



**STOKASTİK SINIR YÖNTEMİ VE VZA KULLANILARAK  
TÜRKİYE'DEKİ HAVAALANLARININ ETKİNLİĞİNİN ÖLÇÜLMESİ**

**Esra ÖZTÜRK DURAK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İSTATİSTİK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AĞUSTOS 2019**

Esra ÖZTÜRK DURAK tarafından hazırlanan “STOKASTİK SINIR YÖNTEMİ VE VZA KULLANILARAK TÜRKİYE'DEKİ HAVAALANLARININ ETKİNLİĞİNİN ÖLÇÜLMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İstatistik Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. Hasan BAL

İstatistik Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ....

**Başkan:** Doç. Dr. Özlem TÜRKŞEN

İstatistik Ana Bilim Dalı, Ankara Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ....

**Üye:** Prof. Dr. İhsan ALP

İstatistik Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ....

Tez Savunma Tarihi: 07/08/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....  
Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

.....  
Esra ÖZTÜRK DURAK  
07/08/2019

# STOKASTİK SINIR YÖNTEMİ VE VZA KULLANILARAK TÜRKİYE'DEKİ HAVAALANLARININ ETKİNLİĞİNİN ÖLÇÜLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Esra ÖZTÜRK DURAK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2019

## ÖZET

Veri Zarflama Analizi(VZA), karar verme birimlerinin(KVB) birden fazla girdi ve çıktı olduğu durumlarda etkinliğini göreceli olarak ölçmek için kullanılan lineer programlama tekniğidir. Bu yöntem 1978 yılında Charnes ve arkadaşları tarafından bulunmuştur. Veri Zarflama Analizi, yalnızca birimlerin performansını tahmin etmek için değil aynı zamanda birçok tercih sıralamasını tek bir sıralamada toplamak gibi diğer yönetim sorunlarını çözmek için de kullanılabilir. Stokastik Sınır Analizi(SSA) ise bu birimlerin kontrolü dışındaki rastgele olayları da dikkate alarak üretim birimlerinin verimliliğini ölçmeye yarayan bir yöntemdir. Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de faaliyet gösteren 48 adet havaalanının etkinliğini Stokastik Sınır Analizi ve Veri Zarflama Analizi kullanarak değerlendirmektir. Bunu yapmak için, tüm havaalanlarının etkinliği ilk önce Veri Zarflama Analizi ile ölçülmüştür. Daha sonra, Stokastik Sınır Analizi için Frontier 4.1 sürüm bilgisayar programı kullanılarak Uçuş Trafikine(UT) ve Yolcu Trafikine(YT) bağlı olarak iki model oluşturulmuş ve etkinlikler hesaplanmıştır. Bundan sonra, her bir havaalanı için genel verimlilik puanı, oluşturulan iki modele göre hesaplanan verimlilik puanlarının ortalaması olarak hesaplanmıştır. Her bir havaalanı için genel verimlilik puanları Ankara Esenboğa Havaalanı'nın en yüksek genel verimlilik puanına sahip olduğunu, Trabzon Havaalanı'nın ise en düşük genel verimlilik puanına sahip olduğunu göstermektedir.

Bilim Kodu : 20517

Anahtar Kelimeler : Performans, Havacılık, Veri Zarflama Analizi, Stokastik Sınır Analizi

Sayfa Adedi : 61

Danışman : Prof. Dr. Hasan BAL

RANKING THE AIRPORTS IN TURKEY WITH DATA ENVELOPMENT ANALYSIS  
AND STOCHASTIC FRONTIER ANALYSIS

(M. Sc. Thesis)

Esra ÖZTÜRK DURAK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2019

ABSTRACT

Data Envelopment Analysis(DEA) is a linear programming technique for measuring the relative efficiency of peer decision making units(DMU) when multiple inputs and outputs are present. This objective method was originated by Charnes et al. (1978). DEA can be used, not only for estimating the performance of units, but also for solving other problems of management such as aggregating several preference rankings into single ranking. Stochastic Frontier Analysis is a method serving to measure production units' efficiency by considering random events beyond the control of these units too. The purpose of this study is to evaluate the efficiency of 48 airports in Turkey by using Stochastic Frontier Analysis(SFA) and Data Envelopment Analysis(DEA). To do this, the effectiveness of all airports was first measured by DEA. And then, two models were constructed depending on Fly Traffic(FT) and Passenger Traffic(PT) and were analyzed to calculate the efficiencies using FRONTIER Version 4.1 computer program. After that the general efficiency score for each airport was calculated as the mean of the calculated efficiency scores according to the constructed two models. The general efficiency scores for each airport indicated that Ankara Esenboğa Airport had the highest general efficiency score in all the airports while the Trabzon Airport general efficiency score was the lowest.

Science Code : 20517

Key Words : Performance, Transportation, Data Envelopment Analysis, Stochastic Frontier Analysis

Page Number : 61

Supervisor : Prof. Dr. Hasan BAL

## TEŐEKKÖR

Tez alıőmam boyunca yardımlarını ve katkılarını benden esirgemeyen, bilginliği ve donanımıyla beni yönlendiren çok değerli danıőmanım, her alanda bilgisine güvendiğim, kıymetli hocam sayın Prof. Dr. Hasan BAL' a emeği ve desteği için teőekkÖrÖ bir borç bilirim. Hayatım boyunca yanımda olan, her konuda olduğu gibi çalıőmam boyunca da beni destekleyen değerli aileme sonsuz teőekkÖrler. Hayat arkadaőım, değerli eőim Hamit Alper Durak'a her anımda yanımda olduğu gibi tez çalıőmamda da yanımda olduğu için ve bana verdiği sonsuz destek için teőekkÖrler. Hayatımın en gÖzel hediyesi olan canım oğlum Arel Durak'a sonsuz sevgi ve teőekkÖrlerimle.



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. TEMEL KAVRAMLAR VE ETKİNLİK ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ.....	3
2.1. Temel Kavramlar .....	3
2.1.1. Verimlilik .....	3
2.1.2. Etkinlik .....	3
2.2. Etkinlik Ölçme Yöntemleri .....	4
3. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ.....	7
3.1. Veri Zarflama Analizi Yöntemi.....	7
3.2. Veri Zarflama Analizinin Uygulama Aşamaları .....	9
3.3. Veri Zarflama Analizi Yöntemleri .....	15
3.3.1. Charnes Cooper Rhodes modeli.....	16
3.3.2. Banker Charnes Cooper modeli .....	18
4. STOKASTİK SINIR ANALİZİ .....	21
4.1. Stokastik Sınır Analizi Kavramı.....	21
4.2. Stokastik Üretim Sınırı.....	23



	<b>Sayfa</b>
4.2.1. En çok olabilirlik tahmini.....	24
4.3. Teknik Etkinliğin Tahmini.....	26
4.3.1. Teknik etkinsizlik etkilerinin dağılımları .....	27
4.3.2. Normal-yarı normal model.....	27
4.3.3. Normal-üstel model .....	28
4.3.4. Normal-gamma model .....	28
4.3.5. Normal-kesilmiş normal model.....	29
4.4. Hipotez Testleri .....	30
4.4.1. Tek yanlı genelleştirilmiş olabilirlik oran testi .....	31
4.5. Panel Veri Modelleri .....	32
4.5.1. Zamanla değişmeyen modeller .....	33
4.6. Stokastik Sınır Analizinin Avantajları ve Dezavantajları .....	37
<b>5. UYGULAMA .....</b>	<b>39</b>
5.1. Araştırmanın Amacı .....	39
5.2. Veri Zarflama Analizi ve Stokastik Sınır Analizi Literatür Taraması .....	40
5.3. Veriler ve Değişkenler .....	41
5.4. Veri Zarflama Analizi Sonuçları ve Değerlendirilmesi .....	42
5.5. Stokastik Sınır Analizi Sonuçları ve Değerlendirilmesi .....	45
5.5.1. Çıktı değişkenleri için anlamlı modellerin oluşturulması .....	45
<b>6. SONUÇ VE TARTIŞMA .....</b>	<b>55</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>57</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>61</b>

**ÇİZELGELERİN LİSTESİ**

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 5.1. Veri zarflama analizi sonuçları .....	43
Çizelge 5.2. Model 1 için analiz sonuçları.....	46
Çizelge 5.3. Model 1 için havaalanlarının teknik etkinlik skorları ve sıraları.....	47
Çizelge 5.4. Model 2 için analiz sonuçları.....	48
Çizelge 5.5. Model 2 için havaalanlarının teknik etkinlik skorları ve sıraları.....	49
Çizelge 5.6. SSA model 1 ve model 2 ortak değerlendirmesi .....	50
Çizelge 5.7. SSA model ortalamaları ile VZA sonuçlarının karşılaştırılması .....	51

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Normal-yarı normal model .....	28



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Kısaltmalar

### Açıklamalar

**BCC**

Banker Charnes Cooper

**CCR**

Charnes Cooper Rhodes

**DEA**

Data Envelopment Analysis

**KVB**

Karar Verme Birimi

**SSA**

Stokastik Sınır Analizi

**SFA**

Stochastic Frontier Analysis

**VZA**

Veri Zarflama Analizi

## 1. GİRİŞ

Ulaşım sektörü tüm dünyada hızla büyüyen ve gün geçtikçe önem kazanmaya devam eden bir sektördür. Dünya nüfusu arttıkça ulaşım sektörü de hızla önem kazanmakta ve farklı ulaşım alternatifleriyle karşılaşmaktadır. Diğer ulaşım alternatiflerine göre rahatlığı ve zamandan tasarruf sağlaması ile öne çıkan havayolu taşımacılığı, gitgide artan havaalanı sayısı ve havayolu şirketleri ile birlikte ulaşım tercihlerinde üst sıralara yükselmiştir.

Tüm dünyada hızla gelişmekte olan bu sektör Türkiye’de de hızla gelişmektedir. Ülkemiz sivil havacılık sektöründe, kargo veya yük taşımacılığı yapan 13 havayolu şirketi bulunmaktadır. Havayolu şirketlerinin 2014 yılında 422 olan uçak sayısı, 2015 yılında %15,88 artışla 489’a yükselmiştir. Bu uçakların 464’ü yolcu, 25’i kargo uçağıdır. Havayolu filomuzda bulunan yolcu uçaklarının toplam koltuk kapasitesi 90,259 olup kargo uçaklarının toplam yük kapasitesi ise 1 759 600 kg’dır [1].

Artan havaalanı sayısı ve sektörün gitgide büyümesi hizmetlerin nasıl iyileştirilebileceği ve eldeki kıt kaynakların nasıl daha iyi kullanılacağı sorularını da beraberinde getirmiştir. Kaynakların sınırlı olduğu günümüz dünyasında eldeki kaynakları en etkin şekilde kullanarak en fazla çıktıyı elde edebilmek, her sektörde büyük öneme sahiptir. Bir ticari işletmenin elindeki kaynakları en fazla üretimi sağlayacak şekilde organize etmemesi, bir devlet kurumunun mevcut elemanlarını üretimi maksimum yapacak şekilde bir araya getirmemesi iktisadi mantığın gereklerine aykırılık göstermektedir [2].

Günümüzde yaşanan ekonomik krizlerin üstesinden gelmenin en önemli yolu üretim artışını sağlamaktır. Üretim artışı üç yolla sağlanabilir. Bunlardan biri yeni yatırım yapmak, diğeri mevcut kapasite ve kaynakları verimli kullanmak, bir diğeri ise atıl kapasiteyi minimum düzeyde tutabilmektedir. Tüm dünyada kaynak kıtlığının ön plana çıktığı göz önüne alındığında önceliğin kaynakların daha etkin kullanılmasında olduğu ve dolayısıyla da etkinlik ve verimlilik kavramlarının öneminin açıkça ortaya çıktığı görülmektedir [3]. Her sektörde olduğu gibi havayolu ile taşımacılık sektöründe de artan rekabetler, piyasa koşullarının oluşturduğu zorluklar ve daha pek çok etki karar verme birimleri için eldeki kaynakları en etkin şekilde kullanma gerekliliğini de beraberinde getirir. Bu sayede kaynaklarını etkin kullanmayı amaçlayan karar verme birimleri etkinliklerini ölçerek

etkinliklerini azaltan etkileri bulabilmekte ve eksikliklerini nasıl iyileştirebileceği yönünde tedbirler alabilmektedir. İşletmeler için etkinlik ve verimlilik analizleri, işletmelerin gelişen dünya eğilimlerine ayak uydurabilmeleri ve bu bağlamda öngörüler ile oluşturulacak yol haritasının belirlenmesi açısından oldukça önemlidir [4]. İşletmeler ürettikleri çıktılar ile bu çıktıları elde etmek için kullandıkları girdiler arasındaki ilişkinin belirlenmesinde genellikle etkinlik ve verimlilik analizlerinden faydalanırlar. Etkinlik analizi için kullanılan ölçüm yöntemleri üç temel gruba ayrılmaktadır, bunlar; oran analizleri, parametrik yöntemler ve parametrik olmayan yöntemlerdir. Oran Analizi, kapsam ve amaç bakımından tek boyutlu analizleri içermektedir. Verimlilik ölçümünde hesaplanan farklı oranların ağırlıklandırılarak tek bir ölçüt elde edilmek istenmesi, bu yöntemin önemli bir eksikliği olarak görülmektedir. Parametrik yöntemler, verimlilik ölçümü yapılan işletmelerin üretim fonksiyonunun analitik bir yapısı olduğunu varsaymaktadır. Parametrik olmayan yöntemler üretim fonksiyonundan sonra herhangi bir analitik formun varlığını öngörememekte ve esnek bir yapıya sahip olup ve genellikle matematiksel programlamayı çözüm yöntemi olarak kullanmaktadır [5]. Parametrik olmayan yöntemler üretim fonksiyonunun ardında herhangi bir analitik formun varlığını öngörmezler. Bu nedenle parametreliliğe göre daha esnektirler. Ve bu yöntemler birçok girdili ve birçok çıktıyı üretim ortamlarında performans ölçümü için uygun bir yapıdadırlar. Ölçümü yapılan işletmelerin değişik boyutlarını aynı anda ölçme imkânı sunmaktadır [6]. Pek çok farklı kuruluşun etkinlik değerlendirmesinde başarı ile uygulanan Veri Zarflama Analizi (VZA) parametrik olmayan yöntemler arasında en fazla kullanılan yöntem olarak bilinmektedir.

Bu çalışmada Türkiye'deki havaalanlarının etkinliğini ölçmek amacıyla Devlet Hava Meyanları İşletmesi Faaliyet Raporundan elde edilen 2015 yılı havaalanları veri seti temel alınmıştır. Belirtilen yıla ait olarak girdi ve çıktı veri setleri oluşturulmuş ve VZA yoluyla etkinlik hesaplamaları yapılmıştır. Bu etkinlik skorlarına göre havaalanları arasında verimlilik açısından bir sıralama oluşturulmuştur. Veri Zarflama Analizine ek olarak Stokastik Sınır Analizi de aynı veri setine uygulanmıştır. Bu analizden elde edilen sonuçlar ile de havaalanlarının etkinlik bakımından bir sıralaması oluşturulmuştur. İki analizden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak çıkarımlar yapılmıştır. Ayrıca iki analizden de elde edilen sonuçlar önce ayrı ayrı değerlendirilmiş olup, etkin olmayan havaalanlarının da etkinliğe ulaşabilmeleri için yapılması gereken iyileştirmeler üzerinde durulmuş daha sonra da elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

## 2. TEMEL KAVRAMLAR VE ETKİNLİK ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

### 2.1. Temel Kavramlar

#### 2.1.1. Verimlilik

Verimlilik, üretim miktarı (çıkıtı) ile üretim faktörleri miktarı (girdi) arasındaki fiziksel ilişkiyi belirtmektedir. Buradan hareketle verimlilik, üretim süreci sonunda elde edilen çıktılar ile üretim sürecinde kullanılan girdi kaynaklarının oranı şeklinde tanımlanabilir [7]. En kısa tanımıyla toplam çıktının toplam girdiye oranı verimliliği verir. Bu tanımlamalara göre sistemin bu üretimi sağlayıp sağlamadığı, verimli olup olmadığının belirlenmesinde yol göstericidir. Eğer sağlıyorsa da ne oranda sağladığı tartışması ortaya çıkmaktadır ve bu da verimlilik kavramını beraberinde getirmektedir.

#### 2.1.2. Etkinlik

Etkinlik kavramı ilk bakışta verimlilik kavramı ile aynı anlamı taşıyor gibi gözükse de etkinlik ve verimlilik birbirinden farklı kavramlardır. Geniş bir tanım ile etkinlik, gözlenen değerlerin ideal değerlere yakınlığı olarak tanımlanabilir. Etkinlik esasen yapılan üretimde kullanılan kaynakların ne kadar iyi kullanıldığını tanımlamaktadır. Etkinlik kavramı, verimlilik kavramıyla aynı anlamı taşımamakla birlikte verimliliğin tamamlayıcı unsurudur. Etkinlik ile verimlilik arasındaki fark; etkinlik kavramının çıktılar ile verimlilik kavramının ise girdiler ile ilgileniyor olmasıdır. Aslında etkinlik, çıktıları üretmede kaynakların ne kadar verimli kullanıldığı yönünde ve bu verimliliğin optimallik derecesinin belirlenmesini sağlamaktadır. Etkinlik kavramı teknik etkinlik, ölçek etkinliği ve toplam etkinlik olmak üzere üçe ayrılabilir [8].

En basit tanımıyla teknik etkinlik üretim etkinliği olarak tanımlanabilir. Teknik etkinlik hesaplama açısından daha elverişli bir yöntemdir ve net sonuçlar vermektedir. Bu da performans ölçümü çalışmalarında teknik etkinliğin daha çok kullanılmasını sağlamaktadır. Teknik etkinlik en açık tanımıyla, eldeki girdilerin en verimli şekilde kullanılarak maksimum çıktıyı üretmek demektir. Teknik etkin olarak adlandırılan karar verme birimlerinin üretim sınırının üzerinde olması gerekir. Teknik etkinlik iki yönlü olarak

incelenebilir ve bunlar; girdi yönlü teknik etkinlik ve çıktı yönlü teknik etkinliktir. Ölçek etkinliği, çıktı/girdi oranına bağlı bir etkinlik türüdür ve uygun ölçekte üretim yapmadaki başarı olarak tanımlanabilir. Toplam etkinlik ise teknik etkinlik ve ölçek etkinliğinin çarpımı sonucu elde edilir.

Performans ölçümleri, hızla büyüyen ve gelişen günümüz koşullarında, hemen hemen her alanda ihtiyaç duyulan ve yol gösterici olarak kabul edilen bir ölçüttür. Performans ölçümleri pek çok farklı alanda ve farklı metotlarla uygulanabilmektedir. Performans ölçümleri yönünden elverişli olduğu için, etkinlik ve verimlilik kavramlarının birçok uygulamada sıkça kullanıldığı görülmektedir.

## 2.2. Etkinlik Ölçme Yöntemleri

Etkinlik ölçme yöntemleri temel olarak üç başlık altında toplanabilir. Bunlar; Oran Analizi, Parametrik Yöntemler ve Parametrik Olmayan Yöntemlerdir.

Oran Analizi etkinlik ölçümünde en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Bu analizin yaygın kullanılma sebebi çok fazla bilgi gerektirmemesi ve oldukça kolay bir yöntem olmasıyla ilişkilidir. Oran Analizi yöntemi, tek girdi ile çıktıların birbirleriyle oranlanması sonucu oluşan matematiksel ilişkinin zaman içinde izlenmesi ve gözlemlenmesi şeklinde uygulanmaktadır. Ancak çok sayıda girdi ve çıktı kullanılarak performans ölçümü yapılan sektörlerde uygulanan analizlerde Oran Analizi kullanılması uygun değildir. Çünkü bu tarz uygulamalarda tek bir oran çıktısına göre karar vermek ve değerlendirme yapmak mümkün değildir. Dolayısıyla, bu tarz uygulamalarda genellikle birbirleriyle ilişkili çok sayıda oran kullanılmaktadır. Ancak bu çok sayıdaki oranın tek bir grup altında birleştirilmesi ve bu grubun anlamlı olması sorunu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle de yorumlama güçlükleri oluşmaktadır. Oran Analizi, çoklu girdi ve çıktılarda kullanımı önerilmeyen bir analiz iken; tek girdi ve çıktının bulunduğu modellerde kullanım açısından kolaylığı ve yalınlığı ile önerilebilir bir yöntemdir. Ancak bu analizde tek bir orana göre yorumlamalar yapıldığı için ve bu oran en iyiye göre değil de mevcut değerlerin birbirine bölümüyle elde edildiği için sadece bir durum belirlemesi olarak ele alınabilir. Yani Oran Analizi yöntemi kullanılarak performans iyileştirmesine yönelik bir sonuca varılamaz sadece bir durum tespiti elde edilebilir [9].



Parametrik yöntemlerde, etkinlik değerlendirmesi yapılacak olan endüstri dalı için analitik bir üretim fonksiyonun var olduğu varsayılarak fonksiyonun parametrelerinin belirlenmesi amaçlanır. Parametrik yöntemlerde çoğunlukla tercih edilen yöntem Regresyon Analizi yöntemidir. Bu yöntemlerde genel bir gözlem kümesi mevcuttur. Bu küme içinde en iyi performansın regresyon doğrusu çizgisi sınırı üzerinde olduğu varsayılarak, bu çizgiden sapma göstermeyen gözlemler etkin; diğerleri ise etkinsiz olarak tanımlanabilir. Regresyon Analizinde performans değerlendirmesi regresyon doğrusuna göre yapılmaktadır. Regresyon Analizi, Oran Analizine göre daha verimli bir sonuca ulaşmayı sağlar ancak bu analizin de farklı eksik yanları vardır. Örneğin; Regresyon Analizi birden çok bağımsız değişkene karşın yalnızca bir bağımlı değişkenin analizini yapabilmektedir. Ayrıca en iyi performansa göre etkinlik belirlemek yerine ortalama performansa göre etkinlik belirlenmesine imkân tanıyan Regresyon Analizi, bu yönüyle aslında en iyi performansı ortalama performans olarak görmektedir ve bu da en iyi performansların da ortalama performans seviyesine çekilmesine olanak sağlamaktadır. Yani performans iyileştirmesi yapmak yerine aslında en iyi performansın ortalama performans değeri olduğu kabul eden bir analiz yöntemidir. Bu sonuçlar bakımından, Regresyon Analizinin performans değerlendirmesi açısından yetersiz olduğu söylenebilir. Yaygın ve en çok kullanılan yöntem analizi olarak bilinen Regresyon Analizinin dışında da parametrik yöntemler vardır. Stokastik Sınır Analizi, Kalın Sınır Yaklaşımı ve Serbest Dağılım Yaklaşımı performans ölçümü için kullanılan diğer parametrik yöntemlerdir. Parametrik yöntemlerde etkinlik sınırından sapmalar, etkinsiz gözlem ve rastgele hata olmak üzere iki hata bileşeninden oluşur. Bu yöntemleri birbirinden ayıran en önemli özellik de bu iki hata unsuru için farklı dağılım varsayımlarıyla çalışmalarıdır. Bu çalışmada parametrik yöntemlerden olan Stokastik Sınır Analizi yöntemini ele alınacaktır. Bu yöntemle ilgili detaylı bilgi ilerleyen bölümlerde sunulacaktır.

Parametrik olmayan yöntemler, doğrusal programlama tabanlı teknikler kullanarak çözüm üreten yöntemlerdir. Bu yöntemlerde hesaplama sonucu elde edilen etkinlik değerlerinin, etkinlik sınırına olan uzaklığına bakılarak değerlendirmeler yapılır. Bu yöntemler, parametrik yöntemler gibi birtakım varsayımlara ihtiyaç duymazlar. Ayrıca birden fazla girdi ve çıktı değişkeni kullanarak sonuç oluşturabilirler. Bu nedenle performans ölçümünde, parametrik yöntemlere göre göreceli olarak daha avantajlıdır denilebilir. Buna karşın bir hata terimi içermedikleri için herhangi bir sebeple oluşabilecek hataya karşı daha fazla duyarlıdırlar ve bu nedenle etkinlik sınırının yanlış ölçülmesine de açıktırlar. Parametrik

olmayan yöntemlerde, etkinlik sınırında sapmalar etkinsiz olarak değerlendirilir. Bu yöntemler birden fazla girdi ve çıktının bulunduğu bir üretim sürecini bir bütün olarak yorumlanmasına imkân sağlar. Parametrik olmayan yöntemlerden en yaygın kullanılanı Veri Zarflama Analizi yöntemidir. Bu çalışmada da Veri Zarflama Analizi yöntemi kullanılacaktır. Yöntem ile ilgili detaylı bilgiler ilerleyen bölümlerde sunulacaktır [10].



### 3. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ

#### 3.1. Veri Zarflama Analizi Yöntemi

Veri Zarflama Analizi(VZA), doğrusal programlama ilkelerine dayanan parametrik olmayan bir yöntemdir [11]. Aynı türde girdileri kullanarak aynı türde çıktıları üreten karar verme birimlerinin, birbirlerine göre göreceli etkinliklerini ölçmek için Veri Zarflama Analizi yöntemi ortaya çıkmıştır. Veri Zarflama Analizi yöntemi, karar verme birimlerini fonksiyonel bir yapıya gerek duymadan aynı anda değerlendirebilmektedir. Ayrıca bu sayede etkin olan karar verme birimlerini etkin olmayan karar verme birimlerinden ayırabilmektedir. Etkin olan karar verme birimleri içerisinde etkin olmayan karar verme birimleri için referans kümeleri belirleyebilmektedir. Bu nedenle kullanımı yaygınlaşan bir yöntemdir. Bu yöntem, etkin olmayan karar verme birimlerinin neden etkin olmadığına, etkinsizlik kaynağının ve miktarının ne olduğunun çözümünü vermektedir. Bu sayede karar verme birimine, miktar ve kaynağı bilinen etkinsizliğin nasıl giderileceğine dair yol gösterici olmaktadır.

Girdi ve çıktıların ortak bir birimle ifade edilemediği durumlarda Veri Zarflama Analizi kullanımı çok yaygındır. Veri Zarflama Analizinin etkinlik ölçümünün yapılmasında belirleyici olması, etkin olmayan karar verme birimlerinin etkin duruma getirilebilmesi için yapılması gereken işlemler hakkında yol gösterici olması gibi belirgin özellikleri yöntemin en önemli faydalarındandır [12].

Veri Zarflama Analizi, çok sayıda girdi ve çok sayıda çıktı arasındaki ilişkiyi tanımlayan doğrusal programlamaya dayalı bir analiz yöntemidir [13]. Veri Zarflama Analizi ile genel olarak kabul görmüş etkinlik ölçüm yöntemlerinin gerektirdiği birtakım varsayım ve kısıtlamalar olmadan karar verme birimleri için etkinlik analizi yapılabilmektedir. İstatistiksel yöntemler, merkezi eğilim ölçüleri yaklaşımı ile karar verme birimlerini ortalama bir karar birimini baz alarak göreceli olarak değerlendirmektedir [14]. Veri Zarflama Analizi yöntemiyle ise her bir üretici için etkinlik, en iyi üreticiyi referans alarak göreceli olarak değerlendirilmektedir. Çok sayıda girdi ve çıktının var olduğu bir sistemden, gözlemlenen en iyi uygulamayı ön plana çıkararak homojen yapıdaki her karar birimi için tek bir genel karşılaştırma ölçütü sağlamak Veri Zarflama Analizi yönteminin esasını

oluşturmaktadır [15]. Veri Zarflama Analizi metodu aynı girdi ve çıktı birimlerine sahip olan karar verme birimlerinin göreceli etkinliğini ölçmek için kullanılan parametrik olmayan bir yöntemdir. Bu yöntem ile her bir karar verme birimi için oluşturulan matematiksel modeller doğrusal programlama tekniği ile çözülür ve buradan elde edilen sonuçlarla karar verme birimlerinin etkinlik skorları bulunur. Etkinlik skoru sonucu 1 olan karar verme birimleri etkin karar verme birimi olarak adlandırılırken, etkinlik skoru sonucu 1'den farklı olan karar verme birimleri etkinsiz karar verme birimi olarak adlandırılırlar. Buradan hareketle etkin olmayan olarak belirlenen karar verme birimleri için iyileştirmeler yapılabilir. Bulunan referans kümeleri baz alınarak etkin olmayan karar verme birimleri etkin hale getirilebilir.

Benzer girdiler kullanarak benzer çıktılar üretebilen, girdiyi çıktıya dönüştürmeyi başaran birimlere karar verme birimi denmektedir. Karar verme birimleri pek çok farklı değer olarak ele alınabilir. Örneğin, karar verme birimleri; kurum, departman, işletme, okul, sağlık kurumu vb. olabildiği gibi tek bir kurumun girdi ve çıktılarının yıl bazında alınan değerleri de olabilir. Veri Zarflama Analizi ile esas amaç incelenmeye karar verilen karar verme birimleri arasında minimum girdi kullanılarak maksimum çıktıyı elde eden en iyi karar verme birimlerinin bulunabilmesidir [16].

Veri Zarflama Analizinde karar verme birimleri için girdi ve çıktı kümeleri yoluyla en iyi performansa sahip olan karar verme birimleri oluşturulur. Bu karar verme birimleri kullanılarak etkin üretim sınırı oluşturulur. Bu oluşturulan etkin sınır üzerinde olmayan karar verme birimlerinin etkinlik değerleri yine bu etkin sınıra göre belirlenmektedir. Bu analiz sonucunda, elde edilen etkin üretim sınırının tüm karar verme birimlerini sarması sebebiyle yöntemin adı Veri Zarflama Analizi olarak belirlenmiştir ve etkin karar verme birimlerinin meydana getirdiği kümeye referans kümesi denilmektedir. Etkin olmayan karar verme birimlerinin etkin hale getirilmesi için referans kümesindeki etkin birimler kullanılmaktadır.

Veri Zarflama Analizinin kullanılabilmesi için benzer organizasyona sahip aynı kararların uygulandığı karar verme biriminin seçilmesi gerekmektedir [17]. Girdi ve çıktı sayısının çok olması VZA modelinin ayırıştırma yeteneğinin çok olmasını sağlamaktadır. Bu nedenle çok sayıda girdi ve çıktı elemanı seçilmelidir. Ancak her karar verme birimi için kullanılacak olan girdi ve çıktı elemanları seçilmiş olmalıdır [18]. Bu zamana kadar Veri Zarflama Analizi kullanılarak pek çok çalışma yapılmıştır. Veri Zarflama Analizinin klasik verimlilik ölçme analizlerindeki tek girdi ve tek çıktı üzerine kurulmuş ölçümünü değiştirerek çok girdi

ve çok çıktı ile de uygulanabilir olması kullanım açısından önem kazanmasını sağlamıştır. Ayrıca veri zarflama analizi pek çok alanda uygulanmıştır. Bu alanlara örnek verilecek olursa; hastaneler, bankalar, havaalanları, üniversiteler, tarım sektörü, taşımacılık ve ulaşım sektörü, elektrik gibi pek çok örnek sıralanabilir.

Veri Zarflama Analizi, karar verici için birden çok karar noktasının olduğu durumlarda kullanılan önemli bir analiz metodudur. Veri Zarflama Analizi, bu karar noktalarının etkinliklerini tahmin eder ve karar vericiye kararını bu etkinlikler ölçüsünde şekillendirmesi açısından yol gösterici olur. Karar verici için karar verme birimlerinin etkinlik skorları çok önemlidir ve bu durumda karar vericinin etkinliği daha az olan karar verme birimleri için nasıl iyileştirmeler yapılabileceği açısından da Veri Zarflama Analizi yol göstericidir.

### **3.2. Veri Zarflama Analizinin Uygulama Aşamaları**

Veri Zarflama Analizi uygulaması belli başlı birkaç adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar sıralanacak olursa aşağıdaki şekilde olacaktır.

- Karar verme birimlerinin seçilmesi
- Modele dâhil edilecek girdilerin ve çıktılarının seçilmesi
- Çalışmada kullanılması planlanan verilerin elde edilebilir olması ve ulaşılan verilerin güvenilir olması
- Veri Zarflama Analizinde kullanılacak modelinin belirlenmesi ve bu sayede etkinliğin ölçülmesi
- Etkinlik değerlerinin bulunması
- Referans kümelerinin bulunması
- Etkin olmayan karar verme birimlerinin belirlenmesi ve bu karar verme birimleri için iyileştirmelerin belirlenmesi
- Sonuçların değerlendirilmesi ve yorumlanması

#### **Karar verme birimlerinin seçimi**

Veri Zarflama Analizinde karar verme birimlerinin seçilmesi temel ve en önemli adımlardan biridir. Analiz uygulanmadan önce yapılacak olan ilk adım, birbirine benzer girdiler ile benzer çıktılar üretebilen bir sistemin değerlendirmeye alınmasıdır. Karar verme birimleri,

kullandıkları girdiler ve ürettikleri çıktılar açısından benzer olmalıdır. Daha açıklayıcı olarak aktarılsa, karar verme birimleri, aynı girdi ve çıktı kombinasyonlarını değerlendirebilir olmalıdırlar. Uygulanacak çalışmaya ait karar verme birimlerinin ne tür olacaklarının seçimi çalışmadan çalışmaya farklılık gösterir. Bu seçim çalışmanın amacını ve kapsamını etkileyecektir. Bunun yanında tüm karar verme birimleri için benzer bir kaynak seti olmalıdır.

Ayrıca çalışmadan verimli bir sonuç alınması ve oluşacak etkinlik sınırı tahminlerinin anlamlı olması için çalışmada kullanılacak olan karar verme birimi sayısının yeterli olması gerekmektedir. Uygulamada genellikle, analizin sonucunun anlamlı çıkabilmesi için karar verme birimi sayısının, ele alınacak girdi ve çıktı değişkenleri sayılarının toplamının en az iki ya da üç katı olarak seçilmesi gerektiği kabul görmektedir. Ancak başka bir savunmaya göre de karar verme birimi sayısı en az girdi ve çıktı değişkenleri sayılarının toplamının bir fazlası olmasıdır. Analizden verimli bir sonuç alabilmek, büyük bir karar verme birimi topluluğu oluşturarak analizi uygulamakla doğru orantılıdır. Büyük bir karar verme birimi topluluğu oluşturularak analizi uygulamak, girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkinin daha iyi analiz edilmesi ve bu ilişkinin daha iyi anlaşılması anlamına gelmektedir.

Tüm bunların yanında bütün karar verme birimleri benzer çevre şartlarında bulunuyor ve çalışıyor olmalıdır çünkü dış çevre, analizi yapılacak olan işletmenin, kurumun, alanın vb. etkinliği üzerinde önemli bir rol oynamaktadır.

Dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri de zaman periyotlarıdır. Çalışmaya zaman periyotları dâhil edilirken, uzun periyotların kendi içlerinde oluşabilecek önemli değişiklikleri göstermeyebileceği, kısa periyotların ise karar verme birimlerinin etkinlik durumları hakkında net bir fikir veremeyebilecekleri göz önünde bulundurulmalıdır.

#### Modelde kullanılacak girdilerin ve çıktıların seçilmesi

Veri Zarflama Analizi uygulanırken, analiz sonuçlarının değer görmesi ve anlamlı olması açısından karar verme birimleri seçiminden sonra uygulanacak en önemli aşaması modelde kullanılacak girdi ve çıktı değişkenlerinin seçimidir.

Veri Zarflama Analizinde girdi ve çıktı değişkeni seçiminde önemli olan noktalardan biri tüm karar verme birimleri için ortak faktörlerin olması gerektiğidir. Bunun yanında, seçilen

girdi ve çıktı değişkenlerinin incelenmek istenen tüm faaliyet seviyelerini ve performans ölçütlerini kapsamaları gerekmektedir. Ayrıca seçilen girdi ve çıktı değişkenleri, ölçülebilir fiziksel ve ekonomik tüm kaynakları içeriyor olmalıdır. Aynı karar verme birimleri için farklı girdi ve çıktı değişkenleri kullanılarak farklı analiz sonuçları ve farklı etkinlik değerleri elde edilebileceğinden girdi ve çıktı değişkenleri seçilirken analizi uygulamadaki amaca uygun olarak seçim yapılmalıdır.

Çalışmanın modeli oluşturulurken önemli bir değişkenin dikkate alınmaması, bu değişkeni kullanan karar verme birimlerinin etkinlik skorlarını etkileyecek ve bu karar verme birimlerinin etkinsiz olarak adlandırılmasına ya da etkinlik skorunun düşük çıkmasına neden olacaktır. Bunun yanında, modele çok sayıda girdi ve çıktı ilave edilmesi ise veri zarflama analizinin etkin olan ve olmayan karar verme birimlerini ayırma yeteneğinin düşmesine sebep olmaktadır. Çalışmaya çok fazla girdi ve çıktı eklenmesi karar verme birimlerinin etkin olma durumuna yaklaşması anlamına gelmektedir. Eğer bu şekilde girdi ve çıktı sayısı artırılarak karar verme birimlerinin etkinliği ölçülürse hemen hemen tüm karar verme birimleri etkin olarak ortaya çıkacaktır. Bu da karar verme birimlerinin etkin olup olmama durumunun belirlenmesinde ve etkinlik skorlarında hataya yol açmaktadır. Eğer girdi ve çıktı sayısının artırılmasına karar verildiyse buna paralel olarak çalışmaya dâhil edilecek karar verme birimlerinin sayılarının da artırılması gerekmektedir.

#### *Çalışmada kullanılacak veri kümesinin elde edilebilirliği ve ulaşılan veri kümesinin güvenilirliği*

Veri Zarflama Analizi çalışmalarında girdi ve çıktı belirleme aşaması ilk aşamalardandır. İlgili girdi ve çıktılar belirlendikten sonra tüm karar verme birimleri için veri kümesi elde edilmelidir. Herhangi bir karar verme birimi için gerekli veri kümesinin elde edilemediği durumlarda söz konusu karar verme biriminin çalışmayı yanlış yönlendirmemesi bakımından veri kümesinden çıkarılması gerekmektedir. Bu nedenle, veri kümesine ulaşıp ulaşılamaması da dikkate alınarak girdi ve çıktı seçimi yapılması oldukça önemlidir [19].

Veri Zarflama Analizi yapılırken veri kümesinin derlenmesinin yanında buna bağlı olarak verilerin ve veri kümesinin güvenilirliği de ön plana çıkmakta ve önem kazanmaktadır. Güvenilir olmayan veri seti, çalışmayı amacından saptırabilir ve yanlış sonuçlar verebilir. Karar verme birimlerinin etkinlik skorlarında da hataya yol açacağından hem verisi yanlış

olan karar verme biriminin skorunu hem de diğerkarar verme birimlerinin skorlarını etkiler ve sonuçları tartışmalı hale getirir [19].

### Veri zarflama analizinde modelinin belirlenmesi ve etkinliğin ölçülmesi

Veri Zarflama Analizi uygulamalarında, karar verme birimleri ile girdi ve çıktılarının seçimi yapıp güvenilir bir veri seti oluşturulduktan sonra model seçimi aşamasına gelinir. Model seçiminin yapılması etkinliğin ölçülmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Araştırmacı, analizini doğru uygulanabilmesi açısından araştırmanın amacına uygun olan düzgün Veri Zarflama Analizi modeli seçimini yapmalıdır.

Veri Zarflama Analizinde iki model grubu vardır. Bunlar, girdiye yönelik model ve çıktıya yönelik modellerdir. Ancak bu model gruplarına ek olarak bir de toplamsal model vardır. Burada girdi odaklılık, çıktı miktarlarının sabit tutularak girdi miktarlarında meydana gelecek değişimlerin incelenmesi; çıktı odaklılık ise girdi miktarlarının sabit tutularak çıktı miktarlarında meydana gelecek değişimlerin incelenmesi olarak tanımlanabilir. Toplamsal model ise, bu iki çeşit odaklanmayı da beraber değerlendiren model olarak tanımlanabilir. Model seçimine karar verirken, girdiler üzerinde kontrol azsa ya da yoksa çıktı odaklı bir model; çıktılar üzerinde kontrol azsa girdi odaklı bir model kurulması uygun olabilir. Tüm bunlara rağmen bir odak oluşturulamıyorsa toplamsal modelleri kullanmak uygundur denilebilir.

Veri Zarflama Analizinde model seçilirken, kullanım alanlarına ve varsayımlara göre pek çok model oluşturulabileceği öngörülebilir. Model seçiminin ne yönde olacağı ve hangi modelin seçileceği girdi ve çıktılar üzerindeki kontrole bağlıdır.

Model seçimi yapıldıktan sonra Veri Zarflama Analizi uygulaması yapılmalıdır. Bu analizin uygulanabilmesi için farklı pek çok programdan yararlanılabilir. Analiz uygulandıktan sonra uygulama sonucunda etkin olan ve etkin olmayan karar verme birimleri tespit edilebilir. Buna karar vermek için karar verme birimlerinin her birinin etkinlik skoruna bakılmalıdır. Yapılan hesaplamalar sonucunda 0 ile 1 arasında değerler alan etkinlik skorları bulunmalıdır. Burada 1 değerini alan karar verme birimleri etkin olarak değerlendirilirken, 1'den küçük değerler alan karar verme birimleri etkin olmayan karar verme birimleri olarak değerlendirilir. Etkinlik değeri 1 olan karar verme birimleri aynı zamanda etkinlik sınırını



belirler. Etkinlik değeri 1'den küçük olan karar verme birimleri için ise etkinlik değerleri, karar verme biriminin etkinlik sınırına olan uzaklıklarını ifade etmektedir. Etkin olmayan karar verme birimlerinin 1 değerinden sapması bu birimlerin etkinsizlik ölçüsünü vermektedir.

### Referans kümelerinin belirlenmesi

Veri Zarflama Analizinde etkin karar verme birimleri ve etkin olmayan karar verme birimleri belirlenirken çoklu kıyaslamalar yapılmaktadır. Yani tüm karar verme birimleri birbirleriyle kıyaslanarak bir sonuca varılmaktadır. Bu sonuca göre de etkin karar verme birimleri ve etkin olmayan karar verme birimleri belirlenmektedir. Etkin olmayan karar verme birimleri, kendilerini etkin olan karar verme birimlerine benzetmeye çalışırlar. Etkin olmayan karar verme birimleri ancak bu sayede etkin olabilirler. Etkin olmayan karar verme birimlerinin kendilerini benzetmeye çalıştıkları, etkin karar verme birimlerinin oluşturduğu bu küme referans kümesi olarak adlandırılmaktadır.

Herhangi bir referans grubu içinde bulunan karar verme biriminin referans gücü vardır. Referans gücü, referans grubu içinde bulunan etkin karar verme biriminin referans olduğu etkinsiz karar verme birimlerinin sayısı ile ölçülmektedir. Yani etkin bir karar verme biriminin ne kadar sayıda etkinsiz karar verme birimine referans gösterildiği bu etkin karar verme biriminin referans gücünü belirler.

### Etkin olmayan karar verme birimleri için stratejilerin belirlenmesi

Veri Zarflama Analizi etkin olarak kullanıldığında en önemli avantajlarından biri, etkinsiz olarak adlandırılan karar verme birimlerinin referans kümeleri yardımıyla nasıl etkin hale getirilebileceği konusunda yol gösterici olmasıdır. Veri Zarflama Analizinde gözlem kümesindeki tüm karar verme birimlerinin benzerliklerinden yola çıkılır, dolayısıyla etkinsiz olarak adlandırılan karar verme birimlerinin stratejilerini daha etkin bir biçimde oluşturmalarına imkân sağlanmış olur. Bu yöntemin uygulanmasındaki en büyük fayda aslında bu durumdur. Genel olarak stratejilerdeki temel hedef, etkin olmayan karar verme birimlerinin referans kümesinde bulunan etkin birimlerin ağırlıklı ortalamasıdır.

Etkin olmayan karar verme birimlerinin stratejilerini belirlemede onlara yol gösterici olan

referans kümelerindeki etkin birimlerin hedeflerinin genellikle uygulanabilir, ulaşılabilir olduğu düşünülmektedir ve uygulamada durum böyle kabul görürken gerçek hayatta farklılık gösterebilir. Örneğin; etkin olmayan birimlerde bazı kısıtlar olabilir ya da kontrol edilemeyen girdiler olabilir. Bu durumların olması da gerçek hayatta hedefe ulaşılmasında güçlükler çıkarabilir. Analiz uygulanırken bu durumlar da göz önünde bulundurulmalıdır.

### Sonuçların yorumlanması

Karar verme birimleri için elde edilen etkinlik skorları değerlendirilip yapılması gerekli iyileştirmeler ile ilgili bilgiler ortaya konulduktan sonra elde edilen sonuçlar için genel bir değerlendirme yapılabilir. Gözlem kümesinde bulunan etkin olan ve etkin olmayan tüm karar verme birimleri için ortak bulgular araştırılmalıdır. Ayrıca gözlem kümesinin ait olduğu araştırma alanı ile ilgili de genel bilgiler toplanarak sonuçlar hakkında bir değerlendirme yapılması daha uygundur.

Veri Zarflama Analizi ile belirlenen hedeflere ulaşılması durumunda analizin bu hedeflere ulaşılması yolunda sağladığı faydadan yararlanılmış olur. Veri Zarflama Analizi ile istenilen hedefe ulaşamazsa bile elde edilen bilgiler ile çeşitli geliştirmeler ve ileriye yönelik yararlı bilgilendirmeler elde edilmiş olacaktır.

### Veri zarflama analizinin avantajları ve dezavantajları

Veri Zarflama Analizi doğru bir amaçla ve doğru bir biçimde kullanıldığı zaman çok etkin bir uygulama aracıdır. Ancak her uygulamada olduğu gibi Veri Zarflama Analizinin de avantajlı yönleri olduğu kadar dezavantajlı yönleri de mevcuttur. Veri Zarflama Analizinin avantajlı yönleri incelenirse aşağıdaki şekilde açıklamalar yapılabilir.

Veri Zarflama Analizi, çok girdi ve çok çıktıyı işleyecek yetenekte bir analiz yöntemidir. Ayrıca, Veri Zarflama Analizi doğrusal form dışında, girdi ve çıktıları ilişkilendiren bir fonksiyonel forma ihtiyaç duymaz. Veri Zarflama Analizi ile etkinlikleri hesaplanan karar birimleri ortalama etkinliğe sahip karar verme birimlerine göre değil, göreceli olarak tam etkinliğe sahip karar verme birimleriyle kıyaslanabilmektedir. Bu analizde kullanılan girdi değişkenleri ve çıktı değişkenleri çok farklı birimlere sahip olabilirler. Bu durumda, onları aynı biçimde ölçebilmek için çeşitli varsayımlar kullanmaya, dönüşümler yapmaya gerek

yoktur. Tüm bunların yanında, etkinlik ölçümlerinde kullanım alanı olarak yaygın ve önemli bir yere sahip olan Veri Zarflama Analizinin dezavantajlı yönleri de mevcuttur.

Veri Zarflama Analizi, ölçüm hatasına ve değişken seçimine karşı çok duyarlı bir analizdir. Analize dâhil edilen herhangi bir karar verme birimi için girdi değişkenlerinin küçük alınması ya da çıktı değişkenlerinin büyük alınması bu karar verme biriminin etkinlik sınırının biçimini bozmasına yol açabilir. Bu da analiz sonuçlarının ve karar verme birimlerinin etkinlik skorlarının olması gerekenden farklı çıkmasına yol açacaktır. Bu nedenle de her bir karar verme birimi için elde edilecek etkinlik skorları gerçeği yansıtmayacaktır. Bu durumda söz konusu karar verme birimi sadece kendi etkinlik skorunu değil diğer karar verme birimlerinin etkinlik skorlarını da etkileyecektir. Veri Zarflama Analizi parametrik olmayan bir ölçüm metodu olduğu için sonuçlara istatistiksel hipotez testlerinin uygulanması zorluk oluşturmaktadır. Veri Zarflama Analizi bir tek dönemdeki karar verme birimleri verileri arasında bir kesit analizi yapmaktadır. Dolayısıyla analiz sonucunda her karar verme birimi için tek bir etkinlik skoru elde edilmektedir ve bu skorun istatistiksel özelliklerinin elde edilmesi güçtür. Veri Zarflama Analizi uygulanırken her bir karar verme birimi için ayrı bir doğrusal programlama modelinin çözümü gerekmektedir. Bu da büyük boyutlu problemlerin veri zarflama analizi ile çözümünün, hesaplama açısından zaman alıcı olabilmesine neden olmaktadır.

### **3.3. Veri Zarflama Analizi Yöntemleri**

Veri Zarflama Analizi, doğrusal programlama tabanlı matematiksel bir analiz yöntemidir. Bu analiz doğrusal programlamanın geliştirilmiş halidir denilebilir. Dolayısıyla Veri Zarflama Analizi doğrusal programlamanın tüm özelliklerini taşımaktadır. Veri Zarflama Analizi modelleri, birtakım kısıtlamalara bağlı olarak amaç fonksiyonunun maksimize edilmesi ya da minimize edilmesi şeklinde oluşmaktadır [20].

Veri Zarflama Analizi yöntemi iki yönlü olarak kullanılabilir. Bunlar; girdiye yönelik modeller ve çıktıya yönelik modellerdir. Girdiye yönelik modeller; genel anlamda belirli bir çıktı kümesini en etkin şekilde üretebilmek için kullanılacak en uygun girdi kümesinin nasıl olması gerektiğini araştırmaktadır. Çıktıya yönelik modeller ise, belirli bir girdi kümesi ile en fazla ne kadar çıktı kümesi elde edilebileceğini araştırmaktadır. Yani belirlenen bir girdi kümesi için etkin olmayan karar verme birimlerinin etkin hale getirilebilmesi için

çıktıların ne kadar artırılması gerektiğini belirlemeye çalışır. Amaç çıktıların maksimize edilmesidir [21]. Doğrusal programlama problemlerinin çözümüne dual ve primal modeller ile çözüm sağlanabilir. Bu iki çözüm modelinin de aynı sonucu verdiği bilinmektedir.

Dualite problemi, verilen bir primal doğrusal programlama probleminden matematiksel işlemle türetilen yeni bir doğrusal programlama problemidir. Dual ve primal problemler birbirleriyle çok yakın ilişkili olup, herhangi birisinin optimal çözümü doğrudan diğerinin optimal çözümünü vermektedir. Primal-dual geçişinde primal problemde amaç maksimizasyon ise, dual problemde amaç minimizasyon olmaktadır. Doğrusal programlama problemlerinde dualite yöntemi kullanılmasının en önemli nedeni primal probleme göre dual problemin bazı durumlarda daha az hesaplama gerektirmesi ve önemli ek yorumlar verebilmesidir [22].

Veri Zarflama Analizinde iki tip model vardır. Ayrıca bu modeller girdiye yönelik ve çıktıya yönelik olarak da değerlendirilerek sınıflandırılırlar.

### **3.3.1. Charnes Cooper Rhodes modeli**

Veri Zarflama Analizi (VZA), ilk olarak 1978’de Charnes, Cooper ve Rhodes’un “European Journal of Operational Research’de” yayınlanan makaleleri ile ortaya çıkan bir yöntemdir. VZA kurumlarda etkinliğin ölçülmesinde ve performans değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılan verimli bir yöntemdir [23].

Veri Zarflama Analizinin ilk önerilen modeli Charnes Cooper Rhodes (CCR) modelidir. Bu model ile ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında teknik etkinliğin ölçülmesi amaçlanmaktadır. Bu tip Veri Zarflama Analizi modellerinde etkinlik sınırı orijinden başlayıp, etkin olan karar verme birimlerinden geçen bir doğru ile gösterilmektedir. Charnes Cooper Rhodes modeli girdi yönlü ve çıktı yönlü olmak üzere iki şekilde tanımlanabilmektedir [24].

Girdi yönlü CCR modelinde  $\Theta^*$  etkinlik skoru olmak üzere,

$\Theta^* = 1$  ise ve artıklar sıfırsa bu karar verme birimi etkindir.

$\Theta^* < 1$  ise bu karar verme birimi etkin değildir.

Çıktı yönlü CCR modelinde ise;

$\Theta^* = 1$  ise ve artıklar sıfır ise bu karar verme birimi etkindir.

$\Theta^* > 1$  ise bu karar verme birimi etkin değildir [25].

### Girdiye yönelik Charnes Cooper Rhodes modeli

Girdi yönlü CCR modeli, çıktılar sabit tutulurken, girdi miktarının azaltılması yani herhangi bir çıktı düzeyi için etkin olmayan karar verme birimlerinin girdilerini ne derece azaltmaları gerektiğini belirlemeye çalışan modellerdir. Bu modeller primal ve dual model olarak iki yönlü elde edilebilirler. Ancak VZA'da karar verme birimlerinin sayısı(n) girdi(m) ve çıktılarının(s) sayıları toplamından(m+s) fazladır. Bu nedenle primal modelde n tane sınırlama olmasına karşın, dual modelde m+s sınırlama olması dualin çözülmesini kolaylaştırır. Dual modelin çözümlerini yorumlamak primalin çözümlerini yorumlamaktan daha kolaydır [25]. Bu nedenle dual model aşağıdaki gibi olacaktır.

Dual Model;

$$\text{Min } \theta k - \varepsilon [\sum_{r=1}^s s_{rk}^+ + \sum_{i=1}^m s_{ik}^-] \quad (3.1)$$

Kısıtlar;

$$-\sum_{j=1}^n \lambda_{jk} x_{ij} + \theta k x_{ik} - s_{ik}^- = 0 \quad (3.2)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_{jk} y_{rj} - s_{rk}^+ = y_{rk} \quad (3.3)$$

$$\lambda_{jk} \geq 0$$

$$r=1, \dots, s$$

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

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

$$s_{rk}^+ \text{ ve } s_{ik}^- \geq 0$$

$\varepsilon: 10^{-6}(0,000001)$  gibi küçük bir sayı,

$s_{rk}^+$ : k karar biriminin r'inci çıktısına (arttırılması mümkün olan) ait atıl değer(yeterli miktarda üretilmeyen çıktı),

$s_{ik}^-$ : k karar biriminin i'inci girdisine (azaltılması mümkün olan) ait atıl değeri(fazla miktardaki kontrol edilebilen girdi) ifade etmektedir.

Dual modelde bir karar birimi göreceli olarak tam etkin tanımlanabilmesi için etkinlik oranı

1'e eşit olmalı ( $\theta = 1$ ), aylak değişkenler ise sifıra eşit olmalıdır ( $s^+ = 0, s^- = 0$ ). Etkinlik oranları 1 olan fakat aylak değişkenleri sıfır olmayan birimler zayıf etkinliğe sahiptirler. Bu birimlerde belirli girdiler azaltılarak veya çıktılar artırılarak tam etkinlik sağlanabilir.

Bu modellerde  $s$  çıktı sayısını,  $m$  girdi sayısını,  $n$  ise karar verme birimi sayısını gösterir. Dual modelde görüldüğü üzere, etkinliğin hesaplanması istenilen KVB'nin, çıktıların ağırlıklı ortalamasının maksimize edilmesi hedeflenmiştir. Kısıtlarda ise etkinliği ölçülmek istenen KVB'nin girdilerinin ağırlıklı ortalamasının 1 olması sağlanmak istenmiştir. Sonraki kısıt ise tüm karar verme birimleri için çıktı kümelerinin ağırlıklı ortalamasının girdi kümelerinin ağırlıklı ortalamasından küçük olmasını sağlamıştır. Böylece çıktı/girdi oranı her bir karar verme birimi için en fazla 1 olabilmektedir. Bu sayede bir KVB için optimum çıktı ortalaması en fazla 1 olabilmektedir.

#### Çıktıya yönelik Charnes Cooper Rhodes modeli

Çıktıya yönelik modellerde, etkinliği hesaplanmak istenilen KVB'nin, girdi kümesinin ağırlıklı ortalamasının minimize edilmesi amaçlanmaktadır. İlgili modele kısıtlar eklenerek etkinliği hesaplanmak istenilen KVB'nin çıktı kümesinin ağırlıklı ortalamasının 1 olması ve daha sonra tüm KVB'ler için çıktı kümesinin ağırlıklı ortalamasının girdi kümesinin ağırlıklı ortalamasından küçük olması amaçlanmaktadır. Böylece çıktı/girdi oranı her bir karar verme birimi için en az 1 olabilir. Buradan hareketle bir KVB için optimum çıktı ortalaması en az 1 olabilmektedir. Girdi yönlü CCR modeli ile etkin bulunan bir karar verme birimi çıktı yönlü CCR modelinde de etkin bulunmaktadır. Aralarında ilişki incelendiğinde  $\Theta^* = 1/\Theta^*$  olduğu görülmektedir. Ayrıca girdi yönlü CCR modeliyle bulunan  $\lambda_j$ 'lerin bölünmesiyle çıktı yönlü CCR modelindeki  $\lambda_j$  değerlerine ulaşılır [24].

### **3.3.2. Banker Charnes Cooper modeli**

CCR modelinin varsayımlarında değişiklik yapılarak elde edilmiş bir modeldir. Bu model temelde ölçeğe göre değişken getiri varsayımına dayanır. Banker-Charnes-Cooper tarafından geliştirilmiştir. BCC modelini kullanarak tüm karar birimleri için ölçeğe göre getiri tipi de belirlenebilir. BCC sınırı her zaman CCR sınırının altında yer alır. Bu yüzden CCR etkinlik skoru, BCC etkinlik skorundan küçük veya ona eşit olacaktır.

Banker vd. (1984) tarafından önerilen Banker Charnes Cooper-BCC modeli, ölçüğe göre değişen getiri varsayımı altında karar verme birimlerinin etkinliğini ölçmektedir. Bu modelde, CCR modelinden farklı olarak sadece zarflama modeline konvekslik kısıtı eklenmektedir [24].

$\Theta^*$  etkinlik skoru olarak tanımlanırsa;

Girdi yönlü BCC modeli için;

$\Theta^* = 1$  ise ve artıklar sıfırsa bu karar verme birimi etkindir,

$\Theta^* < 1$  ise bu karar verme birimi etkin değildir.

### Girdiye yönelik Banker Charnes Cooper modeli

Girdi yönlü BCC modeli, aynı çıktı miktarını kazanabilmek için minimum girdi düzeyini araştıran BCC modelidir. Girdi yönlü BCC modelinde, girdi yönlü CCR modeline aşağıdaki konvekslik kısıtı eklenir. Buna göre incelenen sıfırıncı karar verme birimi için girdi yönlü BCC modeline ulaşılır [24].

Dual Model;

$$\text{Min } \theta_k - \varepsilon [\sum_{r=1}^s s_{rk}^+ + \sum_{i=1}^m s_{ik}^-] \quad (3.4)$$

Kısıtlar;

$$-\sum_{j=1}^n \lambda_{jk} x_{ij} + \theta_k x_{ik} - s_{ik}^- = 0 \quad (3.5)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_{jk} y_{rj} - s_{rk}^+ = y_{rk} \quad (3.6)$$

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

$$\lambda_{jk} \geq 0$$

$$r=1, \dots, s$$

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

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

$$s_{rk}^+ \text{ ve } s_{ik}^- \geq 0$$

BCC zarflama modelinin CCR zarflama modeline göre sahip olduğu tek fark  $\lambda$ 'ların (ağırlıkların) toplamının 1'e eşit olduğu kısıttır ( $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ ). Bu durum, CCR modelinde

KVB'lerin ölçek etkinliğine sahip olma kısıtını ortadan kaldırmaktadır. Kısıtın kaldırılması sonucunda BBC modelinde ölçeğe göre değişken getiri olanaklı hale gelmekte ve her KVB'nin yalnızca saf teknik etkinliği ölçülmektedir. Buna konvekslik kısıtı denilmektedir ve  $\lambda$ 'ların hepsinin etkin sınır toplamını oluşturması gerektiğini ifade etmektedir.

#### Çıktıya yönelik Banker Charnes Cooper modeli

Çıktıya yönelik modeller, mevcut girdi seviyesini kullanarak üretilebilecek maksimum çıktı seviyesini belirleyen modellerdir. Diğer bir deyişle bu modeller girdi seviyesini sabit tutmak koşuluyla çıktı seviyesinin ne kadar artırılacağı konusunda hedefler belirleyen modellerdir. Çıktı yönlü BCC modelinde, CCR modelinden farklı olarak zarflama modeline  $\lambda$ 'ların toplamını 1'e eşitleyen bir kısıtın, çarpan modeline ise  $b_k$  değişkeninin ilave edilmesidir. Buradaki amaç ölçeğe göre sabit olmayan getiriyi sağlamaktır.

Eğer bir karar verme birimi hem CCR modelinde, hem de BCC modelinde tam etkin (%100) olarak belirlenirse, söz konusu karar biriminin en üretken ölçek büyüklüğünde hizmet verdiği kanıtlanmış olur. Karar biriminin BCC modeline göre tam etkin, CCR modeline göre etkin çıkmaması durumunda ise, söz konusu karar biriminin yerel olarak etkin çalıştığı, ancak genel olarak etkin çalışmadığı anlaşılacaktır [25-27;29]. Bu ayrıştırma, etkin olmamanın işletim sorunlarından mı (teknik etkinlik), yoksa karar biriminin içinde bulunduğu dezavantajlı şartlardan mı (ölçek etkinliği) ya da her iki sebepten de mi kaynaklandığı konusunda bilgi vermesi açısından büyük önem taşımaktadır [30].



## 4. STOKASTİK SINIR ANALİZİ

### 4.1. Stokastik Sınır Analizi Kavramı

Stokastik Sınır Analizi(SSA) aşağı yukarı eş zamanlı olarak iki makalenin yayınlanmasıyla ortaya çıkmıştır. Bu makalelerden biri Meeusen ve Van den Broeck(1977) tarafından diğeri ise Aigner, Lovell ve Schmidt(1977) tarafından yayınlanmıştır. Aigner, Lovell ve Schmidt tarafından yazılan makale biri Aigner tarafından yazılan diğeri Lovell ve Schmidt tarafından yazılan iki makalenin birleştirilmiş versiyonudur (1977). Meeusen ve Van den Broeck ve Aigner, Lovell ve Schmidt makalelerinden sonra Battese ve Corra (1992)tarafından Stokastik Sınır Analizi ile ilgili üçüncü bir makale ortaya çıkmıştır [31-33].

Stokastik Sınır Analizi, ekonometrik metotların kullanımını içeren, sınır fonksiyonlarını tahmin etmek ve bu suretle üretimin etkinliğini ölçmek için kullanılan bir yaklaşımdır. Stokastik Sınır Analizi yaklaşımı, maliyet, kâr ve üretim gibi açıklanan değişkenlerle; girdi, çıktı ve çevresel faktörler gibi açıklayıcı değişkenler arasında işlevsel bir ilişki kurmakta ve hata terimine modelde yer vermektedir [34].

Stokastik sınır modellemesi ve etkinlik ölçümünün başlangıç noktası Farrell tarafından ortaya koyulan yaklaşımdır. Farrell, bir karar verme biriminin etkinlik ölçütleri için iki bileşen olduğunu ileri sürmüştür. Bunlardan birisi teknik etkinliktir ve bu, verilen bir girdi setinden maksimum çıktıyı elde etmek için kullanılan bir ölçüttür. Diğer ölçüt ise tahsis etkinliğidir. Bu da girdilerin fiyatlarını veren optimal oranlarda girdileri kullanmak için bir karar verme biriminin kabiliyetini ifade eden bir ölçüttür. Farrell tarafından önerilen bu iki ölçüt toplam ekonomik etkinlik ölçütünü sağlamak için birleştirilmiştir. Aynı zamanda bu etkinlik ölçütleri tamamıyla etkin karar verme birimlerinin üretim fonksiyonlarının bilindiğini varsayar. Oysaki uygulamada üretim fonksiyonu hiçbir zaman bilinemez. Dolayısıyla Farrell, bu fonksiyonun ya Cobb-Douglas biçimine benzer bir parametrik fonksiyon ya da parametrik olmayan parçalı doğrusal teknoloji kullanılarak örnek veriden tahmin edilebileceğini ileri sürmüştür [35]. Üretim fonksiyonunun parametrik olmayan bir doğrusal teknoloji kullanılarak örnek veriden tahmin edilmesi yaklaşımı Charnes ve Cooper gibi bilim adamlarınca ele alınmış ve Veri Zarflama Analizi tekniği geliştirilmiştir. Cobb-Douglas biçimine benzer bir parametrik fonksiyon kullanarak örnek veriden üretim

fonksiyonun tahmin edilmesi yaklaşımı ise Aigner ve Chu tarafından ele alınmış ve daha sonra Stokastik sınır modelinin geliştirilmesi ile sonuçlanmıştır. Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında geliştirilen veri zarflama analizi kullanılarak parametrik olmayan üretim sınırının tahmin edilebileceğinden bahsedilmiştir. Üretim sınırını tahmin etmek için bir diğer yöntem Aigner ve Chu tarafından Cobb-Douglas üretim fonksiyonunun bir formu olarak aşağıdaki gibi ele alınmıştır [36].

$$\ln(y_i) = x_i\beta - u_i \quad (4.1)$$

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

$$\beta=(\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k)' \quad (4.2)$$

Burada  $y_i$ , i. karar verme biriminin çıktısını temsil eder.  $\ln(y_i)$  ise i. karar verme biriminin skaler bir değer olan çıktı değerinin logaritmasıdır;  $x_i$ , (k+1) lik bir satır vektörüdür, bu vektörün ilk elemanı 1 olup geri kalan elemanları i. karar verme birimi tarafından kullanılan k tane girdi miktarının logaritmasıdır.  $u_i$  ise negatif olmayan rastgele değişkendir. Karar verme birimlerinin teknik etkinsizliğiyle ilişkilidir.  $\beta$ , modelde tahmin edilmesi gereken bilinmeyen parametrelerden oluşan ((K+1) x 1) boyutlu bir sütun vektörüdür.

Burada amaç, üretim sınırının yapısını tanımlayan  $\beta$  vektörünün parametrelerinin kestirimlerini elde etmek ve aynı zamanda her bir üreticinin teknik etkinliğinin belirlenmesinde kullanılan  $u_i$ 'nin kestirimini elde etmektir [37]. Birkaç teknik, bu modeldeki bilinmeyen parametreleri tahmin etmek için kullanılabilir.

Aigner ve Chu  $\beta$  tahmininde doğrusal programlamayı kullandığı gibi aynı zamanda karesel programlamanın kullanılabileceğini ifade etmişlerdir [34]. Richmond bazı zamanlar düzeltilmiş sıradan en küçük kareler olarak (MOLS ya da COLS) bilinen bir en küçük kareler tekniğini kullanırken, Afrait  $u_i$ 'lerin gamma dağılımlı rastgele değişkenler olduğunu varsaymış ve en çok olabilirlik metodunu kullanmıştır [37,38]. Schmidt ise eğer  $u_i$  'ler sırasıyla üstel ya da yarı normal tesadüfi değişkenler olarak dağılırsa Aigner ve Chu tarafından ileri sürülen doğrusal ve karesel programlama tahmin edicilerinin en çok olabilirlik tahmin edicileri olduğunu göstermiştir [39].

Yukarıda tanımlanan eşitlikleri içeren model vasıtasıyla,  $x_i$  olarak adlandırılan girdi vektörü mevcut iken, i. firmanın teknik etkinliği tanımlanabilir. Bu firmanın teknik etkinliği, sınır

fonksiyonundan faydalanarak elde edilen gözlenen çıktı değerinin, firmanın potansiyel çıktı değerine oranlanması ile elde edilmektedir. Bu şekilde  $i$ . firmanın teknik etkinliği matematiksel bir formülle aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$TE_i = \frac{y_i}{e^{x_i\beta}} = \frac{e^{x_i\beta - u_i}}{e^{x_i\beta}} = e^{-u_i} \quad (4.3)$$

Teknik etkinlik, çıktı yönlü bir ölçüdür. Eş. 4.3’de yer alan teknik etkinliğe ait matematiksel ifade, teknik etkinliğin Farrell ölçüsü olarak adlandırılır. Bu ölçü 0 ile 1 arasında değer alabilir. Teknik etkinliğin Farrell ölçüsü aynı girdi vektörünü yani aynı girdileri kullanan tamamen etkin olan bir karar verme birimi tarafından üretilebilen çıktı miktarına kıyasla  $i$ . firmanın çıktı büyüklüğünü gösterir. Böylelikle, bu ölçü, karar verme birimleri arası çıktı değerleri açısından nispi kıyaslama olanağı tanımış olur. Eş. 4.3’de yer alan teknik etkinlik değeri, gözlenen çıktı değeri  $y_i$ , sınır çıktı değerinin tahmin edilmiş değeri olan  $e^{x_i\beta}$  ile oranlandığında elde edilir. Sınır çıktı değerinin elde edilmesi için ise,  $\beta$  doğrusal programlama metodu kullanılmalıdır. Burada  $\beta$  tahmin edilirken birtakım sınırlamalar ve koşullar söz konusudur.

Koşullar:

1.  $\sum_{i=1}^N u_i$  ifadesi minimize edilmelidir.
2.  $u_i \geq 0$  ve  $i=1,2,\dots,N$  koşulları sağlanmalıdır.

Eşitlikteki üretim sınırı stokastik olmayan  $e^{x_i\beta}$  ile yukarıdan sınırlanmıştır. Ölçüm hataları ve istatistiksel gürültüden kaynaklanan hataların hesaba katılmamasından olan tüm sapmaların teknik verimsizlikten kaynaklandığının düşünülmesi bu modele yapılan başlıca eleştiridir. Bu sorunun çözülmesi için modele istatistiksel gürültüyü temsil eden başka bir rastgele değişken tanıtılmıştır. Teknik etkinsizliği temsil eden negatif olmayan rastgele hata ve istatistiksel gürültüyü temsil eden simetrik rastgele hatanın bulunduğu bu model, stokastik üretim sınırı olarak bilinmektedir.

## 4.2. Stokastik Üretim Sınırı

Aigner, Lovell ve Schmidt ve Meeusen ve Van den Broeck birbirlerinden bağımsız olarak stokastik sınır üretim fonksiyonu önermişlerdir. Bu yeni denklemde negatif olmayan rastgele

değişken  $u_i$  ye rastgele hatayı göstermesi için  $v_i$  değişkeni eklenmiştir. Bu değişken eklenerek, Eş. 4.1 ve Eş. 4.2'nin beraber temsil ettiği model düzenlenerek, aşağıdaki biçim elde edilmiştir [40,41].

$$\ln(y_i) = x_i \beta + v_i - u_i \quad i= 1,2,\dots,N \quad (4.4)$$

Bu eşitlik Eş. 4.1 ile özdeştir. Bu eşitliğin Eş. 4.1'den tek farkı ise modele istatistiksel gürültüyü açıklamak için rastgele hata  $v_i$ 'nin eklenmiş olmasıdır. Bu rastgele hatalar hava, grev, kaza, şans gibi tesadüfî faktörleri ve ölçüm hatasını içerir.

Eş. 4.4'de yer alan tesadüfî hata  $v_i$ , ölçüm hatasını, havanın, şansın ve benzeri diğer tesadüfî faktörlerin etkileri ile modelde tanımlanmamış girdi değişkenlerinin, toplam etkilerinin, birlikte çıktığı değişkeninin değeri üzerinde oluşturdukları etkiyi yansıtmaktadır. Aigner, Lovell ve Schmidt  $v_{is}$ 'nin bağımsız ve özdeş dağılan sıfır ortalamalı ve  $\sigma^2$  sabit varyansına sahip olan normal rastgele değişkenler olduğunu, bununla birlikte bağımsız ve özdeş dağılan üstel veya yarı normal rastgele tesadüfî değişkenler olan  $u_{is}$ 'den bağımsız olduğunu varsayar [40-41]. Eş. 4.4 ile temsil edilen model, stokastik sınır üretim fonksiyonu olarak tanımlanır, çünkü çıktığı değerleri stokastik (rastgele) değişken  $e^{x_i\beta+v_i}$  tarafından üstten sınırlanır. Rastgele hata  $v_i$  pozitif veya negatif olabilir ve böylece stokastik sınır çıktıları  $e^{x_i\beta}$  ya göre sınır fonksiyonunun belirleyici, rastgele olmayan bölümüne göre değişiklik gösterir.

#### 4.2.1. En çok olabilirlik tahmini

Eş. 4.4'de tanımlanan stokastik sınır üretim fonksiyonundaki  $\beta$  ile ifade edilen parametreler en çok olabilirlik metodu ya da düzeltilmiş sıradan en küçük kareler metodunun Richmond tarafından ortaya konulan, değişik bir biçimi vasıtasıyla tahmin edilebilir [42]. Düzeltilmiş sıradan en küçük kareler metodu, en çok olabilirlik metodu kadar ölçümsel çaba gerektirmemektedir. En çok olabilirlik metodunun ölçümü, olabilirlik fonksiyonunun sayısal maksimizasyonunu gerektirir. En çok olabilirlik tahmincisi, asimptotik olarak, düzeltilmiş sıradan en küçük kareler tahmincisinden daha etkindir. Ancak iki tahmincinin özellikleri sonlu örneklerde analitik açıdan belirlenememektedir. Yarı normal sınır modelinin, sonlu örnek özellikleri, Coelli tarafından yapılan bir Monte Carlo deneyinde incelenmiştir [43]. Bu deney sayesinde, en çok olabilirlik tahmincisinin, toplam varyans terimi içerisinde teknik

etkin olmama etkilerinin payının büyük olması durumunda, düzeltilmiş sıradan en küçük kareler tahmincisinden daha anlamlı ve iyi bir tahminci olabileceği bulunmuştur.

Eş. 4.4'deki modelin parametrelerini en çok olabilirlik yöntemi ile tahmin etmek için bileşik hatayı oluşturan  $v_i$  ve  $u_i$  ile ilgili bazı varsayımlar gereklidir. Bu varsayımlar şu şekilde ifade edilebilir:

$$E(v_i)=0 \quad (\text{Sıfır ortalamalı}) \quad (4.5)$$

$$E(v_i^2)=\sigma_v^2 \quad (\text{Eş varyanslı}) \quad (4.6)$$

$$E(v_i v_j)=0 \text{ bütün } i \neq j \text{ için} \quad (\text{İlişkisiz}) \quad (4.7)$$

$$E(u_i^2)=\text{sabit} \quad (\text{Eş varyanslı}) \quad (4.8)$$

$$E(u_i u_j)=0 \text{ bütün } i \neq j \text{ için} \quad (\text{İlişkisiz}) \quad (4.9)$$

Burada her  $v_i$  her  $u_i$ 'den bağımsız olarak dağılmaktadır ve her iki hata da  $x_i$  açıklayıcı değişkenleri ile ilişkisizdir. Yukarıdaki varsayımlara göre  $v_i$  'ler 0 ortalamalı ve  $\sigma_v^2$  varyanslı bağımsız ve özdeş bir şekilde dağılmış normal rastgele değişkenlerdir. Aynı zamanda deneysel uygulamalarda çok sık rastlanıldığı varsayılan teknik etkinsizlik etkilerinin yarı normal dağılımlı olmasıyla ilgili bir tartışma vardır. Aigner, Lovell ve Schmidt Eş. 4.4 ile tanımlanan model için logaritmik olabilirlik fonksiyonunu elde etmiştir. Eş. 4.4'te  $u_i$  'lerin sıfır noktasında bağımsız ve özdeş dağılan  $N(0, \sigma_u^2)$  ile tanımlanan normal rastgele bir değişkenin kesikli haline sahip olduğu varsayılır. Ayrıca  $u_i$ 'ler, bağımsız ve özdeş olarak dağılmış  $N(0, \sigma_v^2)$  dağılımına sahip  $v_i$ 'lerden de bağımsızdır. Aigner, Lovell ve Schmidt iki varyans parametresi açısından olabilirlik fonksiyonunu açıklamışlardır [44].

$$\sigma_s^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2$$

$$\lambda = \sigma_u / \sigma_v$$

Battese ve Corra ise aşağıdaki  $\gamma$  parametresinin kullanılmasını ileri sürmüştür [45].

$$\gamma = \sigma_u^2 / \sigma_s^2$$

Battese ve Corra'nın böyle bir kullanımı ileri sürmesinin sebebi ise  $\lambda$  parametresi negatif olmayan herhangi bir değer alırken  $\gamma$  parametresinin 0 ile 1 arasında bir değer alıyor

olabilmesidir.  $\gamma = 0$  durumu sınırdan sapmaların tamamıyla gürültüden kaynaklandığını gösterirken  $\gamma = 1$  durumu ise tüm sapmaların teknik etkinsizlikten dolayı olduğunu gösterir. Aynı zamanda  $\gamma$  parametrezasyonu en çok olabilirlik tahminlerini elde etmek için avantajlara sahiptir Çünkü  $\gamma$  parametre uzayı tekrarlı maksimizasyon algoritması için uygun bir başlangıç noktasına göre araştırılabilir.

Battese ve Corra  $\gamma$  parametrezasyonu açısından logaritmik olabilirlik fonksiyonunu aşağıdaki gibi ifade etmişlerdir [45].

$$\ln(L) = -\frac{N}{2} \ln(\pi / 2) - \frac{N}{2} \ln(\sigma_s^2) + \sum_{i=1}^N \ln[1 - \Phi(z_i)] - \frac{1}{2\sigma_s^2} \sum_{i=1}^N (\ln y_i - x_i\beta)^2 \quad (4.10)$$

Burada  $z_i = \frac{(\ln y_i - x_i\beta)}{\sigma_s} \sqrt{\frac{\gamma}{1-\gamma}}$  ve  $\Phi(\cdot)$  standart normal rastgele değişkenin dağılım fonksiyonudur.

$\beta$ ,  $\sigma_s^2$  ve  $\gamma$ 'nın en çok olabilirlik tahminleri Eş. 4.10 ile tanımlanan logaritmik olabilirlik fonksiyonunun maksimumunu bularak elde edilmiştir. En çok olabilirlik tahmin edicileri sürekli ve asimptotik olarak etkindir [44].

### 4.3. Teknik Etkinliğin Tahmini

Stokastik sınır üretim fonksiyonunun ilk önerilişinden sonra, modelin parametreleri tahmin edilmiştir. Buna bağlı olarak piyasayı oluşturan karar verme birimlerinin ortalama teknik etkinliği belirlenmiştir. Teknik etkinlik verilen bir çıktı vektörünün üretiminde minimum girdiyi kullanma yeteneğini ya da verilen bir girdi vektöründen maksimum çıktıyı elde etme yeteneğini ifade eder. Teknik etkinliğin matematiksel beklenen değeri (ortalaması) aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$TE_i = e^{-u_i} \quad (4.11)$$

Eş. 4.11'de yer alan ifade, teknik etkin olmama etkileri için dağılım varsayımları verildiğinde hesaplanabilir. Eğer  $u_{is}$  bağımsız ve özdeş dağılan yarı normal rastgele değişkenler ise, teknik etkinliğin beklenen değeri aşağıdaki şekilde gösterilmektedir

$$[e^{-u_i}] = 2[1 - \Phi(\sigma_s \sqrt{\gamma}) e^{-\gamma \sigma_s^2}] \quad (4.12)$$

Ortalama teknik etkinlik için en çok olabilirlik tahmin edicisi, ilgili parametreler için en çok olabilirlik tahmin edicilerini yerine koyarak, yukarıda yer alan Eş. 4.12 vasıtasıyla elde edilmektedir. Başlangıçta karar verme birimlerine özgü teknik etkinliklerin tahmin edilemediği ileri sürülmüştür. Fakat bu doğru değildir. Örnek karar verme birimlerine özgü teknik etkinlikler tahmin edilebildiğinden ortalama teknik etkinliğin alternatif bir tahmin edicisi, örnek karar verme birimlerine özgü teknik etkinliklerine ait tahmin edicilerin aritmetik ortalamasına eşittir. Fakat bazen örnek karar verme birimleri anlamlı bir şekilde farklı işlem büyüklüklerine sahiptir ya da karar verme birimlerinin popülasyonundan basit rastgele bir örnekleme yöntemiyle örnek karar verme birimleri elde edilemez. Böyle durumlarda aritmetik ortalama en iyi tahmin edici olmayabilir. Her bir karar verme biriminin teknik etkinliğini tahmin etmek için dağılımsal varsayımlar gereklidir.

#### 4.3.1. Teknik etkinsizlik etkilerinin dağılımları

Verilen stokastik üretim sınırının parametrelerinin tahmininde ilk adım teknik etkinliğin öngörülmesidir. Bunu gerçekleştirmek üzere her bir karar verme birimi için hata terimini  $u_i$  ve  $v_i$  olarak ayırmak gerekir. Buda hata teriminin iki bileşeni için dağılım varsayımları gerektirir [45].

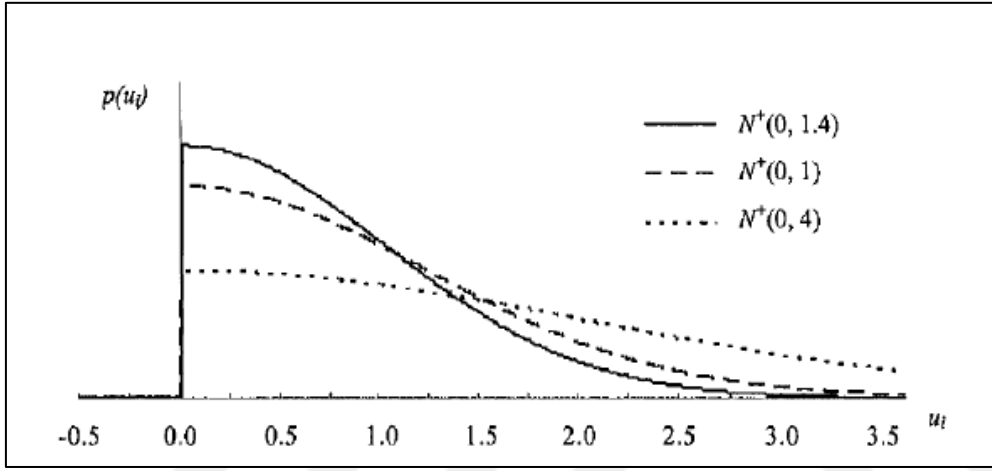
Stokastik sınır modelinde en çok tartışılan konu  $u_i$  teknik etkinsizlik etkisini gösteren hata bileşenin hangi dağılıma sahip olduğudur. İstatistiksel gürültüyü temsil eden  $v_i$  hata teriminin  $u_i$ 'den bağımsız sıfır ortalama ve sabit varyanslı normal dağıldığı varsayılır.  $u_i$ 'nin ise genellikle yarı normal, üstel, kesilmiş normal veya gamma dağılımına uyduğu varsayılır.

#### 4.3.2. Normal-yarı normal model

Eş. 4.4 ile verilen stokastik sınır modeli dikkate alındığında varsayımlar aşağıdaki şekilde olacaktır. Aigner, Lovell ve Schmidt maksimum olabilirlik tahmin edicilerini aşağıdaki varsayımlar altında elde etmişlerdir.

- i.  $v_i \sim iid N(0, \sigma_v^2)$
- ii.  $u_i \sim iid N^+(0, \sigma_u^2)$

Yukarıdaki varsayımlardan birinci varsayım  $v_i$ 'lerin sıfır ortalamalı  $\sigma_v^2$  varyanslı bağımsız ve özdeş dağılmış normal rastgele değişkenler olduğunu ifade ederken ikinci varsayım ise  $u_i$ 'lerin  $\sigma_u^2$  ölçek parametrelili bağımsız ve özdeş dağılmış yarı normal rastgele değişkenler olduğunu ifade eder. Yani ikinci varsayım her  $u_i$ 'nin olasılık yoğunluk fonksiyonu sıfır ortalamaya ve  $\sigma_u^2$  varyansa sahip bir normal rastgele değişkenin kesilmiş bir versiyonu olduğunu ifade eder. Üç ayrı için yarı normal dağılımların olasılık yoğunluk fonksiyonları Şekil 4.1 de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Normal- yarı normal model

#### 4.3.3. Normal-üstel model

Varsayımları aşağıdaki gibidir;

- i.  $v_i \sim iid N(0, \sigma_v^2)$
- ii.  $u_i \sim iid$  Üstel dağılır.  $G(\lambda, 0)$

$v_i$  ve  $u_i$ 'ler birbirlerinden ve açıklayıcı değişkenlerden bağımsız olarak dağılmışlardır.

#### 4.3.4. Normal-gamma model

Varsayımlar aşağıdaki gibidir;

- i.  $v_i \sim iid N(0, \sigma_v^2)$
- ii.  $u_i \sim iid G(\lambda, m)$



$v_i$  ve  $u_i$ 'ler birbirlerinden ve açıklayıcı değişkenlerden bağımsız olarak dağılmışlardır.  $\lambda$  dağılımın ortalaması, m serbestlik derecesidir.  $m=0$  olduğunda gamma yoğunluk fonksiyonu üstel dağılım yoğunluk fonksiyonuna dönüşür.

#### 4.3.5. Normal-kesilmiş normal model

Kesilmiş normal dağılım yarı normal dağılımın genelleştirilmesidir. Bu dağılım  $\mu$  ortalamalı  $\sigma_u^2$  varyanslı normal dağılımın sıfır noktasında kesilmesiyle elde edilir.  $\mu$  önceden sıfır olarak seçilmişse o zaman dağılım yarı normal dağılımlıdır. Kesilmiş normal dağılımlı sınır modeli Stevenson tarafından oluşturulmuştur [46]. Varsayımları aşağıdaki gibidir;

- i.  $v_i \sim iid N(0, \sigma_v^2)$
- ii.  $u_i \sim iid N^+(\mu, \sigma_u^2)$

$v_i$  ve  $u_i$ 'ler birbirlerinden ve açıklayıcı değişkenlerden bağımsız olarak dağılmışlardır. Stokastik sınır modeli ile ilgili ortak bir tartışma konusu da, teknik etkin olmama etkilerini gösteren  $u_i$  için, herhangi bir dağılım biçiminin seçilmesine dair ön açıklama olmamasıdır. Yarı normal ve üstel dağılım keyfi seçimlerdir. Her iki dağılım da sıfır noktasında tepe değerine sahip olduğu için, bu durum etkin olmama etkilerinin yüksek olasılıkla sıfırın komşuluğunda olduğunu göstermektedir. Bu durum, diğer taraftan göreceli olarak yüksek teknik etkinliği de göstermektedir. Uygulamada, etkin karar verme birimleri ile karşılaşmıştır. Ancak, etkin olmayan karar verme birimleriyle de karşılaşmak olasıdır.

Dağılımsal özelliklerin seçimi bazı zaman sayısal uygunluğun meselesidir. Bu mesele ise bazı sınır modellerinin tahmininin bazı yazılım paketlerinde kullanılabilirken diğerlerinde kullanılamaz olmasıdır. Örneğin; FRONTIER 4.1 programı, yarı normal ve kesilmiş normal dağılımlı modelleri tahmin etmek için kullanılabilirken, LIMDEP programı, aynı zamanda üstel ve gamma dağılımlı modelleri tahmin etmek için kullanılabilir. Aynı zamanda teorik değerlendirmeler de dağılımsal özelliğin seçimini etkileyebilir. Örneğin; bazı araştırmacılar yarı normal ve üstel dağılımlardan kaçınırlar çünkü bu dağılımlar sıfır noktasında bir tepe değerine sahiptir. Bu tepe değeri ise birçok etkinsizlik etkilerinin sıfır civarında olduğunu ve teknik etkinliğin ilişkilendirilmiş ölçütlerinin 1 civarında olduğunu ifade eder. Birkaç araştırmacı ise kesilmiş normal ve iki parametrelili gamma dağılımlarını dikkate almıştır. Bu dağılımlar ise sıfır olmayan tepe değerini içeren çok sayıda dağılımsal biçimlere imkân tanır.

Ancak bu durum hesaplama karışıklığının maliyetini ortaya çıkarır. Kesilmiş normal dağılıma sahip model, gamma dağılımına sahip olan modelden daha az hesaplama gerektiren problemine göre zorluk çekmektedir. Kesikli normal dağılım, yarı normal dağılımın genelleştirilmiş halidir. Ortalaması  $\mu$  ve varyansı 2 olan normal dağılımın sıfır noktasında kesişe uğramış hali ile elde edilir. Eğer  $\mu$  daha önceden sıfır olarak tanımlanmış ise, o zaman dağılım yarı normaldir. Dağılım farklı biçimler alabilir. Farklı biçimler alması büyüklük ve  $\mu$  'nün işaretine bağlıdır. Kesikli normal stokastik sınırın tahmini,  $\mu$  parametresi ile birlikte modelin diğer parametrelerinin tahminini içerir. Modelin parametrelerinin en çok olabilirlik tahmini için gerekli olan logaritmik olabilirlik fonksiyonu ilk kez Stevenson tarafından önerilmiştir [46]. Karar verme birimlerinin teknik etkinliklerinin uygun kestirimleri için tanımlamalar Battese ve Coelli'de ortaya konmuştur [47].

Her ne kadar literatürde farklı dağılımlar kullanılmış olsa da Greene ile Ritter ve Simar(1997)  $u_i$ 'nin dağılımı ile ilgili varsayımın sonuçları çok fazla etkilemediğini göstermişlerdir [44-45]. Bu nedenle göreceli olarak daha basit olan dağılımların kullanılmasını tavsiye etmişlerdir.

#### 4.4. Hipotez Testleri

Eş. 4.4'te verilen stokastik sınır modeli için teknik etkinsizlik etkilerinin olup olmadığı test edilebilir. Bu noktada aşağıda gösterildiği gibi boş ve alternatif hipotezler stokastik sınır modeli tahmininde kullanılan parametrezasyona bağlı olarak kurularak değerlendirilmenin ilk adımı gerçekleştirilmiş olur.

$$\begin{aligned} H_0 : \sigma_u^2 &= 0 \\ H_1 : \sigma_u^2 &> 0 \end{aligned} \quad (4.13)$$

$$\begin{aligned} H_0 : \lambda &= 0 \\ H_1 : \lambda &> 0 \end{aligned} \quad (4.14)$$

$$\begin{aligned} H_0 : \gamma &= 0 \\ H_1 : \gamma &> 0 \end{aligned} \quad (4.15)$$

Boş hipotezin kabul edilmesi bütün teknik etkinsizlik terimlerinin sıfır olduğunu ve bütün karar verme birimlerinin etkin olduğunu ifade eder. Normal-yarı normal ve normal-üssel dağılım modelleri durumunda boş hipotez tek bir parametre içeren tek bir kısıtlamadan oluşur. Eğer model maksimum olabilirlik metodu kullanılarak tahmin edilirse bilinen basit Z sınaması kullanılarak bu hipotez test edilebilir. Yukarıda verilen hipotezler birçok test istatistikleri kullanılarak test edilebilir. Bu yöntemlerden birisi Wald istatistiğidir. Wald istatistiği  $\sigma_u^2$ 'nin en çok olabilirlik tahmin edicisinin  $\sigma_u^2$ 'nin tahmin edilmiş standart hatasına oranını içerir. Bu istatistik veya onun çok az değişime uğramış hali, açık veya dolaylı olarak Aigner, Lovell ve Schmidt tarafından ilk uygulanişından beri stokastik sınır modelini içeren neredeyse tüm deneysel analizlerde uygulanmıştır. Aigner, Lovell ve Schmidt, Amerikan ana maden endüstrisinden gelen verilerin analizini modelde uygulandıklarında, Wald istatistiğinin önemsiz bir değere sahip olduğunu bulmuşlardır [46].

Monte Carlo çalışmasını kullanarak, Coelli Wald testinin çok sağlıklı ölçme özelliklerine sahip olduğu sonucuna varmıştır. Coelli yaptığı Monte Carlo çalışmasıyla çalışma başına 0,05 olarak belirlenen 1.tip hata olasılığının 0,20 oranında gerçekleştiğini göstermiştir. Yani bunun anlamı yapılan 100 denemede gerçekte doğru olan  $H_0$  hipotezi 20 kez reddedilmiş demektir. Coelli tek yanlı genelleştirilmiş olabilirlik oran testinin en çok olabilirlik tahmini içerdiğinde uygulanması gerektiğini ortaya koymuştur çünkü bu test kurala uygun ve doğru ölçüye sahiptir [46].

#### 4.4.1. Tek yanlı genelleştirilmiş olabilirlik oran testi

Genelleştirilmiş olabilirlik oran testi Wald testine göre daha güçlü bir testtir ve bu test sıradan en küçük kareler artıklarının üçüncü momentine dayanır. Tek yanlı genelleştirilmiş olabilirlik oran testi, boş ve alternatif hipotezler altında, modelin tahminini gerektirir. Boş hipotez altında,  $H_0: \gamma = 0$  iken, model  $u_i$  teknik etkin olmama etkisi terimi olmayan geleneksel ortalama tepki fonksiyonuna eşittir. Test istatistiği aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$LR = -2\{\ln[ L(H_0) / L(H_1) ]\} = -2\{\ln [ L(H_0) ] - \ln[ L(H_1) ]\} \quad (4.16)$$

Burada  $L(H_0)$  boş hipotez altında ve  $L(H_1)$  ise alternatif hipotez altında logaritmik olabilirlik değerleridir. Eğer  $H_0$  doğru ise, bu test istatistiğinin sınırlama sayısını içeren serbestlik

derecesine eşit, asimptotik dağılan ki-kare rastgele değişkeni olarak dağıldığı varsayılmaktadır. Yine de,  $H_0: \gamma = 0$  boş hipotezini test etmede zorluklar ortaya çıkar. Çünkü  $\gamma = 0$ ,  $\gamma$  için mevcut olan parametre uzayı sınırının üzerinde yer almaktadır. Bu durumda, eğer  $H_0: \gamma = 0$  doğru ise, genelleştirilmiş olabilirlik oran istatistiği LR, ki-kare dağılımlarının karışımı olan bir asimptotik dağılıma sahiptir. Aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [46].

$$LR = \frac{1}{2} \chi_0^2 + \frac{1}{2} \chi_1^2 \quad (4.17)$$

Yani  $H_0: \gamma = 0$  boş hipotezine karşı  $H_1: \gamma > 0$  alternatif hipotezinde kritik değeri hesaplamak zorluk teşkil etmez. Bu durumda  $\alpha$  büyüklüğünde testi sınamak için, kritik değer  $\chi_1^2(2\alpha)$  değerine eşittir. Bu değer  $\chi_1^2$  tesadüfi değişkeni tarafından  $2\alpha$  'ya eşit bir olasılıkla geçilir. Böylece, tek taraflı genelleştirilmiş olabilirlik oran testinin  $\alpha$  büyüklüğünde sınaması aşağıda özetlenmiştir.

Bu sınamanın ifadesi “reddet  $H_0: \gamma = 0$  bos hipotezini  $H_1: \gamma > 0$  alternatif hipotezi lehine genelleştirilmiş olabilirlik oran istatistiği LR  $\chi_1^2(2\alpha)$  değerini aşarsa” gibidir. Bu yüzden  $\alpha = 0,05$  büyüklüğünde testi sınamak için, kritik değer, eğer sınırlama sayısı 1 ise ki-kare dağılımı ile hesaplanan değer olan 3,84 değil, Eş. 4.17. 'deki formülün hesaplanması ile elde edilen 2,71 değeridir.

#### 4.5. Panel Veri Modelleri

Karar verme birimlerinden aynı değişkenlere ilişkin veriler belirli zaman aralıklarıyla tekrarlı olarak gözleniyorsa elde edilen verilere panel veri denir. Eğer, belli bir sayıdaki firma, belli bir süre zarfında gözlemlenirse, o zaman elde edilen veri panel veri olmuş olur. Yani çok sayıdaki firmanın birden fazla zaman periyodu üzerinde gözlemlenmesi durumunda elde edilen veri panel veridir. Panel veri setleri daima kesitsel veri setlerine göre daha fazla gözlem içerir. Stokastik sınır modellerin tahmininde, panel verinin, kesit verisine göre bazı avantajları da vardır. Panel veri;

- Etkinsizlik ve gürültü terimlerinin farklı etkilerini ayırt etmek için gerekli olan bazı güçlü varsayımların hafifletilmesine,

- Bilinmeyen parametrelerin ve teknik etkinliklerin daha tutarlı tahmin edicilerinin elde edilmesine,
- Zamanla olan teknik etkinlikteki değişikliklerin incelenmesine imkân sağlar. Normal-yarı normal modelin panel veriye uyarlanmış hali Eş. 4.18'de verildiği gibi tanımlanır.

$$\ln(y_{it}) = x_{it} \beta + v_{it} - u_{it} \quad i=1, \dots, N, t=1, \dots, T \quad (4.18)$$

$y_{it}$ , i.firmanın t.zamandaki çıktı değeri

$x_{it}$ , (1xk)'lık girdi matrisi

$v_{it}$ , tesadüfi hatadır. Bağımsız ve özdeş dağılır. Ortalaması 0 varyansı  $\sigma_v^2$ 'dir.

$u_{it}$ , teknik etkin olmama etkileridir.  $v_{it}$ 'lerden bağımsızdır. Panel veri modelleri zamanla değişen ve zamanla değişmeyen modeller olmak üzere iki şekilde incelenebilir.

#### 4.5.1. Zamanla değişmeyen modeller

Zamanla değişmeyen etkinlik modeli aşağıdaki şekildedir.

$$y_{it} = \beta_0 + \sum_k \beta_k x_{kit} + v_{it} - u_i$$

$i=1, \dots, N$   
 $k=1, \dots, K$   
 $t=1, \dots, T$  (4.19)

Burada  $i, t$  ve  $k$  alt indisleri sırasıyla firmaları, zaman periyotlarını ve girdileri temsil eder.

$y_{it}$ , t. zaman periyodunda i. firmanın çıktısıdır.

$x_{kit}$ , t. zaman periyodunda i. firmanın k. girdi değeridir.

$\beta$  'lar tahmin edilebilen bilinmeyen parametrelerdir.

$v_{it}$  regresörlerle ilişkisiz ve çoğu kez normal dağılımlı olduğu varsayılan istatistiksel gürültüyü temsil eden rastgele değişkenlerdir.  $u_i$ , teknik etkinsizliği temsil eden negatif olmayan değişkenlerdir ve belli bir model ile tanımlanır.

#### Rastgele Etkiler Modeli

Rastgele etkiler modelinde  $u_i$  'lerin sabit bir ortalama ve varyans ile rastgele bir şekilde dağıldığı ve aynı zamanda bunların hem regresörlerden hem de istatistiksel gürültüden

bağımsız olduğu varsayılmıştır. Etkinsizlik terimi  $u_i$  sadece negatif olmayan değerler alabilir ve  $u_i$ 'nin dağılımı çoğu kez yarı normal, kesilmiş normal, gamma ya da üstel olabileceği varsayılır. Eş. 4.19'daki model üzerinde çok az değişiklik yapılarak bu model yeniden yazılabilir:

$$y_{it} = \beta_0^* + \sum_k \beta_k x_{kit} + v_{it} - u_i^* \quad (4.20)$$

Burada,

$$\beta_0^* = \beta_0 - E(u_i)$$

$$u_i^* = u_i - E(u_i)$$

Rastgele etkiler modeli standart iki aşamalı geliştirilmiş en küçük kareler yöntemi ile tahmin edilebilir. İlk aşamada bütün parametre tahminleri için sıradan en küçük kareler yöntemi kullanılırken ikinci aşamada  $\beta_0$  ve  $\beta_k$  'lar uygulanabilir geliştirilmiş en küçük kareler yöntemi kullanılarak yeniden tahmin edilebilir.  $\beta_0$  ve  $\beta_k$  'lar uygulanabilir geliştirilmiş en küçük kareler yöntemi kullanılarak tahmin edildiği zaman  $u_i^*$  'lar da bu tahminleri kullanan artıklarla tahmin edilebilir.

$$u_i^* = \left( \frac{\partial^2 \hat{u}_i}{\partial v^2 + T \partial u^2} \right) \sum_t \hat{v}_{it} \quad (4.21)$$

Burada  $\hat{v}_{it} = y_{it} - \hat{\beta}_0^* - \sum_k \hat{\beta}_k^* x_{kit}$  dir.

$u_i$  tahminleri ise aşağıdaki eşitlikle elde edilebilir:

$$\hat{u}_i = \max_i \hat{u}_i^* - \hat{u}_i^* \quad (4.22)$$

Eş. 4.22 en az bir gözlemin etkin olabileceğinin dikkate alınmasını sağlar. Bu tahminler N ve T sonsuza gittikçe tutarlıdır. Üretim fonksiyonlarının orijinal terimlerle ya da logaritması alınmış terimlerle oluşturulduğu durumlardaki teknik etkinlik ölçütleri daha önceden bahsedilmişti. Bu formüllerde  $\hat{u}_i$  yerine yazılarak teknik etkinlik ölçütleri hesaplanabilir. Üretim fonksiyonu orijinal terimlerle (logaritması alınmamış terimlerle) oluşturulduğu zaman Battese ve Coelli i. karar verme biriminin teknik etkinliğini aşağıdaki gibi ifade etmiştir [47].

$$TE_i = \left( \frac{x_i \hat{\beta} - u_i}{x_i \hat{\beta}} \right) \quad (4.23)$$

Ancak üretim fonksiyonu logaritması alınmış terimlerle oluşturulduğu zaman teknik etkinlik ölçütü aşağıdaki gibidir. Bu ölçütler 0 ile 1 arasında değerler alır.

$$TE_i = \exp(-\hat{u}_i) \quad (4.24)$$

### Sabit Etkiler Modeli

Sabit etkiler modeli en basit panel veri modelleridir. Bu modelde sadece  $u_i$ 'lerin negatif olmayan değerler olduğu varsayımı yapılmıştır. Ancak rastgele etkiler modelinde  $u_i$  üzerinde yapılan bağımsızlık ya da dağılımsal varsayımlar bu modelde yapılmamıştır. Yani bu model,  $u_i$ 'lerin regresörlerle ya da  $v_{it}$ 'lerle bağımlı olabileceğine olanak tanır.  $v_{it}$ 'lerin regresörlerle ilişkisiz ve 0 ortalamalı ve  $\sigma_v^2$  varyanslı özdeş ve bağımsız olarak dağıldığı varsayılır. Sabit etkiler modeli aşağıdaki gibidir:

$$y_{it} = \beta_{0i} + \sum_k \beta_k x_{kit} + v_{it} \quad (4.25)$$

Burada  $\beta_{0i} = \beta_0 - u_i$  dir.

Gerekli tahminler yapıldıktan sonra teknik etkinlik ise rastgele etkiler modelinde olduğu gibi Eş. 4.23 ve Eş. 4.24'de burada tahmin edilen  $\hat{u}_i$  yerine yazılarak bulunabilir. Sabit etkiler modelinin avantajları; en basit panel veri modeli olması ve tutarlılığın, değişkenlerin bağımsızlığına ya da dağılımına bağlı olmamasıdır. Dezavantajları ise  $u_i$ 'ler sabit etkiler modeliyle tahmin edildiği zaman bu tahminler etkinliğin sadece üretim üzerindeki etkisini değil aynı zamanda çevresel koşullar gibi gözlemler üzerindeki etkisi farklı olan her türlü faktörün etkisini de içermektedir. Bunlar etkinlik oranlarının hesaplanmasında kullanılabilir. Ancak bunun için bütün karar verme birimlerinin bu faktörlerden aynı derecede etkilendikleri varsayımını gerektirir. Bunun da çoğu zaman gerçek bir durum olmamasıdır.

### **4.5.2. Zamanla değişen modeller**

Rekabetçi bir çevrede teknik etkinliğin zamanla değişmeyip sabit olarak kaldığını varsaymak çoğu zaman mantıklı değildir. Yani panel veride zaman periyodu kısa olduğunda teknik etkinliğin zamanla değişmeyen olarak varsayılması mantıklı gibi görülebilirken,

zaman periyodu uzun olduğunda bu varsayım mantıklı değildir. Bu mantıktan hareketle zamanla değişen etkinlik modeli aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$y_{it} = \beta_{0it} + \sum_k \beta_k X_{kit} + v_{it} \quad (4.26)$$

$i=1, \dots, N$   
 $k=1, \dots, K$   
 $t=1, \dots, T$

Burada  $\beta_{0it} = \beta_0 - u_i$  'dir. Burada da amaç diğer modellerde olduğu gibi parametre tahminlerini ve karar verme birimine özel teknik etkinlikleri elde etmektir. Ancak bu modelde kesişim parametresi, eğim parametresi ve  $\sigma_v^2$ 'nin tahmin edilmesi imkânsızdır. Buradan hareketle bu problemden kaçınmak için Cornwell, Schmidt ve Sickles  $\beta_{0it}$  için bir kuadratik form ileri sürmüştür [48]:

$$\beta_{0it} = \theta_{i1} + \theta_{i2} t + \theta_{i3} t^2 \quad (4.27)$$

Burada  $\theta_{ij}$  etkinlik ve zaman arasındaki ilişkiyi belirleyen parametreyi temsil eder. Eş. 4.27'de verilen kuadratik formu ve panel veri yöntemleri kullanılarak Eş. 4.26'daki model tahmin edilebilir. Eğer bağımsızlık ve dağılımla ilgili varsayımların yapılması mümkünse bu durumda model en çok olabilirlik yöntemiyle de tahmin edilebilir.

### Rastgele Etkiler Modeli

Rastgele etkiler modeli zamanla değişmeyen durumdaki gibi aynı yöntemle tahmin edilir. Yani genelleştirilmiş en küçük kareler tahmin edicisi kullanılmıştır ve tutarlılık da etkisizlik terimi, istatistiksel gürültü ve regresörlerin ilişkisizliğine bağlıdır. Zamanı ifade eden T geniş olduğunda bu model zamanla değişmeyen modelle aynı özelliklere sahiptir.

### Sabit Etkiler Modeli

Sabit etkiler modeli iki stratejiye sahiptir. Bunlardan birincisi N/T oranı büyük ise o zaman  $u_{it}$ 'ler Eş. 4.26'dan silinmelidir.  $\beta_k$  'lar artıklardan tahmin edilmelidir. Her bir üreticiye ait  $\theta_{i1}$ ,  $\theta_{i2}$  ve  $\theta_{i3}$  tahminlerini elde etmek için bir sabit, t ve  $t^2$  üzerinde artıkların regresyonunun



yapılması gerektirir. İkincisi ise, N/T oranı küçük ise o zaman  $u_{it}$ 'ler Eş. 4.26 modelinde kalmalıdır.  $\theta_{i1}$ ,  $\theta_{i2}$  ve  $\theta_{i3}$  kukla değişkenler olarak tahmin edilmelidir. Daha sonra  $\beta_{0it}$ 'in tahminlerinin elde edilmesi gerektirir. Teknik etkinlikler ise aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$TE_{it} = \exp(-\hat{u}_{it}) \quad (4.28)$$

$$TE_i = \left( \frac{\bar{x}_i \hat{\beta} - \hat{u}_{it}}{\bar{x}_i \hat{\beta}} \right) \quad (4.29)$$

$$\text{Burada } \hat{u}_{it} = \max_i \hat{\beta}_{0it} - \hat{\beta}_{0it}$$

Bunların dışında diğer panel veri modelleri de mevcuttur. Bu modeller şöyledir; Lee ve Schmidt modeli (1993) [49], Kumbhakar modeli (1990) [50], Battese ve Coelli modeli (1992) [51], Ahn ve arkadaşları (2006) ve Bai (2005) modeli [52], Kneip, Sickles ve Song modeli (2003) [53].

#### 4.6. Stokastik Sınır Analizinin Avantajları ve Dezavantajları

Teknolojik gelişme hızının ve teknik etkinlik düzeyinin ölçülmesinde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılan iki yöntem Veri Zarflama Analizi yöntemi ve Stokastik Sınır Analizi yöntemidir. Veri Zarflama Analizi ve Stokastik Sınır Analizi tekniklerinin temel prensibi aynıdır. İki tekniğinde ortak hedefi organizasyonların etkinlik faaliyetlerini tanımlayan verileri kapsayan ve her bir organizasyonun etkinliğini ölçen optimal bir yöntem kurmaktır [54]. İki yöntemin de çeşitli avantajları ve dezavantajları vardır. Veri Zarflama Analizi yönteminin en önemli üstünlükleri, birden fazla çıktı olduğu durumlarda da kullanılabilmesi ve üretim sınırının biçimine ilişkin belirli bir varsayım gerektirmemesidir. Buna karşın stokastik üretim sınırı yaklaşımında sadece bir çıktı kullanılmakta, birden fazla çıktı olduğu durumda çıktılar toplulaştırılarak kullanılmakta ve üretim sınırına ilişkin belirli bir fonksiyonel biçim, genellikle Cobb-Douglas benzeri olan biçim veya translog fonksiyonel biçimi, varsayılmaktadır. Bu kısıtlarına karşın stokastik üretim sınırı yaklaşımı, sapma gösteren gözlemlerden daha az etkilenmekte ve istatistiksel analize uygun sonuçlar elde edilmesine olanak tanımaktadır. SSA'nın en önemli avantajı sınırdan sapmaların tamamen üretim biriminden kaynaklanmadığı fikrinden esinlenerek istatistiksel hatayı dikkate almasıdır. VZA'da ise rassal hataya yer olmadığı için ölçme

yöntemleri ve verilerdeki gürültü ayıklanmaz ve verilerle ilgili problemler sonuçlara önemli oranda yansır. VZA etkin birimlerin etkinsiz birimlere göre ne kadar etkin olduklarını ortaya koyar, ancak teorik maksimuma göre nerede olduklarını göremez [55]. VZA parametrik olmayan bir teknik olduğu için istatistiksel hipotez testleri için uygun değildir. SSA da ortalama değere göre karşılaştırma yapılırken, VZA ile karar birimleri doğrudan etkin olan bir referans birim ya da referans kümesi ile karşılaştırılır. Buna karşın karar verme birimlerinin teorik maksimuma göre karşılaştırmalarını yapamaz. VZA'nın klasik formülasyonu her karar birimi için ayrı bir doğrusal programlama oluşturduğundan büyük boyutlu problemler yoğun hesaplamalar gerektirmektedir. VZA doğrusal programlama tekniklerini kullanarak çözüme gider. Program doğrusal olduğundan sunulan sınır parçalı doğrusaldır. SSA, tersine, bir regresyon modelinin istatistiksel tahmini yoluyla çözüme ulaşır. Regresyon modeli parametrik olduğundan sunulan sınır düzdür. VZA yalnızca aynı nitelikli karar verme birimlerini kendi aralarında karşılaştırır. Parametrik bir yöntem olan SSA da girdi ve çıktı arasında fonksiyonel ilişki kurulmaktadır. VZA ise parametrik olmayan bir yöntem olduğundan girdi ve çıktı arasında fonksiyonel bir ilişki kurulmasına gerek yoktur. VZA, her ne kadar parametrik olmayan bir yöntem olarak tanıtılsa da, her bir karar birimine göre ayrı ayrı en iyilendiğinden çok fazla sayıda karar değişkeninin hesaplanmasına yol açar. Bu durum serbestlik derecesini oldukça yükseltir.

Karar verme birimleri ileri zamanlar için en uygun girdi ve çıktı miktarlarını belirlemeye çalışmaktadırlar. Fakat gelecekteki durum hiçbir zaman kesin olarak bilinemeyeceğinden yapılacak olan planlar kısmen stokastik bir hal almaktadır. Sonuç olarak bütün bunlar etkinlik analizlerinde ve performans değerlendirmelerinde tesadüfi yapının dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Dolayısıyla stokastik sınır analizi gün geçtikçe uygulamalarda daha çok kullanılan bir yöntem olmaktadır [56].

Stokastik Sınır Analizi, modelde hataya yer veren, hipotez testleri yapılabilen, karar verme birimlerine ait ortalama teknik etkinliklerinden ziyade en iyi teknik etkinlikleri tahmin edebilen, sapma gösteren gözlemlerden daha az etkilenen bir analizdir. SSA, hava, şans, makinenin bozulması gibi tesadüfi değişkenler ve karar verme birimleri tarafından kontrol edilemeyen istatistiksel gürültüler ve ölçüm hatalarını da dikkate alır, bu değişimleri dikkate almayan modellerde ölçüm sınırının yanlış tespit edilmesi mümkündür. Bu nedenlerle SSA verimliliğin, etkinliğin ölçülmesinde tercih edilen bir modeldir.

## 5. UYGULAMA

### 5.1. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmada Stokastik Sınır Analizi ve Veri Zarflama Analizi kullanılarak Türkiye'deki havaalanlarının performansları belirlenmek istenmektedir. İki yöntem ile de Türkiye'de bulunan ve faaliyet gösteren tüm havaalanlarının etkinliği ölçümlenecek ve sonrasında karşılaştırmalar yapılacaktır.

Bu amaçla Türkiye'de faaliyet gösteren 48 adet havaalanı performans değerlendirmeleri yapılmak üzere ele alınmıştır. Türkiye'de faaliyet gösteren 48 havaalanının performansı bu ölçümün modellenmesinde yapı taşı olan personel sayısı, yakıt miktarı ve gelir faktörlerinin oluşturduğu etkinlik bileşkesi olarak adlandırılabilir. Performans ölçümü için belirlenen model iki ayrı modelin birleşiminden oluşmaktadır. Birinci aşamada Türkiye de faaliyet gösteren 48 havaalanı için çıktı değişkeni uçak trafiği olarak ve çıktı değişkeni yolcu trafiği olarak performansların analizi yapılacaktır. Bu aşamada eldeki istatistikler temel alınarak, çıktı değişkeni uçak trafiği olması durumu ve çıktı değişkeni yolcu trafiği olması durumu için 2 ayrı model oluşturulacaktır. İkinci aşamada ise çıktı değişkeni uçak trafiği olması durumu ve çıktı değişkeni yolcu trafiği olması durumu için etkinlik değerleri bulunarak bu etkinlik değerleri yorumlanacaktır.

Bu araştırmada, esas olarak, Türkiye de faaliyet gösteren 48 havaalanının performans değerlerinin VZA ve SSA yöntemleri ile ölçülmesi ve çıkan sonuçlara göre yöntemler arasındaki benzerlik ve farklılıkların değerlendirmesini yapmaktır.

Veri Zarflama Analizi de kullanılarak Türkiye'de bulunan 48 havaalanının etkinlik ölçümleri değerlendirilecektir. Bu amaçla girdi değişkenleri olarak personel sayısı, gelir ve yakıt miktarı kullanılacak olup çıktı değişkenleri olarak uçak trafiği ve yolcu trafiği değerlendirmeye alınacaktır. Amaç minimum girdi ile maksimum çıktıyı elde etmektir. Bu nedenle buna yönelik bir analiz yapılacak olup Veri Zarflama Analizinin çalışmada kullanılma nedeni Stokastik Sınır Analizinden ve Veri Zarflama Analizinden elde edilen sonuçları karşılaştırmaktır.

## 5.2. Veri Zarflama Analizi ve Stokastik Sınır Analizi Literatür Taraması

Literatür araştırmalarında Veri Zarflama Analizi ve Stokastik Sınır Analizi yardımıyla etkinliği ölçen ve bu iki yöntemi mukayese eden birçok çalışma bulunmaktadır. Aşağıda, bu iki analiz yöntemine ilişkin geçmiş yıllarda yapılmış yerli ve yabancı çalışmalardan bazıları yer almaktadır.

Kasman ve Turgutlu, 2007 yılında yaptıkları çalışmada 1999-2005 dönemi için Sigorta şirketlerinin verilerini temel alarak verimlilik ve etkinlik ölçümünü, Stokastik Sınır Analizi ve şans Kısıtlı Veri Zarflama Analizi yöntemlerini kullanarak yapmışlardır. Araştırmadan, kullanılan bu yöntemlerin farklı skorlar verdiği sonucuna varılmıştır.

Chen, 2002 yılında yaptığı çalışmada, Taiwan'da faaliyette bulunan 39 bankanın verilerini ele alarak etkinlik ölçümünü Veri Zarflama Analizi, şans Kısıtlı Veri Zarflama Analizi ve Stokastik Sınır Analizi yöntemlerini kullanarak tahmin etmeye çalışmıştır. Ayrıca VZA ile SSA'yı kıyaslamıştır. Elde edilen sonuca göre, iki yöntem arasında önemli farklılıkların olduğu ortaya çıkmıştır.

Önder ve diğerleri, 2003 yılında yaptıkları çalışmada, 1990-1998 dönemi panel verilerini kullanarak Türk imalat sanayisi için bazı illerde etkinlik ve verimlilik ölçümünü VZA ve SSA yöntemlerini kullanarak tahmin etmiş ayrıca bu iki yöntemi karşılaştırmışlardır. Çalışmada, iki yöntemle elde edilen etkinlik değerlerinin illerin etkinlik sıralamasında önemli derecede farklılık yarattığı; ortalama firma büyüklüğu ve bölgesel yığılmanın etkinlik üzerinde etkide bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yen'in, 2005 yılında yaptığı çalışmada 79 orman ve kâğıt firmasının teknik etkinlik düzeylerini VZA ve SSA yöntemlerini kullanarak tahmin edilmiştir. Ayrıca bu iki yöntemin kıyaslaması yapılmıştır. Araştırma sonucunda ortalama teknik etkinlik skoru iki yöntemde birbirine çok yakın değerler olarak bulunmuştur.

Wadud ve White, 2000 yılında Bangladeş'de pirinç çiftçilerinin etkinlik düzeylerini ölçmek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. VZA ve SSA kullanarak etkinliği ölçmeyi amaçlamışlardır. Her iki yaklaşımla elde edilen sonuçlar da sulama altyapısı ve çevresel bozulmanın etkinliği önemli ölçüde etkileyen faktörler olduğu belirtilmiştir.

Odeck, 2007 yılında yaptığı çalışmada 1987-1997 dönemi panel verileri kullanmış ve Norveç hububat üreticilerinin etkinlik düzeylerini yine bu iki yöntemi kullanarak tahmin etmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda teknik etkinlik düzeyleri iki çalışmada birbirine yakın değerler çıkmıştır.

Lin ve Tseng, 2005 yılında yaptıkları çalışmada 1999-2002 dönemi için panel veri seti kullanarak 27 adet uluslararası konteynır limanının etkinlik düzeylerini VZA ve SSA ile tahmin etmişlerdir. Araştırma sonucunda iki yöntem ile elde edilen değerlerin birbirinden farklı olduğu ortaya çıkmıştır.

Margari ve diğerleri, 2007 yılında yaptıkları çalışmada 1993-1999 dönemi panel verileri yardımı ile İtalya'da toplu ulaşım taşımacılığında faaliyette bulunan firmaların teknik etkinlik düzeylerini ölçmüşlerdir. Çalışmada, Stokastik Sınır Yaklaşımına göre ortalama teknik etkinlik değeri 0,989, Veri Zarflama Analizine göre ise 0,931 olarak tahmin edilmiştir.

### 5.3. Veriler ve Değişkenler

Havaalanları günümüz ulaşım sektöründe etkin olarak yeri bulunan uçak trafiğinin en önemli bölümüdür. Bu nedenle havaalanlarının etkinliğinin ve performans ölçüm değerlendirmelerinin yapılması, etkin kullanımı sağlamak ve üretim fonksiyonunda arzu edilen minimum girdi ile maksimum çıktıyı elde etmeye yönelik amacı karşılamak için önemlidir. Bu sebeple Türkiye'deki havaalanları bu çalışmada karar verme birimleri olarak ele alınacaktır. Değişkenler ise girdi ve çıktı değişkenleri olarak iki gruba ayrılacak ve girdi değişkenleri personel sayısı, yakıt miktarı ve gelir değişkenleri kullanılacaktır. Çıktı değişkenleri olarak da yolcu trafiği ve uçak trafiği temel alınacaktır.

Personel Sayısı( $PS_i$ ): i. havaalanında görev yapmakta olan personel sayısı

Yakıt Miktarı( $YM_i$ ): i.havaalanına yolcu trafiği sağlayan uçakların ilgili uçuşlar için harcadığı toplam yakıt miktarı

Gelir( $G_i$ ): i. havaalanı için elde edilen yıllık gelir miktarı

Uçak Trafiği( $UT_i$ ): i. havaalanı için yıllık gerçekleşen uçak trafiği sayısı

Yolcu trafiği( $YT_i$ ): i. havaalanı için yıllık gerçekleşen yolcu trafiği sayısı

İlgili değişkenler Devlet Hava Meydanları İşletmesi yıllık faaliyet raporlarından elde edilmiştir. Bu bağlamda değerlendirmeler ve analizler yapılacaktır.

#### **5.4. Veri Zarflama Analizi Sonuçları ve Değerlendirilmesi**

Herhangi bir endüstrinin etkinlik analizinde en çok kullanılan yöntemlerden biri Veri Zarflama Analizidir. Veri Zarflama Analizinin girdi ve çıktı odaklılık altında ölçeğe göre sabit ve ölçeğe göre değişen getiri modelleri mevcuttur. Bu çalışmada tüm metotlar ele alınmış, esas olarak ölçeğe göre değişen getiri yaklaşımı kullanılmış ve değerlendirmelerde çeşitlendirilmiş VZA modelleri arasındaki anlamlı fark araştırılarak girdi odaklı model kullanılmıştır. En uygun görülen model seçildikten sonra da SSA ile sonuçlar karşılaştırılacaktır. Havaalanlarının etkinliğini ölçme ve belirlemeye çalışmadaki amaç, iki yöntemin de kullanılması ve sonuçlarının nasıl olduğunu ölçümlemektir.

Veri Zarflama Analizi uygulanırken yapılması gereken ilk aşama karar birimlerinin seçilmesidir. İkinci aşama analize dâhil edilecek değişken sayısının ve değişkenlerin belirlenmesi, üçüncü aşama belirlenen değişkenlerin analiz edilmesidir. Son aşama ise analiz sonucu elde edilen bulguların yorumlanması dolayısıyla da havaalanlarının etkinliğinin analizidir.

VZA'nın uygulanması, öncelikle karar alma birimlerinin seçilmesi ve buna bağlı olarak değişkenlerin belirlenmesine bağlıdır. Bu çalışmanın konusu olan havaalanlarının belirlenmesinde Türkiye'de faaliyet gösteren havaalanları temel alınacaktır. Bu bakımdan karar alma birimlerinin yani havaalanlarının belirlenmesi konusunda bir problem söz konusu değildir ve Türkiye'de bulunan tüm havaalanları çalışmaya dâhil edilmiştir. Ancak değişkenlerin belirlenmesi bu kadar kolay değildir. Analiz için kullanılacak değişkenlerin sayısı pek çoktur. Ancak genel olarak herhangi bir karar alma birimi tarafından kullanılan bir kaynak, girdi olarak analize dâhil edilebilmektedir. Çıktı değişkenleri ise karar verme birimlerinin kaynakları ürün veya hizmet üretimine çevirmesi ile sonuçlandırdığındaki performans ve aktivite ölçümleridir. Ek olarak çevresel faktörler de üretim sürecini etkileyebilmekte ve bu çevresel faktörler de girdi olarak alınabilmektedir. Bu kadar çok seçim olasılığı varken bu geniş seçim listesinin sınırlandırılması gerekmektedir. Seçilecek değişkenleri sınırlandırmak analiz açısından önemli bir avantajdır. Ancak değişken seçiminin kıstasları konusunda bir fikir birliği yoktur. Değişken sayısına

karar vermede en çok bilinen ve kullanılan varsayım girdi ve çıktıların sayısının toplamının, analize dâhil edilen karar verme birimleri sayısının üçte birinden fazla olmamasıdır. Türkiye’de faaliyet gösteren 48 adet havaalanı için oluşturulan veri setine Veri Zarflama Analizi yöntemi ile etkinlik tahmini uygulanmıştır. Analiz sonucunda “1” değeri alan karar verme birimleri etkin olan karar verme birimleri olarak adlandırılacak olup, “1” den farklı değer alan karar verme birimleri etkin olmayan karar verme birimleri olarak adlandırılacaktır. Karar verme birimleri “1” değerine yakınlık dereceleri ve aldıkları sayısal değerlere göre sınıflandırılacak ve yorumlamalar bu kriterler üzerinden yapılacaktır.

Tüm bunlar göz önüne alınarak seçilen karar verme birimleri ve girdi-çıkıtı bileşenlerinden elde edilen Veri Zarflama Analizi sonuçları Çizelge 5.1 de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Veri zarflama analizi sonuçları

HAVAALANI ADI	CRS TE	VRS TE	ÖLÇEK ETKİNLİĞİ	ÖLÇEĞE GÖRE GETİRİ DURUMU
İSTANBUL ATATÜRK	1	1	1	-
ELAZIĞ	1	1	1	-
HAKKÂRİ SELAHADDİN EYYUBİ	1	1	1	-
ISPARTA SÜLEYMAN DEMİREL	1	1	1	-
MALATYA	1	1	1	-
MARDİN	1	1	1	-
ORDU-GİRESUN	1	1	1	-
ŞANLIURFA GAP	1	1	1	-
TEKİRDAĞ ÇORLU	1	1	1	-
ANKARA ESENBOĞA	0,33	1	0,33	Ölçeğe göre azalan getiri
BALIKESİR MERKEZ	0,29	1	0,29	Ölçeğe göre artan getiri
İZMİR ADNAN MENDERES	0,50	0,96	0,53	Ölçeğe göre azalan getiri
ŞIRNAK ŞERAFETTİN ELÇİ	0,69	0,95	0,73	Ölçeğe göre artan getiri
ADANA	0,56	0,95	0,60	Ölçeğe göre azalan getiri
İĞDIR	0,68	0,94	0,72	Ölçeğe göre artan getiri
MUŞ	0,84	0,91	0,92	Ölçeğe göre artan getiri
BİNGÖL	0,43	0,89	0,49	Ölçeğe göre artan getiri
ANTALYA	0,77	0,86	0,90	Ölçeğe göre azalan getiri
SİNOP	0,33	0,85	0,39	Ölçeğe göre artan getiri
SİİRT	0,29	0,83	0,34	Ölçeğe göre artan getiri
SİVAS NURİ DEMİRAĞ	0,79	0,81	0,97	Ölçeğe göre artan getiri
DENİZLİ ÇARDAK	0,75	0,77	0,97	Ölçeğe göre artan getiri
AMASYA MERZİFON	0,48	0,76	0,63	Ölçeğe göre artan getiri
AĞRI AHMED-İ HANİ	0,47	0,76	0,62	Ölçeğe göre artan getiri

Çizelge 5.1. (Devam) Veri zarflama analizi sonuçları

KASTAMONU	0,27	0,76	0,36	Ölçeğe göre artan getiri
UŞAK	0,18	0,71	0,26	Ölçeğe göre artan getiri
KOCAELİ CENGİZ TOPEL	0,24	0,7	0,35	Ölçeğe göre artan getiri
TOKAT	0,30	0,7	0,43	Ölçeğe göre artan getiri
BATMAN	0,39	0,69	0,57	Ölçeğe göre artan getiri
KAPADOKYA	0,67	0,69	0,98	Ölçeğe göre artan getiri
KARS HARAKANİ	0,65	0,68	0,96	Ölçeğe göre artan getiri
ERZİNCAN	0,51	0,67	0,77	Ölçeğe göre artan getiri
ÇANAKKALE	0,59	0,64	0,93	Ölçeğe göre artan getiri
ADİYAMAN	0,41	0,63	0,65	Ölçeğe göre artan getiri
DİYARBAKIR	0,47	0,63	0,75	Ölçeğe göre artan getiri
KAHRAMANMARAŞ	0,56	0,6	0,93	Ölçeğe göre artan getiri
KAYSERİ	0,45	0,59	0,77	Ölçeğe göre artan getiri
HATAY	0,35	0,58	0,59	Ölçeğe göre artan getiri
BALIKESİR KOCA SEYİT	0,56	0,57	0,98	Ölçeğe göre artan getiri
MUĞLA MİLAS-BODRUM	0,45	0,48	0,94	Ölçeğe göre azalan getiri
VAN FERİT MELEN	0,31	0,46	0,68	Ölçeğe göre artan getiri
SAMSUN ÇARŞAMBA	0,41	0,45	0,9	Ölçeğe göre artan getiri
BURSA YENİŞEHİR	0,36	0,4	0,88	Ölçeğe göre artan getiri
TRABZON	0,39	0,39	0,99	Ölçeğe göre artan getiri
MUĞLA DALAMAN	0,37	0,39	0,96	Ölçeğe göre azalan getiri
GAZİANTEP	0,30	0,35	0,85	Ölçeğe göre artan getiri
KONYA	0,20	0,34	0,58	Ölçeğe göre artan getiri
ERZURUM	0,18	0,30	0,58	Ölçeğe göre artan getiri

VZA sonucu elde edilen bulgular havaalanlarında birkaç havaalanı dışında tüm firmaların hem VRS varsayımı altında yüksek etkinliğe sahip olduğunu göstermektedir. Burada etkin olan havaalanları sırasıyla; “İstanbul Atatürk, Elazığ, Hakkâri Yüksekova Selahaddin Eyyubi, Isparta Süleyman Demirel, Malatya, Mardin, Ordu-Giresun, Şanlıurfa GAP, Tekirdağ Çorlu, Ankara Esenboğa” olurken etkin olmayan havaalanları “Trabzon, Muğla Dalaman, Gaziantep, Konya, Erzurum” olarak bulunmuştur. Burada dikkat çekici olan yeni kurulan havaalanlarının etkin çıkmasıdır. Bu durumun değerlendirmesinde havaalanlarının toplam içindeki getiri payına bakıldığında İstanbul Atatürk havaalanı en yüksek paya sahip olup girdilerini en etkin kullanan havaalanı olmuştur. Etkin olarak buluna diğer sekiz havaalanının ise getiri içindeki payları çok düşüktür ve hepsi yeni kurulan havaalanlarıdır. Bu havaalanlarının etkin olması, eldeki kaynakların doğru bir biçimde kullanılması ve yıllar içinde buralara olacak talebin de artmasıyla ilişkilidir. İstanbul Atatürk havaalanından sonra getiri içindeki en yüksek paya sahip olan havaalanı olan Antalya havaalanının etkinlik



değerinin tam etkin çıkmaması ve ölçeğe göre azalan getirisi olması bu havaalanının elindeki potansiyelin ve imkânların düzgün değerlendirilemediğini göstermektedir. Burada başarı sağlayan havaalanları yeni kurulmalarına rağmen Elazığ, Hakkâri Yüksekova Selahaddin Eyyubi, Isparta Süleyman Demirel, Malatya, Mardin, Ordu-Giresun, Şanlıurfa GAP, Tekirdağ Çorlu olmuştur. Bulunan sonuçlar ve değerlendirmeler SSA ile karşılaştırılacak olup iki yöntem ile bulunan sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilecektir.

## 5.5. Stokastik Sınır Analizi Sonuçları ve Değerlendirilmesi

### 5.5.1. Çıktı değişkenleri için anlamlı modellerin oluşturulması

Çıktı değişkeni yolcu trafiği olması durumuna ilişkin modeli oluşturmak için ilk önce stokastik sınır analizinin genel model yapısına bakılırsa model aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$\ln(y_i) = x_i \beta - u_i, \quad i=1,2,\dots,N \quad (5.1)$$

$$\beta = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_K)$$

$$u_i \geq 0$$

$\ln(y_i)$  : i. firmanın skaler bir değer olan çıktı değerinin logaritmasını göstermektedir.

$x_i$  : Bu değişkenin ilk elemanı 1'dir. Kalan elemanları ise, i. firma tarafından kullanılan K tane girdinin miktarlarının logaritmaları oluşturmaktadır.

$u_i$  : Karar verme birimlerinin üretim içerisinde teknik etkin olmama durumu ile alakalı bir değişkendir. Firmaların teknik etkin olmama durumunu yansıtmak amacı ile modele eklenmiştir.

#### Model 1: Yolcu Trafiği Modeli

Girdiler: Personel sayısı, yakıt miktarı, gelir

Çıktı: Yolcu Trafiği

Yolcu trafiği modeline ilişkin kullanılacak değişkenlerin belirlenmesinin ardından Frontier 4.1 programı kullanılarak model, aşağıdaki şekilde tahmin edilmiştir.

$$\ln(YT) = 0,13185 - 0,61085(PS) - 0,35885(YM) + 0,28605(G)$$

Modeldeki katsayıların anlamlılığın sınanması için  $t_{hesap}$  değerleri,  $t_{tablo}$  değeri olan  $t_{0,05,47}=1,68$  değeri ile karşılaştırılmıştır ve katsayıların tamamı 0,95 güvenilirlikle anlamlı bulunmuştur.

Çizelge 5.2. Model 1 için analiz sonuçları

$\beta$ 'lar	Katsayı	Standart hata	t-değeri
$\beta_0$	0,13185	0,13112	10,05611
$\beta_1$	-0,61085	0,75595	8,08645
$\beta_2$	-0,35885	0,27052	13,26531
$\beta_3$	0,28605	0,70146	4,07791

Tüm değişkenlerin doğal logaritması alındıktan sonra PS değişkeninin 1 birim artmasına karşılık YT değişkeninin kendi birimi cinsinden 0,61 birim azaldığı ve benzer şekilde YM değişkeninin 1 birim artmasına karşılık PS değişkeninin kendi birimi cinsinden 0,35 birim azaldığı sonucuna varılmaktadır. G değişkeninin ise 1 birim artmasına karşılık YT değişkeninin kendi birimi cinsinden 0,28 birim attığı sonucuna varılmaktadır. Çıktı değişkeni ile PS ve YM girdi değişkenleri arasında negatif yönlü bir ilişki vardır. Ancak çıktı değişkeni ile G değişkeni arasında pozitif yönlü bir ilişki vardır.

Modelde teknik etkinsizlik olup olmadığının test edilmesi için kullanılacak olabilirlik oran istatistiği  $LR= 83,44$  olarak bulunmuştur. 0,05 anlamlılık düzeyinde 1 kısıtlamalı Kodde-Palm tablo değeri 2,70'dir.

$H_0: \gamma=0$

$H_1: \gamma \neq 0$

83,44 değeri 2,706 tablo değerinden büyük olduğu için  $H_0$  hipotezi reddedilir. Modelde istatistiksel olarak anlamlı bir teknik etkinsizlik vardır. Model geleneksel ortalama tepki fonksiyonuna eşit değildir. Geleneksel tepki fonksiyonu verinin yeterli bir temsilcisi değildir. Stokastik sınır modeli, stokastik üretim sınır modeline uymakla beraber, rastgele hata içermeyen belirleyici (deterministik) modelden çok farklı değildir. Modele göre elde edilen gamma değeri 0,88'dir. Bunun anlamı artık varyansın %88'lik bölümünün etkin olmama etkisi  $u_i$ 'den kaynaklandığı, geri kalan %12'lik bölümünün ise tesadüfi hata  $v_i$ 'den kaynaklandığı anlamına gelir. Havaalanlarının teknik etkinlik skorları ve sıraları Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Model 1 için havaalanlarının teknik etkinlik skorları ve sıraları

HAVAALANI	ETKİNLİK DEĞERİ	RANK	HAVAALANI	ETKİNLİK DEĞERİ	RANK
ANKARA ESENBOĞA	1	1	KONYA	0,27	25
ELAZIĞ	1	2	GAZİANTEP	0,21	26
MARDİN	1	3	AMASYA MERZİFON	0,19	27
MALATYA	1	4	ADANA	0,18	28
HAKKÂRİ SELAHADDİN EYYUBİ	1	5	ANTALYA	0,17	29
SİVAS NURİ DEMİRAĞ	0,82	6	TEKİRDAĞ ÇORLU	0,15	30
DENİZLİ ÇARDAK	0,80	7	KASTAMONU	0,15	31
ŞANLIURFA GAP	0,75	8	ORDU-GİRESUN	0,15	32
BURSA YENİŞEHİR	0,70	9	İĞDIR	0,12	33
MUŞ	0,47	10	UŞAK	0,08	34
KARS HARAKANİ	0,46	11	TOKAT	0,07	35
İZMİR ADNAN MENDERES	0,45	12	BİNGÖL	0,07	36
ŞIRNAK ŞERAFETTİN ELÇİ	0,45	13	MUĞLA DALAMAN	0,07	37
ISPARTA SÜLEYMAN DEMİREL	0,42	14	KOCAELİ CENGİZ TOPEL	0,06	38
KAPADOKYA	0,42	15	DİYARBAKIR	0,05	39
ERZİNCAN	0,41	16	SİİRT	0,05	40
BALIKESİR KOCA SEYİT	0,36	17	SİNOP	0,05	41
BATMAN	0,35	18	SAMSUN ÇARŞAMBA	0,04	42
İSTANBUL ATATÜRK	0,33	19	MUĞLA-BODRUM	0,04	43
ADİYAMAN	0,33	20	KAYSERİ	0,04	44
KAHRAMANMARAŞ	0,33	21	TRABZON	0,02	45
AĞRI AHMED-İ HANİ	0,33	22	VAN FERİT MELEN	0,01	46
ÇANAKKALE	0,29	23	BALIKESİR MERKEZ	0	47
ERZURUM	0,27	24	HATAY	0	48

Türkiye’de bulunan 48 havaalanının yolcu trafiği modeli açısından ortalama etkinlik değeri 0,33 dür. Bu havaalanlarından 22 tanesi ortalama etkinlik düzeyinin üzerinde ilken 26 tanesi altındadır. Yolcu trafiği açısından en etkin havaalanları “Ankara Esenboğa, Elazığ, Mardin, Malatya, Hakkâri Yüksekova Selahaddin Eyyubi” iken etkin olmayan havaalanları “Trabzon, Van Ferit Melen, Balıkesir Merkez ve Hatay” havaalanları olmuştur.

### Model 2: Uçak Trafiği Modeli

Girdiler: Personel sayısı, yakıt miktarı, gelir

Çıktı: Uçak Trafiği

Uçak trafiği modeline ilişkin kullanılacak değişkenlerin belirlenmesinin ardından Frontier 4.1 programı kullanılarak model, aşağıdaki şekilde tahmin edilmiştir.

$$\ln(UT) = -0,15100 - 0,80261(PS) + 0,17884(YM) + 0,20235(G)$$

Modeldeki katsayıların anlamlılığın sınanması için  $t_{hesap}$  değerleri,  $t_{tablo}$  değeri olan  $t_{0,05,47} = 1,68$  değeri ile karşılaştırılmıştır ve katsayıların tamamı 0,95 güvenilirlikle anlamlı bulunmuştur.

Çizelge 5.4. Model 2 için analiz sonuçları

$\beta$ 'lar	Katsayı	Standart hata	t-değeri
$\beta_0$	-0,15100	0,75250	2,00668
$\beta_1$	-0,80261	0,36536	2,19673
$\beta_2$	0,17884	0,14619	12,2332
$\beta_3$	0,20235	0,37749	5,36049

Tüm değişkenlerin doğal logaritması alındıktan sonra PS değişkeninin 1 birim artmasına karşılık UT değişkeninin kendi birimi cinsinden 0,80 birim azaldığı sonucuna varılmaktadır. YM değişkeninin 1 birim artmasına karşılık UT değişkeninin kendi birimi cinsinden 0,17 birim arttığı ve benzer şekilde G değişkeninin de 1 birim artmasına karşılık UT değişkeninin kendi birimi cinsinden 0,20 birim arttığı sonucuna varılmaktadır. Çıktı değişkeni ile YM ve G girdi değişkenleri arasında pozitif yönlü bir ilişki vardır. Ancak çıktı değişkeni ile PS değişkeni arasında negatif yönlü bir ilişki vardır.

Modelde teknik etkinsizlik olup olmadığının test edilmesi için kullanılacak olabilirlik oran istatistiği  $LR = 53,84$  olarak bulunmuştur. 0,05 anlamlılık düzeyinde 1 kısıtlı Kodde-Palm tablo değeri 2,70'dir.

$$H_0: \gamma = 0$$

$$H_1: \gamma \neq 0$$

53,84 değeri 2,706 tablo değerinden büyük olduğu için  $H_0$  hipotezi reddedilir. Modelde istatistiksel olarak anlamlı bir teknik etkinsizlik vardır. Model geleneksel ortalama tepki fonksiyonuna eşit değildir. Geleneksel tepki fonksiyonu verinin yeterli bir temsilcisi değildir. Stokastik sınır modeli, stokastik üretim sınır modeline uymakla beraber, rastgele hata içermeyen belirleyici (deterministik) modelden çok farklı değildir. Modele göre elde edilen gamma değeri 0,73'dir. Bunun anlamı artık varyansın %73'lik bölümünün etkin

olmama etkisi  $u_i$ 'den kaynaklandığı, geri kalan %27'lik bölümünün ise tesadüfi hata  $v_i$ 'den kaynaklandığı anlamına gelir. Havaalanlarının teknik etkinlik skorları ve sıraları Çizelge 5.5'de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Model 2 için havaalanlarının teknik etkinlik skorları ve sıraları

HAVAALANI	ETKİNLİK DEĞERİ	RANK	HAVAALANI	ETKİNLİK DEĞERİ	RANK
ANKARA ESENBOĞA	1	1	KAPADOKYA	0,66	25
İSTANBUL ATATÜRK	1	2	ERZİNCAN	0,65	26
MARDİN	1	3	ŞIRNAK ŞERAFETTİN ELÇİ	0,50	27
ANTALYA	1	4	KARS HARAKANİ	0,49	28
MALATYA	1	5	SİİRT	0,45	29
ELAZIĞ	1	6	İĞDIR	0,40	30
HAKKÂRİ SELAHADDİN EYYUBİ	0,91	7	SİVAS NURİ DEMİRAĞ	0,39	31
BURSA YENİŞEHİR	0,90	8	TOKAT	0,38	32
ISPARTA SÜLEYMAN DEMİREL	0,89	9	AMASYA MERZİFON	0,36	33
TEKİRDAĞ ÇORLU	0,89	10	BATMAN	0,35	34
DİYARBAKIR	0,89	11	ERZURUM	0,34	35
HATAY	0,89	12	AĞRI AHMED-İ HANİ	0,33	36
KAYSERİ	0,85	13	SİNOP	0,30	37
SAMSUN ÇARŞAMBA	0,83	14	ADİYAMAN	0,28	38
BALIKESİR KOCA SEYİT	0,80	15	MUŞ	0,28	39
DENİZLİ ÇARDAK	0,80	16	MUĞLA DALAMAN	0,25	40
ÇANAKKALE	0,77	17	KASTAMONU	0,24	41
ORDU-GİRESUN	0,75	18	İZMİR ADNAN MENDERES	0,23	42
ŞANLIURFA GAP	0,74	19	KOCAELİ CENGİZ TOPEL	0,2	43
UŞAK	0,72	20	ADANA	0,1	44
MUĞLA MİLAS-BODRUM	0,72	21	KAHRAMANMARAŞ	0,02	45
GAZİANTEP	0,69	22	TRABZON	0,01	46
KONYA	0,68	23	VAN FERİT MELEN	0,01	47
BİNGÖL	0,67	24	BALIKESİR MERKEZ	0,01	48

Türkiye’de bulunan 48 adet havaalanının yolcu trafiği modeli açısından ortalama etkinlik değeri 0,58 dir. Bu havaalanlarından 26 tanesi ortalama etkinlik düzeyinin üzerinde ilken 22 tanesi ortalama etkinlik düzeyinin altındadır. Uçak trafiği açısından en etkin havaalanları “Ankara Esenboğa, İstanbul Atatürk, Mardin, Antalya, Malatya, Elazığ” olmuştur. Teknik etkinlik düzeyi en düşük havaalanları ise “Trabzon, Van Ferit Melen, Balıkesir Merkez”

havaalanları olmuştur.

Sonuçların genel değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında 48 adet havaalanının Stokastik Sınır Analizi ile oluşturulan iki adet modeli ve Veri Zarflama Analizi uygulanarak elde edilen sonuçları için karşılaştırmalar yapılacaktır. Stokastik Sınır Analizi modelleri için modeller ve ortalama değer hesaplanmış olup Çizelge 5.6 da verilmiştir. SSA ve VZA karşılaştırması ise çizelge 5.7 de verilmiştir.

Çizelge 5.6. SSA model 1 ve model 2 ortak değerlendirmesi

HAVAALANI	MODEL 1	MODEL 2	ORTALAMA
ANKARA ESENBOĞA	1	1	1
ELAZIĞ	0,99	1	1
MARDİN	0,99	1	1
MALATYA	0,94	1	0,97
HAKKÂRİ	0,94	0,91	0,93
DENİZLİ	0,8	0,8	0,8
BURSA YENİŞEHİR	0,7	0,9	0,8
ŞANLIURFA	0,75	0,74	0,75
İSTANBUL ATATÜRK	0,33	1	0,67
ISPARTA	0,42	0,89	0,66
SİVASNURİ DEMİRAĞ	0,82	0,39	0,61
ANTALYA	0,17	1	0,58
BALIKESİR KOCA SEYİT	0,36	0,8	0,58
KAPADOKYA	0,42	0,66	0,54
ÇANAKKALE	0,29	0,77	0,53
ERZİNCAN	0,41	0,65	0,53
TEKİRDAĞ	0,15	0,89	0,52
ANTALYA	0,17	1	0,58
BALIKESİR KOCA SEYİT	0,36	0,8	0,58
KAPADOKYA	0,42	0,66	0,54
ÇANAKKALE	0,29	0,77	0,53
ERZİNCAN	0,41	0,65	0,53
TEKİRDAĞ	0,15	0,89	0,52
KARS HAKANİ	0,46	0,49	0,48

Çizelge 5.6. (Devam) SSA model 1 ve model 2 ortak değerlendirmesi

KONYA	0,27	0,68	0,47
DİYARBAKIR	0,05	0,89	0,47
ŞIRNAK	0,45	0,5	0,47
KAYSERİ	0,04	0,85	0,44
SAMSUN ÇARŞAMBA	0,04	0,83	0,44
UŞAK	0,08	0,72	0,4
MİLAS-BODRUM	0,04	0,72	0,38
MUŞ	0,47	0,28	0,37
BİNGÖL	0,07	0,67	0,37
BATMAN	0,35	0,35	0,35
ADNAN MENDERES	0,45	0,23	0,34
AĞRI AHMED-İ HANİ	0,33	0,33	0,33
ERZURUM	0,27	0,34	0,31
ADİYAMAN	0,33	0,28	0,3
AMASYA MERZİFON	0,19	0,36	0,28
İĞDIR	0,12	0,4	0,26
SİİRT	0,05	0,45	0,25
TOKAT	0,07	0,38	0,23
KASTAMONU	0,15	0,24	0,19
KAHRAMANMARAŞ	0,33	0,02	0,17
AMASYA MERZİFON	0,19	0,36	0,28
İĞDIR	0,12	0,4	0,26
SİİRT	0,05	0,45	0,25
TOKAT	0,07	0,38	0,23
KASTAMONU	0,15	0,24	0,19
KAHRAMANMARAŞ	0,33	0,02	0,17
SİNOP	0,05	0,3	0,17
MUĞLA DALAMAN	0,07	0,25	0,16
ADANA	0,18	0,1	0,14
CENGİZ TOPEL	0,06	0,2	0,13

Çizelge 5.7. SSA model ortalamaları ile VZA sonuçlarının karşılaştırılması

HAVAALANI	SSA ORTALAMA	VZA VRS TE
ANKARA ESENBOĞA	1	1
ELAZIĞ	1	1
MARDİN	1	1
MALATYA	0,97	1
HAKKÂRİ YÜKSEKOVA SELAHADDİN EYYUBİ	0,93	1
DENİZLİ ÇARDAK	0,80	0,77
BURSA YENİŞEHİR	0,80	0,40

Çizelge 5.7. (Devam)SSA model ortalamaları ile VZA sonuçlarının karşılaştırılması

ŞANLIURFA GAP	0,75	1
İSTANBUL ATATÜRK	0,67	1
ISPARTA SÜLEYMAN DEMİREL	0,66	1
SİVAS NURİ DEMİRAĞ	0,61	0,81
ANTALYA	0,58	0,86
BALIKESİR KOCA SEYİT	0,58	0,57
KAPADOKYA	0,54	0,69
ÇANAKKALE	0,53	0,64
ERZİNCAN	0,53	0,67
TEKİRDAĞ ÇORLU	0,52	1
KARS HAKANİ	0,48	0,68
KONYA	0,47	0,34
DİYARBAKIR	0,47	0,63
ŞIRNAK ŞERAFETTİN ELÇİ	0,47	0,95
ORDU-GİRESUN	0,45	1
GAZİANTEP	0,45	0,35
HATAY	0,44	0,58
KAYSERİ	0,44	0,59
SAMSUN ÇARŞAMBA	0,44	0,45
UŞAK	0,4	0,71
MUĞLA MİLAS-BODRUM	0,38	0,48
MUŞ	0,37	0,91
BİNGÖL	0,37	0,89
BATMAN	0,35	0,69
İZMİR ADNAN MENDERES	0,34	0,96
AĞRI AHMED-İ HANİ	0,33	0,76
ERZURUM	0,31	0,3
ADİYAMAN	0,3	0,63
AMASYA MERZİFON	0,28	0,76
İĞDIR	0,26	0,94
SİİRT	0,25	0,83
TOKAT	0,23	0,7
KASTAMONU	0,19	0,76
KAHRAMANMARAŞ	0,17	0,6
SİNOP	0,17	0,85
MUĞLA DALAMAN	0,16	0,39
ADANA	0,14	0,95
KOCAELİ CENGİZ TOPEL	0,13	0,7
TRABZON	0,01	0,394
VAN FERİT MELEN	0,01	0,462
BALIKESİR MERKEZ	0,01	1



Stokastik Sınır Analizinin iki modelinden elde edilen ortalama etkinlik değerleriyle Veri Zarflama Analizinde girdi odaklı ölçęe göre değişen getiri varsayımı yaklaşımı altında elde edilen etkinlik değerleri karşılaştırılmıştır. İki analizde de ortak olarak “Ankara Esenboğa Havaalanı, Elazığ Havaalanı ve Mardin Havaalanı” etkin olarak bulunmuştur.





## 6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Hazırlanan tez çalışmasında Stokastik Sınır Analizi yöntemi ve Veri Zarflama Analizi yöntemi tanıtılmış ve yöntemlerle ilgili temel kavramlar verilmiştir. Yapılan uygulama çalışmasında Türkiye'deki 48 adet havaalanının 2015 yılı verileri kullanılarak performansları belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışma kapsamında ilk olarak Veri Zarflama Analizi ile havaalanlarının performansları ve etkinlik düzeyleri ölçülmüştür. Bulunan sonuçlara göre etkin olan havaalanları "İstanbul Atatürk, Ankara Esenboğa, Elazığ, Hakkâri Yüksekova Selahaddin Eyyubi, Isparta Süleyman Demirel, Malatya, Mardin, Ordu-Giresun, Şanlıurfa GAP, Tekirdağ Çorlu" olurken etkin olmayan havaalanları "Trabzon, Muğla Dalaman, Gaziantep, Konya, Erzurum" olarak bulunmuştur.

Çalışma kapsamında söz konusu havaalanlarının performanslarının ölçümü için Stokastik Sınır Analizi için iki ayrı model oluşturulmuştur. İlk model, yolcu trafiği modeli olarak adlandırılmıştır. Çıktı değişkeni olarak havaalanlarına ilişkin 2015 yılı içinde gerçekleştirdiği net yolcu trafiği sayıları alınmıştır. Girdi değişkenleri olarak ise personel sayısı, gelir ve yakıt miktarı alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yolcu trafiği bakımından en etkin havaalanları "Ankara Esenboğa, Elazığ, Mardin, Malatya, Hakkâri Yüksekova Selahaddin Eyyubi" olarak belirlenirken teknik etkinlik düzeyi en düşük havaalanları ise "Trabzon, Van Ferit Melen, Balıkesir Merkez ve Hatay" havaalanları olarak belirlenmiştir. Oluşturulan ikinci model ise uçak trafiği modeli olarak adlandırılmıştır. Bu modelde de girdi değişkenleri olarak personel sayısı, gelir ve yakıt miktarı kullanılmış olup çıktı değişkeni olarak uçak trafiği temel alınmıştır. İkinci modelden elde edilen sonuçlara göre en etkin havaalanları "Ankara Esenboğa, İstanbul Atatürk, Mardin, Antalya, Malatya, Elazığ" olmuştur. Teknik etkinlik düzeyi en düşük havaalanları ise "Trabzon, Van Ferit Melen, Balıkesir Merkez" havaalanları olmuştur.

Analizin ikinci adımında her bir üniversite için oluşturulan modellerden elde edilen teknik etkinlik skorlarının ortalamaları alınarak her bir havaalanı için genel bir etkinlik skoru elde edilmiştir. Buna göre teknik etkinlik skoru en yüksek olan havaalanları "Ankara Esenboğa,

Elazığ, Mardin” olurken en düşük teknik etkinliğe sahip havaalanları “Trabzon, Van Ferit Melen, Balıkesir Merkez” olarak bulunmuştur.

Analizin son adımında ise Stokastik Sınır Analizi uygulanan iki modelin ortalama teknik etkinliği ile Veri Zarflama Analizinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Böylece iki analiz arasında çıkan etkinlik skorlarına göre benzerlik ve farklılıkların görülmesi sağlanmıştır. İki analiz sonucunda da ortak olarak “Ankara Esenboğa, Elazığ, Mardin” havaalanları etkin çıkarken “Trabzon” havaalanı etkinlik düzeyi düşük çıkmıştır.

İki analizde de ortak olarak etkin ve etkin olmayan havaalanları olmasına rağmen tekniklerin değerlendirme yöntemlerindeki farklılıklardan dolayı ortak olarak aynı ya da yakın sonuçlar elde edilemeyen havaalanları da mevcuttur.

Havaalanlarının etkin olmamasında personel sayısı bakımından yanlış istihdamların olmasının etkili olduğu düşünülmektedir. Personel sayısı kadar personelin nitelikleri de önemli ölçüde etkinliğe katkı sağlayacak bir değerdir. Personel sayısının azaltılması gereksiz ve fazla istihdamdan kurtulmayı ve verimin doğru ve nitelikli elemanların istihdamıyla artırılmasını sağlayacaktır. Ayrıca etkin bir çizelge ile gelir dağılımının düzgün yapılması ve artan kurlara göre değişen yakıt fiyatları için tedbirler alınması etkinlik düzeyinin artmasına yardımcı olacaktır.

Yeni kurulan havaalanlarının analizler sonucunda genel olarak etkin bulunması, bu havaalanlarının kapasite ve eldeki kaynakları daha etkin kullandığının bir göstergesi olup başarı sayılacak bir gözlemdir.

## KAYNAKLAR

1. Devlet Hava Meydanları. (2015). *DHMI Faaliyet Raporu*. Ankara: Devlet Hava Meydanları, 31-32.
2. Şahin, H. (2002). Currency substitution in Turkey. *Development and Society Research Center Abstracts*.
3. Özcan, A. İ. ve Anıl, N. K. (2005). Manisa'daki meslek yüksekokullarının verimlilik ölçümü. *Journal of Review of Social, Economic & Business Studies*, 3(2), 349-358.
4. Oruç, K. O. ve Güngör, İ. ve Demiral, M.F. (2009). Üniversitelerin etkinlik ölçümünde bulanık veri zarflama analizi uygulaması. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 3(2), 279-294.
5. Akan, Y. ve Çalmaşur, G. (2009, Mayıs). *Etkinliğin hesaplanmasında veri zarflama analizi ve stokastik sınır yaklaşımı yöntemlerinin karşılaştırılması Erzurum alt bölgesi üzerine bir uygulama*. 10.Ekonometri İstatistik Sempozyumu, Erzurum.
6. Yeşilyurt, C. ve Alan, M.A. (2003). Fen liselerinin 2002 yılı göreceli etkinliğinin veri zarflama analizi (vza) yöntemi ile ölçülmesi. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Dergisi*, 4(2), 91-104.
7. Schaar, D. and Sherry, L. (2002-June), *Comparison of data envelopment analysis methods used in airport benchmarking*. 3rd International Conference on Research in Air Transportation, Virginia, USA, 1-8.
8. Oum, T. H., YU, C. and FU, X. (2003). A comparative analysis of productivity performance of the world's major airports: summary of the atrs global airport benchmarking research report-2002. *Journal of Air Transport Management*, 9(5), 285-297.
9. Kamp, V. (2005). Airport benchmarking – a review of the current situation. *Benchmarking: Airport Research*, 12(2), 99–111.
10. Akal, Z. (1993). *İşletmelerde performans ölçüm ve denetimi: çok yönlü performans göstergeleri* (Birinci Baskı). Türkiye: MPM Yayınları, 473.
11. Banker, R. D. (1984). Estimation of returns to scale using data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 174(3), 62-84.
12. Ferrier, G.D. and Lovell, C.A.K. (1998). Measuring cost efficiency in banking: econometric and linear programming evidence. *Journal of Econometrics*, 46(1) 229-245.
13. Murthi, B.P.S, Yoon K., Choi D. and Preyas D. (1997). Efficiency of mutual funds and portfolio performance measurement: A non-parametric approach. *European Journal of Operational Research*, 98(1), 408-418.

14. Bakırcı, F. (2006). *Üretimde etkinlik ve verimlilik ölçümü veri zarflama analizi: teori ve uygulama*. (Birinci Baskı), Ankara: Atlas Yayınları, 15.
15. Nguyen N., Huyen H. and Thi Thanh. (2006), On the use data development analysis in hedge fund performance appraisal. *Journal of Operational Research*,108(1), 1-129.
16. Kaynar O., Zontul M. ve Bircan H. (2005). Veri zarflama analizi ile OECD ülkelerinin telekomünikasyon sektörlerinin etkinliğinin ölçülmesi. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Dergisi*, 6(1),37-57.
17. Eleren A.ve Özgür E. (2006). Türkiye’de yabancı sermayeli mevduat bankalarının veri zarflama yöntemi ile etkinlik analizlerinin yapılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergis*, 8(2), 53-76.
18. Ertuğrul İ., Tuş I. A. (2008). İşletmelerin VZA ile mali tablolarına dayalı etkinlik ölçümü: metal ana sanayinde bir uygulama. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*,10(1), 201-217.
19. Küçükşimşek, M. (2004). *1999–2003 döneminde Türkiye’deki ortaöğretim kurumlarının ÖSS’deki etkinliklerinin dea-malmquist tfp endeksi ile incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-33.
20. Depren, Ö., (2008). *Veri zarflama analizi ve bir uygulama*, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,20-22.
21. Charnes, A., Cooper W., Arie Y., Lewin and Seifod L. M. (1994). *Data envelopment analysis: theory, methodology and applications*, Boston: Kluwer Academic Publishers, 1-2.
22. Charnes, A., Cooper, W.W. and Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(1), 429-444.
23. Kıran, B. (2008). *Kalkınmada öncelikli illerin ekonomik etkinliklerinin veri zarflama analizi yöntemi ile değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana, 20-25.
24. Çağlar A. (2003). *Veri zarflama analizi ile belediyelerin etkinlik ölçümü*, Yayımlanmamış Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,30-35.
25. Sueyoshi, T. (1992). Measuring technical, allocative and overall efficiencies using a dea algorithm, *Operational Research Society*, 43(1), 141-155.
26. Golany, B. and Roll, Y. (1989). An application procedure for DEA, *Omega*,17 (3), 237-250.
27. Mecit, E.D. (2005). *Veri zarflama analizinde süper etkinlik ve bir uygulama*, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,15-20.

28. Cooper, W.W., Seiford, L.M. and Tone, K. (2000). *Data envelopment analysis a comprehensive text with models, applications, references and dea-solver*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 318.
29. Talluri, S. (2000). Data envelopment analysis: models and extensions, *Decision Line*,31(3), 8-11.
30. Aslankaraoğlu, N., (2006). *Veri zarflama analizi ve temel bileşenler analizi ile avrupa birliği ülkelerinin sıralanması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 140-144.
31. Meeusen, W. and Van den Broeck, J. (1977). Efficiency estimation from cobb-douglas production functions with composed error. *International Economic Review*, 18(2). 435-444.
32. Battese, G.E. and Corra G.S. (1977). Estimation of a production frontier model: with application to the pastoral zone of eastern australia. *Australian Journal of Agricultural Economics*, 21(3). 169-179.
33. Farrell, M.J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*. 1(3), 253-290.
34. Aigner, D. J. and Chu, S. F. (1968). On estimating the industry production function. *American Economic Review*, 58(3), 826-839.
35. Berger, A.N. and Humphrey, D.B. (1997). Efficiency of financial institutions: international survey and directions for future research. *European Journal of Operational Research*, 98(3), 175-212.
36. Kumbhakar S. C., Lovell C. A. K. (2000). *Stochastic Frontier Analysis* (Birinci Baskı), Cambridge: Cambridge University Pres, 20.
37. Richmond, J. (1974). Estimating the efficiency of production. *International Economic Review*. 15(2), 515-521.
38. Afrait, S.N. (1972). Efficiency estimation of production functions. *International Economic Review*. 13 (3), 568-598.
39. Schmidt, P. (1976). On the Statistical estimation of parametric frontier production functions. *Review of Economics and Statistics*. 58(2), 238-239.
40. Aigner, D. J., Lovell, C. A. K., and Schmidt, P., Stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics*. 6(1), 21-37.
41. Meeusen, W. and Van den Broeck, J. (1977). Efficiency estimation from cobb-douglas production functions with composed error. *International Economic Review*, 18(19), 435-444.
42. Richmond, J. (1974). Estimating the efficiency of production. *International Economic Review*, 15(2), 515-521.

43. Jondrow, J., Lovell, C. A. K, Materov, I. S. and Schmidt, P. (1982). On estimation of technical inefficiency in the stochastic frontier production function model. *Journal of Econometrics*, 19(1), 233-238.
44. Greene, W. H. (1990). A gamma-distributed stochastic frontier model. *Journal of Econometrics*, 46(1), 141-164.
45. Ritter, C. and Simar, L. (1997). Pitfalls of normal-gamma stochastic frontier models. *Journal of Productivity Analysis*, 8(2), 167–182.
46. Coelli, T. J. (1995). Estimators and hypothesis tests for a stochastic frontier function: a monte carlo analysis. *Journal of Productivity Analysis*, 6(1), 247-268.
47. Battese, G.E. and Coelli, T.J. (1988). Prediction of firm-level technical efficiencies with a generalized frontier production function and panel data. *Journal of Econometrics*, 38(1), 387-399.
48. Cornwell, C., Schmidt, P. and Sickles, R.C. (1990). Production frontiers with cross-sectional and time-series variation in efficiency levels. *Journal of Econometrics*, 46(1), 185-200.
49. Lee, Y. and Schmidt, P. (1993). *A production frontier model; with flexible temporal variation in technical efficiency*. (Birinci Baskı). New York: Oxford University Press, 20.
50. Kumbhakar, S.C. (1990). Production frontiers, panel data, and time-varying technical inefficiency. *Journal of Econometrics*. 46(1), 201-211.
51. Battese, G.E. and Coelli, T.J. (1992). Frontier production functions, technical efficiency and panel data: with application to paddy farmers in India. *Journal of Productivity Analysis*, 3(1), 153-169.
52. Hajargasht ,G. (2002). Estimation of panel data stochastic frontier models with nonparametric time varying inefficiencies. *Journal of Shiraz University Abstracts*.
53. Kneip, A., Sickles, R. and Song, W. (2003). On estimating a mixed effects model with applications to the u.s. banking industry. *Journal of Rice University Abstracts*.
54. Lim, D. J. (2007). *A comparative study of performance measurement in Korean local governments using data envelopment analysis and stochastic frontier analysis*, Doktora Tezi, University of Texas, Texas,15-16.
55. Yalçın, K., Atan, M., Kayacan, M. ve Boztosun, D. (2004). *İMKB 30 endeksinde etkinlik analizi ile hisse senedi seçimi*. I.Uluslararası Manas Üniversitesi Ekonomi Konferansı, Kırgızistan, 530 – 532.
56. Sengupta, J. K. (2000). *New Efficiency Theory, Dynamic and Stochastic Efficiency Analysis*, Singapore (Birinci Baskı), World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 1-5.



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZTÜRK DURAK, Esra  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 28.01.1990, Ankara  
 Medeni hali : Evli  
 Telefon : 0 (552) 207 93 34  
 e-mail : esra0606.eo@gmail.com



### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / İstatistik	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / İstatistik	2014
Lise	Mimar Kemal Anadolu Lisesi	2008

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

- Öztürk, E., Durak, H.A. ve Bal, H. (2013-Haziran). Evaluation of Turkish airport efficiencies using data envelopment analysis and moora method. *11th International Conference of DEA, Samsun.*
- Öztürk E. ve Bal H., (2016). Ranking the Airports in Turkey with Data Envelopment Analysis and Principal Component Analysis. *AIP Conference, Antalya.*
- Öztürk, E. (2017) Ranking the Airports with Data Envelopment Analysis and Canonical Correlation Analysis. *Gazi University Journal of Science*, 30(2), 237-245.
- Gölcükcü A., Bal H. ve Öztürk E.(2017), Graphical Interpretation of Correlation in Dea. *Journal of Operational Research Society*,58(1), 45-52.

### Hobiler

Matematik, Bilgisayar, Seyahat etmek.



*GAZİ GELECEKTİR..*