

# Global ölçekte faaliyet gösteren havalimanlarının göreceli sürdürülebilirlik analizi

## Relative sustainability analysis of global-scale airports

Muhammet Enis BULAK<sup>1\*</sup>, Funda Hatice SEZGİN<sup>2</sup>, Fatma Serra ÇİFTÇİ<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Üsküdar Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.  
muhammetenis.bulak@uskudar.edu.tr, fatmaserra.ciftci@uskudar.edu.tr

<sup>2</sup>Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, İstanbul, Türkiye.  
fsezgin@istanbul.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 31.08.2020  
Kabul Tarihi/Accepted: 15.02.2021

Düzeltilme Tarihi/Revision: 26.11.2020

doi: 10.5505/pajes.2021.06332  
Araştırma Makalesi/Research Article

### Öz

Hava taşımacılığının sürdürülebilirlik etkisi ve sonuçlarının raporlanması toplumlar için önemli bir hale gelmiştir. Bu alanda Küresel Rapor Girişimi kronolojik olarak birçok sektöre ait raporlamayı ve veri tabanını ilgililerin bilgisine sunmaktadır. Günümüzde ise artık dünyanın dört bir yanındaki havalimanları sorumluluk bilincinde olarak şeffaf bir şekilde sürdürülebilirlik sonuçlarını halka arz etmektedirler. Bu açıdan havalimanlarının sürdürülebilirlik performansının ölçülmesi ve hedeflerin belirlenerek gerekli iyileştirmelerin yapılması büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, Küresel Rapor Girişimi'nin kapsamlı sürdürülebilirlik veri tabanında yer alan 30 uluslararası havalimanının Veri Zarflama Yöntemi (VZA) ile verimlilik ve etkinlik analizi gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, havalimanlarında sürdürülebilirliğe etki eden ortak girdi ve çıktılar belirlenmiş ve sürdürülebilirlik performans ölçüm modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model kullanılarak havalimanlarının göreceli etkinlik puanları girdi odaklı CCR metodu ile bulunmuştur. Sonuçların neticesinde etkin olmayan havalimanları tespit edilerek sürdürülebilirlik seviyelerini iyileştirmeleri için gerekli öneriler sunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Performans, Sürdürülebilirlik, Verimlilik, VZA, Strateji, Hava taşımacılığı.

### Abstract

The sustainability impact and reporting results of air transport have become important for societies. In this field, the Global Reporting Initiative presents the reports and databases of many sectors in chronological order. Nowadays, airports all over the world transparently present their sustainability results to the public with a sense of responsibility. In this respect, measuring the sustainability performance of airports, determining the targets, and making the necessary improvements become more of an issue. In this study, the efficiency analysis of 30 international airports included in the comprehensive sustainability database of the Global Reporting Initiative was carried out using the Data Envelopment Analysis (DEA). In this context, common inputs and outputs affecting the sustainability of airports were determined and a sustainability performance measurement model was developed. The relative efficiency scores of the airports were found with the input-oriented CCR method by using the developed model. Thanks to the results, inefficient airports were identified, and necessary improvements were presented to improve sustainability levels.

**Keywords:** Performance, Sustainability, Efficiency, DEA, Strategy, Air transport.

## 1 Giriş

Bugünkü var olan ihtiyaçların ve gelecek nesillerde oluşabilecek gereksinimlerin karşılanmasıyla elde edilebilecek sürdürülebilir kalkınma, bir toplumun refahı için gereken önemli yapı taşlarından biridir [1],[2]. Bu ihtiyaçların karşılanmasında kuruluşlar küreselleşme ve teknolojik ilerlemelerle birlikte, toplumun daha yüksek bir yaşam kalitesine sahip olması için, sürdürülebilir kalkınmayı mutlak bir şekilde dikkate almalıdırlar [3]. Böylesi bir kalkınmayı sağlama noktasında ise ulaşım, önemli bir rol oynamaktadır. Hava yolu ulaşımı ise sağlamış olduğu ekonomik çıktılar, bulunduğu bölgede sağlamış olduğu istihdam fırsatları ve çevresel etkileşimle ulaşım sektöründe sürdürülebilir kalkınmaya önemli katkılar sağlamaktadır. Havaalanı sürdürülebilirliğinin önemi nedeniyle, dünyanın dört bir yanındaki topluluklar, bu konudaki sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için, amaçların ve aksiyonların belirlenmesini talep etmektedirler [4]. Sonuç olarak, günümüzde de havayolları ve havaalanları, bu aksiyonları uygulamak için mutlak surette çaba göstermektedir. Bu doğrultuda, tek kullanımlık plastik atıkların kullanımını azaltmak, bazı

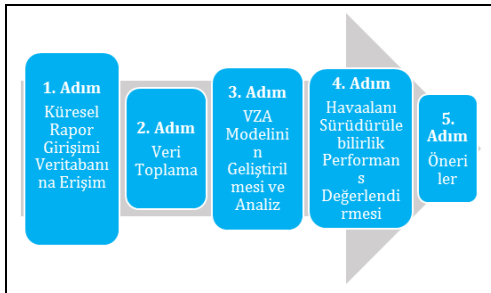
uçuşlarda tek kullanımlık plastiğin kullanılmasına yer vermemek, yine bazı uçuşlarda tek kullanımlık plastik kullanımını %80 oranında azaltma girişiminde bulunmak, geri dönüşüm bilincini arttırmak, sıfır atıklı uçuşlar gerçekleştirmek, müşterilerin tüketim yaklaşımlarını tahmin etmek için yapay zekayı kullanmak, sürdürülebilir kalkınmanın elde edilmesindeki önemli aksiyonlara örnek olarak verilebilir [5].

Bu alanda Birleşmiş Milletler 'in belirlediği sürdürülebilir kalkınma hedefleri ise, ekonomik, sosyal ve çevresel hedefler olmak üzere üç temel unsurdan oluşur [6]. Havaalanlarının sürdürülebilirliği, çevresel boyuttan incelendiğinde, sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltmada ve sıfır karbonlu ortam oluşturmada, çoğu zaman, insan kaynaklarındaki yetersizlik ve bütçe sorunları ile karşılaşmaktadır. Bu nedenle, havalimanlarının sürdürülebilirlik performanslarının artırılması için stratejik planlanmış hedeflerin belirlenmesi, bu hedeflere performans göstergeleri koyulması, atıkların giderilmesi ve verimliliğin artırılması için tüm süreçlerde yalnız bir yapı oluşturulması gerekmektedir [7]. Çevresel hedefler, sürdürülebilirlik hedeflerinin en önemlisi olarak gösterilebilir

\*Yazışılan yazar/Corresponding author

[8]. Bu nedenle dünyadaki havaalanları, çevresel etkinin büyümesini kontrollü bir şekilde yöneterek çevresel performansı geliştirmek için en iyi uygulamalarını gerçekleştirmelidir. Bu doğrultuda, Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (IATA) 'nin alternatif yakıtlar, karbon dengeleme programları, çevresel değerlendirme ve FRED + gibi havaalanlarının ve havayollarının çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için dikkate aldığı birçok faktör vardır [9].

VZA, çoklu girdi ve çıktı veri setine sahip karar verme birimlerinin verimliliğini kolektif bir şekilde göreceli olarak ölçümleyen doğrusal bir programlama tekniğidir. Çalışmamız global ölçekte faaliyet gösteren 30 farklı havalimanına ait çoklu süreç girdilerinin ve çıktılarının arasındaki ilişkiyi incelediğinden ötürü VZA metodu kullanılmıştır. Bu doğrultuda amacımız, dünyada faaliyet gösteren 30 farklı global havaalanının bütüncül bir bakış açısıyla sürdürülebilirlik performanslarının analizini gerçekleştirmektir. Bu çalışmada, giriş kısmından sonra, VZA ve Küresel Rapor Girişimi (GRI) raporlaması hakkında bir literatür incelemesi sunulmuştur. Bu bölümden sonra havaalanları için sürdürülebilirlik performans ölçüm modelinin geliştirilmesiyle ilgili metodoloji anlatılmıştır. Bu kısımdan sonra, önerilen model değişkenlerinin verileriyle ilgili dünyadaki 30 havalimanı hakkında bilgi içeren veri kaynakları ve veri toplama süreci anlatılmıştır. Daha sonra gerçekleştirilen analize dair genel bir bakışın yer aldığı sonuçlar ve bulgular bölümü yer almaktadır. Son olarak değerlendirme bölümünde ise öneriler ve gelecekteki yapılabilecek araştırma olanaklarına yer verilmiştir. Şekil 1'de çalışmanın akışını anlatan ve birbirini takip eden 5 farklı adım gösterilmektedir.



Şekil 1. Çalışmanın akış şeması.  
Figure 1. Flow chart of the study.

## 2 Literatür araştırması

VZA, karar verme birimlerinin (KVB) verimliliğini ölçmek ve analiz etmek için kullanılan matematiksel programlama yöntemidir [10]. VZA çoklu proses girdileri ve çıktıları arasındaki ilişkilerin karmaşık yapısını gidererek KVB' lere ait bütüncül bir sonuç üretir [11]. İmalat [12], inşaat [13], gıda üretimi [14],[15], elektrikli araç teknolojileri [16], enerji [17], teknoloji [18], sağlık [19] ve sanayi [20] gibi birçok alanda kullanılan VZA, bu sektörlerde sürdürülebilirlik ve performans analizinin gerçekleştirilmesini sağlamıştır. Literatürde yer alan çalışmalar ise havayollarının, sadece finansal ve ekonomik perspektiflerine odaklanmış ve havalimanlarının sosyal, çevresel ve ekonomik boyutlarını da içeren verimlilik ve performans ölçüleriyle ilgili yeterince araştırma yapılmamıştır. Bu bağlamda, örneğin, Gillen ve Lall [21], 1989 ve 1993 yılları arasında Amerika Birleşik Devletleri'ndeki en iyi 30 havalimanından 21 havalimanının performansını ölçmek için VZA metodolojisini kullanmıştır. Bu çalışmada verimlilik ölçümü ile ilgili, yer ve hava operasyonlarına ait birden fazla gösterge analize dahil edilmiştir. Transfer merkezlerine sahip

olmanın ve kapı kapasitesinin genişletilmesinin verimliliği artırdığı gözlenmiş ve ayrıca, gelir düzeyiyle güçlü bir şekilde bağlantılı olan piyasa disiplinine sahip olmanın da hava operasyonlarının verimliliği üzerinde önemli etkilerinin olduğu gözlenmiştir. Diğer bir çalışmada ise, VZA, Avrupa ve diğer kıtalarda yer alan havalimanlarının göreceli kalite seviyelerini bulmak için ana yöntem olarak kullanılmıştır. Sonuçlar, Cenevre ve Milano gibi Batı Avrupa havalimanlarının etkin olduğunu, Charles de Gaulle, Atina ve Manchester havaalanlarının sıralamada düşük seviyede raporlandığını göstermiştir [22]. Lin ve Hong [23], tüm dünyadaki 20 önemli havalimanının operasyon verimliliğini ölçmek için VZA'yı kullanmışlardır. Verimlilik seviyesine ulaşılması için, uçuş sıklığının artırılması ve uluslararası ticari faaliyetlerin iyileştirilmesi gerektiğine dikkat çekmişlerdir. Bir transfer merkezinin varlığının ve ekonomik koşulların, performans verimliliği ile güçlü bir şekilde bağlantılı önemli faktörler olduklarını bulmuşlardır. Suzuki ve diğ. [24], havaalanlarında minimum girdi ve maksimum çıktı seviyeleri ile verimliliğe ulaşmayı amaçlayan VZA ile ortak bir uygulama olan uzaklık friksiyon minimizasyonu (DFM) adı verilen bir metodolojiyi geliştirmiştir. Sunulan bu DFM modeli, geleceğe dönük öngörü yapmayı sağlarken ele alınan 30 Avrupa havaalanına performans yönetiminin etkinliğinin karşılaştırılması bir analizini yapmak üzere uygulanmıştır. Bu model, bir karar verme birimini, benzer yapıdaki diğer karar verme birimleriyle karşılaştırmak için, dengeli ve yalın bir komut kullanarak verimliliğin ölçülmesi adına avantaj sağlar. Ahn ve Min [25], 2006 ve 2011 yılları arasında, uluslararası havalimanlarının verimliliğini karşılaştırmak için VZA'yı bir kıyaslama aracı olarak kullanmışlardır. Bu çalışma, hükümet politikalarındaki ve teknolojik yeniliklerdeki değişimlerin, bir havalimanının verimliliği üzerinde kritik bir etkiye sahip olduğunu; buna karşın teknik verimliliğin havalimanının operasyonel değişikliğinden etkilendiğini göstermiştir. Bu bağlamda, büyük uluslararası havalimanlarının verimliliğinin, 2006 ve 2011 yılları arasındaki %1,7 oranında azalmasının hükümet politikası değişikliklerinden ve yönetsel çıkarımlarda kritik iyileştirmeler yerine teknolojik yeniliklerin uygulanması nedeniyle olduğu ifade edilmektedir. İyileştirmelerin yapılabilmesi için havaalanı özelleştirmeleri, havalimanı finansmanı ve işletmeleri için kamu-özel sektör ortaklıkları gibi yönetsel çıkarımlarla gerçekleştirilebilecek daha fazla uygulamaların yapılabileceği belirtilmiştir.

Diğer bir çalışmada, 2009-2014 yılları arası dikkate alınarak Türkiye'de faaliyet gösteren 21 farklı havalimanının verimlilik değerlendirmesi, VZA ve Malmquist Toplam Faktör Verimlilik İndeksi yöntemiyle yapılmıştır. Sonuçlar, bu yıllar arasında havaalanlarının verimliliğinin ve üretkenliğinin arttığını göstermiştir. Öte yandan, 2011 ve 2012 yıllarında azalan bazı verimlilik noktaları kaydedilmiştir. Bu düşüşün arkasındaki nedenin ise 2011 yılında havalimanlarının fiziksel kapasitesinin önemli ölçüde artırımından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Ayrıca, 2012 yılında havalimanlarının verimsizliğinin ana nedenleri ise düşük düzeyde yolcu ve yük trafiği olmuştur. Bu çalışmada, Türk havaalanlarının çoğunun, verimliliği azalması sorunuyla karşılaştığı, ancak teknolojik gelişmelere uyum sağladıkları sonucuna varılmıştır. Son olarak, bu çalışmada çalışma saatleri ve uluslararası trafik yüzdesi, havaalanı verimliliğine etki eden diğer varyasyonlar olarak belirlenmiştir [26].

### 3 Metodoloji

Sürdürülebilirlik raporlamaları, tüm ilgili paydaşlara, kalkınmanın ekonomik, çevresel ve sosyal yönlerini dikkate alan üçlü kâr hanesine ulaşmadaki performansının belirlenmesi konusunda şeffaflık sağlamayı amaçlamaktadır [27]. Küresel Raporlama Girişimi (GRI), hükümetlerin ve bireysel işletmelerin, etkin bir şekilde raporlama yapmalarına ve faaliyetlerinin, çevresel, sosyal ve yönetimsel sürdürülebilirliği nasıl etkilediğini kamuoyuna açıklamalarına yardımcı olmak amacıyla, kâr amacı gütmeyen, bağımsız, uluslararası bir kuruluştur [28]. Şu anda GRI, kurumsal sürdürülebilirlik raporlamasında küresel kuruluşların lideri konumunda bulunmaktadır [29]. GRI'nın temel misyonu, küresel ekonomide sürdürülebilir kalkınmayı artıran, değişimi teşvik eden ve yöneten ortak uygulama standartlarının geliştirilmesini sağlamaktır [30]. GRI raporlama sistemi sayesinde birçok kuruluş ve şirket sürdürülebilirlik raporlamalarını ölçümleyerek tüm paydaşlarına açık ve etkili bir şekilde iletebilmektedir.

GRI aracılığıyla kuruluşlar, yönetimsel, ekonomik, sosyal ve çevresel performansları hakkında sürdürülebilirlik raporlaması elde etmişlerdir. GRI'nin bu işlevleri, G4 sürdürülebilirlik raporlaması kılavuzu aracılığıyla tüm paydaşlara sunulmuştur [31]. Standartlaştırılmış, gönüllü sürdürülebilirlik raporlaması ile GRI, tıpkı rutin olarak yapılan finansal raporlamalar gibi, sektörler ve kuruluşlar arasında karşılaştırma yapılmasında katkıları sunmaktadır [32]. GRI standartları 36 modüler standart içeren bir yapı içerir. GRI 101, GRI 102 ve GRI 103'ü içeren üç evrensel standart, tüm raporlama kuruluşları için geçerlidir. İlk küresel standart olan GRI 101, raporlama yapan kuruluşa GRI standartlarının tamamını açıklayan standartlardan oluşur. İkinci evrensel standart GRI 102, kuruluşun raporladığı içeriğe ve onun raporlama uygulamalarına yöneliktir. Üçüncü küresel standart olan GRI 103 ise raporlama yapan kurumun çeşitli temel konularını nasıl yönettiği hakkında bilgi sağlamakla ilgilidir.

VZA ise, çeşitli çevresel ve ekonomik ölçümleri göz önünde bulundurarak havaalanlarının sürdürülebilirlik performansını analiz etmek için yaygın olarak kullanılan bir metottur. Bu teknik, karar verme birimlerinin (KVB) verimliliğini karşılaştırmalı olarak ölçen doğrusal bir programlama yöntemidir. VZA, her karar verme birimi için bir etkinlik puanı oluştururken, ulaşılan etkinlik puanları arasındaki karşılaştırmayı yapmaktadır [33]. Bu analiz içerisinde, araştırmanın hedefine ve niteliğine göre farklılık gösteren birçok model alternatifi mevcuttur. CCR, bu alternatifler içerisinde en çok yararlanılan modellerden biridir [34]. Eğer karar verme birimlerinin toplam etkinliklerini bulma amacı varsa ve ölçeğe göre sabit getiri üretileceği hipotezi varsa, CCR modeli kullanılabilir [35]. Bu model, birçok girdi ve çıktı değerini tek bir sonuç altında birleştirebilmektedir [36]. Bu çalışmada da etkinlik ölçümünü hassas bir şekilde yaptığından ve buna bağlı olarak gerçekçi sonuçlar oluşturduğundan, CCR modeli tercih edilmiştir [37]. VZA tekniğinin temel adımları sırasıyla şu şekildedir [38]:

1. KVB 'lerin tespit edilmesi,
2. Girdi ve çıktıların tanımlanması,
3. Girdi ve çıktılarına ait verilerin toplanması,
4. Modelin oluşturulması ve etkinlik ölçümü,
5. Sonuçların değerlendirilmesi.

VZA yönteminde bir karar verme biriminin etkinliğini hesaplamak için, öncelikle i'nci girdi için  $x_i$ , j'inci çıktı için  $y_j$  değeri tanımlanır. Daha sonra ise girdi değerleri (VI) ve çıktı değerleri (VO) şu şekilde hesaplanır [39],[40]:

$$VI = \sum_{i=1}^M u_i x_i \quad (1)$$

$$VO = \sum_{j=1}^S v_j y_j \quad (2)$$

M: Karar verme biriminin girdi sayısı. S: karar verme biriminin çıktı sayısı.  $u_i \geq 0$  : i nci girdinin ağırlığı.  $v_j \geq 0$  : j inci çıktının ağırlığı.

KVB'nin etkinlik değeri:

$$\text{Verimlilik} = \xi = \frac{VO}{VI} = \frac{\sum_{j=1}^S v_j y_j}{\sum_{i=1}^M u_i x_i} \quad (3)$$

Aşağıda verilen üç farklı denklem ise bu çalışmada kullanılan VZA modelini göstermektedir:

Amaç fonksiyonu [41].

$$\text{Maks } \xi = \frac{\sum_{j=1}^S u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^M v_i x_{ik}} \quad (4)$$

Kısıtlar:

$$\frac{\sum_{j=1}^S u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^M v_i x_{ik}} \leq 1 \quad (5)$$

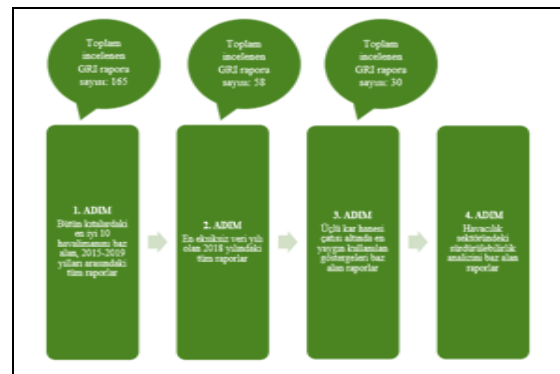
$$u_j \geq 0 \quad (6)$$
$$j = 1, \dots, M$$

$$v_i \geq 0 \quad (7)$$
$$i = 1, \dots, S$$

$x_{ik}$ : k'inci KVB'nin i'nci girdisi.  $y_{jk}$ : k'inci KVB'nin j'inci çıktısı, N: Toplam KVB sayısı.

### 4 Verilerin toplanması ve model sunumu

Verilerin toplanması sürecinde GRI raporlarından en güncel ve en çok veriyi sağlayan raporlar tespit edilmiştir. Bu raporların filtrelenmesi ve uygun raporların elde edilmesi süreci Şekil 2'de detaylıca gösterilmiştir.



Şekil 2. GRI havaalanı sürdürülebilirlik raporu analizi süreci.

Figure 2. GRI airport sustainability report analysis process.

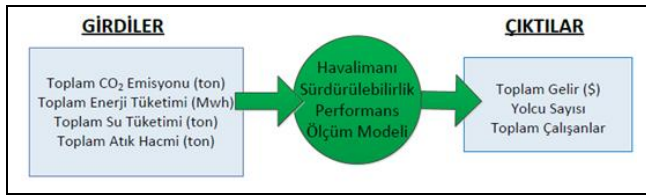
Birinci adım sonucunda, 165 GRI raporuna ulaşılmıştır. Bu raporlar 2015-2019 yılları arasındaki, Avrupa, Amerika, Asya ve Okyanusya da faaliyet gösteren en iyi on havaalanlarını kapsamaktadır. Adım 2 ise içerik açısından eksiksiz olan GRI raporlarını dikkate almıştır. Tablo 1’de verilen sürdürülebilirlik göstergeleri çerçevesinde en eksiksiz veri yılının 2018 yılı olduğu gözlenmiştir. Bu yıldaki tamamlanmış GRI raporlarının sayısı ise 58 olarak bulunmuştur. 3. adımda, bu raporlar ayrıntılı olarak analiz edilmiş ve filtrelenmiştir. Bu adımla birlikte en yaygın kullanılan göstergeleri baz alan havaalanı sürdürülebilirlik raporları incelenmiş ve ulaşılan raporların sayısı 30 olarak bulunmuştur.

Tablo 1. Havalimanlarının ekonomik, çevresel ve sosyal göstergeleri.

Table 1. Economic, environmental and social indicators of airports.

Göstergeler	Ekonomik	Çevresel	Sosyal
Toplam Gelir	✓		
Toplam Yolcu Sayısı	✓		
Dolaylı Ekonomik Etkilerin Toplam Miktarı	✓		
Toplam Çalışan Sayısı	✓		
Malzeme		✓	
CO <sub>2</sub>		✓	
Toplam Enerji Tüketimi		✓	
Elektrik Tüketimi		✓	
Su Tüketimi		✓	
Atık Hacmi		✓	
Ortalama Eğitim Sayısı			✓
Kaza Sayısı			✓
Yaralanma Oranı			✓
Mesleki Hastalık			✓
Devamsızlık oranı			✓

Bu çalışmada, Veri Zarflama Analizi için girdi değişkenlerinin minimizasyonu hedeflenmiş olup girdi yönelimli CCR modeli kullanılmıştır. Uygun performans ölçümlerinin (Girdi ve Çıktı) seçimi, (3)-(9) arasındaki denklemlerde gösterilen VZA optimizasyon modeli için kritik bir öneme sahiptir. Girdi değişkenlerinin her bir havalimanının verimlilik ölçüsü üzerindeki etkilerini bulmak için aşağıdaki önerilen model Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Önerilen VZA modelinin girdi ve çıktıları.

Figure 3. Inputs and outputs of the proposed DEA model.

Havalimanlarının sürdürülebilirlik performans modeli değişkenlerinin tanımlamaları ise aşağıda verilen Tablo 2’de yer almaktadır.

Kuramsal olarak benzerlik gösteren bir çalışmada Bai ve Sarkis [42] tedarikçiler için sürdürülebilirlik performans değerlendirmesini gerçekleştiren ve sürdürülebilir tedarik zinciri temel performans göstergelerinin (KPI) temelini oluşturan bir metodoloji geliştirmişlerdir. Bu çalışma öncelikle tedarik zinciri performans ölçümüne ait kompleks yapıyı ele almıştır. Daha sonra iki aşamalı olarak temel performans göstergelerini belirlemek için komşuluk kaba küme teorisi kullanılmış ve göreceli performansı kıyaslamak için belirlenen

temel performans göstergeleri ile de VZA gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar komşuluk kaba kümeler teorisi ile temel performans göstergelerinin belirlenebileceğini ve VZA ile tedarikçilerin göreceli performanslarına ait önemli bilgilerin sağlanabileceğini göstermiştir. Ayrıca hem komşuluk kaba kümeler teorisi hem de VZA’dan elde edilen tedarik zinciri sürdürülebilirlik performans sonuçları, oldukça hassas parametreler seçilmesini sağlamakla birlikte belirlenen parametreler sürdürülebilirlik temel performans göstergelerinin setlerini oluşturmuştur. Bizim yapmış olduğumuz çalışmada da öncelikli olarak sürdürülebilirlik performansına etki eden temel performans göstergeleri belirlenmiştir. Bu temel performans göstergeleri kapsamında 30 farklı havalimanına ait veri toplama aşaması gerçekleştirilmiştir. Toplanan veriler neticesinde VZA uygulaması gerçekleştirilmiş ve havalimanlarının göreceli etkinlik puanları bulunmuştur.

Tablo 2. Havalimanlarının sürdürülebilirlik performans modeli değişkenleri ve tanımlamaları.

Table 2. The sustainability performance model variables and definitions of airports.

Girdiler (Birim)	Ayrıntılar
Toplam CO <sub>2</sub> Emisyonu (ton)	Belirli bir yıl ve bölge için atmosfere salınan toplam karbondioksit ve sera gazı miktarı
Toplam Enerji Tüketimi (Mwh)	Belirlenen yıl içerisinde havalimanının tükettiği toplam enerji miktarı
Toplam Su Tüketimi (ton)	Bir yıl içinde havalimanının tükettiği toplam su miktarı
Toplam Atık Hacmi (ton)	Bir yıl içinde havalimanının oluşturduğu toplam atık miktarı
ÇIKTILAR (Birim)	AYRINTILAR
Toplam Gelir (\$)	Bir yıl içindeki yönetim tarafından hesaplanan havalimanının toplam geliri
Toplam Yolcu Sayısı	Havalimanının yolculara açık olan kısımları hesaplandıktan sonra, her bir metrakareye düşen yıllık yolcu sayısı
Toplam Çalışan Sayısı	Bir yıl içinde havalimanında çalışan kişi sayısı

## 5 Analiz ve sonuçlar

Bu çalışmada, havalimanlarının görece etkinlik puanları, CCR modeli kullanılarak DEA Solver programı ile bulunmuştur. Sunulan modelin hedefi, havalimanlarının sürdürülebilirlik performansı açısından etkin olup olmadığını tespit etmektir. Sunulan modelde amaç fonksiyonunun değeri 1 ise, havaalanı etkin; 1’den küçük ise etkin olmayan havalimanı olarak tanımlanmıştır. Tablo 3’te değişkenlere ait en az, en çok, ortalama ve standart sapma başlıkları altında açıklamalı istatistik değerleri verilmiştir.

Girdi ve çıktı değişkenlerinin arasındaki korelasyon katsayısı değerleri de hesaplanarak Tablo 4’te sunulmuştur. Buna göre toplam su tüketimi ile toplam gelir arasında 0.49 korelasyon katsayısı değeri ile en yüksek ilişki gözlenmiştir. Diğer taraftan toplam enerji tüketimi ve toplam yolcu sayısı değişkenleri arasındaki ilişki katsayısı 0.01 olarak bulunmuştur.

Yapılan analiz sonucunda elde edilen etkinlik puanları Tablo 5’te sunulmuştur. Sonuçlara göre analiz edilen havaalanlarının etkinlik puanı ortalaması 0.638 olarak elde edilmiştir. Bu değerlerin standart sapması 0.314, maksimum değeri 1 ve minimum değeri ise 0.165 olarak bulunmuştur. Ortalama değer düşük olmasının sebebi KVB’lerin %50’den azının göreceli olarak sürdürülebilirlik performansının verimli olmamasından kaynaklanmaktadır. Standart sapma değerinin

de 0.314 değerine sahip olması genel etkinlik puanlarının dağılım aralığının dar olmasındandır. Diğer taraftan ise, etkin olmayan havalimanlarının hali hazırda referans kümelerinde yer alan havalimanları ile karşılaştırılması yapılarak verimli bir havalimanına dönüşmeleri için mutlak iyileştirilmeleri gerekmektedir. Etkin olmayan karar birimleri ayrı ayrı incelenerek etkin hale gelebilmeleri için hangi havaalanlarını örnek alacakları tespit edilmiş ve bunun da girdi değerlerinde yapılabilecek iyileştirmelerle sağlanmasının mümkün olacağı belirlenmiştir. Buna göre etkin olan havaalanlarının referans kümesinde yer alma frekanslarına bakılmış ve bu sayılar Tablo 6’te verilmiştir. Örneğin, Dublin, sürdürülebilirlik performansı açısından verimli bir havalimanıdır. Bu havalimanı diğer etkin olmayan havalimanlarının referans setinde 16 defa yer almıştır.

Tablo 7’de ise etkin olmayan havalimanlarına karşılık hangi havalimanlarının referans olduğu verilmiştir. Sydney havalimanının referans setinde 4 farklı havalimanıyla kıyaslama yapılırken; İstanbul Atatürk, Thailand ve Roma havalimanlarının referans setinde 3 farklı havalimanı görülmektedir. Etkin olmayan her bir havalimanının etkin olabilmeleri için referans setlerindeki havalimanlarına ait girdi ve çıktı değerlerine atanan ağırlık değerleriyle çarpılmış ve ulaşılan değerler toplanmıştır. Böylelikle, etkin olmayan havalimanlarının optimum girdi değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerler etkin olmayan havalimanlarına ait hedeflenen değer olarak tanımlanmıştır.

Tablo 3. Girdi/çıkı oranlarının istatistikleri.

Table 3. Statistics of input/output ratios.

	Emisyonlar	Enerji	Su	Atık	Gelir	Yolcu	Çalışanlar
Maks.	8507306	1140000	17722541	180000	61700000000	736000000	40000
Min.	4562	1141	29739	1068	49939915	1818229	348
Ortalama	702004	292820	2018558	25561,8	4602998691	61529660	5196,6
Standart Sapma	1653354	263949	3540682	32930,1	12586965894	128169777	8732,18

Tablo 4. Girdi ve çıktıların korelasyon matrisi.

Table 4. Correlation matrix of input and output variables.

	Emisyon	Enerji	Su	Atık	Gelir	Yolcu	Çalışan
Emisyon	1.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04
Enerji	0.00	1.00	0.04	0.09	0.00	0.01	0.09
Su	0.00	0.04	1.00	0.00	0.49	0.00	0.36
Atık	0.01	0.09	0.00	1.00	0.16	0.01	0.00
Gelir	0.00	0.00	0.49	0.16	1.00	0.00	0.36
Yolcu	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	1.00	0.00
Çalışan	0.04	0.09	0.36	0.00	0.36	0.00	1.00

Tablo 5. Havalimanlarının etkinlik puanları.

Table 5. Airport efficiency points.

Havalimanı	Etkinlik Puanı	Havalimanı	Etkinlik Puanı
Ljubljana	0.3173	Mariscal Sucre	0.7778
Geneve	0.3522	Paris CDG	0.1651
Roma	0.5233	Paris Orly	0.2526
Dublin	1	Brisbane	1
Singapur	0.3811	Athens	0.2611
Manchester	1	Istanbul Atatürk	0.7254
Zurich	1	Sydney	0.3977
Malta	0.5588	Seoul	0.1863
Vienna	1	Hamad	1
Malpensa	0.3546	Hongkong	1
Linate	0.5445	Munich	0.6474
Frankfurt	1	DFW	1
Stockholm	0.4094	Vancour	0.2581
Oslo	0.6268	Thailand	0.3936
El Dorado	1	San Francisco	1

Tablo 6. Etkin havalimanlarının referans kümesi frekansı.

Table 6. Reference set frequency of efficient airports.

Referans Havalimanı	Görülme Sıklığı
Dublin	16
Zurich	2
Vienna	7
Frankfurt	3
El Dorado	3
Brisbane	3
Hongkong	16
DFW	7
San Francisco	14

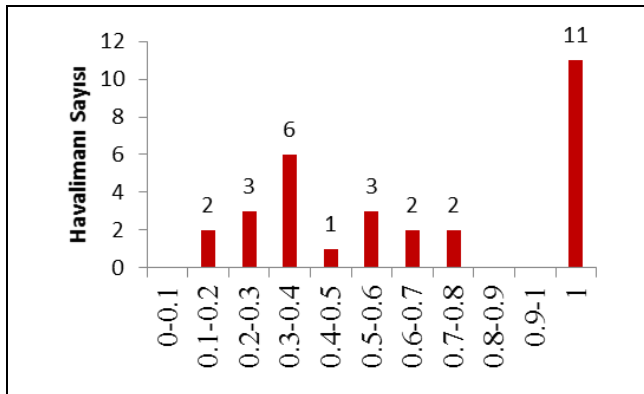
Tablo 7. Etkin olmayan havalimanlarının referans setleri.

Table 7. Reference sets of inefficient airports.

Havalimanı	Referans Havalimanları
LJUBLJANA	Dublin, Hongkong, San Francisco
GENEVE	Dublin, Vienna, Hongkong, DFW, San Francisco
ROMA	Dublin, Hongkong, San Francisco
SİNGAPUR	Vienna, Brisbane, Hongkong, DFW, San Francisco
MALTA	Dublin, Hongkong, San Francisco
MALPENSA	Dublin, Hongkong, San Francisco
LİNATE	Dublin, Frankfurt, San Francisco
STOCKHOLM AIRPORT	Dublin, Zurich, Vienna, Hongkong
OSLO	Dublin, Vienna, Frankfurt, Hongkong
MARİSCAL SUCRE	Dublin, El Dorado, DFW
PARİS CDG	Dublin, Zurich, Vienna, Hongkong, DFW, San Francisco
PARİS ORLY	Dublin, Vienna, Brisbane, Hongkong, San Francisco
ATHENS	Dublin, El Dorado, Hongkong, DFW
İSTANBUL ATATURK	Dublin, El Dorado, Hongkong
SDYNEY	Brisbane, Hongkong, DFW, San Francisco
SEOUL	Dublin, Hongkong, DFW, San Francisco
MUNİCH	Dublin, Vienna, Frankfurt, San Francisco
VANCOUR	Hongkong, San Francisco
THAİLAND	Dublin, Hongkong, San Francisco

## 6 Bulgular

Önerilen CCR modelinde, girdi değerlerini minimize etme ve böylelikle karar verme birimlerini sürdürülebilirlik performansı açısından verimlilik seviyesine ulaştırma hedefi vardır. Bu nedenle birçok etkinlik analizinde kullanıldığı gibi DEA Solver programı kullanılarak girdi odaklı CCR modeli çalıştırılmıştır. Bütün havalimanlarının birlikte analiz edilerek elde edilen etkinlik puanlarına bakıldığında farklı verimlilik alanlarına dağıldığı gözlemlenmiştir. Şekil 4'te görüldüğü üzere 0.2 etkinlik puanının altında 2 havalimanı, 0.4 etkinlik puanının altında 11 havalimanı, 0.8 etkinlik puanının altında 19 havalimanı olduğu görülmektedir. Bununla birlikte 19 havalimanının etkinlik puanı 1'in altında elde edilmiş ve bu değer aynı zamanda verimsiz havalimanı sayısına işaret etmektedir. Diğer taraftan geriye kalan 11 havalimanı ise "1" etkinlik puanını elde ederek tüm havalimanlarının içinde göreceli olarak verimli ve etkin havalimanı kategorisi içinde yer almışlardır.

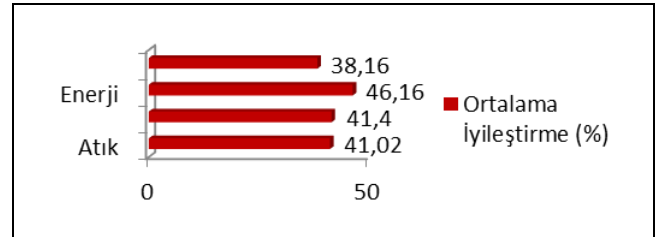


Şekil 4. Etkinlik puanlarının dağılımı.

Figure 4. Distribution of efficiency points.

Tüm havalimanlarının etkinlik puanları dikkate alındığında KVB'lere ait ortalama puan 0.638 olarak bulunmuştur. Sonuçlara göre 16 havalimanı ortalamasının altında etkinlik puanına sahip olmuşlardır. Bunun başlıca nedenlerden biri modelde yer alan çıktı değişkenlerinin özellikle toplam gelirin

istenilen seviyelerde olmamasındandır. Ayrıca Şekil 5'te görüldüğü gibi genel olarak 30 havalimanının, sürdürülebilirlik performansı açısından daha verimli olabilmesi için, karbon emisyon miktarını ortalama %38.16, enerji tüketimlerini ortalama %46.16, su tüketimlerini ortalama %41.4 ve son olarak ürettikleri atık miktarını ortalama %41.02 seviyesinde iyileştirmeleri gerekmektedir.



Şekil 5. Ortalama iyileştirme seviyeleri.

Figure 5. Average improvement levels.

Kullanılan model itibarıyla etkin olmayan havalimanlarının verimli hale gelebilmeleri için girdi değerleri dikkate alınmalı ve yapılacak iyileştirmeler mevcut veriler üzerinden değerlendirilmelidir. Örneğin, sürdürülebilirlik performansı en düşük olan ve 0.16 etkinlik puanına sahip Paris CDG havalimanına ait mevcut ve hedeflenen optimum girdi değerleri Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. En verimsiz havalimanı ve hedef değerler.

Table 8. The most inefficient airport and target values.

Paris CDG (Etkinlik=0,16)	Mevcut Değer	Hedef Değer	Ortalama İyileştirme (%)
Emisyon	971375	160392	
Enerji	679673	112227	
Su	3561000	587988	83.49
Atık	51100	8437,56	

Kurulan model doğrultusunda, yapılan analizle, verimsizliğe neden girdi değişkenlerindeki fazlalıklar hesaplanmıştır. Bu doğrultuda, sürdürülebilirlik performansı açısından en verimsiz havalimanı olan Paris CDG'yi incelediğimizde, bu havalimanının referans kümesinde 6 adet havalimanının olduğu görülmüştür. Referans kümesindeki havalimanlarının girdi değerlerine atanan ağırlıklar ise sırasıyla Dublin için

0.814, Zürih için 0.002, Vienna için 0.265, Hong-Kong için 0.052, DFW için 0.01, San-Francisco için ise 0.011 olarak bulunmuştur. Dolayısıyla Paris CDG havalimanının verimli hale gelebilmesi için kıyaslama yapılan diğer 6 havalimanının girdi değerleriyle atanan ağırlıkların çarpılması sonucunda elde edilen değerler toplanır ve havalimanına ait optimum girdi değerleri bu şekilde hesaplanır. Tablo 8'de ulaşılan toplam değerler, verimsiz olan havalimanına ait mevcut değerlerin ve ulaşılması gereken hedef değerler ile girdilerde yapılması istenen ortalama iyileştirme değerini göstermektedir. Sürdürülebilirlik performansı açısından verimsiz havalimanına ait kullanılan model değişkenleri verimli bir havalimanı haline gelinebilmesi için iyileştirilmelidir. Örneğin, kaynak kullanımı açısından, havalimanında tüketilen su miktarı 3561000 tondan 587988 tona düşürülmelidir. Bu değışkене ait girdi değerlerinde ise ortalama %83,49'luk bir iyileştirme yapılması gerekmektedir. Diğer taraftan, bu havalimanına ait emisyon miktarı 971375 tondan 160392 tona düşürülmelidir. Aynı zamanda verimli bir havalimanı seviyesi için enerji tüketimi 679673 Mwh'dan 112227 Mwh'a düşürülmeli ve üretilen atık miktarı 51100 tondan 8437.56 tona indirilmelidir.

## 7 Değerlendirme

Bu araştırmada havalimanlarının sürdürülebilirlik performansını ve verimliliğini ölçmek için kullanılan VZA'dan yararlanılmıştır. VZA modelinde kullanılan veriler, 30 havalimanının tümünün sürdürülebilirlik performanslarını değerlendirmek için özgün kaynaklarından toplanmıştır. Bu çalışmada uygulanan model ile verimli ve sürdürülebilir havaalanları bulunmuş ve sürdürülebilirlik performansı istenilen seviyede olmayan havalimanlarını iyileştirmek için gerekli uygulamalar önerilmiştir. Öne sürülen çalışmada, sürdürülebilirlik performansı açısından incelenen 30 havalimanının etkinlik puanlarına bakıldığında, ortalamanın altında kalan havalimanı sayısının 16, ortalamanın üstündeki havaalanı sayısının ise 14 olduğu gözlenmiştir. Sürdürülebilirlik performansı açısından verimli olarak nitelendirilen havalimanı sayısı ise 11 olarak bulunmuştur.

Bu verilerin neticesinde, etkin olmayan havalimanlarının sürdürülebilirlik açısından daha verimli hale gelebilmeleri için girdilerde ne gibi iyileşmeler yapılması gerektiği bulunmuştur. 30 havalimanı için, karbon emisyon miktarının ortalama %38.16, enerji tüketiminin ortalama %46.16, su tüketiminin ortalama %41.4 ve son olarak oluşan atık miktarının ortalama %41.02 seviyesinde azaltılması gerektiği hesaplanmıştır.

Yapılan başka bir araştırmada, son on yılda, havalimanlarının yolcu hacminin ikiye katlanarak 464 bine ulaştığı; ancak bu havalimanlarının hepsinin sürdürülebilirlik performansı açısından verimlilik seviyesinde olması halinde yıllık yalnızca 166 bin yolcuyla işletme bütçelerini karşılayabilecekleri bulunmuştur [43]. Havalimanlarının bu verimlilik seviyesine ulaşabilmelerinin çalışmamızda da bahsedildiği üzere oluşturdukları CO2 emisyonlarını ve atıkları azaltarak, tükettikleri su ve enerji miktarını da düşürerek mümkün olabileceği belirlenmiştir. Bunların hayata geçirilmesi halinde maliyetlerin de düşmesiyle beraber toplam gelirin artacağı, aynı zamanda da emisyonların ve atıkların azalması sayesinde çevreye olumlu etki sağlanabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu açıdan, araştırmamızdaki bulgularımız, sadece havalimanı yöneticilerinin ve işletmecilerinin değil aynı zamanda politika belirleyenlerin ve düzenleyicilerin de ilgisini çekebilecek niteliktedir. Havalimanlarının performansının ve çevresel sürdürülebilirliğinin nasıl iyileştirilebileceğine ışık tutması açısından, çalışmamız bu yönüyle önem taşımaktadır.

Araştırmamızdaki temel hedef, havalimanlarının sürdürülebilirlik performansını arttırmaktır. Bu çerçevede, emisyonlar, su tüketimi, enerji tüketimi ve oluşan atık hacmi olarak belirlenen girdilerin azaltılması; toplam gelir, yolcu sayısı ve çalışan sayısı olarak belirlenen çıktılarda artırılması tavsiye edilmektedir. Diğer taraftan politika belirleyenlerin, emisyon, su, enerji ve atık yönetimini verimli bir şekilde sağlayacak politikalar geliştirmesi beklenirken müşteri memnuniyetini ve çalışan mutluluğunu da dikkate almaları önem arz etmektedir [44]. Bu doğrultuda müşteri memnuniyetinin artırılması adına anketler düzenlenip, memnuniyet yüzdeleri bulunarak havaalanı yer operasyonlarında iyileştirmeler yapılabilir ve yolculara sunulan servis kalitesi iyileştirilerek müşteri memnuniyeti artırılabilir. Böylelikle müşterilerin havaalanı içinde daha çok vakit geçirmeleri sağlanarak toplam gelirde artış sağlanabilir. Emisyon yönetimi açısından ise havalimanlarında yeşil teknoloji ürünleri kullanılarak, CO2 emisyonu azaltılabilir. Atık yönetimi için oluşan atıkların geri dönüşümü yapılabilir. Enerji verimliliğini sağlama noktasında alternatif enerji kaynakları kullanılarak hem daha az enerji tüketimi sağlanabilir hem de iklim değişikliği açısından olumlu etki oluşturulabilir. Yenilenebilir jet yakıtları kullanılıp, emisyonlar azaltılabilir ve daha az enerji tüketimi sağlanabilir. Sonuç olarak, havalimanları sürdürülebilirlik performansını artırma hedefine, müşteriyi merkeze alarak, sosyal gelişmeyi sağlayarak, ekonomiyi iyileştirerek ve çevre sorununu dikkate alarak ulaşabilir [45].

Gelecekte yapılacak çalışmalarda elde edilen sonuçları daha verimli kılmak ve havaalanlarının bu sonuçları kendilerine daha yaygın bir şekilde adapte edebilmelerini sağlamak adına yayınlanan GRI raporlarından daha fazla sayıda sürdürülebilirlik verisi toplanarak daha geniş bir çalışma sunulabilir.

Son fakat bir o kadar da önemli olarak, bu araştırma temel kaynaklardan toplanarak ölçülebilen gerçek veri ve bilgileri içerdiğinden havalimanları için özellikle çevresel göstergelerin sonuçlarını dikkate alma noktasında ve performanslarını iyileştirmesi anlamında referans bir çalışma olarak değerlendirilebilir.

## 8 Conclusion

DEA, which is used to measure the sustainability performance and efficiency of airports, was used in this research. The data used in the DEA model have been collected from original sources to evaluate the sustainability performance of all 30 airports. With the model applied in this study, efficient and sustainable airports were found and the necessary practices were proposed to improve the airports whose sustainability performance is not at the desired level. When the efficiency scores of 30 airports were examined in terms of sustainability performance in the proposed study, it was observed that the number of airports below the average was 16 and the number of airports above the average was 14. The number of airports considered efficient in terms of sustainability performance was found to be 11.

As a result of these data, it was found out what improvements should be made in inputs for inefficient airports to become more efficient in terms of sustainability. For 30 airports, it has been calculated that the amount of carbon emission should be reduced on average 38.16%, energy consumption on average 46.16%, water consumption on average 41.4%, and finally the amount of waste generated 41.02%.

In another study, in the last ten years, the passenger volume of airports doubled and reached 464 thousand; However, it has been found that if all of these airports are at the efficiency level in terms of sustainability performance, they can meet their operating budgets with only 166 thousand passengers per year [42]. As mentioned in our study, airports can reach this level of efficiency by reducing the CO2 emissions and wastes they generate, and by reducing the amount of water and energy they consume. It has been concluded that if these are put into practice, the total income will increase together with the reduction of costs, and at the same time, a positive impact on the environment can be achieved by reducing emissions and wastes. In this respect, our findings in our research have the feature to attract not only airport managers and operators but also policymakers and regulators. Our study is important in this respect, as it sheds light on how to improve the performance and environmental sustainability of airports. The main goal of our research is to increase the sustainability performance of airports. In this context, reducing the inputs determined as emissions, water consumption, energy consumption, and waste volume; It is recommended to increase the outputs determined as total income, several passengers, and several employees. On the other hand, policymakers need to take customer satisfaction and employee happiness into account while they are expected to develop policies that will ensure efficient emission, water, energy, and waste management [40]. In this direction, to increase customer satisfaction, surveys can be conducted and satisfaction percentages can be found to improve airport ground operations and customer satisfaction can be increased by improving the service quality offered to passengers. In this way, customers can spend more time in the airport and increase the total income. In terms of emission management, CO2 emission can be reduced by using green technology products at airports. Waste generated for waste management can be recycled. By using alternative energy sources at the point of ensuring energy efficiency, less energy consumption can be achieved and a positive effect can be created in terms of climate change. By using renewable jet fuels, emissions can be reduced and less energy consumption can be achieved. As a result, airports can achieve their goal of increasing their sustainability performance by centering the customer, ensuring social development, improving the economy, and taking into account the environmental problem [41].

A wider study can be presented by collecting more sustainability data from published GRI reports in order to make the results obtained in future studies more efficient and to enable airports to adapt these results to them more widely.

Last but not least, since this research contains real data and information that can be measured by gathering from basic sources, it can be considered as a reference study for airports, especially considering the results of environmental indicators and improving their performance.

## 9 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada, Muhammet Enis Bulak, konsept modelin oluşturulması, metodoloji ve analiz kısımlarına; Funda Hatice Sezgin, yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesinde, Fatma Serra Çiftçi, literatür çalışması, elde edilen sonuçların yorumlanması ve sonuçların incelenmesi konusunda katkı sunmuşlardır.

## 10 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## 11 Kaynaklar

- [1] Halisçelik E, Soytaş MA. "Sustainable development from millennium 2015 to sustainable development goals 2030". *Sustainable Development*, 27(4), 545-572, 2019.
- [2] Kutty A, Abdella GM, Kucukvar M, Onat NC, Bulu M. "A system thinking approach for harmonizing smart and sustainable city initiatives with united nations sustainable development goals". *Sustainable Development*, 28(5), 1347-1365, 2020.
- [3] Zhang Y, Shen L, Shuai C, Tan Y, Ren Y, Wu Y. "Is the low-carbon economy efficient in terms of sustainable development? A global perspective". *Sustainable Development*, 27, 130-152, 2019.
- [4] Kaszewski AL, Sheate WR. "Enhancing the sustainability of airport developments". *Sustainable Development*, 12(4), 183-199, 2004.
- [5] FTE. "Airport and Airline Sustainability Initiatives". <https://www.futuretravelexperience.com/2019/07/7-airport-airline-sustainability-initiatives-reduce-environmental-impact/> (20.08.2020).
- [6] Nilsson M, Griggs D, Visbeck M. "Policy: Map the interactions between sustainable development goals". *Nature*, 534(7607), 320-322, 2016.
- [7] Carlucci F, Cirà A, Coccorese P. "Measuring and explaining airport efficiency and sustainability: Evidence from Italy". *Sustainability*, 10(2), 400-417, 2018.
- [8] Uçal Sarı İ, Çayır Ervural B, Bozat S. "Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde DEMATEL yöntemiyle tedarikçi değerlendirme kriterlerinin incelenmesi ve sağlık sektöründe bir uygulama". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4), 477-485, 2017.
- [9] IATA. "Improving Environmental Performance". <https://www.iata.org/en/programs/environment/> (20.08.2020).
- [10] Park YS, Egilmez G, Kucukvar M. "Emergy and end-point impact assessment of agricultural and food production in the United States: A supply chain-linked ecologically-based life cycle assessment". *Ecological Indicators*, 62, 117-137, 2016.
- [11] Cooper WW, Seiford LM, Zhu J. *Handbook on Data Envelopment Analysis*. 2<sup>nd</sup> ed. New York, USA, Springer, 2011.
- [12] Egilmez G, Kucukvar M, Tatari O. "Sustainability assessment of US manufacturing sectors: an economic input output-based frontier approach". *Journal of Cleaner Production*, 53, 91-102, 2013.
- [13] Tatari O, Kucukvar M. "Eco-efficiency of construction materials: data envelopment analysis". *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(6), 733-741, 2012.
- [14] Egilmez G, Gumus S, Kucukvar M, Tatari O. "A fuzzy data envelopment analysis framework for dealing with uncertainty impacts of input-output life cycle assessment models on eco-efficiency assessment". *Journal of Cleaner Production*, 129, 622-636, 2016a.
- [15] Egilmez G, Kucukvar M, Park YS. "Supply chain-linked sustainability assessment of the US manufacturing: an ecosystem perspective". *Sustainable Production and Consumption*, 5, 65-81, 2016b.



- [16] Onat NC, Noori M, Kucukvar M, Zhao Y, Tatari O, Chester M. "Exploring the suitability of electric vehicles in the United States". *Energy*, 121, 631-642, 2017.
- [17] Li F, Xie J, Wang W. "Incentivizing sustainable development: The impact of a recent policy reform on electricity production efficiency in China". *Sustainable Development*, 27(4), 770-780, 2019.
- [18] Supçiller AA, Bulak ME. "Mobil uygulamaların performanslarının veri zarflama analizi ile değerlendirilmesi". *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(3), 711-723, 2020.
- [19] Esenlik Telatar D, Sari K. "Ağız ve diş sağlığı hizmeti sunan tesislerin etkinlik ölçümü için bir veri zarflama analizi modeli". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(4), 768-778, 2020.
- [20] Goto M, Sueyoshi T. "Sustainable development and corporate social responsibility in Japanese manufacturing companies". *Sustainable Development*, 28(4), 844-856, 2020.
- [21] Gillen D, Lall A. "Developing measures of airport productivity and performance: an application of data envelopment analysis". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 33(4), 261-273, 1997.
- [22] Adler N, Berechman J. "Measuring airport quality from the airlines' viewpoint: an application of data envelopment analysis". *Transport Policy*, 8(3), 171-181, 2001.
- [23] Lin LC, Hong CH. "Operational performance evaluation of international major airports: An application of data envelopment analysis". *Journal of Air Transport Management*, 12(6), 342-351, 2006.
- [24] Suzuki S, Nijkamp P, Rietveld P, Pels E. "A distance friction minimization approach in data envelopment analysis: a comparative study on airport efficiency". *European journal of operational research*, 207(2), 1104-1115, 2010.
- [25] Ahn YH, Min H. "Evaluating the multi-period operating efficiency of international airports using data envelopment analysis and the Malmquist productivity index". *Journal of Air Transport Management*, 39, 12-22, 2014.
- [26] Orkcü HH, Balıkcı C, Dogan MI, Genç A. "An evaluation of the operational efficiency of Turkish airports using data envelopment analysis and the Malmquist productivity index: 2009-2014 case". *Transport Policy*, 48, 92-104, 2016.
- [27] Lozano R, Huisinigh D. "Inter-linking issues and dimensions in sustainability reporting". *Journal of Cleaner Production*, 19(2-3), 99-107, 2011.
- [28] Kılış Ş, Kılış Ş. "Benchmarking airports based on a sustainability ranking index". *Journal of Cleaner Production*, 130, 248-259, 2016.
- [29] Alonso-Almeida DM, Llach J, Marimon F. "A closer look at the 'Global Reporting Initiative'sustainability reporting as a tool to implement environmental and social policies: A worldwide sector analysis". *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 21(6), 318-335, 2014.
- [30] Pucheta-Martínez MC, Bel-Oms I, Nekhili M. "The contribution of financial entities to the sustainable development through the reporting of corporate social responsibility information". *Sustainable Development*, 27(3), 388-400, 2019.
- [31] Antonini C, Larrinaga C. "Planetary boundaries and sustainability indicators. A survey of corporate reporting boundaries". *Sustainable Development*, 25(2), 123-137, 2017.
- [32] Habek P, Wolniak R. "Assessing the quality of corporate social responsibility reports the case of reporting practices in selected European Union Member States". *Quality Quantity*, 50(1), 399-420, 2016.
- [33] Cooper W, Seiford WLM, Tone K. *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*. 2<sup>nd</sup> ed. New York, USA, Springer, 2007.
- [34] Cooka WD, Seiford LM. "Data envelopment analysis (DEA)". *Thirty Years on European Journal of Operational Research*, 192, 1-17, 2009.
- [35] Özden ÜH. "Veri zarflama analizi (VZA) ile Türkiye'deki Vakıf Üniversitelerinin etkinliğinin ölçülmesi". *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 37(2), 167-185, 2008.
- [36] Charnes A, Cooper WW, Rhodes EL. "Measuring the Efficiency of Decision Making Units". *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444, 1978.
- [37] Lombardi GV, Stefani G, Paci A, Becagli C, Miliacca M, Gastaldi M, Giannetti BF, Almeida CMVB. "The sustainability of the italian water sector: an empirical analysis by DEA". *Journal of Cleaner Production*, 227(1), 1035-1043, 2019.
- [38] Özdemir A, Demireli E. "Ağırlık kısıtlı veri zarflama analizi ile mevduat bankalarının etkinlik ölçümüne yönelik bir uygulama". *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 9(19), 215-238, 2013.
- [39] Onat NC, Kucukvar M, Halog A, Cloutier S. "Systems thinking for life cycle sustainability assessment: A review of recent developments, applications, and future perspectives". *Sustainability*, 9(5), 1-25, 2017ba.
- [40] Onat NC, Noori M, Kucukvar M, Zhao Y, Tatari O, Chester M. "Exploring the suitability of electric vehicles in the United States". *Energy*, 121, 631-642, 2017b.
- [41] Özsoy VS, Örcü M, Örcü H. "Karma-tamsayı iki aşamalı veri zarflama analizi modeli ile etkin tedarikçi seçimi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(4), 758-767, 2020.
- [42] Bai C, Sarkis J. "Determining and applying sustainable supplier key performance indicators". *Supply Chain Management*, 19(3), 275-291, 2014.
- [43] Adler N, Berechman J. "Measuring airport quality from the airlines' viewpoint: an application of data envelopment analysis". *Transport Policy*, 8(3), 171-181, 2001.
- [44] TAV Havalimanları. "Sürdürülebilirlik Raporu 2014-2015". [http://ir.tav.aero/uploads/documents/Documents29032020185558\\_.pdf](http://ir.tav.aero/uploads/documents/Documents29032020185558_.pdf) (20.08.2020).
- [45] Swedavia Airports. "Annual and Sustainability Report 2018". <https://www.swedavia.com/globalassets/om-swedavia/roll-och-uppdrag/swedavias-annual-and-sustainability-report-2018.pdf> (20.08.2020).