

Havalimanlarında Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanılması

Ömer Faruk YILDIZ^{1*}, Mehmet YILMAZ², Adem ÇELİK³, Edip İMİK⁴

¹ Gaziantep Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlığı, Gaziantep, Türkiye

² İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

³ Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 8. Bölge Müdürlüğü, Erzurum, Türkiye

⁴ Fırat Gümrük ve Dış Ticaret Bölge Müdürlüğü, Malatya, Türkiye

Özet

Hızla artan küresel enerji talebini karşılamak için alternatif enerji kaynakları arayışı artmakta ve mevcut fosil yakıtların yaydığı sera gazları küresel ısınma ve iklim değişikliklerine neden olmaktadır. Enerji tüketimi oldukça fazla olan ve sera gazı emisyonuna katkısı tüm dünyada dikkat çeken havalimanı yerleşkelerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı oldukça önem arz etmektedir. Bu çalışmada havalimanlarında enerji maliyetlerini ve emisyonları azaltmak amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılma olanakları incelenmiştir. Ayrıca havalimanlarında yenilenebilir enerji sistemi projelerinin karmaşıklığı, havacılık operasyonlarındaki etkileri, finansal, çevresel, sosyal, teknik ve operasyonel açıdan uygun olup olmadığı, fırsatları, riskleri, zorlukları ve faydaları değerlendirilmiştir. Havalimanlarının yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasında önemli fırsatlara/faydalara sahip olduğu ve Türkiye'deki havalimanlarında yenilenebilir enerji kaynaklarından etkin biçimde faydalanmak için teknik ve finansal konuları da içeren çalışmaların artırılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Havalimanları, Yenilenebilir Enerji, Dünya, Türkiye

Using Renewable Energy Sources in Airports

Abstract

The search for alternative energy sources increases in order to meet the rapidly increasing global energy demand and greenhouse gases emitted by the existing fossil fuels cause global warming and climate changes. The use of renewable energy sources is very important in airport settlements, where energy consumption is very high and its contribution to greenhouse gas emissions is noteworthy all over the world. In this study, the possibilities of using renewable energy sources in order to reduce energy costs and emissions at airports were investigated. In addition, the complexity of renewable energy system projects at airports, their impact on aviation operations, whether they are financially, environmentally, socially, technically and operationally feasible, their opportunities, risks, challenges and benefits were

Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Dr. Ömer Faruk YILDIZ, farukmakina@hotmail.com

Alıntı/Citation: Yıldız Ö.F., Yılmaz M., Çelik A., İmik E. (2020). Havalimanlarında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması J. Aviat. 4 (1), 162-174.

ORCID: ¹ <https://orcid.org/0000-0002-5748-112X>; ² <https://orcid.org/0000-0001-5025-1842>; ³ <https://orcid.org/0000-0002-7155-7880>; ⁴ <https://orcid.org/0000-0002-2755-6733>

DOI: <https://doi.org/10.30518/jav.695210>

Geliş/Received: 27 Şubat 2020 **Kabul/Accepted:** 30 Mayıs 2020 **Yayınlanma/Published (Online):** 22 Haziran 2020

Copyright © 2020 Journal of Aviation <https://javsci.com> - <http://dergipark.gov.tr/jav>



This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International Licence

evaluated. It was concluded that airports have significant opportunities/benefits in the use of renewable energy sources and the studies including technical and financial issues should be increased to benefit effectively from renewable energy sources at airports in Turkey.

Keywords: Airports, Renewable Energy, World, Turkey

1. Giriş

Küresel enerji talebi, özellikle nüfus artışı ve ekonomik büyüme nedeniyle hızla artmaktadır. Hızla artan küresel enerji talebini karşılamak için alternatif enerji kaynakları arayışı artmakta ve mevcut fosil yakıtların yaydığı sera gazları küresel ısınma ve iklim değişikliklerine neden olmaktadır. Petrol, doğalgaz, kömür ve nükleer enerji gibi fosil yakıt kaynaklarının kullanımı küresel ısınma ve iklim değişikliğinin yanı sıra, ekonomik ve sosyal istikrarsızlığa, kaynak kıtlığının artmasına ve çevresel bozulmaya yol açmaktadır. Fosil yakıtı yenilenebilir enerji ile değiştirmek, ekonomik ve sosyal faydaları yerel olarak odaklayarak ve sürdürülebilir bir ortamı koruyarak yeniden dengelenmeyi sağlamaktadır [1].

Havalimanları enerji tüketimi yönünden neredeyse küçük bir şehre benzemektedir [2, 3]. Bu tesislerin altyapılarını işletmek ve hizmetlerini sağlamak için enerjiye ihtiyaçları vardır. Havalimanlarında kullanılan en önemli enerji kaynakları elektrik ve yakıttır. Elektrik genellikle şebekeden sağlanır. Havalimanları için olası diğer bir enerji kaynağı yenilenebilir enerji kaynaklarıdır [3-6]. Küresel havacılık topluluğu, havaalanı yönetim planlarında sürekli olarak sürdürülebilir uygulamaları incelemekte ve benimsemektedir [7]. Küresel havacılıkta sürdürülebilirlik, motor emisyonlarının azaltılması, düşük gürültü çıkışı, geri dönüşüm uygulamaları, atık yönetimi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı gibi çeşitli uygulamalarla yapılmaktadır [8]. Havalimanları, terminal binası gibi havalimanlarına ait binaların veya tesislerin; havanın şartlandırılması, elektrikli kapılar, elektrik kullanan cihazlar, bagaj taşıma sistemi ve havaalanı ışıklandırması gibi özgün gereksinimlerinden dolayı yüksek elektrik enerjisi talebine sahiptir. Havalimanları hem 24 saat enerji tüketmeleri hem de yenilenebilir enerji tesislerinin kurulumu için yeterli alana sahip olmaları nedeniyle yenilenebilir enerjinin kullanımı için en uygun yerlerdir [9]. Havalimanlarında yenilenebilir enerji

teknolojilerinin kullanılmasıyla elde edilen enerji elektrik, ısıtma, soğutma ve çeşitli ulaşım araçlarını beslemek amacıyla kullanılır [10].

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) [11]'ya göre, iki büyük yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgâr ve güneşten elde edilen elektriğin ortalama maliyeti son yıllarda önemli ölçüde düşmüştür ve 2025 yılına kadar %59 daha düşmesi beklenmektedir. Maliyetlerdeki bu değişiklik, havalimanı işletmecilerini yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmaya teşvik edebilir. Bu durum havalimanlarına yenilenebilir enerji sistemlerinin uygulanabilirliği imkânını arttırmaktadır.

Havalimanlarının yenilenebilir enerjiden nasıl faydalanabileceği, havalimanının türüne, coğrafi konuma ve mevcut kaynaklara bağlıdır. Havalimanı işletmecileri yenilenebilir enerji projelerine yatırım yapmaya karar vermeden önce bir enerji denetimi gerçekleştirebilir. Gerçekleştirilecek bu enerji denetimi, işletmecilerin havalimanının enerji tüketimini anlaması ve enerji verimliliği teknolojilerine yatırımlar konusunda stratejik davranmasına yardımcı olabilir. Örneğin; havalimanında bulunan sıcak su kazanları havalimanı enerji tüketiminin önemli bir bölümünden sorumluysa, bu sistemi jeotermal veya güneş enerjili su ısıtma sistemi ile değiştirmek, işletme maliyetlerini azaltmak için yüksek önceliğe sahip olabilir. Alternatif olarak, bir havalimanı işletmecisi takip etmek istediği enerji tasarrufu önlemlerini listeleyebilir (maliyet veya emisyon tasarrufu sağlamak için) ve havalimanı personelinin ve yönetiminin bu hedeflere yönelik çalışmasını ve bu hedefleri desteklemesini sağlayabilir. İşletmeciler, enerji kullanımını ve iyileştirmeler için

Tablo 1. Havalimanlarında yenilenebilir kaynak alternatifleri [14].

Sağlanan Hizmet	Kullanılan Fosil Yakıt Kaynağı	Yenilenebilir Kaynak Alternatifi
Isıtma ve Soğutma	Fuel oil, doğal gaz	Biyokütle
		Jeotermal soğutma Toprak kaynaklı ısı pompası Anaerobik sindirim (biyogaz)
Elektrik	Kömür, doğal gaz	Yerinde fotovoltaik sistem (PV)
		Küçük rüzgâr türbini Tesis dışı yenilenebilir enerji sistemlerinden enerji alımı
Plastik çatal-bıçak	Petrol bazlı plastik	Biyoplastik
Toprak ıslahı	Kimyasal gübre	Organik gübre
Atık imhası	Ücretli atık işleme	
Araç yıkama	Pompalı şebeke suyu	Gri su ıslahı
Sulama		Soğutma ünitelerinden yoğuşma toplama
Tesis bünyesindeki restoranlar için malzemeler	Açık çevrimli gıda sağlayıcıları	Yerinde veya kapalı bahçeler
Ulaştırma	Benzin/dizel yakıt	Yenilenebilir yakıtlar -biyodizel; yenilenebilir dizel

en iyi ve en uygun maliyetli fırsatların nerede olduğunu anladığında, havalimanında yenilenebilir enerji projelerine yatırım yapmayı düşünebilir [10, 12].

Bu çalışmada havalimanlarında enerji maliyetlerini ve emisyonları azaltmak amacıyla güneş, rüzgâr, biyokütle, jeotermal ve hidroelektrik gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılma olanakları incelenmiştir. Havalimanlarında yenilenebilir enerji sistemi projelerinin karmaşıklığı, temel havacılık operasyonları üzerine etkileri, finansal, çevresel, sosyal, teknik ve operasyonel açıdan fizibil olup olmadığı, fırsatları, riskleri, zorlukları ve faydaları değerlendirilmiştir. Günümüzde dünyada yenilenebilir enerji kaynakları kullanan bazı havalimanları incelenmiştir. Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynakları kullanan havalimanlarının mevcut durumu değerlendirilmiş ve ülkemizde havalimanlarında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının artırılması için önerilerde bulunulmuştur.

2. Havalimanlarında Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanım Olanakları

Havalimanları artan enerji taleplerini karşılayabilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarını etkin bir şekilde geliştirmektedir [13]. Bir havalimanında yenilenebilir enerjinin kullanılabilmesi için atılacak ilk adım; a- havalimanında yenilenebilir enerji üretmek için yeterli doğal kaynak mevcut mu? b- mevcut ise proje havalimanına güvenli bir şekilde uygulanabilir mi? ve c- yenilenebilir enerjiyi tüketiciye ulaştırmak için yeterli altyapı ve kapasite var mı? gibi temel denetleme süreçlerinin analizini yapmaktır. İkinci adım ise projenin ve alternatiflerinin değerlendirilmesidir [1]. Bu analizlerin gerçekleştirilmesi havalimanında yenilenebilir kaynak fırsatlarının değerlendirilmesine ve yenilenebilir enerji projelerinin atık azaltma, geri dönüşüm gibi girişimlerin geliştirilmesini optimize eden uzun vadeli bir plan geliştirmelerine olanak sağlayacaktır. Havalimanları için en iyi yenilenebilir kaynakların belirlenmesinde

kullanılabilecek yenilenebilir kaynak alternatifleri Tablo 1'de gösterilmektedir. Sadece bu tablo esas alınarak bir havalimanı için en iyi seçeneklerin belirlenmesi zor olabilir. Bu nedenle havalimanında kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynakları belirlenirken çeşitli seçeneklerin avantajlarının ve bu seçeneklerin mevcut havalimanı operasyonlarına ve gelecekteki stratejik planlamaya nasıl uyacağına analizinin yapılması gerekir. Bazı seçenekler (geleneksel yöntemlerden biyoplastik çatal-bıçaklara geçiş gibi) nispeten minimal planlama içerebilir. Ancak fotovoltaik (PV) sistemler veya rüzgâr türbini projeleri gibi diğer seçenekler daha fazla planlama ve uygulama gerektirir. Tüm bu seçeneklerin bir havalimanının elektrik maliyetleri ve karbon emisyonları üzerinde büyük etkileri olabilir [14]. Havalimanları bölgesel ekonomik faaliyetlerin merkezidir ve bölgesel ulaşım ağlarında kritik bir öneme sahiptir. Dolayısıyla havalimanlarında ekonomik ve daha da önemlisi güvenilir elektrik sağlanması büyük önem arz etmektedir. Güneş, rüzgâr, biyokütle, jeotermal, hidroelektrik ve yakıt pilleri de dâhil olmak üzere pek çok uygulanabilir yenilenebilir enerji alternatifi bulunmakla birlikte bunların hiçbiri diğerlerinden açıkça üstün değildir ve bugüne kadar havalimanlarında hepsi sınırlı olarak kullanılmaktadır [1].

2.1 Güneş

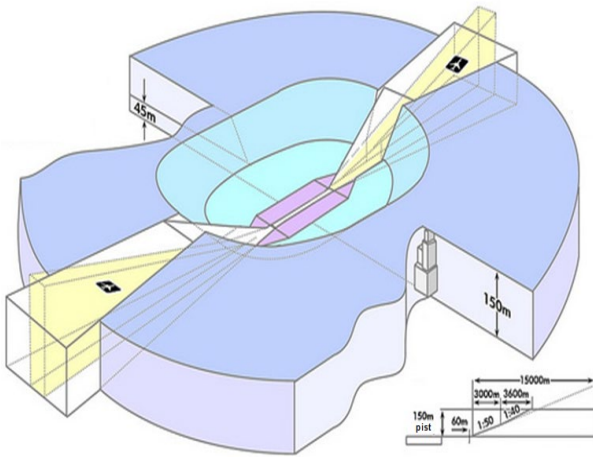
Havalimanlarında en yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji teknolojisi fotovoltaik sistemlerdir. Fotovoltaik sistemlerin havalimanlarında yaygın olarak uygulanmasının nedenlerinden birisi, havalimanı ortamına uyumlu bir şekilde entegre edilebilmesidir. Fotovoltaik paneller göreceli olarak basit modüler yapısı nedeniyle, büyük değişiklikler yapılmadan mevcut bir araziye kolayca tasarlanabilen bir teknolojidir. Bu durum havalimanları için havacılık faaliyetlerinde kullanılmayan alanlara fotovoltaik panellerin yerleştirilebileceği anlamına gelir [5]. Havalimanlarına yerleştirilen fotovoltaik paneller, tipik olarak hava sahasının az kullanılan bölümlerine zemine, bina yüzeylerine veya gölgelik yapmak amacıyla araç park alanlarının üst kısımlarına monte edilirler [5, 15]. Fotovoltaik panellerin bina yüzeylerine entegrasyonu ise iki farklı yaklaşımla gerçekleştirilebilir. Bunlar; i- bina

uygulamalı fotovoltaik sistem (BAPV) ve ii- binaya entegre fotovoltaik sistemler (BIPV)'dir. BAPV yaklaşımında fotovoltaik paneller mevcut çatılara monte edilirler. BIPV yaklaşımında ise paneller mevcut yapı malzemelerini değiştirerek veya değiştirmeden bina mimarisine uygun olarak bina dış kabuğuna entegre edilirler. Bu yaklaşımlar hem tasarım aşamasındaki, hem de yapım aşamasındaki binalara uygulanabilirken mevcut binalarda sonradan iyileştirme olarak yer alabilir [16].

Güneş enerjisi endüstrisinin büyümesi, geliştiricilerin fotovoltaik sistemleri havalimanlarına uygulama eğilimlerini arttırmıştır. Bu eğilimler enerji maliyetleri ve emisyonlar yönünden avantajlar sunarken, bazı yeni ve öngörülemeyen güvenlik sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Havacılık camiasının, özellikle parlama, radar karışıklığı ve hava sahasının fiziksel penetrasyonu gibi konular nedeniyle güneş enerjisi üretiminin havacılık ile uyumlu olup olmadığını geniş anlamda sorgulamasına neden olmuştur [5, 17, 18]. Güneş paneli profilleri düşük yüksekliklere sahip olduklarından hava sahasına fiziksel olarak nüfuz etmezler. Bu durum hem havalimanına ait binaların çatılarında hemde park alanlarında fotovoltaik sistemlerin kurulabilmesi fırsatını sağlar. Ayrıca panellerde bulunan metal bileşenler yansıyan sinyallere neden olabilir. Ancak, havalimanlarına kurulan PV sistemleri düşük yüksekliklere sahip olduklarından radar karışıklığına neden olacak mesafelerde elektromanyetik dalgalar yayamazlar. Bu nedenle radar karışıklığı oluşturma riskleri de çok düşüktür [5, 19]. Bununla birlikte, fotovoltaik panellerin son yıllarda tespit edilen bir diğer etki alanı da, hava trafik kontrolörlerini ve pilotları görsel olarak etkileyebilecek parıltı üretmeleridir. Merkezi Amerikada bulunan Federal Havacılık Kurulu (FAA), belirli bir alana belirli bir kapasitede kurulması planlanan fotovoltaik sistemin henüz tasarım aşamasındayken (fiziksel olarak inşaa edilmeden önce) hava trafik kontrol kulesinde veya iniş için gelen pilotlarda parlama üretip üretemeyeceğini belirlemek için kolayca kullanılabilecek bir parlama modelleme aracı geliştirmiştir. Bu sayede potansiyel parlama etkileri açısından söz konusu proje değerlendirilebilir ve alternatif bir tasarım veya yer seçilebilir.

2.2 Rüzgâr

Rüzgâr enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları içinde en sürdürülebilir ve yararlı alternatiflerden biridir. Havalimanına kurulumunu gerçekleştirmek için seçilebilecek çeşitli tiplerde rüzgâr türbinleri mevcuttur. Bu türbin tiplerinden büyük ölçekli olan rüzgâr türbinleri yere monte edilirken küçük ölçekli rüzgâr türbinleri havalimanı binalarının çatılarına monte edilebilir. Havalimanı binalarının çatılarını fotovoltaik panel kurulumu için elverişli hale getiren tipik karakteristik özellikleri (büyük ve yatay, ayırık ve gölgelemesiz vs.) bu çatıların küçük rüzgâr türbinini dizilerinin kurulumu için de uygun olmasını sağlar. Havalimanları için mevcut olan diğer bir seçenek de dikey eksenli rüzgâr türbinlerinin kullanılmasıdır. Bu tür türbinler insanlara ve binalara yakın alanlara kurulum için uygundur. Bununla birlikte, modern rüzgâr türbinlerinin artan boyutu, özellikle havalimanlarına ve uçuş yollarına çok yakın yerlere yerleştirildiğinde havacılık için tehlike oluşturabilir [20, 21]. Bu nedenle rüzgâr türbinlerinin yükseklikleri uçuş güvenliği açısından engel sınırlama yüzeylerini aşmamalıdır. Şekil 1'de engel sınırlama yüzeyleri gösterilmektedir. Engel sınırlama yüzeyleri, hava sahasının üstündeki nesnelerin (rüzgâr türbinleri vb.) uçak operasyonlarına engel olduğu alt sınırları tanımlayan hayali yüzeylerdir.



Şekil 1. Havalimanı engel sınırlama yüzeyleri [22].

Rüzgâr enerjisinde, rüzgâr enerjisi santrali kurulacak olan yerin tanımlanmış bir kaynak alanına yakın olması yeterli miktarda elektrik üretebilmek için kritik öneme sahiptir. Rüzgâr türbinleri havalimanlarında fotovoltaik panellere

benzer olarak fiziksel penetrasyon ve radar karışıklığı gibi yeni ve öngürülmeyen güvenlik kaygılarına neden olabilir [23]. Bu nedenle İngiliz Sivil Havacılık Otoritesi (CAA), bir havalimanının 15 km'lik yarıçapındaki alanda yapılması planlanan bir rüzgâr türbininin, pilotlar ve uçuş operasyonları açısından potansiyel bir radar karışıklığına neden olup olmayacağına analizini yapabilmek için rüzgâr türbinini yapımı başvurusundan haberdar edilmesini istemektedir [20, 21]. Bunun yanında fotovoltaik panellerden farklı olarak rüzgâr türbinlerinin dönen kanatları türbülans yaratır. Bu tür türbülanslar özellikle küçük ve hafif uçaklar için tehlikeli olabilir [23]. Bahsedilen bu tehlikeler rüzgâr türbinlerinin havalimanlarına yerleştirilmesine ciddi sınırlamalar getiren karmaşık bir konudur ve havalimanlarına çok yakın yerleştirilmiş rüzgâr türbinleri için azaltılabilir ancak tamamen ortadan kaldırılamayan güvenlik kaygılarıdır [22].

2.3 Biyokütle

Enerjinin çevresel kirliliğe yol açmadan sürdürülebilir olarak sağlanabilmesi için kullanılacak kaynakların birisi de biyokütle enerjisidir. Biyokütle, tipik olarak ormancılık ve tarım atıklarından bitki ve hayvan bazlı kalıntılardan oluşan organik bir malzemedir. Biyokütle enerjisi tükenmez bir kaynak olması, her yerde elde edilebilmesi, özellikle kırsal alanlar için sosyo-ekonomik gelişmelere yardımcı olması nedeniyle uygun ve önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir [24, 25]. Biyokütle enerjisi, hammadde tedarik zincirlerinin mevcudiyetine bağlı olarak havalimanları için başka bir yenilenebilir enerji seçeneğidir. Biyokütle, havalimanı yerleşkelerinde terminal binalarının ısıtma, soğutma ve elektrik üretimi de dâhil olmak üzere çeşitli uygulamalarda kullanılabilir yakıt dönüştürülebilir [10]. Diğer yenilenebilir enerji teknolojilerinde enerji kaynağı ücretsiz olduğundan uzun vadede yatırımın ekonomik olması ile sonuçlanırken, biyokütle ile güç üretimi yapmak için hammaddeye ihtiyaç vardır [1].

Havalimanlarında biyokütle gelir ve maliyet tasarrufu sağlamak amacıyla iki şekilde kullanılabilir. Bunlardan birincisi havalimanı arazilerinde biyoenerjinin hammaddesi olacak ekinler yetiştirmek, ikincisi ise hammaddeyi

yakarak enerji üretmek. Biyokütle her ne kadar yenilenebilir enerji kaynağı olarak adlandırılrsa da emisyonuz olmadığı belirmek önemlidir. Bununla birlikte, biyokütle santralinin yaşam döngüsü boyunca atmosfere yaydığı karbon miktarının yakaladığı karbon miktarına eşit olduğu düşünüldüğünden karbon nötr olarak sınıflandırılabilir.

2.4 Jeotermal

Jeotermal enerji, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısı ve basıncın oluşturduğu sıcaklıkların; bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla çözülmüş mineraller, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su, buhar ve gazlar ile yüzeye taşınan ısı enerjisidir [26]. Jeotermal enerjiyi elde etmenin iki temel yöntemi vardır: Bunlardan birincisi geleneksel veya gerçek jeotermal olarak adlandırılan dünyanın çekirdeğinden kaynaklanan ısıyı kullanan

yöntemdir. Diğer ise ısıtma veya soğutma yapmak için sabit sıcaklıktaki toprağı kullanan jeotermal veya toprak kaynaklı ısı pompalarının kullanılmasıdır [27]. Havalimanlarında jeotermal elektrik veya ısı üretimi, sıcak su rezervlerine veya sıcak kayalar gibi havalimanının altında bulunan belirli jeolojik yapılara bağlı olduğu için diğer yenilenebilir enerji kaynakları kadar kolay ulaşamaz [21]. Jeotermal enerji sistemleri havalimanı binalarının ısıtılması ve soğutulması amacıyla kullanılabilir. Yer altı tabakasından elde edilen su eğer kaynar su ise (genellikle çok derin yeraltı tabakalarında bulunur), elektrik üretimini gerçekleştirecek olan bir türbini çalıştırmak için buhar elde edilebilir. Jeotermal enerji elde edebilmek büyük ölçüde havalimanının jeolojik koşuluna bağlıdır. Jeotermal enerji sistemlerinin büyük bir kısmı yer altındadır ve bu nedenle havacılık operasyonlarını (yer üstü tesisinin pilotları görsel olarak etkilememesi ve navigasyon yardımlarını engellememesi şartıyla) bozmazlar

Tablo 2. Havalimanlarında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılma olanakları [1, 5, 10, 15, 17, 21, 23, 27, 28].

Yenilenebilir Enerji	Fırsatları/Faydaları	Riskleri/Zorlukları
Güneş	Havalimanlarının büyük ve atıl boş arazilerine, binaların geniş çatılarına veya gölgelik yapmak amacıyla araç park alanlarının üst kısımlarına monte edilebilirler.	Parlama, radar ve fiziksel penetrasyon gibi güvenlik kaygılarını barındırır. a- Türbinlerin tanımlanmış kaynak alanına yakın olmasını gerektirir. b- Büyük rüzgâr türbinleri fiziksel penetrasyona ve radar karışıklığına neden olabilir. c- Türbinlerin dönen kanatları türbülans oluşturur.
Rüzgâr	Havalimanı binalarının geniş çatılarına monte edilmiş entegre rüzgâr türbinleri kullanılabilir.	a- Güç üretimi yapmak için hammaddeye ihtiyaç vardır. b- Emisyonuz değildir.
Biyokütle	a- Havalimanı binalarının çeşitli uygulamalarında (ısıtma, soğutma, elektrik) kullanılacak yakıtı dönüştürülebilir. b- Temel havacılık operasyonlarına herhangi bir olumsuz etkisi yoktur.	a- Diğer yenilenebilir enerji kaynakları kadar kolay ulaşamaz. b- Havalimanının jeolojik koşuluna bağlıdır. c- Kurulumu genellikle karmaşıktır.
Jeotermal	Havacılık operasyonlarını bozmazlar.	a- Havalimanı konumunun su kaynağına yakın bir yerde olmasını gerektirir. b- Çevresel etkileri bir çok havalimanı için uygun olmayabilir.
Hidroelektrik	Etrafı okyanuslarla çevrili olan bazı havalimanlarında hidroelektrikten faydalanılabilir.	

ancak bu sistemlerin kurulumu genellikle karmaşıktır. Sonuç olarak, jeotermal enerjili havalimanı projeleri genellikle yeni tesislerin inşası veya mevcut havalimanı yapılarının yenilenmesi ile birlikte yürütülmeye değerdir [10].

2.5 Hidroelektrik

Hidroelektrik kaynaklarının havaalanlarında uygulanabilirliği, akan nehirlerle ve okyanus alanlarına bitişik olan havalimanları ile sınırlıdır. Her havalimanı fotovoltaik panellerden elektrik üretebilecek bir güneş ışığı miktarına sahiptir ancak güneş ışığı miktarı nedeniyle PV sisteminin kurulumu ekonomik olmayabilir [27]. Bununla birlikte hidroelektrik enerjinin havalimanında kullanılabilmesi, havalimanı konumunun su kaynağına yakın bir yerde olmasını gerektirir [10]. Ayrıca, havalimanları yakınında bir hidroelektrik sistem geliştirmenin çevresel etkisi birçok

havalimanı için uygun olmayacaktır. Etrafı okyanuslarla çevrili ıslah edilmiş toprak üzerine inşa edilen bazı Asya havalimanları, tüm çevresel sürdürülebilirlik kriterlerinin karşılanması koşuluyla hidroelektrikten faydalanabilir [21].

Havalimanlarında kullanılacak yenilenebilir enerji kaynakları, fırsatları/faydaları ve riskleri/zorlukları Tablo 2’de özetlenmiştir.

3. Yenilenebilir Enerji Kullanan Havalimanları

Havalimanlarında enerji tüketimini azaltma, enerji maliyetlerini düşürme ve enerji verimliliğini artırma çabaları arttıkça yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımı da gittikçe yaygınlaşmaktadır. Havalimanı yerleşkelerinin koşulları (coğrafi konumu, kapasitesi, enerji talebi vb.) tamamen birbirinden farklıdır ve devletler havalimanı işletmecilerinin hangi yenilenebilir enerji projelerinin uygulanabilir olduğunu

Tablo 3. Dünya’da yenilenebilir enerji kullanan bazı havalimanları [5, 9, 14, 27, 29-32, 34, 35, 39].

Sıra No	Havalimanı	Bulunduğu Ülke	Yenilenebilir Enerji Teknolojisi	Kapasite
1	Cochin Uluslararası Havalimanı	Hindistan	PV	12 MWp
2	Denver Uluslararası Havalimanı	ABD	PV	10 MWp
3	Fresno Yosemite Uluslararası Havalimanı	ABD	PV	2.4 MWp
4	Kamuzu Uluslararası Havalimanı	Malavi	PV	830 kWp
5	Moshoeshoe I Uluslararası Havalimanı	Lesoto	PV	281 kWp
6	Boston Logan Uluslararası Havalimanı	ABD	PV + Rüzgâr	367 kWp +20 kW
7	Incheon Uluslararası Havalimanı	Güney Kore	PV	957 kWp
8	Burlington Uluslararası Havaalanı	ABD	Rüzgâr	100 kW
9	Indianapolis Uluslararası Havalimanı	ABD	PV	22 MWp
10	East Midlands Uluslararası Havalimanı	İngiltere	Rüzgâr	500 kW
11	Portland Uluslararası Havalimanı	ABD	Jeotermal	120 kuyu, Derinlik: 500 ft
12	Lakeland Linder Uluslararası Havalimanı	ABD	PV	6 MWp
13	Neuhardenberg Havalimanı	Almanya	PV	1.4 MWp
14	Grant County Uluslararası Havalimanı	ABD	Biyokütle	220 kW
15	Juneau Uluslararası Havaalanı	ABD	Jeotermal	108 kuyu, Derinlik: 350 ft
16	Heathrow Uluslararası Havalimanı	İngiltere	Biyokütle	11.5 MW
17	San Diego Uluslararası Havalimanı	ABD	PV	5.5 MWp

belirlemeleri için mevcut durumlarının bir analizini gerçekleştirmelerini ister. Büyük havalimanlarının birçoğu sadece yenilenebilir enerji üretimini gerçekleştirmekle kalmayıp, aynı zamanda sürdürülebilir kalkınmayı da teşvik etmektedir [9].

3.1 Dünya'daki Havalimanlarında Yenilenebilir Enerjinin Kullanımı

Dünya'daki birçok havalimanı yenilenebilir enerji sistemlerini kullanmaktadır. Tablo 3, Dünya'da yenilenebilir enerji kullanan bazı havalimanlarını vermektedir.

Fotovoltaik sistemler dünya çapında 100'den fazla havalimanına kurulmuştur ve elverişli kurulum imkânlarına sahip olmaları nedeniyle mevcut havalimanlarının birçoğuna bu sistemin tasarımı gerçekleştirilebilir. Hindistan'da bulunan Cochin Uluslararası Havalimanı, dünyanın tamamen fotovoltaik panellerle çalışan ilk tesisi olmuştur [29]. 12 MWp güneş enerjili Cochin Uluslararası Havalimanı ihtiyaç duyduğu enerjinin tamamını apron alanına kurulu 46,150 adet güneş panelinden üretmektedir [29, 30]. Güney Amerika'daki Galapagos Havalimanı, tüm tesislerini işletmek için sadece yenilenebilir enerji kullanmaktadır [9]. Malavi'de 1228 m rakımda bulunan Kamuzu Uluslararası Havalimanında 830 kWp şebekeye bağlı PV enerji santrali bulunmaktadır [31]. Japon hükümetinin hibesi ile Lesoto'da bulunan Moshoeshoe I Uluslararası Havaalanı'nda 281 kWp gücünde şebekeye bağlı PV sistem kurulmuştur [32]. Güney Kore'nin başkenti Seul'de bulunan ve Güney Kore'nin en büyük havalimanı olan Incheon Uluslararası Havalimanı, yoğun saatlerde elektrik yükünü azaltmak için geri dönüştürülmüş su arıtma binasına ve uzun süreli park garajına 957 kW fotovoltaik paneller kurmuştur. Güney Kore hükümetinin planına göre, Incheon Uluslararası Havalimanı birkaç yıl sonra 4 MW'lık bir fotovoltaik sistem ve 5.5 MW'lık bir jeotermal tesis kurarak sera gazı emisyonlarını azaltmaya devam etmeyi planlamaktadır [9]. Lakeland Linder Uluslararası Havalimanındaki yere monte edilmiş fotovoltaik sistem 6 MW'lık kurulu güce sahiptir ve ABD'de en yüksek kurulu güce sahip havalimanlarından biridir. Neuhardenberg havalimanı güneş enerjisi santrali, Almanya'daki en

büyük fotovoltaik enerji projelerinden biridir ve 145 MW kurulu güce sahiptir (Şekil 2).



Şekil 2. Neuhardenberg havalimanı güneş güneş enerjisi santrali [34].

Avrupa'da İsveçli havalimanı işletmecisi Swedavia tarafından işletilen Lulea, Ronneby ve Visby havalimanları net sıfır karbon emisyonlu havalimanlarıdır. Swedavia, 2020 yılına kadar Stockholm-Arlanda merkezi de dahil olmak üzere İsveç'teki tüm havalimanları için net sıfır emisyon elde etmeyi hedeflemiştir. Hamburg havalimanı bu hedefi 2022 yılı için belirlerken, Amsterdam-Schiphol, Eindhoven ve Kopenhag havalimanları ve Norveçli havalimanı işletmecisi Avinor 2030 yılı için belirlemiştir [33].

Kalifornia Fresno Yosemite Uluslararası Havalimanında toplam 2.4 MWp kurulu güce sahip PV paneller havalimanının elektrik enerjisi ihtiyacını %50'sinden fazlasını karşılamaktadır ve 20 yılda enerji maliyetlerinde 13 milyon dolar tasarruf sağlayacağı tahmin edilmektedir. Boston Logan Uluslararası Havalimanı Terminal A binasında 274 kW, Terminal A uydu binasında 93 kW olmak üzere toplam 367 kW gücünde fotovoltaik sistem kurulmuştur. Tesisler, binalarda tüketilen elektriğin tamamını (yılıda yaklaşık 475000 kWh) üretmektedir [5, 35, 36]. Ayrıca Havalimanı'nın Ofis Merkezi'ne her biri 10 ft boyunda ve 1 kW gücünde 20 adet çatı tipi rüzgâr türbini kurulmuştur (Şekil 3). Yerleştirilen rüzgâr türbinlerinde, düşük rüzgâr koşullarında bile hava akışını yakalamalarını sağlamak için benzersiz bir tasarım kullanılmıştır.



Şekil 3. Boston Logan Uluslararası Havalimanında ofis binasına monte edilmiş entegre rüzgar türbinleri [27].

İngilterede bulunan East Midlands Havalimanında 30 mt göbek yüksekliğine ve 15 mt uzunluğunda üç kanada sahip her biri 250 kW gücünde 2 adet büyük ölçekli rüzgâr türbini bulunmaktadır. Türbinlerin ürettiği elektrik havalimanının elektrik ihtiyacının %6'sını karşılamaktadır. Grant County Havalimanına biyokütle kazanı bulunan yeni bir terminal binası yapılmıştır. Biyokütle tesisi için kullanılan hammadde depolama kutusu Şekil 4'de gösterilmektedir. Biyokütle, terminal binasına ABD Yeşil Bina Konseyi LEED Programı'nın gümüş sertifikasyon seviyesinin gereksinimlerini karşılamak amacıyla dâhil edilmiştir. Biyokütle yerel bir atölye tarafından sağlanan odun taneciklerini yakmakta ve terminal binasının ısıtma ihtiyacının %50'sini karşılamaktadır [27].

Avrupa havalimanı endüstrisini 2050 yılına kadar net sıfır karbon emisyonlu havalimanları haline getirmeyi resmen taahhüt eden karar, 26 Haziran 2019'da Kıbrıs'ta düzenlenen 29. ACI EUROPE Yıllık Kongre ve Genel Kurulunda imzalanmıştır. Söz konusu karar Kasım 2019 tarihi itibariyle 25 Avrupa ülkesinden 47 havalimanı işletmecisinin işlettiği toplam 204 havalimanı tarafından desteklenmektedir ve her bir havalimanının ayrı hedefleri vardır. Avrupa havalimanı endüstrisinin tahmini karbon ayak izi göz önüne alındığında bu karar 2050 yılı itibariyle toplam 3.46 milyon ton yıllık CO₂ emisyonunu ortadan kaldıracaktır [37]. Londrada bulunan

Gatwick havalimanı, elektrik ihtiyacının tamamını yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılayarak Uluslararası Havalimanları Konseyi (ACI) tarafından verilen karbon nötr sertifikasını almıştır [38].



Şekil 4. Grant County Havalimanı'nda biyokütle tesisi için hammadde depolama kutusu [27].

Yılda 61.000'den fazla uçuşun gerçekleştiği ABD'deki Chattanooga Metropolitan Havalimanı, 12 dönümlük alan üzerine 2.64 Megawatt (MW) güneş enerjisi santrali kurarak ABD'nin tamamen güneş enerjisi ile çalışan ilk havalimanı olmuştur. ABD'de yenilenebilir enerji tesislerini tamamlamış olan havalimanlarına yönelik havalimanlarının yenilenebilir enerjiye karar verme süreçleri hakkında bilgi toplamak amacıyla yapılan anket çalışmasında enerji kaynağı olarak %64 güneş, %20 jeotermal, %8 ısı güneş enerjisi, %4 rüzgâr ve %4 biyokütle kullanıldığı görülmüştür [1].

3.2 Türkiye'deki Havalimanlarında Yenilenebilir Enerjinin Kullanımı

Türkiyede 58 adet sivil havalimanı bulunmaktadır. Bu havalimanlarının 37'sinde uluslararası uçuşlar gerçekleşmekte olup 18'i hem sivil hemde askeri amaçla kullanılmaktadır. Ülkede ayrıca yalnızca askerî amaçla kullanılan 18 havalimanı vardır [40]. Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen önem her geçen gün artarken, bu alandaki projeler de giderek çeşitlenmektedir. Bununla birlikte Türkiye'deki havalimanlarında tüketilen toplam enerji içerisinde yenilenebilir enerjinin payı çok azdır.

Tablo 4. Türkiye’de yenilenebilir enerji kullanan bazı havalimanları [41-44].

Sıra No	Havalimanı	Bulunduğu Şehir	Yenilenebilir Enerji Teknolojisi	Kapasite
1	Adnan Menderes Havalimanı	İzmir	PV	400 kWp
2	Antalya Havalimanı	Antalya	PV	250 kWp
3	Erzincan Havalimanı	Erzincan	PV	2.09 MWp

**Şekil 5.** Erzincan Havalimanı güneş enerjisi santralinin görünümü [41].

Türkiye’de, ilk Güneş Enerjisi Santrali (GES) projelerinden biri Erzincan Havalimanında yapılmıştır. Proje için 325 W/m^2 gücünde ve herbiri yaklaşık 1.7 m^2 olan toplam 3779 adet fotovoltaik panel kullanılarak 2.09 MWp güce ulaşılmıştır. Tesis, bir yılda yapacağı elektrik üretimi ile Erzincan Havalimanı’nda tüketilen elektrik enerjisinin yarıya yakınına karşılayacak ve ihtiyaç fazlasını şebekeye aktaracak şekilde tasarlanmıştır [41].

Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü tarafından talep edilen proje kapsamında Antalya havalimanında 260 W gücünde toplam 962 adet fotovoltaik panel kullanılarak 250 kWp kurulu güce sahip güneş enerjisi santrali kurulmuştur. Sistem Aralık 2013’de tamamlanarak devreye alınmıştır [42].

İzmir Adnan Menderes Havalimanı, iklim değişikliğinin başlıca nedenlerinden olan karbon salımlarını nötralize ederek Avrupa’daki en çevreci 20 havalimanı arasına girmiştir. Ayrıca yeni terminalinde 5200 m^2 fotovoltaik panel bulduran havalimanı yılda 450 MW elektriğini güneş enerjisinden üretmektedir [43].

4. Sonuçlar

Havalimanları, uçuşlarının güvenli bir şekilde gerçekleşmesi ve binalarının işletilmesi için yüksek enerji talebine sahiptirler. Bu enerji talebinin karşılanmasında kullanılan fosil yakıtların yaydığı sera gazları küresel ısınma ve iklim değişikliklerine neden olmaktadır. Havalimanlarında yenilenebilir enerjinin kullanılması sera gazlarının azaltılmasının yanı sıra mali ve kamu politikası faydaları sağlamaktadır. Bu çalışmada havalimanlarında enerji maliyetlerini ve emisyonları azaltmak amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılma olanakları incelenmiştir. Günümüzde Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları kullanan havalimanları incelenmiştir. Elde edilen temel sonuçlar aşağıda verilmiştir:

1) Enerji tüketimi yönünden küçük veya orta ölçekli şehirlere benzeyen havalimanı yerleşkelerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı oldukça önem arz etmektedir. Yenilenebilir enerji, havalimanları için mevcut enerji seçeneklerini artırmaktadır.

2) Havalimanları, kesintisiz olarak enerji tüketmeleri ve yenilenebilir enerji tesislerinin kurulumu için geniş atıl arazilere sahip olmaları nedeniyle yenilenebilir enerjinin kullanımı için en uygun yerlerdir.

3) Yenilenebilir enerji teknolojilerinin maliyetlerindeki azalış, havalimanlarında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım olanaklarını artırmaktadır.

4) Havalimanlarında yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanılmasıyla elde edilen enerji elektrik, ısıtma, soğutma ve çeşitli ulaşım araçlarını beslemek amacıyla kullanılabilir.

5) Bir havalimanında yenilenebilir enerjiye yatırım yapmaya karar vermeden önce havalimanında enerji denetimi gerçekleştirilmelidir. Bu sayede, enerji kullanımının ve iyileştirmeler için

en iyi ve en uygun maliyetli fırsatların nerelerde olduğu anlaşılır.

6) Havalimanlarına güneş, rüzgâr, biyokütle, jeotermal, hidroelektrik ve yakıt pilleri gibi pek çok yenilenebilir enerji alternatifi uygulanabilir.

7) Havalimanlarında en yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji teknolojisi fotovoltaik sistemlerdir. Fotovoltaik sistemler havalimanlarına uygulanırken parlama, radar karışıklığı ve fiziksel penetrasyon gibi güvenlik kaygıları göz önüne alınmalıdır.

8) Rüzgâr türbinleri havalimanlarında fotovoltaik panellere benzer olarak fiziksel penetrasyon ve radar karışıklığına, fotovoltaik panellerden farklı olarak ise türbülansa neden olabilirler.

9) Diğer yenilenebilir enerji teknolojilerinden farklı olarak, biyokütle ile güç üretimi yapmak için hammaddeye ihtiyaç vardır ve biyokütle emisyonuz değildir. Bununla birlikte, biyokütle santralının yaşam döngüsü boyunca atmosfere yaydığı karbon miktarının yakaladığı karbon miktarına eşit olduğu düşünüldüğünden karbon nötr olarak sınıflandırılmaktadır.

10) Jeotermal elektrik veya ısı üretimi, havalimanının altında bulunan belirli jeolojik yapılara bağlı olduğu için diğer yenilenebilir enerji kaynakları kadar kolay ulaşılamaz.

11) Hidroelektrik enerjinin havalimanında kullanılabilmesi, havalimanı konumunun su kaynağına (akan nehre veya okyanusa) yakın bir yerde olmasını gerektirir.

12) Dünya'daki havalimanlarında en çok kullanılan yenilenebilir enerji sistemi fotovoltaik sistemlerdir ve elverişli kurulum imkânlarına sahip olmaları nedeniyle mevcut havalimanlarının birçoğuna bu sistemin tasarımı gerçekleştirilebilir.

13) Türkiye'deki havalimanlarında tüketilen toplam enerji içerisinde yenilenebilir enerjinin payı çok azdır.

14) Yenilenebilir enerji potansiyeli yüksek olan Türkiye'deki havalimanlarında yenilenebilir enerji kaynaklarından etkin biçimde faydalanmak için çalışmalar artırılmalıdır.

15) Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye'deki havalimanlarında kullanımını arttırmak için yapılacak çalışmalar, kurulacak yenilenebilir enerji sisteminin teknik açıdan

uygulanabilirliği, kurulum olanakları ve performans parametreleri gibi teknik konuları içermelidir.

16) Türkiye'deki havalimanlarında yenilenebilir enerji kullanımını artırılması için yapılacak çalışmalar teknik konuların yanı sıra proje maliyetleri, sermaye ve bakım maliyetleri, potansiyel fon kaynakları ve kamu politikaları gibi finansal konuları da içermelidir.

17) Türkiye'deki havalimanlarında yenilenebilir enerji sisteminin inşa edilmesi ve işletilmesinin maliyet etkin olabilmesi için iş planlamaları yapılmalıdır. Bu sayede havalimanlarında yenilenebilir enerji kullanımı için vergi indirimleri ve finansal teşviklerden faydalanılması da sağlanabilir.

Etik Kurul Onayı

Gerekli değil

Kaynaklar

- [1] S. B. Barrett, P. M. DeVita, J. Kenfield, B. T. Jacobsen, and D. Y. Bannard, Developing a Business Case for Renewable Energy at Airports. Washington, ABD: Airport Cooperative Research Program, 2016.
- [2] A. Costa, L. M. Blanes, C. Donnelly, and M. M. Keane, Review of EU Airport Energy Interests and Priorities with Respect to ICT Energy Efficiency and Enhanced Building Operation, 12th International Conference for Enhanced Building Operations, Manchester, UK, 2012.
- [3] S. O. Alba, "Characterization, Analysis and Optimization of Energy Demand Patterns in Airports," The University of Cantabria, School of Industrial Engineering and Telecommunications, Ph.D. Thesis, 2017.
- [4] M. Yılmaz, Ö. F. Yıldız, ve E. İmik, Havalimanlarında Enerji Tüketimi ve Enerji Verimliliği, 4th International Anatolian Energy Symposium, Edirne, Türkiye, 2018.
- [5] Ö. F. Yıldız, M. Yılmaz, ve A. Çelik, Havalimanlarında Fotovoltaik Sistemlerin Kullanılması, 22th Congress of Thermal Sciences and Technology, Kocaeli, Türkiye, 2019.

- [6] M. K. Akyüz, Ö. Altuntaş, M. Z. Söğüt, T. H. Karakoç, and S. Kurama, "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, 147-161, 2018.
- [7] F. Giustozzi, E. Toraldo, and M. Crispino, "Recycled Airport Pavements for Achieving Environmental Sustainability: An Italian Case Study," *Resources, Conservation & Recycling*, 68, 67-75, 2012.
- [8] S. H. Kandemir, and M. Ö. Yaylı, "Chapter 2 Investigation of Renewable Energy Sources for Airports," *Sustainable Aviation: Energy and Environmental Issues*, 11-16, 2016.
- [9] S. Baek, H. Kim, and H. Y. Chang, "Optimal Hybrid Renewable Airport Power System: Empirical Study on Incheon International Airport, South Korea," *Sustainability*, 8, 1-13, 2016.
- [10] ICAO, *A Focus on the Production of Renewable Energy at the Airport Site*. Québec, Canada: International Civil Aviation Organization, 2017.
- [11] IRENA, "IRENA." <https://www.irena.org/publications/2016/Jun/The-Power-to-Change-Solar-and-Wind-Cost-Reduction-Potential-to-2025>. [Erişim Tarihi: 22-Şubat-2020].
- [12] M. Radomska, L. Chernyak, and O. Samsoniuk, "Chapter 13 The Improvement of Energy-Saving Performance at Ukrainian Airports," *Advances in Sustainable Aviation*, 189-203, 2018.
- [13] B. Li, W. Zhang, J. Xu, and J. Wang, *Research on Solar Photovoltaic Power Generation in the Airfield Area at Civil Airports*, 3rd International Conference on Electromechanical Control Technology and Transportation, Chongqing, China, 2018.
- [14] S. Shaw, C. Ferraro, T. Orcutt, G. Morrison, M. Stephens, S. Barrett, P. DeVita, and J. Cohen, *Guidebook for Developing a Comprehensive Renewable Resources Strategy*. Washington, ABD: Airport Cooperative Research Program, 2019.
- [15] P. DeVita, and S. Barrett, *Eugene Airport Solar Feasibility Study*. Burlington, ABD: HMMH, Report No: 308220, 2018.
- [16] C. D. Zomer, M. R. Costa, A. Nobre, and R. Rüther, "Performance Compromises of Building-Integrated and Building-Applied Photovoltaics (BIPV and BAPV) in Brazilian Airports," *Energy and Buildings*, 66, 607-615, 2013.
- [17] S. Barrett, and P. DeVita, *Technical Guidance for Evaluating Selected Solar Technologies on Airports*. Washington, ABD: Federal Aviation Administration, 2018.
- [18] J. Wybo, "Large-Scale Photovoltaic Systems in Airports Areas: Safety Concerns," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 402-410, 2013.
- [19] S. B. Barrett, P. M. DeVita, and R. L. Miller, *Review of Solar Energy System Projects on Federally Obligated Airports*. Washington, ABD: Federal Aviation Administration, 2013.
- [20] A. Rowlings, "Sustainable Energy Options for the Future Airport Metropolis," *Science and Engineering Faculty Queensland University of Technology*, Master Thesis, 2016.
- [21] A. Rowlings, and A. Walker, *Sustainable Energy Options for the Future Airport Metropolis*, 4th International Conference on Energy, Environment, Ecosystems and Sustainable Development, Algarve, Portugal, 2008.
- [22] <https://to70.com/dangerous-relationship-wind-turbines-aviation/>. [Erişim Tarihi: 04-Şubat-2020].
- [23] <https://www.airsight.de/projects/item/wind-energy-and-aviation/>. [Erişim Tarihi: 05-Şubat-2020].
- [24] YEGM, "YEGM." http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle_enerjisi.aspx. [Erişim Tarihi: 06-Şubat-2020].

- [25] D. Ünlü, and N. D. Hilmioğlu, “Chapter 3 Review of Renewable Biofuels in the Aviation Sector,” *Advances in Sustainable Aviation*, 25-39, 2018.
- [26] EİGM, “EİGM.”, <https://www.eigm.gov.tr/TR/Sayfalar/Jeotermal>. [Erişim Tarihi: 06-Şubat-2020].
- [27] A. Whiteman, D. Bannard, T. Smalinsky, I. Korovesi, J. Plante, and T. DeVault, *Renewable Energy as an Airport Revenue Source*. Washington, ABD: Airport Cooperative Research Program, 2015.
- [28] M. K. Akyüz, Ö. Altuntaş, and M. Z. Söğüt, “Economic and Environmental Optimization of an Airport Terminal Building’s Wall and Roof Insulation,” *Sustainability*, 9, 1849, 2017.
- [29] S. Sukumaran, and K. Sudhakar, “Fully Solar Powered Airport: A Case Study of Cochin International Airport,” *Journal of Air Transport Management*, 62, 176-188, 2017.
- [30] M. K. Akyüz, “ Havalimanlarında Sürdürülebilir Enerji Yönetim Modeli,” *Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 2018.
- [31] M. H. Banda, K. Nyeinga, and D. Okello, “Performance Evaluation of 830 kWp Grid-Connected Photovoltaic Power Plant at Kamuzu International Airport-Malawi,” *Energy for Sustainable Development*, 51, 50-55, 2019.
- [32] M. Mpholo, T. Nchaba, and M. Monese, “Yield and Performance Analysis of the First Grid-Connected Solar Farm at Moshoeshoe I International Airport, Lesotho,” *Renewable Energy*, 81, 845-852, 2015.
- [33] ATAG, “AVIATIONBENEFITS.” <https://aviationbenefits.org/newswire/2019/09/over-200-european-airports-to-deliver-net-zero-co2-emissions-by-2050/>. [Erişim Tarihi: 04-Şubat-2020].
- [34] Havaalanı Elektrik Sistemleri. Ankara, Türkiye: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, 2017.
- [35] C. R. Lau, J. T. Stromgren, and D. J. Green, *Airport Energy Efficiency and Cost Reduction*. Washington, ABD: Airport Cooperative Research Program, 2010.
- [36] Ö. F. Yıldız, “Erzurum Havalimanı Terminal Binasının Enerji Analizi ve Net Sıfır Enerjili Bina Formuna Dönüştürülmesinin İncelenmesi,” *Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 2017.
- [37] ACI, “AIRPORT-BUSINESS,” <http://www.airport-business.com/2019/11/unlocking-renewable-energy-procurement-europes-airports/>. [Erişim Tarihi: 04-Şubat-2020].
- [38] BUSINESSGREEN, <https://www.businessgreen.com/sponsored/3034979/renewable-electricity-helps-gatwick-airport-achieve-carbon-neutrality>. [Erişim Tarihi: 08-Şubat-2020].
- [39] S. Sukumaran, and K. Sudhakar, “Performance Analysis of Solar Powered Airport Based on Energy and Exergy Analysis,” *Energy*, 149, 1000-1009, 2018.
- [40] WIKIPEDIA, https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye_%27deki_havaalanlar%C4%B1_listesi. [Erişim Tarihi: 04-Şubat-2020].
- [41] <https://www.enerjigunlugu.net/erzincan-havalimani-ges-uretime-gecti-35679h.htm>. [Erişim Tarihi: 04-Şubat-2020].
- [42] <https://www.enerjigunlugu.net/antalya-havalimani-gunes-santrali-devrede-6963h.htm>. [Erişim Tarihi: 04-Şubat-2020].
- [43] <https://www.ecobuild.com.tr/post/2017/10/23/i%CC%87zmir-adnan-menderes-havaliman%C4%B1-leed-in-motion-transportation-raporunda-t%C3%BCm-d%C3%BCnyaya-%C3%B6rn> [Erişim Tarihi: 04-Şubat-2020].