



**Yazar/Author**  
Serap GÜRSEL\*

### Makale Adı/Article Name

Havaalanlarında Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımının Sürdürülebilirlik ile İlişkisi

*The Relationship Between the Use of Renewable Energy Sources and Sustainability in Airports*

### ÖZ

İklim değişikliğinin uluslararası bir sorun olarak gittikçe önem kazanmasıyla beraber Dünyada yenilenebilir enerji kullanımı hakkında araştırmalar artış göstermiştir. Uluslararası ve ulusal girişimlerle iklim değişikliğinin sıcaklık artışı etkisi sabit tutulmaya ve azaltılmaya çalışılmaktadır. Özellikle fosil yakıt kullanımının azaltılması yöntemlerinin geliştirildiği söz konusu çalışmalarda yenilenebilir enerji kaynaklarının artırılması ve yenilenebilir enerji kullanımının artırılması çabaları öne çıkmaktadır. Havacılık sektörü iklim değişikliğini azaltma çabalarında öne çıkan sektörlerden biridir. Hava taşımacılığının öne çıkan sektör olmasının sebeplerinden biri önemli bir karbon emisyon kaynağı olmasıdır. Hava taşımacılığında yer alan tüm paydaşlar karbon salınımında ve sera gazı üretiminde aynı kirletmeyi yaratmaz. Hava taşımacılığı sektöründe yer alan paydaşlardan havayolu işletmeleri ile havaalanları en büyük kirleticilerdir. Havaalanları bu noktada yenilenebilir enerji kullanımı ile kirletme potansiyeli azalacak yapılardır. Uluslararası havaalanlarının bu doğrultuda enerji kullanım miktarları, fosil yakıt kullanımları, doğrudan ve dolaylı emisyon üretim miktarları yıllardır incelenmekte ve azaltım için eylem planları geliştirilmektedir. Çevresel sürdürülebilirlik kavramı kit kaynakların gelecek nesillerin de kullanımına eşit şartlarda bırakılması, doğal tahribatın önlenmesi anlamına gelmektedir. Bu kapsamda yenilenebilir enerji kaynakları sürdürülebilirlik kavramı ile yakından ilişkilidir. Bu bilgiler ışığında bu çalışmanın amacı; havaalanlarında kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarını saptamak, havaalanlarının yenilenebilir enerji kullanımı ve enerji verimliliği politikalarını incelemek ve bu enerji kaynaklarının sürdürülebilirliğe etkilerini incelemektir.

**Anahtar Kelimeler:** Havaalanı Enerji Kaynakları, Yenilenebilir Enerji, Sürdürülebilirlik, Havaalanı Yönetimi

### ABSTRACT

As climate change becomes increasingly important as an international problem, research on renewable energy use in the world has increased. International and national initiatives are trying to keep the temperature increase effect of climate change constant and reduce it. In these studies, where methods for reducing fossil fuel use are developed, efforts to increase renewable energy sources and renewable energy use are prominent. The aviation sector is one of the prominent sectors in efforts to reduce climate change. One of the reasons why air transportation is a prominent sector is that it is a significant source of carbon emissions. Not all stakeholders in air transportation create the same pollution in carbon emissions and greenhouse gas production. Among the stakeholders in the air transportation sector, airline companies and airports are the biggest polluters. At this point, airports are structures whose pollution potential will decrease with the use of renewable energy. In this direction, the energy usage amounts, fossil fuel usage, direct and indirect emission production amounts of international airports have been examined for years and action plans are developed for reduction. The concept of environmental sustainability means that the next generations cannot have the opportunities of the previous generations in a clean way due to the decrease in scarce resources. In this context, renewable energy sources are closely related to the concept of sustainability. In light of this information, the purpose of this study is to determine the renewable energy sources that can be used in airports, to examine the renewable energy use and energy efficiency policies of airports, and to examine the effects of these energy sources on sustainability.

**Keywords:** Airport Energy Sources, Renewable Energy, Sustainability, Airport Management

## Extended Abstract

With the increasing importance of climate change as a global issue, research on renewable energy use has gained momentum. International and national efforts aim to mitigate the effects of climate change by reducing fossil fuel consumption and increasing the use of renewable energy sources. The aviation sector plays a crucial role in these efforts due to its significant carbon emissions. Airports, as major contributors to greenhouse gas emissions, have the potential to significantly reduce their environmental impact by integrating renewable energy sources into their operations. This study aims to explore the renewable energy sources available for airports, examine energy efficiency policies, and assess the impact of renewable energy on sustainability.

Airports are critical infrastructure facilities that require continuous and substantial energy consumption. Terminal buildings, runways, taxiways, and operational areas consume significant amounts of energy for heating, cooling, lighting, and communication systems. The increasing energy demand in airports necessitates the exploration of sustainable energy solutions. Renewable energy sources such as solar, wind, biomass, geothermal, and hydroelectric power offer significant benefits for airports in terms of reducing both operational costs and environmental impacts. Among these, solar energy is the most widely used due to its cost-effectiveness and feasibility. Several international airports have already adopted renewable energy technologies to meet their energy demands while reducing carbon emissions.

Numerous airports worldwide have successfully implemented renewable energy solutions:

- **Minneapolis-St. Paul International Airport** has installed 11,835 solar panels, generating approximately 20% of the airport's energy needs.
- **Denver International Airport** operates four solar farms with a total capacity of 10 MW, contributing significantly to its renewable energy goals.
- **Abu Dhabi International Airport** has developed a solar-powered parking facility with 7,542 solar panels, reducing CO<sub>2</sub> emissions by 5,300 tons annually.
- **Delhi International Airport** has expanded its solar energy capacity from 2.14 MW to 7.84 MW over the years, contributing to India's sustainable energy goals.
- **Cochin International Airport** became the world's first fully solar-powered airport, generating more energy than it consumes through a 12 MW solar farm.

These examples illustrate how airports worldwide are leveraging renewable energy to enhance sustainability while reducing dependence on fossil fuels.

Sustainability in aviation is closely linked to the adoption of renewable energy. As airports strive to reduce their carbon footprint, integrating renewable energy into their infrastructure becomes essential. The International Civil Aviation Organization (ICAO) has set global sustainability targets, urging airports to transition towards green energy sources. Carbon emissions from air transportation contribute approximately 2.4% of global CO<sub>2</sub> emissions, highlighting the sector's responsibility in combating climate change. Airports play a pivotal role in this transition as they account for a significant portion of aviation-related energy consumption. By utilizing renewable energy, airports can reduce their reliance on non-renewable resources and contribute to global carbon reduction targets.

Moreover, sustainability in airports extends beyond energy use. Efficient waste management, water conservation, and sustainable building designs also play a role in minimizing the environmental impact of airport operations. Renewable energy is a crucial part of this sustainability framework, ensuring that energy needs are met with minimal environmental harm. One of the key challenges in implementing renewable energy at airports is the variability of sources such as solar and wind. To address this, airports are investing in energy storage solutions and hybrid systems that combine multiple renewable energy sources. Battery storage systems help balance supply and demand, ensuring a stable and reliable energy supply.

Another consideration is the economic feasibility of renewable energy projects in airports. While initial investment costs may be high, long-term savings from reduced fossil fuel consumption and lower carbon taxes make these projects financially viable. Governments and international organizations are increasingly providing incentives and funding for renewable energy initiatives, further encouraging airports to make the transition. Sustainability efforts also involve collaboration among stakeholders, including airlines, airport authorities, and regulatory bodies. Policies promoting carbon neutrality, energy efficiency, and sustainable fuel alternatives are crucial for achieving long-term sustainability goals. Some airports are even exploring the integration of biofuels and hydrogen-powered infrastructure as part of their sustainability strategies.

By adopting renewable energy, airports not only reduce their carbon footprint but also contribute to global climate change mitigation efforts. As technology advances and costs decrease, renewable energy adoption in airports will become more widespread, reinforcing the aviation sector's commitment to sustainability. The integration of renewable energy in airports is crucial for achieving sustainability goals. Airports are high-energy-consuming facilities, and the adoption of renewable energy sources presents a viable solution to minimize environmental impacts while ensuring operational efficiency. Technological advancements continue to drive down the costs of renewable energy, making it a more attractive option for airport management. Solar energy remains the most widely used renewable energy source in airports due to its feasibility and scalability. However, the choice of renewable energy depends on factors such as geographical location, technological infrastructure, and national energy policies. As airports are long-term investments, prioritizing sustainability through renewable energy adoption is essential. Future airport development projects should incorporate renewable energy technologies to align with global climate goals and reduce the environmental footprint of the aviation industry.

## Giriş

Günümüzde kıt kaynakların hızla tükenmesiyle ilgili yaşanan problemler sürdürülebilirlik kavramını öne çıkarırken, fosil kaynakların hızla tüketilmesi sonucu oluşan kirlenme yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgiyi arttırmıştır. Yenilenebilir enerji iki bağlamda önemli avantaja sahiptir. İlk olarak yenilenebilir enerji kullanımıyla atmosferde biriken karbon emisyonu ve sera gazları azalır. İkinci olarak yenilenebilir enerjide enerjinin kaynağının tükenmesi ya da daha pahalıya mal olması fosil kaynaklara göre daha küçük bir olasılıktır.

Havaalanları kesintisiz çalışması önem arz eden kritik tesislerdir. Havaalanlarında yüksek enerji ihtiyacı bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji seçeneği bu nedenle de havaalanı işletmelerine cazip gelmektedir. Havaalanlarında; terminal binaları, pistler, apron ve taksiyollar ile beraber operasyonel paydaşların da (yer hizmeti sağlayıcılar, yakıt ikmal kuruluşları, ikram işletmeleri, hava trafik kontrol vb.) tesisleri bulunmaktadır. Havaalanlarının fiziki olarak geniş alanlara yayılmış olması güneş panelleri ve rüzgar türbinleri için havaalanı yerleşkelerini uygun hale getirmektedir. ICAO (International Civil Aviation Organization, Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu) tüm üye ülkelerin karbon emisyonu azaltımında aktif rol oynaması için standart ve tavsiye stratejileri oluşturmaktadır. Bu kapsamda enerji politikalarının değiştirilmesi önerisinde bulunmaktadır. Tercih olarak sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönlendirme yapılmaktadır (ICAO, 2016:5).

Havaalanlarının fiziki olarak geniş alanlara yayılmış olması güneş panelleri ve rüzgar türbinleri gibi yenilenebilir enerji kaynakları için havaalanları yerleşkelerini uygun hale getirmektedir. Dünyada kullanılabilen enerji kaynakları çeşitlidir. Temel olarak bu kaynaklar yenilenemeyen enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak ikiye ayrılmaktadır. Günümüzde enerji tüketiminin büyük çoğunluğunu yenilenemeyen enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımı iklim değişikliği ile ilgili sonuçlar doğurmaktadır. Sürdürülebilirlik kavramı ise yenilenebilir enerji kaynaklarıyla yakından ilişkili olarak incelenmektedir. Havaalanları enerjinin yüksek miktarlarda kullanıldığı tesislerdir. Bu nedenle havaalanlarında yenilenebilir enerji kullanımı sürdürülebilirlik açısından önemli bulunarak ulusal ve uluslararası kurumlar tarafından çeşitli şekillerde teşvik edilmekte ve desteklenmektedir.

Havaalanlarında yenilenebilir enerji kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalar genellikle sürdürülebilirlik politikaları, karbon emisyonunun azaltılması ve enerji verimliliği üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmada ise havaalanlarında kullanılacak farklı yenilenebilir enerji kaynakları incelenerek havaalanlarında kullanım örnekleri analiz edilmiştir. Karşılaştırmalı olarak hangi kaynakların enerji yönetimi ve çevresel sürdürülebilirlik açısından en uygun olabileceği gösterilmeye çalışılmıştır. Bu bağlamda çalışma literatüre yeni bir perspektif sağlamaktadır. Havaalanı işletmelerine yenilenebilir enerji kullanımı ile ilgili geliştirilebilecek stratejilerde yol gösterici örnekler sunarak sürdürülebilir hava taşımacılığına katkı sağlamaktadır. Geliştirilecek stratejiler fosil yakıt tüketimini azlatacağından havaalanlarının çevresel etkilerinin azaltılmasında da yarar sağlanabilmektedir.

Sürdürülebilirlik bağlamında bu çalışmada havaalanında gerekli enerji ihtiyacı değerlendirilerek bu ihtiyacı karşılamakta kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının getirilmesinin faydaları incelenmektedir. Söz konusu faydalar işletmelerin hangi yenilenebilir enerji çeşidini nasıl kullanma ihtimali olduğunu değerlendirmek için karşılaştırılmaktadır. Tüm yenilenebilir enerji türlerinden kısaca bahsedilerek Dünyada bu yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının iyi örnekleri rakamlarla açıklanmaktadır. Sonuç olarak havaalanlarının bu enerji kaynaklarından hangilerini kullanmaya daha uygun olduğu konusunda kılavuz bir doküman hazırlanmaya çalışılmıştır.

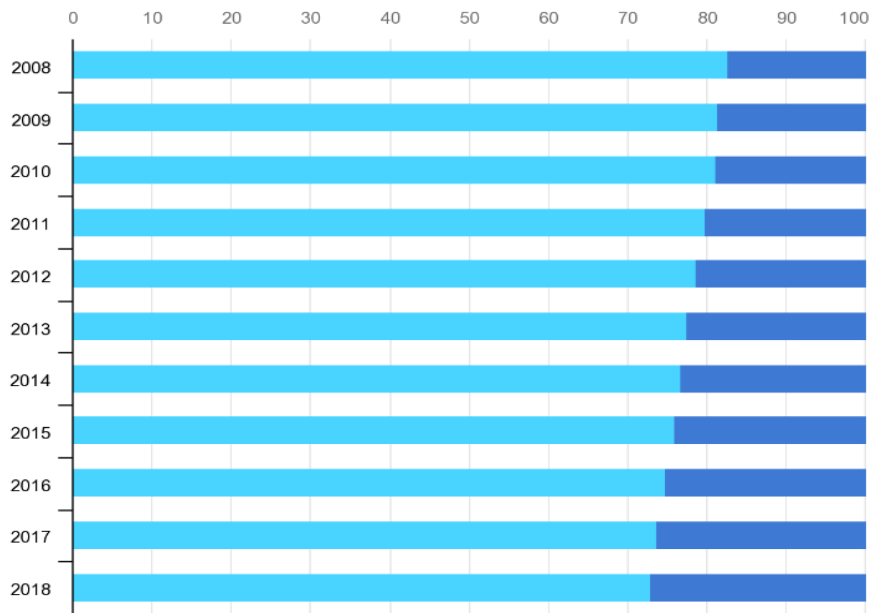
### 1. Havaalanı Enerji İhtiyaçları

Havaalanları, yüksek enerji tüketimiyle dikkat çeken kritik altyapı tesisleridir ve operasyonlarının sürdürülebilir hale getirilmesi küresel karbon ayak izinin azaltılmasında önemli bir rol oynayabilir. Bu bağlamda, güneş, rüzgâr, biyokütle ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının havaalanlarında kullanımı, hem çevresel hem de ekonomik avantajlar sunmaktadır. Havaalanlarının işletimi açısından da enerji kaynakları büyük önem arz etmektedir. Havaalanlarında enerji, ikinci büyük operasyonel maliyet kalemidir (Salamone, 2007, s.1).

Havaalanlarında terminal ve yolcu alanlarında (ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma vb. işlemler için), pist ve apronda (aydınlatma için), yer hizmetleri araçları ve ekipmanlarında (operasyon için ve günümüzde araçların çalışması için), hava trafik kontrol hizmetlerinde (radyo haberleşme sistemlerinin çalışması için), kargo ve depolama alanlarında (ısıtma, soğutma ve aydınlatma için) ve havaalanlarında hava ulaştırma sistemi içerisinde alt paydaş olarak yer alan şirketlerin (yakıt ikmal işletmeleri, ikram işletmeleri, araç kiralama işletmeleri vb.) ofisleri ve tesislerinde de çeşitli amaçlarla elektrik kullanılmaktadır (ICAO, Annex-14). Aynı zamanda elektrikli araç kullanımı operasyonların daha hızlı yapılmasını sağlamaktadır.

Yenilenebilir enerji kullanımı yıllardır artış göstermektedir. Ülkeden ülkeye yenilenebilir enerji kullanım miktarı değişse de yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji tüketimi içerisindeki payı 2000'li yıllarda artış göstermektedir. Tablo 1'de görüldüğü üzere 2008 yılında yenilenebilir enerji kullanımının toplam enerji tüketimi içerisindeki payı % 17 iken 2018 yılına gelindiğinde bu oran % 27 haline gelmiştir. Birleşmiş Milletlerin yaptığı araştırmalara göre 2050'deki 1.5 C° sınırlaması hedefine ulaşmak için Dünya'daki enerji kaynakları kullanımının % 70 ile % 85'inin yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmesi gerektiği hesaplanmıştır (Airport Cooperative Research Program Synthesis 110 (ACRP), 2020:1).

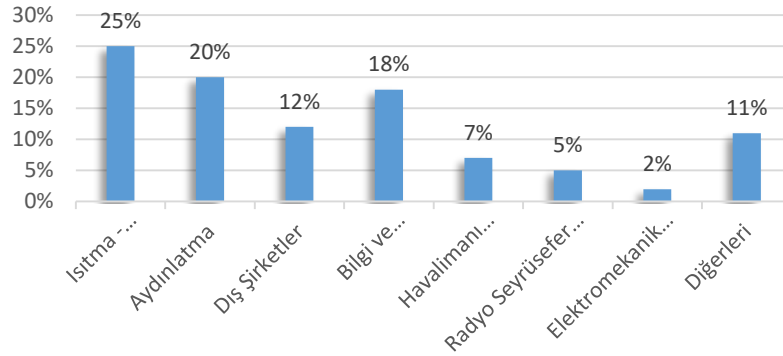
**Tablo 1.** 2008 – 2018 Yılları Arasındaki Yenilenebilir Enerji – Yenilenebilir Enerji Kullanım Oranları



**Kaynak:** [iea.org](http://iea.org), Erişim Tarihi 03.10.2022

Havaalanları hem yapım aşamasında hem de işletim süresi boyunca yoğun enerji tüketimi olan sabit yatırımlardır (Yerel Kandemir ve Yaylı, 2016:12). Havaalanları enerji tüketim miktarları açısından ise neredeyse küçük bir şehir kadar enerji tüketmektedir (Akyüz vd., 2017:4). Havaalanlarının son derece yüksek enerji kullanımına sahip alanlar olmasının nedeni, ısıtma ve iklimlendirme sistemleriyle donatılmış büyük binalar olması, aydınlatma ve elektrikli ekipman için yüksek güç talebi ve havaalanında bulunan birçok tesisin yüksek enerji gereksinimleridir. Meteorolojik sistemler ve aydınlatma gibi hava taşımacılığı operasyonlarına yardımcı olmak için gerekli olan elektrik enerjisinin sağlanmasına ek olarak, havaalanı binaları, uçak hangarları ve diğer havaalanı tesisleri için de elektrik enerjisinin sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle, ısıtma, havalandırma, iklimlendirme (HVAC, Heating, Ventilating, Air Conditioning, Cooling) ve aydınlatmayı içeren enerji yönetimi, havaalanları için son derece önemlidir (Baxter vd., 2018:2). Her havaalanı benzer kaynaklar için enerjiyi kullansa da her havaalanının enerji tüketimi aynı değildir. Havaalanlarının enerji tüketimini farklılaştıran hususlardan bazıları (Akyüz vd., 2017:4): Havaalanının çalışma saatleri, büyüklüğü, mimarisi, konumu, trafik yoğunluğu, mekanizasyon düzeyi, gelen/giden yolcu miktarı, havaalanının kullanabileceği enerji kaynakları, enerji yönetimi politikası, tesislerin yalıtım düzeyleri ve havaalanının bulunduğu ülkenin enerji politikalarıdır. Havaalanı terminal binalarında tüketilen enerjinin yaklaşık % 70'i ısıtma, soğutma ve iklimlendirme amaçlı kullanılmaktadır ve bu oran soğuk iklime sahip ülkelerde daha yüksektir. Bu nedenle bina kaplaması, özellikle ısıtma ve soğutma için kullanılan enerji miktarında büyük önem taşımaktadır (ICAO, 2016:5). Orta büyüklükte bir havaalanında enerji tüketim alanlarını gösteren tablo aşağıda yer almaktadır (Tablo 2).

**Tablo 2.** Orta Ölçekli Bir Örnek Havaalanındaki Tesislerin Enerji Tüketimi



**Kaynak:** Uysal ve Söğüt, 2017:1391

Havacılık sektörünün hızlı büyümesi ve seyahat eden yolcu sayısındaki sürekli artış enerji tüketiminde de artışa neden olmuştur. Enerji ile ilgili maliyetlerin ve çevresel etkilerin azaltılması, havaalanlarında enerji yönetimi ve farklı tipteki enerji kullanım ihtiyacını ortaya çıkartmaktadır (Akyüz vd., 2021:2).

## 2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir kaynaklar, tipik bir insan ömründen daha kısa bir sürede yenilenebilen kaynaklardır (ACRP Research Report 197, 2019:2). Yenilenebilir enerji, kullanıldığında tükenmeyen bir kaynaktan gelen enerji olarak da tanımlanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları elektrik üretmek, ısıtmak, soğutmak ve çeşitli ulaşım araçlarına yakıt sağlamak için kullanılmaktadır. Bir havaalanının işletilmesi için enerji şarttır ve yenilenebilir enerji, havaalanlarının enerji ihtiyaçları için mevcut olanakları artırmaktadır (ICAO, 2016:5).

Yenilenebilir enerji kaynakları teknolojileri genel olarak sekiz tane kabul edilmektedir. Bunlar (ACRP Report 151, 2016:7);

- Biyokütle teknolojileri
- Hidro teknolojiler
- Jeotermal Teknolojiler

- Güneş enerjisi teknolojileri
- Termal teknolojiler
- Rüzgar enerjisi teknolojisi
- Dalga gücü ve gelgit gücü teknolojileridir.

Söz konusu bu teknolojileri dünyada 2015 yılında kullanım oranları (özellikle büyük havaalanlarına sahip ülkeler seçilmiştir) aşağıda Tablo 3'te yer almaktadır. Toplam enerji kullanımlarının nüfusla doğru orantılı olduğu görülmektedir. Yenilenebilir enerji kullanımı ise ülkedeki enerji kaynakları ile doğru orantılıdır.

**Tablo 3.** En Kalabalık Havaalanlarını İçerisinde Barındıran Ülkelerin Yenilenebilir ve Toplam Enerji Kullanımları

Ülkeler (2015)	Toplam Enerji Kullanımları (TJ)	Toplam Yenilenebilir Enerji Kullanımları (TJ)	Oranları (%)
ABD	58.483.061	5.097.931	9
Almanya	8.327.614	1.183.042	14
BAE	2.093.160	2.869	0
Çin	73.183.146	9.084.482	12
Fransa	5.632.162	760.300	13
Güney Kore	5.312.174	143.837	3
Hindistan	22.241.457	8.011.645	36
Hollanda	1.823.259	107.380	6
İngiltere	4.926.228	429.157	9
Japonya	10.559.777	664.986	6
Kanada	7.205.757	1.587.094	22

**Kaynak:** Worldbank İstatistikleri, www.worldbank.org, Erişim Tarihi: 15.04.2022

Tablo 4'te ise üstteki tabloda yer alan ülkelerin yenilenebilir enerji tüketimlerinin yenilenebilir enerji teknolojilerine dağılımı verilmiştir. Tablodan ülkelerin yenilenebilir enerjiden faydalanmada kendi şartları ve kaynaklarıyla bağlı olduğu görülmektedir. Ülkelerinde bulunabilen kaynaklara yoğunlaşarak enerji üretme yoluna gidildiği görülmektedir. Güney Kore haricinde örnek ülkelerin yenilenebilir enerji teknolojilerinden hidroelektrik, rüzgar ve güneş enerjisine yöneldikleri görülmektedir.

**Tablo 4.** En Kalabalık Havaalanlarını İçerisinde Barındıran Ülkelerin Yenilenebilir Enerjilerinin Dağılım Oranları

Ülkeler (2015)	Hidroelektrik (%)	Rüzgâr (%)	Güneş (%)	Diğerleri (Jeotermal, Biyokütle, Atık, Dalga ve Gelgit) (%)
ABD	43,83	34,26	7,01	14,89
Almanya	10,05	42,71	20,51	26,73
BAE	0	0,47	97,64	1,89
Çin	79,97	13,32	2,83	3,88
Fransa	59,29	23,02	7,89	9,61
Güney Kore	11,02	6,9	20,44	61,63
Hindistan	67,18	16,05	3,31	13,01
Hollanda	0,68	55,13	8,19	36
İngiltere	7,55	48,31	9,04	35,1
Japonya	55,69	3,39	22,43	18,5
Kanada	90,56	6,39	0,69	2,37

**Kaynak:** Renewable Energy Charts, 2022

Biyokütle teknolojisi, fotosentez işlemi sırasında bitkiler tarafından başlangıçta toplanan karbondioksitin yakalandığı ve dönüştürüldüğü, depolanmış bir güneş enerjisi kaynağıdır. Biyokütle; ürün artıkları, orman ve ahşap işlem artıkları, insan kanalizasyonu, enerji üretme amaçlı yetiştirilen enerji bitkileri, kısa sürede yenilenebilir ormanları ve hayvansal atıkları içermektedir (Yerel Kandemir ve Yaylı, 2016:12). Biyokütle, nispeten kısa ve sürdürülebilir bir

zaman diliminde üretilebilen ve tüketilebilen doğal süreçlerden geldiği için yenilenebilir enerji olarak kabul edilmektedir. Biyokütle, ya biyoenerjinin hammaddesi olarak havaalanı arazisinde enerji bitkileri yetiştirerek veya yanma yoluyla enerji üretmek için atıkları ve işlem artıklarını yakarak iki şekilde kullanılabilir. Biyokütle teknolojisi yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynağı olmasına rağmen emisyonuz bir enerji kaynağı değildir. Fakat yaşam döngüsü boyunca eşit miktarda karbon saldığı ve yakaladığı kabul edilmektedir. Bundan dolayı karbon nötr olarak sınıflandırılmaktadır (ACRP Report 141, 2015:17).

Rüzgâr, en hızlı büyüyen enerji kaynaklarından biridir ve geleneksel enerji kaynaklarına göre önemli bir alternatif olarak kabul edilmektedir. Rüzgâr enerjisi yenilenebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağı olarak bilinmektedir. Rüzgâr enerjisini diğer enerji türlerine dönüştüren teknoloji, diğer dönüşümlere göre daha ekonomiktir. Ulaşım sorunu yoktur ve kullanmak için yüksek bir teknoloji gerektirmemektedir (Yerel Kandemir ve Yaylı, 2016:12). Bununla birlikte, rüzgâr enerjisi elde etmek için kullanılan türbinlerin artan boyutları, havaalanlarına ve uçuş yollarına yakın yerlere yerleştirildiğinde havacılık için uçuş emniyeti açığı oluşturabilmektedir. Dolayısıyla hava taşımacılığı mania kısıtlaması düzenlemeleri ile birlikte hem fiziksel bir mania olması hem radar sinyali bozma ihtimali nedeniyle hem de yapay türbülans yaratma ihtimallerinden dolayı, rüzgâr türbinlerinin havaalanı arazisi üzerinde veya yakınında inşa edilmesi bazı durumlarda sınırlandırılmıştır (Rowlings ve Walker, 2008:17) Yeterli miktarda rüzgârı yakalamak için yüksek yapılar inşa etme ihtiyacı göz önüne alındığında, rüzgâr enerjisi havaalanlarında kullanım için elverişli olmayabilir, çünkü havaalanı ile bağlantılı hava sahasında muhtemel bir uçuş emniyeti açığı oluşturabilmektedir.

Güneşin enerjisi, elektrik ve ısı biçimlerine dönüştürülebilir bir enerji çeşididir. Bu enerji türü, yıl boyunca çoğu yerde ücretsiz, temiz, bol miktarda bulunur. Özellikle fosil yakıt maliyetlerinin yüksek olduğu ve bu fosil yakıtların kullanımıyla atmosferin bozulduğu için havaalanları açısından önemli bir enerji kaynağı olmaktadır (Yerel Kandemir ve Yaylı, 2016:14). Güneş enerjisi 2 şekilde kullanılabilir. PV (Fotovoltaik) teknolojisi ışığı elektriğe dönüştürür. Güneşin ısısı, buhar aracılığı ile elektrik üretmek ve doğrudan ısıtma sağlamak için su ve diğer sıvılar yoğunlaştırılabilir. PV uygulamalarının çoğu, evlere ve işyerlerine yerinde elektrik üretmek için oluşturulmuştur (ACRP Report 141, 2015:9). PV sistemleri dünya çapında 100'den fazla havaalanında kurulmuştur ve üzerine kurulabilecekleri geniş yatay yüzeyler nedeniyle mevcut birçok havaalanı tasarımı için çok uygundur. Terminal binalarına monte edilebilirler veya kullanılmayan arazilere yerleştirilebilirler (ICAO, 2016:5). Bununla birlikte, bazı durumlarda, PV sistemleri güneş parlaması açısından zorluklar ortaya çıkarabilir ve havaalanı, belirli konumları ve önerilen proje için operasyonel emniyet etkilerini dikkate almalıdır (Young, 2019:1). Bütün bunların beraberinde güneş ve rüzgâr enerjisi, pahalı olan bir pil depolama sistemi dahil edilmediği sürece, yalnızca güneş parlarken veya rüzgâr estiğinde kullanılabilir durumdadır (ICAO, 2017:23).

Jeotermal enerji teknolojisi, derin yeraltı yapılarında yüksek sıcaklıkta bulunan sıvıyı veya ısıyı kullanmaktadır veya yer yüzeyinin üstünde ve altında mevcut olan ısı farkından yararlanarak enerji üretmektedir. Jeotermal elektrik üretimi normalde derin kuyulardan yüksek sıcaklıktaki ısının çıkarılmasıyla enerji üretebilmektedir. Bu teknolojiyi havaalanlarında yerinde yapmak, sıcak su rezervuarları veya sıcak kayalar gibi havaalanının altında bulunan belirli jeolojik yapılarla bağlı olduğundan tüm havaalanları için kullanımı geçerli olan bir enerji kaynağı değildir. Aynı zamanda jeotermal elektrik santralleri ekonomik olması için elektrik üretmek üzere büyük ölçekte inşa edilmelidir (Rowlings ve Walter, 2016:21).

Hidroelektrik teknolojisi, hareket eden suyun kinetik enerjisinin yakalanması olan hidroelektrik, dünyadaki en büyük yenilenebilir enerji kaynağıdır. Dört ana türe sahiptir. Bunlar: depolanmış (barajlar), nehir akışı, gelgit ve dalga teknolojisidir (Rowlings ve Walter, 2016:8). IRENA, 2016 istatistiklerinde hidroelektriğin 2014 itibarıyla dünyanın toplam yenilenebilir enerji üretiminin yaklaşık yüzde 74'ünü oluşturduğunu bildirmiştir. Bununla birlikte, güneş ve rüzgâr gibi diğer kaynaklardan üretilen elektrik miktarı son yıllarda önemli ölçüde artarken, hidroelektrik üretimi nispeten sabit kalmıştır (ICAO, 2017:25). Geleneksel hidroelektrik enerji kaynakları, nehirlere

baraj yapılması ve tutulan suyun barajın üzerinden geçirilmesiyle üretilmektedir. Barajlarla ilgili önemli çevresel sonuçlar nedeniyle, yeni uygulamalar hem nehir hem de okyanus ortamlarında serbest akan sulardan enerji elde etmeye odaklanmıştır (ACRP 141, 2015:21) Aynı zamanda karbonsuz olduğu düşünülen hidroelektrik kaynakları son araştırmalar ışığında, baraj barajlarının arkasındaki rezervuarların karbon taşıyan bir sera gazı olan metan saldıgını gösteriyor (ICAO, 2017:23).

### 3. Havaalanında Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanım Örnekleri

Özellikle son yıllarda havaalanı otoriteleri veya karar verici merciler tarafından havaalanlarında yenilenebilir enerji kullanma ihtiyacı ve istekleri giderek artmıştır. Bu kısımda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik 2 tür havaalanı modeli vardır. Bunlardan ilki, kurulu bir tesis ile üretilen yenilenebilir enerji kaynağı kullanan havaalanlarıdır. İkincisi ise enerji şirketleri aracılığı ile sadece yenilenebilir enerji satın alıp kullanan havaalanları olarak 2'ye ayrılmaktadır. Bu çalışmada özellikle birinci model üzerinden ilerlenecek ve bu doğrultuda örneklere yer verilmektedir.

Minneapolis Havaalanında; 2015 yılında 11.835 adet güneş paneli kurulumu çalışmaları yapılmıştır. Otopark yapılarının çatısına yerleştirilen paneller, 3MW kapasiteye ulaşmış ve terminal sahası için ihtiyaç duyulan enerjinin yaklaşık % 20'sini sağlamıştır. 30 yılda 14 milyon dolar tasarruf sağlaması tahmin edilmektedir. Proje, 12.500'den fazla aydınlatma armatürünün LED'e dönüştürülmesini ve toplamda 28'e ulaşan dört adet elektrikli araç şarj noktasının eklenmesini içermektedir (www.airport.nridigital.com, Erişim Tarihi: 22.08.2022).

Denver Uluslararası Havaalanının; 55 dönüm üzerinde toplam 10 MW'lık güce sahip dört projesi bulunmaktadır ve üretim kapasitesi 16,1 Milyon kWh'tir. Güneş enerjisi tesislerinin her biri, havaalanı içerisinde arazi kiralayan özel, üçüncü bir şirkete aittir ve işletilmektedir (ICAO, 2017:12).

Neuhardenberg Havaalanı güneş enerjisi santrali, Almanya'daki en büyük fotovoltaik enerji projesidir ve şu anda dünyanın en büyük güneş enerjisi santrallerinden biridir. 145MW kurulu güce sahip tesis yaklaşık 19,69 milyon kWh/yıl yenilenebilir elektrik üretmektedir. Yılda yaklaşık 12.700 ton karbondioksit emisyonunu dengelemesi beklenmektedir (PT, 2013).



Şekil 1. Neuhardenberg Havaalanı

**Kaynak:** www.power-technology.com, Erişim Tarihi: 13.08.2022

Abu Dhabi Havaalanı, yenilenebilir enerji şirketi Masdar ile birlikte Abu Dabi Uluslararası Havaalanında (AUH) güneş enerjisiyle çalışan bir otopark geliştirmesini gerçekleştirmiştir. Yaklaşık 7.542 güneş paneli ile bu 3 megavatlık (MW) güneş fotovoltaik (PV) projesi bölgedeki



en büyük güneş enerjili otoparktır. Bu güneş enerjisi projesinin yılda yaklaşık 5.300 ton CO<sub>2</sub> tasarrufu sağlaması beklenmektedir. Şebekeye bağlı proje, otopark alanına güç sağlamak için enerji sağlarken, fazla enerji havaalanının diğer alanlarına yönlendirilecek şekilde tasarlanmıştır (www.airport-technology.com, Erişim Tarihi: 15.08.2022).



**Şekil 2.** Abu Dhabi Havaalanı Otoparkı

**Kaynak:** www.airport-technology.com, Erişim Tarihi: 15.08.2022

Dubai Havaalanı ve Etihad Energy Services Company (Etihad ESCO), bir güneş enerjisi santralini başarılı bir şekilde kurmuşlardır. Bu tesis Dubai Uluslararası Terminal 2'de 15.000 fotovoltaik panelden oluşan enerji sistemini içerisinde barındırmaktadır. 5MWp kapasiteli güneş enerjisi projesi, Dubai Havaalanları için yıllık 7.483.500 kWh enerji üretecek ve 3,3 milyon AED değerinde tasarruf sağlaması ön görülmüştür. Proje, mevcut Terminal 2 enerji yükünü yaklaşık % 29 oranında azaltırken, aynı zamanda yıllık CO<sub>2</sub> emisyonlarını 3,243 metrik ton azaltması tahmin edilmektedir (www.aviationbenefits.org, Erişim Tarihi: 10.08.2022).

Beijing Daxing Uluslararası Havaalanı, 5,61 MW'lık bir güneş PV sistemi ile donatılmıştır. Şebekeye bağlı dağıtılmış PV sistemi, kargo alanına, doğu pistine ve iş jeti alanına kurulmuştur. Her yıl 966 ton CO<sub>2</sub> ve 14,5 ton SO<sub>2</sub> ayak izini dengelerken, 1.900 ton standart kömür tasarrufuna eşit olan yıllık 6,1 GWh yenilenebilir enerji elektrik şebekesine beslenecektir (www.pveurope.eu, 2019, Erişim Tarihi: 10.08.2022).

Paris Charles de Gaulle Havaalanı'nın yenilenebilir enerji konusunda kilit girişimlerden biri, havaalanının ısıtma ihtiyacının yaklaşık dörtte birini fosil yakıt CO<sub>2</sub> emisyonu bırakmadan karşılayan iki odun yakıtlı kazana sahip bir biyokütle tesisinin kurulmasıdır. 2012 yılında kurulan kazanlar her gün 80 ton talaş yakmaktadır. Odun, havaalanını çevreleyen ormanlardan elde edilmektedir. Bunun yanı sıra havaalanı güneş enerjisini de kullanmaktadır. 2013 yılında 792 güneş panelli bir güneş enerjisi çiftliği kurulmuştur. Aéroports de Paris'e göre çiftlik ortalama olarak yılda 157 megavat saat enerji üretebilmektedir (Frangoul, 2015).

Anlaşmaya göre Groupe ADP, üç havaalanında (Paris Charles de Gaulle, Orly, Paris Le Bourget) kullanılmak üzere 21 yıl süreyle üç yeni fotovoltaik güneş enerjisi parkının elektrik üretimini satın almıştır. GazelEnergie, ilk üç yıl boyunca yenilenebilir watt-saatlerin Groupe ADP'nin tüketimine entegrasyonunu sağlamaktadır. Üç güneş enerjisi çiftliği 2021'de hizmete girmiştir ve Groupe ADP'yi Fransa'da kendi ihtiyaçları için özel olarak inşa edilmiş güneş parklarından elektrik sağlayan ilk Fransız şirketi haline getirmiştir. Yılda 47 gigawatt saat üreten güneş çiftlikleri, üç Paris havaalanını işletmek için gerekli elektriğin yüzde 10'unu sağlamaktadır (www.internationalairportreview.com, Erişim Tarihi: 13.05.2020).

Incheon Havaalanı bina çatılarının ve kullanılmayan arazilerin üzerine, birlikte 5.8 MW üreten 13 adet güneş enerjisi jeneratörü kurmuştur. Güneş enerjisi üretim sistemine paralel olarak 402kW kapasiteli güneş enerjisi üretim ekipmanları kurmuşlardır. Ayrıca, Terminal 2'de, birleşik

kapasitesi 8.1 MW olan yedi adet jeotermal üretim tesisinin kurulumu ile havaalanının kullanması için her yıl 5.752MWh güç elde etmektedir (Chie, 2021).

Koçi Havaalanı dünyada tamamen güneş enerjisiyle çalışan ilk uluslararası havaalanı olmuştur. Ağustos 2015'te Koçi Havaalanı, altı aylık bir süre içinde 6,27 milyon £ maliyetle kurulan 46.000'den fazla panel sayesinde yalnızca güneş enerjisiyle çalışmaya geçmiştir. 12 MW'lık santral, havaalanının ihtiyaç duyduğundan daha fazla enerji sağlayarak, devletin elektrik şebekesini de desteklemektedir. 45 dönümlük tampon arazi üzerine kurulu olan tesis, tamamlanmasından sonraki 25 yıl içinde de 300.000 metrik ton CO2 tasarrufu sağlayacağı öngörülmüştür. Aynı zamanda 2021 yılının Kasım aylarında bir hidroelektrik santrali açılmış ve planlamalara göre 4.5 MW'lık enerji kapasitesine sahip olacaktır (www.timesofindia.indiatimes.com, Erişim Tarihi: 21.05.2022).



Şekil 3. Koçi Havaalanı

**Kaynak:** www.timesofindia.indiatimes.com, Erişim Tarihi: 21.05.2022

Delhi Havaalanı, havaalanının hava tarafında yapılan enerji santralini Ocak 2014'te 2,14 MW'lık ilk kurulu gücüyle devreye almıştır. Daha sonrasında yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma vizyonuna uygun olarak, güneş enerjisi santralinin kapasitesi iki yılda 2,14 MW'dan 7,84 MW'a artırılmıştır (www.economictimes.indiatimes.com, Erişim Tarihi: 07.10.2022).

Geçmişten beri yenilenebilir enerji kaynakları satın alımları ve tesis üretimleri ile havaalanı enerji kaynağını karşılayan Schipol Havaalanı, 2022 yılında tesis üretim kapasitesini arttırmıştır. 2021 yılında güneş panellerinden toplam 600.000 kWh güneş enerjisi üretilmiştir. Kapasite artırım ile birlikte, 2022 yılında 1.900.000 kWh civarında enerji üretim tahmini yapılmaktadır (www.schipol.nl, Erişim Tarihi: 21.10.2022).

Manchester Airport Group (MAG), bünyesinde bulunan her havaalanı için karbon nötrlüğü hedefini belirlemiş ve ilk olarak East Midlands Havaalanında hedefine ulaşmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının büyük bir çoğunluğu tesis dışındaki jeneratörlerden yenilenebilir enerji satın alınarak gerçekleştirilmektedir. Satın alımlar haricinde havaalanı, kendi mülkünde iki büyük rüzgar türbinine sahiptir. Bu rüzgar türbinleri 2012 yılında kurulmuştur ve yerden 45 metre yüksekliktedir. Rüzgar türbinlerinin her biri 250 kW'lık bir enerji üretme kapasitesine sahiptir ve havaalanı terminal ihtiyaçlarının yaklaşık % 6'sını karşılamaya yetecek elektrik üretmektedir (ICAO, 2017:31).

Heathrow Havaalanı yeni terminal projesinin gerçekleştirilmesinin bir parçası olarak, kendi kendine yeterli ve CO2 azaltılmış enerji üretimini de tasarımda dikkate almıştır. Bu nedenle Heathrow Havaalanı, 11,5 MW ile katı biyokütle ile çalışan bir termal yağ tesisi teknolojisini uygulamaya başlamıştır. Üretilen enerji, 1,8 MW güç üretmek için bir ORC ünitesine (Organic Rankine Cycle) güç sağlamak için kullanılmaktadır. Elektrik enerjisi üretim sürecinden sonra kalan 7,8 MW'lık ısı, Terminal 5 ve yeni Terminal 2 için kullanılmaktadır (www.vas.co.at, Erişim Tarihi: 12.09.2022).

Japonya, Osaka'daki Kansai Uluslararası Havaalanı, 2014 yılında 11,6 MW güneş pili kurulumunu gerçekleştirmiştir. Proje, biri havaalanının B pistinin yanında, diğeri kargo deposunda olmak üzere iki ayrı güneş pilleri ince film modüllerini kullanmaktadır. Sistem yılda yaklaşık 12 milyon kWh elektrik üretmektedir. Eylül 2015'te 50 kWh pil bankasıyla birleştirilmiş iki Zephyr9000 rüzgar türbini kurmuştur. Zephyr9000, 5m/s ortalama yıllık rüzgar hızında yıllık 8.809 kWh çıkışa sahip 5.5m çapında bir rüzgar türbinidir. Havaalanında kullanılan güneş ve rüzgar enerjisi toplamda 12 MW'lık bir enerji üretme kapasite sahiptir (ICAO, 2017:45).

Tokyo Haneda Havaalanında, Mitsubishi Electric Corporation ve Japan Airport Terminal Co Ltd'ye ortaklığında yeni 7.946 adet fotovoltaik (PV) panel kurulumu yapılmıştır. Sistem kurulumunun yılda 1.157 MWh temiz güç üretmesi beklenmektedir ve karbondioksit emisyonlarını 362 ton azaltmanın yanı sıra iki terminalin ve otoparkın güç kaynağı gereksinimlerinin bir kısmını karşılayacaktır (www.haneda-airport.com, Erişim Tarihi: 09.09.2022).

Arjantinli Ecogal S.A. şirketi tarafından işletilen Galapagos Seymour Havaalanı, dünyada yalnızca rüzgar ve güneş enerjisiyle çalışan tek havaalanıdır. Galapagos takımadalarının 18'inden biri olan Baltra Adası'nda bulunan havaalanı, enerji ihtiyacının % 35'ini güneş PV panellerinden ve % 65'ini ise rüzgar türbini jeneratörlerinden üretmektedir (ICAO, 2017:49).

Oslo Havaalanının elektrik üretim kapasitesini 5 ve 6 MW güce sahip iki biyoyakıt kazanı oluşturmakta olup, santral toplam enerji üretiminin % 65-70'ini karşılamaktadır. Bu kazanların her biri 1 MW'lık baca gazı yoğunlaştırıcuya bağlı ve her ikisi de tesis girişinde kurulu olup, soğuk dönüş suyunun ilk sıcaklık artışını sağlamaktadır. Ayrıca merkezde her biri 8 MW kapasiteli uç akaryakıt kazanı ve 1,2 MW kapasiteli üç elektrikli kazan bulunmaktadır. Havaalanı toplamda 40,6 MW enerji üretim kapasitesine sahiptir (Wetsby, 2020:13).

#### 4. Yenilenebilir Enerji Sürdürülebilirlik İlişkisi

Yenilenebilir enerji kavramının önemi gittikçe artmaktadır. İklim değişikliği ile ilgili sorunlar artmaya devam ettikçe de önemini artıracak bir konudur. Dünyada iklimle alakalı araştırma yapan ve/veya kanun koyucu otoriteler 2050 yılına kadar sıcaklık artışını 1.5 C° ile sınırlandırma gerekliliğini dikkate alarak ortaya çeşitli hedefler koymuşlardır. Ülkelerin de buna yönelik çeşitli projeler ortaya koyduğu ve özellikle gelişmiş ülkelerde yenilenebilir enerji kullanımının bu nedenle teşvik edildiği görülmektedir.

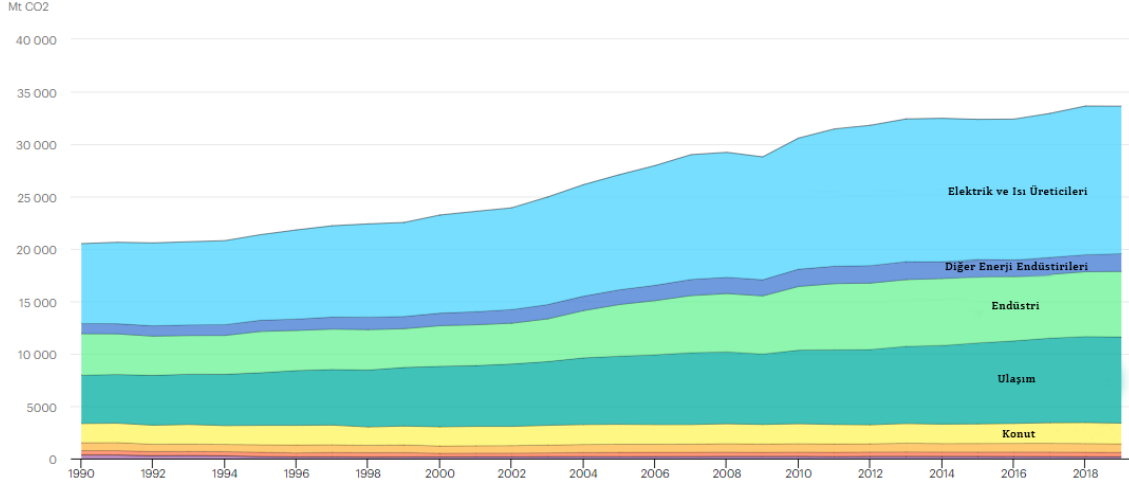
İklim değişikliği ile ilgili en son uluslararası toplantı 2015 Paris Anlaşmasının imzalanmasını sağlamıştır. Bu anlaşmaya göre ülkeler karbon emisyonlarını azaltılmaya ve dolaylı yoldan dünyadaki sıcaklık artışını kontrol altına almak için küresel adımlar atmaya gönüllü olmuşlardır. Anlaşmanın ana hedefleri arasında; küresel ortalama sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelerin 2 °C üzerinde tutmak ve sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelerin 1,5 °C üzerinde sınırlamak için çaba sarf etmek ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine uyum sağlama yeteneğini artırmak ve gıda üretimini tehdit etmeyecek şekilde iklim direncini ve düşük sera gazı emisyonu gelişimini teşvik etmek yer almaktadır (United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), 2016:4).

Dünyada küreselleşme ve gelişen teknoloji ile birlikte enerjinin değeri her geçen gün artmıştır. Fosil bazlı enerji kaynaklarının hem tükenmesi hem de çevreye verdiği zarar ülkeleri alternatif enerji kaynaklarına yönelmiştir. İklim değişikliği farkındalığı ve doğal afetler nedeniyle uluslararası olarak küresel ısınma ile mücadele başlatılmıştır. Bunun sonucunda tüm işletmelerin enerji yönetimine ve sürdürülebilirliğe verdiği önem artmıştır. Enerji tüketiminin yüksekliğiyle havaalanları, alternatif enerji kaynakları kullanma eğiliminin artış gösterdiği yerlerdendir. Yenilenebilir enerji kullanımının iki önemli faydası bulunmaktadır. Birinci fayda maliyet açısından ve ikinci fayda ise çevreseldir (Zhao vd., 2014, s.545).

Bu bağlamda havalimanlarında yenilenebilir enerji kullanımı, artan enerji ihtiyacını karşılarken çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamakta; fosil yakıt bağımlılığını azaltarak enerji güvenliği, maliyet optimizasyonu ve uluslararası çevre politikalarına uyumu desteklemektedir (Çayalan ve Rodoplu, 2025: s.5).

Küresel taşımacılık sektörü emisyonları, enerji verimliliği iyileştirmeleri, elektrifikasyon ve biyoyakıt kullanımı etkileriyle beraber 2019'da % 0,5'ten daha az artmıştır. Sektörel açıdan ulaşım sektörü, doğrudan CO2 emisyonlarının % 24'ünden sorumludur. Karayolu taşıtları ulaşımdaki CO2 emisyonlarının yaklaşık dörtte üçünden sorumludur ve havacılık ve denizcilikten kaynaklanan emisyonlar artmaya devam etmektedir (IEA, 2022). Yani aslında taşımacılık en fazla emisyon üreten sektör olmamakla beraber önemli bir emisyon üreticisi olarak iklim değişikliğinden sorumlu kabul edilmekte ve bu doğrultuda önlemler alınmaktadır.

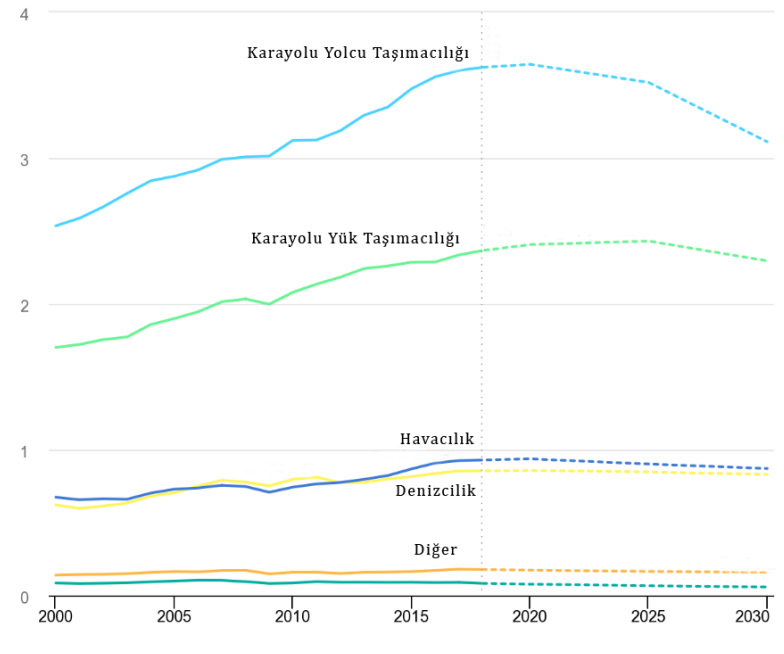
**Tablo 5.** Yıllara Göre Sektör Çeşitlerinin Emisyon Üretimi



**Kaynak:** IEA, 2022i

ICAO'nun 2018 yılında açıkladığı rapora göre, tüm havacılık faaliyetlerinin saldıği toplam emisyon miktarı 918 MMT civarlarındadır. Bu salınan emisyon miktarı küresel olarak fosil yakıt kullanımından yayılan tahmini 37,9 GT CO2'nin % 2,4'üne eşittir. İlk bakışta düşük olarak görünen bu yüzdeler, geçmişte yapılan emisyon üretim tahminlerinden % 70 daha fazladır. (ICCT, 2019:2) Hava taşımacılığı, tüm ulaşım kaynaklarından kaynaklanan CO2 emisyonlarının % 12'sinden, karayolu taşımacılığı ise % 74'ünden sorumludur (ATAG, 2020).

**Tablo 6.** Ulaşım Sektörünün Geçmişte Üretilen ve Gelecekte Düşmesi İstenen Emisyon Miktarları



**Kaynak:** www.iea.org, Erişim Tarihi: 11.09.2022

Günümüzde hava taşımacılığı pazarları ve ülkeleri en hızlı birbirine bağlayan taşımacılık türüdür. Her yönüyle uluslararası ticareti kolaylaştıran özellikleri nedeniyle dünyanın en hızlı büyüyen küresel endüstrilerinden biridir. Hava taşımacılığı sektörünün gelişmesi ve refahın artmasına paralel olarak hava taşımacılığına olan talep artmaktadır. Gelecekte, şehirlerin ve ülkelerin küresel ekonomik işleyişten mümkün olan en büyük faydayı elde etme yetenekleri, büyük ölçüde havacılık endüstrisindeki konumlarına göre belirlenecektir (Grubestic ve Matisziw: 2012:36).

Önemli ekonomik ve sosyal faydalarının büyüklüğüne rağmen havacılık sektörü son yıllarda çevresel ve sosyal maliyetler nedeniyle sürdürülebilirlik açısından incelenmeye başlamıştır. Hava taşımacılığının olumsuz çevresel etkileri iklim değişikliği çabaları içerisinde yer alanlar önlemlere konu olmuştur (Schäfer ve Waitz, 2014:13). Havayolu yolcu trafiğinde artışla birlikte daha yüksek yakıt tüketimi ve daha yüksek sera gazı emisyon seviyeleri oluşmaktadır. Sürdürülebilirlik politikalarının ortaya çıkmasına neden olan küresel çevre olayları, havacılığın sürdürülebilirliği üzerinde de yüksek etkiye sahip olmaktadır. Diğer bir deyişle, iklim değişikliği havacılık sektörünü olumsuz etkilerken, havacılık sektörü de iklim değişikliğini olumsuz etkilemektedir.

Sürdürülebilirlik kavramının çıkışı sanayi devrimi sonrası dönemdeki büyümeye dayalı ekonomi politikası uygulamaları ile birliktedir. Artan enerji ve hammadde ihtiyacı, kısıtlı kaynaklar nedeniyle büyüme odaklı sistemi çökme noktasına getirmiştir. Süreç içerisinde üretim ve tüketimdeki inanılmaz artışa paralel olarak çevreye verilen zarar da insan yaşamının devamını tehlikeye atmaktadır. Nüfus artışına paralel olarak tüketimi sınırsız artırma çabaları sonucunda ortaya çıkan talebi karşılamaya yönelik yoğun üretim faaliyeti, nispeten ucuz doğal kaynakların aşırı tüketimini beraberinde getirmiştir. Bu sürecin doğal bir sonucu olarak, küresel ölçekte atık ve kirlilik düzeyi yönetilemez boyutlara ulaşmış, ekosistemin tahribi geri dönüşü olmayan sorunları da beraberinde getirmiştir.

IATA sürdürülebilir havacılık için hava taşımacılığının ürettiği emisyon miktarını azaltmayı planlamaktadır. Bunun için önemli bazı adımlar atılmıştır. İlk olarak 2009 yılında “Uluslararası Havacılık için Karbon Dengeleme” çalışması ile üç temel hedef belirlemişlerdir. Bunlar; 2009'dan 2020'ye kadar yıllık ortalama yakıt verimliliğinde % 1,5'lik bir iyileşme gerçekleştirilmesi, sektörün büyümesine bağlı olarak CO2 emisyonlarını 2020 yılına kadar net sıfır emisyon sınırına taşınması ve havacılığın ürettiği CO2 emisyonlarını 2050 yılına kadar 2005'tekinin yarısına düşürülmesidir (IATA, 2020:1).

## Sonuç

Yenilenebilir enerji kaynakları günümüzde hem sürdürülebilirlik sağlama hem de iklim krizine doğru yol aldığı düşünülen dünyaya umut ışığı olma görevleri nedeniyle tercih edilir duruma gelmiştir. Bazı yenilenebilir enerji kaynakları maliyetler açısından da tercih sebebidir. Yenilenebilir enerji kullanımının artışı ile işletmeler “yeşil kuruluş” unvanına da sahip olabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları kıt kaynakların azalması ve yok olmasına da engel olduğundan sürdürülebilirlik kavramı ile yakından ilişkilidir.

İklim değişikliğini önlemek adına ulusal ve uluslararası çabalar kapsamında karbon azaltımına yönelik çeşitli çalışmalar yapılmakta ve hava taşımacılığı bu çabalarda yer alan sektörlerden en önemlisi haline gelmektedir. Hava taşımacılığı diğer taşımacılık modlarına nazaran daha az karbon emisyonu üretse de hem yenilenebilir enerji kullanımı potansiyeli dolayısıyla hem de bu sektörde karbon azaltımının yüksek oranlarda yapılabilmesi nedeniyle uluslararası karbon azaltımı çabalarında önemli bir sektör olarak kabul edilmektedir. Hava taşımacılığında en büyük enerji tüketimi havaalanlarında gerçekleşmektedir. Bu nedenle karbon emisyonu azaltımı projeleri uçakları içerir şekilde de gerçekleştirilse de yenilenebilir enerji kullanımı havaalanlarına odaklanmaktadır.

Teknolojinin gelişmesi ile yenilenebilir enerji üretim ve tüketiminin artacağı kabul edilmektedir. Yenilenebilir enerji maliyetleri de yine aynı şekilde düşecektir. Havaalanlarında özellikle iklimlendirme ve aydınlatma faaliyetlerinde enerji tüketimi fazladır. Aynı zamanda havaalanları

tüm gün boyunca ve tüm mevsimlerde açık mekanlar olduğundan ve enerji kesintisi uçuş ve operasyon emniyeti ile havaalanı güvenliğini etkilediğinden yenilenebilir enerjinin etkisi havaalanları için önemli miktardadır.

Havaalanlarında kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları ve teknolojileri ülkeden ülkeye ve hatta bölgesel olarak da değişmektedir. Ülkenin teknolojik gelişmişliği, bulunduğu bölge, yenilenebilir enerji kaynaklarına kolay ulaşım ve ülkenin sürdürülebilirlik politikası yararlanılan yenilenebilir enerji teknolojilerini belirlemektedir. Her yenilenebilir enerji kaynağının avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Dolayısıyla enerji yönetimi yapılırken kaynakların kullanım özelliklerine dikkat edilmelidir. Avantajları ve dezavantajları göz önünde bulundurulduğunda Güneş Enerjisi havaalanlarında en çok kullanılan yenilenebilir enerji kaynağıdır. Çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları havaalanlarında çeşitli alanlarda kullanılabilir durumdadır. Bu durumun örnekleri çalışma içerisinde yer almaktadır. Günümüzde enerji ihtiyacının tamamını yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamakta olan havaalanlarına rastlanabilmektedir. Havaalanları uzun vadeli yatırımlar olduğundan dolayı, havaalanı yönetiminin sürdürülebilirliğe önem verdiği ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneldikleri görülmektedir.

**Tablo 7.** Havaalanında Kullanılabilecek Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Karşılaştırılması

Yenilenebilir Enerji Kaynağı	Avantajları	Dezavantajları
<b>Güneş Enerjisi</b>	Düşük bakım maliyeti, sınırsız kaynak, temiz enerji	Güneş ışığına bağımlılık, yüksek ilk yatırım maliyeti
<b>Rüzgar Enerjisi</b>	Karbonsuz enerji, düşük işletme maliyeti	Gürültü kirliliği, rüzgar hızına bağımlılık, manialara neden olabilir
<b>Biyokütle Enerjisi</b>	Atıkların değerlendirilmesi, sürdürülebilir kaynak	Karbon salınımı, büyük alan ihtiyacı
<b>Jeotermal Enerji</b>	Sürekli enerji kaynağı, düşük karbon emisyonu	Yüksek kurulum maliyeti, belirli bölgelerde kullanılabilir
<b>Hidroelektrik Enerji</b>	Sürekli enerji üretimi, yüksek verimlilik	Ekosisteme zarar verebilir, yüksek yatırım maliyeti

Tablo 7, havaalanlarında kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının avantajlarını ve dezavantajlarını göstermektedir. Güneş enerjisi, sınırsız bir kaynak olması ve düşük bakım maliyetiyle dikkat çekerken, yüksek ilk yatırım maliyeti ve güneş ışığına bağımlılığı dezavantaj oluşturmaktadır. Rüzgar enerjisi düşük işletme maliyetine sahip olup karbon emisyonunu azaltırken, gürültü kirliliği ve hava trafiği üzerindeki potansiyel etkileri gibi olumsuz yönlere sahiptir. Biyokütle enerjisi, atıkların değerlendirilmesine olanak tanıırken, karbon salınımı ve geniş alan ihtiyacı gibi sınırlamalar taşımaktadır. Jeotermal enerji sürekli bir kaynak olmasıyla avantaj sağlarken, sadece belirli bölgelerde uygulanabilir olması ve yüksek kurulum maliyetleri dezavantaj yaratmaktadır. Hidroelektrik enerji ise yüksek verimliliği ile öne çıkarken, ekosisteme zarar verebilme riski ve büyük yatırım gerektirmesi gibi sorunlarla karşı karşıyadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının havaalanlarında kullanılması hem ekonomik hem de ekolojik açıdan önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu kaynaklar, havaalanlarının enerji bağımsızlığını artırmakla kalmayıp, karbon emisyonlarını azaltarak sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunmaktadır. Havaalanları, genellikle geniş alanlara yayılmış yapılar oldukları için güneş panelleri, rüzgar türbinleri, biyokütle ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını etkin bir şekilde kullanabilecek potansiyele sahiptir. Özellikle güneş enerjisi, düşük bakım maliyetleri ve kolay kurulum avantajları nedeniyle havaalanlarında en yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynağı haline gelmiştir.

Yapılan araştırmalara göre, dünyada birçok havaalanı yenilenebilir enerji kullanımına yönelik önemli adımlar atmış ve bu sayede hem karbon ayak izlerini azaltmış hem de uzun vadede enerji maliyetlerini minimize etmeyi başarmıştır. Aşağıdaki tablo, dünyadaki bazı önde gelen havaalanlarının yenilenebilir enerji kullanımına dair örnekleri içermektedir.

**Tablo 8.** Havaalanlarında Yenilenebilir Enerji Kullanım Örnekleri

Havaalanı	Yenilenebilir Enerji Kaynağı	Enerji Kapasitesi	Elde Edilen Faydalar
<b>Cochin Intl. Airport (Hindistan)</b>	Güneş Enerjisi	12 MW	Tüm ihtiyacı güneş enerjisinden karşılayan ilk havaalanı
<b>Denver Intl. Airport (ABD)</b>	Güneş Enerjisi	10 MW	Havaalanı ihtiyacının önemli bir kısmını karşılıyor
<b>Abu Dhabi Intl. Airport (BAE)</b>	Güneş Enerjisi	3 MW	Yıllık 5.300 ton CO2 tasarrufu
<b>Oslo Airport (Norveç)</b>	Biyokütle Enerjisi	40.6 MW	Havaalanının toplam enerji ihtiyacının %70'i biyokütle ile karşılanıyor
<b>Galapagos Seymour Airport (Ekvador)</b>	Güneş ve Rüzgar Enerjisi	-	Yalnızca yenilenebilir enerji ile çalışan ilk havaalanı

Bu veriler, havaalanların yenilenebilir enerji kullanımı konusunda attıkları adımları ve elde edilen faydaları göstermektedir. Gelecekte, teknolojik gelişmeler ve enerji politikalarının daha sürdürülebilir bir yöne evrilmesi ile birlikte, havaalanlarının yenilenebilir enerji kullanım oranlarının daha da artması beklenmektedir.

#### Kaynakça

- ACRP, (2015). ACRP Research Report 141, Renewable Energy as a Airport Revenue Source, <https://nap.nationalacademies.org/read/22139/chapter/2>, Erişim Tarihi: 21.09.2022.
- ACRP, (2016). ACRP Research Report 151, Developing a Business Case for Renewable Energy at Airports. <https://nap.nationalacademies.org/catalog/22081/developing-a-business-case-for-renewable-energy-at-airports>. Erişim Tarihi: 20.09.2022.
- ACRP, (2019). ACRP Research Report 197, Guidebook for Developing a Comprehensive Renewable Resources Strategy. <https://nap.nationalacademies.org/read/25433/chapter/2>, Erişim Tarihi: 13.08.2022.
- Akyüz, M. K., Altuntaş, Ö., & Söğüt, M. Z. (2017). Economic and environmental optimization of an airport terminal building's wall and roof insulation. *Sustainability*, 9(10), 1849.
- Akyüz, M. K., Kafalı, H., Altuntaş, Ö. (2021). An analysis on energy performance indicator and GWP at Airports; a case study. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 43(19), 2402-2418.
- Annex-14, Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü.
- ATAG, (2020). Air Transportation Action Group, [www.atag.org](http://www.atag.org), <https://www.atag.org/facts-figures.html>, Erişim Tarihi: 08.09.2022.
- Baxter, G., Sirasaeng, P., Wild, G., (2018). An Assessment of Airport Sustainability, Part 2—Energy Management at Copenhagen Airport, *Resources* 2018, 7, 32; doi:10.3390/resources7020032.
- Chie, J., (2021). Incheon Airport 2021 annual report.
- Çayalan, N., & Rodoplu, H. (2025). Sürdürülebilir Havaalanı Uygulamaları: Enerji Verimliliği ve Karbon Ayak İzi Azaltma Stratejileri. *Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (38), 102-117.

- Grubestic, T.H., Matisziw, T.C., (2012). World cities and airline networks. In: The International Handbook of Globalization and World Cities, ss.7–116.
- IATA, (2020). Carbon Offsetting for International Aviation, <https://www.iata.org/contentassets/fb745460050c48089597a3ef1b9fe7a8/paper-offsetting-for-aviation.pdf>, Erişim Tarihi: 01.10.2022.
- ICAO, (2016). A Focus on the Production of Renewable Energy at the Airport Site, Eco Airport Toolkit, [https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ecoairports/Final%20Energy\\_at\\_Airports\\_Case\\_Studies.pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ecoairports/Final%20Energy_at_Airports_Case_Studies.pdf), Erişim Tarihi: 10.09.2022.
- ICAO, (2017). Renewable Energy for Aviation, [https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO\\_UNDP\\_GEF\\_RenewableEnergyGuidance.pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO_UNDP_GEF_RenewableEnergyGuidance.pdf), Erişim Tarihi: 20.09.2022.
- ICCT, (2019). CO2 emissions from commercial aviation, 2018, [https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/ICCT\\_CO2-commercl-aviation-2018\\_20190918.pdf](https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/ICCT_CO2-commercl-aviation-2018_20190918.pdf), Erişim Tarihi: 13.09.2022.
- IEA, (2022). Renewable Energy Use in World Between 2008-2018, <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/renewable-and-non-renewable-electricity-generation-in-oecd-countries-2008-2018>, Erişim Tarihi: 03.10.2022.
- IEA, (2022i). <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=WORLD&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2BySector>, Erişim Tarihi: 11.09.2022.
- IEA, <https://www.iea.org/reports/transport>, Erişim Tarihi: 12.09.2022.
- Frangoul, A., (2015). Up and away: Green energy takes off in French airports, <https://www.cnbc.com/2015/01/20/up-and-away-green-energy-takes-off-in-french-airports.html>, Erişim Tarihi: 11.04.2022.
- PT, (2013). Power Technology: Neuhardenberg Solar Power Plant, <https://www.power-technology.com/projects/neuhardenberg-solar-power-plant/>, Erişim Tarihi: 13.08.2022.
- Renewable Energy Charts, (2022). <https://ourworldindata.org/renewable-energy>, Erişim Tarihi: 04.10.2022.
- Rowlings, A., Walker, A. (2008) Sustainable energy options for the future airport metropolis. In Vaz, T, Antunes, M, & Panagopoulos, T (Eds.) New Aspects of Energy, Environment, Ecosystems and Sustainable Development. Proceedings of the 4th IASME/WSEAS International Conference on Energy, Environment, Ecosystems and Sustainable Development. WSEAS Press, Greece, pp. 21-26.
- Salamone, M. R. (2007). Model for Improving Energy Use in U.S. Airport Facilities, Airport Cooperative Research Program, Research Results Digest 2, FAA Reports.
- Schäfer, A.W., Waitz, I.A., (2014). Air transport and the environment. Transportation Policy. 34.
- Uysal, M. P., Söğüt, M. Z., (2017). An Integrated Research for Architecture-based Energy Management in Sustainable Airports, Energy 140, ss. 1387-1397.
- Wetsby, S. R., (2020). Environmental Report 2019, Avinor Oslo Airport, [https://avinor.no/globalassets/\\_oslo-lufthavn/om-oslo-lufthavn/miljo-og-lokalsamfunn/miljodokumenter/environmental-report-2019.pdf](https://avinor.no/globalassets/_oslo-lufthavn/om-oslo-lufthavn/miljo-og-lokalsamfunn/miljodokumenter/environmental-report-2019.pdf), Erişim Tarihi: 11.09.2022.



- Worldbank, (2022). Renewable Energy Use in World, <https://databank.worldbank.org/source/sustainable-energy-for-all#>, Erişim Tarihi 15.04.2022.
- [www.airport.nridigital.com](https://airport.nridigital.com), [https://airport.nridigital.com/air\\_nov20/solar\\_power\\_airports](https://airport.nridigital.com/air_nov20/solar_power_airports), Erişim Tarihi: 22.08.2022.
- [www.airport-technology.com](https://www.airport-technology.com), (2021). Abu Dhabi International Airport completes new solar-powered car park, <https://www.airport-technology.com/news/abu-dhabi-solar-car-park/#:~:text=Abu%20Dhabi%20Airports%2C%20along%20with,car%20park%20in%20the%20region.>, Erişim Tarihi: 15.08.2022.
- [www.aviationbenefits.org](https://aviationbenefits.org), (2019). The Middle East's largest airport solar energy system is ready at DXB. <https://aviationbenefits.org/newswire/2019/07/the-middle-east-s-largest-airport-solar-energy-system-is-ready-at-dxb/>, Erişim Tarihi: 10.08.2022.
- [www.economictimes.indiatimes.com](https://economictimes.indiatimes.com), (2016). DIAL triples solar power plant capacity at Indira Gandhi International Airport, <https://economictimes.indiatimes.com/industry/energy/power/dial-triples-solar-power-plant-capacity-at-indira-gandhi-international-airport/articleshow/51796722.cms?from=mdr>, Erişim Tarihi: 07.10.2022.
- [www.haneda-airport.com](http://www.haneda-airport.com), Haneda Airport Power with Mitsubishi Solar Panels, <http://www.haneda-airport.com/news/haneda-airport-power-with-mitsubishi-solar-panels/>, Erişim Tarihi: 09.09.2022.
- [www.iaa.org](https://www.iaa.org), (2022). Transport Improving the Sustainability of Passenger and Freight Transport, <https://www.iaa.org/topics/transport>, Erişim Tarihi: 11.09.2022.
- [www.internationalairportreview.com](https://www.internationalairportreview.com), (2020). Groupe ADP signs agreement for direct renewable energy supply, <https://www.internationalairportreview.com/news/111507/groupe-adp-agreement-renewable-energy/>, Erişim Tarihi: 13.05.2020.
- [www.pveurope.eu](https://www.pveurope.eu), (2019). New Beijing international Airport goes partly solar, <https://www.pveurope.eu/installation/new-beijing-international-airport-goes-partly-solar#:~:text=The%20world's%20largest%20airport%20Beijing,runway%2C%20and%20business%20jet%20area>, Erişim Tarihi: 10.08.2022.
- [www.schiphol.nl](https://www.schiphol.nl), More and more solar panels, <https://www.schiphol.nl/en/schiphol-group/blog/more-and-more-solar-panels/>, Erişim Tarihi: 21.09.2022.
- [www.timesofindia.indiatimes.com](https://timesofindia.indiatimes.com), (2015). Kochi airport becomes world's first to run totally on solar energy, <https://timesofindia.indiatimes.com/travel/destinations/kochi-airport-becomes-worlds-first-to-run-totally-on-solar-energy/as48556314.cms>, Erişim Tarihi: 21.05.2022.
- [www.vas.co.at](https://www.vas.co.at), Biomass Plant Heathrow Airport, <https://www.vas.co.at/de/biomass-plant-heathrow-airport/>, Erişim Tarihi: 12.09.2022.
- Yerel Kandemir, S., Yaylı, M.Ö. (2016). Investigation of Renewable Energy Sources for Airports. In: Karakoc, T., Ozerdem, M., Sogut, M., Colpan, C., Altuntas, O., Açikkalp, E. (eds) Sustainable Aviation. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-34181-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-34181-1_2).
- Young, A., (2019). Safety Assessments for Airport Solar Panel Installations, <https://blog.aci.aero/safety-assessments-for-airport-solar-panel-installations/>, Erişim Tarihi: 15.06.2022.

Zhao, H., Guo, S., Fu, L., (2014). Review on the costs and benefits of renewable energy power subsidy in China, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 37, Pages 538-549, ISSN 1364-0321.

**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.