

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
SAYISAL YÖNTEMLER ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

ÜÇ AŞAMALI VERİ ZARFLAMA ANALİZİ VE
ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ
İLE HAVALİMANI ETKİNLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ VE BİR UYGULAMA

Koray KÖÇKEN

2502160277

TEZ DANIŞMANI

PROF. DR. Mehpere TİMOR

İSTANBUL – 2022

ÖZ

ÜÇ AŞAMALI VERİ ZARFLAMA ANALİZİ VE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE HAVALİMANI ETKİNLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE BİR UYGULAMA Koray KÖÇKEN

Hava taşımacılığının en temel bileşenlerinden olan havalimanlarının performansları, bulundukları ülke ve bölge için ekonomik ve sosyal anlamda çok büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada, tüm dünyayı etkisi altına alan COVID-19 pandemisinin öncesinde ve pandemi esnasında Türkiye'deki havalimanlarının performans sıralamaları Üç Aşamalı Veri Zarflama Analizi (VZA) ile elde edilen göreceli etkinlik değerlerine göre karşılaştırılmıştır. Bu analizde, 2018 yılına ait 46 havalimanı; 2020 yılına ait ve aralarında yeni hizmete giren İstanbul Havalimanı'nın da bulunduğu 51 adet havalimanı verisi kullanılmıştır. Analizin ikinci aşamasında; klasik VZA'dan farklı olarak, Stokastik Sınır Analizi aracılığıyla, il bazında gayrisafi yurtiçi hasıla (GSYİH), üçüncül sektör oranı ve turist sayısı; çevresel faktörler olarak alınmıştır. Böylece çevresel etkinin ve şans faktörünün etkinlik değerlerinden ayrıştırılması ve işletme performans değerlerinin yönetsel etkinsizlik kaynaklı olması sağlanmıştır. Ayrıca çok kriterli karar verme yöntemlerinden TOPSIS ve ARAS yöntemleri ile de havalimanları sıralamaları elde edilmiş ve elde edilen sonuçların tutarlı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Üç Aşamalı Veri Zarflama Analizi, Etkinlik, Havalimanı, COVID-19, TOPSIS, ARAS.

ABSTRACT

DETERMINATION OF AIRPORT EFFICIENCIES WITH THREE-STAGE DATA ENVELOPMENT ANALYSIS AND MULTI-CRITERIA DECISION MAKING METHODS AND AN APPLICATION Koray KÖÇKEN

The performances of airports, which are one of the most basic components of air transportation, are of great economic and social importance for the country and region they are located in. In this study, the performance rankings of airports in Turkey before and during the COVID-19 pandemic, which affected the whole world, were compared according to the relative efficiency values obtained by the three-stage Data Envelopment Analysis (DEA). In this analysis, data from 46 airports in the year 2018 and 51 airports for the year 2020, including Istanbul Airport, which has just been put into service, has been used. In the second stage of the analysis; unlike the classical DEA, through the Stochastic Frontier Analysis, provincial gross domestic product (GDP), tertiary sector ratio, and the number of tourists are taken as environmental factors. Thus, it is ensured that the environmental impact and the luck factor are separated from the efficiency values and that the business performance values are based on managerial inefficiency. In addition, airport rankings were obtained with TOPSIS and ARAS methods, which are multi-criteria decision-making methods, and it was seen that the results obtained were consistent.

Keywords: Three-Stage Data Envelopment Analysis, Efficiency, Airport, COVID-19, TOPSIS, ARAS.

ÖNSÖZ

Bu çalışma ile COVID-19 pandemisi öncesi ve pandemi döneminde Türkiye'deki havalimanlarının etkinliklerinin Üç Aşamalı Veri Zarflama Analizi ve Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden TOPSIS ve ARAS ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Etkinlik sonuçlarına göre sıralamalar elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Bu sayede havalimanı işletmeciliğine katkı sunmak hedeflenmiştir.

Çalışmada bilgi ve tecrübesi ile desteğini esirgemeyen, saygı değer danışmanım Prof. Dr. Mehpere TİMOR'a; eleştirileri ile çalışmaya yön veren Tez İzleme Komitesi üyeleri Prof. Dr. Ergün EROĞLU'na ve Prof. Dr. Fatma TİRYAKİ'ye; İstanbul Üniversitesi İşletme Bölümü Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı'nda bilgilerinden yararlandığım tüm hocalarıma; fikirlerine danıştığım Doç. Dr. Bilge ACAR BOLAT'a; desteğini esirgemeyen Dr. Mustafa Uğur KARAKAPLAN'a; bulunduğum konuma gelmemde her türlü katkıyı hiç düşünmeden fedakarca sunan babama ve anneme; hayatın ağır yükünü beraber sırtladığımız, yıllar süren bu çalışma döneminde büyük fedakarlıkların altına girerek bana çalışma ortamı sağlayan biricik eşim ve dostum Doç. Dr. Hale GONCE KÖÇKEN'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Koray KÖÇKEN

İSTANBUL, 2022

İÇİNDEKİLER

ÖZ.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
GİRİŞ.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM

HAVACILIK, HAVAYOLU TAŞIMACILIĞI VE HAVALİMANLARI

1.1. Havacılık ve Havayolu Taşımacılığının Tarihçesi.....	3
1.2. Havayolu Taşımacılığının Ekonomik ve Sosyal Önemi.....	5
1.3. Havalimanları.....	9

İKİNCİ BÖLÜM

ETKİNLİK KAVRAMI

2.1. Verimlilik, Etkililik ve Etkinlik.....	13
2.2. Etkinlik Çeşitleri.....	16
2.2.1. Teknik Etkinlik.....	16
2.2.2. Tahsis Etkinliği.....	17
2.2.3. Ekonomik Etkinlik.....	18
2.2.4. Ölçek Etkinlik.....	18
2.2.5. Fiyat Etkinliği.....	18

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

HAVALİMANI PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ VE BU ALANDA YAPILMIŞ OLAN ULUSAL VE ULUSLARARASI TEMEL ÇALIŞMALAR

3.1. Uluslararası Düzeyde Yapılmış Havalimanı Etkinlik Çalışmaları.....	22
3.2. Ulusal Düzeyde Yapılmış Havalimanı Etkinlik Çalışmaları.....	31
3.3. Havalimanı Etkinlik Çalışmalarında Kullanılan Girdi ve Çıktılar.....	33

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

VERİ ZARFLAMA ANALİZİ

4.1. VZA Modelleri.....	38
4.1.1. CCR Modelleri.....	39
4.1.2. BCC Modelleri.....	51
4.2. Stokastik Sınır Analizi.....	56
4.3. Üç Aşamalı Veri Zarflama Analizi.....	61

BEŞİNCİ BÖLÜM

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ

5.1. TOPSIS (Technique of Order Preference Similarity to the Ideal Solution)...	67
5.2. ARAS (Additive Ratio Assessment)	72

ALTINCI BÖLÜM

UYGULAMA

6.1. 2018 Yılına Ait Analiz Sonuçları.....	77
6.1.1. VZA ile Üç Aşamalı VZA'nin Karşılaştırmalı Sonuçları.....	77
6.1.2. Üç Aşamalı VZA, TOPSIS ve ARAS Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Sonuçları..	80
6.2. 2020 Yılına Ait Analiz Sonuçları.....	82
6.2.1. VZA ile Üç Aşamalı VZA'nin Karşılaştırmalı Sonuçları.....	82
6.2.2. Üç Aşamalı VZA, TOPSIS ve ARAS Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Sonuçları..	85
6.3. 2018 ve 2020 Yıllarına Ait Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	87
6.3.1. Üç Aşamalı VZA'nin Karşılaştırmalı Sonuçları.....	87
6.3.2. TOPSIS'in Karşılaştırmalı Sonuçları.....	89
6.3.3. ARAS'ın Karşılaştırmalı Sonuçları.....	91
SONUÇ.....	93
KAYNAKÇA.....	95
EKLER.....	113
ÖZGEÇMİŞ.....	114

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 3.1 : Uluslararası Düzeyde Yapılmış Havalimanı Etkinlik Çalışmaları.....	32
Tablo 3.2 : Ulusal Düzeyde Yapılmış Havalimanı Etkinlik Çalışmaları.....	41
Tablo 3.3 : Havalimanı Etkinlik Çalışmalarında Sıklıkla Kullanılan Girdilerin Sınıflandırılması.....	44
Tablo 3.4 : Havalimanı Etkinlik Çalışmalarında Sıklıkla Kullanılan Çıktıların Sınıflandırılması.....	45
Tablo 5.1 : TOPSIS Uygulamalarının Alanlara Göre Dağılımları.....	78
Tablo 6.1 : Girdiler ve Çıktılar Arasındaki Spearman Sıra Korelasyonu Katsayıları.....	86
Tablo 6.2 : 2018 ve 2020 Yıllarına Ait Tanımlayıcı İstatistikler.....	87
Tablo 6.3 : SSA Sonucu Elde Edilen Katsayılar (2018 yılı).....	88
Tablo 6.4 : 2018 yılı Etkinlik Değerlerine Göre Havalimanlarının Sıralamaları.....	88
Tablo 6.5 : Üç Aşamalı VZA, TOPSIS ve ARAS Sonucu Elde Edilen Sıralamalar (2018).....	91
Tablo 6.6 : SSA Sonucu Elde Edilen Katsayılar (2020 yılı).....	92
Tablo 6.7 : 2020 Yılı Etkinlik Değerlerine Göre Havalimanlarının Sıralamaları.....	93
Tablo 6.8 : Üç Aşamalı VZA, TOPSIS ve ARAS Sonucu Elde Edilen Sıralamalar (2020).....	95
Tablo 6.9 : 2018 İle 2020 Yıllarına Ait Üç Aşamalı VZA Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	98
Tablo 6.10 : 2018 İle 2020 Yıllarına Ait TOPSIS Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	99
Tablo 6.11 : 2018 İle 2020 Yıllarına Ait ARAS Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	101

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 : Havayolu Taşımacılığının Ekonomik Etkileri.....	16
Şekil 1.2 : 1945-2022 Dünya Yolcu Trafiği Değişimi.....	20
Şekil 2.1 : Etkinlik ve Etkililik.....	24
Şekil 2.2 : Etkinlik ile Etkililik Arasındaki Farklar.....	25
Şekil 2.3 : Verimlilik.....	25
Şekil 2.4 : Etkinlik.....	27
Şekil 4.1 : CCR ve BCC Modelleri Etkinlik Sınırları.....	48
Şekil 4.2 : Basit Regresyon ile Stokastik Sınır Karşılaştırması.....	67
Şekil 4.3 : Deterministik Sınır ve Stokastik Sınır Karşılaştırması.....	68
Şekil 4.4 : Deterministik Sınır, Gürültü ve Etkinsizlik Konumları.....	69
Şekil 5.1 : İdeal ve İdeal Olmayan Çözüme Olan Uzaklıklar.....	78

KISALTMALAR LİSTESİ

ACI	: Uluslararası Havalimanları Konseyi
BCC	: Banker, Charnes ve Cooper
CCR	: Charnes, Cooper ve Rhodes
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
DHİM	: Devlet Hava Meydanları İşletmesi
EKK	: En Küçük Kareler
GSYİH	: Gayrisafi Yurtiçi Hasıla
IATA	: Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği
ICAO	: Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü
KVB	: Karar Verme Birimi
SHGM	: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
SSA	: Stokastik Sınır Analizi
SUAS	: Stokastik Uygun Aylak Sınır
TFV	: Toplam Faktör Verimliliği
VZA	: Veri Zarflama Analizi

GİRİŞ

Tüm işletmelerin genel amaçları arasında mutlaka kar etmek, varlığını sürdürmek ve büyümek vardır. Bu amaçların yerine getirilmesi işletmenin kaynaklarını etkin bir şekilde kullanmasına bağlıdır. İşletmeler, aynı çıktıyı daha az girdi ile elde etmek ya da aynı girdi ile daha çok çıktı üretmek isterler. Kaynakların etkin kullanımı sayesinde amaçlarına daha kolay ulaşacaklardır. İşletmelerin rekabet halinde oldukları diğer işletmelere göre pazar içindeki ya da kendi şubeleri arasındaki durumları görmeleri, analiz etmeleri, değerlendirmeleri ve elde edilen sonuçlara göre olumlu faaliyetlerin devamının sağlanması ve olumsuz faaliyetleri ise olumluya döndürecek önlemlerin alınması gerekecektir. Performans değerlendirme bu noktada devreye girmektedir. Etkinlik ve verimlilik kavramları performans değerlendirmede akla gelen ilk kavramlardandır. Etkinlik, mevcut çıktıya ulaşmak için girdilerin ne ölçüde kullanıldığı ile ilgili iken; verimlilik, buna ek olarak belirlenen hedeflere ne oranda ulaşıldığıyla da ilgilenen daha genel bir kavramdır. Bu çalışmada, etkinliğin belirlenmesi üzerinde durulmuştur.

Havayolu taşımacılığı, değişen ekonomik şartlar ve gelişen teknoloji ile beraber özellikle son 70 yıla damgasını vurmuş bir sektördür. Havacılık faaliyetlerinin küresel anlamda birçok etkisi vardır. Özellikle ekonomik ve sosyal hayata olan etkileri tartışılmazdır. Bu etkiler turizmden sağlığa, eğitimden istihdama kadar oldukça geniştir. Havayolu taşımacılığı denildiğinde akla havayolu ve havalimanı işletmeleri gelmektedir ve bu sistemin en önemli iki unsurudur. Etkilerinin bu çapta önemli olduğu bu işletmelerin performanslarının belirli zaman dilimlerinde düzenli olarak ölçülmesi işletmeler açısından gerekli ve zorunludur. Ülkemiz açısından değerlendirmek gerekirse; ülkemiz, havayolu taşımacılığında son yıllarda yükselen bir değerdir. Yapılan yatırımlar ve verilen destekler sonucu havayolu ve havalimanı işletmeleri artmış ve bu işletmelerin performans değerlendirmelerinin yapılması çok daha önemli bir hale gelmiştir. Ayrıca 2019 yılında tüm dünyayı etkisi altına alan ve her alanda önemli etkiler bırakan COVID-19 pandemisinin işletmeler üzerindeki etkileri de merak edilmektedir ve incelenmelidir. Bu nedenle, çalışmamızda Türkiye'deki havalimanlarının pandemi öncesi ve pandemi dönemindeki etkinlik değerlendirmesi yapılmıştır.

Dünyada havalimanlarının etkinliklerinin belirlenmesi için birçok yöntem kullanıldığı görülmektedir. Kullanılan yöntemler arasında, birden fazla girdi ve birden fazla çıktıyı aynı anda dikkate alarak analiz yapma olanağı sunan Veri Zarflama Analizi'nin diğer analiz yöntemlerine göre baskın olduğu görülmüştür. Bu noktadan yola çıkarak, bu çalışmada, çevre etkisinin ve şans faktörünün arındırılması sonucu performans değerlendirme şansı veren Üç Aşamalı Veri Zarflama Analizi (VZA) kullanılmıştır. Bu yöntemin yanı sıra Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden TOPSIS ve ARAS yöntemleri ile de havalimanı sıralamaları elde edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın özgün değerine değinmek gerekirse; Türkiye'deki havalimanlarının etkinliklerinin Üç Aşamalı VZA ile belirlenmesi ve pandemi öncesi (2018) ve pandemi dönemi (2020) verilerinin kullanılarak karşılaştırma yapılması anlamında Türkiye'de yapılmış ilk çalışma olması ile literatüre katkı sunmak amaçlanmaktadır.

Bu çalışma, altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde; havacılık, havayolu taşımacılığı ve havalimanlarının tarihçesinden bahsedilmiştir. Havacılığın, havayolu taşımacılığının ve havalimanlarının dünyadaki ve ülkemizdeki gelişimi ele alınmış, ekonomik ve sosyal anlamda sunduğu katkılara değinilmiştir. Ayrıca tüm dünyayı etkisi altına alan COVID-19 pandemisinin havacılığa ve havalimanlarına olan etkisi, sayısal veriler yardımıyla ortaya konulmuştur. Bu bölümde son olarak, çalışmanın amacı ve literatüre sunduğu katkı verilmiştir. İkinci bölümde, verimlilik ve etkinlik kavramlarından bahsedilmiş ve etkinlik çeşitleri ele alınmıştır. Üçüncü bölümde, havalimanı performans değerlendirilmesi ile ilgili yapılmış olan ulusal ve uluslararası çalışmalara ait literatür taramasına ve konu ile ilgili yapılan çalışmalarda kullanılan girdi ve çıktılarına yer verilmiştir. Dördüncü bölümde, çalışmada kullanılan asıl analiz yöntemi olan Üç Aşamalı VZA aşamaları ile birlikte anlatılmıştır. Analiz yönteminin daha iyi anlaşılabilmesi için analize temel teşkil eden VZA ve Stokastik Sınır Analizi (SSA) açıklanmıştır. Beşinci bölümde, ÇKKV yöntemlerinden TOPSIS ve ARAS, aşamaları ile birlikte sunulmuştur. Altıncı bölüm, çalışmanın uygulama aşamasıdır. Üç Aşamalı VZA, TOPSIS ve ARAS yöntemleri, Türkiye'deki havalimanlarının 2018 ve 2020 yılı verilerine uygulanarak etkinlik değerleri elde edilmiştir. Sonrasında ise elde edilen etkinlik değerlerine göre sıralamalar yapılmış ve farklı yıl ve yöntemlere göre karşılaştırmalı sonuçlar verilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

HAVACILIK, HAVAYOLU TAŞIMACILIĞI VE HAVALİMANLARI

Havacılık ve havayolu taşımacılığı, son yüzyıllık sürece bakıldığında insan hayatında önemi giderek artan, dolaylı ya da doğrudan önemli etkilere sahip olan sektörlerin başında gelir. 18. yüzyıldan itibaren bu alandaki çalışmalar hızlanmış ve özellikle askeri alandaki kullanımı sebebiyle Birinci ve İkinci Dünya Savaşları ve Soğuk Savaş dönemlerinde önemli adımlar atılmıştır. Sanayi Devrimi ile beraber insanların ekonomik özgürlüklerini elde etmeleri ve göreceli olarak refaha kavuşmaları sonucunda sivil havacılık alanında da talebi körüklemiştir. Sivil havacılığın giderek yaygınlaşması ekonomik ve sosyal alanlarda önemli kazanımları da beraberinde getirmiştir. Turizmin de dahil olduğu hizmet sektörü, her türlü ticari faaliyet ve hatta eğitim ve sağlık üzerine gözardı edilemez etkilere sahip olduğu bilinmektedir. Havacılık faaliyetlerinin aynı zamanda, dünyada sınırların ortadan kalkmasına, kültürlerin birbirini daha iyi tanımasına, yaşam kalitesinin yükselmesine ve sürdürülebilir kalkınmaya doğrudan katkı sunduğu söylenebilir. Havacılığın tüm bu katkıları sunabilmesi için etkin çalışan havalimanlarına ihtiyaç vardır. 20. yüzyılın ikinci çeyreğinden itibaren hizmet vermeye başlayan havalimanları, havacılık hizmetinin istenen yerlere götürülmesinde birincil öneme sahiptir.

1.1. Havacılık ve Havayolu Taşımacılığının Tarihçesi

Günümüzde sahip olduğumuz bilgilere göre, havacılıkla ilgili ilk çalışmaların 13. yüzyıla kadar dayandığı söylenebilir. 15. yüzyılda Leonardo Da Vinci bu alanda çalışmalar yapmıştır. 18. yüzyılda Montgolfier Kardeşler, sıcak hava balonuyla Avrupa'da dikkatleri üzerlerine çekmişlerdir. 1852 yılında Fransız Mühendis Henri Giffard tarafından geliştirilen zeplinler üretilmeye başlanmıştır. 1903 yılında Wright Kardeşlerin ilk uçağı yapmaları havacılık için bir dönüm noktası olmuştur. 1909 yılında Fransız Pilot Lois Bleriot, Manş Denizi'ni uçak ile geçerek havacılığı bir adım daha öteye taşımıştır.

Birçok ilerlemede olduğu gibi, havacılıkta da ilk kullanım alanı daha çok askeri alanda olmuştur. Uçaklar, önceleri düşman bölgelerinde keşif amaçlı kullanılırken daha sonraları saldırı amaçlı da kullanılmaya başlamıştır. Birinci ve İkinci Dünya Savaşları havacılık endüstrisinin oldukça gelişmesine sebep olmuştur. Yüzlerce

savaş uçağının üretildiği bu dönemde uçaklarda kullanılan teknoloji de gittikçe gelişmiştir. Bu gelişim, ticari havacılığın da başlangıcı kabul edilir. İlk tarifeli uçuş 1919 yılında Londra ile Paris arasında yapılmıştır ve bu uçuş sonrasında havacılığın ekonomik boyutu fark edilmiştir. Büyük yatırım gerektirdiğinden, ilk zamanlar havayolu şirketleri devlet eliyle kurulmuş, havalimanları devlet tarafından inşa edilmiş ve işletilmiştir.

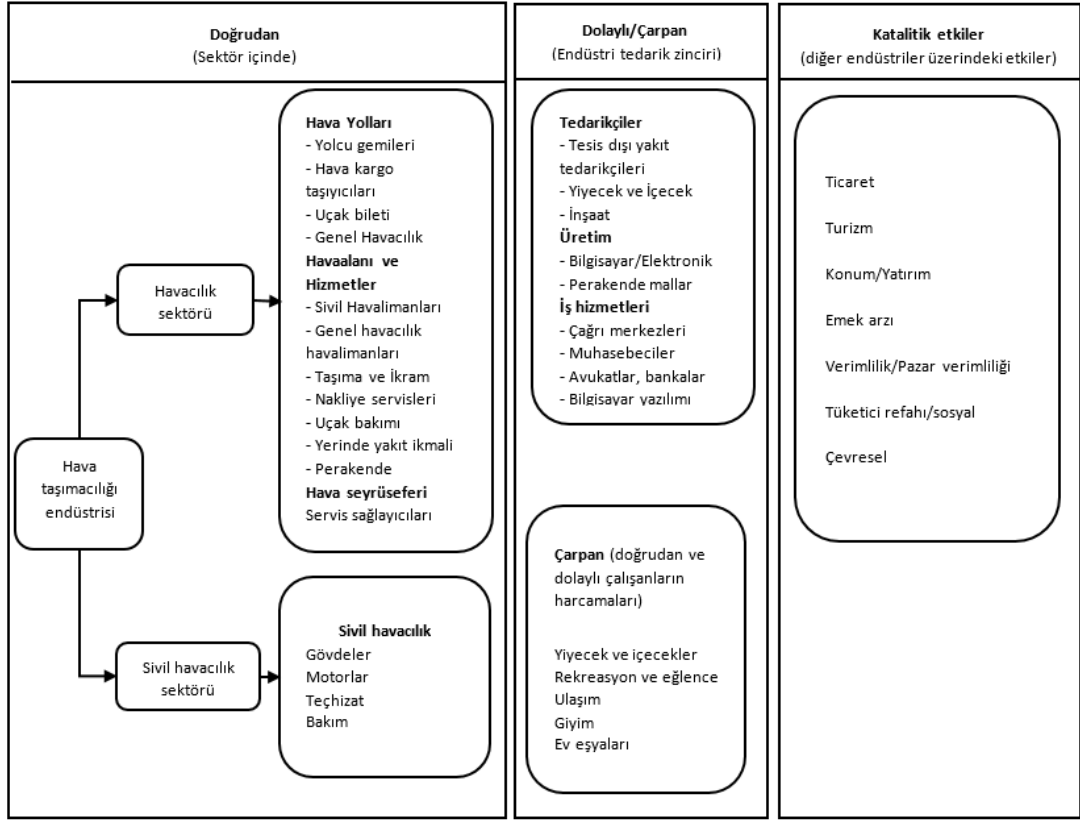
Havayolu faaliyetleri, stratejik olarak önemli görüldüklerinden özel sektörün veya yabancıların bu faaliyetleri yürütmesi başlarda uygun görülmemiş, ancak 1970'li yıllarda liberal ekonomi modeli ile sivil havacılık çok daha yaygın hale gelmiştir. Sınırlandırmaların kaldırılması ve rekabetçi bir piyasa anlayışı ile özel sektör çok ortaklı şirketler vasıtasıyla sivil havacılıkta söz sahibi olmaya başlamıştır. Zamanla güçlenen bu havayolu şirketleri, ülkelerin özellikle ekonomik ve ticari yapısına etki eden ve ondan etkilenen yapılar halini almışlardır. 21. yüzyıla gelindiğinde artık standartları neredeyse tüm dünyada kabul edilmiş, özel sektörün önemli bir ağırlığının olduğu, dünyanın her noktasına yayılmış, rekabetçi bir sivil havacılık sektöründen bahsetmek mümkündür. Güven, konfor ve hız; teknolojiye ileriye iletilme ile birlikte artarak müşterilere sunulmakta ve standartlar sürekli olarak yükselmektedir (Sönmez, 2021).

1900'lü yılların başında, bugünkü Atatürk Havalimanı'nın yakınlarında iki hangar ve küçük bir meydan içeren bir tesiste başlayan ülkemize ait ilk havacılık çalışmaları, 1925 yılında kurulan Türk Tayyare Cemiyetinin kurulması ile devam etmiş, bu cemiyet daha sonraları Türk Hava Kurumu adını almış ve böylece Türk Sivil Havacılığının kurumsal temelleri atılmıştır. "Türk Hava Postaları" adı ile beş uçaktan oluşan bir filo ülkemizdeki ilk sivil hava taşımacılığı faaliyeti olarak bilinmekte ve ülkemizde sivil hava yolları kurmak ve bu yollarda taşıma faaliyetlerini yönetmek üzere "Havayolları Devlet İşletme İdaresi" kurulmuştur. Bu idare, tüm dünyada teknoloji alanında yaşanan önemli gelişmelerin etkisiyle Dünya Sivil Havacılığında ortaya çıkan hızlı ilerlemeler sebebiyle günün koşullarına göre yeniden teşkilatlandırılmış, önce "Sivil Havacılık Dairesi Başkanlığı", sonra "Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM)" olarak Ulaştırma Bakanlığı bünyesinde görevine devam etmiştir. SHGM, 2005 senesinde yürürlüğe giren yeni bir kanun ile finansal açıdan bağımsız hale gelmiş ve şu anki yönetim yapısına ulaşmıştır. Bugün, ülkemizdeki havacılık faaliyetleri, 2920 Sayılı Türk Sivil Havacılık Kanunu ve bu kapsamda yayımlanmış olan İdari ve Teknik Yönetmelikler ve Havacılık Talimatları çerçevesinde yürütülmektedir (SHGM).

1.2. Havayolu Taşımacılığının Ekonomik ve Sosyal Önemi

Dünyamız çeşitli ulaşım çeşitleri ile çepeçevre sarılmış durumdadır ve adeta büyük bir ekosistemdir. Ulaşımın, özellikle de hava ulaşımının insan hayatına ekonomik ve sosyal anlamda önemli katkıları mevcuttur. Sadece yolcuların değil ürünlerin de taşındığı havayolu taşımacılığının kalkınma üzerinde büyük pay sahibi olduğu bir gerçektir. Kaliteli ulaşım hizmeti ayrıca beraberinde kaliteli ve rahat bir yaşam da getirmektedir (Gürlü, 2009).

Her yıl milyonlarca yolcuya hizmet veren ve tonlarca ürünün bir yerden başka bir yere ulaştırılmasını sağlayan havayolu taşımacılığının tartışmasız önemli bir parçası olan havalimanları, içinde bulundukları bölge için hem arz hem de talep kaynağı durumundadır. Havalimanları, bölgelerine iş olanakları sunarak ekonomik yönden kalkınmalarını destekler, ulaşılması güç noktaları birbirine bağlayarak ulusların yakınlaşmasına, birbirlerini daha iyi tanımalarına ve böylece küresel anlamda sosyal ve kültürel bağların güçlenmesine önemli katkılar sunar. Diğer ulaşım çeşitlerine oranla daha geç ortaya çıkmasına rağmen havayolu taşımacılığı 20. yüzyılda büyük bir gelişim ivmesi yakalamış, yeni pazar olanakları sunarak ticaretin ve turizmin farklı coğrafyalar arasında gerçekleşmesini hızlandırmış ve kolaylaştırmıştır. Her geçen yıl yolcu sayısının artmasından ve havayolu işletmeleri arasındaki rekabetten dolayı havayolu taşımacılığı çok daha ulaşılabilir hale gelmiştir ve bu da öneminin gün geçtikçe artmasına neden olmaktadır. Sektörün ekonomik etkilerini 4 ana başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar; doğrudan, dolaylı, uyarılmış (çarpan) ve katalizör etkiler olarak sınıflandırılmışlardır (ATAG, 2020).



Şekil 1.1 Havayolu Taşımacılığının Ekonomik Etkileri (ATAG 2005).

Havayolu taşımacılığı sektörünün doğrudan ekonomik etkileri: Havayolu ve havalimanı işletmelerinin yapmış olduğu tüm havacılık operasyonları, bakım ve onarım, hava trafiğinin düzenlemesi ve denetlenmesi, check-in ve bagaj işlemleri, havalimanındaki satış ve yemek hizmetleri gibi yolculara doğrudan hizmet veren faaliyetleri içermek üzere havayolu taşımacılığı endüstrisindeki istihdam ve faaliyetleri kapsar. Bu faaliyetlerin önemli bir bölümü havalimanlarında gerçekleşir. Doğrudan etkiler, havayollarına ve ilgili işletmelere uçak ve bileşen satan havacılık ile ilgili üretim yapan üreticilerin faaliyetlerini de içerir. Dünya çapında havayolu taşımacılığı endüstrisinin yarattığı 11,3 milyon doğrudan işin 3,6 milyonu küresel olarak havayolları ve 6,17 milyonu havalimanları tarafından istihdam edilmekte ve küresel ekonomiye yaklaşık 961,3 milyar ABD Doları tutarında GSYİH katkıda bulunmaktadır. Yaklaşık 648.000 kişi doğrudan havalimanı işletmecileri için çalışırken (örn. havalimanı yönetimi, bakımı, güvenliği vb.), 5,5 milyonu perakende satış noktalarında, restoranlarda, otellerde vb. havalimanları bünyesinde çalışmaktadır (ATAG, 2020).

Havayolu taşımacılığı sektörünün dolaylı ekonomik etkileri: Hava ulaştırma faaliyetlerinin sağlıklı bir şekilde gerçekleşmesini destekleyen faaliyetler bu grupta yer alır. Örneğin, havacılıkta kullanılan yakıtın tedarikçileri ve onlarla bağlantılı olanlar, hava taşımacılığı endüstrisindeki tedarikçilerin istihdamını ve faaliyetlerini sağlayanlar; ek tesisler inşa eden inşaat şirketleri; havalimanlarında satılan ürünlerin üretimi, muhasebe ve bilgi işlem gibi iş hizmetlerindeki bazı faaliyetler bu gruba dahil edilir. 18,1 milyon dolaylı iş, hava taşımacılığı endüstrisindeki şirketler tarafından mal ve hizmet alımları yoluyla desteklenmektedir. Bu dolaylı işlerin küresel GSYİH'ye katkısı 816,4 milyar ABD Dolarıdır (ATAG, 2020).

Havayolu taşımacılığı sektörünün uyarılmış (çarpan) ekonomik etkileri: Doğrudan son kullanıcıya satış yapan mağazalarda, paketli ya da paketsiz tüketim ürünleri üreten şirketlerde, lokanta, kafe, sinema gibi hizmet sektörlerinde; havayolu çalışanlarının yaptığı harcamaları içerir. 13,5 milyon iş, kendi tüketimleri için mal ve hizmet satın alırken gelirlerini kullanan (doğrudan veya dolaylı) hava taşımacılığı endüstrisindeki çalışanlar aracılığıyla desteklenmektedir. Bu etki sayesinde küresel GSYİH'ye olan katkı 693 milyar ABD Dolarıdır (ATAG, 2020).

Havayolu taşımacılığı sektörünün katalizör ekonomik etkileri: Herhangi bir sektörün kendisi dışındaki sektörleri etkileyerek ekonomik büyümelerine yardımcı olmaları katalizör etki olarak adlandırılır. Havayolu taşımacılığı, katalizör etkisi ile birçok endüstri dalına olumlu katkılar sunarak küresel ekonomiye önemli ölçüde canlılık katar. Havayolu taşımacılığı, pazarlara ulaşmayı kolaylaştırır ve üretilen ürünlerin tüm dünyaya yayılmasını sağlayarak üretici ülkelerin dünyaya açılmasına yardımcı olur. Hava taşımacılığı ayrıca ülkeleri karşılaştırmalı üstünlüğe sahip oldukları faaliyetlerde uzmanlaşmaya ve diğer mal ve hizmet üreten ülkelerle ticaret yapmaya teşvik eder. Havayolu taşımacılığı, özellikle diğer ulaşım yolları ile gitmesi çok zaman alacak kadar uzak ve ulaşım yolları kısıtlı olan ada tipi yerleşimlerde turizm için vazgeçilmezdir. Turizm, havayolları ve havalimanlarındaki faaliyetleri doğrudan destekler ve hava yoluyla gelen ziyaretçilerin harcamaları turizm endüstrisinde önemli sayıda iş yaratır. Havayolu taşımacılığı, tedarik zincirinin verimliliğini artırır; örneğin, birçok endüstri, tam zamanında teslimat sistemlerinin bir parçası olarak daha hızlı teslimat için havayolu taşımacılığını kullanır; bu, müşteri memnuniyetini arttırdığı gibi maliyetlerin azaltılmasını da sağlar. Havayolu taşımacılığı, ülkelere ve bölgelere yatırım yapılmasını sağlayan bir unsurdur. Havayolu taşımacılığı, birbirine ne kadar

uzak olursa olsun işletmelerin iletişim kurmalarını kolaylaştırır ve işbirliği yapmaları konusunda cesaretlendirir. Havayolu taşımacılığı bağlantıları, şirketlerin yatırım yapmayı seçtikleri yerleri etkiler. Healey ve Baker'ın 2003 yılında yaptığı bir araştırmaya göre, şirketlerin %56'sı uluslararası ulaşım bağlantılarının Avrupa'da iş yeri bulmak için önemli bir faktör olduğunu düşünmektedir.

Havayolu taşımacılığı endüstrisi, ekonomik yönden çok önemli olduğu gibi sosyal yönden de oldukça önemli bir endüstridir. Standart ekonomik göstergelerde kapsanmayan farklı yollarla yaşam kalitesini yükseltmede katkı sunmaktadır. Havayolu taşımacılığı, uluslararası turizmi destekleyerek ve teşvik ederek sürdürülebilir kalkınmaya büyük katkı sağlar. Turizm, ekonomik büyüme yaratarak, istihdam fırsatları sağlayarak, vergi tahsilatını artırarak yoksulluğun azaltılmasına yardımcı olur.

Havayolu taşımacılığı, diğer ulaşım türlerinin ulaşamadığı ya da ulaşmakta zorluk çektiği uzak bölgelere erişim sağlar, böylece onların diğer topluluklarla temasının kopmasını engeller. Temel malzemelerin teslimatı için de bir araçtır. Hastaneler, eğitim, postane vb. gibi pek çok temel hizmet, hava hizmetleri olmadan ulaşılması çok zordur hatta olanaksızdır. Hava hizmetleri; kargo teslimatları, mülteci transferleri veya doğal afetler nedeniyle mahsur kalan insanların tahliyesi yoluyla çeşitli zorluklarla karşılaşan ülkelere insani yardımda önemli bir rol oynamaktadır. Bu gibi durumlarda insani yardım, ihtiyaç sahiplerine ancak havaalanları ve hava hizmetleri kullanılarak hızla ulaştırılabilir. Havalimanlarının bile hasar gördüğü bazı durumlarda, insani bir krizi önlemek için yardım kuruluşlarının ilk müdahaleleri arasında yardımları havadan bırakma da yer alır.

Havayolu taşımacılığı aynı zamanda dünya çapında tıbbi malzeme ve organların hızlı bir şekilde tesliminde hayati bir rol oynamaktadır. Havayolu taşımacılığı ile daha yaygın ve ulaşılabilir olan seyahat ve turizm, önemli düzeyde tüketici refahı ve sosyal faydalar sağlamaktadır. Uluslararası entegrasyonu kolaylaştırması ile farklı kültür ve medeniyetlerin birbirini tanıma ve anlama düzeyinin artırılmasına yardımcı olmaktadır (ATAG, 2005).

1.3. Havalimanları

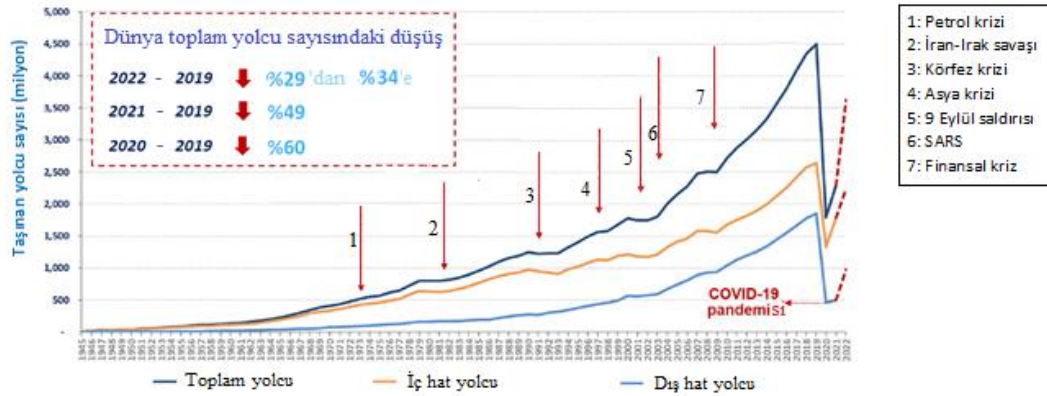
Havayolu ile ilk tarifeli posta servisi 1918 yılında, yolcu terminalleri yapımı 1920'li yıllarda, pist yapımı ise 1930'lu yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nde gerçekleşmiştir. Bu yıllardan sonra yolcu, kargo ve uçak sayıları arttıkça havalimanları gelişimini sürdürmüştür. Özellikle İkinci Dünya Savaşı sırasında ve sonrasında uçak teknolojisindeki gelişmeler, havalimanlarının da gelişmesinde önemli bir aşamadır. ABD Maryland'te 1909 yılında kurulmuş olan College Park Havalimanı, dünyanın ilk havalimanı olarak kabul edilmektedir. 1911 yılında kurulan Hamburg ve 1912 yılında kurulan Baneasa Havalimanları da Avrupa'daki ilk havalimanlarıdır (Sönmez, 2021). Dünya sivil havacılığı için önemli bir aşama da 1944 yılında imzalanmış olan Chicago Sözleşmesi'dir. Bu sözleşme ile uluslararası sivil havacılık kurallara bağlanmıştır. Sözleşme ile her devlete kendi üzerindeki hava sahasında egemenlik tanınmıştır. 1947 yılında Birleşmiş Milletler bünyesinde yasal havacılık organı olarak kabul edilmiş olan Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO-International Civil Aviation Organization) kurulmuştur. En önemli amacı, uluslararası sivil havacılığın güvenli ve düzenli bir şekilde büyümesini sağlamaktır. 1960 yılında kurulan EUROCONTROL, amacını Avrupa bölgesinde güvenli, verimli ve çevre dostu hava trafik operasyonlarını sağlayabilmek için üye devletleri desteklemek olarak tanımlar. 1991 yılında kurulan Uluslararası Havalimanları Konseyi (ACI- Airports Council International) ise, hükümetler ve uluslararası kuruluşlarla havalimanlarının çıkarlarını temsil eder, havalimanları için standartlar, politikalar ve önerilen uygulamalar geliştirir ve dünya çapında standartları yükseltmek için bilgi ve eğitim fırsatları sunar. Başta yukarıda bahsedilen bu örgütler olmak üzere, birçok küresel, bölgesel ve yerel örgüt sivil havacılığın gelişmesi için çalışmaktadır.

Türkiye'nin ilk uluslararası havalimanı 1953 yılında İstanbul Yeşilköy'de hizmete girmiştir. İlerleyen yıllarda yaşanan gelişmeler neticesinde 1955 yılında Türk Hava Yolları, 1956 yılında ise Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü kurulmuştur (DHMI).

Birleşik Devletler'de 1978 yılına kadar devlet eli ile yürütülen havayolu işletmeciliği, Havayolu Serbestleşme Yasası ile beraber özel sektöre de açılmıştır. Bu yasa sayesinde, özel teşebbüs işletmeler iç hatlarda rota ve fiyat belirleme hakkına sahip olmuştur. Yine özel sektörün havayolu taşımacılığına teşvik edilmesi için

İngiltere’de 1986’da Havalimanları Kanunu çıkarılmıştır. Türkiye’de ise 1983 yılında çıkarılan Türk Sivil Havacılık Kanunu ile birlikte özel sektörün önü açılmıştır.

Şekil 1.2’de verilen grafikte 1945-2022 yılları arasında dünyada havayolu ile taşınan toplam yolcu sayısı verilmiştir. Grafik incelendiğinde, bölgesel ve küresel bazı krizlerin toplam yolcu sayısı üzerindeki etkileri görülebilir. 1973’teki Petrol Krizi, 1980-1988 yılları arasındaki İran-İrak Savaşı, 1991’deki Körfez Krizi, 1998’deki Asya Ekonomik Krizi, 2001’deki 11 Eylül Saldırısı ve 2003’teki SARS salgını ve Irak Savaşı hava taşımacılığına olumsuz etkide bulunmuştur. Ancak hiçbir kriz ya da savaş 2019 yılında yaşanan pandemi kadar etkili olamamıştır. 2019 yılı sonunda ortaya çıkan COVID-19 salgını, dünyadaki tüm ülkelere yayılmış, çok sayıda insanın ölümüne sebep olmuş ve bunun sonucu olarak tüm sektörler gibi havayolu taşımacılığı da daha önce görülmemiş bir seviyede darbe almıştır. İşletmeler küçülmeye giderek ya da faaliyetlerini tamamen durdurarak tepki verebilmişlerdir (ICAO, 2022).



Şekil 1.2 1945-2022 Dünya Yolcu Trafiği Değişimi (ICAO,2022).

Günümüzde havayolu taşımacılığının yaygınlaşmasının küreselleşme üzerinde önemli bir rolü vardır. Yüksek taşıma maliyetlerinin düşürülmesi ve taşıma ağının genişletilmesi sonucu ulaşılabilirliğinin artması, hem yolcu hem de kargo taşımacılığında havayolunun daha sık tercih edilmesine ve akabinde gökyüzünde çok yoğun bir hava trafiğinin varlığına neden olmuştur. Bu yoğun trafik ise beraberinde muazzam boyutlarda bir ekonomik güç oluşturmuştur. ICAO’nun 2018 yılı raporuna göre, 2018 yılında yıllık taşınan toplam yolcu sayısı bir önceki yıla göre %6.4 artarak 4.3 milyara, yıllık toplam yük miktarı %3.6 artarak 58 milyon tona ulaşmıştır. Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği’nin (IATA) 2019 yılı raporuna göre, 2018 yılında dünyadaki havayolu şirketlerinin toplam net karı 30 milyar dolardır ve yıllık yolcu sayısı

4 milyarı bulmuştur. Yine aynı rapora göre, yapılan taşımaların ortalama maliyeti son yirmi yılda yarıya düşürülmüştür. Hava taşımacılığı sektörü, desteklediği diğer sektörler de dikkate alındığında 65 milyon yeni iş imkânı sağlamıştır.

SHGM'nün 2018 yılı faaliyet raporuna göre, Türkiye'de son 16 yılın verileri incelendiğinde toplam yolcu sayısı, uçak trafiği, toplam yük miktarı, uçak sayısı, koltuk kapasitesi, kargo kapasitesi ve uçuş yapılan toplam nokta sayısı önemli ölçüde artmıştır. Örneğin, toplam yolcu sayısı %510 artmış ve 210 milyona çıkmış, kargo kapasitesi %625 artmıştır. 2018 yılında İstanbul'da bulunan İstanbul Atatürk Havalimanı ve İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı toplamda yaklaşık 100 milyon yolcu sayısına ulaşmışlardır. 2018 yılında hizmete giren ve ilk etabı 90 milyon yolcu kapasiteli olan İstanbul Havalimanı'nın artması öngörülen yolcu sayısına cevap vermesi beklenmektedir. Ülke ekonomileri için bu kadar önem arz eden ve gelecekte de önemini arttıracak olan havacılık sektöründe havalimanlarının etkin ve verimli kullanılmasının ekonomiye olan katkısının yüksek seviyede olmasını sağlayacağı açıktır.

2019 yılının son çeyreğinde, COVID-19 salgını pandemiye dönüşerek tüm dünyayı etkisi altına almış ve hayatı durma noktasına getirmiştir. Sivil havacılık sektörü de alınan seyahat kısıtlamaları nedeniyle bu durumdan oldukça fazla etkilenmiştir. ICAO'nun yayınladığı verilere göre, 2020 yılında uluslararası yolcu trafiği %60 oranında düşüş ile 2003 yılı seviyelerine gerilemiştir. Koltuk kapasitesi %50, yolcu sayısı %60 oranında düşmüştür. IATA, dünya yolcu trafiği sonuçlarına göre, talebin 2020 yılında önceki yıla göre %65.9 düştüğünü açıklamıştır. SHGM'nin 2020 yılı faaliyet raporuna göre, iç hat yolcu sayısı önceki yıla göre %50.4; dış hat yolcu sayısı ise %70.5 azalmıştır. Ayrıca iç hat uçak trafiğinde önceki yıla göre %31.5; dış hat uçak trafiğinde ise %60.8 azalma gerçekleşmiştir.

Türkiye Cumhuriyeti, İstanbul Havalimanı'nın tam kapasite kullanılması ile birlikte sivil havacılık sektöründe büyük bir küresel oyuncu olmaya hazırlandığı sürecin başlarında bulunmaktadır. COVID-19 pandemi sürecinin yarattığı kriz ortamının fırsatlar sunabileceği bu noktada, Türkiye'deki havalimanlarının etkin ve verimli işletilip işletilmediğinin düzenli aralıklarla araştırılması, verimlilik ve etkinlik analizlerinin yapılarak etkin birimlerin ve etkin olmayan birimlerin belirlenerek gerekli önlemlerin alınmasına yardımcı olunması ihtiyacı doğmaktadır. Yapılan bu çalışma ile ekonomik anlamda birbirleri ile etkileşim halinde olan havayolu, havalimanı, turizm,

eğitim ve sanayi vb. alanlardaki işletmelerden havalimanı işletmelerinin güçlü ve zayıf yanları tespit ederek zayıf yanların güçlendirilmesi için alınması gereken önlemlere ve geliştirilecek olan politikalara yön verebilecek verilere katkı sunmaktır. Pehlivanlı (2020), ülkemizdeki 20 adet havalimanının 2019 ve 2020 yıllarının sadece ilk çeyreklerindeki verileri ile, VZA ve Malmquist Toplam Faktör Verimliliği metodu kullanarak temel bir analiz gerçekleştirmiştir. Fakat, İstanbul Atatürk Havalimanının 7 Nisan 2019 tarihinde kapatılması ve 2020 yılı ilk çeyreğinde aktif olmaması sebebiyle analize dahil edilememiştir. Ayrıca pandemi sonrası durum da ortaya konulamamıştır. Çalışmanın amacı, Covid-19'un başlangıcından bu yana tüm süreci ve ülkemizdeki tüm havalimanlarını dikkate alarak daha geniş çapta bir analiz sunmaktır. Buna istinaden, Türkiye havalimanlarının 2018 ve 2020 yıllarına ait verilerin kullanılması ile etkinliklerin karşılaştırması ve etkinliklere göre havalimanlarının sıralanması; COVID-19 pandemi sürecinin ve 2019 yılında faaliyete geçen İstanbul Havalimanı'nın Türkiye'deki havalimanlarına dahil edilerek etkinlik değerlerinin elde edilmesi için Üç Aşamalı VZA yönteminin Türkiye'de ilk defa kullanılması açısından ulusal ve uluslararası ölçekte katkı sağlanması hedeflenmektedir. Çalışmada aynı zamanda çok kriterli karar verme yöntemlerinden TOPSIS ve ARAS ile havalimanları sıralamaları elde edilerek Üç Aşamalı VZA sonucu elde edilen sonuçlar ile karşılaştırarak sonuçları değerlendirmek amaçlanmaktadır.

İKİNCİ BÖLÜM

ETKİNLİK KAVRAMI

2.1. Verimlilik, Etkililik ve Etkinlik

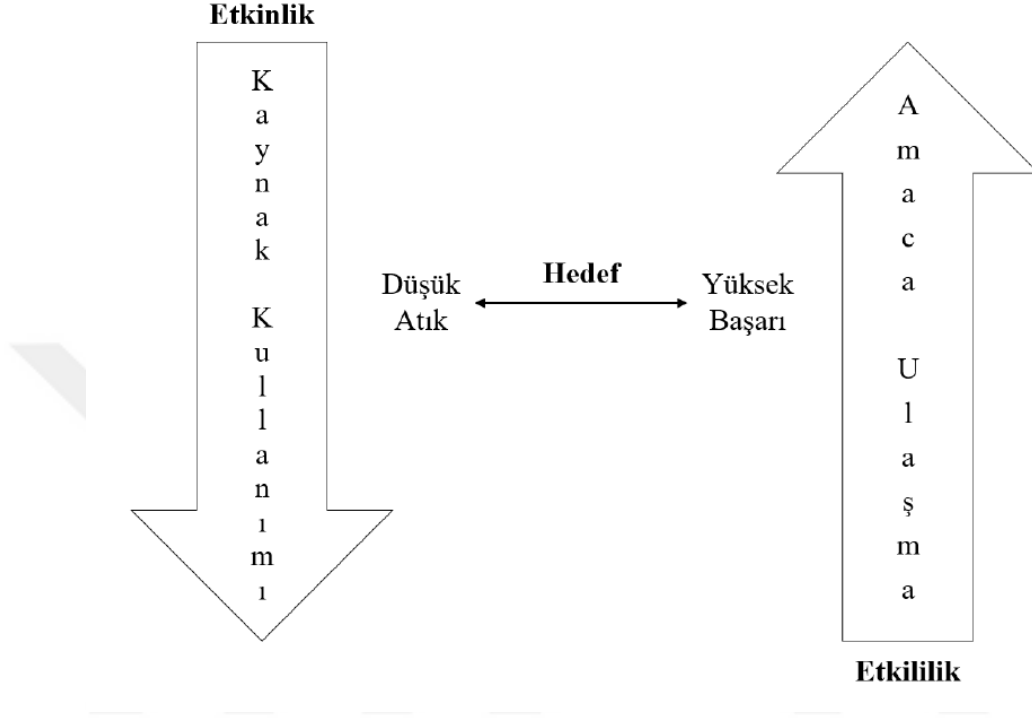
Verimlilik, etkililik ve etkinlik kavramları sıklıkla karıştırılmakta hatta birbirlerinin yerine kullanılmaktadır. Açıklamaya diğerlerini içine alan, anlamı daha genel olan verimlilik ile başlanabilir. Firma düzeyinde verimlilik (productivity) için, kaynakların temininden bu kaynakların kullanımına kadar; ulaşılan hedeflerden, yeni stratejileri belirlemeye kadar birçok yönde çeşitli tanımlar yapılabilmektedir. Firma performans göstergelerinden birisi olarak yaygın şekilde kullanılan verimlilik veya diğer adıyla üretkenlik geniş kapsamına rağmen üretim odaklı bir kavram olarak bir üretim veya hizmet sisteminin ürettiği çıktı ile bu çıktıyı elde etmek için kullanılan girdi veya girdiler arasındaki ilişki olarak tanımlanmaktadır (Prokopenko, 2003). Temel anlamda; ürün ile girdiler arasındaki oransal ilişki olarak da tanımlanabilecek verimlilik, matematiksel olarak

$$Verimlilik = \frac{Çıktı}{Girdi}$$

şeklinde ifade edilebilir. Buna göre verimlilik; bir üretim sürecinin sonunda üretilen ürünlerle (çıktı), bu ürünleri elde etmek için kullanılan üretim faktörlerinin (girdi) oranından oluşan bir katsayıdır. Eğer herhangi bir üretim birimi, daha önceki dönemlere göre daha fazla ürün üretebilmişse bu üretim biriminin verimli olduğu söylenebilir (Akal, 2005).

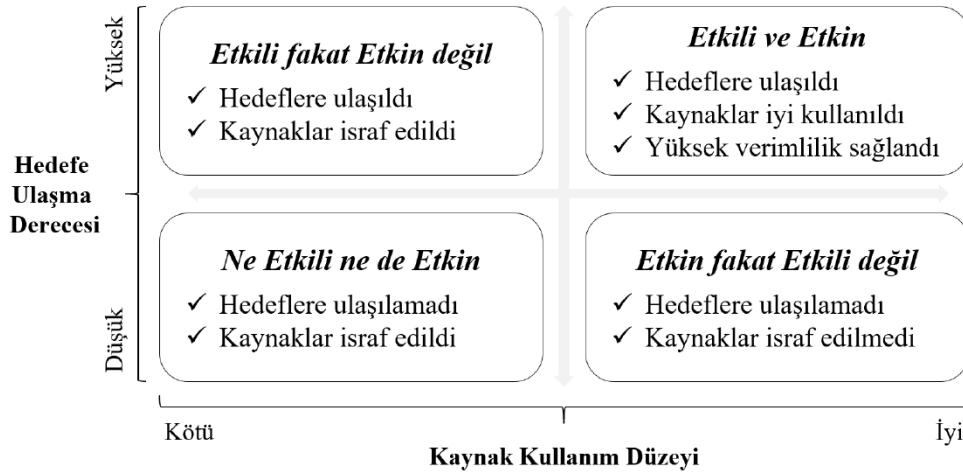
Bir işletmede verimlilik üzerine etki eden pek çok unsur vardır. İşgücü, hammadde, makine gibi birçok etkene bağlı olan verimlilik kavramı, sadece basit bir girdi/çıktı oranı olarak algılamak doğru bir yaklaşım olamaz. Ayrıca, bilgi teknolojileri, ekonomik gelişmeler, tam zamanlı üretim ve dağıtım sistemleri vb. gelişmeler verimlilik kavramının daha geniş çerçevede ele alınması sonucunu getirmektedir. Bu bağlamda verimlilik, firmanın amaçları ve bunları gerçekleştirebilme derecesi, yararlı çıktılar elde edebilmek için kaynakların ne ölçüde etkin kullanıldığı, potansiyel üretim karşısında gerçekleşen üretim, verimlilik performansının zaman içerisinde gerçekleşme durumu gibi ne kadar yaklaşıldığının bir ölçüsü olarak değerlendirilmektedir (Kutlar ve Bakırcı, 2018).

Etkililik, önceden belirlenmiş olan hedeflere ulaşıp ulaşılamadığını ölçen bir göstergedir. Etkinlik ise kaynakların doğru kullanımı ile ilgili bir göstergedir (Şekil 2.1).



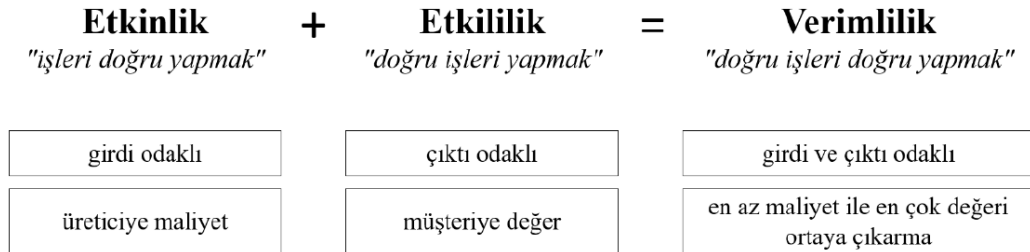
Şekil 2.1 Etkinlik ve Etkililik (Cavlak, 2021)

Etkililik çıktı odaklı bir yaklaşıma sahipken, etkinlik girdi yani kaynak odaklıdır. Etkililik doğru işi yapma olarak açıklanır, etkinlik ise işi doğru yapma olarak açıklanmaktadır. Etkinlik ve etkililik arasındaki farklar Şekil 2.2 incelenerek daha iyi anlaşılabilir. Peter Drucker'e göre ise; etkinlik, yapılan işlerin doğru bir şekilde yapılması olarak tanımlanmakta ve yöneticinin performans ölçme kriterlerinden biri olarak görülmektedir (Kanoğlu, 2001).



Şekil 2.2 Etkinlik ile Etkililik Arasındaki Farklar (Cavlak, 2021)

Şekil 2.3'de de görüldüğü gibi etkililik ve etkinliğin toplamından verimlilik kavramı doğar (Cavlak, 2021). Verimlilik, minimum çaba veya masraf ile maksimum sonuçlar elde etme kapasitesi olarak da tanımlanmaktadır (Kok, 1991).



Şekil 2.3 Verimlilik (Cavlak, 2021)

Bir başka tanım ile etkinlik; girdi unsurlarının mevcut kullanım durumunun önceden belirlenmiş standartlarla kıyaslanması ile bulunan bir gösterge olarak kabul edilebilir ve şu şekilde ifade edilebilir (Bas ve Artar, 1990):

$$\text{Etkinlik} = \frac{\text{Standart Değer}}{\text{Fiili Değer}}$$

İşletmeler, etkinlik ölçümü sonrasında etkinsizlikleri tespit ederek gerekli tedbirleri almalıdırlar. Etkinlik ölçümü ile işletme, mevcut durumu ile ilgili bir veri elde ederken, aynı zamanda, girdileri ile çıktıları arasındaki ilişkiyi de görebilmektedir. Sonuç olarak etkinlik, kaynakların doğru kullanımı ile ilgili bir kavramdır. Etkinlik, verimliliğin esas belirleyicilerinden birisidir. Bu ifadeyi, “etkinlik değişmesi, verimlilik değişimine yol açan faktörlerden biridir” şeklinde de ifade etmek mümkündür. Bu ifadeye göre bir firmanın üretim faaliyetinde etkinliği sağlamadan verimliliği sağlayabilmesi imkansızdır.

Etkinlik ve verimlilik ayrımını, tez konusu kapsamında netleştirmek gerekirse havalimanlarının diğer havalimanlarına göre nasıl bir performans gösterdiği etkinlik kavramı ile, havalimanlarının bir önceki dönemlerine göre nasıl performans gösterdiği verimlilik kavramı ile ilgilidir.

2.2. Etkinlik Çeşitleri

Firmaların önceden belirlenmiş amaçlarına ulaşmak için gerçekleştirecekleri faaliyetlerin etkin olup olmadığı, teknik yönden veya dağıtılan kaynak yönünden firmaların ölçekleri ve diğer ekonomik ölçütler yönünden ayrı ayrı değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Çünkü etkinlik, işletmelerin sahip oldukları teknik koşullar kadar kullanılan kaynaklara ve bu kaynakların çeşitliliğine de önemli oranda bağlıdır. Çeşitli etkinlik türlerinden sıklıkla kullanılanları teknik etkinlik, ölçek etkinliği, tahsis etkinliği, ekonomik etkinlik, fiyat etkinliğidir. Tanımları şu şekilde özetlenebilir:

2.2.1. Teknik Etkinlik

Teknik etkinliği ölçmek, girdi ve çıktı miktarını fiyatlarını ortaya koymadan kullanmaktır. Belli bir çıktıyı olabilecek en az girdi ile üretebilmek olarak anlaşıldığında; teknik etkinlik, israfın olmadığı, atıl kaynağın çok az olduğu bir şekilde üretim yapılabilmesidir. Belirli girdiler için teknik olarak daha yüksek bir çıktı düzeyi elde edilebiliyorsa (çıktı odaklı ölçü) veya gözlemlenen çıktı düzeyi daha az girdi kullanılarak üretilabiliyorsa (girdi odaklı ölçü), böyle bir üretim planı teknik olarak etkinsizdir. Teknik etkinliği üretim fonksiyonuyla belirlenen üretim sınırları bağlamında değerlendirmek de mümkündür. Herhangi bir üretim birimi, üretim sınırının tam üzerinde ise bu, o üretim biriminin teknik etkin olduğunu gösterir. Üretim sınırının, teorik olarak etkin tüm ürün bileşenlerini gösterdiği kabul edildiğinden, üretim sınırının

Şekil 2.4 Etkinlik (Thach, Vo ve Lee, 2021)

Ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında üretim yapan bir işletme ve bir çıktıdan oluşan bir sistemi olduğu varsayılсын (Şekil 2.4). SS' eğri

Şekil 2.4 Etkinlik (Thach, Vo ve Lee, 2021)

Ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında üretim yapan bir işletmenin iki girdi ve bir çıktıdan oluşan bir sistemi olduğu varsayılın (Şekil 2.4). SS' eğrisi, üzerinde tam etkin işletmelerin bulunduğu eş ürün eğrisi; II' eş maliyet doğrusu olsun. B noktasındaki şekilde bir üretim yapıldığında işletme tam etkindir. A noktasında ise etkinsizlik vardır. Teknik etkinlik (TE) OB/OA oranı ile hesaplanabilir. Bu oran 0 ile 1 arasında değer alır. Teknik etkinlik, 1 değerini aldığı anda bu, tam etkinliğin olduğu sonucunu doğurur.

$$TE = \frac{OB}{OA}$$

2.2.2. Tahsis Etkinliği

Bir ürünün üretilmesi sürecinde girdi ve çıktı miktarlarının yanında eğer fiyat bilgisine de ulaşılabiliyorsa bu durumda tahsis etkinliği de hesaplanabilir. İşletmelerin teknik etkinliğinin yanında tahsis etkinliğinin de yüksek çıkması istenir. Tahsis etkinliği, eldeki kaynakların doğru bir şekilde dağıtılarak optimum kaynak dağılımının bulunması ile ilgilidir. Şekil 2.4'e göre tahsis etkinliği (AE), OC / OB oranı ile hesaplanır (Coelli v.d., 2005).

$$AE = \frac{OC}{OB}$$

2.2.3. Ekonomik Etkinlik

Ekonomik etkinlik, teknik ve tahsis etkinliği ile doğrudan ilişkilidir. Herhangi bir üretim birimi hem teknik hem de tahsis etkinliğine sahip olmadığı sürece ekonomik olarak etkin olamaz. Ekonomik etkinlik (EE), teknik etkinlik ile tahsis etkinliğinin çarpımı ile ifade edilir.

$$EE = TE \cdot AE = \frac{OB}{OA} \cdot \frac{OC}{OB} = \frac{OC}{OA}$$

Şekil 2.4'e göre bir işletme, teknik olarak etkin fakat tahsis açısından etkinsiz B noktası yerine tahsis ve teknik olarak etkin E noktasında performans sergilerse, üretim maliyetleri B'den C'ye olan mesafe kadar azalacaktır (Coelli v.d., 2005).

2.2.4. Ölçek Etkinlik

Ölçek etkinliği, üretim biriminin sabit ve değişken getiri varsayımı altında elde ettiği teknik etkinliklerin oranı olarak tanımlanır. Bir üretim birimi her iki getiri varsayımı altında da etkin ise ölçek etkinliği vardır denilebilir. Ölçek etkinliğine sahip olan bir işletmenin ideal ölçekte üretim yapabildiği söylenebilir. Şekil 4.1 incelenecek olursa, G ve J üretim birimleri hem ölçek etkin hem de teknik etkin birimlerdir. A, B, C, M ve O üretim birimleri teknik etkindirler ancak ölçek etkin değildirler. H ve K üretim birimleri ise her iki etkinliğe de sahip değildirler (Kutlar ve Bakırcı, 2018).

2.2.5. Fiyat Etkinliği

Fiyat etkinliği için, teknik ve ölçek etkinlikleri esas alınmak üzere, işletmedeki fazla maliyete yol açan unsurları belirleyebilmek adına muhasebe bilgilerinin ve kayıtlarına bakmak gerekir. Eğer girdiler ve/veya çıktılar, fiziksel birimlerden ziyade bir para birimi cinsinden ölçülürse, gözlemlenen etkinlik farklılıkları ölçek ve teknik etkinlikten kaynaklandığı kadar fiyat etkinliğinden de kaynaklanabilir. Ölçümde hem fiziki hem parasal ölçüm yöntemi kullanılırsa, fiyat etkinliğini teknik ve ölçek etkinliğinden ayırmak mümkün hale gelir. Hangi birimlerin etkinsiz olduğunu ve

etkinsizliğin nasıl giderileceğın anlamak için, mevcut tüm etkinsizlik türlerini ayrı ayrı ölçmek gerekir.

Bu çalışmada kullanılan VZA, teknik ve ölçek etkinliğini fiyat etkinliğinden ayıran bir yöntem olup, özellikle hizmet işletmelerinin karlılıklarını iyileştirme yöntemlerini belirlemeye olanak tanımaktadır. Yapılacak fiyat etkinliği analizleri ile işletmeler gelir tablosunda yansıtılan muhasebe ölçütlerine göre nispeten daha karlı bir görünüme kavuşturulabilir (Kutlar ve Bakırcı, 2018).



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

HAVALİMANI PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ VE BU ALANDA YAPILMIŞ OLAN ULUSAL VE ULUSLARARASI TEMEL ÇALIŞMALAR

Havalimanlarının performans değerlendirmesi ile ilgili yapılmış olan ulusal ve uluslararası çalışmalar incelendiğinde 1997 yılı dikkat çekmektedir. Hooper ve Hensher (1997) ile Gillen ve Lall (1997)'in yaptıkları çalışmalar havalimanı etkinliğinin araştırılması alanında öncü çalışmalar olarak kabul edilirler. Hooper ve Hensher (1997), Toplam Faktör Verimliliği'ni (Total Factor Productivity), Gillen ve Lall (1997) ise Veri Zarflama Analizi'ni havalimanı etkinlik ve verimlilik çalışmalarında ilk kez kullanan bilim insanlarıdır.

Performans ölçümünde birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler 3 ana başlık halinde değerlendirilebilirler. Bunlardan ilki olan Oran Analizi (Ratio Analysis), tek girdi ve tek çıktı ile sınırlı olan, çok az bilgiye gereksinim duyan ve uygulaması kolay bir yöntemdir. Buna karşın, performans değerlendirmesinde performansın tek boyutunu dikkate alması, benzer değerlerle karşılaştırılmaya gerek duyması ve bazı oranların performansı yüksek göstermesine rağmen bazı oranların tam aksini göstermesi analizin zayıf yanlarıdır (Yeşilyurt, 2018). Diğer bir başlık olan Parametrik Yöntemler ile yapılan performans değerlendirmelerinde genel olarak regresyon teknikleri kullanılır ve tek çıktıya karşılık birçok girdinin ilişkilendirilmesi söz konusudur (Yolalan 1993). Çok boyutlu performans analiz yöntemlerinden olan parametrik yöntemler arasında En Küçük Kareler (EKK) (Ordinary Least Squares) ve Stokastik Sınır Analizi (Stochastic Frontier Analysis) gösterilebilir (Liebert ve Niemeier, 2013). Bunlardan SSA, havalimanı performans ölçümü ile ilgili bazı çalışmalarda (Pestana Barros, 2009; Martin, Roman ve Voltes-Dorta, 2009; Pels, Nijkamp ve Rietveld, 2003) kullanılmıştır. Performans ölçümünde son ana başlık olarak nitelendirilebilecek parametrik olmayan yöntemler de yine çok boyutlu performans analiz yöntemleri içinde değerlendirilmektedir. Parametrik olmayan yöntemler arasında bulunan Toplam Faktör Verimliliği (TFV) (Total Factor Productivity) ve VZA havalimanı performans ölçüm çalışmalarında oldukça fazla kullanılan yöntemlerdir. Literatürde TFV ile havalimanlarının verimliliği yani havalimanlarının bir önceki döneme göre nasıl bir performans gösterdikleri, VZA ile de havalimanlarının etkinlikleri yani bir

havalimanının diğer havalimanlarına göre nasıl bir performans gösterdiği araştırılmıştır. Çalışmalar incelendiğinde az miktarda olsa da Uzaklık Yönlü Fonksiyon (Directional Distance Function) ve Değişken Faktör Verimliliği (Variable Factor Productivity) yöntemleri ile de karşılaşılmıştır. Ayrıca Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden TOPSIS, MACBETH, MOORA ve AHP kullanılan çalışmalara da rastlanmıştır.

Havalimanı performans değerlendirmesi çalışmalarında VZA'nın oldukça baskın olduğu görülmektedir. VZA'nın bu kadar çok tercih edilmesinin sebebi birden fazla girdi ve çıktıyı eş zamanlı olarak değerlendirebilmesi ve bunu yaparken de girdiler ile çıktılar arasındaki ilişkiyi belirten ve önceden tanımlanması gereken herhangi bir denkleme ihtiyaç duymamasıdır. VZA, girdi odaklı ya da çıktı odaklı olarak kullanılabilir. Havalimanı çalışmalarında, çalışmaların hemen hemen yarısının girdi odaklı olduğu görülmüştür. Ölçek olarak sabit (CCR) ve değişken (BCC) getiri varsayımlarının ikisi de kullanılmıştır. Etkinliğin zaman içerisindeki değişimini görmek için Malmquist İndeks oldukça sık kullanılan bir yöntem olmuştur. Birçok çalışmada da etkinliğin yanında verimlilik de ölçülmek istenmiş ve bunun için de Malmquist Toplam Faktör Verimliliği kullanılmıştır. VZA'da herhangi bir karar verme biriminin etkinliği düşük çıktığında VZA bu etkinlik düşüklüğünün nedenini açıklayamamaktadır. Bunun için iki ya da daha çok aşamalı analiz yöntemlerinden faydalanılmıştır. Ayrıca farklı bir VZA türü olan Ağ VZA ile de, ara aşamada düşük etkinliğin nedeni ortaya konulabilmektedir. Ayrıca iki aşamalı yöntemlerin kullanıldığı diğer bazı çalışmalarda çeşitli regresyon analizi yöntemlerinin de çalışmalara dahil edildiği gözlenmiştir. Ayrıca Bolat, Temur ve Gürler (2016) Yapay Sinir Ağları'nı, Bal ve Öztürk (2017) Kanonik Korelasyon Analizi'ni, Wanke ve Barros (2017) Destek Vektör Makineleri'ni, Augustyniak, Lopez-Torres ve Kalinowski (2015) Temel Bileşenler Analizi'ni çalışmalarında kullanmışlardır. Yu (2010) Tayvan havalimalarının kapasite etkinliğini, Chen ve Liu (2019) Çin havalimanlarının dinamik etkinliğini, Song, Jia ve Zhang (2020) Çin'deki hava taşımacılığı sektörünün operasyonel etkinliğini, Zeng v.d. (2020) Doğu Çin havalimanlarının etkinliğini Üç Aşamalı VZA ile elde etmişlerdir.

Çalışmalar incelendiğinde bazı bilim insanlarının aynı çalışma içerisinde farklı modeller kurdukları, terminal ve hava tarafının etkinliklerinin ayrı ayrı incelendiği, bazı çalışmalarda ise etkinliğin mevsimsel olarak ölçüldüğü gözlenmiştir. Havalimanları ile

ilgili yapılan etkinliğe dair çalışmalar uluslararası ve ulusal düzeyde olmak üzere iki ana başlık altında sınıflandırılabilir.

3.1.Uluslararası Düzeyde Yapılmış Havalimanı Etkinlik Çalışmaları

Öncelikle uluslararası düzeyde yapılmış havalimanı çalışmaları ele alınmış, incelenmiş ve elde edilen bilgiler Tablo 3.1’de sunulmuştur. Tablodaki sütunlarda sırası ile çalışmanın yılı ve yazarı/yazarları, çalışmanın uygulandığı havalimanları ve kullanılan verinin dönem aralığı, çalışmada kullanılan model ve girdi-çıktı özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.1 Uluslararası Düzeyde Yapılmış Havalimanı Etkinlik Çalışmaları

Çalışma	Örneklem ve Dönem Aralığı	Model	Girdi	Çıktı
Gillen ve Lall (1997)	21 adet ABD havalimanı (1989-1993)	VZA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Hooper ve Hensher (1997)	6 adet Avustralya havalimanı (1988/89-1991/92)	TFV ve Tornquist İndeks	Finansal	Finansal
Murillo-Melchor (1999)	33 adet İspanya havalimanı (1992-1994)	VZA ve Malmquist İndeks	Finansal	Fiziksel
Parker (1999)	32 adet Birleşik Krallık havalimanı (1979/80-1995/96)	VZA	Finansal	Fiziksel
De La Cruz (1999)	16 adet İspanya havalimanı (1993-1995)	VZA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Sarkis (2000)	44 adet ABD havalimanı (1990-1994)	VZA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal

Gillen ve Lall (2001)	22 adet ABD havalimanı (1989-1993)	VZA ve Malmquist İndeks	Fiziksel ve finansal	Fiziksel
Martin ve Roman (2001)	37 adet İspanya havalimanı (1997)	VZA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel
Adler ve Berechman (2001)	26 adet havalimanı (1998)	Temel Bileşenler Analizi ve VZA (Süper Etkinlik)	Nesnel veriler: havalimanı ücreti, pist sayısı, şehir merkezine uzaklık vb.	Öznel veri: Tatmin seviyesi
Pels, Nijkamp ve Ritveld (2001)	34 adet Avrupa havalimanı (1995-1997)	VZA	Finansal	Fiziksel
Abbott ve Wu (2002)	12 adet Avustralya havalimanı/24 adet havalimanı	VZA ve Malmquist İndeks/VZA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel
Martin-Cejas (2002)	40 adet havalimanı (1996-1997)	En Küçük Kareler	Fiziksel, girdi ücretleri	Fiziksel
Pels, Nijkamp ve Ritveld (2003)	33 adet Avrupa havalimanı (1995-1997)	VZA (Terminal ve hava tarafı ayrı ayrı) ve SSA	Finansal	Fiziksel
Oum, Yu ve Fu (2003)	109 adet havalimanı (2001-2004)	SSA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Bazargan ve Vasigh (2003)	45 adet ABD havalimanı (1996-2000)	VZA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Pacheco ve Fernandes (2003)	35 adet Brezilya havalimanı (ulusal) (1998)	VZA	Fiziksel	Fiziksel ve finansal

Barros ve Sampaio (2004)	10 adet Portekiz havalimanı (1990-2000)	VZA	Fiziksel ve finansal, girdi ücretleri	Fiziksel
Sarkis ve Talluri (2004)	44 adet ABD havalimanı (1990-1994)	VZA (Çapraz Etkinlik ve Kümeleme)	Fiziksel ve finansal	Fiziksel
Yoshida ve Fujimoto (2004)	67 adet Japonya havalimanı (2000)	VZA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel
Yu (2004)	14 adet Tayvan havalimanı (ulusal) (1994-2000)	VZA-Pencere Analizi	Finansal	Fiziksel
Oum ve Yu (2004)	60 adet havalimanı (1999-2000)	Endojen ağırlıklı TFV ve kısmi verimlilik	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Oum, Zhang ve Zhang (2004)	50 adet havalimanı (1999)	Endojen ağırlıklı TFV ve kısmi verimlilik	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Yoshida (2004)	30 adet Japonya havalimanı (2000)	Endojen ağırlıklı TFV	Finansal	Fiziksel
Yoshida ve Fujimoto (2004)	67 adet Japonya havalimanı (2000)	Endojen ağırlıklı TFV	Fiziksel ve finansal	Fiziksel
Yokomi (2005)	6 adet Birleşik Krallık havalimanı (1975-2001)	VZA ve Malmquist İndeks	Fiziksel	Fiziksel ve finansal
Lin ve Hong (2006)	20 adet havalimanı (2001-2002)	VZA (Süper Etkinlik ve Çapraz Etkinlik)	Fiziksel ve finansal	Fiziksel

Martin ve Roman (2006)	34 adet İspanya havalimanı (1997)	VZA (Süper Etkinlik, Çapraz Etkinlik ve Sanal Etkinlik)	Fiziksel ve finansal	Fiziksel
Pacheco, Fernandes ve de Sequeira-Santos (2006)	58 adet Brezilya havalimanı (1998-2001)	VZA	Fiziksel	Fiziksel ve finansal
Vogel (2006)	31 Avrupa havalimanı ve 4 havalimanı sistemi (1990-2000)	VZA, Kısmi Performans, Finansal Oran Analizi	Fiziksel	Fiziksel ve finansal
Oum, Adler ve Yu (2006)	116 adet havalimanı (2001-2003)	Değişken Faktör Verimliliği (VFP)	Fiziksel	Fiziksel ve finansal
Barros ve Dieke (2007)	31 adet İtalya havalimanı (2001-2003)	VZA (Süper Etkinlik ve Çapraz Etkinlik)	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Martin ve Voltes-Dorta (2007)	41 adet havalimanı (1991-2005)	SSA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel
Barros (2008a)	33 adet Arjantin havalimanı	VZA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel
Fung v.d. (2008)	25 adet Çin havalimanı (1995-2004)	VZA ve Malmquist İndeks/VZA	Finansal	Fiziksel
Martin ve Roman (2008)	34 adet İspanya havalimanı (1997)	VZA (Süper Etkinlik, Çapraz Etkinlik ve Sanal Sıra Etkinlik)	Fiziksel ve finansal	Fiziksel

Pathomsiri v.d. (2008)	56 ABD havalimanı (2000-2003)	Luenburger Verimlilik Göstergesi	Finansal	Fiziksel
Barros (2008b)	27 adet Birleşik Krallık havalimanı (2000-2005)	SSA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel
Barros ve Marques (2008)	117 adet havalimanı (2003-2004)	SSA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel
Barros ve Weber (2009)	27 adet Birleşik Krallık havalimanı (2000-2004)	VZA ve Malmquist İndeks	Fiziksel ve finansal	Fiziksel
Chi-Lok ve Zhang (2009)	25 adet Çin havalimanı (1995-2006)	VZA ve Malmquist İndeks/VZA	Finansal	Fiziksel
Chow ve Fung (2009)	46 adet Çin havalimanı (2000)	SSA	Finansal	Fiziksel
Tovar ve Martin- Cejas (2009)	26 adet İspanya havalimanı (1993-1999)	SSA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Adler ve Liebert (2010)	48 adet Avustralya ve Avrupa havalimanı (1998-2007)	Toplamsal DEA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Assaf (2010)	13 adet Avustralya havalimanı (2002-2007)	SSA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel
Yu (2010)	14 adet Tayvan havalimanı (1998-2000)	Üç Aşamalı VZA	Fiziksel	Fiziksel

Assaf (2011)	13 adet Avustralya havalimanı (2002-2007)	Önyüklemeli Malmquist İndeks	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Tsekeris (2011)	39 adet Yunanistan havalimanı (2007)	VZA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Assaf ve Gillen (2012)	73 adet havalimanı (2003-2008)	VZA ve Yarı Parametrik Bayes Yaklaşımı	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Merkert ve Mangia (2012)	46 adet Norveç havalimanı (2007-2009)	Önyüklemeli İki Aşamalı VZA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel
Perelman ve Serebrisky (2012)	21 adet Latin Amerika havalimanı (2000-2007)	VZA Malmquist İndeks	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Pyrialakou, Karlaftis ve Michaelides (2012)	10 adet Yunanistan havalimanı (1989-2009)	VZA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Wanke (2012)	63 adet Brezilya havalimanı (2009)	VZA	Fiziksel	Fiziksel
Foroughi ve Esfahani (2012)	21 adet İran havalimanı	Robust-VZA-AHP	Fiziksel ve finansal	Fiziksel
Adler, Ülkü ve Yazhemsky (2013)	85 adet Avrupa havalimanı (2002 ve 2009)	VZA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
De Nicola, Gitto ve Mancuso (2013)	20 adet İtalya havalimanı (2006-2008)	VZA ve Malmquist İndeks	Finansal	Fiziksel
Ha v.d. (2013)	11 adet Kuzeydoğu Asya	VZA, SSA, Tobit Regresyon	Fiziksel ve finansal	Fiziksel

	havalimanı (1994-2001)			
Lin, Choo ve Oum (2013)	62 adet Kanada ve ABD havalimanı (2006)	VZA, SSA, Verimlilik İndeks Yöntemi	Finansal	Fiziksel ve finansal
Martini, Manello ve Scotti (2013)	33 adet İtalya havalimanı (2005-2008)	Doğrudan Uzaklık Fonksiyonu, İki Aşamalı Analizler	Fiziksel	Fiziksel (istenen ve istenmeyen-iyi ve kötü)
Chang, Yu ve Chen (2013)	41 adet Çin havalimanı (2008)	VZA	Fiziksel	Fiziksel
Coto-Millan v.d. (2014)	35 adet İspanya havalimanı (2009-2011)	VZA Malmquist İndeks	Finansal	Fiziksel
Ahn ve Min (2014)	23 adet havalimanı (2006-2011)	VZA Malmquist İndeks, Zaman Serileri	Fiziksel	Fiziksel
Fan, Wu ve Zhou (2014)	20 adet Çin havalimanı (2006-2009)	VZA, Doğrudan Uzaklık Fonksiyonu	Fiziksel	Fiziksel ve istenmeyen
Li (2014)	Magong Havalimanı (Tayvan 1991-2010)	VZA, Regresyon	Fiziksel ve finansal	Finansal
Merkert ve Mangia (2014)	35 adet İtalya ve 46 adet Norveç havalimanı (2007-2009)	İki Aşamalı VZA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel
Tsui v.d. (2014)	21 adet Asya-Pasifik havalimanı (2002-2011)	İki Aşamalı Yöntem (VZA ve Regresyon Analizi)	Fiziksel ve finansal	Fiziksel

Ülkü (2015)	41 adet İspanya ve 32 adet Türkiye havalimanı (2009-2011)	VZA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Abbott (2015)	3 adet Yeni Zelanda havalimanı (1991/92-2011/12)	Malmquist VZA, İki aşamalı VZA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel
D'Alfonso v.d. (2015)	34 adet İtalya havalimanı (2010)	VZA, İki Aşamalı Analiz, Koşullu Etkinlik	Fiziksel ve finansal	Fiziksel
Lai v.d. (2015)	24 adet havalimanı (2010)	VZA, AHP, Güven Bölgesi Yaklaşımlı VZA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Zou v.d. (2015)	42 adet ABD havalimanı (2009-2012)	İki Aşamalı VZA	Finansal	Fiziksel ve finansal
Gutierrez ve Lozano (2016)	21 adet Avrupa havalimanı (2013)	VZA, kesirli regresyon	Fiziksel ve İdari (2 yeni girdi)	Fiziksel
Chang v.d. (2016)	41 adet ABD havalimanı (2009-2013)	Dinamik Ağ VZA	Finansal	Fiziksel ve istenmeyen
Coto-Millan v.d. (2016)	35 adet İspanya havalimanı (2009-2011)	VZA, Tobit regresyon	Finansal	Fiziksel
Fragoudaki ve Giokas (2016)	38 adet Yunanistan havalimanı (2009-2011)	VZA, Tobit regresyon	Fiziksel	Fiziksel
Olfat v.d. (2016)	28 adet İran havalimanı	Tip-2 Bulanık Dinamik Ağ VZA	Sürdürülebilir havalimanı bileşenleri	Sürdürülebilir havalimanı bileşenleri
Pavlyuk (2016)	356 adet Avrupa	SSA	Fiziksel	Fiziksel

	havalimanı (2011)			
Barros v.d. (2017)	30 adet Nijerya havalimanı (2003-2014)	SSA, AAG Modeli	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Perico, Santana ve Rebelatto (2017)	16 adet Brezilya havalimanı (2010-2012)	VZA	Fiziksel	Fiziksel
Ennen ve Batool (2018)	12 adet Pakistan havalimanı (2012)	3 VZA modeli (Ağırlık Kısıtlamalı)	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Baltazar, Rosa ve Silva (2018)	3 adet Portekiz havalimanı (2003-2013)	MACBETH, Karar Destek	-	-
Io Storto (2018)	45 adet İtalya havalimanı (2012)	Ağ Aylak Tabanlı VZA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Olariaga ve Moreno (2019)	22 adet Kolombiya havalimanı (2012-2017)	VZA	Fiziksel	Fiziksel
Stichhauerova ve Pelloneova (2019)	27 adet Almanya havalimanı (2016)	VZA	Fiziksel	Fiziksel
Jiang ve diğerleri (2019)	110 adet Çin havalimanı (2003-2014)	Üç Aşamalı VZA	Fiziksel	Fiziksel
Chen ve Liu (2019)	52 adet Çin havalimanı (2014-2017)	Üç Aşamalı VZA ve Malmquist İndeks	Fiziksel	Fiziksel
Song, Jia ve Zhang (2020)	30 adet Çin havalimanı (2003-2017)	Üç Aşamalı VZA	Finansal	Fiziksel

Zeng v.d. (2020)	20 adet Çin havalimanı (2013-2017)	Üç Aşamalı VZA	Fiziksel	Fiziksel
Chaouk, Pagliari ve Moxon (2020)	59 adet Avrupa ve Asya-Pasifik havalimanı (2009 ve 2015)	VZA, Tobit Regresyon, Kesikli Regresyon	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Ripoll-Zarraga ve Raya (2020)	48 adet İspanya havalimanı (2009-2013)	SSA	-	-

3.2. Ulusal Düzeyde Yapılmış Havalimanı Etkinlik Çalışmaları

Ulusal düzeyde yapılmış havalimanı çalışmaları ele alınmış, incelenmiş ve elde edilen bilgiler Tablo 3.2’de sunulmuştur. Tablodaki sütunlarda sırası ile çalışmanın yılı ve yazarı/yazarları, çalışmanın uygulandığı havalimanları ve kullanılan verinin dönem aralığı, çalışmada kullanılan model ve girdi-çıktı özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.2 Ulusal Düzeyde Yapılmış Havalimanı Etkinlik Çalışmaları

Çalışma	Örneklem ve Dönem Aralığı	Model	Girdi	Çıktı
Düzakın ve Güçray (2001)	39 adet havalimanı	VZA, Çapraz Etkinlik	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Kuyucak (2001)	8 adet havalimanı (1997-1999)	Performans Ölçümü	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Kıyıldı ve Karaşahin (2006)	32 adet havalimanı (1996-2002)	VZA	Fiziksel	Fiziksel
Ulutaş (2006)	34 adet havalimanı (2000-2004)	VZA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Erden (2007)	31 adet havalimanı (2005,2006)	VZA, Malmquist	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal

Baki ve Peker (2009)	37 adet havalimanı (2007)	VZA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Koçak (2011)	40 adet havalimanı (2008)	VZA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Ar (2012)	31 adet havalimanı (2007-2011)	TFV Malmquist	Fiziksel ve finansal	Fiziksel
Karaoğlu (2013)	27 adet havalimanı (2007-2011)	VZA, Malmquist	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Ömürbek, Demirgubuz ve Tunca (2013)	40 adet havalimanı (2007-2010)	VZA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Öztürk, Durak ve Bal (2013)	40 adet havalimanı (2000-2004)	VZA, MOORA	Fiziksel	Fiziksel
Gök ve Uğural (2014)	20 adet havalimanı (2007-2009)	VZA	Fiziksel	Fiziksel
Avcı ve Aktaş (2015)	26 adet havalimanı (2013-2014)	VZA, Malmquist	Fiziksel ve finansal	Fiziksel
Karaoğlu (2015)	27 adet havalimanı (2009-2013)	VZA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Yazgan ve Karkacier (2015)	37 adet havalimanı (2008-2011)	VZA, Tobit	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Örkcü v.d. (2016)	21 adet havalimanı (2009-2014)	VZA, Malmquist	Fiziksel	Fiziksel
Bolat, Temur ve Gürler (2016)	41 adet havalimanı (2014)	VZA, YSA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel

Asker (2016)	20 adet havalimanı (2014)	VZA	Fiziksel	Fiziksel
Bal ve Öztürk (2017)	23 adet havalimanı	VZA, KKA (21 adet VZA modeli)	Fiziksel	Fiziksel
Çınaroğlu ve Avcı (2017)	19 adet havalimanı (2015-2016)	VZA, Malmquist	Fiziksel ve finansal	Fiziksel
Koç ve Çalipınar (2017)	38 adet havalimanı (2011-2014)	Fareprimont ve Malmquist İndeksleri	Finansal	Fiziksel
Keskin (2017)	48 adet havalimanı (2015)	VZA-Güven Bölgesi Yaklaşımı	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Yalçın (2017)	50 adet havalimanı (2013-2015)	SSA	Fiziksel ve finansal	Fiziksel
Ateş, Ulufur ve Altınbaş (2018)	27 adet havalimanı (2012-2016)	VZA, Malmquist	Fiziksel	Fiziksel
Keskin ve Köksal (2019)	48 adet havalimanı (2000-2015)	VZA-Güven Bölgesi Yaklaşımı, AHP	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Şahin (2019)	42 adet havalimanı (2014-2018)	VZA, Malmquist	Fiziksel ve finansal	Fiziksel ve finansal
Pehlivanlı (2020)	20 adet havalimanı (2019 ve 2020 ilk çeyrek)	VZA, Malmquist	Fiziksel ve finansal	Fiziksel

3.3. Havalimanı Etkinlik Çalışmalarında Kullanılan Girdi ve Çıktılar

Yapılan literatür taramasında ele alınan tüm çalışmalarda kullanılan girdi ve çıktılar için Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'teki gibi sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmada Iyer ve Jain (2019) çalışmasındaki sınıflandırmadan esinlenilmiştir.

Tablo 3.3 Havalimanı Etkinlik Çalışmalarında Sıklıkla Kullanılan Girdilerin Sınıflandırılması

Girdiler	
Fiziksel	
Pist Sayısı (adet)	Terminal Kapasitesi (Saat başına toplam yolcu hareketliliği)
Pist Uzunluğu (En uzun, pist uzunluk ortalaması, toplam pist uzunluğu)(m)	Havalimanı Kapasitesi (Yıllık yolcu sayısı)
Pist Ölçüsü/Pist Alanı (m^2)	Kapı sayısı
Pist Kapasitesi (Saat başına toplam uçuş hareketliliği)(adet)	Bagaj toplama kemer sayısı/Konveyör sayısı
Pist başına uçak kapasitesi	Bagaj teslim alanı
Apron başına uçak kapasitesi	Check-in kontuar sayısı
Apron uçak kapasitesi/Apron park yeri sayısı	Otopark Kapasitesi/Park yeri sayısı
Apron alanı (m^2)	Şehir merkezine uzaklık (km)
Havalimanı alanı (m^2) (hektar)	X-Ray Güvenlik tarayıcısı sayısı
Alan başına yolcu kapasitesi	Bilgi işlem cihaz sayısı
Yolcu Terminali Alanı (m^2)	Tüm araç sayıları toplamı
Kargo Terminali Alanı (m^2)	Mevcut Kalkış Mesafesi (m)
Terminal Alanı (m^2)	Mevcut İniş Mesafesi (m)
Terminal Sayısı	Operasyon Süresi (Aylık olarak) (saat)
Finansal	
İşçi/Çalışan/Personel Sayısı	Dolaylı giderler
İş gücü Maliyeti	Operasyonel Giderler
Personel Gideri	İşletme Giderleri
Öz sermaye	Diğer operasyonel giderler
Net Varlık	Promosyonlar
İdari	
Tarifeli Uçuş Sayısı	Havayolu Şirketi Sayısı

Tablo 3.4 Havalimanı Etkinlik Çalışmalarında Sıklıkla Kullanılan Çıktıların Sınıflandırılması

Çıktılar	
Fiziksel	
Yolcu Sayısı/Yolcu Trafiği (adet)	Uçak/Uçuş Trafiği (İniş kalkış sayısı)
Yük (Kargo) Miktarı/Yük Trafiği (ton)	İç hatlar yolcu sayısı
Kargo Değeri	Dış hatlar yolcu sayısı
Yıllık Yolcu Hacmi (kişi)	Birim alana düşen yolcu sayısı
Yıllık Kargo Hacmi (ton)	Pist/Apron başına düşen toplam uçak trafiği
İş yükü birimi	
Finansal	
Toplam Gelir	Ticari Gelirler
Havacılık Gelirleri	Operasyonel Gelirler
Havacılık Dışı Gelirler	Havalimanı Hizmet Giderleri
İstenen-İstenmeyen	
Variş Gecikme Zamanı (dk)	Bekleme Süresi (Check-in ve bagaj teslimi için)
Gürültü Kirliliği Düzeyi	Servis Kalitesi
Yanlış yönlendirilmiş bagaj	Yolcu Tatmini

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

VERİ ZARFLAMA ANALİZİ

Etkinlik ölçümü literatürü incelendiğinde, ölçüm yöntemlerinin parametrik ve parametrik olmayan yöntemler olmak üzere iki ana başlık altında toplandığı görülmektedir. Parametrik yöntemler, analitik olarak bir üretim fonksiyonunun var olduğu kabulü ve bu fonksiyondaki parametrelerin tahmin edilmeye çalışılması esasına dayanır. Çoklu regresyon tekniklerinden faydalanılır. Çıktıdaki değişmelere neden olduğu düşünülen girdilerin etkileri belirlenmeye çalışılır. Sınır yaklaşımı mantığını içinde barındırır. En etkin durumun regresyon çizgisi üzerinde olduğu, çizgi üzerinde olmayan üretim bileşenlerinin etkinsiz olduğu sonucuna varılır. Parametrik yaklaşımda kullanılan regresyon çözümlerinde her seferinde tek bir çıktı tüm girdilerle ilişkilendirilmek suretiyle çözümler üretilmektedir. Bu da çok çıktılı durumlarda tüm çıktıların aynı anda değerlendirilmesini oldukça zorlaştırmaktadır.

Parametrik yöntemlerin eksikliklerini gidermek için uygulamaya konulan parametrik olmayan yöntemler, matematik programlama kullanan bir ölçüm yaklaşımıdır. Farrel tarafından ortaya konulan bu yöntemde, analitik bir fonksiyon esas alınmaz. Bundan dolayı, birden fazla çıktının bulunduğu durumlara çözüm üretebilmektedir. Ölçü birimlerinden bağımsız olmasından dolayı işletmelerin değişik boyutlarının aynı anda ölçülebilmesine olanak vermektedir. Parametrik olmayan ölçüm yöntemleri, etkinliği girdi ve çıktıya yönelik olarak ayrı ayrı ölçülebilirler. Girdi odaklı (input-oriented) etkinlik ölçüm teknikleri, en uygun girdi bileşimini; çıktı odaklı (output-oriented) etkinlik ölçüm teknikleri ise üretilebilecek maksimum çıktı düzeyini veya etkin olmayan birimin etkin duruma gelmesi için çıktıların ne kadar artırılması gerektiğini belirler (Kutlar ve Bakırcı, 2018). Parametrik olmayan etkinlik ölçüm yöntemi olarak Veri Zarflama Analizi ve Serbest Düzenleme Zarf Modeli (Free Disposal Hull) olmak üzere iki temel analiz yaklaşımından bahsedilmektedir (Berger ve Humphrey, 1997).

Parametrik olmayan yöntemler arasında etkinlik ölçümü için en çok kullanılan yöntem olan VZA, bir doğrusal programlama tekniğidir. Aynı tür girdileri ve aynı tür çıktıları olan yani homojen olan ve Karar Verme Birimleri (KVB) (Decision Making Units) olarak isimlendirilen benzer birimlerin göreceli (nispi) etkinliklerini ölçmeyi

amaçlamaktadır. Burada bahsi geçen KVB'ler; banka şubeleri, hastaneler, enerji santralleri, havalimanları vb. olabilir. KVB'ler birbirleriyle karşılaştırılır ve en iyi gözleme sahip olan birim referans (etkinlik sınırı) kabul edilerek diğerleri buna göre değerlendirilir. Parametrik yöntemlerde etkinlik sınırı genellikle gerçekte var olmayan sanal bir birimdir, ancak VZA'daki durum bunun tam tersidir. VZA, çok girdi ve çok çıktıya sahip KVB'lerinin etkinliğini en iyi ölçebilen teknik olmasının yanı sıra analizlerde girdi ve çıktıların aynı ölçü birimiyle ifade edilmesini gerektirmeyen bir yaklaşımdır. Ölçü birimleri fiziki miktarlar, parasal büyüklükler ve hatta oransal değerler olabilir.

VZA'da regresyon teknikleri kullanılmadığından rassal hataya yer yoktur. Ancak verilerdeki hatalar ayıklanmazsa etkinlik sınırı önemli ölçüde etkilenebilir ve yapılan etkinlik yorumlarının hatalı olmasına sebep olur. Bu eksikliğin giderilmesi için stokastik yöntemler önerilmiştir (Kutlar ve Bakırcı, 2018).

VZA, merkezi eğilimden yani ortalama değerlerden ziyade sınırlara yönelen bir yöntemle göre analiz yapar ve gözlenen uç verileri de içine alan doğrusal bir yüzeyin oluşturulmasını sağlar. Bu yüzeye olan uzaklıklar kullanılarak KVB'lerinin etkinsizlik düzeyi ve kaynağı belirlenebilir.

VZA, uygulandığı problemlerde etkin ve etkin olmayan karar birimlerini, ürettiği etkinlik değerleri ile ortaya koyması ve etkin birimleri baz alarak etkin olmayan karar birimleri için bir projeksiyon sunması açısından birçok işletme tarafından tercih edilir (Charnes v.d., 1994).

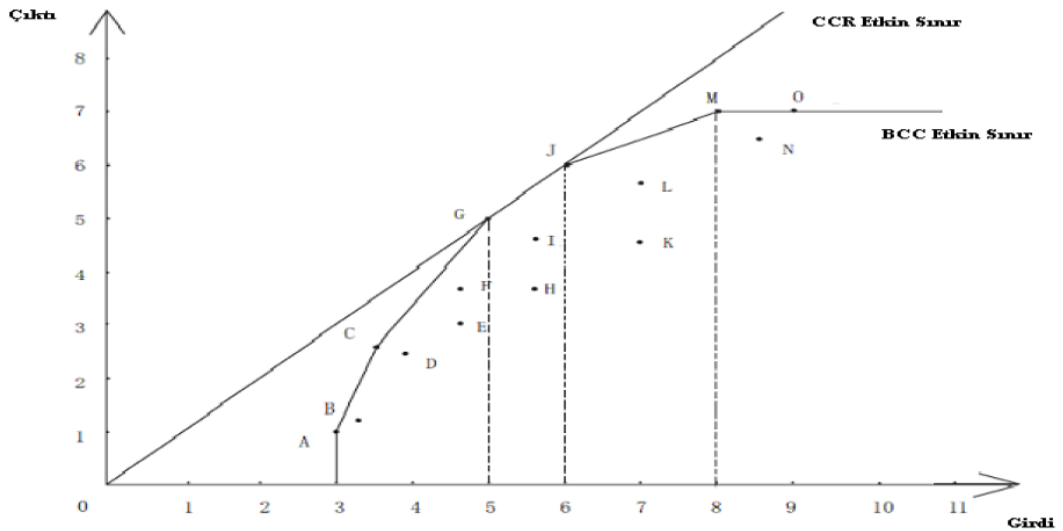
VZA, ölçeğe göre getiri şartlarında değişken ve/veya sabit getiri varsayımları altında kullanılabilir. Girdi ve çıktı odaklı iki yaklaşım da ölçeğe göre sabit getiri şartlarında aynı sonuçları verirken, değişken getiri şartlarında farklı sonuçlar verebilmektedir (Coelli v.d., 2005).

VZA, Farrell (1957)'in etkinlik ölçümünde önerdiği nispi teknik etkinlik yaklaşımı benimsenerek geliştirilmiş ve doğrusal programlama yöntemiyle ağırlıklandırılmış çok girdi ve çıktının kullanılmasına dayandırılmıştır. VZA, her bir girdi ve çıktı için ağırlıkların önceden belirlenmesine ya da girdi ve çıktılar arasındaki ilişkiyi tahmin eden çeşitli fonksiyonel formlara gerek duyulmadan çıktı/girdi etkinlik ölçüsünü

hesaplar. VZA, belli kısıtlar altında, çok sayıda değişkeni bir arada değerlendirebilir ve bunun sonucu olarak da birçok faktörü aynı anda dikkate alarak sağlıklı politikalar üretme imkânı sunar. VZA aynı zamanda matematiksel programlama tekniklerini kullandığından bu tekniğin sahip olduğu geniş metodolojik yaklaşım sayesinde yol gösterici analizlerin ve yorumların daha iyi yapılabilmesine olanak sağlamaktadır (Kutlar ve Bakırcı, 2018).

4.1. VZA Modelleri

VZA'da zarflama şekli ve etkin olmayan birimlerin etkin sınıra olan uzaklıklarına göre çeşitli modeller mevcuttur (Oruç, 2008). Zarflama şekline göre; 1978 yılında Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR) tarafından önerilen ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altındaki VZA modeli ve 1984 yılında Banker, Charnes ve Cooper (BCC) tarafından önerilen ölçeğe göre değişken getiri varsayımı altındaki VZA modeli mevcuttur. Etkin olmayan birimlerin etkin sınıra olan uzaklıklarına göre; girdi odaklı VZA modeli ve çıktı odaklı VZA modeli mevcuttur. CCR etkin sınırı doğrusal iken BCC etkin sınırı doğrusal parçaların birleşmesinden oluşur (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 CCR ve BCC Modelleri Etkinlik Sınırları (Okursoy ve Tezsürücü Coşansu, 2014).

4.1.1. CCR Modelleri

Girdi Odaklı CCR Modeli

Çıktı seviyesini değiştirmeden, bu çıktı düzeyine en etkin şekilde ulaşmak amacıyla girdi bileşiminin ne kadar azaltılması gerektiğini araştıran CCR modelidir. Problemdaki KVB sayısınınca optimizasyon modeli oluşturulur ve çözülür. Model hangi KVB için oluşturulacaksa ona ait ağırlıklandırılmış çıktılar toplamı (sanal çıktı), ağırlıklandırılmış girdiler toplamına (sanal girdi) oranlanır (θ_o) ve bu oran maksimize edilmeye çalışılır. Bu yapılırken tüm KVB'ler için sanal çıktı/sanal girdi oranının (θ_j) 1'den küçük veya eşit kalmasına ve ağırlıkların negatif değerli olmamasına dikkat edilir. Modelde kullanılan "o" alt indisi $j = 1, 2, \dots, n$ değerlerini alır ve etkinliği ölçülmek istenen KVB'ye ait parametreleri temsil etmek için kullanılır. Belirtilen kısıtlar altında optimal amaç değeri en fazla 1 değerini alabilir. Problem çözüldüğünde, o. KVB'nin girdi ve çıktılarına ait optimal ağırlıklar elde edilmiş olunur. Model, aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır (Charnes, Cooper ve Rhodes, 1978):

$$\text{maks } \theta_o = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}}$$

Kısıtlar:

$$\theta_j = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_i, u_r \geq 0 \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Burada,

n : KVB sayısı $j = 1, 2, \dots, n$

s : Çıktı sayısı $r = 1, 2, \dots, s$

m : Girdi sayısı $i = 1, 2, \dots, m$

u_r : o. KVB'nin r. çıktısına ait ağırlık değeri

v_i : o. KVB'nin i. girdisine ait ağırlık değeri

x_{io} : o. KVB'nin i. girdi miktarı

y_{ro} : o. KVB'nin r. çıktı miktarı

x_{ij} : j. KVB'nin i. girdi miktarı

y_{rj} : j. KVB'nin r. çıktı miktarı

$\sum_{r=1}^s u_r y_{ro}$: o. KVB için sanal çıktı

$\sum_{i=1}^m v_i x_{io}$: o. KVB için sanal girdi

Yukarıda verilen bu model, CCR modelinin kesirli formudur. Kesirli modelin doğrusal programlama modeli karşılığı aşağıdaki gibi yazılabilir (Cooper, Seiford ve Tone, 2007):

$$\text{maks } \tau_o = \sum_{r=1}^s \mu_r y_{ro}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} \leq \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_i, \mu_r \geq 0 \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Kesirli modelden elde edilen (v^*, u^*) ve θ^* optimal değerleri ile doğrusal programlama modelinden elde edilen (v^*, μ^*) ve τ^* optimal değerleri karşılıklı olarak eşitlerdir. (θ^*, v^*, u^*) modelin optimal çözümü olduğunu kabul edilirse herhangi bir KVB'nin etkin olabilmesi için $\theta^* = 1$ ve $v^*, u^* > 0$ olmak üzere en az bir optimal (v^*, u^*) çözümü olmalıdır. Bu şartlar sağlanmıyorsa KVB etkin değildir (Cooper, Seiford ve Tone, 2007).

Doğrusal programlama modeli, vektör-matris notasyonu (girdi ve çıktı ağırlıklarını içeren çarpan form) ile de yazılabilmektedir (Ramanathan, 2003):

$$\begin{aligned} (DP_o) \quad & \text{maks } uy_o \\ & \text{Kısıtlar:} \\ & vx_o = 1 \\ & -vX + uY \leq 0 \\ & v, u \geq 0 \end{aligned}$$

Burada,

- X: Tüm girdilerden oluşan matris
- Y: Tüm çıktılarından oluşan matris
- x_o : o. KVB'nin girdilerinin oluşturduğu vektör
- y_o : o. KVB'nin çıktılarından oluşturduğu vektör
- u: Girdi ağırlıklarından oluşan satır vektörü
- v: Çıktı ağırlıklarından oluşan satır vektörü

Bilindiği üzere her doğrusal programlama problemine ilişkin dual bir problem vardır ve bu dual problemin çözümü, primal probleme göre daha kolay olabilir.

Çözümünün kolaylığından ve ürettiği sonuçlardan dolayı modelin dualinin çözümü tavsiye edilir.

Çıktının maksimize edildiği yukarıdaki primal problemin duali olan zarflama formundaki model, θ reel değişken ve $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)^T$ negatif olmayan vektör olmak üzere aşağıdaki şekildedir (Cooper, Seiford ve Tone, 2007):

$$(DDP_o) \quad \min \theta$$

Kısıtlar:

$$\theta x_o - X\lambda \geq 0$$

$$Y\lambda \geq y_o$$

$$\lambda \geq 0$$

DDP_o modelinde, $\theta = 1$ ve $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)^T$ vektöründeki elemanlar $\lambda_o = 1$, $\lambda_j = 0$ ($j \neq o$) olarak alındığında bir uygun çözüm belirtir. Bundan dolayı, problemin optimal değerini temsil eden θ^* 1'den büyük olamaz. Diğer yandan, verinin tamamının sıfır olamaması varsayımından dolayı $Y\lambda \geq y_o$ kısıtı λ 'yı sıfırdan farklı olmaya zorlar. $\theta x_o - X\lambda \geq 0$ kısıtından dolayı θ^* 0'dan büyük olur. Bu da, $0 < \theta^* \leq 1$ sonucunu doğurur.

DDP_o modelinin kısıtları, $(\theta x_o, y_o)$ vektörünün P üretim imkanları kümesinde olmasını sağlar. Modelin amaç fonksiyonu ise P'nin içinde bulunmak koşuluyla x_o vektörünü radyal olarak θx_o vektörüne dönüştüren en küçük θ değerini aramaktadır. $\theta^* < 1$ olması durumunda ilgili KVB'nde aylak olarak bilinen girdi fazlalığı (s^-) ve çıktı eksikliği (s^+) tanımlanabilir. $s^- = \theta x_o - X\lambda$ ve $s^+ = Y\lambda - y_o$ şeklinde tanımlanan aylak (serbest) değerler, modelin tüm uygun çözümleri için $s^- \geq 0$ ve $s^+ \geq 0$ dır (Cooper, Seiford ve Tone, 2007).

Modelde ortaya çıkabilecek olası girdi fazlalığı ve çıktı eksikliğinin tespiti için önerilen iki aşamalı doğrusal programlama problemi aşağıdaki gibidir (Cooper, Seiford ve Tone, 2007):

Aşama 1:

DDP_o modeli çözülür ve θ^* optimal amaç fonksiyonu değeri elde edilir. Doğrusal programlamanın dualite teoremine göre; θ^* , DP_o modelinin de optimal amaç fonksiyonu değeridir ve bu değer CCR-etkinlik değeri (Farell Etkinliği) olarak bilinir. Aşama 1’de elde edilen bu değer Aşama 2’deki modele dahil edilir.

Aşama 2:

λ , s^- ve s^+ değişken olarak alınarak aşağıdaki doğrusal programlama modeli çözülür:

$$\text{maks } \omega = e s^- + e s^+$$

Kısıtlar

$$s^- = \theta^* x_o - X \lambda$$

$$s^+ = Y \lambda - y_o$$

$$\lambda, s^-, s^+ \geq 0$$

Burada, $e = (1, 1, \dots, 1)$, $e s^- = \sum_{i=1}^m s_i^-$ ve $e s^+ = \sum_{r=1}^s s_r^+$ biçimindedir (Cooper,

Seiford ve Tone, 2007). Aşama 2’deki amaç, θ^* sabit tutulurken girdi fazlalıkları ve çıktı eksikliklerinin toplamını maksimize etmektir. Bu iki aşamanın sonunda, eğer herhangi bir KVB için $\theta^* = 1$ ve $s^- = s^+ = 0$ ise bu KVB, CCR-etkindir. Aksi durumlarda etkinsizlik vardır.

Modeldeki iki amacın tek amaca düşürülmesi ile modelin bilgisayar ortamına daha rahat aktarılması Banker ve Morey (1986) tarafından önerilen aşağıdaki zarflama modeli ile mümkün olmuştur:

$$\min \left\{ \theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{i=1}^m s_r^+ \right) \right\}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - \theta x_{io} + s_i^- = 0 \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - y_{ro} - s_r^+ = 0 \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Burada,

θ : KVB_o 'nun girdilerinin radyal şekilde ne kadar azaltılabileceğini belirten büzülme katsayısı

λ_j : j. KVB'nin aldığı yoğunluk değeri veya o. KVB'nin referans kümesinin alacağı değer

s_i^- : KVB_o 'nun i. girdisine ait aylak değeri (girdi fazlalığı)

s_r^+ : KVB_o 'nun r. çıktısına ait aylak değeri (çıktı eksikliği)

ε : Arşimedgil olmayan bir sayıdır. 0'dan büyük ve herhangi reel sayıdan küçük kabul edilir. Genellikle 10^{-6} olarak alınır.

Belirsizliğin önlenmesi ve etkinlik için istenen operasyonel anlamın korunması için, aylak değerlerin maksimize edilmesi gerekir. Ancak bu, θ değerini maksimize etmekten daha düşük bir öncelik verecek şekilde yapılmalıdır. ε değerinin amaç fonksiyonunda bulunma nedeni budur.

Etkin olmayan KVB'lerin etkin hale getirilmesi için iki yöntem bulunur.

1. Aylak değişken yöntemi: $\theta < 1$ olması halinde KVB_o 'nun etkin hale getirilmesi için ne yapılması gerektiği dual modelin kısıtlarından bulunabilir. Bilindiği üzere dual modelin kısıtları

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - \theta x_{io} + s_i^- = 0 \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - y_{ro} - s_r^+ = 0 \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

şeklindeydi ve burada $\theta=1$ ve $s_i^- = s_r^+ = 0$ olunca KVB_o etkin olarak adlandırılıyordu. O zaman etkin durumda

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j = x_{io}^* \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j = y_{ro}^* \quad r = 1, 2, \dots, s$$

elde edilir. x_{io} ve y_{ro} için sırasıyla $\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j$ ve $\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j$ değerleri KVB_o 'nun etkin olması halinde almaları gereken değerlerdir. Böylece

$$x_{io}^* = \theta x_{io} - s_i^-$$

$$y_{ro}^* = y_{ro} + s_r^+$$

yazılabilir ve buradan KVB_o 'nun etkin olmak için her bir girdisini $\theta x_{io} - s_i^-$ değerine getirmesi ve her bir çıktısını $y_{ro} + s_r^+$ değerine getirmesi gerektiği anlaşılır.

2. Yoğunluk değeri yöntemi: Yoğunluk değeri olarak adlandırılan λ_j 'ler, etkin KVB 'lerin etkin olmayan KVB_o üzerinde ne kadar etkili olduğunu gösteren

değerlerdir. Bunlar yardımıyla etkin olmayan KVB_o 'nun etkin olması için gereken girdi ve çıktı değerleri hesaplanır (Erpolat, 2011).

Çıktı Odaklı CCR Modeli

Çıktı odaklı CCR modelinde, mevcut girdi düzeyi arttırılmadan elde edilebilecek maksimum çıktı araştırılır. Problemdaki KVB sayısınca optimizasyon modeli oluşturulur ve çözülür. Model hangi KVB için oluşturulacaksa ona ait ağırlıklandırılmış girdiler toplamı (sanal girdi), ağırlıklandırılmış çıktılar toplamına (sanal çıktı) oranlanır ve bu oran minimize edilmeye çalışılır. Bu yapılırken tüm KVB'ler için sanal çıktı/sanal girdi oranının 1'den büyük veya eşit olmasına ve ağırlıkların negatif değerli olmamasına dikkat edilir. Modelde kullanılan "o" alt indisi $j = 1, 2, \dots, n$ değerlerini alır ve etkinliği ölçülmek istenen KVB'ye ait parametreleri temsil etmek için kullanılır. Belirtilen kısıtlar altında optimal amaç değeri en az 1 değerini alabilir. Problem çözüldüğünde, o. KVB'nin girdi ve çıktılarına ait optimal ağırlıklar elde edilmiş olunur. Model, aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır (Charnes, Cooper ve Rhodes, 1978):

$$\min \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro}}$$

Kısıtlar:

$$\frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}} \geq 1 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_i, u_r \geq 0 \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Burada,

n : KVB sayısı $j = 1, 2, \dots, n$

s : Çıktı sayısı $r = 1, 2, \dots, s$

m : Girdi sayısı $i = 1, 2, \dots, m$

u_r : o. KVB'nin r. çıktısına ait ağırlık değeri

v_i : o. KVB'nin i. girdisine ait ağırlık değeri

x_{io} : o. KVB'nin i. girdi miktarı

y_{ro} : o. KVB'nin r. çıktı miktarı

x_{ij} : j. KVB'nin i. girdi miktarı

y_{rj} : j. KVB'nin r. çıktı miktarı

$\sum_{r=1}^s u_r y_{ro}$: o. KVB için sanal çıktı

$\sum_{i=1}^m v_i x_{io}$: o. KVB için sanal girdi

Yukarıda verilen bu model, CCR modelinin kesirli formudur. Kesirli modelin doğrusal programlama modeli karşılığı aşağıdaki gibi yazılabilir (Cooper, Seiford ve Tone, 2007):

$$\min \sum_{i=1}^m v_i x_{io}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{ro} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} \leq \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_i, \mu_r \geq 0 \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Doğrusal programlama modeli, vektör-matris notasyonu (girdi ve çıktı ağırlıklarını içeren çarpan form) ile de yazılabilmektedir (Cooper, Seiford ve Tone, 2007):

(DLPO_o) maks η

Kısıtlar:

$$x_o - X\kappa \geq 0$$

$$\eta y_o - Y\kappa \leq 0$$

$$\kappa \geq 0$$

Bu modelin optimal çözümü, doğrudan girdi odaklı CCR modelinden elde edilebilir. $\lambda = \kappa / \eta$ ve $\theta = 1 / \eta$ olmak üzere, model

$$\min \theta$$

Kısıtlar:

$$\theta x_o - X\lambda \geq 0$$

$$y_o - Y\lambda \leq 0$$

$$\lambda \geq 0$$

biçiminde olacaktır ve bu model girdi odaklı CCR modeli ile aynıdır. Bundan dolayı, çıktı odaklı modelin optimal değeri, $\eta^* = 1 / \theta^*$ ve $\kappa^* = \lambda^* / \theta^*$ olacak şekilde girdi odaklı model ile ilişkilidir. Çıktı odaklı modelin (t^-, t^+) aylak (serbest) değişkenleri

$$X\kappa + t^- = x_o$$

$$Y\kappa + t^+ = \eta y_o$$

biçimindedir. Bu değerler de, $t^- = s^- / \theta^*$ ve $t^+ = s^+ / \theta^*$ olacak şekilde girdi odaklı modeli ile ilişkilidir. $\theta^* \leq 1$ olduğundan $\eta^* \geq 1$ olacaktır. Bundan dolayı, η^* ne kadar büyük olursa ilgili KVB o kadar az etkin olur. θ^* girdi azaltma oranı iken η^* çıktı artırma oranıdır. Yukarıda bahsedilen ilişkiler dikkate alındığında, girdi odaklı CCR

modelin etkin olabilmesi ancak ve ancak çıktı odaklı CCR modelinin etkin olması ile mümkündür denilebilir (Cooper, Seiford ve Tone, 2007).

p ve q vektörleri değişken olmak üzere, $DLPO_o$ modelinin duali aşağıdaki gibidir:

$$(LPO_o) \quad \min \quad px_o$$

Kısıtlar:

$$qy_o = 1$$

$$-pX + qY \leq 0$$

$$p, q \geq 0$$

DP_o modelinin optimal çözümü (v^*, u^*) iken LPO_o modelinin optimal çözümü aşağıdaki eşitliklerle elde edilebilir:

$$p^* = v^* / \theta^*$$

$$q^* = u^* / \theta^*$$

$DLPO_o$ modeline ayrıca Banker ve Morey (1986) tarafından önerilen zarflama modeli de uygulanabilir. Bu durumda girdi odaklı CCR bölümünde bahsedilen iki aşamalı çözüm yöntemi yerine yine tek aşamalı aşağıdaki model yazılabilir:

$$\max \left\{ \eta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{i=1}^m s_i^+ \right) \right\}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} K_j - x_{io} + s_i^- = 0 \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} K_j - \varphi y_{ro} - s_r^+ = 0 \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$\kappa_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Burada,

η : KVB_o 'nun girdilerinin radyal şekilde ne kadar artırılabilirliğini belirten genişleme katsayısı

κ_j : j. KVB'nin aldığı yoğunluk değeri veya o. KVB'nin referans kümesinin alacağı değer

Primal modelde amaç fonksiyonu değeri 1'e eşit olursa KVB_o etkindir, aksi takdirde

KVB_o etkin değildir. Dual modelde, $\eta = 1$ ve $s_i^- = s_r^+ = 0$ olursa KVB_o etkindir, aksi takdirde KVB_o etkin değildir ve $\eta > 1$ olur.

Etkin olmayan KVB'lerin etkin hale getirilmesi için iki yöntem bulunur.

1. Aylak değişken yöntemi: $\eta > 1$ olması halinde KVB_o 'nun etkin hale getirilmesi için ne yapılması gerektiği dual modelin kısıtlarından bulunabilir. Bilindiği üzere dual modelin kısıtları

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \kappa_j - x_{io} + s_i^- = 0 \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \kappa_j - \eta y_{ro} - s_r^+ = 0 \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$\kappa_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n$$

şeklindeydi ve burada $\eta = 1$ ve $s_i^- = s_r^+ = 0$ olunca KVB_o etkin olarak adlandırılıyordu. O zaman etkin durumda

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \kappa_j = x_{io}^* \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \kappa_j = y_{ro}^* \quad r = 1, 2, \dots, s$$

elde edilir. x_{io} ve y_{ro} için sırasıyla $\sum_{j=1}^n x_{ij} \kappa_j$ ve $\sum_{j=1}^n y_{rj} \kappa_j$ değerleri KVB_o 'nun etkin olması halinde almaları gereken değerlerdir. Böylece

$$x_{io}^* = x_{io} - s_i^-$$

$$y_{ro}^* = \eta y_{ro} + s_r^+$$

yazılabilir ve buradan KVB_o 'nun etkin olmak için her bir girdisini $x_{io} - s_i^-$ değerine getirmesi ve her bir çıktısını $\eta y_{ro} + s_r^+$ değerine getirmesi gerektiği anlaşılır.

2. Yoğunluk değeri yöntemi: Girdi odaklı CCR modelinde belirtildiği gibidir. Ancak λ_j 'lerin yerine κ_j 'ler geçer.

Bir KVB, girdi odaklı CCR modelinde etkin çıkmışsa çıktı odaklı CCR modelinde de etkin çıkar ve bu iki model arasında $\eta = \frac{1}{\theta}$ ilişkisi bulunur. Buna göre, girdi odaklı CCR modelinde her zaman $\theta \leq 1$ olur ve çıktı odaklı CCR modelinde $\eta \geq 1$ olur. Bunun dışında girdi odaklı CCR modelinde $\frac{\lambda_j}{\theta}$ değerleri, çıktı odaklı CCR modelindeki κ_j değerlerini verir. Girdi odaklı CCR modelinde $\frac{s_i}{\theta}$ değerleri, çıktı odaklı CCR modelindeki aylak değişkenleri verir (Özdemir, 2016).

4.1.2. BCC Modelleri

BCC modeli, ölçeğe göre değişken getiri varsayımına sahiptir. CCR modelinden farklı olarak bu modeldeki zarflama formunda konvekslik kısıtının ($\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \forall j \text{ için } \lambda_j \geq 0$) bulunmasıdır. Bu kısıt sayesinde KVB'leri konveks bir zarf ile kaplanır. Bu sınır parçalı doğrusal bir yapıya sahiptir. Şekil 4.1'de bu yapı görülebilmektedir. Şekil incelendiğinde ayrıca, CCR-etkin olmayan bazı KVB'lerinin BCC-etkin olduğu farkedilebilir. Örneğin, M ve C KVB'leri CCR etkin sınırında değilken BCC etkin sınırı üzerindedir. G ve J KVB'leri ise hem CCR hem de BCC etkinlik sınırı

üzerindedir. BCC modelinin çarpan formunda ise CCR modelinden farklı olarak u_o serbest değişkeni bulunmaktadır.

Girdi Odaklı BCC Modeli

Girdi odaklı BCC modeli şu şekilde tanımlanmıştır (Özdemir, 2016):

$$\max \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro} - u_o}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}}$$

Kısıtlar:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - u_o}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1$$

$j = 1, 2, \dots, n$

$$v_i, u_r \geq 0$$

$$r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Burada,

n : KVB sayısı $j = 1, 2, \dots, n$

s : Çıktı sayısı $r = 1, 2, \dots, s$

m : Girdi sayısı $i = 1, 2, \dots, m$

u_r : o. KVB'nin r. çıktısına ait ağırlık değeri

v_i : o. KVB'nin i. girdisine ait ağırlık değeri

x_{io} : o. KVB'nin i. girdi miktarı

y_{ro} : o. KVB'nin r. çıktı miktarı

x_{ij} : j. KVB'nin i. girdi miktarı

y_{rj} : j. KVB'nin r. çıktı miktarı

u_o : o. KVB'ye ait serbest işaretli değişken

Kesirli modelin çarpan formu aşağıdaki gibi yazılabilir (Depren, 2008):

$$\max \sum_{r=1}^s u_r y_{ro} - u_o$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - u_o \leq \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_i, u_r \geq \varepsilon \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

ε : yeterince küçük pozitif bir sayı ($\varepsilon \leq 10^{-6}$)

Yukarıdaki primal problemin duali (zarflama formu) şöyledir:

$$\min \left\{ \theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{i=1}^m s_i^+ \right) \right\}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - \theta x_{io} + s_i^- = 0 \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - y_{ro} - s_r^+ = 0 \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n$$

ε : yeterince küçük pozitif bir sayı ($\varepsilon \leq 10^{-6}$)

Primal modelde, amaç fonksiyonu değeri 1'e eşit olduğunda KVB_o etkindir, aksi takdirde KVB_o etkin değildir. Dual modelde, $\theta = 1$ ve $s_i^- = s_r^+ = 0$ olursa KVB_o etkindir, aksi takdirde KVB_o etkin değildir ve $0 < \theta < 1$ olur. Etkin olmayan KVB'leri etkin hale getirmek için CCR modelinde olduğu gibi dual model kısıtları kullanılır ve aynı sonuçlar elde edilir. Ayrıca girdiye yönelik BCC modelinin optimal çözümünde, $u_o < 0$ ise ölçeğe göre artan getiri, $u_o > 0$ ise ölçeğe göre azalan getiri ve $u_o = 0$ ise ölçeğe göre sabit getiri vardır. (Özdemir, 2016).

Çıktı Odaklı BCC Modeli

Çıktı odaklı BCC modeli şu şekilde tanımlanmıştır (Depren, 2008):

$$\min \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{io} - v_o}{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro}}$$

Kısıtlar:

$$\frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - v_o}{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}} \geq 1 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_i, u_r \geq \varepsilon \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Burada,

n : KVB sayısı $j = 1, 2, \dots, n$

s : Çıktı sayısı $r = 1, 2, \dots, s$

m : Girdi sayısı $i = 1, 2, \dots, m$

u_r : o. KVB'nin r. çıktısına ait ağırlık değeri

v_i : o. KVB'nin i. girdisine ait ağırlık değeri

x_{io} : o. KVB'nin i. girdi miktarı

y_{ro} : o. KVB'nin r. çıktı miktarı

x_{ij} : j. KVB'nin i. girdi miktarı

y_{rj} : j. KVB'nin r. çıktı miktarı

v_o : o. KVB'ye ait serbest işaretli değişken

Kesirli modelin çarpan formu aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\min \sum_{i=1}^m v_i x_{io} - v_o$$

Kısıtlar:

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{ro} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \leq \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - v_o \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_i, u_r \geq \varepsilon \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m$$

ε : yeterince küçük pozitif bir sayı ($\varepsilon \leq 10^{-6}$)

Yukarıdaki primal problemin duali (zarflama formu) şöyledir:

$$\max \left\{ \varphi - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{i=1}^m s_i^+ \right) \right\}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \mu_j - x_{io} + s_i^- = 0 \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \mu_j - \varphi y_{ro} - s_r^+ = 0 \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n \mu_j = 1$$

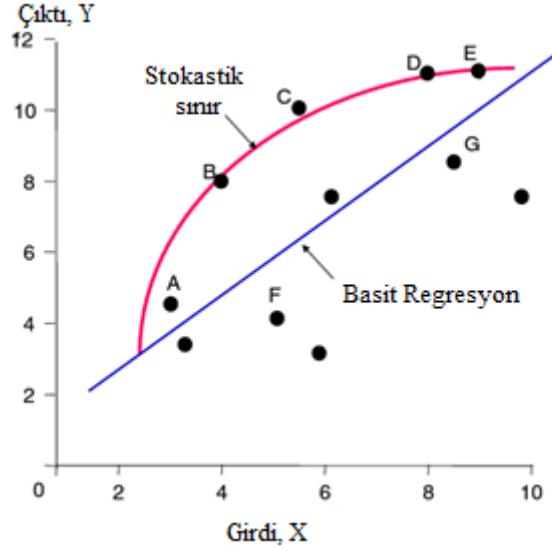
$$\mu_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n$$

ε : yeterince küçük pozitif bir sayı ($\varepsilon \leq 10^{-6}$)

Primal modelde, amaç fonksiyonu değeri 1'e eşit olursa KVB_o etkindir, aksi durumda KVB_o etkin değildir. Dual modelde, $\varphi = 1$ ve $s_i^- = s_r^+ = 0$ olursa KVB_o etkindir, aksi durumda KVB_o etkin değildir ve $\varphi > 1$ olur. Etkin olmayan KVB'leri etkin hale getirmek için aynen CCR modelinde olduğu gibi dual model kısıtları kullanılır ve aynı sonuçlar elde edilir (Özdemir, 2016).

4.2. Stokastik Sınır Analizi

İşletmeler arasındaki göreceli etkinliği tahmin etmek için iki ana yaklaşım olduğundan bahsedilmiştir. Bunlar parametrik ve parametrik olmayan yaklaşımlardır. Bu iki yaklaşım arasındaki temel fark, parametrik yaklaşımlarda üretim ya da maliyet olmak üzere önceden tanımlanmış bir fonksiyona ihtiyaç duyulmasıdır. Burada fonksiyonun parametreleri tahmin edilmeye çalışılır. Parametrik yaklaşım, ekonometrik tekniklere dayanır ve basit Regresyon Analizi'ni ve Stokastik Sınır Analizi'ni içerir (Sarafidis, 2002). Basit Regresyon Analizi, bir üretim ya da maliyet fonksiyonunu tahmin etmeye çalışırken En Küçük Kareler yöntemini kullanır ve bu yöntemle tahmin edilen fonksiyon, maksimum seviyeyi değil ancak tatminkar bir seviyeyi gösterebilmektedir (Kutlar ve Bakırcı, 2018). Stokastik Sınır Analizi ise içinde sınır yaklaşımı barındırır. Sınır yaklaşımında en etkin durumun sınırın tam üstünde olduğu ve bu sınırdan sapma gösteren durumların da etkinsiz olduğu varsayılır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Basit Regresyon ile Stokastik Sınır Karşılaştırması (Shui, Jin ve Ni, 2015)

Birbirlerinden bağımsız olarak Aigner, Lovell ve Schmidt ile Meeusen ve Van den Broeck tarafından 1977 yılında ortaya atılan stokastik üretim sınırı yaklaşımı, basit regresyon analizinden farklı olarak rassal hatanın yanında bir de negatif olmayan bir tesadüfi değişken barındırmaktadır ve bu değişkenin etkisizlik ile ilgili olduğu düşünülmüştür.

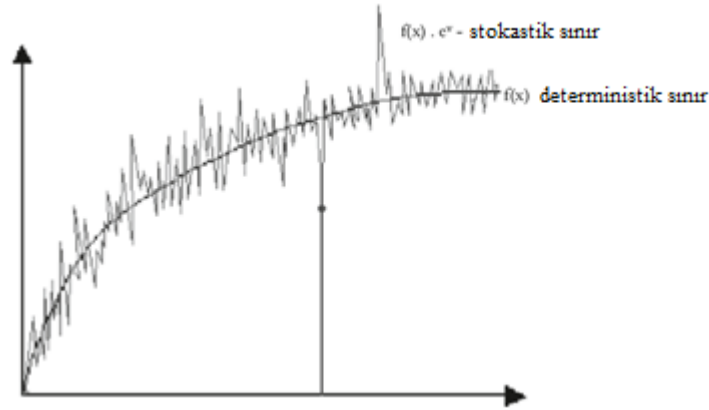
SSA'da etkinlik sınırını oluşturmak için genel anlamda iki tip fonksiyon kullanılmaktadır. Üretim ve maliyet fonksiyonu olarak isimlendirilen bu fonksiyonlar birbirinden artı ya da eksi olmak üzere bir işletle ayrılırlar. Negatif olmayan tesadüfi değişken, üretim fonksiyonunda artı işletle, maliyet fonksiyonunda eksi işletle bulunur.

SSA'da kullanılan i. birime ait üretim fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$y_i = f(x_i; \beta) + v_i - u_i = f(x_i; \beta) + \varepsilon_i$$

Burada y_i , i. birime ait çıktı miktarını; x_i , i. birime ait girdi miktarları vektörünü; β , bilinmeyen parametre vektörünü; $\varepsilon_i = v_i - u_i$, birleşik hata terimini; v_i , $N(0, \sigma_v^2)$ dağılımı gösteren rastgele değişkeni ve u_i , yarı normal, kesikli normal ya da üstel dağılımı gösteren rastgele değişkeni göstermektedir. Stokastik sınır üretim fonksiyonunda $f(x_i; \beta)$, deterministik sınırı; v_i , rassal hatayı, istatistiksel gürültüyü ya

da şans faktörünü; u_i , teknik etkinsizliği ya da yönetsel etkinsizliği ifade etmektedir. Şekil 4.3'te deterministik sınır ile stokastik sınırın karşılaştırılması için bir örnek verilmiştir.



Şekil 4.3 Deterministik Sınır ve Stokastik Sınır Karşılaştırması (Tutulmaz, 2012)

Literatürde üretim faaliyetlerini temsil etmek için önesürülmüş birçok fonksiyon bulunmaktadır. Bunlar doğrusal, log-doğrusal, Cobb-Douglas (log-log), translog, Sabir İkame Esneklikli (CES), Zellner-Revankar ya da doğrusal olmayan fonksiyonlardır. Bu fonksiyonlardan doğrusal, Cobb-Douglas ve translog tipinde olanların daha çok kullanıldığı bilinmektedir (Tutulmaz, 2012).

Stokastik Sınır Analizi'nde β katsayılarının ve dağılımlara ait parametrelerin belirlenebilmesi için iteratif bir yöntem olan Maksimum (En Çok) Olabilirlik yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde fonksiyon çeşidinin ve dağılım varsayımlarının önceden belirlenmesi şarttır. Analiz, hata terimlerinin varyanslarının belirlenmesi sayesinde hata teriminin ayrıştırılmasına olanak sağlar. Ayrıca iki farklı yöntemle birleşik hata teriminde hangi hata türünün daha baskın olduğu yorumu da yapılabilir. Yöntemlerden birincisinde Aigner, Lovell ve Schmidt tarafından 1977 yılında ortaya atılan λ parametresi bulunmaktadır. Buna göre,

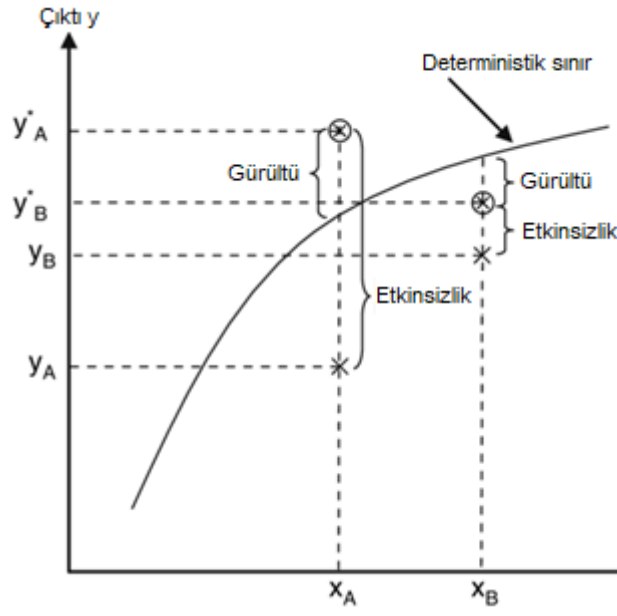
$$\lambda = \frac{\sigma_u}{\sigma_v}$$

biçimindedir. Burada $\lambda = 0$ ise hata terimi tamamen istatistiksel gürültüden, $\lambda = \infty$ ise hata terimi tamamen etkinsizlikten kaynaklanmaktadır. İkinci yöntemde ise,

Battese ve Corra tarafında yine 1977 yılında önerilmiş olan γ parametresi bulunmaktadır. Burada, $\sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2$ olmak üzere

$$\gamma = \frac{\sigma_u^2}{\sigma^2}$$

biçimindedir. Eğer $\gamma = 0$ ise birleşik hata terimi tamamen istatistiksel gürültüden, $\gamma = 1$ ise birleşik hata terimi tamamen etkinsizlik kaynaklıdır denilebilir. γ değeri $[0,1]$ aralığında olduğundan yorumlanması daha kolaydır ve bundan dolayı da analiz programlarında çıktılar arasında genellikle kendine yer bulmaktadır. γ değerinin 1'e yakın olması birleşik hata teriminde etkinsizliğin baskın olduğunu, γ değerinin 0'a yakın olması birleşik hata teriminde istatistiksel gürültünün baskın olduğunu göstergesidir. Baskınlığın istatistiksel gürültüden yana olması ise EKK yönteminin de yani basit regresyon analizinin de kullanılabileceğini göstermektedir (Zeng v.d., 2020). Deterministik sınır, stokastik sınır, etkinsizlik ve istatistiksel gürültünün yer aldığı şekil, Şekil 4.4'te gösterilmiştir. x işareti, gözlenen verilere göre karar verme biriminin konumunu; $\otimes$ işareti ise bu karar verme birimine ait stokastik üretim sınırının konumunu göstermektedir (Coelli v.d., 2005).



Şekil 4.4 Deterministik Sınır, Gürültü ve Etkinsizlik Konumları (Coelli v.d., 2005)

SSA'nde oluşturulan modellere ait parametrelerin anlamlılığı ve teknik etkinsizliğin varlığı için genel olarak Wald ve Olabilirlik Oran (Likelihood Ratio - LR) testleri kullanılmaktadır (Coelli v.d., 2005). Rassal hatanın normal, teknik etkinsizliğin yarı normal dağılımı varsayımı altında sınanacak hipotez testi aşağıdaki gibi oluşturulur:

$$H_0 : \sigma_u^2 = 0$$

$$H_A : \sigma_u^2 > 0$$

Burada boş hipotezin reddedilememesi modeldeki tüm u_i 'lerin 0 olması anlamına gelmektedir ki, bu da etkinsizliğin olmadığı yorumunun yapılmasını sağlar. Alternatif olarak λ yada γ içeren hipotezler de kullanılmaktadır.

Hipotezlerin test edilmesinde en çok kullanılan yöntemlerden biri Wald testidir. Wald testi sadece bir modelin parametrelerinin tahmin edilmesi gerekiyorsa kullanılacak testlerden biridir. Bu yönüyle LR testinden ayrılır. Wald testinin aynı anda birden fazla parametreyi test etmek için kullanılabilmesi de diğer bir farklılığıdır. Wald istatistiği, maksimum olabilirlik tahmincisinin tahmin edilen standart hataya bölünmesi ile elde edilir ve bu istatistik standart normal rassal değişkeni olarak asimptotik biçimde dağılım gösterir. Bu yönden bakıldığında Wald testinin bilinen Z testinden ibaret olduğu görülebilir (Coelli v.d., 2005).

Wald testine alternatif olan LR test istatistiği,

$$LR = -2[\ln L_0 - \ln L_A]$$

biçiminde hesaplanır. Burada $\ln L_0$ boş hipotez altındaki olabilirlik fonksiyonu değeri iken $\ln L_A$ alternatif hipotez altındaki olabilirlik fonksiyon değeridir. LR istatistiği karma Ki-Kare dağılımı gösterir ve asimptotik dağılır. Testin değerlendirilmesi yapılırken Kodde-Palm tablo değerleri ile karşılaştırılır. LR test istatistiği, tablo değerinden büyük olduğunda H_0 reddedilir ve bu da modelde istatistiksel olarak teknik etkinsizliğin varlığını gösterir (Yalçın, 2018). Örnek sayısı arttıkça dağılıma daha yakın sonuçlar verir (Wasserman, 2010).

4.3. Üç Aşamalı Veri Zarflama Analizi

Herhangi bir işletme için performans değerlendirmesi yapılması istenildiğinde, girdilerin ve çıktıların dikkate alındığı bilinmektedir. İşletmeler, belirli bir girdi kullanarak maksimum çıktıyı elde ederek ya da belirli bir çıktı elde etmek için minimum girdiyi kullanarak daha etkin olmayı amaçlamaktadır. İşletmelerin performansları birbirinden oldukça farklı üç faktörden etkilenir. Birincisi yönetsel faktörler, ikincisi işletme faaliyetlerinin yürütüldüğü çevrenin özellikleri ve üçüncüsü de şans faktörü ve değerlendirmeye dahil edilmemiş değişkenler olarak belirtilebilir. Birinci faktör işletmenin kendisinden kaynaklanırken diğer faktörler dışsaldır. Regresyon tabanlı bir performans değerlendirmesi yapıldığında bu faktörlerin rastgele hata teriminde toplanacaktır. Elbette ki, performans üzerinde etkili olan bu faktörlerin birbirinden ayrılması istenir. Bu, çevresel özelliklerle ilgili bilgilerin yanı sıra çıktılar ve girdiler hakkındaki verileri ve çevresel özellikleri performans değerlendirme prosedürüne dahil eden bir modelin geliştirilmesini gerektirir. Ayrıca, şansın performans üzerindeki etkisini görebilmek için modelin stokastik olması gerekir. Ancak çoğu VZA modeli deterministiktir. Üç Aşamalı VZA, şansın etkisini yönetsel performans ve çevresel etkilerden izole eden, stokastik, VZA tabanlı bir performans değerlendirme modeli oluşturmaya olanak sağlamaktadır (Fried v.d., 2002).

Üç Aşamalı VZA, 2002 yılında Fried v.d. tarafında önerilmiş bir yöntemdir. İlk aşamada, performansın ilk değerlendirmesini elde etmek için girdi ve çıktı verilerine VZA uygulanır. Bu değerlendirme, işletme ortamının veya istatistiksel gürültünün üretici performansı üzerindeki etkilerini hesaba katmamaktadır. Bu nedenle, ikinci aşamada, birinci aşama performansındaki değişimi; çevresel etkilere, yönetsel etkinsizliğe ve istatistiksel gürültüye bağlamak için SSA kullanılır. Üçüncü aşamada, girdiler veya çıktılar, ikinci aşamada ortaya çıkan çevresel etkileri ve istatistiksel gürültüyü hesaba katacak şekilde tekrar oluşturulur ve yine ilk aşamada olduğu gibi VZA uygulanır.

1. Aşama: VZA ile ilk performans değerlendirilmesinin elde edilmesi

Verilere, isteğe bağlı olarak girdi ya da çıktı odaklı VZA uygulanarak performans değerlendirilmesi için ilk değerler elde edilir. Bu çalışmada girdi odaklı BCC VZA

modeli kullanılması uygun görülmüştür. N girdi sayısı, M çıktı sayısı ve I karar verme birimi (işletme) (KVB) sayısı olmak üzere model aşağıda verilmiştir:

$$\min_{\theta, \lambda} \theta$$

Kısıtlar:

$$\theta x^o \geq x \lambda$$

$$y \lambda \geq y^o$$

$$\lambda \geq 0$$

$$e^T \lambda = 1$$

Bu modelde $x \geq 0$ $N \times 1$ boyutunda girdi vektörü, $y \geq 0$ $M \times 1$ boyutunda çıktı vektörü, $X = [x_1, x_2, \dots, x_I]$ karşılaştırma kümesindeki $N \times I$ boyutunda girdi vektörü, $Y = [y_1, y_2, \dots, y_I]$ karşılaştırma kümesindeki $M \times I$ boyutunda çıktı vektörü, $\lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_I]$ $I \times 1$ boyutunda yoğunluk değişkenleri vektörü, $e = [1, 1, \dots, 1]$ $I \times 1$ boyutunda vektördür.

2. Aşama: SSA ile girdilere ait aylak değerlerin ayrıştırılması

Bu aşamada, önceki aşamada her bir girdi için elde edilmiş olan *toplam* (radyal ve radyal olmayan) aylak değerlere odaklanılır. Bu aylak değerlerin temel anlamda üç etkiden kaynaklandığı düşünülmüştür. Bunlar, çevresel faktörler, yönetsel etkinsizlik ve ölçüm hatalarından kaynaklanan istatistiksel gürültüdür. Bu aşamadaki ana amaç, aylak değerlerin bu üç etkiye göre ayrıştırılmasıdır. Ayrıştırma işlemi aylak değerleri bu üç etki ile açıklamaya çalışmayı içerir. Bunu yaparken Stokastik Sınır Analizi kullanılır. Analizde kullanılan fonksiyon, yönetsel etkinsizliği ve istatistiksel gürültüyü ayrı ayrı içeren bir birleşik hata terimi barındırır. İkinci aşamada SSA kullanılmasının sağladığı en büyük avantaj hata teriminin asimetrik olmasıdır. Sonuç olarak; bu yöntem, çevresel değişkenlerin (yordayıcıların), yönetsel etkinsizliğin (tek taraflı hata bileşeni) ve istatistiksel gürültünün (simetrik hata bileşeni) birinci aşamada elde edilmiş olan aylak değerlerin (yordananların) üzerindeki etkisinin araştırılmasına izin vermektedir.

Yöntemde her bir girdi aylak değişkeni için ayrı bir SSA regresyon modeli oluşturulması gerekmektedir. İkinci aşamada oluşturulacak olan SSA regresyon modellerindeki bağımlı değişkenler (yordananlar), birinci aşamada elde edilmiş olan *toplam* aylak değerlerdir. $n = 1, 2, \dots, N$ ve $i = 1, 2, \dots, I$ olmak üzere $s_{ni} \geq 0$ biçimindedir. s_{ni} , i. işletmenin n. girdisi için birinci aşamada elde edilmiş toplam aylak değerdir. SSA regresyon modellerindeki bağımsız değişkenler ise $i = 1, 2, \dots, I$ olmak üzere K adet $z_i = [z_{1i}, z_{2i}, \dots, z_{Ki}]$ çevresel değişkenleridir. Oluşturulacak N adet ayrı SSA modelinin genel biçim aşağıdaki gibidir:

$$s_{ni} = f^n(z_i; \beta^n) + v_{ni} - u_{ni}$$

Burada, $f^n(z_i; \beta^n)$ deterministik uygun aylak sınırı, $v_{ni} - u_{ni}$ ise birleşik hata terimini oluşturmaktadır. Stokastik üretim sınırı formülasyonunun kullanıldığı bu modelde, $v_{ni} \sim N(0, \sigma_{vn}^2)$ istatistiksel gürültüyü, $u_{ni} \sim N^+(0, \sigma_{un}^2)$ yönetsel etkinsizliği gösterdiği varsayılmıştır. Ayrıca v_{ni} ve u_{ni} hata terimlerinin birbirinden ve z_i 'den bağımsız bir şekilde dağılım gösterdiği varsayıldığında N tane ayrı regresyon Maksimum Olabilirlik Yöntemi ile tahmin edilebilir. Her bir regresyonda tahmin edilecek parametreler β^n, σ_{un}^2 ve σ_{vn}^2 dir. Bu parametreler sayesinde çevresel etkilerin, istatistiksel gürültünün ve yönetsel etkinsizliğin girdi aylak değişkenler üzerindeki etkisi hakkında bilgi edinilmiş olunur.

Çevrenin girdi aylak değişkenler üzerindeki etkisi $f^n(z_i; \beta^n)$ ile ifade edilmektedir. İlişki, istatistiksel gürültünün de eklenmesiyle stokastik uygun aylak sınırı (SUAS) olarak adlandırılan $f^n(z_i; \beta^n) + v_{ni}$ ifadesi elde edilmiş olunur. $u_{ni} \geq 0$ olduğundan SUAS, gürültüyü de içeren *minimum* aylak değerleri temsil eder. SUAS'ı aşan herhangi bir aylaklık, yönetsel etkinsizlik olarak değerlendirilebilir (Fried v.d., 2002).

İkinci aşamada kullanılan SSA regresyon modelinin 4 avantajı vardır. Birincisi, işletmelerin her bir girdisi üzerindeki çevre etkisinin yönünün ve büyüklüğünün anlaşılmasına yardımcı olur. İkincisi, çevre etkisinin istatistiksel anlamlılığı, olabilirlik

oran testleri kullanılarak belirlenebilir. Bu sayede, çevrenin işletme performansı üzerinde hiçbir etkisi olmadığı hipotezinin test edilmesi sağlanır. Üçüncüsü, yönetsel etkinliğin işletmeler arasında değişiklik göstermediği hipotezi, yani $\sigma_{un}^2 = 0$ hipotezi test edilerek değerlendirilebilir. Bu durumda, işletmenin performans değişimi yalnızca ortamdaki değişime ve istatistiksel gürültünün etkilerine bağlanabilir. Dördüncüsü, model çevrenin, istatistiksel gürültünün ve yönetsel etkinsizliğin her birinin girdiler arasında farklı etkiler yaratmasına izin verir (Fried v.d., 2002).

İkinci aşamada, farklı çalışma ortamlarının değişken etkileri ve rastgele istatistiksel gürültü verilerinin işletmelerin girdilerini neden ayarlama gereği duyulduğu sorusu akla gelmektedir. Bunu yapmaktaki amaç, işletmelere fırsat eşitliği sağlamaktır. Bu faktörlerin dikkate alınmadan yapılacağı performans değerlendirmesinde nispeten elverişsiz ortamlarda faaliyet gösteren ve nispeten kötü şans yaşayan işletmelerin dezavantajlı olduğu gerçeği göz ardı edilmiş olacaktır. İşletmelere fırsat eşitliği sağlamanın bir yolu, bu işletmelerin girdilerini, görece elverişsiz ortamları veya görece şanssızlıkları nedeniyle ne ölçüde dezavantajlı olduklarına göre belirlenen miktarlarda azaltma yolu ile ayarlamaktır. Her bir kaynak tarafından ne ölçüde dezavantajlı oldukları, SSA regresyonlarında elde edilen parametre tahminleriyle ortaya çıkacaktır. Diğer bir yol ise, nispeten elverişli çalışma ortamları veya nispeten iyi şansları nedeniyle avantajlı olan işletmelerin girdilerini belirlenen miktarlarda arttırmak yolu ile ayarlamaktır. Son derece dezavantajlı bazı üreticilerin bazı girdileri negatif hale gelecek kadar azalma olasılığından kaçınmak için ikinci yaklaşım benimsenmiştir.

Her bir girdi için ayrı ayrı oluşturulmuş SSA modellerinden elde edilen sonuçlara göre işletmelere ait düzeltilmiş girdi değerleri aşağıdaki eşitlik ile belirlenir:

$$x_{ni}^A = x_{ni} + \left[\max_i \{ z_i \hat{\beta}^n \} - z_i \hat{\beta}^n \right] + \left[\max_i \{ \hat{v}_{ni} \} - \hat{v}_{ni} \right]$$

Burada, x_{ni}^A düzeltilmiş girdi değeri iken x_{ni} gözlenen girdi değeridir. Eşitlikte $f^n(z_i, \hat{\beta}^n)$ yerine $z_i \hat{\beta}^n$ kullanılmasının nedeni uygun aylak sınırı doğrusal olmaya zorlamaktır. Çünkü logaritmik olması durumunda $s_{ni} = 0$ olan girdiler dikkate

alınmayacaktır. İlk düzeltme terimi olan $\max_i \{z_i \hat{\beta}^n\} - z_i \hat{\beta}^n$, tüm işletmeleri en elverişsiz çevre şartlarında buluştururken diğer düzeltme terimi olan $\max_i \{\hat{v}_{ni}\} - \hat{v}_{ni}$, işletmelerin en şanssız durumda buluşmalarını sağlar. Bu durumda nispeten elverişli çevre şartlarında veya şanslı durumda olan işletmeler için uygulanacak düzeltme değeri nispeten fazla, nispeten elverişsiz çevre şartlarında veya şanssız durumda olan işletmeler için uygulanacak düzeltme değeri nispeten az olacaktır.

Düzeltilmiş girdi değerlerinin bulunabilmesi için, her bir işletme için v_{ni} 'nin tahmini değerlerinin bulunması gerekir. Bu da ancak istatistiksel gürültü ile yönetimsel etkinsizliğin birbirinden ayrılması ile mümkün olabilir. SSA regresyon modelindeki birleşik hata teriminin ayrıştırılması için bir yöntem öneren Jondrow v.d. (1982) sayesinde bu durumun üstesinden gelinmiştir. Jondrow v.d.'nin önerdikleri bu yöntem ile koşullu tahminleme yapılarak yönetimsel etkinsizliğin ($v_{ni} - u_{ni}$ koşulunda) koşullu tahminleyeni olan $\hat{E}[u_{ni} | v_{ni} - u_{ni}]$ hesaplanır. Bu bilgi yardımıyla da aşağıdaki eşitlik ile istatistiksel gürültünün koşullu tahminleyeni olan $\hat{E}[v_{ni} | v_{ni} - u_{ni}]$ hesaplanabilmektedir.

$$\hat{E}[v_{ni} | v_{ni} - u_{ni}] = s_{ni} - z_i \hat{\beta}^n + \hat{E}[u_{ni} | v_{ni} - u_{ni}]$$

$\hat{E}[u_{ni} | v_{ni} - u_{ni}]$ ifadesinin değeri $\hat{\beta}^n, \hat{\sigma}_{un}^2$ ve $\hat{\sigma}_{vn}^2$ parametrelerine bağlı olduğunda $\hat{E}[v_{ni} | v_{ni} - u_{ni}]$ ifadesinin değeri de bu parametrelere bağlı olacaktır. Burada $\hat{\beta}^n$ vektörünün elemanları, n. girdinin kullanımında her gözlemlenebilir çevresel değişkenin aylıklığa katkılarının tahminlerini sağlarken, parametreler ($\hat{\sigma}_{un}^2, \hat{\sigma}_{vn}^2$), n. girdinin kullanımında yönetimsel etkinsizliğin ve istatistiksel gürültünün ayrı ayrı katkılarını gösterir. Ayrıca $\gamma^n = \sigma_{un}^2 / (\sigma_{vn}^2 + \sigma_{un}^2)$ değerinin 1'e yakın çıkması yönetimsel etkinsizliğin istatistiksel gürültüye göre baskın olduğu şeklinde yorumlanırken, 0'a yakın çıkması ise tam tersi bir şekilde yorumlanmaktadır (Jondrow v.d., 1982).

3. Aşama: Elde edilen düzeltilmiş veriye tekrar VZA uygulanması

Bu aşama, gözlenen girdi değerleri x_{ni} 'ler yerine düzeltilmiş girdi değerleri olan x_{ni}^A 'lerin alınması ile yani çevresel etkilerin ve istatistiksel gürültünün girdi değerlerinden ayıklanması ile birinci aşama VZA'nın tekrar uygulanmasından ibarettir. Bu analiz sonucunda elde edilen işletme performans değerlerinin artık yönetsel etkinsizlik kaynaklı olduğu söylenebilir (Zeng v.d., 2020).



BEŞİNCİ BÖLÜM

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ

Çok Kriterli Karar Analizi veya Çok Kriterli Karar Verme, yöneylem araştırmasının bir alt disiplini ve tam gelişmiş bir dalıdır. ÇKKV yöntemleri, tek bir karar verici veya bir grup tarafından sınırlı sayıda performans kriteri altında sınırlı sayıda karar alternatifinin öznel değerlendirmesini desteklemek için matematiksel ve bilgisayarlı araçlardan oluşmaktadır (Lootsma, 1999). ÇKKV’de, matematik, davranışsal karar teorisi, ekonomi, bilgisayar teknolojisi, yazılım mühendisliği ve bilgi sistemleri gibi birçok alandan yararlanılır. ÇKKV 1960’lardan beri, aktif bir araştırma alanı olmuştur ve bu alanda birçok teorik ve uygulamalı makale ve kitap üretilmiştir (Ehrgott, 2005). ÇKKV yöntemleri, tercih edilen bir alternatifi belirlemek, alternatifleri az sayıda kategoride sınıflandırmak ve/veya alternatifleri öznel bir tercih sırasına göre sıralamak için tasarlanmıştır (Behzadian v.d., 2012).

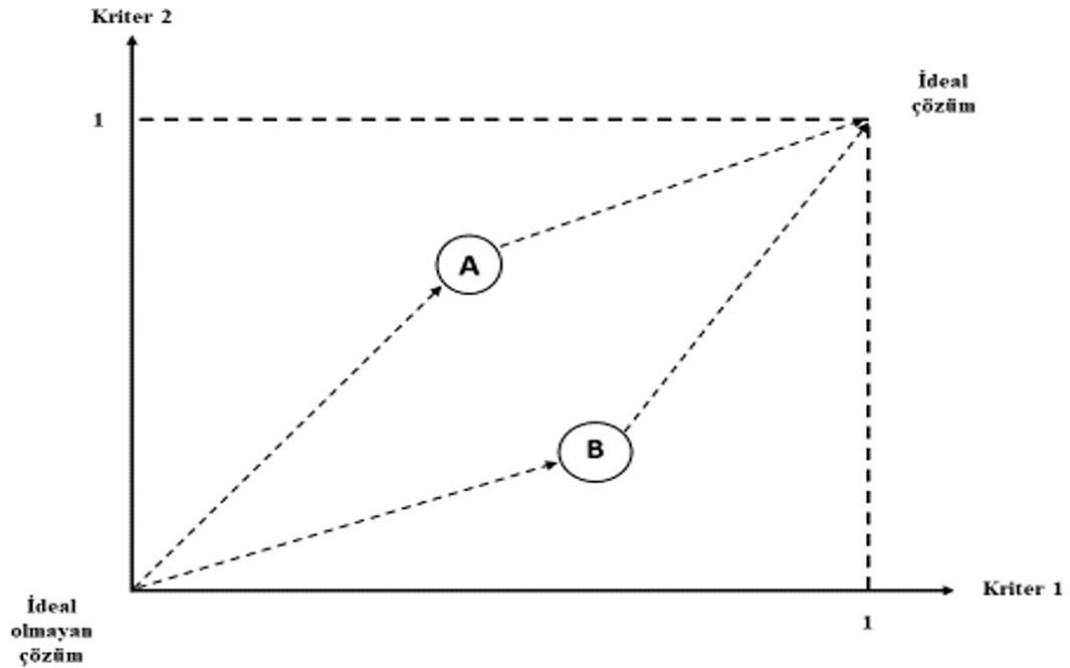
5.1. TOPSIS (Technique of Order Preference Similarity to the Ideal Solution)

Gerçek dünyadaki karar problemlerini çözmek için geliştirilen çok sayıda ÇKKV yöntemi arasında, İdeal Çözüm Benzerliğe Göre Sıra Tercihi Tekniği (TOPSIS), çeşitli uygulama alanlarında tatmin edici bir şekilde kullanılmaktadır. Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında önerilen TOPSIS yöntemi sınırlı sayıda kriterle en iyi alternatifi seçilmesine yardımcı olması için geliştirilmiştir. ÇKKV literatüründe oldukça iyi bilinen klasik bir yöntem olan TOPSIS, matematiksel altyapısının basit olması ve karmaşık algoritmalar içermemesi nedeniyle araştırmacılardan ve uygulayıcılardan büyük ilgi görmüş, birçok alanda kendisine uygulama alanı bulmuştur. Tedarik zinciri yönetimi ve lojistik; tasarım, mühendislik ve üretim sistemleri; işletme ve pazarlama yönetimi; sağlık, güvenlik ve çevre yönetimi; insan kaynakları yönetimi; enerji yönetimi, kimya mühendisliği ve su kaynakları yönetimi gibi birçok alanda TOPSIS yönteminden faydalanılmıştır (Behzadian v.d., 2012).

Tablo 5.1 TOPSIS Uygulamalarının Alanlara Göre Dağılımları (Behzadian v.d., 2012)

Alanlar	N	%
Tedarik Zinciri Yönetimi ve Lojistik	74	27.5
Tasarım, Mühendislik ve Üretim Sistemleri	62	23
İş ve Pazarlama Yönetimi	33	12.3
Sağlık, Güvenlik ve Çevre Yönetimi	28	10.4
İnsan kaynakları yönetimi	24	8.9
Enerji Yönetimi	14	5.2
Kimya Mühendisliği	7	2.6
Su Kaynakları Yönetimi	7	2.6
Diğer Alanlar	20	7.4
Toplam	269	100

Yöntem, ideal ve ideal olmayan bir çözüm bulmaya ve alternatiflerin her birinin bunlara olan mesafesini karşılaştırmaya dayanır (Papathanasiou ve Ploskas, 2018). TOPSIS seçilen alternatifin ideal çözüme en kısa ve ideal olmayan çözüme en uzak mesafede olması gerektiği ilkesine dayanır (Lai, Liu ve Hwang, 1994).



Şekil 5.1 İdeal ve İdeal Olmayan Çözüme Olan Uzaklıklar (Ishizaka ve Nemery, 2013)

Şekilde A ve B olarak isimlendirilmiş iki alternatif ve iki kriterle göre konumlandırılmış ideal ve ideal olmayan noktalar verilmiştir. A alternatifinin B

alternatifine göre ideal çözüme daha yakın, aynı zamanda ideal olmayan noktaya da daha uzak olması sebebiyle A alternatifi tercih edilir.

TOPSIS, alternatiflerin belirli kriterler dikkate alınarak sıralanmasına olanak sağlamaktadır. Bunu 6 adımda gerçekleştirmektedir. Öncelikle karar matrisi ve bu matris dikkate alınarak normalize edilmiş karar matrisi oluşturulur. Normalize edilmiş karar matrisinin ağırlıklandırılmasından sonra ideal ve ideal olmayan çözümler bulunur ve bu çözümlere olan uzaklıklar hesaplanır. Son aşamada ise her bir alternatifin ideal çözüme göreli yakınlığı hesaplanarak elde edilen değerlere göre sıralama yapılır. Bu aşamaların ayrıntıları aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Karar Matrisinin Oluşturulması

Karar matrisi, her bir alternatif için belirli kriterlere göre aldığı değerlerin bir araya getirildiği bir tablodur. Matrisin satırları alternatifleri gösterirken sütunlarda kriterler bulunur. m tane alternatif ve n tane kriterden oluşan A karar matrisi aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

Adım 2: Normalize Karar Matrisinin Elde Edilmesi

Karar matrisinin her bir sütunu için, sütun elemanlarının kareleri toplamının karekökü alınır ve o sütundaki her bir eleman bu değere bölünerek elde edilen b_{ij} değerleri, B normalize edilmiş karar matrisini oluşturur.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (i = 1, 2, \dots, m \text{ ve } j = 1, 2, \dots, n)$$

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \cdots & b_{mn} \end{bmatrix}$$

Adım 3: Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisin Elde Edilmesi

Bu adımda kullanılan ağırlıklar (w_j 'ler) TOPSIS yönteminin öznellik içeren adımıdır. Karar verici, kriterlere verdiği önem derecelerine göre belirlediği ağırlıkları

bu adımda yönetime dahil edebilir. $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ olmak üzere ağırlıklar herbir b_{ij} değeri

ile çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi V elde edilir.

$$V = \begin{bmatrix} w_1 b_{11} & w_2 b_{12} & \cdots & w_n b_{1n} \\ w_1 b_{21} & w_2 b_{22} & \cdots & w_n b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 b_{m1} & w_2 b_{m2} & \cdots & w_n b_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix}$$

Adım 4: İdeal ve İdeal Olmayan Çözümlerin Elde Edilmesi

İdeal ve ideal olmayan çözüm değerlerinin elde edilmesi için üç yol vardır. Birincisi, karar verici tarafından belirlenmesidir. Ancak bu, değerlere daha fazla öznellik katılmasına neden olacaktır. İkincisi, ideal (A^*) ve ideal olmayan (A^-) çözüm değerlerinin, amaca göre değişmekle beraber $A^* = \{1,1,...,1\}$ ve $A^- = \{0,0,...,0\}$ biçiminde mutlak ideal ve mutlak ideal olmayan çözüm değerleri olarak alınmasıdır. Üçüncü ve en çok tercih edilen yöntem ise bu değerlerin eldeki veriler içinden seçilmesidir (Papathanasiou ve Ploskas 2018). Amacın maksimizasyon yada minimizasyon olmasına bağlı olarak seçilecek noktalar da değişecektir. Örneğin, amaç maksimizasyon ise herbir sütunun maksimum değerleri ideal çözüm değerini oluştururken, herbir sütunun minimum değerleri ise ideal olmayan çözüm değerini oluşturacaktır. Amacın minimizasyon olması durumunda ise herbir sütunun minimum değerleri ideal çözüm değerini oluştururken, herbir sütunun maksimum değerleri ise ideal olmayan çözüm değerini oluşturacaktır. Aşağıda amacın maksimizasyon olması durumunda ideal (A^*) ve ideal olmayan (A^-) çözüm değerleri bulunmaktadır:

$$v_j^* = \left\{ \max_i v_{ij} \mid i = 1, 2, \dots, m \right\}, \forall j = 1, 2, \dots, n \text{ olmak üzere } A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$$

$$v_j^- = \left\{ \min_i v_{ij} \mid i = 1, 2, \dots, m \right\}, \forall j = 1, 2, \dots, n \text{ olmak üzere } A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$$

Adım 5: İdeal ve İdeal Olmayan Değerlere Olan Uzaklıkların Elde Edilmesi

İdeal ve ideal olmayan noktalara olan uzaklıkların hesaplanmasında farklı uzaklık ölçme yöntemlerinden faydalanmak mümkündür. Bu yöntemler arasında Öklid, Manhattan, Chebyshev ve Hamming uzaklıkları sayılabilir. En çok kullanılan uzaklık ölçme yöntemi olan Öklid uzaklığı formülasyonu kullanılarak elde edilen ideal ve ideal olmayan noktalara olan uzaklıklar (sırasıyla D_i^* ve D_i^-) aşağıda verilmiştir:

$$D_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}, \forall i = 1, 2, \dots, m$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, \forall i = 1, 2, \dots, m$$

Burada alternatif sayısı kadar D_i^* ve D_i^- değeri elde edilecektir. Böylece her bir alternatif için ideal ve ideal olmayan noktalara olan uzaklıklar hesaplanmış olur.

Adım 6: İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması ve Alternatifler Arasındaki Sıralamanın Elde Edilmesi

Her bir alternatif için ideal çözüme olan göreli yakınlık, bir önceki adımda elde edilen uzaklıklar kullanılarak elde edilir. İdeal çözüme olan göreli yakınlık C_i^* ile gösterilmek üzere

$$C_i^* = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^*}$$

biçimindedir. Burada C_i^* değeri, 0 ile 1 arasında değer alır ve değerin büyük olması ilgili alternatifin daha iyi bir alternatif olduğunun göstergesidir. Elde edilen C_i^*

değerleri büyükten küçüğe doğru dizildiğinde ise alternatifler arasındaki sıralama elde edilmektedir.

5.2. ARAS (Additive Ratio Assessment)

ARAS yöntemi, 2010 yılında Zavadskas ve Turskis tarafından ortaya atılmış bir ÇKKV yöntemidir. Diğer yöntemlerden farklı olarak, her bir kriterin optimal (maksimum yada minimum) değerlerinden oluşan yeni bir alternatif, mevcut alternatifler arasına eklenir ve alternatifler için optimallik fonksiyon değerleri yeni alternatifin optimallik fonksiyon değerine oranlanarak alternatiflerin fayda dereceleri elde edilir. Fayda derecesi en büyük olan alternatif ilk sırada tercih edilecektir. Fayda derecesi aynı zamanda her bir alternatifin göreceli etkinliği anlamına da gelmektedir (Zavadskas ve Turskis, 2010).

Adım 1: Karar Matrisinin Oluşturulması

ARAS yönteminde oluşturulan karar matrisi diğer yöntemlerde oluşturulan karar matrisinden farklılık göstermektedir. Burada mevcut alternatiflere ek olarak bu alternatiflerdeki optimal değerlerden yeni bir alternatif elde edilerek yada optimal değerler karar verici tarafından biliniyorsa doğrudan yazılarak karar matrisinin ilk satırı olarak oluşturulur. Böylece m tane alternatif ve n tane kriterden oluşan (m+1)xn boyutundaki X karar matrisi aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$X = \begin{bmatrix} x_{01} & \cdots & x_{0j} & \cdots & x_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}, i = 0, 1, \dots, m \text{ ve } j = 1, 2, \dots, n$$

X karar matrisinde x_{ij} , i. alternatifin j. kriterine göre performans değerini; x_{0j} ise j. kriterin optimal değerini göstermektedir. Eğer kriterlere ait optimal değerler karar verici tarafında bilinmiyorsa amacın maksimizasyon yada minimizasyon olmasına bağlı olarak optimal değerler aşağıdaki gibi elde edilir:

$$x_{0j} = \max_i x_{ij}, \text{ eğer maksimum değer optimum ise}$$

$x_{0j} = \min_i x_{ij}$, eğer minimum değer optimum ise

Adım 2: Normalize Karar Matrisinin Oluşturulması

Kriterlerin değerlerinin farklı ölçeklerde ve birimlerde olmasının önlenmesi için karar matrisinin normalize edilmesi gereklidir. ARAS yönteminde normalizasyonun yapılma biçimi optimumluğun nasıl elde edildiğine bağlı olarak değişmektedir. $\bar{X}$ normalize karar matrisi ve $\bar{x}_{ij}$ de normalize karar matrisinin elemanları olmak üzere, değerlerin maksimum olması optimumluğu sağlıyorsa

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}}$$

biçiminde normalize edilir. Eğer değerlerin minimum olması optimalliği sağlıyorsa normalizasyon aşağıdaki gibi iki aşamada yapılır.

$$x_{ij}^* = \frac{1}{x_{ij}}, \quad \bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}^*}{\sum_{i=0}^m x_{ij}^*}$$

Elde edilen normalize karar matrisi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{01} & \cdots & \bar{x}_{0j} & \cdots & \bar{x}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_{i1} & \cdots & \bar{x}_{ij} & \cdots & \bar{x}_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_{m1} & \cdots & \bar{x}_{mj} & \cdots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}, \quad i = 0, 1, \dots, m \text{ ve } j = 1, 2, \dots, n$$

Adım 3: Ağırlıklı Normalize Karar Matrisinin Oluşturulması

Bu aşamada uzmanlardan alınan görüşler ya da karar vericinin kendi görüşleri doğrultusunda yöntemin nesnel yönünü ortaya koyan ve $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ koşulunu

sağlayan w_j ağırlıkları belirlenir. $\hat{X}$, ağırlıklı normalize karar matrisi, $\hat{x}_{ij} = w_j \cdot \bar{x}_{ij}$ ($i = 0,1,...,m$) olmak üzere

$$\hat{X} = \begin{bmatrix} \hat{x}_{01} & \cdots & \hat{x}_{0j} & \cdots & \hat{x}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{x}_{i1} & \cdots & \hat{x}_{ij} & \cdots & \hat{x}_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{x}_{m1} & \cdots & \hat{x}_{mj} & \cdots & \hat{x}_{mn} \end{bmatrix}, i = 0,1,...,m \text{ ve } j = 1,2,...,n$$

Adım 4: Alternatiflerin Görelî Etkinliklerinin Hesaplanması

Bu son adımda, öncelikle her bir alternatif için optimallik fonksiyon değeri S_i

$$S_i = \sum_{j=1}^n \hat{x}_{ij}, i = 0,1,...,m$$

ile hesaplanır. Bu değer ne kadar büyükse ona karşılık gelen alternatif de o kadar etkindir. Sonraki adım ise alternatiflerin fayda derecelerinin hesaplanmasıdır. K_i , i. alternatifin fayda derecesini göstermek üzere

$$K_i = \frac{S_i}{S_0}, i = 1,...,m$$

biçiminde hesaplanır. Burada her bir alternatifin optimallik fonksiyon değeri, optimal alternatifin optimallik fonksiyon değeri olan S_0 'a bölünmesiyle görelî etkinlik değerleri bulunmuş olur. K_i değerlerinin $[0,1]$ aralığında olacağı açıktır ve bu değerler azalan değerler şeklinde sıralandığında alternatiflerin de sıralaması elde edilmiş olur.

ALTINCI BÖLÜM

UYGULAMA

Çalışmamızın uygulama bölümünde, Türkiye'deki havalimanlarının etkinliklerinin belirlenmesi için Üç Aşamalı VZA, havalimanları arasındaki sıralamanın elde edilmesi için de ÇKKV yöntemlerinden TOPSIS ve ARAS kullanılmıştır. Öncelikle, Üç Aşamalı VZA için girdi ve çıktılar belirlenmiştir. Bu girdi ve çıktılar ayrıca ÇKKV yöntemleri için de kriterler olarak alınmıştır. Üç Aşamalı VZA'nde birinci ve üçüncü aşamalarında Win4DEAP 2, ikinci aşamasında ise STATA 15 programları, ÇKKV yöntemlerin de ise MS Excel programı kullanılmıştır. Üç Aşamalı VZA modelinin birinci ve üçüncü aşamalarda girdiye yönelik BCC modeli kullanılmış ve ayrıca ikinci aşamada il bazında gayrisafi yurtiçi hasıla (GSYİH), il bazında üçüncül sektörün gayri safi yurtiçi hasıla içindeki oranı ve il bazında gelen turist sayısı olmak üzere üç çevresel faktör dikkate alınmıştır. COVID-19 pandemisinin de etkisinin incelenebilmesi amacıyla 2018 ve 2020 yılına ait veriler kullanılmıştır.

Türkiye'deki havalimanlarının etkinliklerinin Üç Aşamalı VZA ile belirlenmesi ve elde edilen bu değerlere göre havalimanlarının sıralanması için öncelikle hangi girdi ve çıktıların kullanılacağına karar verilmesi gerekmektedir. Çalışmamızda, 2009 ile 2017 yılları arasında havalimanı etkinlikleri üzerine yapılmış olan ulusal ve uluslararası çalışmaların detaylı bir şekilde incelendiği Iyer ve Jain (2019) literatür taraması baz alınarak, en çok kabul gören parametrelerden girdi olarak apron büyüklüğü (ApBuy), uçak park yeri sayısı (UcPark) ve yolcu terminal toplam alanı (YolTer); çıktı olarak ise yolcu trafiği (YolTraf), ticari uçak trafiği (UcTraf) ve yük trafiği (YukTraf) seçilmiştir.

2019 yılı sonlarında tüm dünyayı etkisi altına alan COVID 19 salgını nedeniyle küresel çapta tüm faaliyetler durdurulmuş ya da durma noktasına gelmiştir. Birçok sektör (ekonomi, bankacılık, turizm vs.) bu durumdan etkilenmiş ve etkiler üzerine çalışmalar yoğunluk kazanmıştır (Kartal, 2021; Yetiz, 2021; Demir, Aydın ve Demir, 2020). Bu salgından doğal olarak sivil hava taşımacılığı da ciddi anlamda etkilenmiştir. 2019 yılı aynı zamanda İstanbul Atatürk Havalimanı'nın yerine İstanbul Havalimanı'nın faaliyete başlaması anlamında da önemlidir. Bu iki önemli olayın etkinlik değerleri üzerindeki etkisinin belirlenmesi için 2018 ve 2020 yıllarına ait veriler kullanılmıştır. Bu veriler, Devlet Hava Meydanları İşletmesi'nin (DHMI) yayınlamış

olduğu 2018 ve 2020 yıllarına ait faaliyet raporlarından alınmıştır (DHİM, 2018 ve 2020). Çalışmada ayrıca, Üç Aşamalı VZA modelinin kullanılmasının bir avantajı olarak, havalimanlarının üzerinde önemli etkileri olan çevresel faktörler de dikkate alınabilmektedir. Çevresel faktörlerin olası etkileri üzerinde yapılan çalışmalardan bazıları şu şekildedir: İnan, Tolga ve Gökmen (2021) yolcu sayısı ile GSYİH arasında anlamlı bir ilişki olduğunu belirtmiştir. Fernandez, Coto-Millan ve Diaz-Medina'ya (2018) göre turizm odaklı havalimanları diğerlerine göre daha yüksek etkinlik değerlerine sahip olmaktadır. Bu çalışmalar ışığında; turizm ve buna bağlı olarak üçüncül bir sektör olan hizmet sektörünün oranı (HizSek), turist sayısı (TurSay) ve GSYİH değerleri havalimanlarını etkileyen çevresel faktörler olarak dikkate alınmıştır. 2018 yılında 46 havalimanının, 2020 yılında ise 51 havalimanının verileri kullanılarak modeller oluşturulmuştur.

Girdi ve çıktı verileri, normal dağılım göstermediğinden aralarındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla Spearman sıra korelasyon katsayıları, STATA 15 programı ile elde edilmiş ve Tablo 6.1'de gösterilmiştir. Elde edilen değerler, girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkinin varlığını ve bu ilişkinin pozitif yönlü bir ilişki olduğunu göstermektedir. Ayrıca Tablo 6.2'de 2018 ve 2020 yıllarına ait girdi, çıktı ve çevresel faktörler ile ilgili tanımlayıcı istatistikler verilmiştir.

Tablo 6.1 Girdiler ve Çıktılar Arasındaki Spearman Sıra Korelasyonu Katsayıları*

Çıktılar	Yıl	Girdiler		
		ApBuy	UcPark	YolTer
YolTraf	2018	0.7629	0.7456	0.7495
	2020	0.7481	0.7302	0.7530
UcTraf	2018	0.7560	0.7436	0.7533
	2020	0.7427	0.7264	0.7547
YukTraf	2018	0.7839	0.7601	0.7405
	2020	0.8084	0.7878	0.7282

*Tüm değerler %1 anlamlılık düzeyinde verilmiştir.

Tablo 6.2 2018 ve 2020 Yıllarına Ait Tanımlayıcı İstatistikler

Değişken	2018			
	Ortalama	Standart Sapma	Min.	Maks.
YolTraf	4542989	1.20e+07	21897	6.83e+07
UcTraf	28892.43	77250.41	198	447419
YukTraf	83438.48	362092.3	149.438	2428869
ApBuy	122728.8	226040.9	3600	994770
UcPark	21.47826	34.21808	1	146
YolTer	46766.33	82483.61	1200	388113
GSYİH	35789	16120.14	14136	78494
HizSek	0.1931	0.0659253	0.088	0.367
TurSay	1483876	4629991	78	2.09e+07
Değişken	2020			
	Ortalama	Standart Sapma	Min.	Maks.
YolTraf	1600316	4193042	7500	2.34e+07
UcTraf	11590.02	30997.97	73	178918
YukTraf	32555.17	137944	63.291	965639.9
ApBuy	132902.2	256983.2	3600	1265385
UcPark	24.39216	53.94259	0	347
YolTer	64816.59	2095.55	598	1464588
GSYİH	47648.16	19341.55	20421	97950
HizSek	0.1749412	0.0628479	0.059	0.303
TurSay	374319.4	1141914	0	5001981

6.1. 2018 Yılına Ait Analiz Sonuçları

6.1.1. VZA ile Üç Aşamalı VZA'nın Karşılaştırmalı Sonuçları

2018 yılı verilerine uygulanan Üç Aşamalı VZA'nın birinci aşamasında, Tablo 6.1'de verilen girdi ve çıktılar kullanılarak girdi odaklı klasik BCC VZA modeli oluşturulmuş, Win4Deap2 programı ile etkinlik değerleri tespit edilmiş ve sonuçlar Tablo 6.4'te sunulmuştur. Havalimanı isimleri ve karşılık olarak kullanılan kısaltmalar Ekler bölümünde verilmiştir. Tablo 6.4'e göre, İstanbul Atatürk, İstanbul Sabiha Gökçen, Adana, Kahramanmaraş ve Muş Sultan Alparslan havalimanları olmak üzere toplam 5 havalimanının tam etkin olduğu görülmektedir. Bu havalimanlarını sırasıyla Antalya, Trabzon, İzmir Adnan Menderes, Kayseri ve Samsun Çarşamba havalimanları izlemektedir. İlk 21 havalimanı ortalama etkinlik değerinin üzerinde iken, geriye kalan 25 havalimanı bu değer altında kalmıştır. Etkinlikleri en düşük olan 5 havalimanı ise Tekirdağ Çorlu Atatürk, Kocaeli Cengiz Topel, Isparta Süleyman Demirel, Bursa Yenişehir ve Uşak havalimanlarıdır. İstanbul Atatürk, İstanbul Sabiha

Gökçen, Ankara Esenboğa, Muğla Dalaman, Adana, Gaziantep, Kahramanmaraş ve Muş Sultan Alparslan havalimanları ölçeğe göre sabit getiriye sahiptir, başka bir ifadeyle girdiler aynı oranda arttırıldığında çıktılar da aynı oranda artmaktadır. Sadece Antalya havalimanının ölçeğe göre azalan getiriye sahip olduğu görülmektedir. Diğer tüm havalimanları ise ölçeğe göre artan getiriye sahiptir.

İkinci aşamada, girdi aylak değerlere, çevresel faktörler dikkate alınarak STATA 15 programı ile SSA uygulanmış ve Tablo 6.3'teki katsayılar elde edilmiştir. Wald Ki-kare değerleri modellerin anlamlı olduğunu göstermektedir. Böylece aylak değerlerin, çevresel faktörler, yönetsel etkinsizlik ve ölçüm hatalarında kaynaklanan istatistiksel gürültü olarak belirtilen üç etkiye göre ayrıştırılması sağlanmış, 3 ve 4 nolu eşitliklerden yararlanılarak düzeltilmiş girdi değerleri elde edilmiştir.

Tablo 6.3 SSA Sonucu Elde Edilen Katsayılar (2018 yılı)

	ApBuySlack	UcParkSlack	YolTerSlack
GSYİH	1.000738	0.0005182	0.6747846
HizSek	446968.4	43.71059	179853
TurSay	-0.0007644	-1.47E-06	-0.0031383
Wald Ki-kare	8.75	12.51	7.10
İstatistiği			
P değeri	0.0328	0.0058	0.0688

Üçüncü aşamada, düzeltilmiş girdiler ve orijinal çıktılar kullanılarak birinci aşamada olduğu gibi girdi odaklı klasik BCC VZA modeli oluşturulmuş ve böylece çevresel faktörlerden ve şans faktöründen arındırılmış etkinlik değerleri elde edilmiş ve Tablo 6.4'te verilmiştir.

Tablo 6.4 2018 yılı Etkinlik Değerlerine Göre Havalimanlarının Sıralamaları

Sıra Sayısı	Havalimanı	Klasik VZA	Havalimanı	Üç Aşamalı VZA
1	İstAta	1	İstAta	1
2	İstSab	1	İstSab	0.763
3	Ada	1	Ant	0.706
4	Kah	1	Ank	0.468
5	Mus	1	İzm	0.421
6	Ant	0.937	Ada	0.200
7	Tra	0.837	Dal	0.175
8	İzm	0.818	MilBod	0.164
9	Kay	0.769	Tra	0.154

10	Sam	0.675	Gaz	0.107
11	Gaz	0.654	Kay	0.090
12	Ama	0.588	Diy	0.085
13	Van	0.553	Sam	0.071
14	Ord	0.538	Van	0.065
15	Şır	0.517	Hat	0.057
16	MilBod	0.491	Erzu	0.055
17	Bat	0.484	Kon	0.050
18	Ank	0.461	Ord	0.046
19	Mal	0.447	Ela	0.044
20	Erzu	0.445	Mal	0.037
21	Diy	0.442	Şan	0.035
22	Kap	0.433	Mar	0.030
23	Mar	0.391	Den	0.029
24	Den	0.390	Bat	0.028
25	Hat	0.372	Kar	0.025
26	Ela	0.352	Siv	0.025
27	Şan	0.326	Bal	0.023
28	İğd	0.321	Erzi	0.021
29	Kon	0.306	Muş	0.018
30	Bin	0.278	Şır	0.018
31	Kar	0.247	Kah	0.016
32	Dal	0.204	Kap	0.016
33	Bal	0.191	Ağr	0.014
34	Siv	0.179	Adı	0.012
35	Erzi	0.178	İğd	0.012
36	Kas	0.169	Bur	0.011
37	Ağr	0.161	Bin	0.010
38	Sin	0.151	Çan	0.010
39	Adı	0.139	Sin	0.009
40	Hak	0.139	Ama	0.008
41	Çan	0.129	Hak	0.008
42	Uşa	0.117	Isp	0.007
43	Bur	0.112	Kas	0.005
44	Isp	0.098	Tek	0.005
45	Koc	0.077	Koc	0.002
46	Tek	0.057	Uşa	0.001
Ortalama		0.439		0.112

Sonuçlar, sadece İstanbul Atatürk havalimanının tam etkin olduğunu göstermektedir. Bu havalimanını sırasıyla İstanbul Sabiha Gökçen, Antalya, Ankara Esenboğa, İzmir Adnan Menderes ve Adana havalimanları izlemektedir. İlk 9 havalimanı ortalama etkinlik değerinin üzerinde iken geriye kalan 37 havalimanının etkinlik değerleri bu değerin altında kalmıştır. Etkinlikleri en düşük olan 5 havalimanı

ise Uşak, Kocaeli Cengiz Topel, Tekirdağ Çorlu Atatürk, Kastamonu ve Isparta Süleyman Demirel havalimanlarıdır. Sadece İstanbul Atatürk havalimanı ölçeğe göre sabit getiriye sahip iken, diğer tüm havalimanlarının ölçeğe göre artan getiriye sahip olduğu görülmektedir.

Klasik VZA ile Üç Aşamalı VZA sonucu elde edilen etkinlik değerleri incelendiğinde her iki analiz sonucunda da sadece İstanbul Atatürk havalimanı tam etkindir. İstanbul Sabiha Gökçen havalimanı ikincilikteki yerini korumuş fakat tam etkinliğini kaybetmiştir. Klasik VZA ile tam etkin olan havalimanlarından Adana havalimanı 6'ncı, Kahramanmaraş havalimanı 31'inci, Muş Sultan Alparslan havalimanı ise 29'uncu olmuştur. Klasik VZA etkinlik sıralamasında ilk 10 havalimanı arasında kendine yer bulamayan Ankara Esenboğa, Muğla Dalaman, Muğla Milas-Bodrum ve Gaziantep havalimanları Üç Aşamalı VZA etkinlik sıralamasında ilk 10 havalimanı arasında kendilerine yer bulabilmişlerdir. Bu durum, çevresel faktörler ve istatistiksel gürültünün verilerden ayrıştırılmasıyla, yani havalimanlarının benzer çevresel koşullar altında incelenmesiyle etkinlik sıralamalarının ne denli değişebileceğinin bir göstergesidir.

6.1.2. Üç Aşamalı VZA, TOPSIS ve ARAS Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Sonuçları

2018 yılına ait verilere aynı zamanda ÇKKV yöntemlerinden TOPSIS ve ARAS yöntemleri uygulanmıştır. Her iki yöntemde de kriter ağırlıkları eşit seçilmiş ve kriterlerin optimallliği maksimizasyon yönlü olarak belirlenmiştir. TOPSIS VE ARAS yöntemlerine göre havalimanlarına ait sıralamalar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre havalimanlarının sıralamaları Tablo 6.5'te verilmiştir. Bu tabloda ayrıca Üç Aşamalı VZA'nden sağlanmış olan etkinlik değerlerine göre yapılmış sıralama da mevcuttur. Böylece farklı analizlerin sonuçlarını karşılaştırma imkanı bulunmuştur. Tablo incelendiğinde, sıralamalar arasında genel olarak bir tutarlılık olduğu göze çarpmaktadır. İstanbul Atatürk Havalimanı'nın tüm analizlerde ilk basamakta bulunduğu görülmektedir. İlk 10 havalimanının sıralaması küçük farklılıklarla beraber benzerlik göstermektedir. Tekirdağ Çorlu Atatürk Havalimanı, Kahramanmaraş Havalimanı, Isparta Süleyman Demirel Havalimanı, Malatya Havalimanı ve Şırnak Şerafettin Elçi Havalimanı dışında kalan havalimanlarına ait sıralamalar birbirlerine oldukça yakındır.

Tablo 6.5 Üç Aşamalı VZA, TOPSIS ve ARAS Sonucu Elde Edilen Sıralamalar (2018)

Havalimanı	Üç Aşamalı VZA	TOPSIS	ARAS
İstAta	1	1	1
İstSab	2	3	3
Ank	4	4	4
İzm	5	5	5
Ant	3	2	2
Dal	7	6	6
MilBod	8	7	7
Ada	6	8	8
Tra	9	11	10
Erzu	16	14	15
Gaz	10	13	12
Adı	34	30	31
Ağr	33	27	30
Ama	40	43	43
Bal	27	25	27
Bat	24	33	32
Bin	37	42	41
Bur	36	29	29
Çan	37	35	35
Den	23	32	28
Diy	12	10	9
Ela	19	24	20
Erzi	28	22	23
Hak	40	37	38
Hat	15	12	13
Iğd	34	39	39
Isp	42	26	33
Kah	31	45	44
Kar	25	19	22
Kas	43	44	45
Kay	11	16	14
Koc	45	40	42
Kon	17	18	17
Mal	20	31	26
Mar	22	20	24
Muş	29	34	34
Kap	31	38	37
Ord	18	28	25
Sam	13	17	16
Sin	39	36	36
Siv	25	21	21

Şan	21	15	18
Sır	29	41	40
Tek	43	9	11
Uşa	46	46	46
Van	14	23	19

6.2. 2020 Yılına Ait Analiz Sonuçları

6.2.1. VZA ile Üç Aşamalı VZA'nın Karşılaştırmalı Sonuçları

2020 yılı verileri ile yapılan uygulamanın birinci aşamasında, 2018 yılına ait analiz ile aynı girdi ve çıktılar kullanılarak girdi odaklı klasik BCC VZA modeli oluşturulmuştur. Etkinlik değerleri tespit edilmiş, Tablo 6.7'de gösterilmiştir. Buna göre 5 havalimanının tam etkin olduğu görülmektedir (İstanbul, İstanbul Sabiha Gökçen, Adana, Kayseri ve Zonguldak). Bu havalimanlarını sırasıyla Gaziantep, Trabzon, Van Ferit Melen, Samsun Çarşamba ve Ordu Giresun havalimanları izlemektedir. İlk 21 havalimanının etkinlik değerleri, ortalama etkinlik değerinin üzerinde iken, geriye kalan 30 havalimanının etkinlik değerleri bu değerin altında kalmıştır. Etkinlikleri en düşük olan 5 havalimanı ise Zafer, Kocaeli Cengiz Topel, Bursa Yenişehir, Isparta Süleyman Demirel ve Uşak havalimanlarıdır. İstanbul, İstanbul Sabiha Gökçen, Adana, Diyarbakır, Kayseri ve Zonguldak havalimanları ölçeğe göre sabit getiriye sahip iken İzmir Adnan Menderes ve Antalya havalimanları ölçeğe göre azalan getiriye sahiptir. Geriye kalan havalimanlarının ise ölçeğe göre artan getiriye sahip oldukları görülmektedir.

İkinci aşamada, girdi aylak değerlere, çevresel faktörler dikkate alınarak SSA uygulanmış ve Tablo 6.6'daki katsayılar elde edilmiştir. Wald Ki-kare değerlerine göre modeller anlamlı bulunmuştur. Bu modeller yardımı ile düzeltilmiş girdiler elde edilmiştir.

Tablo 6.6 SSA Sonucu Elde Edilen Katsayılar (2020 yılı)

	ApBuySlack	UcParkSlack	YoTerSlack
GSYİH	1.04947	0.0003783	0.4304788
HizSek	419602.9	44.14563	178084.9
TurSay	-0.0007388	-3.52E-06	-0.009012
Wald Ki-kare	6.58	10.78	10.82
İstatistiği			
P değeri	0.0867	0.0130	0.0121

Üçüncü aşamada, düzeltilmiş girdiler ve orijinal çıktılar kullanılarak birinci aşamada olduğu gibi girdi odaklı klasik BCC VZA modeli oluşturularak etkinlik değerleri elde edilmiş ve Tablo 6.7’de sunulmuştur.

Tablo 6.7 2020 Yılı Etkinlik Değerlerine Göre Havalimanlarının Sıralamaları

Sıra Sayısı	Havalimanı	Klasik VZA	Havalimanı	Üç Aşamalı VZA
1	İst	1	İst	1
2	İstSab	1	İstSab	1
3	Ada	1	Ant	0.744
4	Kay	1	İzm	0.498
5	Zon	1	Ank	0.497
6	Gaz	0.923	Ada	0.273
7	Tra	0.916	Tra	0.195
8	Van	0.860	Dal	0.176
9	Sam	0.843	MilBod	0.165
10	Ord	0.716	Gaz	0.158
11	Ama	0.710	Kay	0.141
12	Ant	0.670	Diy	0.127
13	Bat	0.666	Van	0.112
14	Sii	0.642	Sam	0.100
15	GazAla	0.606	Hat	0.080
16	Mal	0.596	Ord	0.066
17	Şır	0.590	Erzu	0.065
18	Mar	0.581	Ela	0.064
19	Diy	0.554	Kon	0.061
20	İzm	0.469	Mal	0.057
21	Hat	0.460	Şan	0.048
22	Ela	0.441	Mar	0.047
23	Erzu	0.437	Kar	0.045
24	Kar	0.409	Bat	0.044
25	Den	0.404	Siv	0.037
26	Kap	0.389	GazAla	0.037
27	Bin	0.378	Den	0.033
28	Ank	0.364	Muş	0.033
29	Şan	0.364	Tek	0.030
30	İğd	0.344	Erzi	0.028
31	Kon	0.343	Şır	0.027
32	Muş	0.307	Ağr	0.025
33	Tek	0.305	Bal	0.021
34	Ağr	0.269	Kah	0.020
35	Siv	0.247	Kap	0.018

36	Erzi	0.200	Adı	0.016
37	Bal	0.183	Bin	0.016
38	Hak	0.183	İğd	0.016
39	Dal	0.181	Hak	0.013
40	MilBod	0.178	Ama	0.012
41	Sin	0.171	Çan	0.012
42	Kah	0.166	Sin	0.012
43	Adı	0.162	Esk	0.009
44	Çan	0.142	Bur	0.007
45	Esk	0.142	Isp	0.007
46	Kas	0.128	Sii	0.006
47	Uşa	0.105	Kas	0.004
48	Isp	0.087	Zaf	0.002
49	Bur	0.051	Zon	0.002
50	Koc	0.050	Koc	0.001
51	Zaf	0.033	Uşa	0.001
Ortalama		0.450		0.122

Elde edilen sonuçlara göre, sadece İstanbul ve İstanbul Sabiha Gökçen havalimanlarının tam etkin olduğu görülmektedir. Bu havalimanlarını sırasıyla Antalya, İzmir Adnan Menderes, Ankara Esenboğa ve Adana havalimanları izlemektedir. İlk 12 havalimanının etkinlik değerleri, ortalama etkinlik değerinin üzerinde iken geriye kalan 39 havalimanının etkinlik değerleri bu değer altında kalmıştır. Etkinlikleri en düşük olan 5 havalimanı ise Uşak, Kocaeli Cengiz Topel, Zonguldak, Zafer ve Kastamonu havalimanlarıdır. İstanbul ve İstanbul Sabiha Gökçen havalimanı ölçeğe göre sabit getiriye sahip olup, diğer tüm havalimanlarının ölçeğe göre artan getiriye sahip olduğu görülmektedir.

Klasik VZA ile Üç Aşamalı VZA sonucu elde edilen etkinlik değerleri incelendiğinde her iki analiz sonucunda da sadece İstanbul ve İstanbul Sabiha Gökçen havalimanları tam etkindir. Klasik VZA ile tam etkin olan havalimanlarından Adana havalimanı 6'ncı, Kayseri havalimanı 11'inci, Zonguldak havalimanı ise 49'uncu olmuştur. Klasik VZA etkinlik sıralamasında ilk 10 havalimanı arasında kendine yer bulamayan Antalya, İzmir Adnan Menderes, Ankara Esenboğa, Muğla Dalaman ve Muğla Milas-Bodrum havalimanları Üç Aşamalı VZA etkinlik sıralamasında ilk 10 havalimanı arasında kendilerine yer bulabilmişlerdir.

6.2.2. Üç Aşamalı VZA, TOPSIS ve ARAS Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Sonuçları

2020 yılına ait verilere de ÇKKV yöntemlerinden TOPSIS ve ARAS yöntemleri uygulanmıştır. Her iki yöntemde de yine kriter ağırlıkları eşit seçilmiş ve kriterlerin optimallliği maksimizasyon yönlü olarak belirlenmiştir. TOPSIS VE ARAS yöntemlerine göre havalimanlarına ait sıralamalar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre havalimanlarının sıralamaları Tablo 6.8’de verilmiştir. Bu tabloda ayrıca Üç Aşamalı VZA’nden sağlanmış olan etkinlik değerlerine göre yapılmış sıralama da mevcuttur. Böylece farklı analizlerin sonuçlarını karşılaştırma imkanı bulunmuştur. Tablo incelendiğinde, sıralamalar arasında genel olarak bir tutarlılık olduğu göze çarpmaktadır. İstanbul Havalimanı’nın tüm analizlerde ilk basamakta bulunduğu görülmektedir. Üç Aşamalı VZA’nde İstanbul Havalimanı ile beraber ilk basamakta yer alan İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı ÇKKV yöntemlerinden elde edilen sıralamalarda ikinci basamaktadır. İlk 10 havalimanının sıralaması küçük farklılıklarla beraber benzerlik göstermektedir. Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanı, Zafer Havalimanı, Antalya Gazipaşa-Alanya Havalimanı, Tekirdağ Çorlu Atatürk Havalimanı, Ordu Giresun Havalimanı, Denizli Çardak Havalimanı ve Bursa Yenişehir Havalimanı dışında kalan havalimanlarına ait sıralamalar birbirlerine oldukça yakındır.

Tablo 6.8 Üç Aşamalı VZA, TOPSIS ve ARAS Sonucu Elde Edilen Sıralamalar (2020)

Havalimanı	Üç Aşamalı VZA	TOPSIS	ARAS
İst	1	1	1
İstSab	1	2	2
Ank	5	4	4
İzm	4	5	5
Ant	3	3	3
Dal	8	7	7
MilBod	9	6	6
Ada	6	8	8
Tra	7	10	9
Erzu	17	14	17
Gaz	10	12	11
Adı	36	34	36
Ağr	32	32	33
Ama	40	47	46
Bal	33	31	31
Bat	24	33	30

Bin	36	44	45
Bur	44	21	27
Çan	40	42	38
Den	27	36	34
Diy	12	11	10
Ela	18	22	20
Erzi	30	28	26
Hak	39	43	43
Hat	15	16	14
Iğd	36	41	41
Isp	44	38	40
Kah	34	30	32
Kar	23	25	21
Kas	47	48	48
Kay	11	13	13
Koc	50	46	47
Kon	19	20	18
Mal	20	24	23
Mar	22	29	25
Muş	27	26	28
Kap	35	40	39
Ord	16	27	24
Sam	14	15	15
Sin	40	45	44
Siv	25	23	22
Şan	21	17	19
Şır	31	35	37
Tek	29	9	12
Uşa	50	50	50
Van	13	18	16
GazAla	25	37	35
Esk	43	19	29
Sii	46	49	49
Zaf	48	39	42
Zon	48	51	51

6.3. 2018 ve 2020 Yıllarına Ait Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

2019 yılı sonunda ortaya çıkan ve başta ekonomik ve sosyal anlamda olmak üzere tüm alanlarda dünyayı önemli ölçüde etkisi altına alan COVID-19 pandemisinin çeşitli sektörlerdeki olası etkilerinin araştırılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bundan dolayı 2018 yılı yani pandemi öncesi ve 2020 yılı yani pandemi dönemindeki veriler kullanılarak havalimanı etkinlikleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

6.3.1. Üç Aşamalı VZA'nin Karşılaştırmalı Sonuçları

2018 ve 2020 yılları arasında pandeminin ve yeni açılan havalimanlarının sebep olduğu değişen şartlar dikkate alındığında en etkin havalimanı 2018 yılında İstanbul Atatürk Havalimanı iken bu havalimanının kapatılmasıyla 2020 yılında İstanbul Havalimanının onun yerini aldığı görülmektedir (Tablo 6.9). Ayrıca 2020 yılında İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı da İstanbul Havalimanı gibi tam etkin havalimanı olmuştur. Antalya Havalimanının sıralamadaki yerini koruduğu, Ankara Esenboğa ve İzmir Adnan Menderes'in ise sıralamalarının yer değiştiği görülmektedir. Adana, Trabzon, Muğla Dalaman, Muğla Milas-Bodrum ve Gaziantep Havalimanlarının ilk 10 havalimanı arasındaki yerlerinin korunduğu görülmektedir. Her iki yılda da Uşak, Kocaeli Cengiz Topel ve Kastamonu havalimanları etkinliği en düşük havalimanları arasındadır. 2020 yılı verileri incelendiğinde 2018 yılına göre 6 yeni havalimanının eklendiği görülmektedir. Bu havalimanları, İstanbul havalimanı dışında Gazipaşa-Alanya, Eskişehir Hasan Polatkan, Siirt, Zafer ve Zonguldak havalimanlarıdır. Yeni faaliyete başlayan bu havalimanlarından Eskişehir Hasan Polatkan, Siirt, Zafer ve Zonguldak havalimanları alt sıralarda sırasıyla 43, 46, 48 ve 49'uncu sıradadırlar. Yine faaliyetine yeni başlamış olan Gazipaşa-Alanya havalimanı 26'ncı sıra ile orta sıralarda kendine yer bulmuştur. Bu havalimanının yeni faaliyete başlayan diğer havalimanlarına göre daha etkin bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. En belirgin değişimin Tekirdağ Çorlu Atatürk Havalimanı'nda olduğu tespit edilmiştir. 2018 yılı verilerine göre 44'üncü sırada olan havalimanı, 2020 verilerine göre 29'uncu sıraya yükselmiştir. Genel olarak etkinlikler karşılaştırıldığında 2018 yılına göre 2020 yılında göreceli etkinlik değerlerinin arttığı ortaya çıkmaktadır.

Tablo 6.9 2018 İle 2020 Yıllarına Ait Üç Aşamalı VZA Sonuçlarının Karşılaştırılması

Sıra Sayısı	Havalimanı	Üç Aşamalı VZA (2018)	Havalimanı	Üç Aşamalı VZA (2020)
1	İstAta	1	İst	1
2	İstSab	0,763	İstSab	1
3	Ant	0,706	Ant	0,744
4	Ank	0,468	İzm	0,498
5	İzm	0,421	Ank	0,497
6	Ada	0,200	Ada	0,273
7	Dal	0,175	Tra	0,195
8	MilBod	0,164	Dal	0,176
9	Tra	0,154	MilBod	0,165
10	Gaz	0,107	Gaz	0,158
11	Kay	0,090	Kay	0,141
12	Diy	0,085	Diy	0,127
13	Sam	0,071	Van	0,112
14	Van	0,065	Sam	0,100
15	Hat	0,057	Hat	0,080
16	Erzu	0,055	Ord	0,066
17	Kon	0,050	Erzu	0,065
18	Ord	0,046	Ela	0,064
19	Ela	0,044	Kon	0,061
20	Mal	0,037	Mal	0,057
21	Şan	0,035	Şan	0,048
22	Mar	0,030	Mar	0,047
23	Den	0,029	Kar	0,045
24	Bat	0,028	Bat	0,044
25	Kar	0,025	Siv	0,037
26	Siv	0,025	GazAla	0,037
27	Bal	0,023	Den	0,033
28	Erzi	0,021	Muş	0,033
29	Muş	0,018	Tek	0,030
30	Şır	0,018	Erzi	0,028
31	Kah	0,016	Şır	0,027
32	Kap	0,016	Ağr	0,025
33	Ağr	0,014	Bal	0,021
34	Adı	0,012	Kah	0,020
35	İğd	0,012	Kap	0,018
36	Bur	0,011	Adı	0,016
37	Bin	0,010	Bin	0,016
38	Çan	0,010	İğd	0,016
39	Sin	0,009	Hak	0,013
40	Ama	0,008	Ama	0,012
41	Hak	0,008	Çan	0,012

42	Isp	0,007	Sin	0,012
43	Kas	0,005	Esk	0,009
44	Tek	0,005	Bur	0,007
45	Koc	0,002	Isp	0,007
46	Uşa	0,001	Sii	0,006
47	GazAla	-	Kas	0,004
48	Esk	-	Zaf	0,002
49	Sii	-	Zon	0,002
50	Zaf	-	Koc	0,001
51	Zon	-	Uşa	0,001

6.3.2. TOPSIS'in Karşılaştırmalı Sonuçları

2020 yılındaki verilere, 2018 yılına göre 6 yeni havalimanının eklenmesi ve kriterlerdeki değişimler çalışmada kullanılan ÇKKV yöntemlerinden elde edilen sonuçları da etkilemiştir. Tablo 6.10'daki TOPSIS ile elde edilen sonuçlara göre 2018 yılı sıralamasında ilk sırada yer alan İstanbul Atatürk Havalimanı 2020 yılında yerini İstanbul Havalimanı'na bırakmıştır. Her iki yılın sıralamaları incelendiğinde ilk 10 havalimanında önemli bir değişikliğin olmadığı görülmektedir. Ağrı Ahmed-i Hani Havalimanı, Balıkesir Koca Seyit Havalimanı, Çanakkale Havalimanı ve Sinop Havalimanı sıralamada gerileyen havalimanlarına; bunun yanında, Bursa Yenişehir Havalimanı, Kahramanmaraş Havalimanı, Malatya Havalimanı ve Van Ferit Melen Havalimanı sıralamada çıkış yapmış havalimanlarına örnek olarak gösterilebilir. Ayrıca Uşak, Kastamonu, Amasya Merzifon Havalimanları her iki yıla ait analizlerde de son 5 sıra içinde bulunmaktadır.

Tablo 6.10 2018 İle 2020 Yıllarına Ait TOPSIS Sonuçlarının Karşılaştırılması

Havalimanı	TOPSIS (2018)	Havalimanı	TOPSIS (2020)
İstAta	1	İst	1
İstSab	3	İstSab	2
Ank	4	Ank	4
İzm	5	İzm	5
Ant	2	Ant	3
Dal	6	Dal	7
MilBod	7	MilBod	6
Ada	8	Ada	8
Tra	11	Tra	10
Erzu	14	Erzu	14
Gaz	13	Gaz	12
Adı	30	Adı	34

Ağr	27	Ağr	32
Ama	43	Ama	47
Bal	25	Bal	31
Bat	33	Bat	33
Bin	42	Bin	44
Bur	29	Bur	21
Çan	35	Çan	42
Den	32	Den	36
Diy	10	Diy	11
Ela	24	Ela	22
Erzi	22	Erzi	28
Hak	37	Hak	43
Hat	12	Hat	16
Iğd	39	Iğd	41
Isp	26	Isp	38
Kah	45	Kah	30
Kar	19	Kar	25
Kas	44	Kas	48
Kay	16	Kay	13
Koc	40	Koc	46
Kon	18	Kon	20
Mal	31	Mal	24
Mar	20	Mar	29
Muş	34	Muş	26
Kap	38	Kap	40
Ord	28	Ord	27
Sam	17	Sam	15
Sin	36	Sin	45
Siv	21	Siv	23
Şan	15	Şan	17
Şır	41	Şır	35
Tek	9	Tek	9
Uşa	46	Uşa	50
Van	23	Van	18
		GazAla	37
		Esk	19
		Sii	49
		Zaf	39
		Zon	51

6.3.3. ARAS'ın Karşılaştırmalı Sonuçları

Tablo 6.11'de ARAS yöntemi ile elde edilmiş havalimanı sıralamaları verilmiştir. Sıralamalar incelendiğinde, 2018 yılında İstanbul Atatürk Havalimanı ilk sıradayken, 2020 yılında bu havalimanının yerini alan İstanbul Havalimanı'nı ilk sıradadır. 2018 yılında Antalya Havalimanı 2. sıradayken 2020 yılında yerini İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı'na bırakmıştır. Her iki yılda da Ankara Esenboğa Havalimanı 4., İzmir Adnan Menderes Havalimanı 5., Adana Havalimanı ise 8. sıradadır. Ayrıca Muğla Dalaman, Muğla Milas-Bodrum, Trabzon ve Diyarbakır Havalimanları ilk 10 havalimanı içindeki yerlerini koruyan diğer havalimanlarıdır. Bu havalimanlarını Gaziantep Havalimanı ve Tekirdağ Çorlu Atatürk Havalimanı izlemektedir. 2018 ve 2020 yıllarına ait sıralamalara göre, Kahramanmaraş Havalimanı'nın 2020 yılındaki sıralamasının 2018 yılındaki sıralamasına göre önemli ölçüde arttığı söylenebilir. Sinop ve Isparta Süleyman Demirel Havalimanlarında ise bu durumun tam tersi dikkat çekmektedir. 2020 yılı analizine dahil edilen Eskişehir Hasan Polatkan ve Antalya Gazipaşa-Alanya Havalimanlarının ise yeni hizmete girmiş olmalarına rağmen orta sıralarda bulunmaları önemlidir. Kastamonu, Uşak, Kocaeli Cengiz Topel, Amasya Merzifon ve Hakkari Yüksekova Selahaddin Eyyubi Havalimanları her iki yılda da son 10 havalimanı içerisinde. Yine 2020 yılı analizine dahil edilen havalimanlarından Zonguldak Çaycuma, Zafer ve Siirt Havalimanları da son 10 havalimanı içinde bulunmaktadır.

Tablo 6.11 2018 İle 2020 Yıllarına Ait ARAS Sonuçlarının Karşılaştırılması

Havalimanı	ARAS (2018)	Havalimanı	ARAS (2020)
İstAta	1	İst	1
İstSab	3	İstSab	2
Ank	4	Ank	4
İzm	5	İzm	5
Ant	2	Ant	3
Dal	6	Dal	7
MilBod	7	MilBod	6
Ada	8	Ada	8
Tra	10	Tra	9
Erzu	15	Erzu	17
Gaz	12	Gaz	11
Adı	31	Adı	36
Ağr	30	Ağr	33
Ama	43	Ama	46

Bal	27	Bal	31
Bat	32	Bat	30
Bin	41	Bin	45
Bur	29	Bur	27
Çan	35	Çan	38
Den	28	Den	34
Diy	9	Diy	10
Ela	20	Ela	20
Erzi	23	Erzi	26
Hak	38	Hak	43
Hat	13	Hat	14
İğd	39	İğd	41
Isp	33	Isp	40
Kah	44	Kah	32
Kar	22	Kar	21
Kas	45	Kas	48
Kay	14	Kay	13
Koc	42	Koc	47
Kon	17	Kon	18
Mal	26	Mal	23
Mar	24	Mar	25
Muş	34	Muş	28
Kap	37	Kap	39
Ord	25	Ord	24
Sam	16	Sam	15
Sin	36	Sin	44
Siv	21	Siv	22
Şan	18	Şan	19
Şır	40	Şır	37
Tek	11	Tek	12
Uşa	46	Uşa	50
Van	19	Van	16
		GazAla	35
		Esk	29
		Sii	49
		Zaf	42
		Zon	51

SONUÇ

2018 ve 2020 yılları arasında COVID-19 pandemisinden kaynaklı sosyal ve ekonomik anlamda çok ciddi farklılıklar yaşanmıştır. Bu farklılıklar, sivil havacılıkta da kendini göstermiştir. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü'nden (ICAO) elde edilen bilgilere göre, 2020 yılında dünyada toplam yolcu trafiği bir önceki yıla nazaran %60 oranında azalmış ve 1945'ten bu yana sürekli yükselişte olan bu parametrenin 2000'li yılların başındaki duruma geri döndüğü görülmüştür. Aynı zamanda havayolu şirketlerinin gelir kaybı yaklaşık olarak 372 milyar dolara ulaşmıştır. Havalimanlarının gelirleri %66.3, uluslararası turizm gelirleri 1.3 trilyon dolar ve dünyada toplam GSYİH ortalama %3.4 azalmıştır. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de önemli oranda değişimler yaşanmıştır. Geçen iki yıl içinde Türkiye'de toplam yolcu sayısının %60.94, toplam uçuş trafiğinin %55.52 ve toplam kargo miktarının %56.74 oranında düştüğü görülmüştür. Çalışmamızda, bu olağandışı değişimlerin havalimanı etkinlikleri ve sıralamaları üzerine olan etkisi araştırılmıştır.

COVID-19 salgınının yaşanması, analizde kullanılan çıktılar (yolcu trafiği, ticari uçak trafiği ve yük trafiği) önemli ölçüde azalmasına sebep olmuştur. Ayrıca İstanbul Atatürk Havalimanının yerini İstanbul Havalimanına bırakması ve yeni faaliyete geçen diğer havalimanları Türkiye'deki havalimanları atmosferini değiştirmiştir. Havalimanları bulundukları şehirlerin ekonomik ve sosyal yapılarından etkilenmektedirler. Şehrin nüfusu; turizm, sanayi ve ticaretinin gelişmişlik durumu havalimanlarının performansları üzerinde etkilidirler. Havalimanı performansı değerlendirmede en çok kullanılan yöntem VZA'dır. Birden fazla girdi ve çıktının aynı anda değerlendirilmesine fırsat vermesi sayesinde VZA performans değerlendirmede ön plana çıkmıştır. Ancak girdi ve çıktılarının yanısıra çevresel etkilerin de araştırılması istendiği için bu çalışmada Üç Aşamalı VZA kullanılmıştır. Bu analiz sayesinde etkinlik değerleri elde edilirken etkinlik üzerinde etkisi olan çevresel faktörlerin, yönetsel etkinsizliğin ve şans faktörünün birbirinden ayrıştırılarak analizin daha eşit şartlarda yapılması ve böylece yorumların daha gerçekçi olması sağlanmıştır.

Pandemi öncesi ve pandemi esnasındaki durumu yansıtmaları için 2018 ve 2020 yılı verilerine klasik VZA ve Üç Aşamalı VZA yöntemleri uygulanmıştır. Üç Aşamalı VZA ile elde edilen etkinlik değerlerinin klasik VZA yöntemine göre daha düşük olduğu ve her iki yıl için de etkinlik değerlerine göre yapılmış olan sıralamaların birbirinden çok farklı olduğu görülmüştür. 2018 yılında sadece İstanbul Atatürk

Havalimanı her iki analizde de tam etkin iken 2020 yılında İstanbul Atatürk Havalimanının yerini alan İstanbul Havalimanı ve Sabiha Gökçen Havalimanı her iki analizde tam etkindir. 2018 ve 2020 yıllarına ait Üç Aşamalı VZA sonuçlarına göre, COVID-19 pandemi şartları Türkiye’de havalimanlarının göreceli etkinlik sıralamalarında önemli değişime neden olmamıştır. Antalya Gazipaşa-Alanya Havalimanı haricinde 2020 yılında veri üretmeye başlayan diğer havalimanları alt sıralardan sıralamaya giriş yapmışlardır.

ÇKKV yöntemlerinden olan TOPSIS ve ARAS yöntemlerinin kullanılması ile de 2018 ve 2020 yıllarına ait havalimanı sıralamaları elde edilmiştir. Sıralamaların hem birbirleriyle hem de Üç Aşamalı VZA sonucu elde edilen sıralamalar ile yüksek oranda uyumlu olduğu görülmüştür.

Gelecek çalışmalar adına, Türkiye’de yapılması planan ve yapımı devam eden havalimanlarının da faaliyet göstermesi ile birlikte performans analizlerinin devam ettirilmesi planlanmaktadır. Ayrıca performans değerlendirmesine finansal verilerin de katılmasıyla analize finansal bir bakış açısı da katılabilir. Bunun yanında havalimanlarına ait panel veriler kullanılarak etkinlik analizinin yanında verimlilik analizleri de yapılarak havalimanlarının zaman içerisindeki performans değişimleri incelenebilir.

KAYNAKÇA

- ABBOTT, M., WU, S.: 2002 "Total Factor Productivity and Efficiency of Australian Airports", **Australian Economic Review**, 35(3), 244-260.
- ABBOTT, M.: 2015 "Reform and Efficiency of New Zealand's Airports", **Utilities Policy**, 36, 1-9.
- ADLER, N., BERECHMAN, J.: 2001 "Measuring Airport Quality from the Airlines' Viewpoint: An Application of Data Envelopment Analysis", **Transport Policy**, 8(3), 171-181.
- ADLER, N., LIEBERT, V.: 2010 "Competition and Regulation (when lacking the former) Outrank Ownership Form in Generating Airport Efficiency", **In The GAP workshop "Benchmarking of Airports"**, Berlin, Germany (pp. 25-26).
- ADLER, N., ÜLKÜ, T., YAZHEMSKY, E.: 2013 "Small Regional Airport Sustainability: Lessons from Benchmarking", **Journal of Air Transport Management**, 33, 22-31.
- AHN, Y. H., MIN, H.: 2014 "Evaluating the Multi-period Operating Efficiency of International Airports Using Data Envelopment Analysis and the Malmquist Productivity Index", **Journal of Air Transport Management**, 39, 12-22.
- AIGNER, D., LOVELL, C. K., SCHMIDT, P.: 1977 "Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models", **Journal of Econometrics**, 6(1), 21-37.
- AKAL, Z., 2005 **İşletmelerde Performans Ölçüm ve Denetimi, Çok yönlü Performans Göstergeleri**, MPM Yayınları, Ankara.
- 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), 143-160.
- ASKER, V., 2016 "Havalimanlarında Operasyonel Etkinlik Ölçümü: Seçilmiş Havalimanlarında Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.

- ASSAF, A., 2010 "The Cost Efficiency of Australian Airports Post Privatisation: A Bayesian Methodology", **Tourism Management**, 31(2), 267-273.
- ASSAF, A., 2011 "Bootstrapped Malmquist Indices of Australian Airports", **The Service Industries Journal**, 31(5), 829-846.
- ASSAF, A. G., GILLEN, D.: 2012 "Measuring the Joint Impact of Governance Form and Economic Regulation on Airport Efficiency", **European Journal of Operational Research**, 220(1), 187-198.
- ATAG, 2005 Air Transport Action Group (ATAG), Social and Economic Benefits of Aviation Report, 2005.
- ATAG, 2020 Air Transport Action Group (ATAG), Social and Economic Benefits of Aviation Report, 2020.
- ATEŞ, S. S., ULUFER, S., ALTINBAŞ, Ş.: 2018 "Efficiency Evaluation of Turkish Airports with DEA and Malmquist-TFP Index Approach", **İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi**, 10(3), 83-94.
- AUGUSTYNIAK, W., LOPEZ-TORRES, L., KALINOWSKI, S. :2015 "Performance of Polish Regional Airports After Accessing the European Union: Does Liberalisation Impact on Airports' Efficiency?", **Journal of Air Transport Management**, 43, 11-19.
- AVCI, T., AKTAŞ, M.: 2015 "Türkiye'de Faaliyet Gösteren Havalimanlarının Performanslarının Değerlendirilmesi", **Journal of Alanya Faculty of Business/Alanya İisletme Fakültesi Dergisi**, 7(3).
- BAKİ, B., PEKER İ., 2009 "Veri Zarflama Analizi İle Türkiye Havalimanlarında Bir Etkinlik Ölçümü Uygulaması", **Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, 18(2), 72-88.
- BAL, H., ÖZTÜRK, E., :2017 "Ranking the Airports in Turkey with Data Envelopment Analysis and Canonical Correlation Analysis", **Gazi University Journal of Science**, 30(2), 237-245.
- BALTAZAR, M. E., ROSA, T., SILVA, J.: 2018 "Global Decision Support for Airport Performance and Efficiency Assessment", **Journal of Air Transport Management**, 71, 220-242.
- BANKER, R. D., CHARNES, A., "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis", **Management Science**, 30(9), 1078-1092.

& COOPER, W.
W.: 1984

BARROS, C. P., "Technical and Allocative Efficiency in Airports", **International Journal of Transport Economics**, 31(3), 355-377.
SAMPAIO, A.
:2004

BARROS, C. P., "Performance Evaluation of Italian Airports: A Data Envelopment Analysis", **Journal of Air Transport Management**, 13(4), 184-191.
DIEKE, P. U.:
2007

BARROS, C. P.: "Airports in Argentina: Technical Efficiency in the Context of an Economic Crisis", **Journal of Air Transport Management**, 14(6), 315-319.
2008a

BARROS, C. P.: "Technical Efficiency of UK Airports", **Journal of Air Transport Management**, 14(4), 175-178.
2008b

BARROS, C. P., "Performance of European Airports: Regulation, Ownership and Managerial Efficiency", y.y.
MARQUES, R.
C. : 2008

BARROS, C.P., "Productivity Growth and Biased Technological Change in UK Airports", **Transp. Res. Part E** 45, 642–653.
WEBER, W.L.:
2009

BARROS, C. P., "Efficiency in Nigerian Airports", **Case Studies on Transport Policy**, 5(4), 573-579.
WANKE, P.,
NWAOGBE, O.
R., AZAD, M. A.
K.: 2017

BAS, M., **İşletmelerde Verimlilik Denetimi: Ölçme ve Değerlendirme Modelleri**, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları: 435, Ankara, s. 7.
ARTAR A.,1990

BATTESE, G. "Estimation of a Production Frontier Model: with Application to the Pastoral Zone of Eastern Australia", **Australian Journal of Agricultural Economics**, 21(3), 169-179.
E., CORRA, G.
S.: 1977

BAZARGAN, M., "Size versus Efficiency: A Case Study of US Commercial Airports", **Journal of Air Transport Management**, 9(3), 187-193.
VASIGH, B.:
2003

BEHZADIAN, "A State-of the-art Survey of TOPSIS Applications", **Expert Systems with Applications**, 39(17), 13051-13069.
M.,
OTAGHSARA,
S. K., YAZDANI,

M., IGNATIUS,
J.: 2012

BERGER, A. N., HUMPHREY, D. B.: 1997 "Efficiency of Financial Institutions: International Survey and Directions for Future Research", **European Journal of Operational Research**, 98(2), 175-212.

BOLAT, B., TEMUR, G. T., GÜRLER, H.:2016 "Türkiye'deki Havalimanlarının Etkinlik Tahmini: Veri Zarflama Analizi ve Yapay Sınır Ağlarının Birlikte Kullanımı", **Ege Academic Review**, 16.

CAVLAK, H.: 2021 "Etkinlik, Etkililik, Verimlilik, Karlılık, Performans: Kavramsal Bir Çerçeve Ve Karşılaştırma", **Journal of Research in Business : 6 (1)**, 99-126.

CHANG, Y. C., YU, M. M., CHEN, P. C.: 2013 "Evaluating the Performance of Chinese Airports", **Journal of Air Transport Management**, 31, 19-21.

CHANG, Y. T., PARK, H. K., ZOU, B., KAFLE, N.: 2016 "Passenger Facility Charge vs. Airport Improvement Program Funds: A Dynamic Network DEA Analysis for US Airport Financing", **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 88, 76-93.

CHAOUK, M., PAGLIARI, R., MOXON, R.: 2020 "The Impact of National Macro-environment Exogenous Variables on Airport Efficiency", **Journal of Air Transport Management**, 82, 101740.

CHARNES, A., COOPER, W. W., RHODES, E.: 1978 "Measuring the Efficiency of Decision Making Units", **European Journal of Operational Research**, 2(6), 429-444.

CHARNES, A., COOPER, W. W., LEWIN, A. Y., SEIFORD, L. M., 1994 **Data Envelopment Analysis: Theory. Methodology and Applications**, Kluwer Academic Publishers.

CHEN, Q., LIU, H. :2019 "Evaluation of the Dynamic Efficiency of China's Airports under the Country's New Normal Economy: Based on Three-stage DEA and the Malmquist Index", **International Journal of Transport Economics**, 3, 47-76.

- CHI-LOK, A. Y.,
ZHANG, A.:
2009 "Effects of Competition and Policy Changes on Chinese Airport Productivity: An Empirical Investigation", **Journal of Air Transport Management**, 15(4), 166-174.
- CHOW, C. K.
W., FUNG, M.
K. Y. :2009 "Efficiencies and Scope Economies of Chinese Airports in Moving Passengers and Cargo", **Journal of Air Transport Management**, 15(6), 324-329.
- COELLI, T. J.,
RAO, D. S. P.,
O'DONNELL, C.
J., BATTESE, G.
E., 2005 **An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis**. Springer Science & Business Media, New York.
- COOPER, W.
W., SEIFORD,
L. M., TONE, K.,
2007 **Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-solver Software** (Vol. 2, p. 489), Springer, New York.
- COTO-MILLAN,
P., CASARES-
HONTANON, P.,
INGLADA, V.,
AGÜEROS, M.,
PESQUERA, M.
Á., BADIOLA,
A.: 2014 "Small is beautiful? The Impact of Economic Crisis, Low Cost Carriers, and Size on Efficiency in Spanish Airports (2009–2011)", **Journal of Air Transport Management**, 40, 34-41.
- COTO-MILLAN,
P., INGLADA,
V.,
FERNANDEZ,
X. L., INGLADA-
PEREZ, L.,
PESQUERA, M.
Á.: 2016 "The "effect procargo" on technical and scale efficiency at airports: The case of Spanish airports (2009–2011)", **Utilities Policy**, 39, 29-35.
- ÇINAROĞLU,
E., AVCI, T.:
2017 "Türkiye’de Faaliyette Bulunan Büyük Havalimanlarının İç Ve Dış Hat Performanslarının Karşılaştırılması", **BMIJ**, 5(4), 55-75.
- D’ALFONSO, T.,
DARAIO, C.,
NASTASI, A.:
2015 "Competition and Efficiency in the Italian Airport System: New Insights from a Conditional Nonparametric Frontier Analysis", **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 80, 20-38.

- DE CÁSSIO RODRIGUES, A., GONTIJO, T. S., DE MUYLDER, C. F.: 2019 "Measuring the Technical and Scale Efficiency of Rio de Janeiro Samba Schools: a DEA Approach", **Exacta**, 17(4), 201-210.
- DE LA CRUZ, F. S.: 1999 "A DEA Approach to the Airport Production Function", **International Journal of Transport Economics/Rivista internazionale di economia dei trasporti**, 255-270.
- DE NICOLA, A., GITTO, S., MANCUSO, P.: 2013 "Airport Quality and Productivity Changes: A Malmquist Index Decomposition Assessment", **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 58, 67-75.
- DEMİR, M., GÜNAYDIN, Y., DEMİR, Ş. Ş.: 2020 "Koronavirüs (Covid-19) Salgınının Türkiye'de Turizm Üzerindeki Öncülleri, Etkileri ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi", **International Journal of Social Sciences and Education Research**, 6(1), 80-107.
- DEPREN, Ö., 2008 "Veri Zarflama Analizi Ve Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- DHMI Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMI) Web Sitesi, Çevrimiçi <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Hakkimizda.aspx>, Erişim Tarihi: 05.01.2022
- DHMI, 2018 Devlet Hava Meydanları İşletmesi 2018 Faaliyet Raporu, Çevrimiçi <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/FaaliyetRaporlari.aspx>, Erişim Tarihi: 02.11.2020
- DHMI, 2020 Devlet Hava Meydanları İşletmesi 2020 Faaliyet Raporu, Çevrimiçi <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/FaaliyetRaporlari.aspx>, Erişim Tarihi: 15.09.2021
- DÜZAKIN, E., GÜÇRAY, A.: 2001 "An analysis of the efficiency of airports in Turkey", In **43th Annual Conference of the Operational Research Society**.
- EHRGOTT, M., 2005 **Multicriteria Optimization** (Vol. 491). Springer Science & Business Media.
- ENNEN, D., BATOOL, I.: 2018 "Airport Efficiency in Pakistan-A Data Envelopment Analysis with Weight Restrictions", **Journal of Air Transport Management**, 69, 205-212.

- ERDEN, E., 2007 "Türkiye'deki Havalimanlarının İç Hat Uçuşları Yönünden Etkinliklerinin Karşılaştırılması: Bir Veri Zarflama Analizi Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya.
- ERPOLAT, S., 2011 **Veri Zarflama Analizi: Ağırlık Kısıtlamasız, Ağırlık Kısıtlamalı, Şans Kısıtlı, Bulanık**, Evrim Yayınları, İstanbul.
- FAN, L. W., WU, F., ZHOU, P.: 2014 "Efficiency Measurement of Chinese Airports with Flight Delays by Directional Distance Function", **Journal of Air Transport Management**, 34, 140-145.
- FARE R., GROSSKOPF S., LOVELL C.A.K., 1985 **The Measurement of Efficiency of Production**, Kluwer-Nijhoff Publishing, Boston.
- FARRELL, M. J.: 1957 "The Measurement of Productive Efficiency", **Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)**, 120(3), 253-281.
- FERNANDEZ, X. L., COTO-MILLAN, P., DIAZ-MEDINA, B.: 2018 "The Impact of Tourism on Airport Efficiency: The Spanish Case", **Utilities Policy**, 55, 52-58.
- FOROUGHİ, A., ESFAHANI, M.: 2012 "A Robust AHP-DEA Method for Measuring the Relative Efficiency: An Application of Airport Industry", **Management Science Letters**, 2(1), 93-100.
- FRAGOUDAKI, A., GIOKAS, D.: 2016 "Airport Performance in a Tourism Receiving Country: Evidence from Greece", **Journal of Air Transport Management**, 52, 80-89.
- FRIED, H. O., LOVELL, C. K., SCHMIDT, S., YAISAWARNG, S.: 2002 "Accounting for Environmental Effects and Statistical Noise in Data Envelopment Analysis", **Journal of productivity Analysis**, 17(1), 157-174.
- FUNG, M. K. Y., WAN, K. K. H., VAN HUI, Y., LAW, J. S.: 2008 "Productivity Changes in Chinese Airports 1995–2004", **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 44(3), 521-542.

- GILLEN, D.,
LALL, A.: 1997 "Developing measures of airport productivity and performance: an application of data envelopment analysis", **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 33(4), 261-273.
- GILLEN, D.,
LALL, A.: 2001 "Non-parametric Measures of Efficiency of US Airports", **International Journal of Transport Economics/Rivista internazionale di economia dei trasporti**, 283-306.
- GIOKAS, D. I.,
PENTZAROPO
ULOS, G. C.:
2000 "Evaluating Productive Efficiency in Telecommunications: Evidence from Greece", **Telecommunications Policy**, 24(8-9), 781-794.
- GUTIERREZ,
E., LOZANO, S.:
2016 "Efficiency Assessment and Output Maximization Possibilities of European Small and Medium Sized Airports", **Research in Transportation Economics**, 56, 3-14.
- GÖK, U.,
UĞURAL, S.:
2014 "Assessment of Turkish Airports' Efficiency using Data Envelopment Analysis", **Актуальні проблеми економіки**, (2), 470-478.
- GÜRLÜ, S.,
2019 "Türkiye'de Hava Ulaştırma Sektörü ve İktisadi Büyüme Üzerindeki Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- HA, H. K., WAN,
Y., YOSHIDA,
Y., ZHANG, A.:
2013 "Airline Market Structure and Airport Efficiency: Evidence from Major Northeast Asian Airports", **Journal of Air Transport Management**, 33, 32-42.
- HOOPER, P. G.,
HENSHER, D.
A.:1997 "Measuring total factor productivity of airports—an index number approach", **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 33(4), 249-259.
- HWANG, C. L.,
YOON, K., 1981 "Methods for Multiple Attribute Decision Making", In **Multiple Attribute Decision Making** (pp. 58-191). Springer, Berlin, Heidelberg.
- IATA, 2019 "International Air Transport Association Annual Review. 75th Annual General Meeting, Seoul", Çevrimiçi <https://www.iata.org/en/publications/annual-review/>, Erişim tarihi: 12.05.2019.
- IATA, 2020 "International Air Transport Association Annual Review. 76th Annual General Meeting, Amsterdam", Çevrimiçi

- <https://www.iata.org/en/publications/annual-review/>, Erişim tarihi: 02.02.2022.
- ICAO, 2018 “Air Navigation Report, International Civil Aviation Organization”, Çevrimiçi <https://www.icao.int/annual-report-2018/Pages/the-world-of-air-transport-in-2018.aspx>, Erişim tarihi:10.04.2019.
- ICAO, 2020 “Annual Report, International Civil Aviation Organization”, Çevrimiçi <https://www.icao.int/annual-report-2020/Pages/default.aspx>, Erişim tarihi: 02.02.2022.
- ICAO, 2022 “Effects of COVID-19 on Civil Aviation: Economic Impact Analysis”, Çevrimiçi <https://www.icao.int/sustainability/Pages/Economic-Impacts-of-COVID-19.aspx>, Erişim Tarihi: 21.03.2022.
- İNAN, A.,
TOLGA, T.,
GÖKMEN, R.:
2021 “The Determination of the Factors Affecting Air Transportation Passenger Numbers”, **International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace**, 8(1), 4.
- ISHIZAKA, A.,
NEMERY, P.,
2013 **Multi-criteria Decision Analysis: Methods and Software**, John Wiley & Sons, UK.
- IYER, K. C.,
JAIN, S.: 2019 “Performance Measurement of Airports using Data Envelopment Analysis: A Review of Methods and Findings”, **Journal of Air Transport Management**, 81, 101707.
- JONDROW, J.,
LOVELL, C. K.,
MATEROV, I.
S., SCHMIDT,
P.: 1982 “On the Estimation of Technical Inefficiency in the Stochastic Frontier Production Function Model”, **Journal of Econometrics**, 19(2-3), 233-238.
- KANOĞLU, A.:
2001 “Yapım Yönetiminde Enformasyon Sistemleri”, **İstanbul Proje Yönetim Derneği Konferansı**, 22 Aralık 2001, s. 22.
- KARAOĞLU, M.:
2013 “Evaluation of Turkish Airports Efficiencies Using Data Envelopment Analysis”, **Data Envelopment Analysis and Performance Measurement**, 195.
- KARAOĞLU, M.:
2015 “Türkiye’deki Havaalanlarının Etkinliklerinin Malmquist İndeks Ve Çoklu Periyodlu İki Aşamalı Veri Zarflama Analizi İle İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- KARTAL, M.:
2021 "Covid-19 Salgınının BIST-100 Endeksi Üzerindeki Etkisi: Türkiye Özelinde Ampirik Bir Araştırma", **Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi EJOSAT**, Ek Sayı 1 , 815-822.
- KESKİN, B.,
2017 "Havalimanlarının Teknik Etkinliklerinin Özel Ve Kamu İşletmeciliği Yönünden Güven Bölgesi Yaklaşımı Ve Veri Zarflama Analizi İle İncelenmesi", Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya.
- KESKİN, B.,
KÖKSAL, C. D.:
2019 "A Hybrid AHP/DEA-AR Model for Measuring and Comparing the Efficiency of Airports", **International Journal of Productivity and Performance Management**, 68(3), 524-541.
- KILIÇKAPLAN,
S., KARPAT, G.
:2004 "Türkiye Hayat Sigortası Sektöründe Etkinliğin İncelenmesi", **Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, Cilt: 19, Sayı: 1, s. 2.
- KIYILDI, R.,
KARAŞAHİN,
M.: 2006 "Türkiye'deki Havaalanlarının Veri Zarflama Analizi ile Altyapı Performansının Değerlendirilmesi", **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 10(3), 391-397.
- KOÇ, A. G. E.,
ÇALIPINAR, H.:
2017 "Fareprimont ve Malmquist Verimlilik Endeksleri İle Türk Havalimanlarının Etkinliklerinin Karşılaştırılması", **International Journal of Academic Value Studies**, 3(8), 77-87.
- KOÇAK, H.,
2011 "Efficiency Examination of Turkish Airports with DEA Approach", **International Business Research**, 4(2), 204.
- KOK, R., 1991 **Endüstriyel Verimlilik ve Etkinlik Bir Uygulama**, Atatürk Üniversitesi Yayınları, Erzurum.
- KÖK R.,
DELİKTAŞ E.,
2003 **Endüstri İktisadında Verimlilik Ölçme ve Strateji Geliştirme Teknikleri**, D.E.U. İİBF Yayını, İzmir.
- KUTLAR, A.,
BAKIRCI, F.,
2018 **Veri Zarflama Analizi: Teori ve Uygulama**, Orion Kitabevi, Ankara.
- KUYUCAK, F.,
2001 "Havaalanlarında performans analizi için bir model önerisi ve Türkiye'deki havalimanlarında uygulanması", Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.
- LAI, Y. J., LIU,
T. Y., HWANG,
C. L.: 1994 "TOPSIS for MODM", **European Journal of Operational Research**, 76(3), 486-500.

- LAI, P. L.,
POTTER, A.,
BEYNON, M.,
BERESFORD,
A.: 2015
“Evaluating the Efficiency Performance of Airports using an Integrated AHP/DEA-AR Technique”, **Transport Policy**, 42, 75-85.
- LI, S. L.: 2014
“The Cost Allocation Approach of Airport Service Activities”, **Journal of Air Transport Management**, 38, 48-53.
- LIEBERT, V.,
NIEMEIER, H.
M.:2013
“A Survey of Empirical Research on the Productivity and Efficiency Measurement of Airports”, **Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)**, 47(2), 157-189.
- LIN, L. C.,
HONG, C. H.
:2006
“Operational Performance Evaluation of International Major Airports: An Application of Data Envelopment Analysis”, **Journal of Air Transport Management**, 12(6), 342-351.
- LIN, Z. F.,
CHOO, Y.,
OUM, T. H.:
2013
“Efficiency Benchmarking of North American Airports: Comparative Results of Productivity Index, Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis”, **In Journal of the Transportation Research Forum** (Vol. 52, No. 1).
- LOOTSMA, F.
A., 1999
Multi-criteria Decision Analysis via Ratio and Difference Judgement, Boston, MA: Springer US.
- LO STORTO,
C.: 2018
“The Analysis of the Cost-revenue Production Cycle Efficiency of the Italian Airports: A NSBM DEA Approach”, **Journal of Air Transport Management**, 72, 77-85.
- MARTIN, J. C.,
ROMAN, C.
:2001
“An Application of DEA to Measure the Efficiency of Spanish Airports Prior to Privatization”, **Journal of Air Transport Management**, 7(3), 149-157.
- MARTIN, J. C.,
ROMAN, C.
:2006
“A Benchmarking Analysis of Spanish Commercial Airports. A Comparison Between SMOP and DEA Ranking Methods”, **Networks and Spatial Economics**, 6(2), 111-134.
- MARTIN, J. C.,
VOLTES-
DORTA, A.
:2007
“Marginal Cost Estimations in Airports. Multiproductive Cost Functions and Stochastic Frontiers: An International Airports Case Study”, y.y. (No. 1428-2016-118575).
- MARTIN, J. C.,
ROMAN, C.
:2008
“The Relationship Between Size and Efficiency: A Benchmarking Analysis of Spanish Commercial Airports”, **Journal of Airport Management**, 2(2), 183-197.
- MARTIN, J. C.,
ROMAN, C.,
VOLTES-
:2008
“A Stochastic Frontier Analysis to Estimate the Relative Efficiency of Spanish Airports”, **Journal of Productivity Analysis**, 31(3), 163-176.

- DORTA, A.
:2009
- MARTINI, G.,
MANELLO, A.,
SCOTTI, D.:
2013
- MARTIN-
CEJAS, R. R.
:2002
- MEEUSEN, W.,
VAN DEN
BROECK, J.:
1977
- MERKERT, R.,
MANGIA, L.:
2012
- MERKERT, R.,
MANGIA, L.:
2014
- MURILLO-
MELCHOR, C.
:1999
- OKURSOY, A.,
TEZSÜRÜCÜ
COŞANSU, D.:
2014
- OLARIAGA, O.
D., MORENO, L.
P.: 2019
- OLFAT, L.,
AMIRI, M.,
SOUFI, J. B.,
PISHDAR, M.:
2016
- ORUÇ, K. O.:
2008
- “The Influence of Fleet Mix, Ownership and LCCs on Airports’ Technical/Environmental Efficiency”, **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 50, 37-52.
- “An Approximation to the Productive Efficiency of the Spanish Airports Network through a Deterministic Cost Frontier”, **Journal of Air Transport Management**, 8(4), 233-238.
- “Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error”, **International Economic Review**, 435-444.
- “Management of Airports in Extreme Winter Conditions—Some Lessons from Analysing the Efficiency of Norwegian Airports”, **Research in Transportation Business & Management**, Oct. 2012, Pages 53–60 4, 53–60.
- “Efficiency of Italian and Norwegian Airports: A Matter of Management or of the Level of Competition in Remote Regions?”, **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, 62, 30-38.
- “An analysis of technical efficiency and productivity changes in Spanish airports using the Malmquist index”, **International Journal of Transport Economics/Rivista internazionale di economia dei trasporti**, 271-292.
- “Veri Zarflama Analizi ile Görelî Etkinliklerin Karşılaştırılması: Türkiye’deki İllerin Kültürel Göstergelerine İlişkin Bir Uygulama”, **Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, 21(2), 1-18.
- “Measurement of Airport Efficiency. The Case of Colombia”, **Transport and Telecommunication**, 20(1), 40-51.
- “A Dynamic Network Efficiency Measurement of Airports Performance Considering Sustainable Development Concept: A Fuzzy Dynamic Network-DEA Approach”, **Journal of Air Transport Management**, 57, 272-290.
- “Veri Zarflama Analizi ile Bulanık Ortamda Etkinlik Ölçümleri ve Üniversitelerde Bir Uygulama”, Süleyman Demirel

Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı
Doktora Tezi, Isparta.

- OUM, T. H., YU, C., FU, X. :2003 “A Comparative Analysis of Productivity Performance of the World's Major Airports: Summary Report of the ATRS Global Airport Benchmarking Research Report—2002”, **Journal of Air Transport Management**, 9(5), 285-297.
- OUM, T. H., YU, C. :2004 “Measuring Airports’ Operating Efficiency: A Summary of the 2003 ATRS Global Airport Benchmarking Report”, **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 40(6), 515-532.
- OUM, T. H., ZHANG, A., ZHANG, Y. :2004 “Alternative Forms of Economic Regulation and Their Efficiency Implications for Airports”, **Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)**, 38(2), 217-246.
- OUM, T. H., ADLER, N., YU, C. :2006 “Privatization, Corporatization, Ownership Forms and their Effects on the Performance of the World's Major Airports”, **Journal of Air Transport Management**, 12(3), 109-121.
- ÖMÜRBEK, N., DEMİRGUBUZ, 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.
- ÖRKÜ, H. H., BALIKÇI, C., DOĞAN, M. I., GENÇ, A.: 2016 “An Evaluation of the Operational Efficiency of Turkish Airports using Data Envelopment Analysis and the Malmquist Productivity Index: 2009–2014 Case”, **Transport Policy**, 48, 92-104.
- ÖZDEMİR, M. H., 2016 “Veri Zarflama Analizi ile Rüzgâr Enerji Santrallerinin Etkinliklerinin Karşılaştırılması”, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- ÖZTÜRK, E., DURAK, H.A., BAL, H.: 2013 “Evaluation of Turkish Airports Efficiencies Using Data Envelopment Analysis and MOORA Method”, **Data Envelopment Analysis and Performance Measurement**, 189.
- PACHECO, R. R., FERNANDES, E. :2003 “Managerial efficiency of Brazilian airports”, **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, 37(8), 667-680.
- PACHECO, R. R., FERNANDES, “Management style and airport performance in Brazil”, **Journal of Air Transport Management**, 12(6), 324-330.

E., DE
SEQUEIRA
SANTOS, M. P.
:2006

PAPATHANASIOU, J.,
PLOSKAS, N.:
2018

“Multiple Criteria Decision Aid”, **Methods, Examples and Python Implementations**, 136.

PARKER, D.
:1999

“The Performance of BAA Before and After Privatisation: A DEA study”, **Journal of Transport Economics and Policy**, 133-145.

PATHOMSIRI, S., HAGHANI, A., DRESNER, M., & WINDLE, R. J. :2008

“Impact of undesirable outputs on the productivity of US airports”, **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 44(2), 235-259.

PAVLYUK, D.:
2016

“Implication of Spatial Heterogeneity for Airports' Efficiency Estimation”, **Research in Transportation Economics**, 56, 15-24.

PEHLİVANLI, E. A.: 2020

“Covid-19'un Havalimanları Performansları Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi: Türkiye Havalimanları Örneği”, **Electronic Turkish Studies**, 15(4).

PELS, E., NIJKAMP, P., RIETVELD, P.:2001

“Relative Efficiency of European Airports”, **Transport Policy**, 8(3), 183-192.

PELS, E., NIJKAMP, P., RIETVELD, P.:2003

“Inefficiencies and Scale Economies of European Airport Operations”, **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 39(5), 341-361.

PERELMAN, S., SEREBRISKY, T.: 2012

“Measuring the Technical Efficiency of Airports in Latin America”, **Util. Policy** 22, 1–7.

PERICO, A. E., SANTANA, N. B., REBELATTO, D. A. D. N.: 2017

“Efficiency of Brazilian International Airports: Applying the Bootstrap Data Envelopment Analysis”, **Gestão & Produção**, 24, 370-381.

- PESTANA
BARROS, C.
:2009 “The Measurement of Efficiency of UK Airports, Using a Stochastic Latent Class Frontier Model”, **Transport Reviews**, 29(4), 479-498.
- PROKOPENKO, J., 2003 **Verimlilik Yönetimi, Uygulamalı El Kitabı**, (Çev. O. Baykal v.d.), MPM Yayınları, Ankara.
- PYRIALAKOU, V.D.,
KARLAFTIS, M.G.,
MICHAELIDES, P.G.: 2012 “Assessing Operational Efficiency of Airports with High Levels of Low-cost Carrier Traffic”, **Journal of Air Transport Management**, 25, 33–36.
- RAMANATHAN, R., 2003 **An Introduction to Data Envelopment Analysis: A Tool for Performance Measurement**, Sage, New Delhi.
- RIPOLL-ZARRAGA, A. E., RAYA, J. M.: 2020 “Tourism Indicators and Airports' Technical Efficiency”, **Annals of Tourism Research**, 80, 102819.
- SARAFIDIS, V.: 2002 “An Assessment of Comparative Efficiency Measurement Techniques”, **Europe Economics**, 16, 01-21.
- SARKIS, J.:2000 “An Analysis of the Operational Efficiency of Major Airports in the United States”, **Journal of Operations Management**, 18(3), 335-351.
- SARKIS, J.,
TALLURI, S.
:2004 “Performance Based Clustering for Benchmarking of US Airports”, **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, 38(5), 329-346.
- SHGM Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Web Sitesi, Çevrimiçi <https://web.shgm.gov.tr/tr/kurumsal/1--tarihce>, Erişim Tarihi: 18.05.2020.
- SHGM, 2018 “Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü 2018 Faaliyet Raporu”, Çevrimiçi <http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/pdf/kurumsal/faaliyet/2018.pdf>. Erişim Tarihi: 18/05/2019
- SHGM, 2020 “Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü 2020 Faaliyet Raporu”, Çevrimiçi <https://web.shgm.gov.tr/tr/kurumsal/4006-faaliyet-raporlarimiz>. Erişim Tarihi: 02.02.2022
- SHUI, H., JIN, X., NI, J.: 2015 “Manufacturing Productivity and Energy Efficiency: A Stochastic Efficiency Frontier Analysis”, **International Journal of Energy Research**, 39(12), 1649-1663.

- SONG, M., JIA, G., ZHANG, P.:2020 "An Evaluation of Air Transport Sector Operational Efficiency in China Based on a Three-stage DEA Analysis", **Sustainability**, 12(10), 4220.
- SÖNMEZ, İ., 2021 İstanbul Üniversitesi AUZEF Havalimanı Yönetimi Ders Notları, Çevrimiçi https://cdn-acikogretim.istanbul.edu.tr/auzefcontent/20_21_Guz/havalimani_yonetimi/1/index.html#konu-2, Erişim Tarihi: 17.02.2022.
- STICHAUEROV A, E., PELLONEOVA, N.: 2019 "An Efficiency Assessment of Selected German Airports using the DEA Model", **Journal of Competitiveness**, 11(1), 135-151.
- ŞAHİN, İ. E.: 2019 "Türkiye'deki Havalimanlarının Veri Zarflama Analizi ve Malmquist Toplam Faktör Verimliliği Endeksleri İle Finansal Etkinliklerinin Analizi", **Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, (42), 33-47.
- THACH, K. S. R., VO, H. T., LEE, J. Y.: 2021 "Technical Efficiency and Output Losses in Shrimp Farming: A Case in Mekong Delta, Vietnam", **Fishes**, 6(4), 59.
- TOVAR, B., MARTIN-CEJAS, R.:2009 "Are Outsourcing and Non-aeronautical Revenues Important Drivers in the Efficiency of Spanish Airports?", **Journal of Air Transport Management**, 15(5), 217-220.
- TSEKERIS, T., 2011 "Greek Airports: Efficiency Measurement and Analysis of Determinants", **J. Air Transp. Manag.**, 17, 139–141.
- TSUI, W. H. K., BALLI, H. O., GILBEY, A., GOW, H.: 2014 "Operational Efficiency of Asia–Pacific Airports", **Journal of Air Transport Management**, 40, 16-24.
- TUTULMAZ, O.: 2012 "Teknik Etkinlik Analizinde Stokastik Sınır Yöntemi Kullanımı Üzerine Bir Değerlendirme", **Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, 5(1), 109-127.
- ULUTAŞ, B.B., 2006 "Türkiye'deki Havaalanı Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- ÜLKÜ, T.: 2015 "A Comparative Efficiency Analysis of Spanish and Turkish Airports", **Journal of Air Transport Management**, 46, 56-68.

- VOGEL, H. A.
:2006 "Airport Privatisation: Ownership Structure and Financial Performance of European Commercial Airports", **Competition and Regulation in Network Industries**, 1(2), 139-162.
- WANKE, P.F.:
2012 "Capacity Shortfall and Efficiency Determinants in Brazilian Airports: Evidence from Bootstrapped DEA Estimates", **Socio-Economic Planning Sciences**, 46, 216–229.
- WANKE, P.,
BARROS, C. P.
:2017 "Efficiency Thresholds and Cost Structure in Senegal Airports", **Journal of Air Transport Management**, 58, 100-112.
- Wasserman, L.,
2010 **All of Statistics. A Concise Course in Statistical Inference.** Springer, New York.
- WEBSTER, R.,
KENNEDY, S.
Ve JOHNSON,
L.:1998 "Comparing Techniques for Measuring The Efficiency and Productivity of Australian Private Hospitals", Working Paper, **Econometrics and Applied Statistic, Australian Bureau of Statistics**, Canberra, p. 11.
- YALÇIN, E.,
2017 "Stokastik Sınır Analizi ile Türkiye'deki Havalimanlarının Etkinliğinin Ölçülmesi", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli.
- YALÇIN, E.,
2018 "Stokastik Sınır Analizi ile Havalimanlarının Etkinliklerinin Ölçülmesi: Türkiye Örneği", **Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, 15(42).
- YAVUZ, İ., 2003 **Verimlilik ve Etkinlik Ölçümüne Yeni Yaklaşımlar ve İllere Göre İmalat Sanayinde Etkinlik Karşılaştırmaları**, MPM Yayınları: 667, Ankara.
- YAZGAN, A. E.,
KARKACIER,
O.: 2015 "Veri Zarflama Analizi İle Etkinlik Ölçümleri Ve Havalimanı İşletmeciliği Sektöründe Bir Uygulama", **Journal of Alanya Faculty of Business/Alanya İslatme Fakültesi Dergisi**, 7(2).
- YETİZ, F.: 2021 "COVID-19 Pandemi Sürecinin Türk Bankacılık Sektörü Çalışanlarına ve Müşterilerine Etkileri: Swot Analizi", **Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi EJOSAT**, Ocak, 109-117.
- YEŞİLYURT, C.
:2018 "Performans Ölçümünde Kullanılan Parametrelili ve Parametresiz Etkinlik Ölçüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması", **Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, 22(Özel Sayı 3), 2941-2953.

- YOKOMI, M.:2005 "Evaluation of Technical Efficiency at Privatized Airports: Case of BAA", Plc. In A paper presented at the **Air Transport Research Society (ATRS) Conference**.
- YOLALAN, O. R. :1993 "Efficiency Measurement and Data Envelopment Analysis", y.y.
- YOSHIDA, Y. :2004 "Endogenous-weight TFP Measurement: Methodology and its Application to Japanese-airport Benchmarking", **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 40(2), 151-182.
- YOSHIDA, Y., FUJIMOTO, H. :2004 "Japanese-airport Benchmarking with the DEA and Endogenous-weight TFP Methods: Testing the Criticism of Overinvestment in Japanese Regional Airport", **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 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.
- YU, M. M. :2010 "Capacity Efficiency Measurement Using a Three-stage DEA Approach: Evidence from Domestic Airports in Taiwan", **Transportation Planning and Technology**, 33(2), 221-235.
- ZAVADSKAS, E. K., TURSKIS, Z.: 2010 "A New Additive Ratio Assessment (ARAS) Method in Multicriteria Decision Making", *Technological and Economic Development of Economy*, 16(2), 159-172.
- ZENG, Z., YANG, W., ZHANG, S., WITLOX, F. :2020 "Analysing Airport Efficiency in East China Using a Three-stage Data Envelopment Analysis", **Transport**, 35(3), 255-272.
- ZOU, B., KAFLE, N., CHANG, Y. T., PARK, K.: 2015 "US Airport Financial Reform and its Implications for Airport Efficiency: An Exploratory Investigation", **Journal of Air Transport Management**, 47, 66-78.

EKLER

Ek 1. Havalimanlarına ait kodlar

Kod	Havalimanı	Kod	Havalimanı
Ada	Adana Havalimanı	İstSab	İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı
Adı	Adıyaman Havalimanı	İzm	İzmir Adnan Menderes Havalimanı
Ağr	Ağrı Ahmed-i Hani Havalimanı	Kah	Kahramanmaraş Havalimanı
Ama	Amasya Merzifon Havalimanı	Kap	Kapadokya Havalimanı
Ank	Ankara Esenboğa Havalimanı	Kar	Kars Harakani Havalimanı
Ant	Antalya Havalimanı	Kas	Kastamonu Havalimanı
Bal	Balıkesir Koca Seyit Havalimanı	Kay	Kayseri Havalimanı
Bat	Batman Havalimanı	Koc	Kocaeli Cengiz Topel Havalimanı
Bin	Bingöl Havalimanı	Kon	Konya Havalimanı
Bur	Bursa Yenişehir Havalimanı	Mal	Malatya Havalimanı
Çan	Çanakkale Havalimanı	Mar	Mardin Havalimanı
Dal	Muğla Dalaman Havalimanı	MilBod	Muğla Milas-Bodrum Havalimanı
Den	Denizli Çardak Havalimanı	Muş	Muş Sultan Alparslan Havalimanı
Diy	Diyarbakır Havalimanı	Ord	Ordu Giresun Havalimanı
Ela	Elazığ Havalimanı	Sam	Samsun Çarşamba Havalimanı
Erzi	Erzincan Yıldırım Akbulut Havalimanı	Sii	Siirt Havalimanı
Erzu	Erzurum Havalimanı	Sin	Sinop Havalimanı
Esk	Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanı	Siv	Sivas Nuri Demirağ Havalimanı
Gaz	Gaziantep Havalimanı	Şan	Şanlıurfa GAP Havalimanı
GazAla	Antalya Gazipaşa-Alanya Havalimanı	Şır	Şırnak Şerafettin Elçi Havalimanı
Hak	Hakkari Yüksekova Selahaddin Eyyubi Havalimanı	Tek	Tekirdağ Çorlu Atatürk Havalimanı
Hat	Hatay Havalimanı	Tra	Trabzon Havalimanı
Iğd	Iğdır Şehit Bülent Aydın Havalimanı	Uşa	Uşak Havalimanı
Isp	Isparta Süleyman Demirel Havalimanı	Van	Van Ferit Melen Havalimanı
İst	İstanbul Havalimanı	Zaf	Zafer Havalimanı
İstAta	İstanbul Atatürk Havalimanı	Zon	Zonguldak Çaycuma Havalimanı

ÖZGEÇMİŞ

KORAY KÖÇKEN

Mesleği : Matematikçi ve Matematik Öğretmeni

Eğitim Durumu

Ortaöğretim : Bahçelievler Anadolu Lisesi, 1998

Lisans : Yıldız Teknik Üniversitesi, Matematik, 2004

Bitirme Tezi: Java Programlama Dili

Anadolu Üniversitesi, Açık Öğretim Fakültesi, İşletme,
(2016 – Halen)

Y.Lisans : İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Ortaöğretim Alan Öğretmenliği, 2007

Dönem Projesi: Tahmin Teorisi ve Aralık
Tahmini

Y.Lisans : Yıldız Teknik Üniversitesi, Matematik, 2012-2016

Tez Konusu: Çok Amaçlı Tedarik Zinciri
Yönetimine Matematiksel Yaklaşımlar

Yabancı Diller

İngilizce : İyi (YÖKDİL puanı 73,75 Tarih:28.02.2021)

:1999- 2004 Yıldız Teknik Üniversitesi

:1998-1999 Yıldız Teknik Üniversitesi Hazırlık Sınıfı

:1992-1996 İstanbul Bahçelievler Anadolu Lisesi

Almanca : Temel

: 1991 - 1998 İstanbul Bahçelievler Anadolu Lisesi

: 1980 - 1986 Almanya'da İkamet

ALES puanı (Sayısal) : 95,95 (2014 - Bahar), 93,54 (21.02.2021)

İş Deneyimi

2001-2003	Alfa Dershanesi	Matematik ve Geometri Öğretmeni (Yarı zamanlı)
2003-2006	İletişim Dershanesi	Matematik ve Geometri Öğretmeni
2005-2006 (2. Yarıyıl)	Esenyurt Lisesi	Matematik Öğretmeni (Ücretli)
2007-2009	Sınav Dergisi Dershanesi	Matematik ve Geometri Öğretmeni
2009-2018	Esenyurt Anadolu Lisesi	Matematik Öğretmeni (Kadrolu)
2018- Halen	Bahçeşehir Atatürk Anadolu Lisesi	Matematik Öğretmeni (Kadrolu)

Yayınlar

- ❖ Artıbir Yayınları (Ağustos 2005) Matematik – Geometri 2 kitabının geometri konu anlatımının ve testlerinin yazımı

Akademik Çalışmalar

- ❖ Kocken K. and Ahlatcıoğlu B., 2019. A Fuzzy Approach to Multi Objective Multi Echelon Green Closed Loop Supply Chain, 8th International Conference On Applied Analysis and Mathematical Modeling (ICAAMM 2019) Abstract Book P.158, March 10-13 2019, İstanbul Gelişim University, İstanbul, Turkey.

Bilgisayar Bilgisi

- ♦ MS WINDOWS, MS WORD, MS EXCEL, MS POWERPOINT
- ♦ TURBO PASCAL, DBASE III+, TURBO C (Lisans Döneminde Ders Olarak) programlama dilleri
- ♦ HTML
- ♦ JAVA Programlama Dili (Lisans Bitirme Tezi)
- ♦ GAMS
- ♦ MATLAB
- ♦ Python
- ♦ DEAP
- ♦ FRONTIER 4.1
- ♦ SPSS
- ♦ STATA

Eğitimler

- ❖ Yapay Zeka Uygulamaları – İstanbul Öğretmen Akademileri (2019-2020)
- ❖ Python Eğitimi Kursu – Hizmetiçi Eğitim (2020)

TÜBİTAK

- ❖ 4006 TÜBİTAK Bilim Fuarı – Esenyurt Anadolu Lisesi (2018)
- ❖ 4006 TÜBİTAK Bilim Fuarı – Bahçeşehir Atatürk Anadolu Lisesi (2020)

Dijital Okuryazarlık

- ❖ Youtube Kanalı – Koray Hoca Matematik
- ❖ Grafik Tablet ve Etkileşimli Tahta Uygulamaları ile Online Ders

