




RESEARCH ARTICLE / Araştırma Makalesi

<https://doi.org/10.37093/ijsi.1277040>

## İki Aşamalı Ağ Veri Zarflama Analizinde Çapraz Etkinlik Ölçümü: Türkiye Havalimanları Uygulaması

Nagihan Memiş\* 

Gül Gökay Emel\*\* 

### Öz

Bu çalışma, bir sistemin genel etkinliğinin sisteminin alt süreçlere ayrıştırılarak ölçülmesini ele almaktadır. Uygulama alanı olarak Türkiye için önemli bir hizmet sektörü olan havayolu sektörü seçilmiştir. Yazın incelendiğinde, Türk havayolu sektöründe yapılan etkinlik çalışmalarında üretim sürecinin tek aşamalı olarak ele alınarak geleneksel Veri Zarflama Analizi (VZA) ile gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu çalışmada ise havalimanlarının genel etkinliğinin, operasyonel ve gelir etkinliği olmak üzere iki alt etkinlik bazında, daha ayrıntılı bir şekilde Ağ Veri Zarflama Analizi ile ölçülmesi amaçlanmıştır. Etkinlik analizinde Kao ve Hwang'ın (2008) ilişkisel Ağ Veri Zarflama Analizi modeli kullanılmıştır. Etkinlik değerlerinin sıralanmasında ise Kao ve Liu'nun (2019) Çapraz Etkinlik Ölçümü kullanılarak akran değerlendirmeden yararlanılmıştır. Çalışmada, Devlet Hava Meydanları İşletmesi tarafından işletilen ve 2019 yılı itibarı ile yıllık yolcu trafiği 400.000'in üzerinde olan 27 havalimanı incelenmiştir. Yapılan analizlerde, görece tam etkinliğe sahip bir havalimanı tespit edilememişken, bazı havalimanlarının alt süreçler bakımından kısmen etkin olduğu bulgusuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ağ Veri Zarflama Analizi, Havalimanı Etkinliği, Çapraz Etkinlik Ölçümü

**JEL Kodları:** D70, D24

**Cite this article:** Memiş, N., & Gökay Emel, G. (2024). İki aşamalı ağ veri zarflama analizinde çapraz etkinlik ölçümü: Türkiye havalimanları uygulaması. *International Journal of Social Inquiry*, 17(1), 45–67. <https://doi.org/10.37093/ijsi.1277040>

\* Araş. Gör. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi, İşletme Bölümü, Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye (Sorumlu Yazar).

E-posta: [nagihanmemis@uludag.edu.tr](mailto:nagihanmemis@uludag.edu.tr), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3423-0835>

\*\* Doç. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi, İşletme Bölümü, Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye

E-posta: [ggokay@uludag.edu.tr](mailto:ggokay@uludag.edu.tr), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2921-1368>

### Article Information

Çalışmada Kullanılan Kısaltmalar (Abbreviations): AVZA, Ağ Veri Zarflama Analizi; CRS, Constant Return to Scale; DEA, Data Envelopment Analysis; DHMİ, Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü; GE, Gelir Etkinliği; KVB, Karar Verme Birimi; NDEA, Network Data Envelopment Analysis; OE, Operasyonel Etkinlik; VZA, Veri Zarflama Analizi.

Received 04 April 2023; Revised 06 January 2024; Accepted 16 January 2024; Available online 30 April 2024

## Cross Efficiency Measurement in Two-Stage Network Data Envelopment Analysis: An Application of the Airports in Türkiye

### Abstract

This study deals with measuring the overall efficiency of a system by breaking it down into its constituent sub-processes. The airline sector, which is an important service sector for Türkiye, has been chosen as the application area. When the relevant literature is examined, it is seen that the production process in efficiency studies in the Turkish airline sector is carried out with traditional Data Envelopment Analysis (DEA) by considering the efficiency process as a single stage. This study aimed to measure the overall efficiency of airports in more detail on the basis of two sub-activities, operational and revenue efficiency, using Network Data Envelopment Analysis (NDEA). Kao and Hwang's (2008) Relational Network Data Envelopment Analysis model was used in the efficiency analysis. In ranking efficiency values, peer evaluation was used based on Kao and Liu's (2019) Cross-Efficiency Measurement approach. In the study, 27 airports operated by the State Airports Authority (DHMI) with an annual passenger traffic of over 400.000 as of 2019 were examined. In the analysis, it was found that while an airport with relative overall efficiency could not be identified, some airports were partially effective in terms of sub-processes.

**Keywords:** Network Data Envelopment Analysis, Airport Efficiency, Cross-Efficiency Measurement

**JEL Codes:** D70, D24

## 1. Giriş

Günümüzde gerçekleşen AR-GE ve inovasyon çalışmaları, üretim süreçlerinde dijitalleşme ve nesnelerin internetinin (IoT/Internet of Things) kullanımı, işletme sorunlarının çözümlerinin yapay zekâ ve yeşil içerikli çözümler olması işletmelerde sistem dönüşümlerine ve ekosistemleri ile birlikte verimliliklerinin artmasına neden olmuştur. Özellikle gelecek on yılda olması beklenen Alfa, hatta Beta kuşaklarının talep yapısındaki değişimlere hazır olmak ve belirsizliğin psikolojik yükünü yönetebilmek için sürdürülebilirlik ön plana çıkmış, işletmeleri esnek ve çevik olmaya yöneltmiştir. Günümüzde karmaşık yapıdaki işletme sistemlerinin ve süreçlerinin ileride daha da karmaşık bir yapıya dönüşeceği açıktır. Bu karmaşık sistem ve süreçlere sahip işletmelerin, hem kendilerini daha iyi geliştirebilmeleri hem de buldukları sistemde kendilerini en iyi şekilde konumlandırabilmeleri için güçlü performans ölçümlerine ihtiyaçları vardır. Bu durum, aynı zamanda performans değerlendirme faaliyetlerini zorlaştırmakta ve metodlarının değişimine ve gelişimine neden olmaktadır.

İşletmelerin performanslarının karakterize edilmesi için çok sayıda ölçüt bulunmaktadır. Ancak her ölçüt işletmenin kaynaklarının ne ölçüde etkin kullanıldığı bilgisini içermemektedir (Zhu, 2014, s. 2). Bir üretim biriminin gözlemlenen girdi ve çıktıların optimum girdi ve çıktı değerleri ile karşılaştırılması o üretim biriminin etkinliğini ifade etmektedir. İşletmelerin girdilerini ne derece iyi kullandığı, kendisini nerede konumlandığına dair bilgi vermektedir. Bu açıdan bakıldığında etkinlik, performansın kaynak kullanım boyutudur denilebilir (Lovell, 1993, s. 4; Yavuz, 2003, s. 12). İşletmelerin kendilerini, diğer işletmelere göre konumlandırmak istemesi durumunda birden fazla ölçütlü, daha sistematik ve bütünsel bir yaklaşıma ihtiyacı vardır.

Çok sayıda etkinlik ölçütünün varlığında, girdilerini çıktılarına dönüştüren üretim birimleri Karar Verme Birim'leri (KVB) olarak temsil edilmektedir. Benzer girdi ve çıktılarına sahip KVB'lerinin göreceli etkinliklerinin ölçülmesi için nonparametrik bir yöntem olan Veri Zarflama Analizi (VZA) yaygın olarak kullanılmaktadır. Ölçümlerini, Doğrusal Programlama ile

gerçekleştirilen optimizasyon sonucunda elde eden VZA; bankacılık, konaklama, eğitim, sağlık, askeri ve havacılık sektörlerinde yoğun uygulanmıştır. Süreçlerin günümüzdeki karmaşık yapısı ise dış girdinin alınıp dış çıktının üretildiği ve alt süreçlerin dikkate alınmadığı süreçler için kullanılan VZA'nın geliştirilmesini gerektirmiştir. Bu tip karmaşık sistemlerin seri, paralel ya da hiyerarşik yapıda ele alınmasını sağlayacak Ağ Veri Zarflama Analizi (AVZA) ortaya çıkmıştır. Färe ve Grosskopf'un (1996) alan yazına tanıttığı AVZA hâlâ geliştirilmekte olup, ortak özelliklere sahip bir model ailesidir.

Türk havayolu sektörü son yıllarda büyümede artış trendi göstermektedir. Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü (DHMI) 2019 Havayolu Sektör Raporu'na göre son on yılda uçuş trafiği 1,68 kat, taşınan yolcu sayısı 2,02 kat ve taşınan kargo miktarı 2,81 kat artmıştır (DHMI, 2020a, s. 15). Kesin olmayan sonuçlara göre yolcu trafiği bazında Avrupa'da 4. sırada, dünyada 10. sırada yer almaktadır (DHMI, 2020b, s. 24). Türk havayolu sektöründeki bu büyüme trendi, havalimanlarının performans ve etkinliklerinin ölçümü konusunu dikkat çekici hale getirmektedir. Yurtiçi alan yazını incelendiğinde, havalimanlarının etkinliklerinin genellikle tek aşamalı ya da birden fazla aşamada geleneksel VZA kullanılarak ele alındığı görülmektedir. Bu çalışmada ise havalimanlarının etkinlik yapısı üretim süreci ve satış süreci olmak üzere ikiye ayrılmış, genel etkinliğe daha ayrıntılı olarak bakılması amaçlanmıştır. Yazında genellikle nihai çıktı olarak ele alınan yolcu, uçak ve yük trafiği bahsi geçen iki süreci birbirine bağlayan ara ürün olarak ele alınmış ve AVZA ile modellenmiştir. Bu çalışmanın alan yazına ana katkısı; havalimanlarının genel etkinlik yapısında yıllık yolcu, yük ve uçak trafiklerinin aracı rolüne değinilmesi, dolayısı ile etkinlik yapısına daha ayrıntılı bir açıdan yaklaşılmasıdır. Ayrıca çalışmada, havalimanlarının kendilerini diğer havalimanlarına göre nasıl konumlandıracağına belirlenmesine imkân veren çapraz etkinlik ölçümü analizine de yer verilmiştir. Böylelikle KVB'lerinin kendilerini birbirine göre konumlandırmaları için daha yorumlanabilir etkinlik skorları elde edilmiştir.

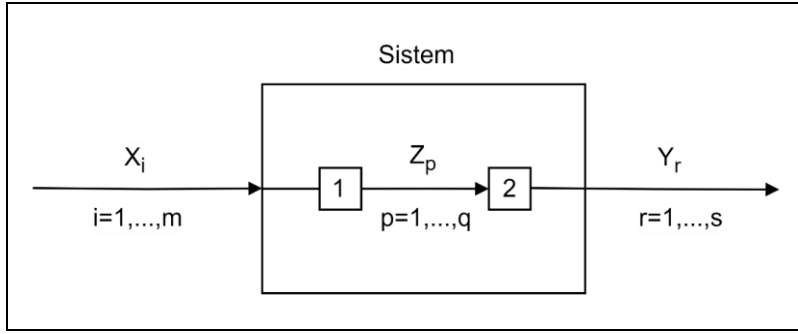
Çalışmada, ilk olarak AVZA ve çapraz etkinlik ölçümü incelenmiş, sonra çalışmanın kavramsal modeli ve ilgili yazına, daha sonra da optimizasyon modeli ve örnekleme yer verilmiştir. Son kısımda ise çalışmada elde edilen bulgular, sonuç ve genel değerlendirme sunulmuştur.

## **2. Ağ Veri Zarflama Analizi**

AVZA, geleneksel VZA'nın eksikliklerinin giderilmesi amacı ile Färe ve Grosskopf (1996) tarafından geliştirilmiş ortak özelliklere sahip bir model ailesidir (Färe & Grosskopf, 1996; Färe vd., 2007; Halkos vd., 2014). AVZA çatısı altında toplanan modeller ile birden fazla alt süreç içeren seri ya da paralel üretim sistemlerinin etkinliklerinin modellenmesi ve hesaplanması sağlanmaktadır. Bu çalışmada basit iki alt sürece sahip seri üretim sistemi benimsenmiştir. Basit iki alt sürece sahip seri üretim sistemi yapısı Şekil 1'de görülmektedir.

**Şekil 1**

Basit İki Alt Sürece Sahip Seri Üretim Sistemi



Kaynak: Kao, 2017, s. 208.

Şekil 1’de yer alan üretim sistemi,  $X_i$  girdilerini alarak  $Z_p$  ara ürünlerini,  $Z_p$  ara ürünlerini alarak da nihai çıktı olan  $Y_r$  çıktıları üretmektedir. Burada  $Z_p$ , birinci alt sürecin çıktısı ve ikinci alt sürecin girdisi olmaktadır. Bu iki alt sürece sahip olan sistemin genel sistem ve alt süreç etkinlikleri Kao ve Hwang (2008) tarafından önerilen girdiye yönelik ilişkisel AVZA modelinin uzantısı olarak çok aşamalı seri sistemlerin etkinliklerinin ölçülmesinde kullanılan Model (1) ile elde edilebilmektedir.<sup>1</sup> (Kao & Liu, 2019, s. 72):

$$E_{da}^s = \max \sum_{r=1}^s u_{rd} Y_{rd}$$

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^m v_{id} X_{id} = 1,$$

$$\sum_{r=1}^s u_{rd} Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{id} X_{ij} \leq 0, \quad j=1, \dots, n \quad (1)$$

$$\sum_{p=1}^q w_{pd} Z_{pj} - \sum_{i=1}^m v_{id} X_{ij} \leq 0, \quad j=1, \dots, n$$

$$\sum_{r=1}^s u_{rd} Y_{rj} - \sum_{p=1}^q w_{pd} Z_{pj} \leq 0, \quad j=1, \dots, n$$

$$u_r, v_i, w_p \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, s, \quad i=1, \dots, m, \quad p=1, \dots, q.$$

Burada  $d$  ele alınan KVB’ni,  $m$  girdi sayısını,  $s$  çıktı sayısını,  $X_{ij}$  ve  $Y_{rj}$  KVB<sub>j</sub> ( $j = 1, \dots, n$ ) nin  $i$  girdisi ve  $r$ . çıktısını,  $E_{da}^s$  KVB<sub>d</sub>’nin görelî etkinliğini temsil etmektedir.  $E_{da}^s=1$  ise KVB<sub>d</sub> görelî etkin,  $E_{da}^s \leq 1$  ise KVB<sub>d</sub> görelî etkin değildir. Ayrıca her KVB’nin  $s$  çıktısını üretmek için  $m$  girdisini kullandığı varsayılmaktadır. Geleneksel tek aşamalı sistemlerden farklı olarak üretim süreci burada  $Z_{pj}$  ( $p = 1, \dots, q$ ) ara ürününe sahip iki alt süreçten oluşmaktadır.  $Z_{pj}$  ara ürünü, birinci alt sürecin çıktısı ve ikinci alt sürecin girdisini temsil etmektedir.

Girdi yönelimli model olan Model (1)’de, amaç fonksiyonunda nihai çıktıların maksimize edilmesi yer almaktadır. Bu model çarpan (primal) formunda olup genel etkinlik ve alt süreçlerin etkinlik skorlarını vermektedir.

<sup>1</sup> Model (1) Kao ve Hwang tarafından geliştirilen ilişkisel AVZA modelinin genişletilmiş halidir. Modelin amaç fonksiyonunda ( $E_{da}^s$ ) ele alınan KVB’nin kendi ağırlıkları ile değerlendirilmesi sonucu elde edilen etkinlik skoru (diğer ifade ile çapraz etkinlik matrisindeki köşegen değerler) hesaplanmaktadır. Model çözüldüğünde iki aşamalı ilişkisel AVZA modeli ile aynı etkinlik sonuçları elde edilmektedir (Kao & Liu, 2019, s. 74).

Kao ve Hwang'ın (2008) ilişkisel iki aşamalı modelinde birinci alt sürece atanan ağırlıklarla ikinci alt sürece atanan ağırlıklar ( $w_{pj}$ ) eşittir. Bu varsayım; model doğrusal hâle getirilmiş, üretim sürecinin iki alt süreci arasındaki ilişki matematiksel olarak ifade edilmiş ve içsel bağlantılı bir veri zarflama modelinin ortaya çıkması sağlanmıştır. Burada sistem etkinliği alt süreç etkinliklerinin çarpımı şeklinde ifade edilir ( $E_{dk}^S = E_{dk}^1 \times E_{dk}^2$ ).

Toplam etkinlik iki alt sürecin etkinliğinin çarpımı olarak ifade edildiğinden, problemin alternatif optimum çözümünün olması durumunda, aynı etkinlik skorunu veren birçok alt süreç etkinlik skoru bileşimi olabilir. Ancak, Model (1) bu bilgiyi sağlamamaktadır. Bu hususta Kao ve Hwang'ın (2008) iki aşamalı model için önerdiği yaklaşım kullanılabilir (Kao & Liu, 2019, s. 72). Söz konusu yaklaşımın birinci aşamasında sistem etkinliği için ilişkisel model çözüldükten sonra ikinci aşamasında, mevcut sistem etkinliği  $E_{dd}$ 'ye eşitlenir ve karar verici tarafından daha önemli olarak görülen alt sürecin etkinliği optimize edilir (Kao & Hwang, 2008, s. 423). Birinci alt sürecin daha önemli olduğuna karar verilmesi durumunda optimizasyon modeli Model (2)'deki gibi olacaktır.<sup>2</sup>

$$E_{dd}^{(1)} = \sum_{p=1}^q w_{pd} Z_{pd}$$

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^m v_{id} X_{id} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_{rd} Y_{rd} = E_{dd} \sum_{i=1}^m v_{id} X_{id} \quad (2)$$

$$\sum_{p=1}^q w_{pd} Z_{pj} - \sum_{i=1}^m v_{id} X_{ij} \leq 0, \quad j=1, \dots, n$$

$$\sum_{r=1}^s u_{rd} Y_{rj} - \sum_{p=1}^q w_{pd} Z_{pj} \leq 0, \quad j=1, \dots, n$$

$$u_r, v_i, w_p \geq 0, \quad r = 1, \dots, s, \quad i=1, \dots, m, \quad p=1, \dots, q.$$

Model (2) çözüldükten sonra ikinci alt alt sürecin etkinliği aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$E_{dd}^{(2)} = E_{dd} / E_{dd}^{(1)}$$

İkinci alt sürecin daha önemli olduğuna karar verilmesi durumunda ise optimizasyon modeli, Model (3)'teki gibidir.

$$E_{dd} = \max \sum_{r=1}^s u_{rd} Y_{rd}$$

Kısıtlar

$$\sum_{p=1}^q w_{pd} Z_{pd} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_{rd} Y_{rd} = E_{dd} \sum_{i=1}^m v_{id} X_{id} \quad (3)$$

$$\sum_{p=1}^q w_{pd} Z_{pj} - \sum_{i=1}^m v_{id} X_{ij} \leq 0, \quad j=1, \dots, n$$

$$\sum_{r=1}^s u_{rd} Y_{rj} - \sum_{p=1}^q w_{pd} Z_{pj} \leq 0, \quad j=1, \dots, n$$

$$u_r, v_i, w_p \geq 0, \quad r = 1, \dots, s, \quad i=1, \dots, m, \quad p=1, \dots, q.$$

<sup>2</sup> Burada bütünlüğün sağlanması açısından Model (1)'deki notasyon benimsenmiştir.

### 3. Ağ Veri Zarflama Analizi'nde Çapraz Etkinlik Ölçümü

VZA'da her bir KVB'nin etkinliği, bireysel olarak maksimize edilecek şekilde elde edilmektedir. Her KVB'nin kendi en iyi ağırlığını seçtiği bu yaklaşım öz değerlendirme (self appraisal) olarak nitelendirilebilir (Doyle & Green, 1994, s. 568). Diğer taraftan, her KVB'nin kendi ağırlık kümesini kullanması KVB'lerinin etkinlik skorlarının birbiri ile kıyaslanamaz olmasına neden olmaktadır. Bu duruma çözüm olarak yazında çeşitli yaklaşımlar önerilmiştir. Bu yaklaşımlardan biri de Sexton vd. (1986) tarafından önerilen, Doyle ve Green (1994) tarafından geliştirilen ve KVB'lerin birbirine göre değerlendirilmesine olanak veren çapraz etkinlik ölçümü yaklaşımıdır. Çapraz etkinlik ölçümü yaklaşımında, bir KVB'nin öz değerlendirme sonucu elde edilen girdi ve çıktı ağırlıkları diğer KVB'lerine uygulanarak çapraz etkinlikler hesaplanır. Prosedür her bir KVB için uygulanarak çapraz etkinlik matrisi elde edilir. Matrisin her satırında KVB<sub>d</sub>'nin diğer KVB'ce nasıl değerlendirildiği bilgisi yer alırken köşegen değerlerinde öz değerlendirme etkinlik skorları yer almaktadır (Sexton vd., 1986, s. 90). Matrisin satır ortalamalarının alınması sonucu her bir KVB'nin akran değerlendirme (peer appraisal) olarak da nitelendirilen çapraz etkinlik skoruna ulaşılır (Doyle & Green, 1994, s. 569).

Bahsi geçen yaklaşımlar, KVB'lerinin üretim süreçlerinin bir bütün olarak ele alınıp alt süreçlerin dikkate alınmadığı geleneksel VZA uygulamaları kapsamında yer almaktadır. Kao ve Liu (2019), çapraz etkinlik ölçümü yaklaşımını AVZA kapsamında ele alarak iki alt sürece sahip seri üretim sistemleri için çapraz etkinlik modeli önermişlerdir. Kao ve Liu'nun (2019) yaklaşımında, KVB<sub>d</sub>'nin ilişki model (Model 1) ile etkinliği elde edildikten sonra KVB<sub>d</sub>'nin ağırlıkları için diğer KVB'lerinin çapraz etkinlikleri Model (4)'teki gibi elde edilir (Kao & Liu, 2019, s. 72):

$$E^s = \max \frac{\sum_{j=1, j \neq d}^n \sum_{r=1, r \neq d}^s u_{rd} Y_{rj}}{\sum_{j=1, j \neq d}^n \sum_{i=1}^m v_{id} X_{ij}}$$

Kısıtlar

$$\sum_{r=1}^s u_{rd} Y_{rd} = E_{dd}^s \sum_{i=1}^m v_{id} X_{id}$$

$$\sum_{p=1}^q w_{pd} Z_{pj} - \sum_{i=1}^m v_{id} X_{ij} \leq 0, \quad j=1, \dots, n \quad (4)$$

$$\sum_{r=1}^s u_{rd} Y_{rj} - \sum_{p=1}^q w_{pd} Z_{pj} \leq 0, \quad j=1, \dots, n$$

$$u_{rd}, v_{id}, w_p \geq 0, \quad r = 1, \dots, s \quad i = 1, \dots, m, \quad p = 1, 2, \dots, q$$

Model (4) çözülüp  $u_r^*, v_i^*$  ve  $w_p^*$  optimum çözüm takımı elde edildiğinde, KVB<sub>k</sub>'nin genel sistem etkinliği ( $E_{dk}^s$ ) ile birinci ve ikinci alt süreç etkinlikleri Model (5)'teki gibi hesaplanmaktadır:<sup>3</sup>

$$E_{dk}^s = \sum_{r=1}^s u_{rd}^* Y_{rk} / \sum_{i=1}^m v_{id}^* X_{ik}, \quad (5)$$

$$E_{dk}^1 = \sum_{p=1}^q w_{pd}^* Z_{pk} / \sum_{i=1}^m v_{id}^* X_{ik},$$

$$E_{dk}^2 = \sum_{r=1}^s u_{rd}^* Y_{rk} / \sum_{p=1}^q w_{pd}^* Z_{pk},$$

<sup>3</sup> Burada Kao ve Liu'nun (2019) notasyonu benimsenmiştir.

Model (4) her bir  $KVB_d$  ( $d=1,2,\dots,n$ ) için çözülür. Sonuç itibari ile her bir  $KVB_k$  Model (1) ve Model (4) aracılığı ile ve diğer tüm  $KVB$ 'nin ağırlıkları ile hesaplanan bir dizi  $n$  adet çapraz etkinliğe sahip olur.  $KVB_k$ 'nin genel sistem ve alt süreç etkinliği ise geometrik ortalama ile elde edilmektedir:

$$\hat{E}_k^s = [\prod_{d=1}^n E_{dk}^s]^{1/n}$$
$$\hat{E}_k^{(p)} = [\prod_{d=1}^n E_{dk}^{(p)}]^{1/n}, \quad p=1,2 \quad (6)$$

#### 4. Yazın Taraması ve Kavramsal Model

Havalimanı etkinlik ölçümü üzerine birçok çalışma yazında mevcut olup, parametrik ve nonparametrik yaklaşımları barındırmaktadır. Ancak, bu çalışmaların çoğunda havalimanlarının etkinlik yapısı dış girdilerin ve dış çıktılarının yer aldığı üretim süreci (kara kutu)<sup>4</sup> olarak tasarlanmış, üretim sistemlerine ait alt süreçler ve ara ürünler (intermediate products) dikkate alınmamıştır. Yurtiçinde havayolu sektöründe geleneksel VZA aracılığı ile gerçekleştirilen etkinlik çalışmaları ile ilgili yazın Tablo 1'de yer almaktadır.

AVZA yazınında, ele alınan bir üretim sürecinin iki alt sürece ayrılarak her bir sürecin etkinliğinin hesaplanması için her iki alt sürece de ayrı ayrı geleneksel VZA yönteminin uygulandığı çalışmalar mevcuttur. Örneğin Seiford ve Zhu (1999) banka genel etkinliğini kârlılık ve pazarlanabilirlik olmak üzere ikiye ayırmış, iki sürece de geleneksel VZA uygulamıştır. Gramani (2012) havalimanı performansını operasyonel performans ve finansal performans olmak üzere ikiye ayırmış ve her iki alt sürece geleneksel VZA uygulamıştır. Ancak böyle bir yaklaşımda ortaya şu şekilde bir çelişki çıkmıştır; ilk alt süreçte maksimize edilmek istenen çıktılar, ikinci alt sürecin girdileri olduğundan (ara ürün), ikinci alt süreçte minimize edilmek istenmektedir. Alan yazında bu çelişkilerin giderilmesine yönelik olarak, ara ürünlerin optimum ağırlıklarının hesaplanırken alt süreçlerin her ikisinin de etkinliklerinin maksimize edildiği AVZA modelleri geliştirilmiştir (Zhu, 2011, s. 261).

Özellikle AVZA'nın gelişmeye başlaması ile yazında havalimanı etkinlik sürecinin parçalanarak alt süreçlere bölüdüğü çalışmalar görülmektedir. Havalimanı etkinlik sürecini alt süreçlere ayıran ilk çalışma Yu'nun (2010) çalışmasıdır. Çalışmada personel sayısı, pist alanı, apron alanı ve terminal alanı ilk alt sürecin girdileri olarak ve yolcu sayısı ve trafiği, yük trafiği ikinci alt sürecin çıktıları olarak ele alınmıştır. İki alt süreci birbirine bağlayan ara ürün ise pist ve terminal kapasiteleridir. Havalimanlarının etkinlik süreçlerini alt süreçlere ayırarak inceleyen diğer çalışmalar ile ilgili alan yazın bilgisi Tablo 2'de yer almaktadır.

<sup>4</sup> KVB'lerinin girdileri çıktılarına dönüştüren üretim birimleri olarak ele alındığı etkinlik yaklaşımında, dönüşüm sürecindeki ilişkinin bilinmemesi durumu "kara kutu (black box) yaklaşımı" olarak adlandırılmaktadır (Färe vd., 2007, s. 209).

**Tablo 1**  
Yurtiçi Alan Yazınındaki Havayolu Sektörü Etkinlik Çalışmaları

Yazarlar	Yöntem	Veri Aralığı	Örnekleme / Veri Aralığı	Değişkenler
Kıyıldı ve Karavaşin (2006)	-VZA	1996–2002	Türkiye'deki 32 Havalimanı	Girdi: Check-in Kontuar Sayısı, X-ray sayısı, Terminal Binası Yolcu Kullanım Alanı, Otopark Araç Kapasitesi, Havaalanı Apron Büyüklüğü, Havaalanı Apron Uçak Kapasitesi, Havaalanı Taksirut Uçak Kapasitesi, Terminal Binası Konveyör sayısı Çıktı: Uçak Sayısı
Peker ve Baki (2009)	-VZA	2007	Türkiye'deki 37 Havalimanı	Girdi: Otopark Kapasitesi, Pist Sayısı, Havalimanı Büyüklüğü, Personel Sayısı Çıktı: Yolcu Sayısı, Kargo Değeri
Ulutaş ve Ulutaş (2009)	-VZA -Analitik Ağ Süreci	2004–2005	Türkiye'deki 31 Havalimanı	Girdi: Maliyet, Çalışan Sayısı, Terminal Alanı, Yolcu Kapasitesi, Uçuş Kapasitesi Çıktı: Gelir, Yolcu Trafığı, Genel Uçuş Trafığı, Ticari Uçuş Trafığı, Kargo Miktarı
Koçak (2011)	-VZA	2008	Türkiye'deki 40 Havalimanı	Girdi: Operasyonel Giderler, Personel Sayısı, Uçuş Trafığı, Toplam Yolcu Sayısı Çıktı: Toplam Yolcu Sayısı / Alan, Toplam Uçuş Trafığı / Pist Sayısı, Toplam Yük Trafığı, Operasyonel Gelirler
Ar (2012)	-VZA -Malmquist TFV	2007–2010	Türkiye'deki 47 Havalimanı	Girdi: Personel Sayısı, Pist/Apron Başına Uçak Kapasiteleri, Alan Başına Yolcu Kapasitesi Çıktı: Pist/Apron Başına Gerçekleşen Uçak Trafığı, Alan Başına Gerçekleşen Yolcu Trafığı, Yük Trafığı
Ömürbek vd. (2013)	-VZA	2007–2011	Türkiye'deki 45 Havalimanı	Girdi: Giderler, Hizmet Verilen Alan, Yolcu Kapasitesi, Otopark Kapasitesi, Taşıt Parkı, Apron Kapasitesi, Uçak Kapasitesi, Bilgi İşlem Cihaz Sayısı, Kurtarma Cihaz Sayısı, Personel Sayısı Çıktı: Uçuş Trafığı, Ticari Uçuş Trafığı, Kargo Trafığı, Yolcu Trafığı, Satış Gelirleri
Karaoğlu (2014)	-VZA -Malmquist TFV	2007–2011	Türkiye'deki 27 Havalimanı	Girdi: Operasyonel Giderler, Şehir Merkezine Uzaklık, Araç Park Kapasitesi, Toplam Genel Amaçlı Araç sayısı Çıktı: Yıllık Ortalama Uçuş Sayısı, Yolcu Sayısı, Kargo Miktarı, Operasyon Gelirleri
Öztürk vd. (2014)	-VZA -MOORA	2000–2004	Türkiye'deki 40 Havalimanı	Girdi: Personel Sayısı, Apron Sayısı Çıktı: Yolcu Sayısı, Kargo Hareketi, Uçak Hareketi
Ülkü (2015)	-VZA -Tobit Regresyon	2009–2011	Türkiye'deki 32 Havalimanı ve İspanya'daki 41 Havalimanı	Girdi: Personel Gideri, Diğer Operasyon Giderleri, Toplam Pist Alanı Çıktı: Yolcu Sayısı, Hava Trafik Hareketleri, Yük Sayısı, Ticari Gelirler
Yazgan ve Karkacier (2015)	-VZA -Tobit Regresyon	2008–2011	Türkiye'deki 32 Havalimanı	Girdi: Çalışan Sayısı, İşletme Gideri, Terminal Alanı, Pist Sayısı, Apron Sayısı Çıktı: Yolcu Trafığı, İşletme Geliri, Uçak Trafığı, Yük Trafığı
Avcı ve Aktaş (2016)	-VZA -Malmquist TFV	2013–2014	Türkiye'deki 26 Havalimanı	Girdi: Personel Sayısı, Terminal Alanı Çıktı: Yolcu Sayısı, Yük Trafığı, Toplam Uçak Trafığı



**Tablo 1**  
Yurtiçi Alan Yazınındaki Havayolu Sektörü Etkinlik Çalışmaları (Devamı)

Yazarlar	Yöntem	Veri Aralığı	Örneklem / Veri Aralığı	Değişkenler
Bolat vd. (2016)	-VZA -YSA	2014	Türkiye'deki 41 Havalimanı	Girdi: Check-in Kontuar Sayısı, Bagaj Konveyörleri Sayısı, Yolcu Biniş Kapısı, Pist Sayısı, Terminal Büyüklüğü, Çalışan Sayısı, Otopark Kapasitesi Çıktı: Toplam Yolcu Sayısı, Toplam Yük Sayısı, Ticari Uçuş trafiği Sayısı
Asker (2016)	-VZA	2014	Türkiye'deki 10 Havalimanı	Girdi: Pist Sayısı, Terminal Alanı Büyüklüğü, Check-in Kontuar Sayısı Çıktı: Yolcu Sayısı, Uçuş Sayısı
Altın vd. (2017)	-VZA -ENTROPI -COPRAS ve Gri İlişkisel Analiz	2010-2015	Avrupa'daki 20 Havalimanı	Girdi: Toplam terminal Sayısı, Otopark Kapasitesi, Pist sayısı, Havalimanının Şehir Merkezine Uzaklığı, Çıkış Kapı Sayısı, Check-in Sıra Sayısı, Uçak Stand Sayısı Çıktı: Toplam Yolcu Sayısı
Asker ve Battal (2017)	-VZA	2014	Dünya'daki 20 Havalimanı	Girdi: Pist Sayısı, Uçak Park Sayısı, Kapı Sayısı, Terminal Alanı Büyüklüğü Çıktı: Toplam Uçuş Sayısı, Toplam Yük Miktarı, Toplam Yolcu Sayısı
Çınaroğlu ve Avcı (2017)	-VZA -Malmquist TFV	2015-2016	Türkiye'deki 19 Havalimanı	Girdi: Personel Sayısı, Terminal Alanı, Uçak Kapasitesi Çıktı: Yolcu Sayısı, Yük Trafik
Güner vd. (2019)	-VZA	2017	Avrupa, Asya ve Kuzey Amerika'daki 15 Havalimanı	Girdi: Havaalanı Büyüklüğü, Terminal Alanı, Pist Sayısı, Pist Uzunluğu Çıktı: Yolcu Sayısı, Kargo Miktarı, Uçak Sayısı
Orhan (2019)	-VZA	2018	Türkiye'deki 45 Havalimanı	G Girdi: Personel Sayısı, Kargo Trafik, Uçuş Trafik Çıktı: Yolcu Trafik, Kargo Trafik, Uçuş Trafik
Battal (2020)	-VZA	2015-2018	Avrupa'daki 6 Havalimanı	Girdi: Finansal Kaldıraç Oranı, Cari oran Çıktı: Aktif Karlılık Oranı
Özsoy ve Örkcü (2021)	-Bootstrap VZA -CART Yöntemi	2013	Türkiye'deki 43 Havalimanı	Girdi: Terminal Alanı, Araç Park Kapasitesi, Pist Sayısı, Araç Sayısı, Çıktı: Hava Trafik Sayısı, Yolcu Trafik Sayısı, Yük Trafik Sayısı, Personel, Toplam Giderler, Toplam Gelirler
Köçken vd. (2022)	-VZA -Stokastik Sınır Analizi	2018 ve 2020	Türkiye'deki 51 Havalimanı	Girdi: Apron Büyüklüğü, Uçak Park Yeri Sayısı, Yolcu Terminal Toplam Alanı Çıktı: Yolcu Trafik, Ticari Uçak Trafik, Yük Trafik

Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

**Tablo 2**  
Yurtdışı Alan Yazınındaki Havayolu Sektörü Etkinlik Çalışmaları

Yazarlar	Yöntem	Örneklem / Veri Aralığı	Değişkenler	
			Girdi	Ara Ürün Çıktı
Yu (2010)	-AVZA	-Tayvan'daki 15 Havalimanı / 2006	-Personel Sayısı -Pist Alanı -Apron Alanı -Terminal Alanı	-Pist Kapasitesi -Terminal Kapasitesi -Toplam Trafik -Yolcu Sayısı -Yük Miktarı
Chiou ve Chen (2006)	-VZA -Tobit Regresyonu	-Tayvan'daki 1 Havalimanı / 2001	-Yakıt Maliyeti -Personel Maliyeti -Uçak Maliyeti	-Uçuşlar -Koltuk Mil -Yolcu Mil -Uçağa Binen Yolcu Sayısı
Zhu (2011)	-AVZA	-Dünyadaki 21 Havalimanı / 2007-2008	-Arz Edilen Koltuk Mil Başına Maliyet -Arz Edilen Koltuk Mil Başına Maaş -Arz Edilen Koltuk Mil Başına ücret -Arz Edilen Koltuk Mil Başına Fayda -Arz Edilen Koltuk Mil Başına Yakıt gideri	-Doluluk Oranı -Filo Büyüklüğü -Ücretli yolcu Mil -Yolcu Geliri
Gramani (2012)	-VZA	-Brezilya'daki 2 ve ABD'deki 2 Havalimanı / 1997-2006	-Koltuk Mil -Uçak Yakıtı, ücret, Maaş ve Fayda	-Ücretli Yolcu Mil -Üçü Geliri -Üçü Kâr
Adler vd. (2013)	-AVZA	-Avrupa'daki 43 Havalimanı / 1998-2007	-Personel Maliyeti -Diğer Operasyon Maliyeti -Pist Kapasitesi -Terminal Kapasitesi	-Uluslararası Yolcular -İç Yolcular -Yük -Hava Ulaşım Hareketleri
Lozano vd. (2013)	-Yönlü Uzaklık Fonksiyonu AVZA	-İspanya'daki 39 Havalimanı / 2008	-Pist Alanı -Apron Kapasitesi -Çıkış Kapısı Sayısı -Bagaj Kemerli Sayısı -Check-In Kontuar Sayısı	-Uçak Trafik Hareketi -Yıllık Yolcu Hareketleri -Elleçlenen Yük -Rötarlı Uçuş Sayısı (-) -Kümülatif Uçuş Rötarı
Wanke (2013)	-AVZA	-Brezilya'daki 63 Havalimanı / 2009	-Terminal Alanı -Uçak Park Alanı Sayısı -Pist Sayısı	-Yıllık İniş ve Kalkış Sayısı -Yolcu Sayısı -Yük Trafığı
Lu vd. (2014)	-AVZA -Bootstrap Kesikli Regresyon	-ABD'deki 30 Havalimanı / 2006	-Personel Sayısı -Tüketilen Yakıt -Koltuk Kapasitesi -Uçuş Donanım Maliyeti -Bakım Gideri -Yer Mülkü & Ekipmanı	-Ücretli Yolcu Mil -Diğer Gelir

**Tablo 2**  
Yurtdışı Alan Yazınındaki Havayolu Sektörü Etkinlik Çalışmaları (Devamı)

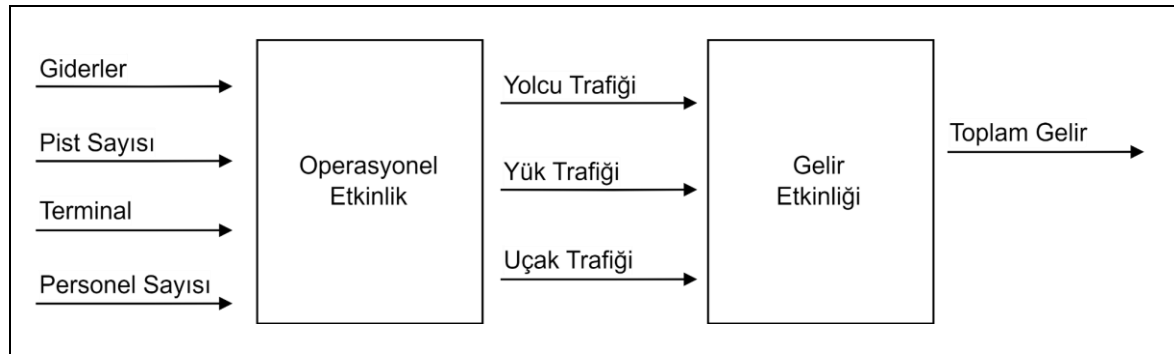
Yazarlar	Yöntem	Örneklem / Veri Aralığı	Değişkenler	
			Girdi	Çıktı
Maghoul vd. (2014)	-AVZA	-İspanya'daki 39 Havalimanı / 2008	1.aşama -Pist Alanı -Apron Kapasitesi -Çıkış Kapısı 2.aşama -Bagaj Kemerli Sayısı -Check-In Kontuar Sayısı	-Uçak Trafik Hareketi -Ertelenen Uçuş Sayısı (-) -Kümülatif Uçuş Rotaları -Yıllık yolcu Hareketi -Yük
Tavassoli vd. (2014)	-Aylık Tabanlı AVZA	İran'daki 11 Havalimanı / 2010	-Yolcu Uçağı Sayısı -İşgücü -Yük Uçağı Sayısı	-Yolcu Uçağı Kilometre -Yük Uçağı Kilometre
Mallikarjun (2015)	-Üç Aşamalı Aylık Tabanlı AVZA	-ABD'deki 27 Havalimanı / 2012	1.aşama -Operasyon Giderleri 2.aşama -Filo büyüklüğü -Hizmet verilen Havalimanı Sayısı (Destinasyon)	1.aşama / 2.aşama -Arz Edilen Koltuk Mil 3.aşama -Operasyon Geliri
Li vd. (2015)	-Üç Aşamalı Aylık Tabanlı AVZA	-Farklı Ülkelerdeki 22 Havalimanı / 2008-2012	1.aşama -Personel Sayısı -Uçak Yakıtı 2.aşama -Filo büyüklüğü 3.aşama -Satışlar Maliyeti	1.aşama / 2.aşama -Arz Edilen Koltuk Kilometre 3.aşama -Toplam İşletme Geliri
Liu (2016)	-AVZA -Panel Veri Regresyonu	Asya'daki 10 Havalimanı / 2009-2013	-Pist Alanı -Personel Maliyeti -Diğer Operasyon Maliyeti	-Uçak Hareketleri -Yolcu ve Yük Kapasitesi -Operasyon Gelirleri
Shao ve Sun (2016)	-AVZA	Çin'deki 82 Havalimanı / 2013	-Uçuş Sayısı	-Yolcu Trafığı -Yük Trafığı
Lee ve Kim (2018)	-AVZA	Güney Kore'deki 14 Havalimanı / 2011-2015	-Pist Alanı -Personel Sayısı -Toplam Terminal Kapasitesi -Duty Free Büyüklüğü -Restoran Büyüklüğü -Araç Park Yeri Kapasitesi	-Yük Miktarı -Faaliyet Geliri -Havacılık Geliri -Diğer Gelirler

Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Bu çalışmada ise havalimanı etkinliğine yönetsel açıdan yaklaşmış, havalimanları maliyetlerini minimize ve gelirlerini maksimize etmek isteyen birimler olarak ele alınmıştır (Adler vd., 2013, s. 442). Bu kapsamda, havalimanlarının etkinliği operasyonel etkinlik ve gelir etkinliği olarak iki alt süreçte incelenmiştir. Birinci alt süreç olan operasyonel etkinlik ile havalimanlarının sahip oldukları kaynakları temel hizmet operasyonlarına dönüştürme etkinliklerinin ölçülmesi hedeflenmiştir. İkinci alt süreçte ise havalimanlarının mevcut talebi (yolcu, uçak ve yük trafiği) göz önüne alınarak maksimum gelir üretme etkinliklerinin ölçülmesi hedeflenmiştir (Io Storto, 2018, s. 185). Çalışmanın kavramsal modeli Şekil 2’de verilmiştir.

## Şekil 2

### Çalışmanın Kavramsal Modeli



Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur

Çalışmada kullanılmak üzere, ilgili alan yazın dikkate alınarak 4 girdi, 3 ara ürün ve 1 çıktı olmak üzere toplam 8 tane değişken seçilmiştir. Seçilen değişkenler ve referans bilgileri Tablo 3’te yer almaktadır.

## Tablo 3

### Çalışmada Kullanılan Değişkenler ve Referansları

Değişken Adı	Tanım	Referans
Toplam Giderler	Havalimanında harcanan yıllık toplam giderler (bin TL)	Mallikarjun, 2015
Pist Sayısı	Havalimanındaki toplam pist sayısı (adet)	Wanke, 2013
Terminal Alanı	Havalimanının yolcuya hizmet verdiği alan (m <sup>2</sup> )	Lee & Kim, 2018; Wanke, 2013; Yu, 2010
Personel Sayısı	Havalimanında çalışan toplam memur ve sözleşmeli personel sayısı (kişi)	Lee & Kim, 2018; Lu vd. 2014; Wanke, 2013; Yu, 2010
Yolcu Trafiği	Havalimanında uçuş yapan yıllık yolcu sayısı (kişi)	Adler vd. 2013; Lozano vd. 2013
Yük Trafiği	Havalimanında taşınan yıllık toplam kargo, posta ve bagaj ağırlığı (ton)	Adler vd. 2013; Lozano vd. 2013
Uçak Trafiği	Havalimanının iç ve dış hatlarındaki yıllık toplam uçuş sayısı (adet)	Lozano vd. 2013; Lee & Kim, 2018; Liu, 2016; Maghbouli vd. 2014.
Toplam Gelir	Havalimanında seyrüsefer hizmetleri, terminal hizmetleri ve işletme hizmetleri karşılığında elde edilen yıllık toplam satış hâsılatı (bin TL)	Li vd. 2015

Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

## 5. Materyal ve Metot

### 5.1 Veri

Bu çalışmada, Türk havalimanlarının 2019 yılı iç ve dış hat etkinlikleri araştırılmaktadır. Kullanılan veriler, DHMİ'nin internet sitesinde yayınlanan 2019 yılı Faaliyet Raporundan alınmıştır (DHMİ, 2020b). Türkiye'de 2019 yılında faal durumda olan 56 adet havalimanı bulunmakla birlikte, çalışmaya 27 havalimanı dâhil edilmiştir (DHMİ, 2020b, s. 11).

İlgili alan yazınında, VZA yönteminin ayırım gücünün artması için ele alınan bir modelde KVB sayısının ne olması gerektiğine yönelik mutabık bir görüş bulunmamaktadır. Yazında örneklem hacminin büyük olmasının yöntemin gücünü artırdığını savunan görüşler olduğu gibi örneklem hacminin büyük olmasının örneklem homojenliğini etkilediği, bu durumun da analiz sonuçlarının güvenilirliğini düşürdüğü yönünde görüşler de mevcuttur (Sarkis, 2007, s. 305). Bu kapsamda çalışmada homojenliğin sağlanması amacı ile örneklem hacminin belirlenmesi süreci şu şekilde gerçekleştirilmiştir:

1- İncelenen dönem itibari ile veri eksikliği olan dört adet havalimanı (Balıkesir Merkez, Çanakkale Gökçeada, Iğdır Şehit Bülent Aydın ve Tokat Havalimanları) çalışma kapsamına alınamamıştır.

2- Avrupa Birliği Komisyonu tarafından sınıflandırma ölçütü olarak belirlenen yıllık yolcu trafiği ölçütü (European Commission, 2005, s. 3), sıralama değişkeni olarak kullanılarak uç değerlerde yer alan ve birinci kartil değerinin (180.506) altında kalan 13 havalimanı çalışma kapsamından çıkartılmıştır.

3- Elde edilen veri setinde üç tane havalimanı (İstanbul, İstanbul Sabiha Gökçen, Gazipaşa Alanya) özel şirketler tarafından işletilmektedir. Söz konusu bu üç tane havalimanı da çalışma kapsamından çıkartılarak, DHMİ tarafından işletilen havalimanları ile çalışılmaya devam edilmiştir.

4- Kalan söz konusu 36 havalimanından da birinci kartilin altında yer alan uç değerlerdeki 9 havalimanı çıkartılmıştır. Aynı zamanda, alan yazınında girdi-çıkıtlı sayısının gerektirdiği minimum gözlem birimi kuralı ile uyumlu olunması için çıkartılması gereken havalimanı sayısının belirlenmesinde birinci kartil kullanılmıştır.

Son durumda çalışmanın örnekleme yıllık yolcu trafiği 400.000 kişiden fazla olan havalimanlarını içermektedir. Alan yazınında KVB sayısının toplam girdi-çıkıtlı sayısının en az iki katı olması gerektiğini savunan görüşlerin yanı sıra KVB sayısının toplam girdi-çıkıtlı sayısının en az üç katı olması gerektiğini savunan görüşler de vardır (Cook vd., 2014, s. 2). Çalışmanın örnekleminin her iki koşulu da sağlaması bakımından yeterli büyükte olduğu söylenebilir. Çalışmanın örneklemini oluşturan KVB'leri Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4***Karar Verme Birimleri*

Havalimanı	Havalimanı	Havalimanı
1. Antalya	10. Kayseri	19. Malatya
2. İstanbul Atatürk	11. Diyarbakır	20. Şanlıurfa Gap
3. Ankara Esenboğa	12. Samsun Çarşamba	21. Denizli Çardak
4. İzmir Adnan Menderes	13. Van Ferit Melen	22. Mardin
5. Adana	14. Hatay	23. Kars Harakami
6. Muğla Dalaman	15. Ordu-Giresun	24. Batman
7. Muğla-Milas Bodrum	16. Konya	25. Kapadokya
8. Trabzon	17. Erzurum	26. Sivas Nuri Demirağ
9. Gaziantep	18. Elazığ	27. Erzincan

*Kaynak:* Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Örnekleme ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 5***Örnekleme İçin Tanımlayıcı İstatistikler*

	Terminal Alanı	Personel Sayısı	Giderler	Yolcu Trafiği	Yük Trafiği	Uçak Trafiği	Gelirler
Ortalama	24.209,1	267,5	98.203,4	4.289.794,6	79.962,7	31.028,7	192.408,4
Ortanca	7.750,0	162,0	49.061,0	1.213.870,0	12.044,3	11.224,0	25.842,0
Std. Sapma	34.494,1	246,4	105.309,6	7.564.558,1	222.557,6	48.937,7	411.691,4
En Küçük	1.325,0	92,0	29.087,0	418.455,0	3.350,2	2.988,0	7.369,0
En Büyük	135.634,0	1.088,0	438.771,0	35.679.421,0	1.112.087,9	212.518,0	1.748.854,0

*Kaynak:* Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

AVZA'da, yapılan analizin anlamlı olması için izotoniklik varsayımının (isotony) sağlanması gereklidir. Bu varsayım diğer faktörler sabit iken girdilerdeki artışın çıktılarda azalıma neden olmayacağını ifade etmektedir (Charnes vd., 1985, s. 104). İzotoniklik testi için girdi ve çıktılar arasındaki doğrusal korelasyona bakılabilir (Hong & Jeong, 2019, s. 323). Örnekleme ait Spearman Sıra Korelasyonu Katsayıları Tablo 6'da verilmiştir.

**Tablo 6***Örnekleme İçin Spearman Sıra Korelasyonu Katsayıları*

	Terminal Alanı	Personel Sayısı	Giderler	Pist Sayısı	Yolcu Trafiği	Yük Trafiği	Uçak Trafiği	Gelirler
Terminal Alanı	1,000	0,433*	0,650**	0,349	0,567**	0,565**	0,495**	0,611**
Personel Sayısı	0,433*	1,000	0,892**	0,656**	0,870**	0,889**	0,889**	0,868**
Giderler	0,650**	0,892**	1,000	0,543**	0,906**	0,902**	0,861**	0,925**
Pist Sayısı	0,349	0,656**	0,543**	1,000	0,543**	0,552**	0,506**	0,543**
Yolcu Trafiği	0,567**	0,870**	0,906**	0,543**	1,000	0,990**	0,940**	0,986**
Yük Trafiği	0,565**	0,889**	0,902**	0,552**	0,990**	1,000	0,955**	0,979**
Uçak Trafiği	0,495**	0,889**	0,861**	0,506**	0,940**	0,955**	1,000	0,922**
Gelirler	0,611**	0,868**	0,925**	0,543**	0,986**	0,979**	0,922**	1,000

*Not.* \*\*  $p < 0,01$

*Kaynak:* Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Çalışmada kullanılan girdiler -ara ürünler arasında ve ara ürün- çıktılar arasında istatistiksel olarak anlamlı pozitif yönde doğrusal ilişki söz konusudur. İzotoniklik testinin sağlandığı söylenebilir.

## 6. Bulgular

### 6.1 İlişkisel AVZA Modeli Bulguları

Çalışmada Model (1) kullanılarak havalimanlarının genel ve alt süreç etkinlik değerleri her bir havalimanı için ayrı ayrı çözümlenerek hesaplanmıştır. Daha sonra, Model (2) ve Model (3) kullanılarak alt süreçlere ait optimum etkinlik değerleri hesaplanmıştır. İlişkisel model ölçeğe göre sabit getiri (CRS) varsayımı altında çalışmakta olduğundan, çalışmada ölçeğe göre sabit getiri varsayımı benimsenmiştir. Analizde MS Excel programı kullanılmıştır. Havalimanlarına ait ilişkisel model sonuçları Tablo 7'de verilmiştir.

**Tablo 7**

*İlişkisel Model için Operasyonel, Gelir ve Genel Etkinlik Skorları*

Havalimanı	Operasyonel Etkinlik	Gelir Etkinliği	Genel Etkinlik
Antalya	1	0,887	0,887
İstanbul Atatürk	0,675	1	0,675
Ankara Esenboğa	0,697	0,405	0,282
İzmir Adnan Menderes	0,63	0,582	0,367
Adana	1	0,376	0,376
Muğla Dalaman	0,467	0,746	0,349
Muğla Milas-Bodrum	0,492	1	0,492
Trabzon	1	0,401	0,401
Gaziantep	0,490	0,369	0,181
Kayseri	0,586	0,398	0,233
Diyarbakır	0,237	0,369	0,088
Samsun Çarşamba	0,621	0,264	0,164
Van Ferit Melen	0,598	0,187	0,112
Hatay	0,260	0,436	0,113
Ordu-Giresun	0,339	0,283	0,096
Konya	0,240	0,373	0,089
Erzurum	0,237	0,345	0,082
Elazığ	0,283	0,315	0,089
Malatya	0,355	0,282	0,100
Şanlıurfa Gap	0,231	0,263	0,061
Denizli Çardak	0,248	0,345	0,086
Mardin	0,185	0,303	0,056
Kars Harakani	0,146	0,284	0,042
Batman	0,196	0,315	0,062
Kapadokya	0,672	0,079	0,053
Sivas Nuri Demirağ	0,196	0,246	0,048
Erzincan	0,121	0,306	0,037

*Kaynak:* Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

İlişkisel AVZA sonuçlarına göre genel olarak tam etkin bir havalimanı tespit edilememiştir. İlişkisel AVZA alt süreçler arası etkileşimi de dikkate aldığından elde edilen etkinlik değerleri geleneksel VZA yöntemi ile elde edilen etkinlik değerlerinden daha düşük çıkmaktadır. Ayrıca bir KVB'nin tam olarak etkin olabilmesi için (1 değerini alması için) her iki alt süreç etkinlik değerlerinin de 1 olması gerekmektedir. Alt süreç etkinlikleri olan operasyonel ve gelir etkinliği açısından bakıldığında bazı havalimanlarının kısmi etkinliğe sahip oldukları söylenebilir. Örneğin Antalya, Adana ve Trabzon havalimanları operasyonel olarak etkindir. Ancak bu havalimanları gelir etkinliğine sahip değildirler. İstanbul Atatürk ve Muğla-Milas-Bodrum havalimanları ise gelir etkinliğine sahiptirler. Bu havalimanlarının tam etkin olabilmesi için operasyonel etkinlik süreçlerinde iyileştirme gerçekleştirmeleri gerekmektedir.

Alt süreçlerin optimizasyonu için Model (2) ve Model (3) kullanılarak hesaplanan operasyonel ve gelir etkinlik değerleri Tablo 8'deki gibidir.

**Tablo 8**

*Model (2) ve Model (3)'ün Operasyonel ve Gelir Etkinlik Skorları*

Havalimanı	Operasyonel Etkinlik		Gelir Etkinliği		Genel Etkinlik Skor
	Model (2)	Model (3)	Model (2)	Model (3)	
Antalya	1	1	0,887	0,887	0,887
İstanbul Atatürk	1	0,675	0,675	1	0,675
Ankara Esenboğa	0,933	0,697	0,303	0,405	0,282
İzmir A. Menderes	0,774	0,630	0,474	0,582	0,367
Adana	1	1	0,376	0,376	0,376
Muğla Dalaman	0,467	0,467	0,746	0,746	0,349
Muğla Milas-Bodrum	0,761	0,492	0,646	1	0,492
Trabzon	1	1	0,401	0,401	0,401
Gaziantep	0,543	0,490	0,333	0,369	0,181
Kayseri	0,592	0,586	0,394	0,398	0,233
Diyarbakır	0,378	0,237	0,232	0,369	0,088
Samsun Çarşamba	0,621	0,621	0,264	0,264	0,164
Van Ferit Melen	0,598	0,598	0,187	0,187	0,112
Hatay	0,320	0,260	0,354	0,436	0,113
Ordu-Giresun	0,431	0,339	0,222	0,283	0,096
Konya	0,289	0,240	0,310	0,373	0,089
Erzurum	0,237	0,237	0,345	0,345	0,082
Elazığ	0,283	0,283	0,315	0,315	0,089
Malatya	0,356	0,355	0,281	0,282	0,100
Şanlıurfa Gap	0,266	0,231	0,228	0,263	0,061
Denizli Çardak	0,248	0,248	0,345	0,345	0,086
Mardin	0,207	0,185	0,271	0,303	0,056
Kars Harakani	0,165	0,146	0,252	0,284	0,042
Batman	0,196	0,196	0,315	0,315	0,062
Kapadokya	0,672	0,672	0,079	0,079	0,053
Sivas Nuri Demirağ	0,196	0,196	0,246	0,246	0,048
Erzincan	0,121	0,121	0,306	0,306	0,037
Ortalama	0,51	0,45		0,36	0,41

*Kaynak:* Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.



Tablo 8’de havalimanlarının operasyonel ve gelir etkinliklerinin Model (2) ve Model (3) çözümleri yer almaktadır. Buna göre her iki modelde de Antalya, Adana, Muğla Dalaman, Trabzon, Samsun Çarşamba, Van Ferit Melen, Erzurum, Elazığ, Denizli Çardak, Batman, Kapadokya, Sivas Nuri Demirağ ve Erzincan havalimanlarının etkinlik değerleri aynı çıkmıştır. Diğer bir ifade ile bahsi geçen havalimanlarının alt süreç etkinlikleri, hem operasyonel etkinliğine hem de gelir etkinliğine öncelik verilmesi durumunda aynı etkinlik değerlerine sahiptir. Bu da havalimanlarının ilişki model sonuçlarının alternatif çözüm takımı içermemesi (alt süreçlere ait çözümlerin tek olması) anlamına gelmektedir. Ayrıca Antalya, Adana ve Trabzon havalimanları her iki modele göre de operasyonel olarak etkin çıkmışlardır.

## 6.2 Kao ve Liu’nun (2019) Çapraz Etkinlik Modeli Bulguları

Havalimanlarının kendi içerisindeki etkinlik sıralamalarını da içeren çapraz etkinlik modeli sonuçları Tablo 9’daki gibidir:

**Tablo 9**

### Havalimanlarının Çapraz Etkinlik Modeli Sonuçları

Havalimanı	Öz Değerlendirme			Çapraz Değerlendirme					
	OE	GE	Genel Etkinlik	OE	Sıra No	GE	Sıra No	Genel Etkinlik	Sıra No
Antalya	1,000	0,887	0,887	0,999	1	0,871	3	0,870	1
İstanbul Atatürk	0,675	1,000	0,675	0,503	4	0,904	2	0,455	2
Ankara Esenboğa	0,697	0,405	0,282	0,502	5	0,406	7	0,204	8
İzmir Adnan Menderes	0,630	0,582	0,367	0,479	9	0,578	5	0,277	4
Adana	1,000	0,376	0,376	0,839	2	0,347	14	0,291	3
Muğla Dalaman	0,467	0,746	0,349	0,322	12	0,745	4	0,240	7
Muğla Milas-Bodrum	0,492	1,000	0,492	0,252	14	1,000	1	0,252	5
Trabzon	1,000	0,401	0,401	0,612	3	0,400	8	0,245	6
Gaziantep	0,490	0,369	0,181	0,429	11	0,370	12	0,159	10
Kayseri	0,586	0,398	0,233	0,496	6	0,393	9	0,195	9
Diyarbakır	0,237	0,369	0,088	0,167	21	0,369	13	0,061	18
Samsun Çarşamba	0,621	0,264	0,164	0,491	8	0,267	23	0,131	11
Van Ferit Melen	0,598	0,187	0,112	0,478	10	0,190	26	0,091	13
Hatay	0,260	0,436	0,113	0,228	17	0,434	6	0,099	12
Ordu-Giresun	0,339	0,283	0,096	0,279	13	0,285	20	0,079	14
Konya	0,240	0,373	0,089	0,170	20	0,372	11	0,063	17
Erzurum	0,237	0,345	0,082	0,177	19	0,347	15	0,061	19
Elazığ	0,283	0,315	0,089	0,229	16	0,315	16	0,072	15
Malatya	0,355	0,282	0,100	0,242	15	0,278	22	0,067	16
Şanlıurfa Gap	0,231	0,263	0,061	0,188	18	0,266	24	0,050	21
Denizli Çardak	0,248	0,345	0,086	0,093	27	0,376	10	0,035	25
Mardin	0,185	0,303	0,056	0,139	24	0,302	19	0,042	22
Kars Harakani	0,146	0,284	0,042	0,121	25	0,283	21	0,034	26
Batman	0,196	0,315	0,062	0,160	23	0,314	17	0,050	20
Kapadokya	0,672	0,079	0,053	0,495	7	0,079	27	0,039	24
Sivas Nuri Demirağ	0,196	0,246	0,048	0,162	22	0,249	25	0,040	23
Erzincan	0,121	0,306	0,037	0,102	26	0,309	18	0,032	27
Ortalama	0,452	0,413	0,208	0,347		0,409		0,157	
Ortanca	0,355	0,345	0,100	0,252		0,347		0,079	

Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Çapraz etkinlik işlemi sonrası etkinlik skoru en fazla azalan havalimanları Muğla Milas-Bodrum ve onu takiben İstanbul Atatürk olduğu görülmektedir. İstanbul Atatürk havalimanı etkinliğinin yüksek düşüşe rağmen ikinci sırada yer alması dikkat çekicidir. Bu iki havalimanı dışında Trabzon ve Adana havalimanlarının da etkinlik skor düşüşünün 0,10'dan fazla olduğu görülmektedir. Kalan 23 havalimanının etkinlik skor değişimi ise 0,10'un altında kalmıştır.

Antalya, İstanbul Atatürk ve Adana havalimanları etkinlik sıralamasında ilk üçte yer almaktadır. Antalya havalimanının etkinlik skoru ile diğer iki havalimanının etkinlik skorları arasındaki farkın büyüklüğü dikkat çekmektedir. İlk sekiz havalimanının etkinliklerinin ise 0,20'den yüksek olduğu görülmektedir. İstanbul Atatürk, Adana ve Trabzon havalimanları öz değerlendirme sonucu kısmi etkinliğe sahipken çapraz değerlendirme sonucu bu özelliklerini yitirmişlerdir. Buna karşın Antalya ve Muğla Milas-Bodrum havalimanları her iki değerlendirme yaklaşımına göre de kısmi etkinliğe sahiptir.

## **7. Sonuç ve Değerlendirme**

Çapraz etkinlik ölçüm sonuçları (Tablo 9) incelendiğinde hem operasyonel hem de gelir etkinliği tam olan bir havalimanının olmadığı görülmektedir. Tam etkinliğe en yakın havalimanı olan Antalya havalimanının genel etkinliğini düşüren unsurun ise yolcu, yük ve uçak trafiğini gelire dönüştürme süreci olduğu söylenebilir.

Antalya, İstanbul Atatürk, Trabzon ve Adana havalimanlarının operasyonel ve gelir etkinliklerinin diğer havalimanları ile karşılaştırıldığında yüksek olduğu görülmektedir. Bahsi geçen havalimanları genel etkinlik sıralamasında da ilk beşte yer almaktadır. Ancak hiçbiri genel olarak tam etkin değildir. Çünkü bu havalimanları genel olarak operasyonel süreçte etkin iken gelir üretme sürecinde etkin değildirler. Bu durum havalimanlarının genel etkinliğini düşürmüştür. Bu nedenle bu havalimanlarının tam etkin olarak faaliyet göstermesi için trafik hacimlerini gelire dönüştürme sürecine yoğunlaşmaları önerilmektedir.

Havalimanlarının operasyonel etkinlik değerlerine bakıldığında sadece Antalya havalimanının tam olarak operasyonel etkin olduğu görülmektedir. Bu durumda diğer havalimanlarının işgücü, operasyonel gider, yapısal alt yapı gibi girdi niteliği barındıran kaynaklarını daha verimli kullanmaları gerekmektedir. Ayrıca havalimanlarının yarısının üretim süreç verimliliği açısından ortalamanın altında yer aldığı söylenebilir. Antalya'nın operasyonel olarak tam etkin olması alan yazınında benzer girdi-çıktıları alan Orhan (2019), Çınaroğlu ve Avcı (2017) ve Bolat ve diğerlerinin (2016) çalışmaları ile örtüşmektedir.<sup>5</sup> Diğer taraftan, öz değerlendirme sonuçlarına bakıldığında Adana ve Trabzon havalimanlarının da operasyonel etkinliklerinin 1 çıktığı görülmektedir. Öz değerlendirmede, havalimanları kendi avantajını kullanarak "kendi en iyilerini" verecek ağırlık kümesini belirlemektedirler. Ancak kendilerini diğer havalimanlarına göre konumlandırabilmeleri için etkinlik skorlarının diğer havalimanlarının "kendi en iyileri" olarak belirlediği ağırlıklarla da değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle Adana ve Trabzon havalimanlarının operasyonel etkinlik değerleri

<sup>5</sup> Bahsi geçen çalışmaların hepsi geleneksel VZA çalışmaları olup, örneklemi bu çalışmadaki örneklem ile birebir örtüşmemektedir. VZA sonuçları örneklem büyüklüğünden etkilenmekle birlikte, Antalya havalimanının etkinliğinin yöntemin bu bahsi geçen duyarlılığa rağmen 1 çıkması dikkat çekmektedir. Bu nedenle bulguların yorumlanmasında diğer çalışmalar ile birlikte yorumlanmasına gerek duyulmuştur.

diğer havalimanlarının etkinliklerine göre uyarlandığında düşüş göstermiştir. Sonuç itibari ile öz değerlendirme sonucunda Antalya, Adana ve Trabzon havalimanlarının tam etkin olarak ilk sırada yer aldığı görülürken, çapraz değerlendirmeye alındığında esasen Antalya havalimanının ilk sırada yer aldığı, ikinci sırada Adana havalimanı ve üçüncü sırada Trabzon havalimanının yer aldığı görülmektedir.

Havalimanlarının gelir etkinlikleri incelendiğinde bireysel değerlendirmede İstanbul Atatürk ve Muğla Milas-Bodrum havalimanları tam etkin olarak yer alırken, çapraz değerlendirmede sadece Muğla Milas-Bodrum havalimanının tam bir gelir etkinliğine sahip olduğu görülmektedir. İkinci sırada yer alan İstanbul Atatürk havalimanıyla üçüncü sıradaki Antalya Havalimanı arasındaki farkın ise oldukça az olduğu dikkat çekicidir. Ancak havalimanlarının yarısı ortalamanın altında bir satış süreci verimliliği sergilemektedir. Bu ise havalimanlarının gelirden çok yolcu hizmetlerine ve operasyonel performansa eğilim gösterdiği anlamına gelmektedir.

Genel olarak bakıldığında tam etkin bir havalimanı yoktur. Tam etkinliğe en yakın olan Antalya havalimanının genel etkinliğini ise hizmetlerini gelire dönüştürme süreci düşürmektedir. İkinci sıradaki Adana havalimanının etkinliğiyle Antalya havalimanının etkinliği arasında dikkate değer bir fark söz konusudur. Bunun nedeni ise Adana havalimanının gelir üretme sürecinde oldukça düşük verimlilikte çalışmasıdır. Bu durum aynı zamanda Antalya havalimanının tam bir genel etkinliğe diğer havalimanlarından daha yakın olduğunu da göstermiştir. Adana havalimanında genel etkinliğin artması için yönetsel çabaların yolcu ve yük hacminin yüksek gelire dönüşmesine yönelik olması gerekmektedir. Türk havalimanlarının genel olarak hem üretim süreci hem de satış süreci açısından (birkaç havalimanı dışında) düşük etkinlikte yönetildiği söylenebilir.

İlişkisel AVZA alan yazınında bir takım eleştiriler almakla birlikte yaklaşım, bir üretim sisteminin ağa benzer yapısını dikkate almakta, geleneksel VZA'dan daha fazla bilgi içermekte ve AVZA alanında en çok kullanılan modellerden birisi olma niteliği taşımaktadır. Çalışma ile ilişkisel AVZA modeline ve Kao ve Liu'nun (2019) çapraz etkinlik modeline Türk Havayolu sektöründen ampirik bir araştırma sunulmuştur.

Gerçek hayatta havalimanlarının etkinlik yapıları bu çalışmada ele alınan yapıdan daha karmaşık bir ağ yapısına sahiptir. Bu husus aynı zamanda bu çalışmanın kısıtını oluşturmaktadır. Ayrıca bu çalışmada elde edilen AVZA sonuç değerleri mutlak olarak yorumlanamaz, görelilik olarak yorumlanabilir. Çalışmanın bir diğer kısıtı ise veri setinin tek bir yılı baz almasıdır. Mevcut talebin yıllara göre değişim göstermesi, havalimanlarının göreliliklerini etkileyebilir, kavramsal modelin değişimini dahi gerektirebilir. Bu durumda dinamik bir etkinlik ölçümü için AVZA ailesinden olan Dinamik AVZA kullanılabilir. Bu kısım ilerleyen dönemlerdeki çalışmalar için motivasyon oluşturmaktadır.

TEŞEKKÜR

—


FINANSAL DESTEK


Yazarlar bu çalışma için herhangi bir finansal destek almadıklarını beyan etmiştir.

ETİK

Bu çalışmada etik ilke ve standartlara uyulduğu beyan edilmiştir.

YAZAR KATKI BEYANI

Nagihan Memiş  | Kavram/fikir; Literatür taraması; Tasarım; Veri toplama/analiz; Veri/bulguların yorumu; Taslağın yazımı; Son onay ve sorumluluk. Genel katkı düzeyi %60.

Gül Gökay Emel  | Tasarım; Veri/bulguların yorumu; Eleştirel inceleme; Yönetme ve kontrol; Son onay ve sorumluluk. Genel katkı düzeyi %40.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemiştir.

## Kaynakça

- Adler, N., Liebert, V., & Yazhensky, E. (2013). Benchmarking airports from a managerial perspective. *Omega*, 41(2), 442–458. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2012.02.004>
- Altın, F. G., Karaatlı, M., & Budak, İ. (2017). Avrupa'nın en büyük 20 havalimanının çok kriterli karar verme yöntemleri ve veri zarflama analizi ile değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(4), 1049–1064. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sduiibfd/issue/52995/704359>
- Ar, İ. M. (2012). Türkiye'deki havalimanlarının etkinliklerindeki değişimin incelenmesi: 2007-2011 dönemi için Malmquist-TFV Endeksi uygulaması. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 26(3–4), 143–160. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/atauniiibd/issue/2707/35812>
- Asker, V. (2016). The measurement of airports operational effectiveness: An application of the major 10 airports in Turkey. *Transport & Logistics: the International Journal*, 16(41), 1–9.
- Asker, V., & Battal, Ü. (2017). Operational efficiency measurement at selected airports. *International Journal of Management Economics and Business*, ICMEB17 Special Issue, 351–368. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1124049>
- Avcı, T., & Aktaş, M. (2016). Türkiye'de faaliyet gösteren havalimanlarının performanslarının değerlendirilmesi. *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 7(3), 67–77. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/201849>
- Battal, Ü. (2020). Avrupadaki havaalanı grup şirketlerinin finansal performanslarının ölçülmesi: Veri Zarflama Analizi Yöntemi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(1), 171–184. <https://doi.org/10.25287/ohuiibf.622991>
- Bolat, B., Temur, G. T., & Gürlü, H. (2016). Türkiye deki havalimanlarının etkinlik tahmini: Veri zarflama analizi ve yapay sinir ağlarının birlikte kullanımı. *Ege Academic Review*, 16(OZEL), 1–10. <https://doi.org/10.21121/eab.2016OZEL24424>
- Charnes, A., Cooper, W. W., Golany, B., Seiford, L., & Stutz, J. (1985). Foundations of data envelopment analysis for Pareto-Koopmans efficient empirical production functions. *Journal of Econometrics*, 30(1), 91–107. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(85\)90133-2](https://doi.org/10.1016/0304-4076(85)90133-2)
- Chiou, Y.-C., & Chen, Y.-H. (2006). Route-based performance evaluation of Taiwanese domestic airlines using data envelopment analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 42(2), 116–127. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2005.09.005>
- Çınaroğlu, E., & Avcı, T. (2017). Türkiye'de faaliyette bulunan büyük havalimanlarının iç ve dış hat performanslarının karşılaştırılması. *Business & Management Studies: An International Journal*, 5(4), 55–75. <https://doi.org/10.15295/bmij.v5i4.184>
- Cook, W. D., Tone, K., & Zhu, J. (2014). Data envelopment analysis: Prior to choosing a model. *Omega*, 44, 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2013.09.004>
- Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü [DHMI]. (2020a, Mayıs). 2019 Havayolu Sektör Raporu. Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı. <https://www.dhmi.gov.tr/Lists/HavaYoluSektorRaporlari/Attachments/13/2019HavayoluSektorRaporu.pdf>
- Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü [DHMI]. (2020b, Mayıs). 2019 Faaliyet Raporu. [https://www.dhmi.gov.tr/Lists/FaaliyetRaporlari/Attachments/20/49453\\_1\\_DHMI2019FaaliyetRaporu\(pdf\)\\_FaaliyetRaporu\\_2019webformati.pdf](https://www.dhmi.gov.tr/Lists/FaaliyetRaporlari/Attachments/20/49453_1_DHMI2019FaaliyetRaporu(pdf)_FaaliyetRaporu_2019webformati.pdf)
- Doyle, J., & Green, R. (1994). Efficiency and cross-efficiency in DEA derivations, meanings and uses. *Journal of the Operational Research Society*, 45(5), 567–578. <https://doi.org/10.1057/jors.1994.84>

- European Commission. (2005). *Community guidelines on financing of airports and start-up aid to airlines departing from regional airports* (2005/C 312/01). Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A52005XC1209%2803%29>
- Färe, R., & Grosskopf, S. (1996). Productivity and intermediate products: A frontier approach. *Economics Letters*, 50(1), 65–70. [https://doi.org/10.1016/0165-1765\(95\)00729-6](https://doi.org/10.1016/0165-1765(95)00729-6)
- Färe, R., Grosskopf, S., & Whittaker, G. (2007). Network DEA. In J. Zhu & W. D. Cook (Eds.), *Modeling data irregularities and structural complexities in data envelopment analysis* (pp. 209-240). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-71607-7\\_12](https://doi.org/10.1007/978-0-387-71607-7_12)
- Gramani, M. C. N. (2012). Efficiency decomposition approach: A cross-country airline analysis. *Expert Systems with Applications*, 39(5), 5815–5819. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.11.086>
- Güner, S., Ergüzel, O. Ş., & Cebeci, H. İ. (2019). Uluslararası havalimanlarının operasyonel etkinliğinin değerlendirilmesi: Bölgesel bir karşılaştırma. *Alphanumeric Journal*, 7(3), 37–44. <https://doi.org/10.17093/alphanumeric.499533>
- Halkos, G. E., Tzeremes, N. G., & Kourtzidis, S. A. (2014). A unified classification of two-stage DEA models. *Surveys in operations research and management science*, 19(1), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.sorms.2013.10.001>
- Hong, J.-D., & Jeong, K.-Y. (2019). Combining data envelopment analysis and multi-objective model for the efficient facility location-allocation decision. *Journal of Industrial Engineering International*, 15(2), 315–331. <https://doi.org/10.1007/s40092-018-0294-2>
- Kao, C. (2017). *Network data envelopment analysis* (Vol. 240). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-31718-2>
- Kao, C., & Hwang, S.-N. N. (2008). Efficiency decomposition in two-stage data envelopment analysis: An application to non-life insurance companies in Taiwan. *European Journal of Operational Research*, 185(1), 418–429. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.11.041>
- Kao, C., & Liu, S.-T. (2019). Cross efficiency measurement and decomposition in two basic network systems. *Omega*, 83, 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.02.004>
- Karaoğlu, M. (2014). *Evaluation of Turkish airports efficiencies using data envelopment analysis*. In R. Banker, A. Emrouznejad, H. Bal, İ. Alp, & M. A. Cengiz (Eds.), *Data Envelopment Analysis and Performance Measurement: Proceedings of the 11th International Conference of DEA* (pp. 195–200). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3353.2966>
- Kıyıldı, R. K., & Karşahin, M. (2006). Türkiye'deki hava alanlarının veri zarflama analizi ile altyapı performansının değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(3), 391–397. <https://doi.org/10.19113/sdufbed.16973>
- Koçak, H. (2011). Efficiency examination of Turkish airports with DEA approach. *International Business Research*, 4(2), 204–209. <https://doi.org/10.5539/ibr.v4n2p204>
- Köçken, K., Timor, M., & Karakaplan, M. U. (2022). COVID-19 Pandemisi öncesinde ve pandemi döneminde Türkiye'deki havalimanı etkinliklerinin üç aşamalı veri zarflama analizi ile belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 35, 643–652. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1085597>
- Lee, M. J., & Kim, C. (2018). A network DEA aeronautical and non-aeronautical production model: An application to South Korea airports. *Journal of Economic Structures*, 7(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s40008-018-0130-2>
- Li, Y., Wang, Y., & Cui, Q. (2015). Evaluating airline efficiency: An application of Virtual Frontier Network SBM. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 81, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.06.006>
- Liu, D. (2016). Measuring aeronautical service efficiency and commercial service efficiency of East Asia airport companies: An application of Network Data Envelopment Analysis. *Journal of Air Transport Management*, 52, 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2015.12.001>
- Io Storto, C. (2018). Ownership structure and the technical, cost, and revenue efficiency of Italian airports. *Utilities Policy*, 50, 175–193. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2018.01.003>
- Lovell, C. A. K. (1993). Production frontiers and productive efficiency. In H. O. Fried, C. A. K. Lovell, & S. S. Schmidt (Eds.), *The measurement of productive efficiency: Techniques and applications* (pp. 3–67). Oxford University Press.
- Lozano, S., Gutiérrez, E., & Moreno, P. (2013). Network DEA approach to airports performance assessment considering undesirable outputs. *Applied Mathematical Modelling*, 37(4), 1665–1676. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.04.041>
- Lu, W.-M., Hung, S.-W., Kweh, Q. L., Wang, W.-K., & Lu, E.-T. (2014). Production and marketing efficiencies of the U.S. airline industry: A two-stage network DEA approach. In W. Cook & J. Zhu (Eds.), *Data envelopment analysis. international series in operations research & management science* (Vol. 208; pp. 537–568). Springer New York LLC. [https://doi.org/10.1007/978-1-4899-8068-7\\_21](https://doi.org/10.1007/978-1-4899-8068-7_21)
- Maghbouli, M., Amirteimoori, A., & Kordrostami, S. (2014). Two-stage network structures with undesirable outputs: A DEA based approach. *Measurement*, 48(1), 109–118. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.10.032>
- Mallikarjun, S. (2015). Efficiency of US airlines: A strategic operating model. *Journal of Air Transport Management*, 43, 46–56. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2014.12.004>
- Orhan, M. (2019). Türkiye'deki havalimanlarının etkinliklerinin veri zarflama analizi ile değerlendirilmesi. *Turkish Studies-Economics, Finance, Politics*, 14(4), 1455–1472. <https://doi.org/10.29228/TurkishStudies.39243>

- Ömürbek, N., Öksüz Demirgubuz, M., & Tunca, M. Z. (2013). Hizmet sektöründe performans ölçümünde veri zarflama analizinin kullanımı: havalimanları üzerine bir uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 4(9), 21–43. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/vizyoner/issue/23008/246064>
- Özsoy, V. S., & Örkücü, H. H. (2021). Structural and operational management of Turkish airports: a bootstrap data envelopment analysis of efficiency. *Utilities Policy*, 69, 101180. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2021.101180>
- Öztürk, E., Durak, H. A., & Bal, H. (2014). Evaluation of Turkish airport efficiencies using data envelopment analysis and Moora Method. In M. A. C. Rajiv Banker, Ali Emrouznejad, Hasan Bal, Ihsan Alp (Eds.), *Data Envelopment Analysis and Performance Measurement: Proceedings of the 11th International Conference of DEA* (pp. 189–194). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3353.2966>
- Peker, İ., & Baki, B. (2009). Veri zarflama analizi ile Türkiye havalimanlarında bir etkinlik ölçümü uygulaması. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 18(2), 72–88. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/cusosbil/issue/4382/60125>
- Sarkis, J. (2007). Preparing your data for DEA. In *Modeling data irregularities and structural complexities in Data Envelopment Analysis* (pp. 305–320). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-71607-7\\_17](https://doi.org/10.1007/978-0-387-71607-7_17)
- Seiford, L. M., & Zhu, J. (1999). Profitability and marketability of the top 55 U.S. commercial banks. *Management Science*, 45(9), 1270–1288. <https://doi.org/10.1287/mnsc.45.9.1270>
- Sexton, T. R., Silkman, R. H., & Hogan, A. J. (1986). Data envelopment analysis: Critique and extensions. *New Directions for Program Evaluation*, 1986(32), 73–105. <https://doi.org/10.1002/ev.1441>
- Shao, Y., & Sun, C. (2016). Performance evaluation of China's air routes based on network data envelopment analysis approach. *Journal of Air Transport Management*, 55, 67–75. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2016.01.006>
- Tavassoli, M., Faramarzi, G. R., & Farzipoor Saen, R. (2014). Efficiency and effectiveness in airline performance using a SBM-NDEA model in the presence of shared input. *Journal of Air Transport Management*, 34, 146–153. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2013.09.001>
- Ulutaş, B., & Ulutaş, B. (2009, July 29–August 1). *An analytic network process combined data envelopment analysis methodology to evaluate the performance of airports in Turkey* [Paper presentation]. 10th International Symposium on the Analytic Hierarchy Process. University of Pittsburgh, Pennsylvania, United States. [https://www.isahp.org/2009Proceedings/Final\\_Papers/90\\_Ulutas\\_DEA\\_ANP\\_TurkishAirport\\_Performance\\_REV\\_FI N.pdf](https://www.isahp.org/2009Proceedings/Final_Papers/90_Ulutas_DEA_ANP_TurkishAirport_Performance_REV_FI N.pdf)
- Ülkü, T. (2015). A comparative efficiency analysis of Spanish and Turkish airports. *Journal of Air Transport Management*, 46, 56–68. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2015.03.014>
- Wanke, P. F. (2013). Physical infrastructure and flight consolidation efficiency drivers in Brazilian airports: A two-stage network-DEA approach. *Journal of Air Transport Management*, 31, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2012.09.001>
- Yavuz, İ. (2003). *Verimlilik ve etkinlik ölçümüne yeni yaklaşımlar ve illere göre imalat sanayiinde etkinlik karşılaştırmaları* (Yayın No. 667). Milli Prodüktivite Merkez Yayınları.
- Yazgan, A. E., & Karkacier, O. (2015). Veri Zarflama Analizi ile etkinlik ölçümleri ve havalimanı işletmeciliği sektöründe bir uygulama. *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 7(2), 15–28. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/uaifd/issue/21603/232022>
- Yu, M.-M. (2010). Assessment of airport performance using the SBM-NDEA model. *Omega*, 38(6), 440–452. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2009.11.003>
- Zhu, J. (2011). Airlines performance via two-stage network DEA approach. *Journal of CENTRUM Cathedra: The Business and Economics Research Journal*, 4(2), 260–269. <https://papers.ssrn.com/abstract=1931862>
- Zhu, J. (2014). *Quantitative models for performance evaluation and benchmarking*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-06647-9>

## Extended Abstract

Single criterion-based business performance analysis is frequently used as a primary procedure in benchmarking. However, when businesses consist of interacting units, more than one benchmarking criterion must be considered to select the best business. Lovell (1993, p. 4) defines efficiency as one of the performance determinants, comprising a comparison between observed and optimal values of the business inputs and outputs, indicating how well business units utilize their inputs. Multiple criteria efficiency measurement in business units occurs, in fact, in production units considered decision-making units (DMU) within a mathematical programming context. Data Envelopment Analysis (DEA) based on linear programming is frequently cited for such a measurement. In conventional DEA, DMUs are treated as a “black box” that takes exogenous inputs and produces final outputs. However, in real life, production systems are more complex, so the processes transforming inputs into outputs must also be part of the analysis. In this context, Network Data Envelopment Analysis (NDEA) is presented in the sense that internal structures are handled. In NDEA, the production processes of DMUs can be handled in serial, parallel, or hierarchical network structures. The evaluation of each DMU from its viewpoint and that of other DMUs is stated in peer appraisal, namely cross-efficiency. Cross-efficiency NDEA models have also been proposed to rank DMUs for benchmarking.

This study focuses on businesses in the airline sector due to their supporting role in numerous sectors in developing countries. Motivated by the current trend in the airline sector, airports' performance and efficiency measurements have attracted much attention in the literature. When such literature is examined, it is noticeable that the efficiencies of the Turkish airports' activities are generally handled as a single process that takes exogenous inputs and produces final outputs using conventional DEA. On the other hand, it has been observed that traditional DEA is applied to each process separately in studies that decompose the efficiency measurement into more than one process. In this case, sub-processes are treated as independent DMUs, and the relationship between the sub-processes is not taken into account.

In this study, airport efficiency is approached from a managerial point of view, and airports are handled as business units that aim to minimize costs and maximize revenues. In this context, the efficiency of airports has been examined in two sub-processes: conducting operations and generating revenue. The first stage, regarding operational efficiency, aims to measure airports' efficiency in transforming their resources into aviation operations, which are their essential services. Regarding revenue efficiency, the second stage evaluates airports' revenue generation activities based on current passenger, aircraft, and freight traffic demand. Based on the extension of Kao and Hwang's (2008) relational NDEA to rank the efficiency values, a peer appraisal approach was carried out with Kao and Liu's (2019) cross-efficiency NDEA model. The study used data from 27 airports operated by the State Airports Authority (DHMI) with annual passenger traffic of over 400,000 in 2019.

This study yielded no overall efficient airport, considering operations and revenue generation in terms of overall system efficiency. With the direction of this finding, it can be said that none of the Turkish airports are working efficiently to transform their resources and expenses into revenue.

It has been determined that the airport closest to being a relatively overall efficient airport is Antalya Airport. There is a remarkable difference between the efficiency value of Adana Airport, which is in second place in the relative overall efficiency ranking, and the efficiency value of Antalya Airport. As a result, it can be said that Adana Airport operates with very low efficiency in the revenue generation process. Antalya, İstanbul Atatürk, Trabzon, and Adana Airports are in the top five of the overall efficiency ranking. While these airports are generally active in the operational processes, they are not very active in the revenue generation processes. For this reason, it is recommended that these airports focus on transforming traffic volumes into revenue in order to operate efficiently overall.