

Türkiye'deki Havalimanlarının Etkinlik Tahmini: Veri Zarflama Analizi ve Yapay Sınır Ağlarının Birlikte Kullanımı

Estimating The Efficiency Of Airports In Turkey: Utilization Of Data Envelopment Analysis And Artificial Neural Network

Bersam BOLAT¹, Gül T. TEMUR², Haktan GÜRLER³

ÖZET

Havayolu ulaşımına özellikle son yıllarda hem devlet hem de özel sektör tarafından, yeni havalimanı inşaatları, uçak filosu genişletme, yeni firmaların sektöre girişleri şeklinde yoğun bir yatırım söz konusudur. Havayolu ulaşımındaki bu gelişmeler havalimanlarının ne kadar etkin çalıştığı sorusunu akıllara getirmiştir. Çalışmada ilk olarak Türkiye'de yer alan havalimanlarının Veri Zarflama Analizi yardımıyla etkinliği hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında Türkiye'de yer alan 41 adet havalimanı incelenmiştir. Yapılan analiz sonucu çalışma kapsamında incelenen havalimanlarından 19 tanesinin etkin olarak çalıştığı tespit edilmiştir. Veri Zarflama Analizi sonrasında aynı veriler yardımıyla mevcut veya yeni yapılacak havalimanlarının etkinlik durumunun tahmin edilebileceği bir Yapay Sınır Ağları modeli geliştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Havalimanları Etkinliği, Veri Zarflama Analizi, Yapay Sınır Ağları.

ABSTRACT

Especially during the last years, both government and private sectors have made investments such as new airports constructions, an expansion of air fleet, and entrance of new firms to aviation sector. These developments in air transport have brought the question whether airports work efficiently. In this study, firstly an efficiency analysis of airports which are located in Turkey is conducted by using Data Envelopment Analysis (DEA). The results of DEA show that 19 airports in 41 airports work efficiently in Turkey. After DEA analysis, we build an Artificial Neural Network model which helps to predict an efficiency of existing and alternative airports by utilizing same data.

Keywords: Airport Efficiency, Data Envelopment Analysis, Artificial Neural Network.

1. GİRİŞ

Günümüzde havayolu taşımacılığı milyonlarca insan tarafından kullanılmaktadır. Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu'nun (International Civil Aviation Organization - ICAO) açıkladığı rapora göre 2013 yılında havayolu taşımacılığını kullanan insan sayısı 3,1 milyar olmuştur. Aynı dönemde gerçekleşen uçuş sayısı ise 32 milyon'a ulaşmıştır. Aynı zamanda yük taşımacılığında çok büyük rakamlara ulaşılmıştır. 2013 yılında toplam taşınan yük miktarı 49,3 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Özellikle son yıllarda Türkiye'deki havayolu taşımacılığındaki artış dünyadaki artış ortalamasının üzerine çıkmıştır. Devlet Hava Meydanları İşletmesi'nin (DHMI) yayınladığı rakamlara göre 2004 yılında 45.057.371 olarak gerçekleşen yolcu trafiği, 2013 yılında 149.430.421 olarak gerçekleşmiştir. Uçak trafiği ise 449.493'den 1.223.795'e yükselmiştir. Aynı yıllar içerisinde yük

trafiğinde de büyük bir gelişim sağlanmıştır. 2004 yılında 1,16 milyon ton olarak gerçekleşen yük trafiği, 2013 yılında 2,6 milyon ton seviyesine yükselmiştir.

Günümüzde her anlamda etkisini gösteren rekabet koşulları işletmelerin ve kurumların ne kadar etkin çalıştığı konusunu gündeme getirmiştir. Bu amaçla geçmişte ve günümüzde çeşitli işletme ve kurumlar hakkında (okul, hastane, banka, belediye vb.) etkinlik analizleri yapılmıştır. Havayolu ulaşımına son yıllarda hem devlet hem de özel sektör tarafından, yeni havalimanı inşaatları, uçak filosu genişletme, yeni firmaların sektöre girişleri şeklinde yoğun bir yatırım söz konusudur. Havayolu ulaşımındaki bu gelişmeler havalimanlarının ne kadar etkin çalıştığı sorusunu akıllara getirmiştir.

Bu çalışmanın amacı; Türkiye'de yer alan havalimanlarının işlemler etkinliğini Veri Zarflama

¹Doç.Dr., İTÜ İşletme Mühendisliği Bölümü

²Doç. Dr., Beykent Endüstri Mühendisliği. Bölümü

³Yük. Müh., İTÜ İşletme Mühendisliği Bölümü

Analizi (VZA) yardımıyla ortaya çıkarmak ve mevcut veya yeni açılacak bir havalimanının etkinliğini tahmin edebilecek bir Yapay Sinir Ağları (YSA) modeli geliştirmektedir. Geliştirilecek YSA modeli yardımıyla karar vericiler mevcut veriler veya kendi oluşturdukları senaryolar çerçevesinde havalimanı etkinliğini tahmin edebileceklerdir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Havalimanı Etkinliğinin Araştırıldığı Çalışmalar

Literatürde havalimanları ile ilgili yapılan ilk çalışma Gillen ve Lall (1997) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada 1989–1993 yılları arasındaki veriler ile ABD’de bulunan 22 büyük havalimanı iki farklı yönden incelenmiştir. Terminal işlemlerinin etkinliğinin incelendiği kısımda pist sayısı, kapı sayısı, terminal büyüklüğü, çalışan sayısı, bagaj konveyör sayısı ve otopark kapasitesi girdi olarak, toplam yolcu sayısı ve kargo miktarıda çıktı olarak dikkate alınmıştır. Uçuş işlemlerinin etkinliğinin incelendiği kısımda ise havalimanı büyüklüğü, pist sayısı, pist büyüklüğü ve çalışan sayısı girdi olarak; toplam uçuş sayısı ve bölgesel uçuş sayısında çıktı olarak kullanılmıştır. Sarkis (2000), gerçekleştirdiği çalışmada 44 büyük ABD havaalanını incelemiştir. 1990-1994 yıllarındaki veriler ile gerçekleştirilen bu çalışmada operasyonel giderler, çalışan sayısı, kapı sayısı ve pist sayısı girdi olarak; operasyonel gelirler, yolcu sayısı, uçuş sayısı ve yük miktarıda çıktı olarak kullanılmıştır. Martin ve Roman (2001)’in Veri Zarflama Analizi (VZA) kullanarak hazırladıkları çalışmada ise özelleştirme öncesi İspanya’daki havalimanlarının etkinliği incelenmiştir. Bu çalışmada İspanya’daki 39 havalimanına ait 1997 yılı verileri kullanılmıştır. Çalışmada girdiler kısmında çalışan giderleri, sermaye harcamaları ve diğer operasyonel giderler gibi finansal değerler kullanılmıştır. Çıktı kısmında ise diğer çalışmalara benzer şekilde toplam yolcu sayısı, toplam kargo miktarı ve toplam uçuş sayısı verileri kullanılmıştır. Pels vd.’nin (2001) çalışmasında 1995-1997 yılları arasındaki veriler yardımıyla 34 Avrupa havalimanının etkinliği araştırılmıştır. Bu çalışmada girdi kısmında havalimanı büyüklüğü, terminal büyüklüğü, uçak kapasitesi, bölgesel uçak kapasitesi, pist uzunluğu, check-in kontuar sayısı ve bagaj konveyör sayısı; çıktı kısmında da uçuş sayısı ve yolcu sayısı yer almaktadır. Adler ve Berechman’ın (2001) çalışmasında ise 26 uluslararası havalimanı 1998 yılı verileri ile incelenmiştir. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak VZA ve Temel Bileşen Analizi (Principle Component Analysis

(PCA)) yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Fernandes ve Pacheco (2002) yapmış oldukları çalışmada 1998 yılına ait veriler yardımıyla Brezilya’daki 35 havalimanının etkinliği incelenmiştir. Çıktı yönelimli yapılan bu çalışmada havalimanı büyüklüğü, uçak bekleme alanı, check-in kontuar sayısı, terminal giriş alanı büyüklüğü, otopark kapasitesi, bagaj konveyör sayısı girdi olarak; iç hat yolcu sayısı da çıktı olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada 2002, 2007 ve 2017 yıllarına ait çeşitli seneryo çalışmaları yapılarak bu farklı senaryolarda etkinliğin nasıl etkileneyeceği hesaplanmaya çalışılmıştır. Yine aynı havalimanları için Fernandes ve Pacheco’nun (2003) yaptığı çalışmada girdi minimizasyonu amaçlanmıştır. Bu çalışmada çalışan sayısı, çalışan giderleri ve diğer operasyonel giderler girdi kısmında; iç hat yolcu sayısı, kargo miktarı, operasyonel gelirler, havacılık dışı gelirler ve diğer gelirler çıktı kısmında kullanılmıştır. Bazargan ve Vasigh’in (2003) yapmış oldukları çalışmada 45 ABD havalimanı incelenmiştir. Çalışmada 1996-2000 yıllarına ait operasyonel giderler, operasyon dışı giderler, pist sayısı ve kapı sayısı verileri girdi olarak kullanılmıştır. Çıktı olarak ise yolcu sayısı, uçuş sayısı, diğer uçuş sayıları (askeri vb.), havacılık gelirleri, havacılık dışı gelirler ve zamanında yapılan uçuş yüzdesi verileri kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca havalimanları 3 ayrı hub büyüklüğüne göre ayrılmış ve sonrasında Mann-Whitney testi uygulanarak hub büyüklüğünün etkinliğe etkisi araştırılmıştır. Yu (2004), çalışmasında 1994-2000 yılları arasındaki 14 Tayvan havalimanı incelemiştir. Bu çalışmada hem çevresel faktörler hem de istenmeyen çıktılar etkinlik analizine dahil edilmiştir. Pist alanı, apron alanı, terminal alanı ve diğer yerel havalimanlarına olan bağlantı sayısı girdi olarak kullanılırken; toplam uçuş sayısı, toplam yolcu sayısı ve uçaklar tarafından üretilen gürültü miktarı çıktı olarak kullanılmıştır. Yoshida ve Fujimoto (2004) 2000 yılı verileriyle 67 Japonya havalimanının etkinliğini araştıran bir çalışma yayınlamışlardır. Bu çalışmada pist uzunluğu, terminal alanı, çalışan sayısı, havalimanına ulaşım maliyeti girdi; yolcu sayısı, uçuş sayısı ve kargo miktarı ise çıktı olarak kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca Tobit regresyon kullanılmıştır.

2.2 Türkiye’deki Havalimanlarının Etkinliğinin Araştırıldığı Çalışmalar

Türkiye’deki havalimanlarının etkinliği ile ilgili yapılan ilk çalışma ise Düzakın ve Güçray (2001) tarafından gerçekleştirilmiştir. 39 Türkiye havalimanının incelendiği bu çalışmada pist sayısı, çalışan sayısı ve taşınabilir yolcu kapasitesi girdi; işletme geliri, yolcu sayısı kargo değeri ise çıktı olarak kullanılmıştır. Yazarlar çalışmalarında hangi

havalimanlarının etkin çalıştığını tespit etmiş ve özelleştirme kapsamında havalimanlarının yeniden düzenlenmesinin gerektiğini belirtmişlerdir. Peker ve Baki'nin (2009) çalışmasında Türkiye'deki havalimanları yolcu sayısına göre büyük ve küçük olarak ayrılmış ve büyük havalimanları ile küçük havalimanlarının etkinlikleri arasında anlamlı bir fark olup olmadığı araştırılmıştır. Çalışmada 37 havalimanına ait 2007 yılı verileri kullanılmıştır. Otopark kapasitesi, pist sayısı, havalimanı büyüklüğü ve çalışan sayısı girdi olarak; yolcu sayısı ve kargo miktarı da çıktı olarak kullanılmıştır. Koçak (2010) 2008 yılı verileriyle 40 havalimanını içeren bir VZA çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışmada operasyonel giderler, çalışan sayısı, uçuş trafiği ve toplam yolcu sayısı girdi; toplam yolcu sayısı / alan, uçuş sayısı / pist sayısı, toplam yük ve operasyonel gelirler ise çıktı olarak kullanılmıştır. Ömürbek vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada 40 havalimanı, uçuş trafiğine ve yolcu trafiğine göre büyük, orta büyüklükte ve küçük havalimanları olarak ayrılarak analiz edilmiştir. Girdi olarak giderler, hizmet verilen alan, yolcu kapasitesi, otopark kapasitesi, taşıt parkı, apron kapasitesi, uçak kapasitesi, bilgi işlem cihaz sayısı, kurtarma cihaz sayısı, personel sayısı; çıktı olarak ise uçuş trafiği, ticari uçuş trafiği, kargo trafiği, yolcu trafiği ve satış gelirleri kullanılmıştır. Ar (2012) tarafından yapılan çalışmada 2007-2011 yılları arasındaki veriler yardımıyla 31 havalimanında meydana gelen etkinlik değişimi, literatürde sıkça kullanılan Malmquist-Toplam Faktör Verimliliği yöntemi ile incelenmiştir.

2.3 VZA ve YSA'nın Birlikte Kullanıldığı Çalışmalar

Wu vd.'nin (2006) yapmış olduğu çalışmada 142 Kanada bankası aylık veriler yardımıyla incelenmiştir. Bu çalışmada öncelikle VZA yardımıyla bankaların etkinliği ölçümlenmiştir. Yine aynı girdi, çıktılar ve VZA sonucunda elde edilen veriler yardımıyla bir YSA modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan YSA modeli gerçek değerlere oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Mostafa (2009) yapmış olduğu çalışmada 85 adet Arap bankasını VZA ve YSA ile birlikte incelemiştir. Bu çalışmada yine VZA yardımıyla etkinlik skorları hesaplanmıştır. Bulunan etkinlik skorlarına göre bankalar 4 farklı gruba ayrılmıştır. Oluşturulan Olasılıklı YSA yardımıyla sınıflandırma yapılmıştır. Oluşturulan yapı %94 oranında doğru sınıflandırma başarısı göstermiştir. Özdemir ve Temur (2009) çalışmalarında YSA yardımıyla tedarikçi değerlendirme sistemi geliştirmişlerdir. Söz konusu çalışmada VZA yardımıyla etkinlik skorları hesaplanmıştır. VZA'da kullanılan girdi ve çıktılar YSA'da girdi katmanında,

VZA sonucunda bulunan etkinlik durumu ise YSA'da çıktı katmanında kullanılmıştır. Oluşturulan YSA modeli ile sınıflandırma çalışması yapılmıştır. Kurulan YSA modeli %86 oranında doğru sınıflandırma başarısı göstermiştir. Sreekumar ve Mahapatra (2011) Hindistan'daki işletme okulları hakkında bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Öncelikle etkinlik skorları VZA yardımıyla hesaplanmıştır. YSA modeli geliştirilerek VZA sonucu bulunan etkinlik skorlar tahminlenmeye çalışılmıştır. Tosun (2012) Türkiye'deki hastaneler hakkında benzer bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. 558 hastanenin verileriyle gerçekleştirilen bu çalışmada VZA yardımıyla hastanelerin etkinlik skorları hesaplanmıştır. Ardından hem Diskriminant Analizi gerçekleştirilmiş hem de YSA modeli geliştirilmiştir. Test kümesi için Diskriminant Analizi % 86,2 geliştirilen YSA modeli de %92,2'lik doğru sınıflandırma başarısı göstermiştir. Demirci vd. (2013) OECD'ye üye ülkelerin ekonomik ve sosyal etkinlikleri hakkında bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada 34 ülkeye ait 2006-2010 yılları arasında gerçekleşen değerler kullanılmıştır. VZA yardımıyla ülkelerin her bir ayrı yıl için ekonomik ve sosyal etkinlik skorları hesaplanmıştır. Ardından geliştirilen YSA modeli ile söz konusu ülkelerin ekonomik ve sosyal etkinlik skorları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Geliştirilen YSA modeli VZA sonucu elde edilen etkinlik değerleri oldukça yakın tahminlemeler yapmıştır. Bulak vd.'nin (2014) yapmış oldukları çalışmada KOSGEB'e üye olan 98 plastik ve kauçuk firmasını incelenmiştir. Çalışmada kullanılacak veriler anket aracılığıyla elde edilmiştir. VZA'da kullanılan girdi değişkenleri, çıktı değişkenleri ve VZA etkinlik sonuçları yardımıyla bir YSA modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen YSA modeli %90,8 oranında başarılı sınıflandırma yapmıştır.

3. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

3.1. Veri Zarflama Analizi (VZA)

VZA, ürettikleri mal veya hizmet açısından birbirlerine benzer ekonomik karar verme birimlerinin görelî etkinliklerinin ölçülmesi amacı ile geliştirilmiş olan parametresiz bir etkinlik ölçümü yöntemidir (Bakırcı, 2006). VZA, farklı ölçeklerle ölçülmüş ya da farklı ölçü birimlerine sahip çoklu girdi ve çıktının bulunduğu ve karşılaştırma yapmanın zorlaştırdığı durumlarda, karar birimlerinin görelî etkinliklerini ölçmeyi amaçlayan doğrusal programlama tabanlı bir tekniktir. (Charnes vd., 1978; Banker vd., 1984). VZA ilk kez, Farrell'in 1957 yılında ortaya koyduğu çalışmadan yola çıkarak 1978 yılında Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından yayınlanan ve literatüre CCR modeli olarak giren çalışmayla başlamıştır. Bu çalışmada Charnes,

Cooper ve Rhodes ölçeğe göre sabit getiri durumunu varsaymaktadırlar (Charnes vd., 1978). Daha sonra, Banker, Charnes ve Cooper çalışmalarında ölçeğe göre değişken getiri durumunu ele almışlardır. Bu çalışma literatüre BCC modeli olarak girmiştir (Banker vd., 1984). CCR ve BCC modellerinin her biri için girdiye ve çıktıya yönelik olmak üzere iki ayrı biçimi kurulmuştur. Bu durum VZA ile yapılan incelemelerin sonuçlarını yorumlama kabiliyetini arttırdığı gibi uygulama sahasını da genişletmiştir (Yeşilyurt ve Alan, 2003). CCR modeli toplamsal etkinliği ölçmekte iken, BCC modeli teknik

Girdiye Yönelik

$$\begin{aligned} Minh_k &= \sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ik} - u_0 \\ \sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ij} + u_0 &\leq 0 \\ \sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rk} &= 1 \\ r &= 1, 2, \dots, s \\ j &= 1, 2, \dots, n \\ i &= 1, 2, \dots, m \\ v_{ik}, u_{rk} &\geq \varepsilon > 0 \\ u_0 & \text{serbest} \end{aligned} \quad (3)$$

h_k : k karar biriminin etkinliği

u_{rk} : k karar biriminin r çıktıları için ağırlığı

v_{ik} : k karar biriminin i girdileri için ağırlığı

Y_{rk} : k karar biriminin r. çıktı değeri

X_{ik} : k karar biriminin i. girdi değeri

Y_{rj} : j karar biriminin r. çıktı değeri

X_{ij} : j karar birimini i. girdi değeri

ε : 0'a çok yakın bir sayı (örneğin 0,001)

r : s tane farklı çıktı

i : m tane farklı girdi

j : n tane farklı karar birimi

Modelde yer alan u_0 serbest değişkenin pozitif olması karar birimini ölçeğe göre azalan getiri, negatif olması ölçeğe göre artan getiri ve 0 olması durumu da ölçeğe göre sabit getiri durumunu ifade etmektedir.

3.2 Yapay Sinir Ağları (YSA)

Yapay sinir ağları, insan beyninden esinlenerek geliştirilmiş, ağırlıklı bağlantılar aracılığıyla birbirine

ve yönetsel etkinliği ölçmektedir. CCR ile BCC etkinlik skorlarının birbirlerine bölünmesi ile ölçek etkinliği bulunmaktadır. Bu çalışmada ise, ölçeğe göre değişen getiri varsayımı altında çalışan BCC modeli kullanılmıştır.

Banker, Charnes ve Cooper (BCC) Modeli

CCR modelinin ardından 1984 yılında ölçeğe göre değişken getiri varsayımı altında oluşturulan bu model, doğrusal programlama biçiminde aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

Çıktıya Yönelik

$$\begin{aligned} Makh_k &= \sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rk} - u_0 \\ \sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rj} - u_0 - \sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ij} &\leq 0 \\ \sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ik} &= 1 \\ r &= 1, 2, \dots, s \\ j &= 1, 2, \dots, n \\ i &= 1, 2, \dots, m \\ v_{ik}, u_{rk} &\geq \varepsilon > 0 \\ u_0 & \text{serbest} \end{aligned} \quad (4)$$

bağlanan ve her biri kendi belleğine sahip işlem elemanlarından oluşan paralel ve dağıtılmış bilgi işleme yapılarıdır. Yapay sinir ağları, bir başka deyişle, biyolojik sinir ağlarını taklit eden bilgisayar programlarıdır (Elmas, 2003).

Yapay sinir ağları; insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Bu yetenekleri geleneksel programlama yöntemleri ile gerçekleştirmek oldukça zor veya mümkün değildir. Bu nedenle yapay sinir ağlarının, programlanması çok zor veya mümkün olmayan olaylar için geliştirilmiş adaptif bilgi işleme ile ilgilenen bir bilgisayar bilim dalı olduğu söylenebilir (Öztemel, 2003).

3.2.1 Yapay Sinir Ağları Yapısı

YSA, birbirleriyle bağlantılı olan sinirlerin bulunduğu katmanlardan meydana gelmektedir. Bu katmanlar girdi katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı olmak üzere 3'e ayrılmaktadır.

1. *Girdi katmanı* YSA yapısında yer alan ilk katmandır. Bu katmanda dışarıdan gelen veriler YSA'ya alınır. Girdi katmanı probleme etki eden parametrelerden oluşmaktadır. Bu katmanda yer alan nöron sayısı parametre sayısına göre değişmektedir. Girdi katmanı, her biri bir ölçütü temsil eden n adet nörondan oluşmaktadır. Bu nöronlar girdi değerlerini herhangi bir işleme tabi tutmadan, doğrudan gizli katmandaki nöronlara yollamakla sorumludur (Ekinci vd., 2008).
2. *Gizli katman* girdi katmanı ile çıktı katmanı arasında yer alan katmandır. Bu katmanda yer alan nöronların dış ortamla hiç bir bağı yoktur. Bu katman girdi katmanından gelen sinyalleri alarak çıktı katmanına gönderirler. Hem gizli katman sayısı hemde bu katmanlarda yer

alacak nöron sayısı kurulacak ağın performansı açısından önemlidir.

3. *Çıktı katmanı* YSA tarafından oluşturulan bilgilerin dışarıya iletilmesi işlevini görür. Çıktı değişkenleri, istatistikte bağımlı değişkenlere karşılık gelmektedir.

3.2.2 YSA Çalışma Prensibi

YSA yapısında yer alan her bir yapay sinir hücresi girdi bağlantılarıyla aldığı birçok sinyalin ağırlıklı toplamını hesaplayarak, bu bilgiyi barındırdığı eşik seviyesiyle karşılaştırır. Eğer toplam girdi eşik seviyesinden düşükse, nöron tetiklenmez, fakat net değer eşik seviyesinden yüksekse, nöron çıktı bağlantılarını kullanarak bu bilgiyi diğer yapay sinir ağı hücreleri ile paylaşır (Ekinci vd. 2008).

$$S = w_1.u_1 + w_2.u_2 + w_3.u_3 + \dots + w_n.u_n - \theta = \sum_{i=1}^n w_i.u_i - \theta \quad (5)$$

$$O = \psi(S)$$

S: Toplam fonksiyonu

u_i : Giriş fonksiyonu

w_i : Ağırlıklandırma faktörü

O: Çıkış fonksiyonu

$\psi(S)$: Aktivasyon fonksiyonu

θ : Eşik değeri

Yapay sinir ağlarında nöron davranışını belirleyen önemli etmenlerden birisi nöronun aktivasyon fonksiyonudur. Bu fonksiyon, nörona gelen net girdiyi işleyerek nöronun bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirlemektedir. Aktivasyon fonksiyonu için birçok fonksiyon yer almaktadır. Bu fonksiyonlara sigmoid fonksiyonu, sinüzoidal fonksiyon, hiperbolik tanjant fonksiyonu, lineer fonksiyon, adım fonksiyonu örnek verilebilir. Bunların içinden doğrusal olmayan yapısı ve kolay türev alınabilirliği sebebiyle sigmoid fonksiyonu tercih edilmiştir. Söz konusu fonksiyon aşağıda gösterilmiştir.

$$\text{sigmoid}(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (6)$$

Öğrenme algoritmaları içinde, düşük karmaşıklık ve yüksek kesinlik seviyeleri sebebiyle genellikle geri yayılma (back propagation) algoritmasının kullanımı tercih edilmektedir. Bu algoritmaya göre, nöron zinciri boyunca işlenen girdi değerleri tüm katmanlarda işlenerek sistemin son çıktı değerleri

elde edilir. Eğer beklenen çıktı ile ağ çıktısı arasında bir fark varsa, ağ ağırlıkları bu hatanın oranına ve girdi değerlerine bağlı olarak tekrar hesaplanır. Ağırlıkların güncellenmesi için gerekli olan hata değerleri de son çıktıdan başlamak üzere geriye doğru işlenerek başlangıç katmanındaki nöronlara ulaşır. Nöronlar arasındaki ağırlıkların güncellenmesi, ortalama karesel hata değerinin (OKH) en az olduğu değere ulaşmak için, hata katsayısının öğrenme katsayısı ile çarpılması sonucu bulunan güncelleme değerinin mevcut ağırlıklara eklenmesi ile yapılır (Ekinci vd. 2008).

OKH değeri, beklenen değerler ($E(i)$) ile gerçekleşen değerler (x_i) arasındaki farka bağlı bir ortalamadır ve aşağıdaki formül üzerinden hesaplanmaktadır (n: gözlem sayısı):

$$OKH = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - E(i))^2}{n} \quad (7)$$

4. UYGULAMA

4.1. VZA Uygulaması

Karar birimi etkinlik analizi yapılacak birimleri ifade etmektedir. Etkinlik karşılaştırması için belirlenen karar birimlerinin benzer girdileri kullanan ve benzer çıktılar üreten birimler olması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamına Türkiye'de 2014 yılı boyunca aktif olarak çalışan havalimanları dahil edilmiştir. İstanbul

Sabiha Gökçen, Eskişehir Anadolu, Gazipaşa Alanya ve Zafer havalimanları veri eksikliği sebebiyle çalışma kapsamına dahil edilmemiştir.

VZA kullanılarak yapılan etkinlik analizlerinde, karar birimlerinin kullandığı girdileri ve ürettiği çıktıları belirlemek çok önemlidir. Seçilen girdi ve çıktılarına göre etkinlik sonuçları değişecektir. Girdi ve çıktılar belirlenirken literatür dikkatle incelenmiştir.

Raab ve Lichty'e (2002) göre VZA uygulaması içerisinde yer alan karar değişkenleri sayısının girdi ve çıktı sayılarının toplamının üç katından büyük olması gerekmektedir. Bu nedenle; 7 girdisi ve 3

çıkıtısı olan modelimiz için 41 adet karar birimi yeterli bulunmuştur.

Girdi ve çıktılarına ait değerler DHMI'nin 2014 yılının verilerini içeren faaliyet raporundan alınmıştır. Çalışmada literatürdeki çalışmalar dikkate alınarak belirlenen girdi ve çıktılar Tablo 1'deki gibidir.

Ölçeğe göre değişken getiri varsayımı altında geliştirilen BCC modeli ile gerçekleştirilen VZA için Tim Coelli tarafından geliştirilen DEAP 2.1 bilgisayar programı kullanılmıştır. Analiz sonucu her bir havalimanı için belirlenen etkinlik skorları Tablo 2'deki gibidir.

Tablo 1: Çalışmada kullanılan girdi ve çıktılar.

Girdiler	Açıklama
Check-in Kontuarları Sayısı	Havalimanında yer alan check-in kontuar sayısı (adet)
Bagaj Konveyörleri Sayısı	Havalimanında yer alan bagaj konveyörü sayısı (adet)
Yolcu Biniş Kapısı Sayısı	Havalimanında yer alan yolcu biniş kapısı sayısı (adet) (Köprüler Dahil)
Pist Sayısı	Havalimanında yer alan pist sayısı (adet)
Terminal Büyüklüğü	Havalimanının terminal büyüklüğü (m ²)
Çalışan Sayısı	Havalimanında çalışan personel sayısı (kişi)
Otopark Kapasitesi	Park edilebilir araç sayısı (adet)
Çıktılar	Açıklama
Toplam Yolcu Sayısı	Havalimanındaki toplam yolcu trafiği (kişi)
Toplam Yük Sayısı	Havalimanındaki toplam yük (Bagaj+Kargo+Posta) trafiği (ton)
Ticari Uçuş Trafiği Sayısı	Havalimanında gerçekleşen ticari uçak trafiği sayısı (adet)

Yapılan VZA çalışması sonucunda Türkiye'de etkin olarak çalışan havaalanı sayısı 19 tanedir. Etkin olarak çalışan havalimanları İstanbul Atatürk, Antalya, Muğla-Dalaman, Muğla Milas-Bodrum, Adana, Trabzon, Ağrı, Amasya Merzifon, Diyarbakır, Hatay,

Iğdır, Kahramanmaraş, Kayseri, Mardin, Muş, Siirt, Şırnak Şerafettin Elçi, Tokat ve Van Ferit Melen'dir. Çalışmada en düşük etkinliğe sahip havalimanı 0,122 ile Bursa Yenişehir havalimanı olmuştur.

Tablo 2: VZA sonuçları.

Havalimanı	Etkinlik Skoru	Etkinlik Durumu	Havalimanı	Etkinlik Skoru	Etkinlik Durumu
İstanbul Atatürk	1,000	Etkin	Hatay	1,000	Etkin
Ankara Esenboğa	0,924	Etkin Değil	Iğdır	1,000	Etkin
İzmir Adnan Menderes	0,729	Etkin Değil	Isparta Süleyman Demirel	0,392	Etkin Değil
Antalya	1,000	Etkin	Kahramanmaraş	1,000	Etkin
Muğla Dalaman	1,000	Etkin	Kars Harakani	0,591	Etkin Değil
Muğla Milas-Bodrum	1,000	Etkin	Kastamonu	0,222	Etkin Değil
Adana	1,000	Etkin	Kayseri	1,000	Etkin
Trabzon	1,000	Etkin	Konya	0,581	Etkin Değil
Erzurum	0,413	Etkin Değil	Malatya	0,450	Etkin Değil
Gaziantep	0,878	Etkin Değil	Mardin	1,000	Etkin
Adıyaman	0,170	Etkin Değil	Muş	1,000	Etkin
Ağrı	1,000	Etkin	Nevşehir Kapadokya	0,361	Etkin Değil
Amasya Merzifon	1,000	Etkin	Samsun Çarşamba	0,675	Etkin Değil
Balıkesir Koca Seyit	0,562	Etkin Değil	Siirt	1,000	Etkin
Batman	0,549	Etkin Değil	Sivas Nuri Demirağ	0,449	Etkin Değil
Bingöl	0,444	Etkin Değil	Şanlıurfa GAP	0,412	Etkin Değil
Bursa Yenişehir	0,122	Etkin Değil	Şırnak Şerafettin Elçi	1,000	Etkin
Denizli Çardak	0,284	Etkin Değil	Tekirdağ Çorlu	0,637	Etkin Değil
Diyarbakır	1,000	Etkin	Tokat	1,000	Etkin
Elazığ	0,650	Etkin Değil	Van Ferit Melen	1,000	Etkin
Erzincan	0,281	Etkin Değil			

4.2 Yapay Sinir Ağları Modelinin Geliştirilmesi

YSA modelinin geliştirilmesinde literatürde sıkça kullanılan NeuroSolutions programından yararlanılmıştır. YSA'da girdi katmanında VZA'daki girdi ve çıktı değişkenleri kullanılmıştır. VZA sonucunda bulunan etkinlik durumu ise YSA'da çıktı katmanında kullanılmıştır. Bu durumda check-in kontuarları sayısı, bagaj konveyörleri sayısı, yolcu biniş kapısı sayısı (köprüler dahil), pist sayısı, terminal büyüklüğü, çalışan sayısı, otopark kapasitesi, toplam yolcu sayısı, toplam yük miktarı ve toplam ticari uçuş trafiği sayısı girdi katmanında; VZA sonuçları elde edilen etkinlik durumu ise çıktı katmanında kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan veri setinin %70'i yani 29 havalimanına ait veriler modelin eğitilmesi, %15'i yani 6 adet havalimanına ait veriler çapraz doğrulama ve geriye kalan %15'lik kısım yani 6 adet havalimanına ait verilerin de modelin test edilmesi aşamasında kullanılmıştır. Çalışmamızda, YSA modeli olarak kolay bir mimari ve algoritmaya sahip olan ve bunun yanında çok sayıda problem türünü çözmekte

başarısı kanıtlanmış çok katmanlı ileri beslemeli, geri yayımlı ağ modeli kullanılmıştır. Girdi ve çıktı katmanlarındaki nöron sayıları ele alınan problemin gereklerine göre belirlenir, ancak gizli katmandaki (veya katmanlardaki) nöron sayısının optimallik anlamında doğru sayısını veren herhangi bir analitik yöntem şu ana kadar geliştirilememiştir. Dolayısıyla gizli katman sayısındaki ve bu katmanların nöron sayılarındaki belirsizlikleri aşabilmenin tek yolu, deneme yanılma yöntemidir (Efe ve Kaynak, 2000). Ancak yüksek sayıda nöron yardımıyla oluşturulan ağ yapılarının, pek çok problemde ezberleme yaparak yanıltıcı sonuçlar verdiğini de unutmamak gerekir.

Çalışmada en iyi ağ yapısının elde edilmesini sağlamak amacıyla öncelikle tek katmanlı yapıda 1'den 6'ya kadar değişen nöron sayısında deneme yapılmıştır. Ardından iki katmanlı yapıda her iki katman için 1'den 6'ya kadar değişen sayıda nöron için deneme yapılmıştır. En iyi ağ yapısının elde edilmesi amacıyla 42 farklı yapı denemeye alınmıştır. Her bir yapı içinde beşer kez ayrı eğitme, çapraz doğrulama ve test işlemi uygulanmıştır. Her bir gizli

katmanda yer alacak nöron sayısının belirlenmesinde ise, ortalama karesel hata (OKH) değerinin en düşük olduğu sonuçları veren değerler seçilmiştir. Oluşturulan modeller hakkında özet bilgi Tablo 3'de yer almaktadır.

Tablo 3: Oluşturulan modeller hakkında bilgiler

Ağ Yapısı	Çok katmanlı ileri beslemeli ağ modeli
Eğitim Kuralı	Hatayı geriye yayma algoritması
Öğrenme Algoritması	Levenberg - Marquardt Algoritması
Aktivasyon Fonksiyonu	Sigmoid Fonksiyonu
Deneme Sayısı	5000
Gizli katman için denenen katman sayısı	1 ve 2
Herbir katman için denenen nöron sayısı	1,2,3,4,5 ve 6
Girdi katmanında yer alan nöron sayısı	10
Çıktı katmanında yer alan nöron sayısı	1

Bu denemeler arasında 2 katmanlı yapıda ilk katmanda 5, ikinci katmanda 6 nöronun yer aldığı yapı seçilmiştir. Söz konusu sonuçlar ve oluşturulan YSA modeline ilişkin özet bilgiler Tablo 4'te yer almaktadır.

Tablo 4: En iyi ağ yapısına ilişkin veriler

Göstergeler	Değerler
Gizli Katman Sayısı	2
1. Katman Nöron Sayısı	5
2. Katman Nöron Sayısı	6
Eğitim setindeki en düşük OKH	8,33E-09
Çapraz doğrulama setindeki en düşük OKH	3,20E-10

Belirlenen bu yapı için rassal bir şekilde seçilen 3 adet etkin, 3 adet etkin olmayan havalimanı verileri kullanılarak tahminleme başarısı test edilmiştir. Söz konusu yapı havalimanı'nın etkin olup olmama durumunu %100 sınıflandırma başarısı göstermiştir. Tablo 5'te sınıflandırma sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 5: Sınıflandırma sonuçları

YSA Çıktısı / Gerçekleşen	Etkin	Etkin değil
Etkin	3	0
Etkin değil	0	3

YSA, doğrusal olmayan çok boyutlu bağlantılarla birbirlerine bağlı girdi ve çıktılara dayalı model oluşturabilen yapılar olması bakımından VZA'ya göre karmaşık problemlerin çözümünde daha yardımcı bir araçtır. Ayrıca gerçekleşmeyen durumlara ilişkin bilgi oluşturabilme özelliğinin temelinde eksik bilgiyle çalışabilme ve belirsizlik halinde öğrenebilme yeteneği yattığı için, yeni havalimanlarının olası etkinlik tahminlerinde gerçek bilgiye dayalı bir çalışma prensibine sahip olan VZA, YSA'ya göre yetersiz kalacaktır. Yeni havalimanlarının etkinlik tahminlerinde değerlendirmeye alınan girdilerden kimileri havalimanı faaliyete geçmeden bilinemeyeceği için, eksik veriler oluşacak fakat bu durum YSA için sorun teşkil etmeyecektir. YSA, aynı zamanda kimi sayısal olmayan verilerin değerlendirmeye alınmasında da etkindir. Günümüzde artık göz ardı edilmemesi gereken müşteri bilinci, çevresel duyarlılık, beklentiler vs gibi sayısallaştırılması zor durumların da dahil edilerek etkinlik değerlendirmesi yapılması ihtiyacında, YSA kullanımını daha uygun olacaktır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada öncelikle Türkiye'de yer alan 41 havalimanı için VZA yardımıyla işlemler etkinliği analizi yapılmıştır. Bu işlemin ardından mevcut veya yeni yapılacak bir havalimanının etkinliğinin tahmin edilebileceği bir YSA modeli geliştirilmiştir. 7 adet girdi ile 3 adet çıktı kullanılarak gerçekleştirilen VZA sonucunda çalışma içerisine dahil edilen havalimanlarından 19 tanesinin etkin olarak çalıştığı saptanmıştır. Etkin olarak çalışan havalimanları havalimanları İstanbul Atatürk, Antalya, Muğla-Dalaman, Muğla Milas-Bodrum, Adana, Trabzon, Ağrı, Amasya Merzifon, Diyarbakır, Hatay, Iğdır, Kahramanmaraş, Kayseri, Mardin, Muş, Siirt, Şırnak Şerafettin Elçi, Tokat ve Van Ferit Melen'dir. Diğer havalimanlarının etkin olarak çalışmadığı bulunmuştur. VZA çalışmasının ardından VZA'da kullanılan girdi değişkenleri, çıktı değişkenleri ve VZA sonucunda elde edilen etkinlik durumları kullanılarak havalimanının etkinlik durumunu tahmin edebilen bir model geliştirilmiştir. Söz konusu model katman ve nöron sayıları farklı birçok ağ yapısı

üzerinden, en düşük hata oranını verecek şekilde birçok deneme yapılarak bulunmuştur. Sistemin eğitilmesinden sonra gerçekleştirilen test sonuçları ile sistemin gerçek çıktılarında belirtilen etkin/etkin değil durumlarının %100 doğru bir şekilde tahmin edilebildiği görülmüştür. Geliştirilen bu model sayesinde yeni bir VZA çalışmasına gerek duyulmadan çeşitli senaryo veya gerçek değerler bu model üzerinde kullanarak bir havalimanının etkin çalışma çalışmayacağı tahmin edilebilir. Gelecek çalışmalarda

benzer bir model daha fazla havalimanını içeren bir örneklem kümesi yardımıyla kurulabilir. Çalışma geliştirmekte olan başka ülkelerin verilerinden yararlanılarak yeniden uygulanabilir ve Türkiye'nin durumu karşılaştırmalı olarak analiz edilebilir. Çalışma belli bir dönemi kapsayacak şekilde genişletilebilir. Çalışmadaki örneklem sayısının artması ile birlikte etkinlik skorunun tahmin edilebileceği bir model geliştirilebilir.

KAYNAKÇA

Adler, N., J. Berechman (2001). "Measuring airport quality from the airlines viewpoint: an application of data envelopment analysis" *Transport Policy*, 8(3), 171–181.

Ar, İ. M. (2012). "Türkiye'deki Havalimanlarının Etkinliklerindeki Değişimin İncelenmesi: 2007-2011 Dönemi İçin Malmquist-TFV Endeksi Uygulaması" *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 26 (3-4).

Bakırcı, F. (2006). Üretimde Etkinlik ve Verimlilik Ölçümü Veri Zarflama Analizi Teori ve Uygulama, Atlas Yayınları, İstanbul, 250.

Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W.W., (1984). "Some Models For Estimating Technical And Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis" *Management Science*, 30(9), 1078-192

Bazargan, M., B. Vasigh (2003). "Size Versus Efficiency: A Case Study of US Commercial Airports" *Journal of Air Transport Management*, 9(3), 187–193.

Bulak M. E., Kuş H. T., Temizer L., Türkyılmaz A. (2014). "KOBİ'lerin Operasyonel Etkinliklerine Göre Sınıflandırılması: Veri Zarflama Analizi ile Yapay Sinir Ağı Modeli" Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi, Bursa/Türkiye, Jul. 2014, 34. *Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi (YAEM 2014)*, 348.

Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., (1978). "Measuring The Efficiency Of Decision Making Units" *European Journal of Operational Research*, 2, 429–444.

Demirci A., Yakut E. Gündüz M. (2013). "Measurement of the Economical and Social Efficiency of OECD Countries by Means of Data Envelopment Analysis and Artificial Neural Network" *International Journal of Business and Social Science*, 4(13), 1-14

Düzakın, E., Güçray, A. (2001). "An Analysis of the Efficiency of Airports in Turkey" *Forty Three Conference Handbook Operational Research Society Annual Conference 4-6 September The University of Bath*

Efe, M.Ö., Kaynak, O. (2000). *Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları*, Boğaziçi Üniversitesi Basımevi, İstanbul.

Ekinçi Y., Temur G. T., Çelebi D., Bayraktar D., (2008). "Ekonomik Kriz Döneminde Firma Başarısı Tahmini: Yapay Sinir Ağları Tabanlı Bir Yaklaşım" *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 21(1), 17-29.

Elmas, Ç. (2003). *Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama)*, Seçkin Yayıncılık, Ankara.

Fernandes, E., R.R. Pacheco (2002). "Efficient Use of Airport Capacity" *Transportation Research Part A*, 36(3), 225–238.

Gillen, D., Lall, A. (1997). Developing measures of airport productivity and performance: an application of data envelopment analysis. *Transportation Research E: Logistics and Transportation Review* 33, 261–273.

Koçak, H. (2010). Efficiency Examination of Turkish Airports with DEA Approach, *International Business Research*, 4(2), 204-212.

Martín, J.C., C. Román (2001). An application of DEA to measure the efficiency of Spanish airports prior to privatization, *Journal of Air Transport Management*, 7(3), 149- 157.

Mostafa, M.M. (2009). Modeling the efficiency of top Arab banks: a DEA-neural network approach, *Expert Systems with Applications*, 36(1), 309–320.

Ömürbek, N., Demirgüzbuz 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.

Özdemir, D. Temur, G.T. (2009). DEA ANN approach in supplier evaluation system, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 54, 343–348.

Öztemel, E. (2003). *Yapay Sinir Ağları*, Papatya Yayıncılık, İstanbul.

Pacheco, R.R., E. Fernandes (2003). Managerial efficiency of Brazilian airports, *Transportation Research Part A*, 37(8), 667–680.

Peker İ., Baki B. (2009). Veri Zarflama Analizi ile Türkiye Havalimanlarında Bir Etkinlik Ölçümü Uygulaması, *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 18(2), 72-88.

Pels, E., Nijkamp, P., P. Rietveld (2001). Relative efficiency of European airports, *Transport Policy*, 8(3), 183–192.

Raab, R. L., Lichty, R. W. (2002). Identifying subareas that comprise a greater metropolitan area: The criterion of county relative efficiency. *Journal of Regional Science.*, Cilt 42, 579–59.

Sarkis, J. (2000). An analysis of the operational efficiency of major airports in the United States. *Journal of Operations Management* 18, 335–351

Sreekumar, S. Mahapatra, S.S. (2011). Performance modeling of Indian business schools: a DEA-neural network approach, *Benchmarking: An International Journal*, 18(2), 221–239.

Tosun, Ö. (2012). Using data envelopment analysis–neural network model to evaluate hospital efficiency, *Int. J. Productivity and Quality Management*, 9(2), 245–257.

Yeşilyurt, C. ve Alan, M. A. (2003). Fen liselerinin 2002 yılı göreceli etkinliğinin veri zarflama analizi yöntemiyle ile ölçülmesi, *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 4(2), 91-104.

Yoshida, Y., H. Fujimoto (2004). Japanese-airport benchmarking with the DEA and endogenous weight TFP methods: testing the criticism of overinvestment in Japanese regional airports, *Transportation Research Part E*, 40(6), 533–546.

Yu, M.M. (2004). Measuring physical efficiency of domestic airports in Taiwan with undesirable outputs and environmental factors', *Journal of Air Transport Management*, 10(5), 295–303.

Wu, D., Yang, Z., Liang, L. (2006). Using DEA-neural network approach to evaluate branch efficiency of a large Canadian bank, *Expert Systems with Applications*, 31(1), 108–111.