przybyłowski, P., & Polkowska, Ż. (2024). Airport Runoff Water: State-of-the-Art and Future Perspectives. *Sustainability*, 16(18), 8176.
- Thomas, C.; Hooper, P. (2013). Sustainable development and environmental capacity of airports, in N. J. Ashford, H. P. M. Stanton, C. A. Moore, et al. (Eds.). *Airport operations*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 553–578.
- Torum, O., & Yılmaz, A. K. (2009). Havaçılıkta Sürdürülebilirlik Yönetimi: Türkiye'deki Hava Limanları İçin Sürdürülebilirlik Uygulamaları Araştırması. *Journal of Aeronautics and Space Technologies*, 4(2), 47-58.
- Toy, A., & Dündar, A. O. Green Logistics Practices In Aviation Industry: A Research On Antalya Airport. *Honorary Chair*, 268.
- Wavetec (2024). Flight into the Future: Digital Transformation in Airports. Erişim adresi: <https://www.wavetec.com/blog/airports/digital-transformation-in-airports/#:~:text=Digital%20airport%20transformation%20ensures%20smoother,in%20passenger%20satisfaction%20by%208%25>. Erişim Tarihi: 14.12.2024.
- Yavuz, İ. (2022). Havaalanlarında Çevresel Sürdürülebilirlik Uygulamaları Kapsamında Karbon Emisyonu Azaltımının Değerlendirilmesi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Havaçılık Yönetimi ABD.
- Yıldız, Ö. F., Yılmaz, M., Çelik, A., & İmik, E. (2020). Havalimanlarında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması. *Journal of Aviation*, 4(1), 162-174.
- Yılmaz, D., & Korkmaz, F. (2021). Havalimanlarında Güneş Enerji Sistemlerinin Kullanılması İle İşletme Maliyetinin Azaltılması. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 4(2), 79-87.
- Zabihi, H., & Habib, F. (2012). Sustainability in building and construction: revising definitions and concepts. *International Journal of Emerging Sciences*, 2(4), 570.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sunmuşlardır.

Çatışma beyanı

Makalenin yazarı, bu çalışma ile ilgili taraf olabilecek herhangi bir kişi ya da finansal kuruluş ile ilişkisi bulunmadığını dolayısıyla herhangi bir çıkar çatışmasının olmadığını beyan eder.

Destek ve teşekkür

Çalışmada herhangi bir kurum ya da kuruluştan destek alınmamıştır.