



Araştırma Makalesi / Research Article

**ŞANS KISITLI VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE ETKİNLİK ÖLÇÜMÜ:
HAVALİMANI ÖRNEĞİ***

**EFFICIENCY MEASUREMENT WITH CHANCE CONSTRAINED DATA ENVELOPMENT
ANALYSIS: AIRPORT EXAMPLE**

Elif DERE¹

Berk AYVAZ²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbd.1109496>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
elif.demirdere@hotmail.com

Geliş Tarihi / Received
27.04.2022

Kabul Tarihi / Accepted
04.08.2022

Öz

Günümüzde sürekli gelişen teknoloji ve ekonomi şirketlerin işleyişini etkilemektedir. Havayolu ulaşımın en çok tercih edilen ulaşım aracı olmasından dolayı havacılık sektörü de hızla değişim ve gelişim göstermektedir. Türkiye’de ulaşım aracı olarak her geçen gün daha fazla kullanılan hava taşımacılığı, verilen havalimanı hizmeti açısından da önem taşımaktadır. Ülkemizdeki havalimanlarının etkinlik ölçümlerinin yapılması, buldukları sektördeki seviyelerini ve yapılması gereken iyileştirmeleri tespit etmekte fayda sağlamaktadır. Veri Zarflama Analizi ise etkinlik analizinde kullanılan önemli bir yöntemdir. Deterministik yapıda ölçüm yapılabildiği gibi şans kısıtlı Veri Zarflama Analizi ile de stokastik yapıda etkinlik analizi yapılabilmektedir. Bu çalışmada Türkiye’de hizmet veren 42 havalimanının 2020 yılı verileri kullanılarak deterministik ve şans kısıtlı Veri Zarflama Analizi ile etkinlik analizleri yapılmıştır. Analiz sonucunda “etkin” olan havalimanları belirlenmiş, etkin olmayan havalimanları için referans kümesi oluşturularak potansiyel iyileştirme hesaplamaları yapılmış ve etkinlik sonucunda önerilerde bulunulmuştur. Uygulama ile Türkiye’deki havalimanlarının etkinlikleri değerlendirilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: BCC, CCR, havalimanı, şans kısıtlı veri zarflama analizi, veri zarflama analizi.

Abstract

Today, constantly developing technology and economy affect the functioning of companies. Since air transport is the most preferred means of transportation, the aviation sector also changes and develops rapidly. Air transportation, which is used more and more as a means of transportation in Turkey, is also important in terms of the airport service provided. It is useful to measure the efficiency of airports in our country, to determine their level in the sector and to determine the improvements that need to be made. Data Envelopment Analysis is an important method used in efficiency analysis. While measurement can be made in a deterministic structure, efficiency analysis can be performed in a stochastic structure with chance-limited Data Envelopment Analysis. In this study, efficiency analyzes were carried out with deterministic and chance-limited Data Envelopment Analysis, using the 2020 data of 42 airports serving in Turkey. As a result of the analysis, the “active” airports were determined, for the inactive airports, potential improvement calculations were made by creating a reference set and suggestions were made as a result of the activity. With the application, the efficiency of airports in Turkey can be evaluated.

Keywords: Airport, BCC, CCR, chance constrained data envelopment analysis, data envelopment analysis.

*Bu yayın Elif DERE isimli öğrencinin İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Programındaki Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Küçükyalı, İstanbul, Türkiye. elif.demirdere@hotmail.com, Orcid.org/0000-0002-8054-6999.

²İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Küçükyalı, İstanbul, Türkiye. bayvaz@ticaret.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-8098-3611.

1. GİRİŞ

Havacılık sektörü tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de büyük ölçüde gelişmekte ve hızla büyümektedir. Teknolojideki yenilikler ve nüfus artışı gibi faktörler bu büyüme ve gelişmenin en büyük etkenleridir. Günümüzde özellikle turizm için havayolu en çok tercih edilen ulaşım araçlarından biridir. Havacılığın gelişimi ekonomiyi de bu doğrultuda oldukça etkilemektedir. Ülkeler arası kültür etkileşimiyle birlikte ekonomik olarak da ilişkiler kurulmasını sağlamaktadır. Ayrıca havayolu ulaşımı diğer ulaşım türlerinden daha fazla zaman kazandırmakta ve gün geçtikçe seyahat konfor seviyesi arttığından tercih edilme nedenleri artmaktadır (Yazgan, 2012).

İşletmeler, hedeflerine ulaşmak veya buldukları sektördeki konumlarını anlamak için işletme performanslarını değerlendirmek durumundadır. Özellikle yöneticilerin, işletmelerinin etkin olduklarını kontrol etmek ve etkin olabilmek için yapılması gerekenleri tespit edebilmek adına etkinlik ölçümü yapmaları gerekmektedir. Etkinlik ölçümü, sektördeki diğer işletmelere göre kaynakların daha verimli ve etkin kullanımı ile firmayı rekabet açısından öne geçirecektir. Aynı zamanda şirket verimliliğini de belirlemekte yardımcı rol oynamaktadır.

Etkinlik ölçümünde kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır. Veri Zarflama Analizi (VZA) çok sayıda girdi ve çıktı altında etkinlik ölçümü yapan ve parametrik olmayan bir yöntemdir. Bu özelliği ile diğer ölçüm yöntemlerine göre daha avantajlıdır. VZA aynı girdi ve çıktı altında karar verme birimleri olarak adlandırılan birimlerin etkinliğini aynı girdi ve çıktı altında ölçmektedir. Parametrik olmayan bir yöntem olan VZA ile birçok konuda etkinlik analizi yapılabilmektedir. Yalnızca aynı sektördeki şirket etkinlikleri değil, belirli bir firmanın şubeleri, okullardaki derslikler vb. konular için de bu yöntem kullanılabilir. Klasik VZA deterministik yapıdadır. Ölçüm sırasında kullanılan tüm verilerin (girdi ve çıktıların) doğru ve tam olduğunu varsaymaktadır. Bu varsayım nedeniyle belirsizlik olan durumlarda, karar verme birimlerini etkisiz olarak kabul etmektedir. Şans Kısıtlı VZA yöntemi belirsizlik altında etkinlik ölçümü yaparak deterministik VZA yöntemine stokastik bir yaklaşım sağlamaktadır (Gedik, 2010).

Literatür incelendiğinde, VZA’nın etkinlik analizinde sıklıkla kullanılan bir yöntem olduğu ve bu konuda birçok çalışma yapıldığı görülmektedir:

Özden (2008) yaptığı çalışmada Türkiye’deki 24 vakıf üniversitesinin etkinliğini deterministik VZA yöntemiyle ölçmüştür. CCR modeli uygulamasında 15, BCC modelde ise 20 üniversitenin etkin olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca çalışmada, ortalama toplam etkinlik değeri 0,92 bulunarak Türkiye’deki vakıf üniversitelerinin genel olarak verimli çalıştıkları ortaya çıkmıştır.

Aydın & Borat (2021) Türkiye’de bitkisel üretim hasılası yüksek olan 20 ilin VZA ile etkinlik ölçümünü yapmıştır. Çalışmada girdi olarak; “İşlenen Tarım Alanı”, “Tarım Mekanizasyon”, “Tarımsal Sulamada Kullanılan Enerji” ve “Gübre Tüketimi”, çıktı olarak ise “Sebze Meyve Üretim” ve “Tahıl ve Diğer Bitkisel Üretim” kullanılmıştır. Çalışma sonucunda; CCR model uygulandığında 11 ilin, BCC model uygulandığında ise 10 adet ilin etkin olduğu gözlemlenmiştir.

Deterministik model çalışmalarıyla birlikte stokastik (şans kısıtlı) model için de yapılmış çalışmalar yer almaktadır:

Turgutlu ve ark. (2007) deterministik ve şans kısıtlı VZA modelleri ile Türk sigortacılık şirketlerinin 1990-2004 yılları için etkinlik analizlerini yapmışlardır. Daha sonra Spearman sıra korelasyonu ve Mann-Whitney-Wilcoxon testleri ile analiz sonuçlarının tutarlılığı ölçülmüştür. Demireli & Özdemir (2013) 13 Avrupa ülkesinin 2005-2011 yılları için etkinliklerini şans kısıtlı VZA ile hesaplamışlardır. Çalışmada ülkelerin etkinlikleri hem deterministik hem de stokastik modelde ölçülerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Literatürde VZA'nın havacılık sektöründe uygulandığı çalışmalar da bulunmaktadır:

Ulutaş (2006) yaptığı çalışmada Türkiye'deki 34 havalimanının 2000-2004 yılları için etkinliklerinin ölçmüştür. Çalışma sonucunda; Atatürk, Antalya, Kayseri ve Konya havalimanlarının ölçüm yapılan her yıl için etkin oldukları sonucuna varılmıştır.

Kıyıldı & Karaşahin (2006) girdi olarak; "Check-in Kontuar Sayısı", "X-Ray Sayısı", "Terminal Binası Yolcu Kullanım Alanı", "Otopark Araç Kapasitesi", "Havaalanı Pist Büyüklüğü", "Havaalanı Apron Büyüklüğü", "Havaalanı Apron Uçak Kapasitesi", "Havaalanı Taksirut Uçak Kapasitesi", "Terminal Binası" ve "Konveyör Sayısı", çıktı olarak "Uçak Sayısı" verilerini kullanarak Türkiye'deki 32 havalimanının etkinliğini ölçmüştür.

Peker & Baki (2009) havalimanlarını yolcu sayılarına göre gruplandırarak (büyük ve küçük havalimanı olarak) her grup için etkinlik analizi yapmıştır. Çalışmada "Otopark Kapasitesi", "Pist Sayısı", "Havalimanı Büyüklüğü" ve "Personel Sayısı" girdi olarak, "Yolcu Sayısı" ve "Kargo Değeri" çıktı olarak kullanılmıştır. Analiz sonucunda büyük havalimanı grubundan Ankara, Antalya, Adana, Kayseri, Trabzon havalimanı, küçük havalimanı grubundan ise Malatya ve Çardak havalimanı etkin olarak ölçülmüştür.

Ömürbek ve ark. (2013) Türkiye'de faaliyet gösteren 40 havalimanının 2007, 2008, 2009 ve 2010 yılları için etkinliklerini deterministik VZA yöntemi ile ölçmüştür. Çalışmada havalimanları uçuş ve yolcu trafiğine göre sınıflandırılarak analiz edilmiştir. Büyük havalimanlarından Atatürk ve Antalya; orta büyüklükteki havalimanlarından Samsun Çarşamba, Kayseri, Van Ferit Melen ve Malatya; küçük havalimanlarından ise Balıkesir Körfez, Adıyaman, Sinop ve Amasya Merzifon havalimanları etkin olarak belirlenmiştir.

Avcı & Aktaş (2015) çalışmalarında 2013 ve 2014 verilerini kullanarak Türkiye'deki havalimanlarının yaz ve kış dönemleri için etkinlik analizini yapmışlardır. Çalışmada, "Personel Sayısı" ve "Terminal Alanı" girdi olarak; "Yolcu Sayısı", "Yük Trafiği" ve "Uçak Trafiği" ise çıktı olarak kullanılmıştır. Analiz sonucunda Atatürk havalimanının her iki dönemde de en yüksek etkinliğe sahip olduğu görülmüştür.

Yazgan & Karkacier (2015) Türkiye'de yer alan 37 havalimanının 2008-2011 yılları arasındaki etkinlik analizlerini deterministik VZA yöntemi ile yapmıştır. Çalışmada ayrıca Tobit model de uygulanmıştır. Sonuçta ise İstanbul Atatürk, Antalya, Muğla Milas Bodrum, Adana ve Tekirdağ Çorlu havalimanlarının uygulanan her yıl için etkin oldukları tespit edilmiştir.

VZA ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında, Türkiye'deki havalimanlarının etkinlik analizleri deterministik model kullanılarak yapılmış; ancak stokastik model kullanılmamıştır. Bu çalışmada ise, Türkiye'de faaliyet gösteren ve Devlet Hava Meydanları Genel Müdürlüğü'ne bağlı 42 havalimanının 2020 yılı verileri kullanılarak;

- Deterministik ve şans kısıtlı VZA modelleri ile etkinlik analizi yapılmış,
- Deterministik ve stokastik model sonuçları karşılaştırılmış,
- Etkin karar verme birimleri belirlenmiş,
- Etkin olmayan birimler için potansiyel iyileştirme oranları hesaplanmıştır.

Analizde kullanılan girdiler: Çalışan sayısı, işletme gideri, terminal alanı, pist sayısı ve apron sayısıdır. Çıktılar ise uçak trafiği, yolcu trafiği, yük trafiği ve işletme geliridir.

Çalışmanın ikinci bölümünde veri zarflama konusu anlatılmış, üçüncü bölümde uygulama, dördüncü bölümde bulgular ve sonuç kısmında ise çalışma sonuçları değerlendirilmiştir. Kullanılan veriler ve ölçüm sonuç değerleri bulgular altında listelenmiştir.

Çalışmanın amacı, ülkemizdeki havalimanlarının etkinliğini ölçerek yapılması gereken iyileştirmelerin belirlenmesidir. Bununla birlikte diğer amaç ise, bu çalışma bulguları ile havalimanlarının daha iyi hizmet sunabilmesi için katkıda bulunmaktır.

2. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ

Veri Zarflama Analizi, karar verme birimlerinin göreceli etkinliklerini birbirini referans alarak (karşılaştırma yaparak), aynı girdi ve çıktı altında ölçen doğrusal programlama tabanlı bir yöntemdir (Özbek, 2017).

1957 yılında Farrell “The Measurement of Productive Efficiency” isimli çalışmasını yayınlamıştır. Charnes, Cooper ve Rhodes bu çalışmadan yola çıkarak 1978 yılında ilk VZA çalışmasını ortaya çıkarmışlardır. Çalışmada veri zarflama analizi, üretilen mal ya da verilen hizmet ile benzer karar verme birimlerinin göreceli etkinliklerini ölçmeyi sağlayan ve parametrik olmayan bir etkinlik ölçüm modeli olarak tanımlanmıştır (Cook & Seiford, 2009).

VZA'nın diğer yöntemlerden en önemli farkı, çok sayıda girdi ve çıktı kullanılarak etkinlik ölçümü yapabilmesidir. Ölçüm sonucunda karar verme birimlerinin hangi değerlerini değiştirmek (arttırmak veya azaltmak) gerektiği, ne kadar değiştirmek gerektiği anlaşılabilir (Akgöbek ve ark., 2015).

VZA'nın genel özellikleri şu şekilde özetlenebilir (Ulutaş, 2006):

- Çok sayıda girdi ve çıktı kullanılabilir.
- Girdi ve çıktı değerleri aynı birimde olmak zorunda değildir.
- Karar verme birimleri birbirine referans alınarak değerlendirilir.

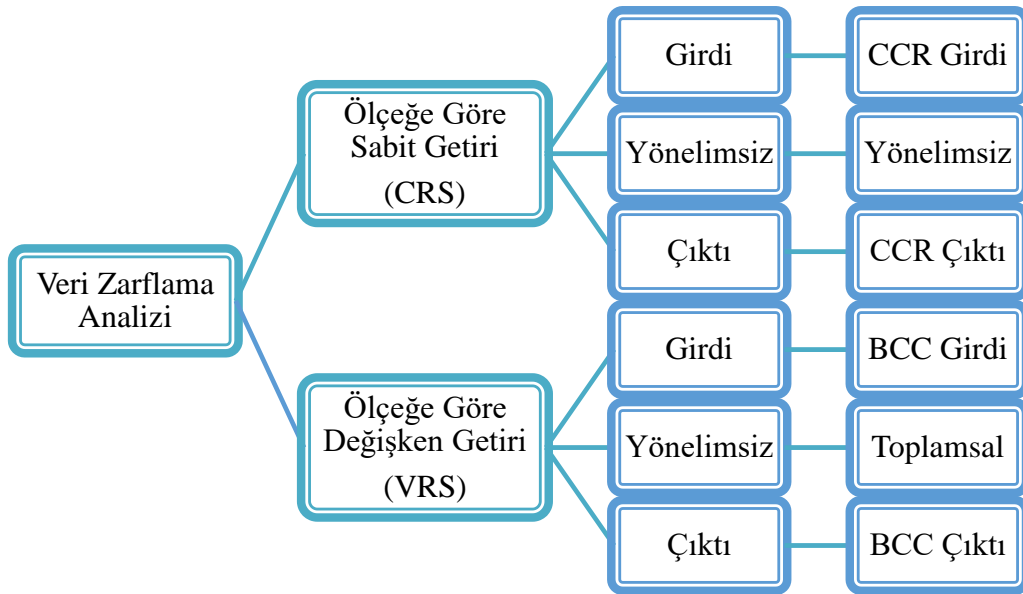
2.1. Deterministik Veri Zarflama Analizi

VZA modelleri zarflama şekillerine göre ayrılır (Topçuoğlu, 2016):

- Ölçeğe göre sabit getiri: Girdilerin miktarı artırıldığında, çıktıların artma oranı aynı ise ölçeğe göre sabit getiri modelidir.
- Ölçeğe göre değişken getiri: Girdilerin miktarı artırıldığında, çıktıların artma oranı farklı gözlemleniyorsa ölçeğe göre değişken getiri modelidir.

Girdi ve çıktı yönelimine göre ise; çıktılar sabit tutularak girdilerin ne kadar azaltılması gerektiği miktar hesaplanmak istenirse girdi odaklı, girdiler sabit tutularak çıktıların artırılması gerektiği miktar hesaplanmak istenirse çıktı odaklı yönelim kullanılabilir (İleri, 1997).

VZA modelleri ölçeğe ve yönlendirmelere göre ayrılmaktadır. Bu modeller aşağıdaki şekilde özetlenmiştir.



Şekil 1. Ölçeğe ve Yönlendirmelere Göre Veri Zarflama Analizi Modelleri (Yeşilyurt, 2003)

2.1.1. Charnes – Cooper – Rhodes (CCR) modeli

Charnes – Cooper – Rhodes modeli, karar verme birimlerinin toplam etkinliğini ölçmek için girdi odaklı ve çıktı odaklı yönelimler ile kullanılan modeldir (Kocakalay & Işık, 2003). Her model kendi içinde primal ve dual olarak ikiye ayırılır. Dual model sonuca daha hızlı ulaştıran bir model olarak primal modelden türetilmiştir.

2.1.1.1. Girdi odaklı CCR modeli

Girdi odaklı CCR Modeli, çıktı değerleri sabit tutulurken karar verme birimlerinin girdi miktarlarını ne kadar azaltması gerektiğini inceleyen modeldir (Oruç, 2008).

Primal Model	Dual Model
$Maks \left(\sum_{r=1}^s u_r y_{ro} \right)$ <p>Kısıtlar,</p> $\sum_{r=1}^m v_i x_{io} = 1$ $\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0$ $u_r \geq 0; \quad v_i \geq 0;$ $i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n; \quad r = 1, \dots, s$	$Min \theta$ <p>Kısıtlar,</p> $\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - \theta x_{io} \leq 0$ $\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - y_{ro} \geq 0$ $\lambda_j \geq 0;$ $i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n; \quad r = 1, \dots, s$

Şekil 2. Girdi Yönlü CCR Modelinin Primal ve Dual Form Formülasyonları

Burada,

n : KVB sayısı

s : Çıktı sayısı

m : Girdi sayısı
 u_r : o. KVB tarafından r. çıktıya verilen ağırlık değeri
 v_i : o. KVB tarafından i. girdiye verilen ağırlık değeri
 λ_j : j. KVB'ye ait ağırlık değeri
 x_{io} : o. KVB'nin kullandığı i. girdi miktarı
 y_{ro} : o. KVB'nin elde ettiği r. çıktı miktarı
 x_{ij} : j. KVB'nin kullandığı i. girdi miktarı
 y_{rj} : j. KVB'nin elde ettiği r. çıktı miktarı
 olarak ifade edilmektedir.

Karar verme biriminin etkinliği amaç fonksiyonuna bağlıdır. θ^* etkinlik skoru olmak üzere;
 $\theta^* < 1$ ise, karar verme birimi etkin değildir.
 $\theta^* = 1$ ise, karar verme birimi etkindir.

2.1.1.2. Çıktı odaklı CCR modeli

Çıktı odaklı CCR Modeli, karar verme birimlerinin girdi değerleri sabit tutulurken çıktılarını inceleyen modeldir.

Primal Model	Dual Model
$\text{Min} \sum_{i=1}^m v_i x_{io}$ <p>Kısıtlar,</p> $\sum_{r=1}^s u_r y_{ro} = 1$ $\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0$ <p> $u_r \geq 0; v_i \geq 0;$ $i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; r = 1, \dots, s$ </p>	$\text{Maks } \Phi$ <p>Kısıtlar,</p> $\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} - x_{io} \leq 0$ $\sum_{r=1}^s \lambda_j y_{rj} - \Phi y_{ro} \geq 0$ <p> $\lambda_j \geq 0;$ $i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; r = 1, \dots, s$ </p>

Şekil 3. Çıktı Yönlü CCR Modelinin Primal ve Dual Form Formülasyonları

θ^* etkinlik skoru olmak üzere;
 $\theta^* > 1$ ise, karar verme birimi etkin değildir.
 $\theta^* = 1$ ise, karar verme birimi etkindir.

2.1.2. Banker – Charnes – Cooper (BCC) modeli

BCC Modeli karar verme birimlerinin teknik etkinliği ölçmeye yarayan bir Veri Zarflama Analizi modelidir (Behdioğlu & Özcan, 2009). CCR modelinden farklı olarak, kısıtlara toplam ağırlık değerlerinin 1'e eşit olduğu konvekslik kısıtı eklenmektedir (Kurşun, 2016).

Girdi odaklı BCC modeli

Primal Model	Dual Model
$\text{Maks} \left(\sum_{r=1}^s u_r y_{ro} - u_o \right)$ <p>Kısıtlar,</p> $\sum_{r=1}^m v_i x_{io} = 1$ $\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0$ <p>$u_r \geq 0; v_i \geq 0;$ $i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; r = 1, \dots, s$</p>	$\text{Min } \theta$ <p>Kısıtlar,</p> $\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - \theta x_{io} \leq 0$ $\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - y_{ro} \geq 0$ $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ <p>$\lambda_j \geq 0;$ $i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; r = 1, \dots, s$</p>

Şekil 4. Girdi yönlü BCC Modelinin Primal ve Dual Form Formülasyonları

θ^* etkinlik skoru olmak üzere;

$\theta^* < 1$ ise, karar verme birimi etkin değildir.

$\theta^* = 1$ ise, karar verme birimi etkindir.

Çıktı odaklı BCC modeli

Primal Model	Dual Model
$\text{Min} \left(\sum_{i=1}^m v_i x_{io} - v_o \right)$ <p>Kısıtlar,</p> $\sum_{r=1}^s u_r y_{ro} = 1$ $\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - v_o \leq 0$ <p>$u_r \geq 0; v_i \geq 0;$ $i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; r = 1, \dots, s$</p>	$\text{Maks } \Phi$ <p>Kısıtlar,</p> $\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} - x_{io} \leq 0$ $\sum_{r=1}^s \lambda_j y_{rj} - \Phi y_{ro} \geq 0$ $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ <p>$\lambda_j \geq 0;$ $i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; r = 1, \dots, s$</p>

Şekil 5. Çıktı Yönlü BCC Modelinin Primal ve Dual Form Formülasyonları

θ^* etkinlik skoru olmak üzere;

$\theta^* > 1$ ise, karar verme birimi etkin değildir.

$\theta^* = 1$ ise, karar verme birimi etkindir.

2.2. Şans Kısıtlı Veri Zarflama Analizi

Veri Zarflama Analizi deterministik bir yapıda olduğundan, belirsiz durumlarda karar verme birimlerini etkisiz olarak değerlendirilir. Bu durum araştırmacıları yeni çalışmalara yönlendirmiştir. Şans kısıtının bulunması modeli deterministik yapıdan stokastik yapıya dönüştürmektedir (Gedik, 2010).

Deterministik Veri Zarflama Analizi'nde etkinlik değerleri, etkinlik sınırının yalnızca bir tarafında yer almaktadır; ancak Stokastik Veri Zarflama Analizi ile değerlerin sınır etrafında stokastik yapıda değişebilmelerine olanak tanınmaktadır (Land ve ark., 1993).

Şans Kısıtlı Veri Zarflama Analizi, 1993 yılında Land vd. tarafından CCDEA (Chance Constrained Data Envelopment Analysis) olarak ilkokullarda yapılan bir çalışma ile ortaya çıkarılmıştır.

Kısıtlar,	$\min \theta$ $Prob (Y^n \lambda \leq y_{no}) \leq 0.05$ $\theta x_{mo} \geq X^m \lambda$ $\lambda \geq 0$ $n = 1, \dots, N; \quad m = 1, \dots, M$
-----------	---

Şekil 6. Şans Kısıtlı Veri Zarflama Analizi Temel Formülasyonu

Burada,

$i, j = 1, \dots, I$: Etkinliği ölçülecek KVB'lerin kümesi

$m = 1, \dots, M$: VZA'da kullanılan girdi değişkenleri

$n = 1, \dots, N$: VZA'da kullanılan çıktı değişkenleri

$X = [x_{mi}]$: KVB'lere ilişkin girdi matrisi

$Y = [y_{ni}]$: KVB'lere ilişkin çıktı matrisi

X^m : X'in satır vektörü

Y^n : Y'nin satır vektörü

$X_o = [x_{mo}]$: İncelenen KVB'nin girdilerinin sütun vektörü

$Y_o = [y_{no}]$: İncelenen KVB'nin çıktılarının sütun vektörü

θ : Radyal girdi daralma (azalma) faktörü

(Etkinlik ölçüsü olarak kullanılacaktır.)

$\lambda = [\lambda_i]$: KVB yüklerinin sütun vektörü

olarak ifade edilmektedir.

Land ve ark. CCDEA modelinde, girdileri deterministik, çıktıları ise rassal olarak kabul ederek çıktı kısıtını "şans kısıtı" olarak adlandırmışlardır. Bununla birlikte karar verme birimlerinin yalnızca %5'i en iyi durumdan daha iyi bir performans gerçekleştireceği varsayıldığından olasılık değeri 0,05 olarak alınmıştır. Bu değer farklı düzeylerde de olabileceği gibi daha büyük değer verilmesi, etkin olmayan karar verme birimlerinin etkin olma düzeyine (1 değerine) yaklaşmalarını sağlamaktadır (Demireli & Özdemir, 2013).

1993 yılında Land vd., ilkokulların etkinlik ölçümünü yaptıkları çalışmada, CCDEA modelinin son halini aşağıdaki gibi belirtmişlerdir.

$$\begin{array}{l}
\text{Kısıtlar,} \\
\min \theta \\
Y^n \lambda - y_{no} - 1.645\sigma \geq 0, \\
\theta x_{mo} - X^m \lambda \geq 0 \\
n = 1, \dots, N; \quad m = 1, \dots, M; \quad \lambda \geq 0 \\
\sigma = c \left(\sum_i \lambda_i^2 - 2\lambda_o + 1 \right)^{0.5}
\end{array}$$

Şekil 7. Şans Kısıtlı Veri Zarflama Analizi Formülasyonu

Modelin düzenlendikten sonraki hali incelendiğinde; girdi odaklı CCR modelinin dual formuna standart normal dağılımın 0.05 anlamlılık düzeyindeki değeri olan 1.645 ve c sabit değeri eklenerek oluşturduğu görülmüştür. c sabit değeri, çıktıların düzey ortalamasının her karar verme birimi ile arasındaki standart sapmasıdır. Bununla birlikte c değeri, 0 ile 1 arasında değer almaktadır. Değer 1'e doğru büyüdükçe çıktılar için izin verilen sınır dışı alanı artmaktadır. Çok fazla belirsiz veri durumunda CCDEA 1'e daha yakın sonuçlar vermektedir.

CCDEA modelinde θ^* etkinlik skoru olmak üzere;
 $\theta^* < 1$ ise, karar verme birimi etkin değildir.
 $\theta^* = 1$ ise, karar verme birimi etkindir.
 $\theta^* > 1$ ise, karar verme birimi hiper etkindir.

3. UYGULAMA

Çalışmanın bu bölümünde Türkiye'de faaliyet gösteren 42 havalimanının 2020 yılına ait verileri kullanılarak; deterministik ve şans kısıtlı VZA modelleri ile etkinlikleri ölçülmüş ve karşılaştırma yapılmıştır.

3.1. Karar Birimlerinin Belirlenmesi

Veri Zarflama Analizi'nde anlamlı sonuçlar elde etmek için karar verme birimlerinin homojen olması, girdi ve çıktı kümesinin aynı olması gerekmektedir (Bowlin, 1998). Bununla birlikte karar birimi sayısı; m girdi ve n çıktı sayısı olmak üzere, en az "m+n+1" olmalıdır (Boussofianee ve ark., 1991). Çalışmada 42 havalimanı karar verme birimi olarak yer almaktadır.

3.2. Girdi ve Çıktı Değişkenlerinin Belirlenmesi

Girdi ve çıktı değişkenleri, sonuçların doğruluğu ve karar verme birimlerinin durumunu doğru ifade edebilmek açısından dikkatli seçilmelidir. Analizde optimal sonucu verebilecek girdi ve çıktıların belirlenmesi için literatürde yer alan benzer havacılık sektörü çalışmalarından yararlanılmıştır.

Gillen & Lall 1997 yılında VZA yöntemi ile Amerika'da havacılık sektöründe etkinlik analizi çalışması yapmıştır. Çalışmada "Pist Sayısı", "Giriş Sayısı", "Terminal Alanı", "Çalışan Sayısı", "Havaalanı Alanı", "Araba Park Alanı" ve "Bagaj Toplama Bantları" girdi olarak; "Yolcular", "Kargo", "İniş ve Kalkış" ve "Banliyö Hareketleri" ise çıktı olarak kullanılmıştır.

Sarkis (2000) tarafından yapılan çalışmada kullanılan girdiler: Pist sayısı, giriş sayısı, operasyon maliyetleri ve çalışan sayısıdır. Kullanılan çıktılar: Yolcular, kargo, iniş ve kalkış, operasyon gelirleri ve genel havacılık olarak belirtilmiştir.

Lin & Hong 2006 yılında çalışan sayısı, pist sayısı, park alanları, bagaj toplama bantları ve apron sayısını girdi olarak; yolcu sayısını, kargo, operasyon ve ticari gelirleri ise çıktı olarak kullanarak VZA ile etkinlik ölçümü yapmışlardır.

Yazgan (2012) Türkiye'deki 37 havalimanının etkinlik ölçümlerini yaparken girdi olarak; çalışan sayısı, işletme gideri, terminal alanı, pist sayısı ve apron sayısı, çıktı olarak yolcu trafiği, işletme geliri, uçak trafiği ve yük trafiğini kullanmıştır.

Literatür çalışmaları dikkate alınarak, çalışma için beş girdi ve dört çıktı değişkeni seçilmiştir.

Girdi Değişkenleri: Çalışan Sayısı (kişi), İşletme Gideri (bin TL), Terminal Alanı (m²), Pist Sayısı (adet), Apron Sayısı (adet) olarak seçilmiştir.

Çıktı Değişkenleri: Uçak Trafiği (adet), Yolcu Trafiği (kişi), Yük Trafiği (ton), İşletme Geliri (bin TL) kullanılmıştır.

3.3. Verilerin Elde Edilmesi

Tüm havalimanlarının kullanılan girdi ve çıktı değişkenlerine ait değerleri bulunamadığından, eksiksiz veri elde edilebilen 42 havalimanı ile etkinlik analizi yapılmıştır. Karar verme birimlerine ait girdi ve çıktı değişkenlerinin değerleri, Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMI) Genel Müdürlüğü internet sitesinde (www.dhmi.gov.tr) yer alan 2020 yılı faaliyet raporundan elde edilmiştir.

3.4. Modellerin Uygulanması

Çalışmada dual formda deterministik VZA modellerinden; Girdi Odaklı CCR, Çıktı Odaklı CCR, Girdi Odaklı BCC ve Çıktı Odaklı BCC modelleri ile, şans kısıtlı VZA modeli uygulanmıştır. Uygulama öncesinde modellerin matematiksel formülasyonları oluşturulmuştur. Aşağıdaki formülasyonlar “Adana” karar birimi için yapılmıştır.

CCR girdi odaklı modelin matematiksel formülasyonu:

Amaç Fonksiyonu: $\min \theta$

$$\begin{aligned} \text{Girdi Kısıtı: } & 1*\lambda_1 + 1*\lambda_2 + 1*\lambda_3 + 2*\lambda_4 + 2*\lambda_5 + 3*\lambda_6 + 1*\lambda_7 + 1*\lambda_8 + 1*\lambda_9 + 2*\lambda_{10} + 1*\lambda_{11} + 1*\lambda_{12} \\ & + 2*\lambda_{13} + 1*\lambda_{14} + 1*\lambda_{15} + 2*\lambda_{16} + 1*\lambda_{17} + 1*\lambda_{18} + 1*\lambda_{19} + 1*\lambda_{20} + 1*\lambda_{21} + 2*\lambda_{22} + 1*\lambda_{23} + 1*\lambda_{24} + \\ & 2*\lambda_{25} + 1*\lambda_{26} + 1*\lambda_{27} + 1*\lambda_{28} + 2*\lambda_{29} + 2*\lambda_{30} + 2*\lambda_{31} + 1*\lambda_{32} + 1*\lambda_{33} + 1*\lambda_{34} + 1*\lambda_{35} + 1*\lambda_{36} + \\ & 1*\lambda_{37} + 1*\lambda_{38} + 1*\lambda_{39} + 1*\lambda_{40} + 1*\lambda_{41} + 1*\lambda_{42} \leq 1*\theta \end{aligned}$$

Her bir girdi için tekrar edilmiştir. Örnekte “Pist Sayısı” girdi değişkeni için formülasyon yazılmıştır.

$$\begin{aligned} \text{Çıktı Kısıtı: } & 27539*\lambda_1 + 1246*\lambda_2 + 1727*\lambda_3 + 847*\lambda_4 + 50394*\lambda_5 + 71180*\lambda_6 + 15505*\lambda_7 + \\ & 2705*\lambda_8 + 1108*\lambda_9 + 11136*\lambda_{10} + 4682*\lambda_{11} + 5708*\lambda_{12} + 7945*\lambda_{13} + 6493*\lambda_{14} + 1918*\lambda_{15} + \\ & 4899*\lambda_{16} + 14583*\lambda_{17} + 1242*\lambda_{18} + 6233*\lambda_{19} + 1809*\lambda_{20} + 23161*\lambda_{21} + 46001*\lambda_{22} + 1877*\lambda_{23} \\ & + 11084*\lambda_{24} + 2858*\lambda_{25} + 736*\lambda_{26} + 9301*\lambda_{27} + 1503*\lambda_{28} + 4356*\lambda_{29} + 4181*\lambda_{30} + 18137*\lambda_{31} \\ & + 23900*\lambda_{32} + 2176*\lambda_{33} + 5005*\lambda_{34} + 11914*\lambda_{35} + 1193*\lambda_{36} + 2905*\lambda_{37} + 4389*\lambda_{38} + 3418*\lambda_{39} \\ & + 20820*\lambda_{40} + 14163*\lambda_{41} + 13368*\lambda_{42} \geq 27539 \end{aligned}$$

Tüm çıktı değişkenleri için tekrar edilmiştir. Örnekte “Uçak Trafikçi” değişkeni için formül yazılmıştır.

$$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7, \lambda_8, \lambda_9, \lambda_{10}, \lambda_{11}, \lambda_{12}, \lambda_{13}, \lambda_{14}, \lambda_{15}, \lambda_{16}, \lambda_{17}, \lambda_{18}, \lambda_{19}, \lambda_{20}, \lambda_{21}, \lambda_{22}, \lambda_{23}, \lambda_{24}, \lambda_{25}, \lambda_{26}, \lambda_{27}, \lambda_{28}, \lambda_{29}, \lambda_{30}, \lambda_{31}, \lambda_{32}, \lambda_{33}, \lambda_{34}, \lambda_{35}, \lambda_{36}, \lambda_{37}, \lambda_{38}, \lambda_{39}, \lambda_{40}, \lambda_{41}, \lambda_{42} \geq 0$$

CCR çıktı odaklı model matematiksel formülasyonu:

Amaç Fonksiyonu: maks ϕ

$$\text{Girdi Kısıtı: } 1*\lambda_1 + 1*\lambda_2 + 1*\lambda_3 + 2*\lambda_4 + 2*\lambda_5 + 3*\lambda_6 + 1*\lambda_7 + 1*\lambda_8 + 1*\lambda_9 + 2*\lambda_{10} + 1*\lambda_{11} + 1*\lambda_{12} + 2*\lambda_{13} + 1*\lambda_{14} + 1*\lambda_{15} + 2*\lambda_{16} + 1*\lambda_{17} + 1*\lambda_{18} + 1*\lambda_{19} + 1*\lambda_{20} + 1*\lambda_{21} + 2*\lambda_{22} + 1*\lambda_{23} + 1*\lambda_{24} + 2*\lambda_{25} + 1*\lambda_{26} + 1*\lambda_{27} + 1*\lambda_{28} + 2*\lambda_{29} + 2*\lambda_{30} + 2*\lambda_{31} + 1*\lambda_{32} + 1*\lambda_{33} + 1*\lambda_{34} + 1*\lambda_{35} + 1*\lambda_{36} + 1*\lambda_{37} + 1*\lambda_{38} + 1*\lambda_{39} + 1*\lambda_{40} + 1*\lambda_{41} + 1*\lambda_{42} \leq 1$$

Her bir girdi için tekrar edilmiştir. Örnekte “Pist Sayısı” girdi değişkeni için formülasyonu yazılmıştır.

$$\text{Çıktı Kısıtı: } 27539*\lambda_1 + 1246*\lambda_2 + 1727*\lambda_3 + 847*\lambda_4 + 50394*\lambda_5 + 71180*\lambda_6 + 15505*\lambda_7 + 2705*\lambda_8 + 1108*\lambda_9 + 11136*\lambda_{10} + 4682*\lambda_{11} + 5708*\lambda_{12} + 7945*\lambda_{13} + 6493*\lambda_{14} + 1918*\lambda_{15} + 4899*\lambda_{16} + 14583*\lambda_{17} + 1242*\lambda_{18} + 6233*\lambda_{19} + 1809*\lambda_{20} + 23161*\lambda_{21} + 46001*\lambda_{22} + 1877*\lambda_{23} + 11084*\lambda_{24} + 2858*\lambda_{25} + 736*\lambda_{26} + 9301*\lambda_{27} + 1503*\lambda_{28} + 4356*\lambda_{29} + 4181*\lambda_{30} + 18137*\lambda_{31} + 23900*\lambda_{32} + 2176*\lambda_{33} + 5005*\lambda_{34} + 11914*\lambda_{35} + 1193*\lambda_{36} + 2905*\lambda_{37} + 4389*\lambda_{38} + 3418*\lambda_{39} + 20820*\lambda_{40} + 14163*\lambda_{41} + 13368*\lambda_{42} \geq 27539*\phi$$

Tüm çıktı değişkenleri için tekrar edilmiştir. Örnekte “Uçak Trafikçi” değişkeni için formül yazılmıştır.

$$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7, \lambda_8, \lambda_9, \lambda_{10}, \lambda_{11}, \lambda_{12}, \lambda_{13}, \lambda_{14}, \lambda_{15}, \lambda_{16}, \lambda_{17}, \lambda_{18}, \lambda_{19}, \lambda_{20}, \lambda_{21}, \lambda_{22}, \lambda_{23}, \lambda_{24}, \lambda_{25}, \lambda_{26}, \lambda_{27}, \lambda_{28}, \lambda_{29}, \lambda_{30}, \lambda_{31}, \lambda_{32}, \lambda_{33}, \lambda_{34}, \lambda_{35}, \lambda_{36}, \lambda_{37}, \lambda_{38}, \lambda_{39}, \lambda_{40}, \lambda_{41}, \lambda_{42} \geq 0$$

BCC girdi odaklı model matematiksel formülasyonu:

Amaç Fonksiyonu: min θ

$$\text{Girdi Kısıtı: } 1*\lambda_1 + 1*\lambda_2 + 1*\lambda_3 + 2*\lambda_4 + 2*\lambda_5 + 3*\lambda_6 + 1*\lambda_7 + 1*\lambda_8 + 1*\lambda_9 + 2*\lambda_{10} + 1*\lambda_{11} + 1*\lambda_{12} + 2*\lambda_{13} + 1*\lambda_{14} + 1*\lambda_{15} + 2*\lambda_{16} + 1*\lambda_{17} + 1*\lambda_{18} + 1*\lambda_{19} + 1*\lambda_{20} + 1*\lambda_{21} + 2*\lambda_{22} + 1*\lambda_{23} + 1*\lambda_{24} + 2*\lambda_{25} + 1*\lambda_{26} + 1*\lambda_{27} + 1*\lambda_{28} + 2*\lambda_{29} + 2*\lambda_{30} + 2*\lambda_{31} + 1*\lambda_{32} + 1*\lambda_{33} + 1*\lambda_{34} + 1*\lambda_{35} + 1*\lambda_{36} + 1*\lambda_{37} + 1*\lambda_{38} + 1*\lambda_{39} + 1*\lambda_{40} + 1*\lambda_{41} + 1*\lambda_{42} \leq 1*\theta$$

Her bir girdi için tekrar edilmiştir. Örnekte “Pist Sayısı” girdi değişkeni için formülasyonu yazılmıştır.

$$\text{Çıktı Kısıtı: } 27539*\lambda_1 + 1246*\lambda_2 + 1727*\lambda_3 + 847*\lambda_4 + 50394*\lambda_5 + 71180*\lambda_6 + 15505*\lambda_7 + 2705*\lambda_8 + 1108*\lambda_9 + 11136*\lambda_{10} + 4682*\lambda_{11} + 5708*\lambda_{12} + 7945*\lambda_{13} + 6493*\lambda_{14} + 1918*\lambda_{15} + 4899*\lambda_{16} + 14583*\lambda_{17} + 1242*\lambda_{18} + 6233*\lambda_{19} + 1809*\lambda_{20} + 23161*\lambda_{21} + 46001*\lambda_{22} + 1877*\lambda_{23} + 11084*\lambda_{24} + 2858*\lambda_{25} + 736*\lambda_{26} + 9301*\lambda_{27} + 1503*\lambda_{28} + 4356*\lambda_{29} + 4181*\lambda_{30} + 18137*\lambda_{31} + 23900*\lambda_{32} + 2176*\lambda_{33} + 5005*\lambda_{34} + 11914*\lambda_{35} + 1193*\lambda_{36} + 2905*\lambda_{37} + 4389*\lambda_{38} + 3418*\lambda_{39} + 20820*\lambda_{40} + 14163*\lambda_{41} + 13368*\lambda_{42} \geq 27539$$

Tüm çıktı değişkenleri için tekrar edilmiştir. Örnekte “Uçak Trafikçi” değişkeni için formül yazılmıştır.

$$\text{Ağırlık Kısıtı: } \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6 + \lambda_7 + \lambda_8 + \lambda_9 + \lambda_{10} + \lambda_{11} + \lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14} + \lambda_{15} + \lambda_{16} + \lambda_{17} + \lambda_{18} + \lambda_{19} + \lambda_{20} + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{25} + \lambda_{26} + \lambda_{27} + \lambda_{28} + \lambda_{29} + \lambda_{30} + \lambda_{31} + \lambda_{32} + \lambda_{33} + \lambda_{34} + \lambda_{35} + \lambda_{36} + \lambda_{37} + \lambda_{38} + \lambda_{39} + \lambda_{40} + \lambda_{41} + \lambda_{42} = 1$$

$$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7, \lambda_8, \lambda_9, \lambda_{10}, \lambda_{11}, \lambda_{12}, \lambda_{13}, \lambda_{14}, \lambda_{15}, \lambda_{16}, \lambda_{17}, \lambda_{18}, \lambda_{19}, \lambda_{20}, \lambda_{21}, \lambda_{22}, \lambda_{23}, \lambda_{24}, \lambda_{25}, \lambda_{26}, \lambda_{27}, \lambda_{28}, \lambda_{29}, \lambda_{30}, \lambda_{31}, \lambda_{32}, \lambda_{33}, \lambda_{34}, \lambda_{35}, \lambda_{36}, \lambda_{37}, \lambda_{38}, \lambda_{39}, \lambda_{40}, \lambda_{41}, \lambda_{42} \geq 0$$

BCC çıktı odaklı model matematiksel formülasyonu:

Amaç Fonksiyonu: maks ϕ

$$\text{Girdi Kısıtı: } 1*\lambda_1 + 1*\lambda_2 + 1*\lambda_3 + 2*\lambda_4 + 2*\lambda_5 + 3*\lambda_6 + 1*\lambda_7 + 1*\lambda_8 + 1*\lambda_9 + 2*\lambda_{10} + 1*\lambda_{11} + 1*\lambda_{12} + 2*\lambda_{13} + 1*\lambda_{14} + 1*\lambda_{15} + 2*\lambda_{16} + 1*\lambda_{17} + 1*\lambda_{18} + 1*\lambda_{19} + 1*\lambda_{20} + 1*\lambda_{21} + 2*\lambda_{22} + 1*\lambda_{23} + 1*\lambda_{24} + 2*\lambda_{25} + 1*\lambda_{26} + 1*\lambda_{27} + 1*\lambda_{28} + 2*\lambda_{29} + 2*\lambda_{30} + 2*\lambda_{31} + 1*\lambda_{32} + 1*\lambda_{33} + 1*\lambda_{34} + 1*\lambda_{35} + 1*\lambda_{36} + 1*\lambda_{37} + 1*\lambda_{38} + 1*\lambda_{39} + 1*\lambda_{40} + 1*\lambda_{41} + 1*\lambda_{42} \leq 1$$

Her bir girdi için tekrar edilmiştir. Örnekte “Pist Sayısı” girdi değişkeni için formülasyon yazılmıştır.

$$\text{Çıktı Kısıtı: } 27539*\lambda_1 + 1246*\lambda_2 + 1727*\lambda_3 + 847*\lambda_4 + 50394*\lambda_5 + 71180*\lambda_6 + 15505*\lambda_7 + 2705*\lambda_8 + 1108*\lambda_9 + 11136*\lambda_{10} + 4682*\lambda_{11} + 5708*\lambda_{12} + 7945*\lambda_{13} + 6493*\lambda_{14} + 1918*\lambda_{15} + 4899*\lambda_{16} + 14583*\lambda_{17} + 1242*\lambda_{18} + 6233*\lambda_{19} + 1809*\lambda_{20} + 23161*\lambda_{21} + 46001*\lambda_{22} + 1877*\lambda_{23} + 11084*\lambda_{24} + 2858*\lambda_{25} + 736*\lambda_{26} + 9301*\lambda_{27} + 1503*\lambda_{28} + 4356*\lambda_{29} + 4181*\lambda_{30} + 18137*\lambda_{31} + 23900*\lambda_{32} + 2176*\lambda_{33} + 5005*\lambda_{34} + 11914*\lambda_{35} + 1193*\lambda_{36} + 2905*\lambda_{37} + 4389*\lambda_{38} + 3418*\lambda_{39} + 20820*\lambda_{40} + 14163*\lambda_{41} + 13368*\lambda_{42} \geq 27539*\phi$$

Tüm çıktı değişkenleri için tekrar edilmiştir. Örnekte “Uçak Trafikçi” değişkeni için formül yazılmıştır.

$$\text{Ağırlık Kısıtı: } \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6 + \lambda_7 + \lambda_8 + \lambda_9 + \lambda_{10} + \lambda_{11} + \lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14} + \lambda_{15} + \lambda_{16} + \lambda_{17} + \lambda_{18} + \lambda_{19} + \lambda_{20} + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{25} + \lambda_{26} + \lambda_{27} + \lambda_{28} + \lambda_{29} + \lambda_{30} + \lambda_{31} + \lambda_{32} + \lambda_{33} + \lambda_{34} + \lambda_{35} + \lambda_{36} + \lambda_{37} + \lambda_{38} + \lambda_{39} + \lambda_{40} + \lambda_{41} + \lambda_{42} = 1$$

$$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7, \lambda_8, \lambda_9, \lambda_{10}, \lambda_{11}, \lambda_{12}, \lambda_{13}, \lambda_{14}, \lambda_{15}, \lambda_{16}, \lambda_{17}, \lambda_{18}, \lambda_{19}, \lambda_{20}, \lambda_{21}, \lambda_{22}, \lambda_{23}, \lambda_{24}, \lambda_{25}, \lambda_{26}, \lambda_{27}, \lambda_{28}, \lambda_{29}, \lambda_{30}, \lambda_{31}, \lambda_{32}, \lambda_{33}, \lambda_{34}, \lambda_{35}, \lambda_{36}, \lambda_{37}, \lambda_{38}, \lambda_{39}, \lambda_{40}, \lambda_{41}, \lambda_{42} \geq 0$$

Şans kısıtlı VZA modeli matematiksel formülasyonu:

Amaç Fonksiyonu: min θ

$$\text{Girdi Kısıtı: } 1*\lambda_1 + 1*\lambda_2 + 1*\lambda_3 + 2*\lambda_4 + 2*\lambda_5 + 3*\lambda_6 + 1*\lambda_7 + 1*\lambda_8 + 1*\lambda_9 + 2*\lambda_{10} + 1*\lambda_{11} + 1*\lambda_{12} + 2*\lambda_{13} + 1*\lambda_{14} + 1*\lambda_{15} + 2*\lambda_{16} + 1*\lambda_{17} + 1*\lambda_{18} + 1*\lambda_{19} + 1*\lambda_{20} + 1*\lambda_{21} + 2*\lambda_{22} + 1*\lambda_{23} + 1*\lambda_{24} + 2*\lambda_{25} + 1*\lambda_{26} + 1*\lambda_{27} + 1*\lambda_{28} + 2*\lambda_{29} + 2*\lambda_{30} + 2*\lambda_{31} + 1*\lambda_{32} + 1*\lambda_{33} + 1*\lambda_{34} + 1*\lambda_{35} + 1*\lambda_{36} + 1*\lambda_{37} + 1*\lambda_{38} + 1*\lambda_{39} + 1*\lambda_{40} + 1*\lambda_{41} + 1*\lambda_{42} \leq 1*\theta$$

Her bir girdi için tekrar edilmiştir. Örnekte “Pist Sayısı” girdi değişkeni için formülasyon yazılmıştır.

$$\begin{aligned} \text{Çıktı Kısıtı: } & 27539*\lambda_1 + 1246*\lambda_2 + 1727*\lambda_3 + 847*\lambda_4 + 50394*\lambda_5 + 71180*\lambda_6 + 15505*\lambda_7 + \\ & 2705*\lambda_8 + 1108*\lambda_9 + 11136*\lambda_{10} + 4682*\lambda_{11} + 5708*\lambda_{12} + 7945*\lambda_{13} + 6493*\lambda_{14} + 1918*\lambda_{15} + \\ & 4899*\lambda_{16} + 14583*\lambda_{17} + 1242*\lambda_{18} + 6233*\lambda_{19} + 1809*\lambda_{20} + 23161*\lambda_{21} + 46001*\lambda_{22} + 1877*\lambda_{23} \\ & + 11084*\lambda_{24} + 2858*\lambda_{25} + 736*\lambda_{26} + 9301*\lambda_{27} + 1503*\lambda_{28} + 4356*\lambda_{29} + 4181*\lambda_{30} + 18137*\lambda_{31} \\ & + 23900*\lambda_{32} + 2176*\lambda_{33} + 5005*\lambda_{34} + 11914*\lambda_{35} + 1193*\lambda_{36} + 2905*\lambda_{37} + 4389*\lambda_{38} + 3418*\lambda_{39} \\ & + 20820*\lambda_{40} + 14163*\lambda_{41} + 13368*\lambda_{42} \geq 27539 - (1.645*c*\sqrt{(\lambda_1^{**2} + \lambda_2^{**2} + \lambda_3^{**2} + \lambda_4^{**2} \\ & + \lambda_5^{**2} + \lambda_6^{**2} + \lambda_7^{**2} + \lambda_8^{**2} + \lambda_9^{**2} + \lambda_{10}^{**2} + \lambda_{11}^{**2} + \lambda_{12}^{**2} + \lambda_{13}^{**2} + \lambda_{14}^{**2} + \lambda_{15}^{**2} \\ & + \lambda_{16}^{**2} + \lambda_{17}^{**2} + \lambda_{18}^{**2} + \lambda_{19}^{**2} + \lambda_{20}^{**2} + \lambda_{21}^{**2} + \lambda_{22}^{**2} + \lambda_{23}^{**2} + \lambda_{24}^{**2} + \lambda_{25}^{**2} + \\ & \lambda_{26}^{**2} + \lambda_{27}^{**2} + \lambda_{28}^{**2} + \lambda_{29}^{**2} + \lambda_{30}^{**2} + \lambda_{31}^{**2} + \lambda_{32}^{**2} + \lambda_{33}^{**2} + \lambda_{34}^{**2} + \lambda_{35}^{**2} + \\ & \lambda_{36}^{**2} + \lambda_{37}^{**2} + \lambda_{38}^{**2} + \lambda_{39}^{**2} + \lambda_{40}^{**2} + \lambda_{41}^{**2} + \lambda_{42}^{**2} - 2*\lambda_1 + 1)) \end{aligned}$$

Tüm çıktı değişkenleri için tekrar edilmiştir. Örnekte “Uçak Trafikçi” değişkeni için formül yazılmıştır.

$$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7, \lambda_8, \lambda_9, \lambda_{10}, \lambda_{11}, \lambda_{12}, \lambda_{13}, \lambda_{14}, \lambda_{15}, \lambda_{16}, \lambda_{17}, \lambda_{18}, \lambda_{19}, \lambda_{20}, \lambda_{21}, \lambda_{22}, \lambda_{23}, \lambda_{24}, \lambda_{25}, \lambda_{26}, \lambda_{27}, \lambda_{28}, \lambda_{29}, \lambda_{30}, \lambda_{31}, \lambda_{32}, \lambda_{33}, \lambda_{34}, \lambda_{35}, \lambda_{36}, \lambda_{37}, \lambda_{38}, \lambda_{39}, \lambda_{40}, \lambda_{41}, \lambda_{42} \geq 0$$

Tüm modeller Python programlama dilinde Anaconda Navigator – Jupyter Notebook programında çözülmüştür.

3.5. Etkin Karar Verme Birimlerinin Belirlenmesi

Modellerde karar verme birimlerinin etkinlik değerleri 1 ise etkin, değilse etkin değil olarak kabul edilmektedir. Stokastik modelde farklı olarak etkinlik değerleri 1 ve üzerinde olan karar verme birimleri etkin olarak belirlenmektedir. Uygulama sonucunda elde edilen değerler bu doğrultuda değerlendirilmiştir.

3.6. Performans İyileştirme

Etkin olmayan karar verme birimlerinin etkin hale gelebilmesi için girdi ve çıktılarında yapılması gereken potansiyel iyileştirmeler (PI) hedef değerler ile bulunabilmektedir (Özden, 2008).

$$PI(\%) = \frac{\text{Hedef} - \text{Gerçekleşen}}{\text{Gerçekleşen}} \times 100 \quad (1)$$

Yüzde olarak bulunan sonuç, eksi değer çıkarsa azaltılması gereken, pozitif değer çıkar ise arttırılması gereken birimi ifade etmektedir.

4. BULGULAR

Çalışmada kullanılan girdi değerleri Tablo1’de bulunmaktadır.

Tablo 1. Karar Verme Birimlerine Ait Girdi Değerleri

HAVALİMANLARI	Çalışan Sayısı	İşletme Gideri	Terminal Alanı	Pist Sayısı	Apron Sayısı
Adana	399	20.656	12.745	1	4
Adıyaman	103	590	23.011	1	1
Ağrı Ahmed-i Hani	72	2156	23676	1	1
Amasya Merzifon	80	1.507	1.200	2	1
Ankara Esenboğa	799	163234	182000	2	8
Antalya	636	281606	178637	3	3
Balıkesir Koca Seyit	159	6631	23240	1	2
Batman	99	1.237	20.741	1	1
Bingöl	75	2936	3600	1	2
Bursa Yenişehir	191	3.076	12.716	2	1
Çanakkale	133	3601	11400	1	2
Denizli Çardak	133	3.171	16.890	1	1
Diyarbakır	162	8040	86571	2	1
Elâzığ	157	4.837	16.397	1	1
Erzincan Yıldırım Akbulut	106	3509	27132	1	2
Erzurum	207	19.314	12.950	2	4
Gaziantep	249	20387	22790	1	2
Hakkâri Yüksekova Selahaddin Eyyubi	67	2.741	6.700	1	1
Hatay	137	3798	43688	1	1
İğdir Şehit Bülent Aydın	72	1.509	3.460	1	1
Isparta Süleyman Demirel	134	3992	6770	1	1
İzmir Adnan Menderes	661	131.137	310.978	2	3
Kahramanmaraş	135	5.075	22.330	1	2
Kapadokya	143	3.655	3.500	1	1
Kars Harakani	89	2240	35946	2	1
Kastamonu	84	1.758	3.740	1	1
Kayseri	163	5328	22000	1	1
Kocaeli Cengiz Topel	89	2.168	2.100	1	1
Konya	182	4110	24175	2	1
Malatya	137	3.336	9.545	2	1
Milas-Bodrum	298	186396	110613	2	1
Muğla Dalaman	372	91.706	244.406	1	1
Muş Sultan Alparslan	96	4816	10300	1	1
Ordu-Giresun	127	7473	20250	1	1
Samsun Çarşamba	199	4.688	11.500	1	1
Sinop	62	1520	12695	1	1
Sivas Nuri Demirağ	118	4.663	20.047	1	2
Şanlıurfa GAP	115	3312	12000	1	1
Şırnak Şerafettin Elçi	67	4.077	4.000	1	1
Tekirdağ Çorlu Atatürk	153	1729	6521	1	2
Trabzon	264	17284	23745	1	1
Van Ferit Melen	161	5.442	14.800	1	1

Çalışmada kullanılan çıktı değerleri Tablo 2’de bulunmaktadır.

Tablo 2. Karar Verme Birimlerine Ait Çıktı Değerleri

HAVALİMANLARI	Uçak Trafığı	Yolcu Trafığı	Yük Trafığı	İşletme Geliri
Adana	27.539	2.507.344	27.475	72.160
Adıyaman	1.246	123.800	1.270	2.840
Ağrı Ahmed-i Hani	1727	208987	2210	3789
Amasya Merzifon	847	90.013	879	2.086
Ankara Esenboğa	50394	5162569	59236	183129
Antalya	71180	9711195	116303	1479018
Balıkesir Koca Seyit	15505	159026	1455	5286
Batman	2.705	371.583	3.883	5.561
Bingöl	1108	121382	1284	2269
Bursa Yenişehir	11.136	60.571	715	4.202
Çanakkale	4682	96564	659	1940
Denizli Çardak	5.708	233.197	2.310	9.314
Diyarbakır	7945	1115642	10423	23687
Elâzığ	6.493	541.827	5.896	11.473
Erzincan Yıldırım Akbulut	1918	223667	2172	5833
Erzurum	4.899	563.048	5.455	12.449
Gaziantep	14583	1390784	15017	43333
Hakkâri Yüksekova Selahaddin Eyyubi	1.242	96.025	1.267	2.409
Hatay	6233	635458	7223	18591
Iğdır Şehit Bülent Aydın	1.809	134.472	1.588	2.919
Isparta Süleyman Demirel	23161	42247	482	4044
İzmir Adnan Menderes	46.001	5.464.858	71.677	398.762
Kahramanmaraş	1.877	141.471	1.334	3.810
Kapadokya	11.084	134.135	1.308	5.209
Kars Harakani	2858	381123	4035	6075
Kastamonu	736	25.135	224	1.145
Kayseri	9301	1161159	14544	39384
Kocaeli Cengiz Topel	1.503	11.851	134	665
Konya	4356	495861	5664	16402
Malatya	4.181	478.082	4.544	8.077
Milas-Bodrum	18137	1480339	16052	345752
Muğla Dalaman	23.900	1.587.125	19.593	286.596
Muş Sultan Alparslan	2176	277960	2890	4661
Ordu-Giresun	5005	556432	5208	13437
Samsun Çarşamba	11.914	868.141	9.476	23.439
Sinop	1193	78028	720	1994
Sivas Nuri Demirağ	2.905	300.881	3.017	5.928
Şanlıurfa GAP	4389	407531	3805	8251
Şırnak Şerafettin Elçi	3.418	227.286	2.693	4.324
Tekirdağ Çorlu Atatürk	20820	22781	4289	5819
Trabzon	14163	1801600	17988	52296
Van Ferit Melen	13.368	976.311	9.996	16.656

Çalışmada Türkiye’de faaliyet gösteren 42 havalimanının deterministik (CCR-BCC) modelleri ile şans kısıtlı VZA modeli ile etkinlik ölçümleri yapılmıştır. Uygulama sonucunda girdi ve çıktı odaklı olarak analizi yapılan CCR modelinin girdi odaklı sonuçlarında, 0,131 etkinlik sonucu ile Kastamonu havalimanı gözlemlenen karar verme birimleri içerisinde en düşük değeri almıştır.

Kastamonu'nun ardından; 0,171 etkinlik sonucu ile Kahramanmaraş, 0,223 sonuç ile Kocaeli Cengiz Topel, 0,249 sonuçla Hakkâri Yüksekova Selahaddin Eyyubi havalimanı gelmektedir.

Çıktı Odaklı CCR modelinde ise; 7,618 etkinlik sonucu ile Kastamonu etkinsiz olarak değerlendirilmektedir. Daha sonra 5,838 sonuçla Kahramanmaraş, 4,493 puanla Kocaeli Cengiz Topel havalimanı etkinsiz karar verme birimi olarak gelmektedir.

CCR modelinde girdi odaklı ve çıktı odaklı model sonuçları aynı olmasa da etkinsizlik sıralamasının aynı olduğu sonucuna varılmıştır.

BCC modelinde birçok KVB etkin çıkmıştır. Erzurum havalimanı girdi odaklı modelde 0,519 sonuç ile etkinsiz çıkmıştır. Çıktı odaklı modelde ise 5,421 sonuç ile Kahramanmaraş havalimanı etkinsiz olmuştur.

Deterministik ve şans kısıtlı VZA uygulama sonuçları Tablo 3' de yer almaktadır.

Tablo 3. CCR ve BCC Modellerinin Etkinlik Sonuçları

KVB	CCR		BCC		CCDEA
	Girdi Odaklı	Çıktı Odaklı	Girdi Odaklı	Çıktı Odaklı	
Adana	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Adıyaman	0,843	1,187	1,000	1,000	0,843
Ağrı Ahmed-i Hani	0,439	2,279	1,000	1,000	0,439
Amasya Merzifon	0,468	2,137	1,000	1,000	0,468
Ankara Esenboğa	0,956	1,046	1,000	1,000	0,956
Antalya	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Balıkesir Koca Seyit	0,658	1,520	1,000	1,520	0,658
Batman	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Bingöl	0,292	3,421	1,000	1,490	0,292
Bursa Yenişehir	0,627	1,596	1,000	1,420	0,627
Çanakkale	0,276	3,620	1,000	3,437	0,276
Denizli Çardak	0,496	2,014	1,000	1,694	0,497
Diyarbakır	0,923	1,083	1,000	1,032	0,923
Elâzığ	0,577	1,733	1,000	1,708	0,577
Erzincan Yıldırım Akbulut	0,301	3,321	1,000	2,533	0,301
Erzurum	0,373	2,678	0,519	2,438	0,373
Gaziantep	0,781	1,280	1,000	1,151	0,781
Hakkâri Yüksekova Selahaddin Eyyubi	0,249	4,020	1,000	1,457	0,249
Hatay	0,772	1,295	1,000	1,255	0,772
İğdir Şehit Bülent Aydın	0,532	1,879	1,000	1,000	0,533
Isparta Süleyman Demirel	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
İzmir Adnan Menderes	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Kahramanmaraş	0,171	5,838	1,000	5,421	0,171
Kapadokya	0,991	1,009	1,000	1,000	0,991
Kars Harakani	0,730	1,370	1,000	1,000	0,730
Kastamonu	0,131	7,618	1,000	3,298	0,131
Kayseri	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Kocaeli Cengiz Topel	0,223	4,493	1,000	1,000	0,223

Konya	0,553	1,808	1,000	1,773	0,553
Malatya	0,742	1,348	1,000	1,214	0,742
Milas-Bodrum	0,763	1,310	1,000	1,000	0,763
Muğla Dalaman	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Muş Sultan Alparslan	0,408	2,450	1,000	1,833	0,408
Ordu-Giresun	0,593	1,688	1,000	1,447	0,593
Samsun Çarşamba	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Sinop	0,259	3,860	1,000	1,000	0,259
Sivas Nuri Demirağ	0,370	2,705	1,000	2,347	0,370
Şanlıurfa GAP	0,605	1,654	1,000	1,428	0,605
Şırnak Şerafettin Elçi	0,600	1,668	1,000	1,000	0,600
Tekirdağ Çorlu Atatürk	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Trabzon	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Van Ferit Melen	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Sonuçlar incelendiğinde; Adana, Antalya, Batman, Isparta Süleyman Demirel, İzmir Adnan Menderes, Kayseri, Muğla-Dalaman, Samsun Çarşamba, Tekirdağ Çorlu Atatürk ve Van Ferit Melen havalimanlarının etkinlik değerleri tüm modellerde “1” olarak sonuçlanmıştır. Bu durum 42 havalimanından 10 tanesinin etkin olduğunu göstermektedir.

Model sonuçlarında “CCDEA” etkinlik sonuçlarının “Girdi Odaklı CCR” modeli ile aynı çıktığı görülmektedir. Bunun nedeni ise c değeri değıştikçe (1’e yaklaştıkça), etkinlik değeri de 1 sonucuna yaklaşmasıdır; ancak kullanılan verilerin büyüklüğünden dolayı değışim çok küçük olmuştur.

Etkin olmayan karar verme birimleri için etkin karar birimleri ile referans kümesi oluşturulmaktadır.

Tablo 4. Referans Karar Verme Birimleri ve Yoğunluk Değerleri

KVB	Adana	Antalya	Batman	Isparta S.D.	Kayseri	Muğla D.	Samsun Ç.	Tekirdağ Ç.A.	Trabzon	Van F.M.
Adana	1,000									
Adıyaman			0,204		0,041			0,015		
Ağrı Ahmed-i Hani			0,038		0,168			0,003		
Amasya Merzifon	0,031						0,015			
Ankara Esenboğa	1,319	0,198								
Antalya		1,000								
Balıkesir Koca Seyit	0,062			0,596						
Batman			1,000							
Bingöl	0,029				0,007		0,045			
Bursa Yenişehir				0,366	0,054			0,103		
Çanakkale				0,097				0,057		0,093
Denizli Çardak				0,061	0,214			0,111		
Diyarbakır		0,010			0,880					
Elâzığ					0,234		0,061	0,030		0,221

Erzincan Yıldırım Akbulut					0,173					0,023
Erzurum	0,166	0,013			0,017					
Gaziantep	0,261	0,028			0,110				0,022	0,305
Hakkâri Yüksekova Selahaddin Eyyubi	0,009	0,001			0,061			0,019		
Hatay			0,163		0,494			0,058		
Iğdır Şehit Bülent Aydın	0,012				0,034		0,073	0,014		
Isparta Süleyman Demirel				1,000						
İzmir Adnan Menderes										
Kahramanmaraş		0,000		0,011	0,043					0,089
Kapadokya	0,049			0,421						
Kars Harakani			0,244		0,250					
Kastamonu		0,000			0,002		0,022	0,021		
Kayseri					1,000					
Kocaeli Cengiz Topel	0,006			0,058						
Konya			0,073		0,403			0,020		
Malatya					0,113		0,399			
Milas-Bodrum		0,205				0,148				
Muğla Dalaman						1,000				
Muş Sultan Alparslan	0,030	0,002			0,159					
Ordu-Giresun		0,008			0,326					0,108
Samsun Çarşamba							1,000			
Sinop			0,020		0,060			0,028		
Sivas Nuri Demirağ		0,001			0,174					0,091
Şanlıurfa GAP					0,253		0,109	0,023		0,019
Şırnak Şerafettin Elçi	0,064	0,003		0,025	0,033			0,028		
Tekirdağ Çorlu Atatürk								1,000		
Trabzon									1,000	
Van Ferit Melen										1,000

Referans birimlerin yoğunluk değeri ile tüm girdi ve çıktı değerleri çarpılarak birimler için hedef değerler bulunabilmektedir. Örneğin; “Çalışan Sayısı” girdi değişkeni için Adıyaman karar verme birimini incelediğimizde, Batman (0,204), Kayseri (0,041) ve Tekirdağ (0,015) havalimanlarının referans kümesini oluşturduğu görülmektedir. Çalışan sayıları ise sırasıyla; 99, 163 ve 153’tür. Adıyaman havalimanı çalışan sayısının hedef değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir:

$$(0,204 \times 99) + (0,041 \times 163) + (0,015 \times 153) = 29,174$$

Adıyaman havalimanında 2020 yılı için 103 personel olduğu bilinmektedir. Potansiyel iyileştirme, hedef değer ile gerçekleşen değer arasındaki farktan bulunmaktadır. Bu durumda potansiyel iyileştirme %71,68 olarak hesaplanmaktadır:

$$\frac{29,174 - 103}{103} \times 100 = \%71,68$$

Etkin olmayan karar verme birimlerine ait tüm potansiyel iyileştirme sonuçları (yüzde olarak) Tablo 5'te listelenmiştir. Etkin karar verme birimleri için hedef değer bulunmadığından, referans birimi kendileri olmaktadır. Etkin olmayan karar verme birimleri için ise en az bir adet etkin karar verme birimi referans kümesini oluşturmaktadır.

Tablo 5. Etkin Olmayan Karar Verme Birimlerinin Potansiyel İyileştirme Sonuçları

KVB	Çalışan Sayısı	İşletme Gideri	Terminal Alanı	Pist Sayısı	Apron Sayısı
Adıyaman	-71,68%	-15,75%	-77,28%	0,00%	0,00%
Ağrı Ahmed-i Hani	-56,12%	-56,12%	-80,98%	0,00%	0,00%
Amasya Merzifon	-80,98%	-53,20%	-53,20%	-50,00%	0,00%
Ankara Esenboğa	-18,41%	-49,19%	-71,35%	-4,40%	-26,65%
Balıkesir Koca Seyit	-34,23%	-44,81%	-79,24%	-34,23%	-57,81%
Bingöl	-70,77%	-70,77%	-70,77%	0,00%	-50,00%
Bursa Yenişehir	-61,43%	-37,33%	-65,89%	-73,83%	-37,33%
Çanakkale	-72,38%	-72,38%	-78,86%	0,00%	-50,00%
Denizli Çardak	-54,90%	-50,35%	-65,42%	0,00%	0,00%
Diyarbakır	-7,69%	-7,69%	-75,64%	-54,57%	-9,13%
Elazığ	-42,30%	-42,30%	-43,10%	-45,32%	-42,30%
Erzincan Yıldırım Akbulut	-69,89%	-69,89%	-84,69%	0,00%	-50,00%
Erzurum	-62,66%	-62,66%	-62,66%	-50,00%	-82,01%
Gaziantep	-21,86%	-21,86%	-30,71%	-21,86%	-21,86%
Hakkari Yüksekova Selahaddin Eyyubi	-75,13%	-75,13%	-75,13%	0,00%	0,00%
Hatay	-23,02%	-22,78%	-66,52%	-28,53%	-22,78%
İğdir Şehit Bülent Aydın	-62,36%	-46,79%	-46,79%	0,00%	0,00%
Kahramanmaraş	-82,87%	-82,87%	-89,19%	0,00%	-50,00%
Kapadokya	-47,01%	-26,57%	-0,91%	0,00%	-38,48%
Kars Harakani	-27,03%	-27,03%	-70,60%	-50,00%	0,00%
Kastamonu	-90,32%	-86,87%	-86,87%	0,00%	0,00%
Kocaeli Cengiz Topel	-88,62%	-83,66%	-77,74%	0,00%	0,00%
Konya	-58,26%	-44,70%	-56,50%	-50,00%	-48,44%
Malatya	-28,53%	-25,81%	-25,81%	-74,37%	-48,75%
Milas-Bodrum	-37,74%	-61,73%	-34,15%	-61,83%	-23,67%
Muş Sultan Alparslan	-59,19%	-59,19%	-59,19%	0,00%	0,00%
Ordu-Giresun	-40,74%	-40,74%	-50,10%	0,00%	0,00%
Sinop	-74,10%	-74,10%	-84,85%	0,00%	0,00%
Sivas Nuri Demirağ	-63,04%	-63,04%	-73,26%	0,00%	-50,00%
Şanlıurfa GAP	-39,54%	-39,54%	-39,54%	0,00%	0,00%
Şırnak Şerafettin Elçi	-40,04%	-40,04%	-40,04%	0,00%	0,00%

Potansiyel iyileştirme sonuçlarında negatif sayılar girdi miktarında azaltılması gereken miktarı, pozitif sayılar ise artırılması gereken miktarı göstermektedir (Babacan ve ark., 2007).

Modellerde etkinsiz çıkan Kastamonu havalimanının etkin olabilmesi için, çalışan sayısını %90,32, işletme giderini %86,87 ve terminal alanını %86,87 oranında azaltarak gerektiği görülmektedir; ancak çalışan sayısını %90,32 azaltması 84 çalışandan yalnızca 8 çalışanın bulunması gerektiğini belirtmektedir. Havalimanındaki istihdamı bu kadar azaltmak işletmeyi olumsuz yönden etkileyebileceğinden, çalışan sayısı minimum bulunması gereken bir sayı belirlenerek azaltılabilir.

Etkin olmayan birimlerin etkin hale gelebilmek için yapacakları değişimler işletmelerindeki çalışma sistemini düşünerek yapılmalıdır. Mevcut sayılardaki azaltma sistemi yavaşlatmayacak ve akışını bozmayacak düzeylerde olmalıdır. İşletmeler %100 verimli çalışamayabileceğinden etkin noktaya yaklaşabilecek ve faaliyetlerini kötü yönde etkilemeyecek düzeyde iyileştirmeler yapmalılardır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde ulaşım aracı olarak havayolu çok daha fazla tercih edilmektedir. Havalimanları ise verdikleri hizmet açısından bu noktada önem taşımaktadır. Ekonomik açıdan kaynakların doğru kullanılması tüm firmalar için önemlidir. Doğru ve yeterli kaynak kullanımı ile firmalar istedikleri hedeflere daha rahat ulaşabilmektedir.

Çalışmada Türkiye’de faaliyet gösteren ve Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü’ne bağlı 42 havalimanının 2020 etkinliği değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda literatür içerisinde etkinlik analizi çalışmalarında öne çıkan Veri Zarflama Analizi yöntemi kullanılmıştır. VZA yöntemi hem deterministik hem de stokastik modeller olarak iki yapıda uygulanmıştır. Stokastik VZA yöntemi literatürde şans kısıtlı VZA (CCDEA) olarak adlandırılmaktadır. Modellerde literatürde yapılmış çalışmalar göz önüne alınarak benzer olarak kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri alınmıştır. Girdi değişkenleri; çalışan sayısı, işletme gideri, terminal alanı, pist sayısı ve apron sayısı, çıktı değişkenleri ise uçak trafiği, yolcu trafiği, yük trafiği ve işletme geliri olarak belirlenmiştir.

Deterministik VZA modelleri (CCR ve BCC), girdi ve çıktı odaklı olarak iki yönelimle, şans kısıtlı VZA ise literatürde tek model olduğundan aynı şekilde uygulanmıştır. Modeller DHMİ’nin yayınladığı yıllık rapordan alınan verileriyle birlikte Jupyter Notebook programında Python programlama dili ile çözümlenmiştir. Elde edilen sonuçlar bulgular altında listelenmiş ve modellerin uygulama sonuçları karşılaştırılmıştır.

Sonuçlar incelendiğinde, 42 havalimanı içerisinde Adana, Antalya, Batman, Isparta Süleyman Demirel, İzmir Adnan Menderes, Kayseri, Muğla-Dalaman, Samsun Çarşamba, Tekirdağ Çorlu Atatürk ve Van Ferit Melen havalimanlarının etkin olduğu görülmüştür. Bununla birlikte elde edilen sonuçlarda, tüm modellerde aynı karar verme birimlerinin (havalimanlarının) etkin olduğu gözlemlenmiştir. Benzer bir çalışma olan ve deterministik VZA ile analiz yapılan Yazgan (2012) çalışmasında 2008-2011 yılları için havalimanlarının etkinlik analizleri yapılmıştır. İki çalışmanın bulguları karşılaştırıldığında; Adana, Antalya ve Tekirdağ Çorlu Atatürk havalimanları yine uygulanan tüm modellerde etkin çıkmışlardır. Bununla birlikte Kahramanmaraş havalimanı yapılan uygulamada da “etkinsiz” olarak sonuçlanmıştır. Çalışmada Samsun Çarşamba, Isparta havalimanları etkin değilken, Milas Bodrum havalimanı etkin olarak belirtilmiştir.

Çalışma sonuçlarında görülmektedir ki yıllar içerisinde işletmelerin verimlilik oranları artabilir, azalabilir veya istikrarlı bir şekilde verimli olarak çalışmalarına devam edebilmektedirler.

Etkin olmayan karar verme birimleri için etkin birimlerden oluşan referans kümesi ve hedef değerlerin belirlenmesini sağlayan yoğunluk değerleri bulunmuştur. Daha sonra karar birimlerinin girdilerinde yapılması gereken değişiklikler için potansiyel iyileştirme oranları hesaplanmıştır.

Çalışma sonucunda 42 havalimanı içerisinde yalnızca 10 havalimanının etkin çıkması, Türkiye'deki havalimanlarında kaynak kullanıma oldukça dikkat edilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu konuda yöneticilerin havalimanlarının buldukları konumu göz önüne alarak bir çalışma yapması ve havalimanlarını etkin duruma getirmek için aksiyon alması gerekmektedir.

Gelecekteki çalışmalarda havalimanları için farklı girdi ve çıktı değişkenleri ile etkinlik analizi yapılabileceği gibi, Türkiye'deki havalimanları ile farklı ülkelerin havalimanları etkinlikleri karşılaştırılarak etkinlik analizi yapılabilir. Ayrıca çalışmayı devam ettirmek isteyenler VZA ile etkinlik ölçümü yaptıktan sonra farklı modellerle gelecek yıllardaki girdi ve çıktı değişkenlerinin değerlerini bularak etkinlik analizlerini yıllara göre karşılaştırarak genel durumu inceleyebilirler. Bununla birlikte deterministik ve stokastik modellerle birlikte bulanık VZA modellerini kullanarak çalışmayı ilerletebilirler.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Akgöbek, Ö., Nişancı, İ., Serkan, K. & Tamer, E. (2015). Veri zarflama analizi yaklaşımını kullanarak bir eğitim kurumunun şubelerinin performanslarını ölçme. *Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 4(3), 43-54.
- Avcı, T. & Aktaş, M. (2015). Türkiye'de faaliyet gösteren havalimanlarının performanslarının değerlendirilmesi. *Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 7(3), 99-109.
- Aydın, B. I. & Borat, O. (2020). Bitkisel tarım etkinliğinin veri zarflama analizi ile ölçümü: Türkiye'de il düzeyinde bir çalışma. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 20(39), 1-18.
- Babacan, A., Kartal, M. & Bircan, H. (2007). Cumhuriyet Üniversitesi'nin etkinliğinin kamu üniversiteleri ile karşılaştırılması: Bir VZA tekniği uygulaması. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 8(2), 97-114.
- Bousofiane, A., Dyson, R. G. & Thanassoulis, E. (1991). Applied data envelopment analysis. *European journal of operational research*, 52(1), 1-15.
- Bowlin, W. F. (1998). Measuring performance: An introduction to data envelopment analysis (DEA). *The journal of cost analysis*, 15(2), 3-27.

- Cook, W. D. & Seiford, L. M. (2009). Data envelopment analysis (DEA)–Thirty years on. *European journal of operational research*, 192(1), 1-17.
- Demireli, E. & Özdemir, Y. (2013). Seçilmiş Avrupa ülkelerinde makroekonomik performans ölçümü: Şans kısıtlı veri zarflama analizi ile bir uygulama. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 37, 303-320.
- Gedik, H. (2010). *Demir çelik ve demir alaşımları imalatı sektöründe stokastik veri zarflama analizi ile etkinlik ölçümü* [Doktora tezi]. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- İleri, İ. (1997). *Veri zarflama analizi ve bankacılık sektöründe bir uygulama* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kıyıldı, R. & Karaşahin, M. (2006). Türkiye'deki hava alanlarının veri zarflama analizi ile altyapı performansının değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(3), 391-397.
- Kocakalay, Ş. (2003). *Veri zarflama analizi ve uygulamasına yönelik bir araştırma* [Yüksek lisans tezi]. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Kurşun, S. (2016). *Veri zarflama analizi ile performans değerlendirme: Katılım bankacılığı sektöründe bir uygulama* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Land, K. C., Lovell, C. K. & Thore, S. (1993). Chance-constrained data envelopment analysis. *Managerial and decision economics*, 14(6), 541-554.
- Oruç, K. O. (2008). *Veri zarflama analizi ile bulanık ortamda etkinlik ölçümleri ve üniversitelerde bir uygulama* [Doktora tezi]. Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.
- Ömürbek, N., Demirgubuz, M. Ö. & 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.
- Özbek, A. (2017). Çok kriterli karar verme yöntemleri ve Excel ile problem çözümü. *Seçkin Yayıncılık*, Ankara.
- Özden, Ü. (2008). Veri zarflama analizi (VZA) ile Türkiye'deki vakıf üniversitelerinin etkinliğinin ölçülmesi. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 37(2), 167-185.
- Peker, İ. & Birdoğan, B. (2009). Veri zarflama analizi ile Türkiye havalimanlarında bir etkinlik ölçümü uygulaması. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 18(2), 72-88.
- Topçuoğlu, Ö. (2016). *Özelleştirmenin etkinlik ve verimliliğe yansımaları: Çimento sektörü üzerine bir uygulama* [Doktora tezi]. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.
- Turgutlu, E., Kök, R. & Kasman, A. (2007). Türk sigortacılık şirketlerinde etkinlik: Deterministik ve şans kısıtlı veri zarflama analizi. *İktisat İşletme ve Finans*, 22(251), 85-102.
- Ulutaş, B. B. (2006). *Türkiye'deki havaalanı etkinliklerinin veri zarflama analizi ile değerlendirilmesi*[Yüksek lisans tezi]. Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

- Yazgan, A. E. (2012). *Veri zarflama analizi ile etkinlik ölçümleri ve havacılık sektöründe bir uygulama* [Doktora tezi]. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Tokat.
- Yazgan, A. E. & Karkacier, O. (2015). Veri zarflama analizi ile etkinlik ölçümleri ve havalimanı işletmeciliği sektöründe bir uygulama. *Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 7(2), 15-28.
- Yeşilyurt, C. (2003). *Matematik programlama tabanlı etkinlik ölçüm yöntemlerinden veri zarflama analizi ile orta öğretimde etkinlik ölçümü* [Doktora tezi]. Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas.