

## Türkiye'deki Hava Alanlarının Veri Zarflama Analizi İle Altyapı Performansının Değerlendirilmesi

Recep Koray KIYILDI<sup>1</sup>, Mustafa KARASHAHİN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Niğde Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Müh. Bölüm / NİĞDE

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Müh. Bölümü / ISPARTA

**Özet:** Çalışmada ülkemizdeki sivil hava taşımacılığı hizmeti verilen, 32 hava alanı Veri Zarflama Analizi (VZA) ile değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Havaalanları için bulunan altyapı verilerinden, havaalanı altyapı kapasite kullanımını en iyi yansıtabilecek değişkenler seçilerek, VZA modelinde kullanılmıştır. VZA modelinde çıktı maksimizasyonu bakımından etkinlik sonuçları elde edilmiştir. Bu modellerin çözümleri DEAP (A Data Envelopment Analysis (Computer) Program) yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Hava alanlarının birbirlerine göre rölatif performansları dikkate alınarak, verimlilik dereceleri belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hava Alanı, Veri Zarflama Analizi, Performans, Maksimizasyon

## Evaluation of Infra-structure Performance of Airports in Turkey with Data Envelopment Analysis

**Abstract:** In this study, civil aviation transportation services in thirty-two airports in Turkey have been examined by DEA (Data Envelopment Analysis). The best possible parameters reflecting the capacity of an airport infra-structure is selected and they are used in DEA model, which is solved by using DEAP (A Data Envelopment Analysis (Computer) Program) software. In the DEA model, the most efficient results are obtained in terms of output oriented maximization. The performance of each airport is compared with the others and the efficiency rate for each airport is assessed.

**Keywords:** Airport, Data Envelopment Analysis, Performance, Maximization.

### Giriş

Ülkemiz gibi sınırlı kaynaklara sahip gelişmekte olan ülkeler için, yüksek maliyete sahip hava alanlarının etkin bir şekilde işletimi, oldukça önem arz etmektedir. Zira havaalanlarında karlı bir işletme sağlayabilmek için verimli işletilmeleri gereklidir. Bunun için de işletimde bulunan havaalanlarının belli dönemlerde kapasite kullanım analizleri yapılarak verimlilikleri denetlenmeli ve elde edilen sonuçlara göre, yeni işletim stratejileri belirlenmelidir. Havaalanının etkin kullanılmasının belirlenmesinde birden çok girdi ve çıktının değerlendirilmesi gereklidir. Buna izin veren bir metod olan, veri zarflama analizi (VZA) önemli bir araçtır. VZA, karar verme birimlerinin (KVB) en iyi girdi/çıkıtı bileşimini bulmasını sağlar. Bu yapısı dolayısıyla yöneticiler için uygun ve güçlü bir karar destek sistem aracı olabilir.

### Verimlilik Kavramı

Performans ölçütlerinden biri olan ve yaygın olarak kullanılan verimlilik kavramının çoğu kez etkinlik kavramından farkı anlaşılmadan kullanıldığı görülmektedir. Bu nedenle verimlilik ve etkinlik kavramlarının taşıdıkları anlam farkları önemlidir. Verimlilik veya üretkenlik en basit tanımıyla çıktının girdiye oranıdır. Bu çerçevede verimlilik kavramı görece bir kavram değildir. İncelenen karar birimlerinin verimliliklerini birbirlerinden bağımsız olarak ölçme imkânı vardır.

Çok girdili ve çok çıktılı üretim süreçlerinin verimliliklerinin ölçülmesinde basit oran yaklaşımı yetersiz kalmaktadır. Bir oran analizi olan basit verim

ölçümünün sakıncalarını ortadan kaldırmak üzere toplam faktör verimliliği kavramından faydalanılmaktadır. Bu yaklaşımın en zayıf noktası farklı özellikteki girdi ve çıktı faktörlerinin nasıl toplanacağı konusunda herhangi bir ipucu vermemesidir. Diğer bir deyişle faktörler için uygulanacak olan katsayıların bilinmiyor olmasıdır. İşte bu noktada yeni açılımlara ihtiyaç duyulmuş ve VZA ortaya çıkmıştır.

### Parametresiz Etkinlik Ölçümleri

Etkinlikle ilgili çalışmalarda, tek bir çıktı ve birden çok girdi için daha çok regresyon yöntemlerini kullanarak tahmin yapmaya çalışan parametrelili yöntemlere bir alternatif olarak ortaya atılan parametresiz yöntemler genel olarak matematik programlamayı çözüm tekniği olarak benimsemişlerdir ve üretim fonksiyonunun ardında bir analitik şeklin varlığına ihtiyaç duymazlar. Bu nedenle daha esnek bir yapıdadırlar. Çok sayıda girdi ve çıktı içeren üretim ortamlarında verimlilik ölçümü için daha uygundur [1].

Parametresiz etkinlik ölçümünde seçilen varsayımların ışığı altında belirli bir gözlem kümesini temel alarak üretim imkan kümesi ve onun etkinlik sınırı belirlendikten sonra, etkin olmayan girdi-çıkıtı dönüşümlerinin etkinlik düzeyleri ölçülür. Girdi ve çıktı fiyatlarının tüm karar birimleri için aynı olduğu yada tam olarak bilinemediği varsayımıyla fiyat etkinliği bir kenara bırakılarak sadece teknik ve ölçek etkinlik düzeylerinin ölçümü, parametresiz etkinlik düzeylerinin ölçümü parametresiz etkinlik ölçütleri ile yapılmaktadır.

Parametrik olmayan etkinlik ölçütleri, girdiye ve çıktıya yönelik olmak üzere iki ana gruba ayrılabilirler. Girdiye yönelik olanlar, herhangi bir çıktı düzeyi için etkin

olmayan karar birimlerinin girdilerini ne derece azaltmaları gerektiğini araştırırlar. Benzer şekilde, çıktıya yönelik etkinlik ölçütleri ise herhangi bir girdi bileşimi için etkin olmayan karar birimlerinin etkin durumuna getirilmesi amacıyla çıktıları ne kadar artırabilecekleri üzerinde durulur [1].

## VZA Tanımı ve Temel Yaklaşımlar

Havaalanlarına ait göreceli etkinlik ve verimlilik ölçümünde, son yıllarda oldukça yoğun ilgi uyandıran parametrik olmayan etkinlik ölçüm yöntemlerinden VZA yöntemi (Data Envelopment Analysis-DEA) kullanılmıştır. İlk olarak 1957 de Farrel tarafından ortaya atılan etkinlik ölçümü, 1978 de Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem VZA adı verilmiştir, buna göre birden fazla girdi ve çıktı için gözlemlerden hareketle etkin sınırın bulunması ve etkin sınır içinde kalan etkin olmayan noktaların merkeze olan radyal uzaklıklarının hesaplanmasını girdi bazlı ve ölçeğe göre sabit getiri varsayımında matematiksel program tabanlı çözümleri yapılmıştır.

VZA ilk olarak Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından ürettikleri mal veya hizmet açısından birbirlerine benzer ekonomik karar birimlerinin “göreceli” etkinliklerinin ölçülmesi amacıyla geliştirilmiş olan “parametresiz” bir etkinlik ölçütüdür. İlk başta kar amacı gütmeyen işletmelerin karşılaştırmalı etkinliğinin ölçülmesini hedefleyen bu yöntem, daha sonraları her amaçlı üretim ve hizmet sektörlerinde de işletmeler arası göreceli etkinliğin ölçümünde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yöntemin getirdiği önemli bir yenilik, birçok girdi kullanılarak birçok çıktının elde edildiği üretim ortamlarında, parametrik yöntemlerde olduğu gibi önceden belirlenmiş herhangi bir analitik üretim fonksiyonunun varlığının öngörülmesine gereksinim duyulmadan ölçüm yapılabilmesidir.

VZA, karşılaştırılmaları zor olan çok sayıda girdi ve çıktının söz konusu olduğu; hastaneler, okullar, bankalar gibi organizasyonel birimlerin göreceli etkinliklerini ölçmekte kullanılan doğrusal programlama esaslı bir metottur [2]. Bunu biraz genişlettiğimizde, girdi ve çıktıların ortak bir birimle ifade edilemediği organizasyonlarda da etkinlik ölçümüne olanak sağlayan bir tekniktir. Tekniğin bu özelliğinden dolayı etkinliğin kolaylıkla ölçüldüğü ve kıyaslanabildiği üretim sektörünün dışında, kar amaçlı olmayan kuruluşlar, belediyeler, okullar, hastaneler, mağazalar, kütüphaneler gibi hizmet üreten sektörlerde de kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

VZA kısa geçmişine rağmen, çeşitli şekillerde tanımlanmıştır. Bunlardan bazıları şöyledir:

\* VZA birden fazla girdi ve çıktıya sahip örgütler kümesinde, hem girdilerin, hem de çıktıların nesnel biçimde bir verimlilik indeksi içinde birleştirilemediği durumlarda göreceli verimlilik ölçümü için kullanılan bir yöntemdir [3].

\* VZA, bir KVB’ nin verimliliği açısından matematiksel olarak ağırlıklı çıktılar toplamının ağırlıklı girdiler toplamına oranının en iyi performansı belirlediği sınıra göre pozisyonudur [4].

\* VZA aynı tür girdiler kullanarak aynı tür çıktıları üreten ve birbirlerine benzer ekonomik karar birimlerinin

karşılaştırmalı etkinliklerinin ölçülmesi amacıyla geliştirilmiş parametresiz bir yöntemdir [1].

\* VZA, birçok girdi ve çıktının gözlemlendiği ve bu gözlenen girdi ve çıktıların tek bir toplam girdi ve çıktıya dönüştürülemeyeceği durumlarda üretim verimliliğini ölçmek için kullanılan bir yöntemdir. VZA de bir KVB’ nin göreceli verimliliği, toplam ağırlıklı çıktıların toplam ağırlıklı girdilere oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu yaklaşım ilk olarak Farrell tarafından ifade edilmiş daha sonra Farrell ve Fieldhouse tarafından geliştirilmiştir [4].

### VZA’ nin Kullanım Alanları

VZA’ nin kullanılabilmesi için öncelikle aynı kararların uygulandığı ve benzer organizasyona sahip olan KVB’ nin seçilmesi gerekmektedir. KVB’ nin etkinliğinin ölçülebilmesi için bu birimlere ait girdi ve çıktı değişkenleri belirlenmelidir. VZA modelinin ayırtırma yeteneğinin çok olabilmesi için girdi ve çıktı sayısının çok olması arzu edilir. Bu nedenle mümkün olduğunca çok sayıda girdi ve çıktı elemanı seçilmelidir. Ancak seçilen girdi ve çıktı elemanlarının her karar birimi için kullanılıyor olması gerekmektedir. Seçilen girdi sayısı m, çıktı sayısı p ise en az  $m+p+1$  tane karar birimi araştırmanın güvenilirliği açısından gerekli bir kısıttır. Diğer bir kısıt ise, değerlendirmeye alınan KVB sayısı, değişken sayısının en az 2 katı olmalıdır [2].

VZA metodu, girdiye ve çıktıya yönelik olarak iki yönlü olarak kullanılabilme özelliğine sahiptir. Girdiye yönelik VZA modelleri, belirli bir çıktı bileşimini en etkin bir şekilde üretebilmek amacıyla, kullanılacak en uygun girdi bileşiminin nasıl olması gerektiğini araştırır. Çıktıya yönelik VZA modelleri ise, belirli bir girdi bileşimi ile en fazla ne kadar çıktı bileşimi elde edilebileceğini araştırır. Son yıllarda VZA modelleri yönetim biçiminde ve yöneylem araştırması uygulamalarında çok geniş bir uygulama alanı bulmuştur [5]. VZA’ nin kullanılabilmesi bazı konular şunlardır:

\* Eş Grupların Kullanımı: VZA her etkin olmayan birim için ona karşılık gelen bir küme etkin birim tanımlar ve bu birimler ile eş gruplar oluştururlar. Eş gruptaki her birim etkin olmayan birimin girdi-çıkıtı yönlendirmesini alır ve etkin olmayan birimle aynı ağırlıkları kullanarak etkin hale gelir.

\* Etkin Çalışma Uygulamalarının Belirlenmesi: İyi çalışma uygulamalarının belirlenmesi ve dökümünün yapılması sadece göreceli etkin olmayan birimler için değil, aynı zamanda göreceli etkin birimler için de etkinliğin artırılmasına imkan sağlanabilir. Göreceli etkin birimler, iyi çalışma uygulamalarının kaynağıdır. Bununla beraber etkin birimler arasında bazıları diğerlerinden daha iyi örnekler.

\* Hedef Belirleme: Pratikteki uygulamalarda sıklıkla göreceli etkin olmayan birimlerin performanslarının iyileştirilmesinde rehber olmak üzere hedeflerin belirlenmesi arzu edilir. VZA ile girdi ve çıktı seviyelerinde hedefler belirlemek mümkündür.

\* Etkin Stratejilerin Belirlenmesi: VZA kolaylıkla birimlerin içinde çalıştıkları politikaları ve programları karşılaştırmada kullanılabilir. Ayrıca modelin uygun çözümü ile yönetsel ve program etkinliklerini değerlendirebilir.

\* Zaman Boyunca Etkinlik Değişimlerinin Gözlenmesi: VZA ile etkinliği belirlenmiş bir firma daha sonraki

dönemlerde etkinliğini yitirebilir ve referans olma özelliğini kaybeder.

\* Kaynak Ataması: VZA görelî etkin ve tekin olmayan birimleri belirlediği gibi etkin olmayan birimler için kaynak koruma ve / veya çıktı artırma potansiyelleri için tahminler verir. Bunların ikisi de yöntemi, kaynakların birimlere atanması için uygun kılar. Görelî etkin ve etkin olmayan birimlerin belirlenmesi kaynakların prensipte hangi yönde transfer edilmeleri hakkında ilk işaret verir.

### Görelî Etkinlik Ölçümü

Çoklu girdi ve çıktı kompozisyonunun olduğu durumlarda görelî etkinliğin ölçümü hipotetik olarak etkin olan (varsayılan) bir birime göre oluşturulmalıdır. Bunu da etkin birimlerin ağırlıklı ortalaması olarak alabiliriz [2]. Görelî etkinliğe ait ortak bir ölçüm aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

Etkinlik = Çıktıların Ağırlıklı Toplamı /Girdilerin Ağırlıklı Toplamı

$$j. \text{ birimin etkinliği} = (u_1 \cdot y_{1j} + u_2 \cdot y_{2j} + \dots) / (v_1 \cdot x_{1j} + v_2 \cdot x_{2j} + \dots) \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

$u_i$  = çıktı  $i$ 'ye verilen ağırlık

$y_{ij}$  =  $j$ . biriminden elde edilen çıktı  $i$ 'in miktarı

$v_i$  = girdi  $i$ 'e verilen ağırlık

$x_{ij}$  =  $j$ . birime kullanılan girdi  $i$ 'in miktarı

(Etkinlik genellikle [0,1] aralığında oluşur).

### VZA İçin Kesikli ve Doğrusal Programlama Modelleri

VZA yöntemi, doğrusal programlama yönteminin geliştirilmiş bir biçimi olduğu ve bir dönüşüm sınırı oluşturması gerektiği için, bir dizi Doğrusal Program (DP) kullanılır. Yani her bir KVB için, ayrı bir doğrusal program hesaplaması yapılır. Her bir KVB için kurulacak olan ve karar değişkenleri olarak girdi ve çıktı ağırlıklarını kontrol eden kesirli doğrusal program, kolaylıkla aynı işlem sonucunu verebilecek olan DP modeline dönüştürülebilir. Bu model Simpleks Algoritması yolu ile çözülebilir. Her bir KVB için elde edilecek çözümler modelin ilgili olduğu KVB için ağırlıklandırılmış değerleri ve modeldeki ilgili KVB' ne ilişkin görelî etkinliği verecektir.

VZA tekniğinin meydana getirilmesinde esin kaynağı olan DP, kısıtlar adı altındaki sınırlayıcı koşullar ile birlikte amaç fonksiyonunun optimize edilmesini içermektedir. Eşitlik ve eşitsizlikten oluşan kısıtlar amaç fonksiyonunun değerini sınırlarlar. Bu kısıtlar 2 grupta toplanırlar:

1- Kaynak Kısıtlılığı ile; problem cümlesindeki mevcut kaynak sayısı kadar kısıtlılık getirir.

2- Negatif Olmama Kısıtı ile; problem cümlesinde yer alan çarpanların negatif değerde olmamasını gerektirir.

Dolayısıyla negatif etkinlik yada verimlilik söz konusu olamaz.

Amaç fonksiyonunun optimize edilmesi iki şekilde olabilir.

1-Maksimizasyon: Karı maksimize etmek, yada çıktı miktarını çoğaltmak.

2-Minimizasyon: Maliyeti yada girdileri enazlamak.

İşletme bazında ele alındığında, maksimizasyon yada minimizeasyona dayalı olarak kurulan amaç fonksiyonlu

problemlerdeki kısıtlar, mevcut dönem içerisinde işletmenin ekonomik davranışını sınırlayan şartlardır.

### Çıktıya Yönelik Zarflamalı VZA Modeli

Belirli bir girdi bileşeni kullanarak en fazla ne kadar çıktı bileşeni elde edilebileceğini araştıran modellerdir. Bunu teknik olarak şöyle gösterebiliriz:

$$F_k = \text{Max } \beta + (\varepsilon * \sum_{i=1}^m \sigma_i^-) + (\varepsilon * \sum_{r=1}^t \sigma_r^+) \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n (X_{ij} * \theta_j) + \sigma_i^- - X_{ik} = 0 \quad ; i=1,2,\dots,m \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n (Y_{rj} * \theta_j) - \sigma_r^+ - (\beta * Y_{rk}) = 0 \quad ; r=1,2,\dots,t \quad (4)$$

$$\theta_j \geq 0, \sigma_i^-, \sigma_r^+ \geq 0, j=1,2,\dots,n$$

Burada;

$F_k$  :  $k$  karar birimini görelî etkinlik değeri,

$\beta$ : Görelî etkinliği ölçülen  $k$  karar biriminin çıktıların ne kadar artırabileceğini belirleyen genişleme katsayısı,

$X_{ik}$  :  $k$  karar birimi tarafından kullanılan  $i$ 'inci girdi,

$Y_{rk}$  :  $k$  karar birimi tarafından üretilen  $r$ 'inci çıktı,

$Y_{rj}$  :  $j$ 'inci karar birimi tarafından üretilen  $r$ 'inci çıktı,

$X_{ij}$  :  $j$ 'inci karar birimi tarafından kullanılan  $i$ 'inci girdi,

$\theta_j$  :  $j$ 'inci karar biriminin aldığı yoğunluk değeri,

$\sigma_i^-$  :  $k$  karar biriminin  $i$ 'inci girdisine ait atıl değer,

$\sigma_r^+$  :  $k$  karar biriminin  $r$ 'inci çıktısına ait atıl değer.

Yukarıdaki formüller yardımıyla görelî etkinliği hesaplanan karar biriminin etkin olmaması durumunda, girdi veya çıktılarda azaltma veya artırma yapılması gerekecektir.

### VZA'nın Güçlü Yönleri

VZA doğru şekilde kullanıldığı zaman oldukça güçlü bir araçtır. VZA' ni güçlü yapan özellikleri şöyle sıralayabiliriz:

\* Çok girdi ve çok çıktıyı işleyecek yetenektedir.

\* Girdilerle çıktılar arasında fonksiyonel bir şekil olması yaklaşımına gerek duymaz. Yani VZA doğrusal form dışında, girdi ve çıktıları ilişkilendiren bir fonksiyonel forma ihtiyaç duymaz.

\* VZA ile etkinlikleri hesaplanan KVB doğrudan bir referans birim yada referans kümesi ile karşılaştırılabilirler.

\* Girdiler ve çıktılar çok farklı birimlere sahip olabilirler. Örneğin;  $X_1$ : kurtarılan hayat sayısını gösteren birim olurken,  $X_2$ : parasal olarak doları temsil eden bir birim olabilir. Bu durumda onları aynı biçimde ölçebilmek için çeşitli varsayımlar kullanmaya, dönüşümler yapmaya gerek yoktur.

\* VZA görelî etkinliği hesaplarken her karar birimi için kullandığı formülasyonu ayrı ayrı eniyiler. Ayrıca her birim yöneticisi açısından etken hale dönüşebilmeleri için neler yapılması gerektiğini önerir. Oysaki, parametrelî yöntemler endüstrisinin tümünü göz önünde bulundurmakta ve ortalama etkenliğe göre ölçüm yapmaktadırlar [6].

### VZA' nin Zayıf Yönleri

Yukarıda verilen güçlü yönler aynı zamanda VZA için sorunlarda oluşturabilmektedirler. VZA' ni çalışmasında kullanmak isteyenler bu sorunlardan oluşan kısıtları dikkate almak zorundadır. VZA' ni avantajlı yapan bazı özellikler aynı zamanda VZA' nin zayıflıklarının da kaynağıdır. VZA' nin zayıflıklarını şöyle sıralayabiliriz:

\* VZA bir ekstrem nokta tekniği olduğundan probleme ilişkin girdi ve çıktı değerlerinin ölçümündeki hatalar analiz aşamasında önemli problemlere neden olabilir.

\* VZA, KVB nin göreceli verimliliklerini tahmin etmede oldukça iyidir. Ama bu özelliği mutlak etkinliği ölçme aşamasında çok yavaş kalır. Başka bir ifade ile, eşitlerin birbirine göre ne kadar iyi kıyaslandığını söyleyebilir fakat, teorik maksimuma göre karşılaştırmak sonucunu söyleyemez.

\* VZA non-parametrik bir metot olduğu için, sonuçlara istatistiksel hipotez testlerinin uygulanması zordur ve bu durum süregelen araştırmaların odak noktası olmuştur.

\* VZA' nin standart formülasyonu her KVB için ayrı bir DP modelinin çözümü gerektiğinden, büyük boyutlu problemler yoğun hesaplamalar gerektirmektedir.

\* VZA esas olarak veri tabanlı bir yöntem olduğu için, araştırmacı verilerin hangi girdi-çıkıtı kümesinin üretim fonksiyonunun tahmininde gerekli olduğunu seçerken dikkatli davranmalıdır. Eksik yada yanlış girdi-çıkıtı seçimi, sonucu çok büyük oranda olumsuzlaştıracaktır.

\* VZA, statik bir analiz şeklindedir, bir tek dönemdeki karar birimi verileri arasında bir kesit analizi yapar.

\* VZA' nin önerdiği zarflama şekli bazı durumlarda yetersiz kalmaktadır. Özellikle doğal zarflamanın mümkün olmadığı durumlarda kuramsal karar birimi yeterince belirgin değildir.

\* VZA her ne kadar parametresiz bir yöntem olarak tanıtılsa da, her bir karar birimine göre ayrı ayrı eniyilendiğinden çok fazla sayıda karar değişkeninin hesaplanmasına yol açar. Bu durum serbestlik derecesini oldukça yükseltir [6].

### Uygulama: VZA ile Hava Alanlarımızın Performansının Belirlenmesi

Bu çalışmada 32 havaalanı için havaalanına ait verilere göre model ayrı ayrı yazılarak verimlilik puanları hesaplanmıştır. Ülkemizdeki iç-hat ve dış-hat ulaşımında havaalanını kullanan yolcular, farklı hizmet düzeyi ile karşılanabilirler. İç-hat yolcuları, kuyruk bekleme noktasında daha fazla tolere edilebilir. Fakat bu durum dış-hat seyahati yapanlar için sıkıntı yaratacağından geçerli değildir.

Gözlem kümelerine VZA' nin uygulanması çalışmasında her bir havaalanı bir KVB olarak tanımlanmıştır. CCR modeli her bir KVB için denklemler yazılarak hesaplaması DEAP bilgisayar programında yapılmıştır. CCR modeli gözlenmiş girdi-çıkıtı kombinasyonunun verimli olup olmadığı ile ilgilenir. CCR yaklaşımı dış etkilerden etkilenmekte olup, ölçüm hatalarına karşı oldukça duyarlıdır. Bu nedenle girdi ve çıktı değerlerinde tam sayıya yuvarlama yapılmamış, sayılar ondalık basamakları ile işlenmiştir [7]. İnceleme kolaylığı bakımından her bir hava alanının CCR verimlilik puanları yüzdesi, verimsiz hava alanının verimli olabilmeleri için referans alacakları verimli hava alanı ve referans kümede

yer alan havaalanlarına ait dual değerlerde (katsayılar) bulunmuştur. Referans kümede yer alan verimli havaalanlarının etkin olarak kullandıkları girdi miktarları, yine bu havaalanlarına ait dual değerlerle çarpılıp, çarpım sonuçları toplanarak verimli olmayan hava alanlarını verimli duruma getirecek yeni girdi miktarları hesaplanabilir.

Bu çalışmada Türkiye' deki küçük ölçekli hava alanlarının altyapı özelliklerinin etkin kapasite kullanımları araştırılmıştır. Bu değerlendirme yapılırken hava alanlarının büyüklüklerine göre gruplama yapılarak inceleme yapılmıştır. Küçük hava alanları grubuna Adana ve Trabzon Hava alanları eklenerek oluşturulan grubun etkinlik değerleri incelenmiştir. Yapılan bu incelemelerde 1996- 2002 yılları toplam uçak ve yolcu sayıları değerleri kullanılmıştır. Buradaki girdi ve çıktı değerleri ilgili hava alanı müdürlüklerinden mektup, faks ve telefon görüşmesi yolları ile ve DHMİ' nin istatistik yıllıklarından sağlanmıştır [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16].

Banker tarafından tavsiye edilen örneğin minimum örnek sayısının, girdi ve çıktılarının toplamının 3 misli veya daha fazlası olmalıdır. Buradan hareketle havaalanı altyapı kapasitesini en iyi tanımlayan özellikleri belirlemek önemlidir. Yani çıktının neden önemli olduğu veya üretim faktörleri kombinasyonlarının havaalanı için neden önemli olduğu gibi çalışmalar önemlidir. Bu şartlarda çalışan hava alanı girdileri tanımlanır. Bu çalışmada 1 çıktı ve 9 girdi kullanılmıştır. Çözümlemede kullanılan DEAP programı Coelli, T.J. [17] tarafından geliştirilmiştir. Bu programa ilişkin çıktı değerleri Toplam Uçak ve Yolcu Sayıları değerleri (1996 ila 2002 yılı verileri) kullanılmıştır. Burada girdi değerleri olarak check-in kontuar sayısı, X-ray güvenlik tarayıcısı sayısı, yolcu terminali binası yolcu kullanım alanı, otopark araç kapasitesi, havaalanı pist büyüklüğü, havaalanı apron büyüklüğü, hava alanı apron uçak kapasitesi, havaalanı taksirut uçak kapasitesi, yolcu terminal binası konveyör sayısı değerleri elde edilmiştir. Bu değerlere sayısallaştırılabilecek başka havaalanı altyapı birimlerinin de eklenebilmesi mümkündür. Çizelge 1 de etkinlik analizi yapılan hava alanlarının çıktı ve girdi değerleri verilmiştir.

Burada:

Çıktılar: Toplam Uçak ve Yolcu Sayıları (1996 ila 2002 yılı verileri kullanılmıştır)

Ç1: 2002 yılı uçak sayısı

Girdiler:

G1: Check-in kontuar sayısı (adet)

G2: X-ray sayısı (adet)

G3: Terminal binası yolcu kullanım alanı (m<sup>2</sup>)

G4: Otopark araç kapasitesi (adet)

G5: Havaalanı pist büyüklüğü (m<sup>2</sup>)

G6: Havaalanı apron büyüklüğü (m<sup>2</sup>)

G7: Havaalanı apron uçak kapasitesi (adet)

G8: Havaalanı taksirut uçak kapasitesi (adet)

G9: Terminal binası konveyör sayısı (adet)

göstermektedir.

**Çizelge 1.** Etkinlik analizi yapılan küçük ölçekli hava alanlarının çıktı ve girdi değerleri

	Ç 1	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9
ADANA	7860	22	3	4830	1050	123750	39792	12	7	5
TRABZON	4281	16	1	3000	238	118800	25000	6	1	3
KAPADOKYA	159	16	2	2000	406	135000	28800	3	1	3
AĞRI	182	2	1	350	70	60000	3600	1	1	1
ÇARDAK	564	4	1	1050	30	135000	4050	4	5	2
DİYARBAKIR	2242	9	2	2210	175	159705	25575	3	2	3
ELAZIĞ	714	3	1	650	34	55040	8400	2	1	2
ERZİNCAN	144	4	1	1000	200	135000	9000	1	3	2
ERZURUM	1188	3	1	825	200	171450	9800	2	1	2
G.ANTEP	2926	4	1	950	110	126000	11700	2	1	2
K.MARAŞ	16	2	1	650	60	69000	4000	1	1	2
KARS	654	3	1	1750	180	157500	9100	1	1	2
KAYSERİ	2428	4	1	1200	60	135000	14940	3	1	3
MALATYA	1113	3	1	760	59	150750	11000	2	1	2
MARDİN	470	1	1	810	70	90000	4000	1	1	1
MUŞ	334	1	1	780	20	239625	29625	2	5	1
SAMSUN	1930	18	1	5130	242	135000	27360	3	1	2
SİİRT	0	3	1	400	20	64800	4988	2	1	2
SİVAS	0	1	1	650	18	114330	6600	1	4	1
URFA	628	2	2	400	50	64950	1800	2	1	1
S.DEMİREL	28	6	1	9430	500	135000	22000	5	1	1
ADİYAMAN	0	6	1	720	20	76200	4000	1	1	1
BALIKESİR	0	1	1	150	10	134550	4940	1	1	1
BURSA	4	14	2	5180	152	135000	57000	7	1	4
ÇANAKKALE	16	1	1	144	40	54000	4800	1	1	1
ÇORLU	1071	5	1	3000	197	135000	84600	11	1	5
KONYA	739	1	1	2650	278	150750	18000	2	2	1
KÖRFEZ	52	2	1	320	20	64290	3600	1	1	1
SİNOP	0	5	1	560	20	66865	4300	1	2	1
TOKAT	0	2	1	140	40	48300	1250	1	1	1
UŞAK	0	1	1	780	20	76800	3600	1	1	1
VAN	1420	3	1	1600	84	123750	15625	2	1	2

Küçük havaalanlarının uçak sayısı bakımından CCR-VZA Modeline (Dokuz girdi ve bir çıktılı model) göre etkinlik analizi sonuçları Çizelge 2 de verilmiştir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde küçük hava alanları arasında uçak sayısı bakımından en etkin kapasite kullanımı; Adana, Trabzon, Gaziantep, Muş, Urfa, Konya ve Van Havaalanları'ndadır. Uçak sayısı bakımından etkin kapasite kullanımına yakın olarak gözükenler; Çardak, Diyarbakır, Elazığ, Erzurum, Kayseri ve Malatya Hava alanları' dır.

Uçak sayısı bakımından etkin kapasite kullanımı orta düzeyde olanlar; Kars, Mardin, Samsun ve Çorlu Hava alanları' dır.

Uçak sayısı bakımından kapasite kullanımı kötü olanlar; Kapadokya, Ağrı, Erzincan, Kahramanmaraş, Siirt, Sivas, Süleyman Demirel, Adıyaman, Balıkesir, Bursa, Çanakkale, Körfez, Sinop, Tokat ve Uşak Hava alanları' dır. Küçük hava alanlarının yolcu sayısı bakımından CCR-VZA Modeli sonuçları Çizelge 3 de verilmiştir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde küçük hava alanları arasında yolcu sayısı bakımından en etkin kapasite

kullanımı; Adana, Trabzon, Gaziantep, Urfa ve Van Hava alanı'ndadır.

Yolcu sayısı bakımından etkin kapasite kullanımına yakın olarak gözükenler; Diyarbakır, Erzurum, Kayseri, Muş ve Konya Hava alanları' dır. Yolcu sayısı bakımından etkin kapasite kullanımı orta düzeyde olanlar; Çardak, Elazığ, Kars, Malatya ve Samsun Hava alanları' dır.

Yolcu sayısı bakımından kapasite kullanımı kötü olanlar; Kapadokya, Ağrı, Erzincan, Kahramanmaraş, Mardin, Siirt, Sivas, Süleyman Demirel, Adıyaman, Balıkesir, Bursa, Çanakkale, Çorlu, Körfez, Sinop, Tokat ve Uşak Hava alanları' dır.

## Sonuçlar

Özellikle kamu tarafından işletilen kuruluşlarda VZA türü analizler yardımıyla performans ölçümlerinin yapılması ekonomik işletme açısından son derece önemlidir. Büyük paralar harcanarak inşa edilen hava alanlarının akılcı işletilebilmesi için bu tür yöntemlerin geliştirilmesi ve uygulamasında dikkate alınması daha akılcı olacaktır.

Burada beklenen talep seviyesi yakalanana kadar daha etkin alan ve personel kullanımı sağlanabilecektir. Dinamik bir hayatın devam ettiği hava alanlarında, yolcu konforunun artırılabilmesi ve özellikle tıkanıklıkların önlenmesi için yeni işletme politikaları geliştirilmelidir. Bu konuda çalışacak araştırmacılara gerekli kolaylıklar sağlanmalıdır.

Bu çalışmada CCR-VZA modeline göre çıktı maksimizasyonu bakımından etkinlik sonuçları elde edilmiştir. Bulunan sonuçlar hava alanlarının birbirlerine göre rölatif performansları dikkate alınarak, verimlilik derecesidir. Buradan işletim sırasında maksimum verim sağlanabilmesi için uygulanması gereken girdi değerlerini hesaplayabilmek mümkündür. Buradan hangi girdide ne ölçüde azaltma yapılabileceği bilgisi elde edilmektedir. Uçak sayısı ve yolcu sayısına göre bulunan bu sonuçlar

incelendiğinde; etkinlik değerleri 1.00 olanlar uyguladıkları işletim stratejileri ile etkin olarak hizmet vermektedirler. Yani en verimli hava alanlarıdır. Etkinlik değerleri 0.80 ila 1.00 arasında olanlar ise az bir iyileştirme ile etkin verimlilikte hizmet verebilecek hava alanları olarak dikkat çekmektedirler. Etkinlik değerleri 0.80 ila 0.60 arasında olanlar akılcı önlemler alınmak yolu ile etkin kapasite kullanımları sağlanabilir hava alanları olarak gözükmektedir. Etkinlik değerleri 0.60 dan daha az olanlar ise acil olarak koşullarında önemli bir değişiklik yapılmadıkça etkin olmayan havaalanları olarak kalacaklardır. Bir diğer ifade ile verimsiz havaalanlarıdır.

**Çizelge 2.** Küçük hava alanlarının uçak sayısı bakımından CCR-VZA Modeline (Dokuz girdi ve bir çıktılı model) göre etkinlik analizi sonuçları

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
ADANA	0.811	0.901	1.000	0.865	0.896	0.790	0.656
TRABZON	0.824	0.781	1.000	0.968	0.827	0.677	0.659
KAPADOKYA	0.000	0.000	0.000	0.077	0.065	0.058	0.040
AĞRI	0.000	0.095	0.228	0.259	0.256	0.181	0.1730
ÇARDAK	0.421	0.584	0.624	0.801	0.810	0.729	0.612
DIYARBAKIR	0.579	0.600	0.607	0.712	0.711	0.591	0.520
ELAZIĞ	0.526	0.635	0.666	0.750	0.721	0.701	0.578
ERZİNCAN	0.186	0.187	0.193	0.249	0.247	0.180	0.093
ERZURUM	0.654	0.770	0.790	0.900	0.765	0.626	0.503
G.ANTEP	0.463	0.610	0.859	1.000	0.947	0.826	0.949
K.MARAŞ	0.005	0.176	0.215	0.279	0.270	0.162	0.014
KARS	0.491	0.598	0.613	0.571	0.557	0.431	0.424
KAYSERİ	0.000	0.000	0.059	0.572	0.670	0.745	1.000
MALATYA	0.387	0.483	0.623	0.697	0.753	0.620	0.571
MARDİN	0.000	0.000	0.000	0.002	0.401	0.588	0.564
MUŞ	0.848	0.964	0.942	0.997	0.980	0.729	0.457
SAMSUN	0.221	0.247	0.241	0.465	0.622	0.573	0.526
SİİRT	0.000	0.000	0.184	0.452	0.641	0.237	0.000
SİVAS	0.230	0.297	0.271	0.291	0.463	0.262	0.000
URFA	0.690	0.776	0.858	1.000	0.990	0.763	0.675
S.DEMİREL	0.000	0.046	0.121	0.113	0.085	0.025	0.013
ADIYAMAN	0.000	0.000	0.198	0.413	0.261	0.008	0.000
BALIKESİR	0.000	0.000	0.000	0.557	0.546	0.096	0.000
BURSA	0.277	0.398	0.267	0.086	0.000	0.000	0.001
ÇANAKKALE	0.056	0.045	0.035	1.000	0.009	0.000	0.023
ÇORLU	0.000	0.000	0.031	0.421	0.631	0.590	0.318
KONYA	0.000	0.000	0.000	0.000	0.136	0.854	0.817
KÖRFEZ	0.000	0.066	0.117	0.718	0.109	0.074	0.074
SİNOP	0.037	0.139	0.136	0.099	0.118	0.005	0.000
TOKAT	0.226	0.176	0.186	0.105	0.035	0.000	0.000
UŞAK	0.000	0.000	0.000	0.104	0.176	0.003	0.000
VAN	0.889	1.000	0.955	0.945	0.867	0.692	0.523

**Çizelge 3.** Küçük hava alanlarının yolcu sayısı bakımından CCR-VZA Modeli (Dokuz girdi ve bir çıktılı model) etkinlik analizi sonuçları

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
ADANA	0.814	0.902	1.000	0.850	0.898	0.758	0.686
TRABZON	0.986	0.841	1000	0.950	0.926	0.707	0.691
KAPADOKYA	0.000	0.000	0.000	0.037	0.036	0.053	0.046
AĞRI	0.000	0.090	0.173	0.192	0.178	0.099	0.108
ÇARDAK	0.293	0.438	0.418	0.493	0.545	0.414	0.405
DIYARBAKIR	0.688	0.755	0.773	0.753	0.741	0.541	0.451
ELAZIĞ	0.455	0.516	0.574	0.616	0.538	0.461	0.377
ERZİNCAN	0.117	0.128	0.122	0.132	0.132	0.081	0.045
ERZURUM	0.646	0.789	0.727	0.830	0.655	0.482	0.439
G.ANTEP	0.513	0.669	0.826	0.847	0.845	0.780	1.000
K.MARAŞ	0.000	0.080	0.089	0.108	0.106	0.036	0.002
KARS	0.582	0.702	0.684	0.533	0.519	0.350	0.318
KAYSERİ	0.000	0.000	0.048	0.459	0.692	0.747	1.000
MALATYA	0.343	0.412	0.458	0.532	0.589	0.467	0.485
MARDİN	0.000	0.000	0.000	0.004	0.306	0.387	0.315
MUŞ	0.724	0.753	0.736	0.787	0.691	0.385	0.229
SAMSUN	0.163	0.189	0.183	0.385	0.592	0.514	0.506
SİİRT	0.000	0.000	0.116	0.276	0.349	0.119	0.000
SİVAS	0.072	0.126	0.113	0.106	0.145	0.060	0.000
URFA	0.693	0.903	0.992	1.000	0.972	0.622	0.559
S.DEMİREL	0.000	0.011	0.032	0.039	0.034	0.030	0.015
ADİYAMAN	0.000	0.000	0.083	0.132	0.085	0.003	0.000
BALIKESİR	0.000	0.000	0.000	0.146	0.164	0.016	0.000
BURSA	0.057	0.055	0.024	0.005	0.000	0.000	0.000
ÇANAKKALE	0.006	0.009	0.000	0.040	0.007	0.000	0.005
ÇORLU	0.000	0.000	0.005	0.159	0.278	0.287	0.151
KONYA	0.000	0.000	0.000	0.000	0.084	0.639	0.590
KÖRFEZ	0.000	0.032	0.061	0.075	0.064	0.043	0.046
SİNOP	0.006	0.013	0.012	0.010	0.011	0.000	0.000
TOKAT	0.033	0.031	0.040	0.022	0.003	0.000	0.000
UŞAK	0.000	0.000	0.000	0.018	0.028	0.000	0.000
VAN	0.877	0.996	0.982	1.000	0.889	0.628	0.432

### Kaynaklar

- [1]. Yolalan, R., 1993. İşletmeler arası Görelî Etkinlik Ölçümü, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları: 483.
- [2]. Dyson, R.G., Thanassoulis, E., Boussofiene, A. 1990. A DEA Tutorial, Wawick Business School, Warwick.
- [3]. Kavuncubaşı, Ş., 1996. Hastanelerde Göreceli Verimlilik Ölçümü: Veri Çevreleme Analizinin Uygulanması. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, SBF, Ankara.
- [4]. Ersen, H.M., 1999. Veri Zarflama Analizinin Stokastik Değişiklikler Altında Geçerliliği: Gürültünün Verimsizlik Bileşeni, Doktora Tezi Hacettepe Üniversitesi, SBF, Ankara.
- [5]. Norman, M., Stoker, B. 1991. Data Envelopment Analysis-The Assessment of Performance, John Wiley Sons, New Jersey.
- [6]. Yolalan, R. 1990. Veri Zarflama Yöntemi, MPM Verimlilik Dergisi, No:3, Ankara.
- [7]. Tarım, A. 2001. Veri Zarflama Analizi Matematiksel Programlama Tabanlı Görelî Etkinlik Ölçüm Yaklaşımı, İnceleme, Hacettepe Üniversitesi.
- [8]. DHMİ, 1996. İstatistik Yıllığı-1996, Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- [9]. DHMİ, 1997. İstatistik Yıllığı- 1997, Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- [10]. DHMİ, 1998. İstatistik Yıllığı-1998, Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- [11]. DHMİ, 1999. İstatistik Yıllığı-1999, Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- [12]. DHMİ, 2000. İstatistik Yıllığı-2000, Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- [13]. DHMİ, 2001. İstatistik Yıllığı-2001, Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- [14]. DHMİ, 2002. İstatistik Yıllığı-2002, Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- [15]. DHMİ 2001. Yılı İşletme Bütçesi-2001, Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- [16]. DHMİ 2000. Yılı Faaliyet Raporu-2001, Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü-Mali İşler Yayını, Ankara.
- [17]. Coelli, T.J. 1996. A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program, CEPA Working Paper 96/8, Department of Econometrics, University of New England, Armidale NSW Australia.