



STOKASTİK SINIR ANALİZİNDE YENİ BİR YAKLAŞIM

Harun KINACI

DOKTORA TEZİ

İSTATİSTİK ANABİLİM DALI

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KASIM 2016

ETİK BEYAN

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

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dökümanları 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.

Harun KINACI
25/11/2016

STOKASTİK SINIR ANALİZİNDE YENİ BİR YAKLAŞIM

(Doktora Tezi)

Harun KINACI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kasım 2016

ÖZET

Hızla gelişen dünya, hemen hemen her alanda kar amacı olan ya da olmayan her karar verme birimi için bir rekabet ortamı oluşturmaktadır. Karar verme birimi, belirli bir girdiyi belirli bir çıktıya dönüştüren herhangi bir birey, yapı, organizasyon veya teknoloji olabilir. Karar verme birimleri, birbirlerine göre pozisyonlarını korumak ya da geliştirmek için kaynaklarını etkin olarak kullanmak zorundadırlar. Kaynaklarını hangi seviyede etkin kullandıklarının belirlenmesi için karar verme birimlerinin girdilerini çıktılarına dönüştürmedeki göreceli performanslarının değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Veri Zarflama Analizi ve Stokastik Sınır Analizi, karar verme birimlerinin göreceli performanslarının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan iki yöntemdir. Bu tez çalışmasında, sırasıyla Veri Zarflama Analizi ve Stokastik Sınır Analizi yöntemlerinin temel özellikleri verilmiştir. Ayrıca Stokastik Sınır Analizi için Uç Değer-Düzgün ve Normal-Rayleigh olmak üzere iki yeni model önerilmiştir. Bu modeller için gerekli bilgiler ve matematiksel ifadeler ayrıntılı olarak verilmiştir. Önerilen modeller, farklı veri setlerine uygulanmış ve diğer modeller ile kıyaslanarak farklı senaryolar için simülasyon yapılmıştır. Ayrıca gerçek bir veri setine uygulanarak diğer Stokastik Sınır Analizi ve Veri Zarflama Analizi modelleri ile karşılaştırılmıştır. Bu işlemler ile ilgili sonuçları içeren çizelgeler, yorumları ile verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, önerilen modellerden tatmin edici sonuçlar alınmıştır. Sonuç olarak, karar verme birimleri için göreceli performans değerlendirilmesinde kullanılmak üzere Stokastik Sınır Analizi'nin konusu olan iki yeni parametrik model literatüre sunulmuştur.

Bilim Kodu : 20513
Anahtar : Karar Verme Birimi, Etkinlik, Veri Zarflama Analizi, Stokastik Sınır
Kelimeler Analizi
Sayfa Adedi : 108
Danışman : Prof. Dr. İhsan ALP

A NEW APPROACH IN STOCHASTIC FRONTIER ANALYSIS

(Ph. D. Thesis)

Harun KINACI

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

November 2016

ABSTRACT

The rapidly developing world creates a competitive environment in almost all areas for profit or nonprofit decision-making units. Decision-making units may be individual, structure, organization or technology that convert a specific input into a specific output. Decision-making units must use their resources effectively to maintain or improve their position relative to each other. It is very important to evaluate relative performance of decision-making units in converting inputs into outputs to determine at which level resources are effectively used. Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis are two common methods to evaluate the relative performance of decision-making units. In this thesis, basic features of Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis are given respectively. Furthermore, two new models called Extreme Value-Uniform and Normal-Rayleigh have been proposed for Stochastic Frontier Analysis. Required information and mathematical expressions are given for these models in detail. The proposed models are applied to different data sets and simulated for various scenarios by comparing them with other models. They are also applied to real data sets and compared with other models of Stochastic Frontier Analysis and Data Envelopment Analysis. Tables that include the results related to these processes are given with their reviews. According to the results obtained, satisfying results are received from proposed models. Finally, two new parametric models of Stochastic Frontier Analysis are presented to be used in the relative performance evaluation for decision-making units in the literature.

Science Code : 20513

Key Words : Decision Making Unit, Efficiency, Data Envelopment Analysis, Stochastic Frontier Analysis

Page Number : 108

Supervisor : Prof. Dr. İhsan ALP

TEŞEKKÜR

Doktora öğrenimim boyunca desteklerini esirgemeyen ve bana rahat bir çalışma imkanı sunan değerli hocam Prof. Dr. İhsan ALP'e, üzerimdeki haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim fedakar anne ve babama, kendisinden çok şey öğrendiğim hem hocam hem ustam hem de ağabeyim Doç. Dr. İsmail KINACI'ya, sevgisi ve ilgisiyle her zaman yanımda olan sevgili eşim Esra'ya ve her umutsuzluğa düştüğümde sevgi dolu gözleriyle bana sıcak bakıp beni yeniden motive eden canım kızlarıma en kalbî duygularıyla teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1.GİRİŞ.....	1
2. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ.....	5
3. STOKASTİK SINIR ANALİZİ	11
3.1. Stokastik Sınır Fonksiyonu	14
3.2. Parametre Tahmini	15
3.3. Farklı Dağılım Durumları	16
3.4. Literatürde Yer Alan Bazı Modeller	18
3.4.1. Normal-Düzgün Model.....	18
3.4.2. Laplace-Üstel Model	22
3.4.3. Cauchy-Yarı Cauchy Model.....	27
3.4.4. Yarı Normal- Gama Model	32
4. ÖRNEK UYGULAMALAR.....	37
4.1. Hipotetik Veri Seti	37
4.2. Amerikan Elektrik Dağıtım Şirketleri Verisi	39
4.3. Japon Banka Verisi	41
4.4. Japon Beyzbol Takımları Verisi.....	44

	Sayfa
5. STOKASTİK SINIR ANALİZİNDE YENİ YAKLAŞIMLAR	47
5.1. Önerilen Modellerde Kullanılan Dağılımlar.....	47
5.1.1. Normal Dağılım	47
5.1.2. Düzgün Dağılım.....	48
5.1.3. Uç Değer (Gumbel) Dağılımı.....	49
5.1.4. Rayleigh Dağılımı.....	50
5.2. SSA İçin Önerilen Yeni Modeller.....	51
5.2.1. Uç Değer – Düzgün Model (U-D).....	52
5.2.2. Normal – Rayleigh Model (N-R).....	54
5.3. Örnek Uygulamalar	58
5.3.1. Hipotetik Veri Seti	58
5.3.2. Japon Banka Verisi	59
6. SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	63
7. UYGULAMA	67
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR	79
EKLER.....	85
EK-1. Amerikan elektrik dağıtım şirketleri veri seti	86
EK-2. Amerikan elektrik dağıtım şirketleri verisi ait etkinlik skorları.....	89
EK-3. Amerikan elektrik dağıtım şirketleri verisi ait etkinlik sıralaması.....	92
EK-4. Normal - Yarı Normal Model için MATLAB kodu.....	95
EK-5. Normal-Yarı Normal Model için @normalynormal_ML MATLAB fonksiyonu.....	96
EK-6. $v \sim U\text{çdgr}(0, \sigma^2), u \sim D\text{üzgün}(0, \theta)$, KVB=100, Girdi Sayısı=1 Durumu	97

Sayfa

EK-7. $v \sim U\chi dgr(0, \sigma^2), u \sim Düzgün(0, \theta)$, KVB=25, Girdi Sayısı=3 Durumu	98
EK-8. $v \sim U\chi dgr(0, \sigma^2), u \sim Düzgün(0, \theta)$, KVB=100, Girdi Sayısı=3 Durumu	99
EK-9. $v \sim U\chi dgr(0, \sigma^2), u \sim Düzgün(0, \theta)$, KVB=25, Girdi Sayısı=7 Durumu	100
EK-10. $v \sim U\chi dgr(0, \sigma^2), u \sim Düzgün(0, \theta)$, KVB=100, Girdi Sayısı=7 Durumu	101
EK-11. $v \sim Normal(0, \sigma^2), u \sim Rayleigh(a)$, KVB=25, Girdi Sayısı=1 Durumu	102
EK-12. $v \sim Normal(0, \sigma^2), u \sim Rayleigh(a)$, KVB=100, Girdi Sayısı=1 Durumu	103
EK-13. $v \sim Normal(0, \sigma^2), u \sim Rayleigh(a)$, KVB=25, Girdi Sayısı=3 Durumu	104
EK-14. $v \sim Normal(0, \sigma^2), u \sim Rayleigh(a)$, KVB=100, Girdi Sayısı=3 Durumu	105
EK-15. $v \sim Normal(0, \sigma^2), u \sim Rayleigh(a)$, KVB=25, Girdi Sayısı=7 Durumu	106
EK-16. $v \sim Normal(0, \sigma^2), u \sim Rayleigh(a)$, KVB=100, Girdi Sayısı=7 Durumu	107
ÖZGEÇMİŞ	108

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Hipotetik veri seti	37
Çizelge 4.2. Hipotetik veri setine ait özet istatistikler	38
Çizelge 4.3. Hipotetik veriye ait teknik etkinlik skorları.....	38
Çizelge 4.4. Ekinlik skorlarına ait korelasyon matrisi.....	39
Çizelge 4.5. Amerikan elektrik dağıtım şirketleri veri setine ait özet istatistikler.....	39
Çizelge 4.6. Etkinlik skorlarına ait bazı özet istatistikler	40
Çizelge 4.7. Veri için parametre tahminleri.....	40
Çizelge 4.8. Banka veri seti	41
Çizelge 4.9. Banka veri setine ait özet istatistikler	42
Çizelge 4.10. Banka veri setine ait teknik etkinlik skorları	42
Çizelge 4.11. Etkinlik skorlarına ait korelasyon değerleri.....	43
Çizelge 4.12. Veri için parametre tahminleri.....	43
Çizelge 4.13. Japon beysbol takımlara ait veri	44
Çizelge 4.14. Beysbol veri setine ait özet istatistikler	45
Çizelge 4.15. Japon beysbol takımlarına ait etkinlik skorları.....	45
Çizelge 4.16. Etkinlik skorlarına ait korelasyon değerleri.....	46
Çizelge 4.17. Veri için parametre tahminleri.....	46
Çizelge 5.1. Hipotetik veriye ait teknik etkinlik skorları.....	59
Çizelge 5.2. Ekinlik skorlarına ait korelasyon matrisi	59
Çizelge 5.3. Banka veri setine ait teknik etkinlik skorları	60
Çizelge 5.4. Etkinlik skorlarına ait korelasyon değerleri.....	61
Çizelge 6.1. $v \sim U_{\text{çdgr}}(0, \sigma^2), \mu \sim D_{\text{üzgün}}(0, \theta)$ KVB=25, Girdi Sayısı=1 Durumu	64

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.1. Havaalanlarına ilişkin kullanılan değişkenler.....	71
Çizelge 7.2. VZA ve SSA modellerinde elde edilen etkinlik skorları	72
Çizelge 7.3. Modellere ilişkin bazı betimsel istatistikler	73
Çizelge 7.4. Etkinlik skorlarından elde edilen sıralamalar	74
Çizelge 7.5. Etkinlik skorlarına ait korelasyon değerleri.....	74
Çizelge 7.6. Modellere ilişkin AIC ve BIC değerleri	75
Çizelge 7.7. Parametre tahminleri.....	75

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. CCR model için etkinlik sınırı.....	7
Şekil 2.2. BCC model için etkinlik sınırı.....	8
Şekil 3.1. $\beta_0 = 0$ olan basit doğrusal regresyon eğrisi	13
Şekil 3.2. SSA için etkinlik sınırı.....	13
Şekil 6.1. Modellerin farklı deneme sayılarındaki AIC değerleri.....	65
Şekil 6.2. Modellerin farklı deneme sayılarındaki BIC değerleri.....	65
Şekil 7.1. Türkiye'nin dünya ve Avrupa havayolu yolculuklarındaki payı	68
Şekil 7.2. Toplam uçak trafiği.....	69
Şekil 7.3. Toplam yolcu sayısı.....	69

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Kısaltmalar	Açıklamalar
AIC	Akaike Bilgi Kriteri
BCC	Banker, Charnes ve Cooper
BIC	Bayesgil Bilgi Kriteri
CCR	Charnes, Cooper ve Rhodes
EÇO	En Çok Olabilirlik Yöntemi
EKK	En Küçük Kareler Yöntemi
KVB	Karar Verme Birimi
SSA	Stokastik Sınır Analizi
TPA	Toplam Pist Alanı
TTYA	Toplam Taşınan Yük Ağırlığı
TTYS	Toplam Taşınan Yolcu Sayısı
TUT	Toplam Uçak Trafiği
YHVA	Yolcuya Hizmet Veren Alanlar
VÖTK	Vergi Öncesindeki Toplam Kazanç
VZA	Veri Zarflama Analizi

1. GİRİŞ

Kâr amacı olsun ya da olmasın her türlü işletme veya kurum için, sahip oldukları kaynaklarının verimli bir biçimde kullanılmaması problemi geçmişte olduğu gibi bugün de hala güncelliğini koruyan bir sorundur. Bu sorunun giderilmesi için öncelikle sorunun kaynağının doğru olarak tespit edilmesi gerekmektedir. Böylece çözüm için gerekli ve sağlam bilgiye ulaşılmasına imkân sağlanacaktır. Karar verme birimi (KVB) olarak adlandırılan her türlü işletme, kurum ya da organizasyon gelecekteki tedbirlerini, elde edecekleri bilgiler dâhilinde kurgulayacaktır veya kullandığı bu yöntemi kendi rakip ya da aynı alanda faaliyet gösterdiği diğer KVB'leri için de uygulayarak kendisini göreceli olarak kıyaslayacaktır. Bu durumda kendisi ile diğer KVB'leri arasındaki farklılıkları ortaya çıkaracaktır. Bu tez çalışmasında, KVB'lerinin kaynaklarını verimli kullanmadaki performanslarını sayısal yöntemlerle incelememize olanak sunan tekniklerden bazılarına yer verilmiştir. Bu tekniklerin uygulanmasıyla her bir KVB için bir *etkinlik skoru* elde edilmiştir. Bu etkinlik skoru bize temelde KVB'lerinin kaynaklarının etkin kullanmasının, başka bir ifadeyle girdilerini ne ölçüde çıktıya dönüştürdüklerinin bir mertebesini vermektedir.

KVB'leri, performans hesaplaması yapılırken mutlaka girdi ya da çıktı olarak tanımlanan değişkenlerden en az birine sahip olmak zorundadır. Buradaki temel amaç en az girdi maliyeti ile en fazla kârın elde edilmesidir. Etkinlik skoru E ile ifade edilecek olursa, problemin sonuçlarına ilişkin çözümlerin en ilkel olanı;

$$E = \frac{\text{Çıktı}}{\text{Girdi}}$$

ile ifade edilen bir oranla elde edilenidir. Yukarıda verilen oran neticesinde değerlendirilecek olan konu işçi veya işveren ise, bu oran verimliliğin bir ölçüsü olarak da değerlendirilir. Etkinlik skorunun standart bir biçimde yorumlanabilmesi için bu oranın $[0,1]$ aralığında olması gerektiği konusunda görüş birliğine varılmıştır. Bu durumda her bir KVB için belirlenen çıktı, girdisi ile oranlanır, bu oran neticesinde 1'e eşit olan KVB *etkin* olarak adlandırılır. Ancak görüldüğü üzere bu oran, girdi-çıktı çiftinin ayrı ayrı negatif değerler alamayacağından, etkinlik skoru negatif olmasa da 1'den büyük olarak elde edilebilir. Böyle bir durumda $[0,1]$ aralığı koşulu sağlanamamış olur. Bu sorunun giderilmesine yönelik en pratik yol, bütün KVB'lerinin etkinlik skorlarını 1'den en büyük

olan etkinlik skoruna sahip olan KVB'nin etkinlik skoruna bölmek olacaktır. Böylece etkinlik skorları $[0,1]$ aralığına taşınmış olacaktır. Burada çıktı da girdi de yalnızca tek bir değişkeni ifade etmektedirler. Fakat uygulamada her zaman tek girdi ve çıktı ile çalışmak mümkün değildir. Girdi ve çıktı sayısının birden fazla olduğu durumlarda daha önce verilen oran,

$$\frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{j=1}^m x_j} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{x_1 + x_2 + \dots + x_m}$$

biçiminde yazılır. Burada,

x_j : j. girdinin değeri

y_i : i. çıktının değeri

n : çıktıların sayısı

m : girdilerin sayısı

Ancak, girdi ve çıktılara ait birimlerin birbirinden farklı olması durumunda ise böyle bir oranlama matematiksel olarak anlamsız olacaktır. Girdi ve çıktıların birimlerinden bağımsızlaştırılması için ağırlıklandırma işlemi yapılmalıdır. Ağırlıklandırma işleminden sonra girdi ve çıktı değişkenleri toplanabilir ve oranlanabilir bir forma dönüştürülmektedir. Yani, girdi ve çıktı sayısının birden fazla olması durumunda etkinlik skoru,

$$\frac{\sum_{i=1}^n u_i y_i}{\sum_{j=1}^m v_j x_j} = \frac{u_1 y_1 + u_2 y_2 + \dots + u_n y_n}{v_1 x_1 + v_2 x_2 + \dots + v_m x_m}$$

oranı ile hesaplanabilir. Burada v_j , j. girdiye atanan ağırlık, u_i ise i. çıktıya atanan ağırlıktır. Bu aşamadan sonraki problem ise bu ağırlık vektörlerinin nasıl belirleneceğidir. Bu ağırlık belirleme süreci tamamen sübjektif olabileceği gibi ağırlıklar objektif olarak matematiksel yöntemlerle de elde edilebilmektedir.

KVB'lerinin, girdi ve çıktı değişkenlerine objektif ağırlıklar atayarak göreceli performanslarını elde etmek için kullanılan yöntemlerden en yaygın olarak kullanılanı Veri Zarflama Analizi (VZA)'dır. VZA, matematiksel modellemeye dayalı parametrik olmayan bir yöntemdir. VZA, ağırlık atamasını KVB'lerinin etkinlik skorlarını maksimum yapacak şekilde ağırlıklar atar ve bu ağırlıkları kullanarak her bir KVB için etkinlik skoru elde eder. KVB için etkinlik skoru elde etmede kullanılan bir diğer yöntem de Stokastik Sınır Analizi (SSA)'dır. SSA, istatistiksel dağılımlara dayalı parametrik bir yöntemdir ve SSA, bu tez çalışmasının temelini oluşturmaktadır. Bu doğrultuda SSA literatüründe var olan bazı modeller detaylı bir biçimde incelenmiştir. Mevcut modeller ile elde edilen sonuçlardan daha iyi sonuçlar edebilmek için yeni modellerin önerilmesi hedeflenmiştir. Yeni modellerin literatüre kazandırılmasıyla, araştırmacılar için aradıkları çözüm için alternatifler geliştirilmiştir. Bu amaçla;

İkinci bölümde, VZA ile ilgili temel bilgiler, kullanılan temel modeller, literatür taraması, sağladığı avantajları ve dezavantajları yer almaktadır.

Üçüncü bölümde, SSA ile ilgili detaylı bilgiler, literatür taraması, literatürde yer alan modellerin incelenmesi ve bu modeller ile yapılan örneklere yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde, tezin amacı olan yeni model üretiminin varsayımları ve kaideleri, önerilen yeni modellerde kullanılan dağılımların temel özellikleri, önerilen yeni modellere ilişkin formülasyonlar yer almaktadır.

Beşinci bölümde, literatürde var olan SSA modelleri ile bu tez çalışmasında önerilen modeller için farklı senaryolar için gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarına yer verilmiştir.

Altıncı Bölümde, önerilen yeni modeller ile literatürde var olan SSA ve VZA modellerinin kıyaslanması için gerçek bir veri setine uygulama yapılmıştır. Burada seçilen uygulama alanının nedeni gerekçeleri ile verilmiştir.

Yedinci bölümde ise tez sürecinde karşılaşılan zorluklar ve çözüm yolları ile bundan sonra yapılması muhtemel çalışmalara ışık tutacak tartışma konularına yer verilmiştir.

Bu tez çalışmasında elde edilen sayısal sonuçların hepsi MATLAB 2013 programı yardımıyla yazılan kod sayesinde elde edilmiştir. Bu program kodların içeriklerinden bazıları EKLER kısmında verilmiştir.



2. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ

Terminolojide etkinlik, kaynakların verimli kullanılması anlamını taşır ve en ilkel hali ile çıktının, girdiye oranı olarak tanımlanır. Herhangi bir KVB için esas amaç, mevcut girdileri ile maksimum çıktı değerine ulaşmaktır. Girdi ve çıktıya sahip olan her KVB grubu VZA'nın konusudur. Girdi ya da çıktı değişkenlerinden birinin olmadığı durumda, olmayan girdi ya da çıktı değişkeni olarak kukla değişken kullanılarak sistemin etkinliği irdelenebilir.

KVB soyut olabileceği gibi somut da olabilir. KVB'lerine örnek olarak bankalar, hastahaneler, üniversiteler gibi kurumların yanında makineler, bir turnuvadaki spor takımları, herhangi bir spor müsabakasındaki takımın oyuncularını, ülkeler veya bir ülkenin yıllara göre herhangi bir alandaki durumu olabilir. VZA ile belirlenen performans kriterlerine göre ilgilendiğimiz olay açısından pratikte en iyileri belirleyip bunlardan bir sınır oluşturulur. Bu sınır etkinlik sınırı olarak adlandırılır ve diğer KVB'leri bu sınıra göre değerlendirilir. Böylece KVB'leri etkin ve etkin olmayan diye iki gruba ayrılır. Ayrıca, etkin olmayanların herhangi bir girdisi için fazlalık veya herhangi bir çıktısı için azlıkları sayısal büyüklük olarak VZA ile hesaplanabilmektedir. Buradan elde edilen sonuçlar etkin olmayan KVB'lerine etkin olabilmeleri için öneride bulunma avantajı sağlamaktadır. VZA ile belli bir zaman diliminde KVB'lerinin etkinliğinin zaman içerisindeki değişiminin de hesaplanması yapılabildiğinden dinamik değerlendirmeye de imkan sağlamaktadır. Bu bakımdan kurumların araştırma geliştirme birimleri tarafından kullanılabilecek bir analizdir. Bu analize temel teşkil eden ilk model Charles, Cooper ve Rholes tarafından 1978'de önerilmiştir ve öneren bilim adamlarının adlarının ilk harflerinin birleştirilmesiyle CCR modeli olarak adlandırılmıştır. O yıldan günümüze kadar VZA ile ilgili oldukça fazla sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların bir kısmı modelden kaynaklanan sorunların giderilmesi, başka yöntemlere uyarlanması ya da model içerisinde yenilikler getiren çalışmalardan oluşmaktadır. Bu çalışmalara örnek olarak, Banker(1984), Thanassoulis ve Dyson(1992), Olesen ve Petersen(1995), Fare, Grosskopf ve Tyteca(1996), Lovell ve Pastor(1999), Li ve Reeves(1999), Kao ve Liu(2000), Bal ve diğerleri(2010) ve Acarlar ve diğerleri(2014) çalışmaları verilebilir. Bu tip çalışmaların yanında VZA literatüründe esas önemli derecede yer alan, uygulama çalışmalarıdır. VZA'nın uygulama alanı oldukça geniştir. Eğitimden sağlığa, spordan yargıya, enerjiden taşımacılığa kadar KVB'leri için girdi veya çıktıdan en az birine sahip olan hemen hemen

her alan için VZA kendisine bir uygulama alanı bulmaktadır. Uygulama çalışmalarınabirkaç örnek olarak, Ray(1991), Fare ve diğerleri(1995), Avkıran(2001), Bal ve Gölcükcü(2002), Alp(2006), Alp ve Sözen(2011) ve Cui ve Li(2015) çalışmaları verilebilir. Bu tez çalışmasında ele alınan uygulamanın konusu olan taşımacılık konusu üzerine yapılmış çalışmalar Bölüm 7’de verilmiştir.

Her geçen yıl yapılan çalışma sayısının arttığı VZA metodolojisinin temelini teşkil eden CCR modeli Eşitlik 2.1’de verilmiştir. Bu model aynı zamanda ölçeğe göre sabit getiri modelleri olarak da adlandırılmaktadır. Bunun sebebi, model neticesinde elde edilen etkinlik sınırının sabit eğimli olmasıdır.

$$\begin{aligned} \max \quad & v y_o \\ u x_o &= 1 \\ u Y - v X &\leq 0 \\ v, u &\geq 0 \end{aligned} \tag{2.1}$$

Burada x_o , o . KVB’ne ait girdi, y_o ise o . KVB’ne ait çıktı değerine karşılık gelirken, v çıktıları, u girdilere ilişkin ağırlıklara karşılık gelmektedir. Bu model çarpımsal form olarak da adlandırılmaktadır. Eşitlik 2.1’de verilen modelin duali aşağıdaki gibidir ve bu modele zarflama formu da denmektedir.

$$\begin{aligned} \min \quad & \theta \\ \theta x_o - X \lambda &\geq 0 \\ Y \lambda &\geq y_o \\ \lambda &\geq 0 \end{aligned} \tag{2.2}$$

Burada, θ , o . KVB’ne ait etkinlik skoru, X ve Y sırasıyla girdi ve çıktı matrisleri, x_o ve y_o sırasıyla o . KVB’ne ait girdi ve çıktı vektörü, λ ise ağırlık vektörüdür. Eşitlik 2.2’den o . KVB, etkin olarak sınıflandırmak için $\theta = 1$, $\lambda_o = 1$ ve $\lambda_j = 0 (j \neq o)$ durumlarını sağlaması gerekmektedir. Bu durumların hepsini sağlayan her bir KVB etkin olarak değerlendirilir. Ayrıca Eşitlik 2.2’de verilen model girdi yönlü CCR modeli olarak adlandırılır. Bu model, çıktılar sabit iken girdileri minimize edecek şekilde KVB’leri etkinlik skorları elde etmektedir.

CCR modeli için bir diğer durum çıktı yönlü durumdur. Burada ise girdi yönlü CCR modelinin tam aksine girdiler sabit tutularak çıktılar maksimize edilmeye çalışılır. Eşitlik 2.3'te çıktı yönlü CCR modeli verilmiştir.

$$\max \eta$$

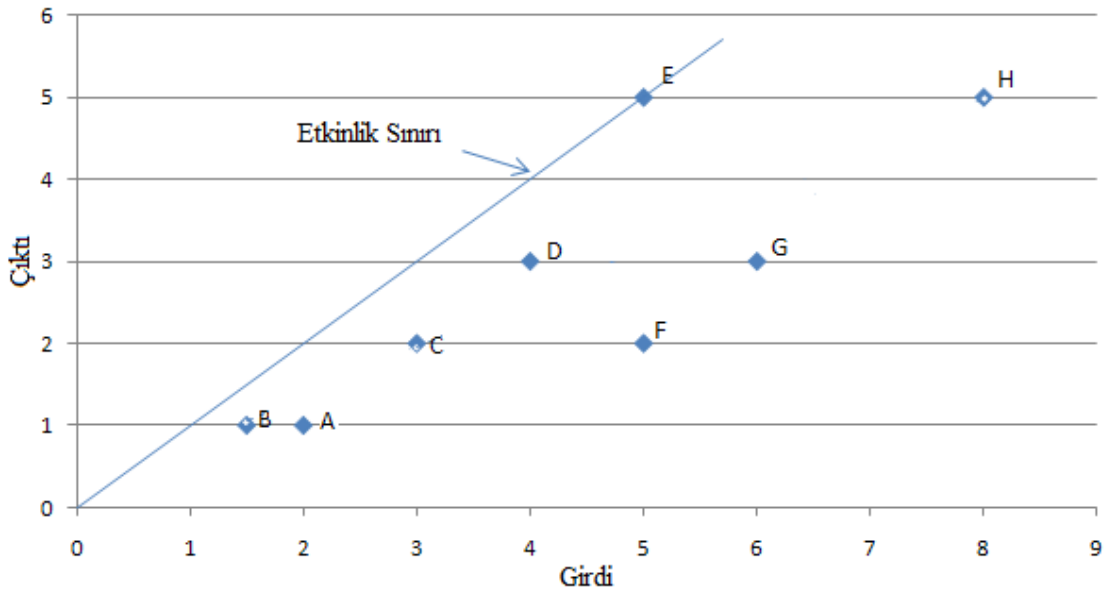
$$x_o - X\mu \geq 0 \quad (2.3)$$

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

$$\mu \geq 0$$

Burada $\mu = \lambda/\theta$ ve $\eta = 1/\theta$ dır.

CCR model neticesinde ortaya çıkacak etkinlik sınırı Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1 CCR model için etkinlik sınırı

CCR modeli ile elde edilen etkinlik sınırı, orijinden geçen bir doğrudur. Buna göre etkinlik sınırı üzerinde yer alan KVB'ne etkindir denir. Etkinlik sınırının altında kalan bölge ise üretim olabilirlik kümesi olarak adlandırılır ve etkin olmayan KVB'lerinin hepsi bu küme içerisinde yer alır. Bu sebepten bu yönetime veri zarflama denmiştir. Başka bir ifadeyle, etkin KVB'lerin üzerinde yer aldığı etkinlik sınırı diğer bütün etkin olmayan KVB'leri dıştan zarfladığı için bu duruma zarflama tabiri kullanılmış ve yöntemin genel adına da veri zarflama analizi denmiştir. Bu modelden yola çıkarak üretilen ve VZA metodolojisinin

diğer temel modeli BCC modelidir. Banker ve diğerleri(1984)'de önerilen ve yazarlarının adlarının baş harflerinin birleştirilmesiyle adlandırılan bu model aynı zamanda ölçeğe göre değişken getiri modeli olarak da adlandırılır. Bunun sebebi model neticesinde oluşturulan etkinlik sınırının değişken bir eğime sahip olmasıdır. Eşitlik 2.4'te girdi yönlü BBC modeli ve Eşitlik 2.5'te ise çıktı yönlü BBC modeli verilmiştir.

$\min \theta$

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

$$Y\lambda \geq y_o$$

$$\sum \lambda = 1$$

$$\lambda \geq 0$$

(2.4)

$\max \eta$

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

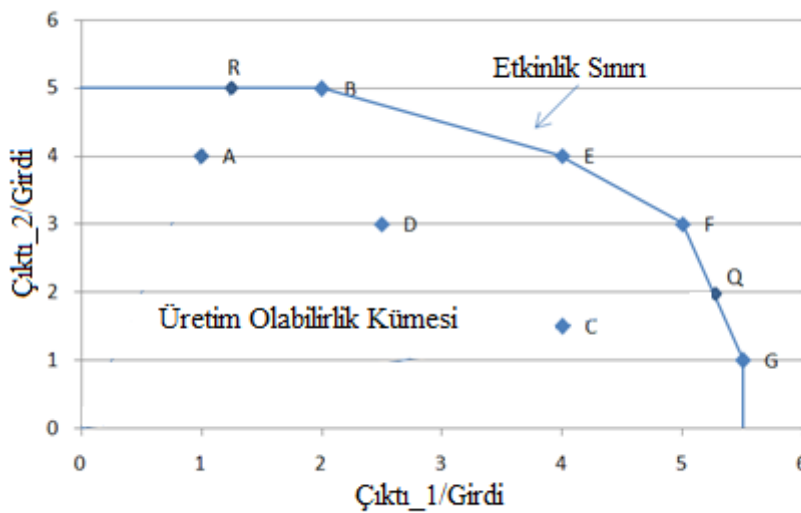
$$X\lambda \leq x_o$$

$$\sum \lambda = 1$$

$$\lambda \geq 0$$

(2.5)

BCC modelinde elde edilen etkinlik sınırı Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2. BCC model için etkinlik sınırı

BCC model ile elde edilen etkin KVB sayısı CCR modeli ile elde edilen etkin KVB sayısından büyük ya da eşittir. Ayrıca CCR model ile etkin bulunan KVB, BCC modelinde de etkindir. Fakat bu önermenin tersi doğru değildir.

Bu iki modelden elde edilen etkinlik skorunun 1'e eşit olması durumunda ilgili etkinlik skoruna sahip olan KVB'ne etkindir denir. CCR ve BCC etkin olma durumu dışında özellikle uygulama makalelerinde karşılaşılan bir diğer etkinlik türü de ölçek etkinliktir. Bu da CCR etkinlik skorunun BCC etkinlik skoruna oranı olarak elde edilir.





3. STOKASTİK SINIR ANALİZİ

Stokastik kelimesinin kökeni yunanca stochazesthai kelimesinden gelmektedir. Eski yunan dilinde bu kelime hedef tahtasının tam ortasındaki İngilizcesi “bull eye” olan bölgeye verdikleri addır. Elimizde bir hedef tahtası olsun ve oraya atışlar yapılsın. Sonra bir başka hedef tahtası konsun ve aynı kişiler yeniden atışlar yapsın. Amaç ve atıcılar aynı olmasına rağmen her bir hedef tahtası üzerinde oluşan izler farklı olacaktır. Başka bir deyişle bu tahta üzerindeki izler gelişigüzel oluşacaktır. Bu rassal bir durumdur. Bilim insanları böyle rasgelelik arzeden durumları, yukarıdaki tahta örneğiyle bağdaştırarak, stokastik olaylar olarak adlandırmışlardır.

Modern kıyaslama(benchmarking) yaklaşımında yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri VZA diğeri de SSA’dır. Bölüm 1.’de VZA ile KVB’lerine ilişkin etkinlik skorunun nasıl bulunacağına dair bilgiler verilmiştir. VZA yönteminde herhangi bir rasgelelik durumu söz konusu değildir. Ölçülen ya da gözlenen veri doğrudan modele dâhil edilmektedir. Ancak biliyoruz ki gerçek hayatın detayında hiçbir zaman tam anlamıyla doğru bir ölçüm yapılamaz. Hep bir hata durumu söz konusudur. Örneğin bir makinenin üretimi o aletin yaşıyla, kullanan operatörün kabiliyeti ya da o anki durumuyla, gelen elektrik akımının şiddetiyle, atmosferik değişkenlerin etkileriyle, ve de o an ki kullandığı hammaddenin kalitesine, kıvamına göre değişebilir. Bu örnekler her türlü etkinlik hesabının yapılabilirdiği girdi-çıktı çiftleri için çoğaltılabilir.

Gerçekte var olan ya da olması muhtemel bu hata payını da probleme dâhil ederek elde edilen değer in daha gerçekçi olacağı düşünülerek SSA yöntemi geliştirilmiştir. SSA’da bu hata payının dağılımı için bazı varsayımlar vardır. Bunlardan en önemlisi analize başlamadan önce bu hatanın karakterini biliyor olmamızdır. Yani bu hata teriminin bir dağılımı vardır ve o dağılımın da önceden bilindiği varsayılır. O zaman, VZA ile SSA arasındaki en önemli farklılığın VZA’nın parametrik olmayan, SSA’nın ise parametrik yöntemler olduğu söylenebilir. Öte yandan SSA, uygulamadan önce veri üretim sürecinin ve üretim olabilirlik kümesinin yapısı hakkında bazı varsayımlara ihtiyaç duyar. Yani üretilen girdi ve çıktı arasındaki stokastik ilişkiyi bildiğimizi varsayar. Bu da uygulamada karşımıza bir maliyet çıkaracağından bu durumun VZA’ya göre bir dezavantaj teşkil ettiği söylenebilir. Fakat her iki yöntem de etkinliği oluşturdukları üretim sınırına göre niteler. VZA sınırı, matematiksel modellemeye dayalı bir modelin çözümü neticesinde etkin olarak

belirlenen KVB'lerinin birleştirilmesiyle belirlerken, SSA etkinlik sınırını bir matematiksel fonksiyon ile belirler.

SSA, VZA gibi birçok alanda karar verme birimlerinin etkinliğini belirlemek üzere birçok uygulama makalesinde kullanılmıştır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Turizm ile ilgili olarak, Guetat, Jarboui ve Boujelbene(2015).

Enerji ile ilgili olarak, Chen, Barros ve Borges(2015), Hu ve Honma(2014), Azadeh ve diğerleri(2011), Li ve diğerleri(2015), Ueasin ve diğerleri(2015).

Eğitim ile ilgili olarak, Scippacercola ve D'Ambra(2014), Dolton ve diğerleri(2003), Ortega ve Gavilian(2013).

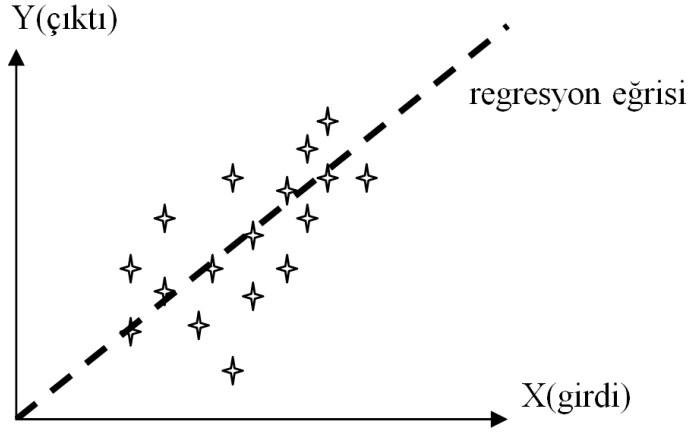
Finans sektörü ile ilgili olarak, Dong ve diğerleri(2014), Bhattacharyya ve Pal(2013), Feng ve Zhang(2014), Bhaumik ve diğerleri(2012).

Çevre ile ilgili olarak, Yao ve diğerleri(2015), Dong ve diğerleri(2013), Vaninsky(2010).

Ziraat ile ilgili olarak, Winboonpongse ve diğerleri(2015).

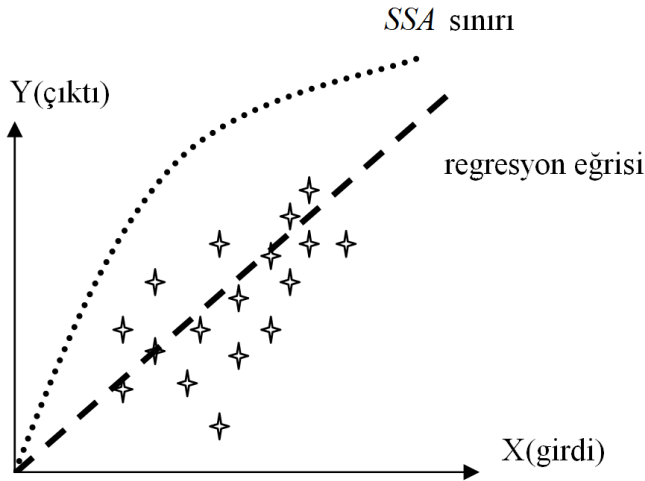
Bu örneklerin daha da arttırılması mümkündür ve gün geçtikçe de literatüre yeni çalışmalar gerek uygulama gerekse teorik olarak eklemektedir.

Bir sınır fonksiyonu oluşturma işlemi dendiğinde akla ilk gelen istatistiksel yöntem regresyon analizidir. Regresyon analizi veri için Şekil 3.1'deki gibi bir sınır oluşturur. Ancak bu sınır üretim sınırı olarak kullanılamaz. Çünkü bazı gözlemler bu yöntemle oluşturulan sınırın üzerinde yer alır.



Şekil 3.1 $\beta_0 = 0$ olan basit doğrusal regresyon eğrisi

SSA olarak adlandırılan yöntem, üretim etkinliğinin tahminine regresyon analizi gibi ekonometrik yöntemlerin geliştirilmiş ya da uyarlanmış halidir. Yöntem adındaki stokastik terimini hata teriminin rasgele oluşundan, sınır terimini ise ilgilenilen verinin zarflanması yoluyla bir üretim sınırı oluşturulmaya çalışılmasından gelmiştir. Bu yöntemle üreticilerin amaçlarıyla alakalı olarak onların etkinlik dereceleri ile sınırlarının tahmini ilişkilendirilir. SSA sonucunda yaklaşık olarak Şekil 3.2'deki gibi bir üretim sınırının çıkması beklenir.



Şekil 3.2 SSA için üretim sınırı

SSA'nın doğuşu bir birine oldukça yakın zamanlarda basılmış iki çalışmanın yayınlanmasıyla başlamıştır(Meeusen ve Van den Broeck,1977-Aigner ve diğerleri,1977). Daha sonra Battese ve Corra(1977) tarafından bir makale daha yazılmıştır. Bu üç makale de birleşik hata yapısını temel alarak bir sınır fonksiyonu oluşturmuşlardır.

Parametrik yaklaşım da parametrik olmayan yaklaşımda olduğu gibi farklı firma ya da birimlerden gözlenen gerçek gözlemleri kullanarak üretim fonksiyonunu tahmin etmeye çalışır. Bu tahmin edilen fonksiyon da her bir firmanın kendine has performansının ölçümünde kullanılmaktadır.

3.1. Stokastik Sınır Fonksiyonu

Aigner ve diğerleri(1977) ile Meesun ve Van den Broeck(1977) tarafından ayrı ayrı önerilen model aşağıdaki gibidir.

$$\ln(y_i) = x_i\beta - u_i + v_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3.1)$$

Modeldeki v istatistiksel gürültüye karşılık gelen hata terimidir ve bünyesinde her türlü kontrol edilemeyen durumların yol açtığı hata payını barındırır. Modeldeki v ile u birbirinden bağımsız rasgele değişkenlerdir. Son olarak Eşitlik 3.1’de yer alan u_i negatif olmayan rasgele değişkendir yani durumu stokastik yapan etkidir ve etkinsizlik etkisi olarak adlandırılır. Başka bir deyişle ilgilenilen birimin etkin olamama durumunu yansıtan bir değişkendir. Eğer $u = 0$ ise firma %100 etkindir denir ve $u > 0$ ise o firmanın belirli ölçüde etkinsiz olduğu sonucuna ulaşılır. u ’yu Meeusen ve Van den Broeck(1977), üstel dağılımlı, Battese ve Corra(1977) yarı normal dağılımlı olarak ele almışlardır. Aigner ve diğerleri(1977) her iki durumu da düşünmüştür. Aigner ve Chu(1968) β parametresinin karesel programlama ile de tahmin edilebileceğini öne sürmüşlerdir. Richmond(1974) β ’yı düzeltilmiş en küçük kareler(EKK) yöntemi ile tahmin ederken, Afrait(1972) u ’nun gamma dağılımına sahip olduğu durumda modeldeki parametreleri en çok olabilirlik(EÇO) yöntemi ile tahmin etmiştir. Tsionas(2012) EÇO tahminini fourier dönüşümleri yardımıyla bulmuştur. Aigner ve Chu(1968), N tane firmayı içeren bir örnek veriyi kullanarak, Cobb-Douglas biçimine benzer bir parametrik sınır üretim fonksiyonunun tahmin edilebileceğini ortaya koymuştur.

Bu bilgiler ışığında sabit parametreyi içeren stokastik sınır modeli aşağıdaki gibidir.

$$\ln(y_i) = \beta_0 + x_i\beta - u_i + v_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3.2)$$

Eşitlik 3.2’deki eşitliğe stokastik sınır üretim fonksiyonu denir. Bu fonksiyon sayesinde çıktı değerleri stokastik değişken olan $e^{x_i\beta + v_i}$ tarafından üstten sınırlandırılır. Yukarıdaki

tanımlardan yararlanılarak ilgili firmanın teknik etkinliği aşağıdaki oranlama ile elde edilebilir.

$$TE_i = \frac{y_i}{e^{x_i\beta}} = \frac{e^{x_i\beta - u_i}}{e^{x_i\beta}} = e^{-u_i} \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.3'te verilen oran $[0,1]$ aralığında değerler alır. Bu etkinlik ölçütünün bir diğer adı da Farrel ölçütüdür. Ayrıca bu ölçüt çıktı yönlü bir ölçüttür. Eşitlikten de anlaşılacağı gibi teknik etkinlik hesaplaması yapılmadan önce Eşitlik 3.3'deki β parametre vektörünün tahmin değerlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bunun için doğrusal programlama yöntemi kullanılabilir. Ancak bunun için $\min \sum_{i=1}^N u_i$ ve $u \geq 0, i = 1,2,...,N$ gibi bazı kısıtlar söz konusudur.

3.2. Parametre Tahmini

Stokastik sınır üretim fonksiyonunun parametreleri tahmin edilirken yöneylem araştırması konusu altındaki bazı yöntemlerin kullanılabileceği gibi genellikle istatistik biliminde parametre tahmini dendiğinde kullanılan en yaygın yöntemler olan EKK yöntemi ve EÇO tahmini yöntemidir. EKK yöntemi, EÇO yöntemine göre daha az matematiksel kabiliyet isteyen bir yöntemdir. Ancak EÇO yöntemi, EKK yöntemine göre asimptotik olarak daha etkindir. Ancak iki tahmin edicinin özellikleri sonlu örneklerde genellikle belirlenmemektedir. Yarı normal sınır modelinin, sonlu örnek özellikleri, Coelli(1995) tarafından yapılan bir Monte Carlo deneyinde incelenmiştir. Bu deney ile EÇO tahmin edicisinin, toplam varyans terimi içerisinde teknik etkin olmama etkilerinin payının büyük olması durumunda düzeltilmiş bilinen EKK tahmin edicisinden daha anlamlı ve daha iyi bir tahmin edici olduğu öne sürülmüştür. Ayrıca SSA modellerine ilişkin işlemlerin yapılabildiği başlıca programlar olan *LIMDEP* ve *FRONTIER* paket programları da etkinlik skorunun çözüme EÇO ile ulaşır.

3.3. Farklı Dağılım Durumları

Eşitlik 3.3'te verilen modelde yer alan v ve u değişkenlerine bağlı olarak $e = v - u$ olarak tanımlayalım. Burada v çift yanlı gürültü, u ise e 'nin negatif olmayan tek yanlı etkinsizlik bileşenidir. e genellikle bileşke hata olarak adlandırılır. Parametre tahmini için Jondrow ve

diğerleri(1982) de v ve u üzerine dağılımsal varsayımların olduğu koşullu dağılımı kullanan bir çözüm sunmuştur ve teknik etkinliğin tahminini aşağıdaki gibi önermiştir.

$$\hat{TE}_i = \exp \left\{ -E(u_i | e_i) \right\} \quad (3.4)$$

Bir başka tahmin yöntemini Battese ve Coelli(1988) önermiştir. Burada önerilen yöntem EÇO ve Momentler yöntemidir. Parametre tahmini yapılırken iki hata bileşenin dağılımları hakkında bazı önsel bilgilere sahip olmamız gerekmektedir. Genelde literatürde gürültü değişkeni v 'nin normal dağılıma, etkinsizlik terimi u 'nun ise yarı normal, üstel, log-normal ve gama dağılımına sahip olduğu varsayılır. Bununla alakalı olarak daha detaylı bilgi Aigner ve diğerleri(1977), Stevenson(1980), Greene(1990), Greene(2003) ve Griffin ve Steel(2008)'da bulunabilir. Ayrıca Nguyen(2010) doktora tezinde sırasıyla v ve u için Normal-Düzgün, Laplace-Üstel ve Cauchy-Yarı Cauchy dağılım kombinasyonları için parametre tahminlerini elde etmiştir. Aşağıda sürecin nasıl işlendiğine dair bir bilgi olması için v ve u 'nun sırasıyla normal ve yarı normal dağılıma sahip olduğu duruma ait işlemler verilmiştir.

$$* \quad v \sim iidN(0, \sigma_v^2)$$

$$** \quad u \sim iidN^+(0, \sigma_u^2)$$

*** v ve u birbirlerinden ve girdi değişkenlerinden bağımsızdırlar.

v ve u 'nun ortak olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$f(u, v) = \frac{2}{2\pi\sigma_u\sigma_v} \exp \left\{ -\frac{u^2}{2\sigma_u^2} - \frac{v^2}{2\sigma_v^2} \right\} \quad (3.5)$$

$e = v - u$ olmak üzere u ve e 'nin ortak olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$f(u, e) = \frac{2}{2\pi\sigma_u\sigma_v} \exp \left\{ -\frac{u^2}{2\sigma_u^2} - \frac{(e+u)^2}{2\sigma_v^2} \right\} \quad (3.6)$$

Buradan e 'nin marjinal olasılık yoğunluk fonksiyonu Eşitlik 3.7'deki gibi bulunur.

$$\begin{aligned}
f(e) &= \frac{2}{\sqrt{2\pi\sigma_s^2}} \left[1 - \Phi\left(\frac{e\lambda}{\sigma_s}\right) \right] \exp\left\{-\frac{e^2}{2\sigma_s^2}\right\} \\
&= \frac{2}{\sigma_s} \phi\left(\frac{e}{\sigma_s}\right) \Phi\left(-\frac{e\lambda}{\sigma_s}\right)
\end{aligned} \tag{3.7}$$

Burada $\sigma_s = (\sigma_v^2 + \sigma_u^2)^{1/2}$ ve $\lambda = \frac{\sigma_u}{\sigma_v}$ dır. Eğer $\lambda = 0$ oluyorsa teknik etkinsizliğin etkisi yoktur ve sınırdan bütün sapmaların nedeni gürültü değişkenidir. Ayrıca $\Phi(\cdot)$ ve $\phi(\cdot)$ sırasıyla standart normal kümülatif dağılım ve olasılık yoğunluk fonksiyonlarıdır. Daha sonra e 'ye ilişkin beklenen değer ve varyansları da Eşitlik 3.8'deki gibi elde edilebilir.

$$\begin{aligned}
E(e) &= -E(u) = -\sigma_u \sqrt{\frac{2}{\pi}} \\
V(e) &= \frac{\pi - 2}{\pi} \sigma_u^2 + \sigma_v^2
\end{aligned} \tag{3.8}$$

Eşitlik 3.9'da verilen olabilirlik fonksiyonu kullanılarak parametreler için EÇO tahmin edicileri bulunur.

$$\ln L(\beta, \sigma_s, \lambda | y) = -\frac{N}{2} \ln\left(\frac{\pi\sigma_s^2}{2}\right) + \sum_{i=1}^N \ln \Phi\left(\frac{e_i \lambda}{\sigma_s}\right) - \frac{1}{2\sigma_s^2} \sum_{i=1}^N e_i^2 \tag{3.9}$$

Daha sonra parametrelerin tahmini, bilindiği üzere ayrı ayrı kısmi türevlerinin sıfıra eşitlenmesiyle elde edilmiştir. Jondrow ve diğerleri(1982) aynı durumda koşullu olasılık yoğunluk fonksiyonlarından yararlanarak teknik etkinliğin tahminini elde etmişlerdir.

$$f(u|e) = \frac{f(u, e)}{f(e)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_*^2}} \exp\left\{-\frac{(u - \mu_*)^2}{2\sigma_*^2}\right\} \Bigg/ \left\{1 - \Phi\left(-\frac{\mu_*}{\sigma_*}\right)\right\} \tag{3.10}$$

Burada $\mu_* = \frac{e\sigma_u^2}{\sigma_s^2}$ ve $\sigma_*^2 = \frac{\sigma_u^2 \sigma_v^2}{\sigma_s^2}$ biçimindedir. $f(u|e)$ dağılımının ortalaması u_i 'nin nokta tahmini olarak alınabilir.

$$E(u_i | e_i) = \frac{\sigma\lambda}{1 + \lambda^2} \left[\frac{\phi(e_i \lambda / \sigma)}{\Phi(e_i \lambda / \sigma)} - \frac{e_i \lambda}{\sigma} \right] \tag{3.11}$$

Son olarak Eşitlik 3.4'te yer alan koşullu beklenen değerin çözümü ile KVB'leri için etkinlik skoru elde edilmiş olur. Bu süreçler başka dağılım çiftleri için de aynı algoritma ile devam eder.

Daha önce bahsi geçen hata bileşenlerinin dağılım kombinasyonları, Eşitlik 3.4 ile Eşitlik 3.11'den yararlanılarak çizilen stokastik sınır üretim eğrisinin karakterini belirler. Stokastik sınır üretim fonksiyon modelinin parametrelerinin tahmininde birden fazla yöntem kullanılabilir. Bu yöntemler istatistik biliminin parametre tahminindeki temel yöntemleri olan EÇO, EKK ve momentler yöntemidir. Diğer bir tahmin etme yöntemi de iki adımlı Newton-Rahpson yöntemidir. Bu yöntem lineer olmayan denklem sistemleri için çözümü iteratif olarak bulan bir yöntemdir. Bir de bu yöntemlerin belli bir olasılıksal dağılımda oluşturulan model için karşılaştırıldığı çalışmalar vardır. Bu türdeki çalışmalara örnek olarak Olson ve diğerleri(1980) ve Coelli(1995) verilebilir.

3.4. Literatürde Yer Alan Bazı Modeller

3.4.1. Normal - Düzgün Model

Bu modelde hata bileşenlerinin olasılık yoğunluk fonksiyonları;

$v \sim iidN(0, \sigma^2)$ olmak üzere,

$$f(v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left\{-\frac{v^2}{2\sigma^2}\right\}, \quad -\infty < v < \infty \quad (3.12)$$

$u \sim iidU(0, \theta)$ olmak üzere,

$$f(u) = \frac{1}{\theta}, \quad 0 < u < \theta \quad (3.13)$$

gibidir. u ve v rasgele değişkenlerinin ait ortak olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$f(u, v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2} \theta} \exp\left\{-\frac{v^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (3.14)$$

$e=v-u$ olmak üzere. Bu bilgiden yararlanarak e ve u rasgele değişkenlerinin ortak olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$f(e,u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2\theta}} \exp\left\{-\frac{(e+u)^2}{2\sigma^2}\right\}, \quad -\infty < e < \infty, \quad 0 < u < \theta \quad (3.15)$$

Yukarıda verilen ortak olasılık yoğunluk fonksiyonunun yardımıyla e rasgele değişkenin marjinal dağılımı aşağıdaki gibi elde edilir.

$$f(e) = \int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2\theta}} \exp\left\{-\frac{(e+u)^2}{2\sigma^2}\right\} du \quad (3.16)$$

İşlemlerin daha kolay olabilmesi için şu dönüşümler yapılır.

$$\frac{e+u}{\sigma} = z \text{ olmak üzere;}$$

$$\frac{1}{\sigma} du = dz \text{ olarak yazılır. Buradan } e \text{ 'nin marjinal olasılık yoğunluk fonksiyonu}$$

$$\begin{aligned} f(e) &= \int_{\frac{e}{\sigma}}^{\frac{\theta+e}{\sigma}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\theta}} \exp\left\{-\frac{z^2}{2}\right\} dz \\ &= \frac{1}{\theta} \left[\Phi\left(\frac{\theta+e}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{e}{\sigma}\right) \right] \end{aligned} \quad (3.17)$$

şeklinde elde edilir. Burada, e rasgele değişkeninin beklenen değeri;

$$E[e] = -E[u] = -\frac{\theta}{2}, \text{ varyansı da}$$

$$Var[e] = Var[u] + Var[v] = \sigma^2 + \frac{\theta^2}{12}$$

olarak elde edilir. Burada e rasgele değişkenin marjinal olasılık yoğunluk fonksiyonundan yararlanarak, bu model için stokastik sınır fonksiyonun belirlenmesi için gerekli olan

parametrelerin tahmini aşağıda verilen log-olabilirlik fonksiyonu yardımı ile bulunmaktadır.

$$\ln L = -N \ln \theta + \sum_{i=1}^N \ln \left[\phi \left(\frac{\theta + e_i}{\sigma} \right) - \phi \left(\frac{e_i}{\sigma} \right) \right] \quad (3.18)$$

Bu log-olabilirlik fonksiyonunun parametrelere göre kısmi türevleri;

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \theta} = -\frac{N}{\theta} + \sum_{i=1}^N \frac{\frac{1}{\sigma} \phi \left(\frac{\theta + e_i}{\sigma} \right)}{\Phi \left(\frac{\theta + e_i}{\sigma} \right) - \Phi \left(\frac{e_i}{\sigma} \right)} \quad (3.19)$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \sigma^2} = \frac{1}{2\sigma^3} \sum_{i=1}^N \frac{-(\theta + e_i) \phi \left(\frac{\theta + e_i}{\sigma} \right) + e_i \phi \left(\frac{e_i}{\sigma} \right)}{\Phi \left(\frac{\theta + e_i}{\sigma} \right) - \Phi \left(\frac{e_i}{\sigma} \right)} \quad (3.20)$$

şeklinde. Buradan θ ve σ^2 parametrelerinin tahmin edicileri yukarıda verilen iki kısmi türevin sıfıra eşitlenip çözülmesiyle elde edilir. Bu aşamada Coubb-Douglas tipi üretim fonksiyonuna göre,

$$e_i = \ln(y_i) - \beta_0 - \sum_{n=1}^N \beta_n \ln(x_{ni}), \quad i = 1, \dots, N \quad (3.21)$$

eşitliği yazılabilir. Bu eşitlikteki β parametrelerinin tahmin edicilerini elde etmek için türevdeki zincir kuralı uygulanabilir. Bu kural çerçevesinde β_0 için en çok olabilirlik tahmin edicisi;

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \beta_0} = \frac{\partial \ln L}{\partial e_i} \frac{\partial e_i}{\partial \beta_0}$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \beta_0} = -\frac{1}{\sigma} \sum_{i=1}^N \frac{\phi \left(\frac{\theta + e_i}{\sigma} \right) - \phi \left(\frac{e_i}{\sigma} \right)}{\Phi \left(\frac{\theta + e_i}{\sigma} \right) - \Phi \left(\frac{e_i}{\sigma} \right)} \quad (3.22)$$

olarak elde edilir. Bu zincir kuralını kullanarak diğer β parametrelerin tahminleri aşağıdaki kısmi türevlerin sıfıra eşitlenmesiyle elde edilir.

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \beta_n} = \frac{\partial \ln L}{\partial e_i} \frac{\partial e_i}{\partial \beta_n}$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \beta_n} = -\frac{1}{\sigma} \sum_{i=1}^N \ln x_{ni} \frac{\phi\left(\frac{\theta + e_i}{\sigma}\right) - \phi\left(\frac{e_i}{\sigma}\right)}{\Phi\left(\frac{\theta + e_i}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{e_i}{\sigma}\right)} \quad (3.23)$$

Parametreler tahmin edildikten sonra her bir KVB için etkinlik değerleri;

$$f(u_i | e_i) = \frac{f(u_i, e_i)}{f(e_i)}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\theta} \frac{1}{\Phi\left(\frac{\theta + e_i}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{e_i}{\sigma}\right)} \exp\left\{-\frac{(e_i + u_i)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (3.24)$$

koşullu olasılık yoğunluk fonksiyonu yardımı ile elde edilir. Buradaki i indisi, bir KVB'ne karşılık gelmektedir ve $f(u_i | e_i)$ koşullu olasılık yoğunluk fonksiyonu $-e_i$ ortalamalı σ^2 varyanslı, soldan 0, sağdan θ ile kesilmiş normal dağılımlıdır (Nguyen, 2010). Bu fonksiyondan hesaplanan $E[u_i | e_i]$ ilgili KVB'nin etkinlik tahminini bulmada anahtar rol oynamaktadır. $E[u_i | e_i]$, etkinsizlik bileşeni olan u_i için nokta tahmini olacaktır. $E[u_i | e_i]$ ve $Var[u_i | e_i]$ Eşitlik 3.26 ve 3.27'de verilmiştir.

$$E[u_i | e_i] = -\sigma \left[\frac{\phi\left(\frac{\theta + e_i}{\sigma}\right) - \phi\left(\frac{e_i}{\sigma}\right)}{\Phi\left(\frac{\theta + e_i}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{e_i}{\sigma}\right)} \right] - e_i \quad (3.25)$$

Ancak $\frac{\theta}{\sigma} \rightarrow \infty$ oluyorsa $E[u_i | e_i]$ Eşitlik 3.26'daki gibi yazılabilir.

$$E[u_i | e_i] = \sigma \left[\frac{\phi\left(\frac{e_i}{\sigma}\right)}{1 - \Phi\left(\frac{e_i}{\sigma}\right)} - \frac{e_i}{\sigma} \right] > 0 \quad (3.26)$$

Bu eşitlik hazard fonksiyonunun $h(x) = \frac{\phi(x)}{1 - \Phi(x)} > x$, $x \in \mathfrak{R}$ özelliğinden yararlanarak elde edilmiştir.

$$\text{var}[u_i | e_i] = \sigma^2 \left\{ 1 - \frac{\frac{e_i + \theta}{\sigma} \phi\left(\frac{e_i + \theta}{\sigma}\right) - \frac{e_i}{\sigma} \phi\left(\frac{e_i}{\sigma}\right)}{\Phi\left(\frac{e_i - \theta}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{e_i}{\sigma}\right)} - \left[\frac{\phi\left(\frac{e_i + \theta}{\sigma}\right) - \phi\left(\frac{e_i}{\sigma}\right)}{\Phi\left(\frac{e_i - \theta}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{e_i}{\sigma}\right)} \right]^2 \right\} \quad (3.27)$$

Bütün bu süreç sonucunda teknik etkinliğin tahmini Eşitlik 3.4'te verilen $\hat{TE}_i = \exp\{-E(u_i | e_i)\}$ ile elde edilir. $E[u_i | e_i]$, u_i 'nin tahmini olduğundan Eşitlik 3.4,

$$\hat{TE} = \exp\{-\hat{u}_i\} \quad (3.28)$$

olarak da ifade edilebilir

3.4.2. Laplace-Üstel Model

Bu modelde hata bileşenlerinin dağılımı aşağıdaki gibidir.

$$v \sim iidLaplace(b)$$

$$f(v) = \frac{1}{2b} \exp\left\{-\frac{|v|}{b}\right\}, -\infty < v < \infty, b > 0 \quad (3.29)$$

$$u \sim iidExp(\theta)$$

$$f(u) = \frac{1}{\theta} \exp\left\{-\frac{u}{\theta}\right\}, u \geq 0, \theta \geq 0 \quad (3.30)$$

u ve v rasgele değişkenlerine ait ortak olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(u, v) = \frac{1}{2b\theta} \exp \left\{ -\frac{u}{\theta} - \frac{|v|}{b} \right\}, u \geq 0, -\infty < v < \infty \quad (3.31)$$

biçimindedir.

$e=v-u$ olmak üzere, e ve u rasgele değişkenlerinin ortak olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(u, e) = \frac{1}{2b\theta} \exp \left\{ -\frac{u}{\theta} - \frac{|u+e|}{b} \right\} \quad (3.32)$$

şeklinde elde edilir. Yukarıda verilen ortak olasılık yoğunluk fonksiyonunun yardımıyla e rasgele değişkeninin marjinal dağılımı aşağıdaki gibi elde edilir. Burada mutlak değer olduğundan e rasgele değişkeninin işaretine göre iki farklı durum söz konusudur.

Durum 1: $e \geq 0$ ise

$$\begin{aligned} f(e) &= \int_0^{\infty} \frac{1}{2b\theta} \exp \left\{ -\frac{u}{\theta} - \frac{u+e}{b} \right\} du \\ &= \frac{1}{2b\theta} \exp \left\{ -\frac{e}{b} \right\} \int_0^{\infty} \exp \left\{ -\frac{u(b+\theta)}{b\theta} \right\} du \\ &= \frac{1}{2(b+\theta)} \exp \left\{ -\frac{e}{b} \right\}, \quad e \geq 0 \end{aligned} \quad (3.33)$$

Durum 2: $e < 0$ ise

$$\begin{aligned} f(e) &= \int_0^{-e} \frac{1}{2b\theta} \exp \left\{ -\frac{u}{\theta} + \frac{u+e}{b} \right\} du + \int_{-e}^{\infty} \frac{1}{2b\theta} \exp \left\{ -\frac{u}{\theta} - \frac{u+e}{b} \right\} du \\ &= \frac{\exp \left\{ \frac{e}{b} \right\}}{2(b-\theta)} \int_0^{-e} \frac{b-\theta}{b\theta} \exp \left\{ -\frac{u(b-\theta)}{b\theta} \right\} du + \frac{\exp \left\{ -\frac{e}{b} \right\}}{2(b-\theta)} \exp \left\{ -\frac{u(b+\theta)}{b\theta} \right\} \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{2(b-\theta)} \exp\left\{\frac{e}{b}\right\} - \frac{1}{2(b-\theta)} \exp\left\{\frac{e}{\theta}\right\} + \frac{1}{2(b+\theta)} \exp\left\{\frac{e}{\theta}\right\}, e < 0 \quad (3.34)$$

Durum 1 ve 2 dikkate alınarak e rasgele değişkenin marjinal olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(e) = \begin{cases} \frac{1}{2(b+\theta)} \exp\left\{-\frac{e}{b}\right\} & , e \geq 0 \\ \frac{\exp\left\{\frac{e}{b}\right\}}{2(b-\theta)} - \frac{\exp\left\{\frac{e}{\theta}\right\}}{2(b-\theta)} + \frac{\exp\left\{\frac{e}{\theta}\right\}}{2(b+\theta)} & , e < 0 \end{cases} \quad (3.35)$$

iki parçalı fonksiyon şeklinde elde edilir. Bundan sonra gerekli parametrelerin tahmin edilmesi için gerekli olan log-olabilirlik fonksiyonu verilmiştir. Bu fonksiyon $b = \theta$ varsayımı altında elde edilmiştir. Notasyondaki standartın sağlanması için de bu iki parametre yerine σ yazılmıştır. Bu durumda olabilirlik ve log-olabilirlik fonksiyonu Eşitlik 3.36 ve 3.37’de sırasıyla verilmiştir.

$$\delta_i = \begin{cases} 1 & e_i \geq 0 \\ 0 & e_i < 0 \end{cases}$$

için olabilirlik fonksiyonu;

$$L = \prod_{i=1}^N \left[\frac{1}{4\sigma} \exp\left\{-\frac{e_i}{\sigma}\right\} \right]^{\delta_i} \left[\frac{\sigma - 2e_i}{4\sigma^2} \exp\left\{\frac{e_i}{\sigma}\right\} \right]^{1-\delta_i} \quad (3.36)$$

log-olabilirlik fonksiyonu da,

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \left[\frac{1}{4\sigma} \exp\left\{-\frac{e_i}{\sigma}\right\} \right]^{\delta_i} \left[\frac{\sigma - 2e_i}{4\sigma^2} \exp\left\{\frac{e_i}{\sigma}\right\} \right]^{1-\delta_i} \quad (3.37)$$

biçimindedir(Nguyen, 2010). SSA modelinde var olan bütün parametrelerin tahmin edilmesinde dolayısıyla log-olabilirlik fonksiyonunun maksimize edilmesinde iteratif yöntemler kullanılabilir. Böylelikle tahmin edilmesi gereken parametrelerin sayısal çözümleri elde edilebilir.

Her bir KVB için teknik etkinlik skorunun tahmin edilmesi aşamasında gerekli olan koşullu olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(u_i | e_i) = \frac{f(u_i, e_i)}{f(e_i)}$$

$$f(u_i | e_i) = \begin{cases} \frac{\frac{1}{2b\theta} \exp\left\{-\frac{u_i}{b} - \frac{u_i + e_i}{\theta}\right\}}{\frac{1}{2(b+\theta)} \exp\left\{-\frac{e_i}{\theta}\right\}} & e_i \geq 0 \\ \frac{\frac{1}{2b\theta} \exp\left\{-\frac{u_i}{b} - \frac{|u_i + e_i|}{\theta}\right\}}{\frac{\exp\left\{\frac{e_i}{\theta}\right\}}{2(\theta-b)} - \frac{\exp\left\{\frac{e_i}{b}\right\}}{2(\theta-b)} + \frac{\exp\left\{\frac{e_i}{b}\right\}}{2(\theta+b)}} & e_i < 0 \end{cases} \quad (3.38)$$

şeklindedir. Buradan $E[u_i | e_i]$, e_i 'nin işaretine göre iki durumda aşağıdaki gibi elde edilir.

Durum 1: $e_i \geq 0$ için

$$E[u_i | e_i] = \frac{b\theta}{b+\theta} \text{ olarak elde edilir}$$

Durum 2: $e_i < 0$ için

$$E[u_i | e_i] = \frac{1}{2C_i b \theta} \left[\int_0^{-e_i} u_i \exp\left\{-\frac{u_i}{b} + \frac{u_i + e_i}{\theta}\right\} du_i + \int_{-e_i}^{\infty} u_i \exp\left\{-\frac{u_i}{b} - \frac{u_i + e_i}{\theta}\right\} du_i \right]$$

$$= \frac{1}{2C_i b \theta} \left[\int_0^{\infty} u_i \exp\left\{-\frac{u_i}{b} + \frac{u_i + e_i}{\theta}\right\} du_i + \int_{-e_i}^{\infty} u_i \exp\left\{-\frac{u_i}{b} + \frac{u_i + e_i}{\theta}\right\} du_i \right]$$

$$+ \int_0^{\infty} (x_i - e_i) \exp\left\{-\frac{x_i - e_i}{b} + \frac{x_i}{\theta}\right\} dx_i$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{C_i} \left[\exp\left\{\frac{e_i}{\theta}\right\} \frac{\theta b}{(\theta-b)^2} - \int_0^{\infty} \frac{(x_i - e_i)}{2\theta b} \exp\left\{-\frac{x_i - e_i}{b} + \frac{x_i}{\theta}\right\} dx_i \right] \\
&= \frac{1}{C_i} \left[\exp\left\{\frac{e_i}{\theta}\right\} \frac{\theta b}{(\theta-b)^2} - \exp\left\{\frac{e_i}{b}\right\} \frac{\theta b}{(\theta-b)^2} + \frac{e_i}{2(b+\theta)} \exp\left\{\frac{e_i}{b}\right\} \right] \\
&= \frac{1}{C_i} \left[\exp\left\{\frac{e_i}{\theta}\right\} \frac{\theta b}{(\theta-b)^2} - \exp\left\{\frac{e_i}{b}\right\} \frac{\theta b}{(\theta-b)^2} + \frac{e_i}{2(b+\theta)} \exp\left\{\frac{e_i}{b}\right\} \right]
\end{aligned}$$

olarak elde edilir. Burada;

$$C_i = \frac{1}{2(\theta-b)} \exp\left\{\frac{e_i}{\theta}\right\} - \frac{1}{2(\theta-b)} \exp\left\{\frac{e_i}{b}\right\} + \frac{1}{2(\theta+b)} \exp\left\{\frac{e_i}{b}\right\}$$

şeklindedir. Yukarıdaki durum dağılımın parametreleri için genel bir çözümdür. Bir sonraki eşitlikte ise dağılım parametrelerinin eşit olması durumunda önce $f(u_i | e_i)$ sonra da $E[u_i | e_i]$ 'in karşılığı verilmiştir.

$b = \theta = \sigma$ olması durumunda;

$$f(u_i | e_i) = \begin{cases} \frac{2}{\sigma} \exp\left\{-\frac{2u_i}{\sigma}\right\} & e_i \geq 0 \\ \frac{2}{\sigma - 2e_i} \exp\left\{-\frac{u_i + e_i}{\sigma} - \frac{|u_i - e_i|}{\sigma}\right\} & e_i < 0 \end{cases} \quad (3.39)$$

Buradan koşullu olasılık aşağıdaki gibi elde edilir.

Durum 1: $e_i \geq 0$ için

$$E[u_i | e_i] = \frac{\sigma}{2} \quad (3.40)$$

Durum 2: $e_i < 0$ için

$$\begin{aligned}
 E[u_i | e_i] &= \frac{2}{\sigma - 2e_i} \int_0^{-e_i} u_i du_i + \frac{2}{\sigma - 2e_i} \int_{-e_i}^{\infty} u_i \exp\left\{-\frac{2(u_i + e_i)}{\sigma}\right\} du_i \\
 &= \frac{e_i^2}{\sigma - 2e_i} + \frac{2}{\sigma - 2e_i} \int_0^{\infty} (u_i - e_i) \exp\left\{-\frac{2u_i}{\sigma}\right\} du_i \\
 &= \frac{2e_i^2 + \sigma^2 - 2e_i\sigma}{2(\sigma - e_i)}
 \end{aligned} \tag{3.41}$$

Böylece $E[u_i | e_i]$ 'için aşağıdaki parçalı fonksiyon elde edilir.

$$E[u_i | e_i] = \begin{cases} \frac{\sigma}{2} & e_i \geq 0 \\ \frac{\sigma}{2} + \frac{e_i^2}{\sigma - 2e_i} & e_i < 0 \end{cases} \tag{3.42}$$

$E[u_i | e_i]$ beklenen değerinde parametreler yerine bunların tahmin edicileri konulduğunda Eşitlik 3.43 ile verilen beklenen değer, u_i için bir teknik etkinlik tahmin edicisi olmaktadır.

$$\hat{TE}_i = \exp\{-E[u_i | e_i]\} \tag{3.43}$$

3.4.3. Cauchy - Yarı Cauchy Model

Modeldeki hata bileşenlerine ait dağılımlar ve bunların olasılık yoğunluk fonksiyonları aşağıdaki gibidir.

$$u \sim iidCauchy(0, \sigma_v)$$

$$f(v) = \frac{\sigma_v}{\pi(\sigma_v^2 + v^2)}, -\infty < v < \infty \tag{3.44}$$

$$u \sim iidCauchy^+(0, \sigma_u)$$

$$f(u) = \frac{2\sigma_u}{\pi(\sigma_u^2 + u^2)}, 0 \leq u < \infty \quad (3.45)$$

Bu iki dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu verildikten sonra u ve v rasgele değişkenlerine ait ortak olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$f(u, v) = \frac{2\sigma_u \sigma_v}{\pi^2(\sigma_v^2 + v^2)(\sigma_u^2 + u^2)} \quad (3.46)$$

$e=v-u$ olmak üzere, e ve u rasgele değişkenlerine ait ortak olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(u, e) = \frac{2\sigma_u \sigma_v}{\pi^2(\sigma_v^2 + (u+e)^2)(\sigma_u^2 + u^2)} \quad (3.47)$$

şeklinde elde edilir. Buradan da bileşke hataya ait marjinal olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$\begin{aligned} f(e) &= \int_0^\infty \frac{2\sigma_u \sigma_v}{\pi^2(\sigma_v^2 + (u+e)^2)(\sigma_u^2 + u^2)} du \\ &= \frac{2\sigma_u \sigma_v}{\pi^2} \int_0^\infty \left\{ \frac{A^*u + B^*}{\sigma_u^2 + v^2} + \frac{C^*u + D^*}{\sigma_u^2 + (u+e)^2} \right\} du. \end{aligned} \quad (3.48)$$

olarak elde edilir edilir. Burada;

$$\begin{aligned} A^* &= -C^* = \frac{-2e}{M}, \\ B^* &= \frac{\sigma_v^2 - \sigma_u^2 + e^2}{M}, \\ C^* &= \frac{\sigma_v^2 - \sigma_u^2 + 3e^2}{M}, \end{aligned} \quad (3.49)$$

$$M = (\sigma_v^2 - \sigma_u^2 + e^2)^2 + 4e^2 \sigma_v^2 \quad (3.50)$$

biçimindedir. Gerekli matematiksel işlemlerden sonra marjinal olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$\begin{aligned}
f(e) &= \frac{2\sigma_u\sigma_v}{\pi^2} \left[\int_0^\infty \frac{(A^*u + B^*)}{(\sigma_u^2 + u^2)} du + \int_0^\infty \frac{(C^*u + D^*)}{\sigma_v^2 + (u+e)^2} du \right] \\
&= \frac{2\sigma_u\sigma_v}{\pi^2} \left[-\frac{A^*}{2} \ln \frac{\sigma_u^2}{\sigma_v^2 + e^2} + \frac{\pi}{2} \left(\frac{B^*}{\sigma_u} - \frac{C^*e}{\sigma_v} + \frac{D^*}{\sigma_v} \right) \right. \\
&\quad \left. + \frac{C^*e - D^*}{\sigma_v} \tan^{-1} \left(\frac{e}{\sigma_v} \right) \right] \\
&= \frac{2\sigma_u\sigma_v}{\pi^2} \left[\frac{e}{M} \ln \frac{\sigma_u^2}{\sigma_v^2 + e^2} + \frac{\pi(\sigma_u + \sigma_v)[(\sigma_u + \sigma_v)^2 + e^2]}{2M\sigma_u\sigma_v} \right. \\
&\quad \left. + \frac{\sigma_u^2 - \sigma_v^2 - e^2}{M\sigma_v} \tan^{-1} \left(\frac{e}{\sigma_v} \right) \right]
\end{aligned} \tag{3.51}$$

olarak elde edilir. Eğer hata bileşenlerinin dağılımlarına ait parametreler birbirine eşit ise, bu durumda;

$\sigma_u = \sigma_v = \sigma$ ve;

$$\begin{aligned}
A^* &= -C^* = -\frac{2}{e(4\sigma^2 + e^2)}, \\
B^* &= \frac{1}{4\sigma^2 + e^2}, \\
D^* &= \frac{3}{4\sigma^2 + e^2},
\end{aligned} \tag{3.52}$$

olmak üzere,

$$f(e) = \frac{2\sigma^2}{\pi^2} \left[\frac{1}{e(4\sigma^2 + e^2)} \ln \frac{\sigma^2}{\sigma^2 + e^2} + \frac{\pi}{\sigma(4\sigma^2 + e^2)} - \frac{1}{e(4\sigma^2 + e^2)} \tan^{-1} \left(\frac{e}{\sigma} \right) \right] \tag{3.53}$$

şeklinde marjinal olasılık yoğunluk fonksiyonu elde edilir.

N tane KVB için log-olabilirlik fonksiyonu;

$$\begin{aligned}
\ln L &= \sum_{i=1}^N \ln \left[\frac{e_i}{M_i} \ln \frac{\sigma_u^2}{\sigma_v^2 + e_i^2} + \frac{\pi(\sigma_u + \sigma_v)[(\sigma_u + \sigma_v)^2 + e_i^2]}{2M_i\sigma_u\sigma_v} + \frac{\sigma_u^2 - \sigma_v^2 - e_i^2}{M_i\sigma_v} \tan^{-1} \left(\frac{e_i}{\sigma_v} \right) \right] \\
&\quad + \ln(2\sigma_u\sigma_v) - 2 \ln \pi
\end{aligned}$$

olarak elde edilir. Burada $M_i = (\sigma_v^2 - \sigma_u^2 + e_i^2)^2 + 4e_i^2\sigma_u^2$ biçimindedir. Bu fonksiyondan yararlanarak parametrelerin en çok olabilirlik tahmin edicisini elde etmek için bu fonksiyon iteratif yöntemlerle maksimum yapılabilir.

Buradan sonra işlem teknik etkinliğin tahminini elde etmek için aşağıdaki koşullu olasılık yoğunluk fonksiyonunun elde edilmesidir.

$$f(u_i | e_i) = \frac{f(u_i, e_i)}{f(e_i)} \text{ olmak üzere,}$$

$$f(u_i | e_i) = \frac{M_i}{\left[e_i \ln \frac{\sigma_u^2}{\sigma_v^2 + e_i^2} + \frac{\pi(\sigma_u + \sigma_v)[(\sigma_v - \sigma_u)^2 + e_i^2]}{2\sigma_u\sigma_v} + \frac{\sigma_v^2 - \sigma_u^2 - e_i^2}{\sigma_u} \tan^{-1}\left(\frac{e_i}{\sigma_v}\right)(\sigma_u^2 + u^2)(\sigma_v^2 + (u_i + e_i)^2) \right]} = \frac{K_i}{(\sigma_u^2 + u^2)(\sigma_v^2 + (u_i + e_i)^2)} \quad (3.54)$$

Burada K_i ;

$$K_i = \frac{M_i}{e_i \ln \frac{\sigma_u^2}{\sigma_v^2 + e_i^2} + \frac{\pi(\sigma_u + \sigma_v)[(\sigma_v - \sigma_u)^2 + e_i^2]}{2\sigma_u\sigma_v} + \frac{\sigma_v^2 - \sigma_u^2 - e_i^2}{\sigma_u} \tan^{-1}\left(\frac{e_i}{\sigma_v}\right)} \quad (3.55)$$

biçimindedir. $\sigma_u = \sigma_v = \sigma$ olduğunu yani her iki dağılıma ait parametrelerin birbirine eşit olduğunu varsayıldığında Eşitlik 3.54'te verilen koşullu olasılık yoğunluk fonsiyonu;

$$f(u_i | e_i) = \frac{4\sigma^2 + e_i^2}{\frac{1}{e_i} \ln \frac{\sigma^2}{\sigma^2 + e_i^2} + \frac{\pi}{\sigma} - \frac{1}{\sigma} \tan^{-1}\left(\frac{e_i}{\sigma}\right) \pi(\sigma_u + u^2)(\sigma_v + (u_i + e_i)^2)} = \frac{K'_i}{(\sigma_u + u^2)(\sigma_v + (u_i + e_i)^2)} \quad (3.56)$$

olarak elde edilir. Burada K'_i ;

$$K_i' = \frac{4\sigma^2 + e_i^2}{\left[\frac{1}{e_i} \ln \frac{\sigma^2}{\sigma^2 + e_i^2} + \frac{\pi}{\sigma} - \frac{1}{\sigma} \tan^{-1} \left(\frac{e_i}{\sigma} \right) \right]} \quad (3.57)$$

biçimindedir. Koşullu olasılık yoğunluk fonksiyonu elde edildiğinden artık teknik etkinlik skorunun tahmini olan koşullu beklenen değer aşağıdaki gibi elde edilir.

$$E(u_i | e_i) = \int_0^\infty K_i \frac{u_i du_i}{(\sigma_u^2 + u_i^2)(\sigma_v^2 + (u_i + e_i)^2)} \quad (3.58)$$

$$= K_i \left[-\frac{A_i}{2} \ln \frac{\sigma_u^2}{\sigma_v^2 + e_i^2} + \frac{\pi}{2} \left(\frac{B_i}{\sigma_u} - \frac{C_i e_i}{\sigma_v} + \frac{D_i}{\sigma_u} \right) + \frac{C_i e_i - D_i}{\sigma_v} \tan^{-1} \left(\frac{e_i}{\sigma_v} \right) \right]$$

burada sırasıyla A_i , B_i , C_i ve D_i aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} A_i &= -C_i = \frac{\sigma_v^2 - \sigma_u^2 + e_i^2}{M_i} \\ B_i &= \frac{2e_i \sigma_u^2}{M_i} \\ D_i &= -\frac{2e_i (\sigma_v^2 + e_i^2)}{M_i} \end{aligned} \quad (3.59)$$

M_i , K_i ikilisini daha önce tanımlanmıştık. Bu bilgilerden yararlanarak gerekli matematiksel işlemler yapıldıktan sonra koşullu beklenen değer;

$$E(u_i | e_i) = \frac{\left\{ \frac{\sigma_v^2 - \sigma_u^2 - e_i^2}{2} \ln \frac{\sigma_v^2 + e_i^2}{\sigma_u^2} + \frac{\pi}{2} \left[2e_i \sigma_u - \frac{e_i (\sigma_v^2 + \sigma_u^2 + e_i^2)}{\sigma_v} \right] + \frac{e_i (\sigma_v^2 + \sigma_u^2 + e_i^2)}{\sigma_v} \tan^{-1} \left(\frac{e_i}{\sigma_v} \right) \right\}}{\left\{ e_i \ln \frac{\sigma_u^2}{\sigma_v^2 + e_i^2} + \frac{\pi (\sigma_u + \sigma_v) [(\sigma_v - \sigma_u)^2 + e_i^2]}{2\sigma_v \sigma_u} + \frac{\sigma_v^2 - \sigma_u^2 - e_i^2}{\sigma_v} \tan^{-1} \left(\frac{e_i}{\sigma_v} \right) \right\}}$$

biçimimde elde edilir. $\sigma_u = \sigma_v = \sigma$ olması durumunda koşullu beklenen değer;

$$E(u_i | e_i) = \frac{\frac{\pi}{2} \left[2e_i \sigma - \frac{e_i (2\sigma^2 + e_i^2)}{\sigma} \right] + \frac{e_i (2\sigma^2 + e_i^2)}{\sigma} \tan^{-1} \left(\frac{e_i}{\sigma} \right)}{\left[e_i \ln \frac{\sigma^2}{\sigma^2 + e_i^2} + \frac{\pi e_i^2}{\sigma} - \frac{e_i^2}{\sigma} \tan^{-1} \left(\frac{e_i}{\sigma} \right) \right]}$$

olarak elde edilir. Bu koşullu beklenen değerde, parametreler yerine bunların tahmin edicileri $\hat{TE}_i = \exp \{-E[u_i | e_i]\}$ 'de yerine yazıldığında i.KVB için teknik etkinlik skorunun tahmini elde edilir.

3.4.4. Yarı Normal - Gama Model

Aigner ve diğerleri(1977) tarafından önerilen yarı normal dağılımlı model, tek parametrelili modellere göre biraz daha esnektir ve bu iddiayı somutlaştıran durum da bozuklukların(disturbance) yoğunluğunun sıfır civarında yoğunlaşmasıdır. Bu durumu dikkate alarak Stevenson(1980) tarafından yarı normal dağılımın yerine Gama dağılımının kısıtlı bir versiyonu önerildi. Bu modelde hata bileşenlerinin olasılık yoğunluk fonksiyonları sırasıyla;

$$v \sim iidN^+(0, \sigma^2)$$

$$f(v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left\{-\frac{v^2}{2\sigma^2}\right\}, -\infty < v < \infty, \sigma^2 > 0 \quad (3.60)$$

$$u \sim iidG(\Theta, P)$$

$$f(u) = \frac{\Theta^P}{\Gamma(P)} u^{P-1} \exp\{-\Theta u\}, u \geq 0, \Theta, P > 0, \quad (3.61)$$

biçimindedir. Bu iki rasgele değişkene ait ortak olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(u, v) = \frac{\Theta^P}{\Gamma(P)\sqrt{2\pi\sigma^2}} u^{P-1} \exp\{-\Theta u\} \exp\left\{-\frac{v^2}{2\sigma^2}\right\}, \quad (3.62)$$

olarak elde edilir.

$e=v-u$ olmak üzere aşağıda verilen ortak olasılık fonksiyonu elde edilir.

$$f(e, u) = f_v(e+u)f_u(u)$$

$$f(e, u) = (2\pi\sigma^2)^{-\frac{1}{2}} e^{-\frac{1}{2}\frac{(e+u)^2}{\sigma^2}} \frac{\Theta^P}{\Gamma(P)} u^{P-1} e^{-\Theta u} \quad (3.63)$$

dir. Gerekli sadeleştirme işlemleri yapılarak

$$f(e, u) = (2\pi\sigma^2)^{-\frac{1}{2}} e^{-\frac{e^2}{2\sigma^2}} e^{-\frac{u^2}{2\sigma^2}} e^{-\frac{eu}{\sigma^2}} \frac{\Theta^P}{\Gamma(P)} u^{P-1} e^{-\Theta u} \quad (3.64)$$

elde edilir. Daha sonra son bir düzenleme yapıldıktan sonra aşağıdaki eşitliğin e ve u 'dan bağımsız olan sağ tarafında yer alan ifadenin sol kısmına K denildiğinde e ve u 'ya ilişkin ortak olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$\begin{aligned} f(e, u) &= \frac{(2\pi\sigma^2)^{-\frac{1}{2}} \Theta^P}{\Gamma(P)} e^{-\frac{e^2}{2\sigma^2}} e^{-\frac{u^2}{2\sigma^2}} e^{-\frac{eu}{\sigma^2}} u^{P-1} e^{-\Theta u} \\ &= K e^{-\frac{e^2}{2\sigma^2}} e^{-\frac{u^2}{2\sigma^2}} e^{-\frac{eu}{\sigma^2}} u^{P-1} e^{-\Theta u} \\ f(e, u) &= K e^{-\frac{e^2}{2\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2}[u^2 + 2u\sigma^2(e/\sigma^2 + \Theta)]/\sigma^2} u^{P-1} \end{aligned} \quad (3.65)$$

olarak elde edilir. Buradan yararlanarak e 'nin marjinal olasılık yoğunluk fonksiyonu

$$f(e) = \frac{\Theta^P}{\Gamma(P)} \exp(\Theta e + \sigma^2 \Theta^2 / 2) \text{Prob}[Q > 0 | e] E[Q^{P-1} | Q > 0, e] \quad (3.66)$$

biçiminde elde edilir. Burada $Q|e$, ortalaması $E[Q|e] = -(e + \sigma^2 \Theta)$ ve varyansı $\text{var}[Q|e] = \sigma^2$ olan normal dağılıma sahip bir rasgele değişkendir.

Buradan sonra ilgilendiğimiz u 'nun koşullu beklenen değerini elde etmektir.

$f(u|e) = f(e, u) / f(e)$ olmak üzere;

$$f(e|u) = \frac{(2\pi\sigma^2)^{-\frac{1}{2}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(u + (e + \Theta\sigma^2)\right)^2 / \sigma^2\right] u^{P-1}}{\text{Prob}[Q > 0 | e] h(P-1, e)} \quad (3.67)$$

olarak elde edilir. Burada h , $h(r, e) = E[Q^r | Q > 0, e]$ biçiminde tanımlanan bir fonksiyondur. Jondrow ve diğerleri(1982) u 'nun üstel dağılıma sahip olduğu özel durum

için yukarıdaki eşitliğe muadil bir formül vermişlerdir. İlgilenilen KVB için etkinlik skorunun tahmini elde etmek için kullanılan koşullu beklenen değer aşağıda verilmiştir.

$$E[u | e] = \int_0^{\infty} u f(u | e) du = h(P, e) / h(P-1, e) \quad (3.68)$$

Modeldeki parametrelerin tahmini için kullanılan log-olabilirlik fonksiyonu;

$$\ln L = P \ln \Theta - \ln \Gamma(P) + \sigma^2 \Theta^2 / 2 + \Theta e + \ln \int_0^{\infty} (2\pi\sigma^2)^{-\frac{1}{2}} \exp \left[-\frac{1}{2}(u+e+\Theta\sigma^2)^2 / \sigma^2 \right] u^{P-1} du. \quad (3.69)$$

biçiminde elde edilir. Buradan parametrelerin tahmin edicilerinin elde edilmesi için aşağıdaki işlemler uygulanır.

$$\frac{\partial \ln L}{\partial e} = \Theta + \frac{\int_0^{\infty} (2\pi\sigma^2)^{-\frac{1}{2}} \left[-(u+e+\Theta\sigma^2) / \sigma^2 \right] \exp \left[-\frac{1}{2}(u+e+\Theta\sigma^2)^2 / \sigma^2 \right] u^{P-1} du}{\int_0^{\infty} (2\pi\sigma^2)^{-\frac{1}{2}} \exp \left[-\frac{1}{2}(u+e+\Theta\sigma^2)^2 / \sigma^2 \right] u^{P-1} du} \quad (3.70)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \ln L}{\partial e} &= -\left(1/\sigma^2\right) \left[e + \frac{h(P, e)}{h(P-1, e)} \right] \\ &= -\left(1/\sigma^2\right) (e + E[u | e]) \end{aligned} \quad (3.71)$$

$e = y - \beta x$ olmak üzere, burada tahmin etmemiz gereken parametre β olduğundan yukarıdaki eşitlikte e 'nin karşılığını yerine yazdığımızda aşağıdaki eşitliği elde ederiz.

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \beta} = \left(1/\sigma^2\right) \left[e + \frac{h(P, e)}{h(P-1, e)} \right] x \quad (3.72)$$

Benzer kısmi türev işlemlerini diğer parametreler için de yapılır.

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \Theta} = \frac{P}{\Theta} + e + \Theta\sigma^2 + \frac{\int_0^{\infty} (2\pi\sigma^2)^{-\frac{1}{2}} \left[-(u+e+\Theta\sigma^2) / \sigma^2 \right] \exp \left[-\frac{1}{2}(u+e+\Theta\sigma^2)^2 / \sigma^2 \right] u^{P-1} du}{\int_0^{\infty} (2\pi\sigma^2)^{-\frac{1}{2}} \exp \left[-\frac{1}{2}(u+e+\Theta\sigma^2)^2 / \sigma^2 \right] u^{P-1} du}$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \Theta} = \frac{P}{\Theta} - \frac{h(P, e)}{h(P-1, e)} = E[u] - E[u | e] \quad (3.73)$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial P} = \ln \Theta + \frac{\int_0^{\infty} (2\pi\sigma^2)^{-\frac{1}{2}} \ln u \exp\left[-\frac{1}{2}(u+e+\Theta\sigma^2)^2/\sigma^2\right] u^{P-1} du}{\int_0^{\infty} (2\pi\sigma^2)^{-\frac{1}{2}} \exp\left[-\frac{1}{2}(u+e+\Theta\sigma^2)^2/\sigma^2\right] u^{P-1} du}$$

Burada, pay ve payda gerekli ifadelerle bölündüğünde aşağıdaki sadeleştirilmiş eşitlikler elde edilir.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \ln L}{\partial P} &= \ln \Theta - \frac{\Gamma'(P)}{\Gamma(P)} + \frac{E[Q^{P-1} \ln Q | Q > 0, e]}{h(P-1, e)} \\ &= \ln \Theta - \frac{\Gamma'(P)}{\Gamma(P)} + E[\ln u | e] \end{aligned} \quad (3.74)$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \sigma^2} = \frac{1}{2\sigma^2} \left(\frac{e^2}{\sigma^2} - 1 \right) + \frac{1}{2(\sigma^2)^2} (E[u^2 | e] + 2eE[u | e]) \quad (3.75)$$

Yukarıda geçen tahmin edicilere ait hesaplamalar Greene(1990)'dan alınmıştır. Ayrıca bu çalışmada hesaplama prosedürleri ile alakalı daha detaylı bilgiler de bulunmaktadır.



4. ÖRNEK UYGULAMALAR

SSA, literatürüne girmiş bazı sınır fonksiyonlarının her biri için birden fazla veri seti ile uygulama yapılmış ve buradan elde edilen teknik etkinlik skorlarının sıra korelasyon değerleri hesaplanmıştır. Böylece bu modellerin, farklı veri senaryoları için davranışları ortaya konmuştur. Burada, Cooper ve diğerleri(2006)'da detaylı olarak verilen Japon bankaları ve Japon Beyzbol takımlarına ait veri setleri, Greene(1990)'da yer alan electrycity verisi ve hipotetik bir veri ile çalışılmıştır. Gerçek verilerin yanında, hipotetik bir veri kullanılmasıdaki neden, sadece bir girdi ve bir çıktı durumu için ele alınan SSA modelleri ile VZA'de temel oluşturan Charnes, Cooper ve Rhodes(CCR) ile Banker, Charnes ve Cooper(BCC) modellerinin bu veriye göre etkinlik skorlarının karşılaştırılmasıdır. Bundan sonraki aşamalarda önce, kullanılan veri setleri ve bunlara ilişkin özet istatistikleri verilmiştir. Daha sonra ise bu veri setlerinin SSA modelleri ve VZA modelleri ile elde edilen etkinlik skorlarını içeren çizelgeler verilmiştir. Ayrıca bu kısımda, etkinlik skorlarının sıra korelasyon değerlerini içeren çizelgeler de yer almaktadır. Burada yer alan korelasyon değerleri Spearman Sıra Korelasyon yöntemi ile elde edilmiştir. Ayrıca her veri setinde kullanılan modellerce elde edilen parametre tahminleri de ilgili çizelgelerde verilmiştir. Kullanılan veri setlerinin hepsinde yalnızca bir çıktı varken, sırasıyla bir, iki, üç ve dört girdiye sahip KVB'lerinden oluşmaktadır. Bahsi geçen veri setlerinin her bir model için etkinlik skorları MATLAB 2013 programında yazılan kodlar ile elde edilmiştir. Bu yazılan kodlardan normal-yarı normal model için olan kod EK 4'te verilmiştir.

4.1. Hipotetik Veri Seti

Bu veri, bir girdi ve bir çıktıya sahip olacak biçimde yedi KVB'nden oluşmaktadır. Aşağıdaki Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de sırasıyla veri seti ve bu veri setine ait özet istatistikler yer almaktadır.

Çizelge 4.1 Hipotetik veri seti.

KVB	Girdi	Çıktı
A	1	3
B	2	5
C	3	2
D	4	7
E	6	8
F	8	5
G	10	8

Çizelge 4.2 Hipotetik veri setine ait özet istatistikler.

	Gözlem Sayısı	Ortalama	Std. Sapma	Min. Değer	Mak. Değer
Girdi	7	4,86	3,29	1	10
Çıktı	7	5,43	2,37	2	8

Çizelge 4.2'ye göre yedi KVB'ye ait girdi değişkeninin ortalaması 4,86 standart sapması 3,29 ve çıktı değişkeninin ortalaması 5,43 standart sapması ise 2,37 olarak hesaplanmıştır. Aşağıdaki Çizelge 4.3'te veri seti için CCR, BCC ve SSA modellerinden elde edilen teknik etkinlik skorları yer almaktadır.

Çizelge 4.3 Hipotetik veriye ait teknik etkinlik skorları.

YÖNTEM						
KVB	Normal-Düzgün	Normal-Y. Normal	Laplace-Üstel	Cauchy-Y.Cauchy	CCR	BCC
A	0,6968(5)	0,7431 (4)	0,7651 (5)	0,8846 (1)	120,00(1)	200,00(1)
B	0,8000(3)	0,8405 (2)	0,9008 (4)	0,5345 (3)	83,33 (2)	125,00(3)
C	0,4541(7)	0,4135 (7)	0,5404 (7)	0,3637 (6)	22,22 (6)	33,33 (6)
D	0,8332(1)	0,8548 (1)	0,9700 (2)	0,4270 (5)	58,33 (3)	116,67(4)
E	0,8162(2)	0,8314 (3)	0,9795 (1)	0,4834 (4)	44,44 (4)	166,67(2)
F	0,5986(6)	0,5705 (6)	0,7505 (6)	0,2740 (7)	20,83 (7)	25,00 (7)
G	0,7184(4)	0,7238 (5)	0,9210 (3)	0,7881 (2)	26,67 (5)	60,00 (5)

Çizelge 4.3'te dört SSA modeli ve VZA modelleri ile hesaplanan teknik etkinlik skorlarına yer verilmiştir. Teknik etkinlik skorlarına ait sıra değerleri ise her bir etkinlik skorunun yanında parantez içerisinde verilmiştir. Buna göre Normal-Düzgün SSA modeline göre en yüksek etkinlik skoruna D KVB sahip iken en düşük etkinlik skoruna da C KVB'i sahiptir. Cauchy-Yarı Cauchy modeline göre ise etkinlik skoru en yüksek olan A KVB iken, en düşük etkinlik skoruna ait F KVB olarak bulunmuştur. Çizelge 4.4'te ise yukarıda verilen etkinlik skorlarına ait korelasyon matrisi verilmiştir.

Çizelge 4.4 Ekinlik skorlarına ait korelasyon matrisi.

	Normal-Düzgün	Normal-Y. Normal	Laplace-Üstel	Cauchy-Y. Cauchy	CCR	BCC
Normal-Düzgün	1	0,929	0,929	0,250	0,500	0,500
Normal-Y.Normal		1	0,750	0,321	0,714	0,607
Laplace-Üstel			1	0,321	0,357	0,500
Cauchy-Y.Cauchy				1	0,750	0,750
CCR					1	0,893
BCC						1

Çizelge 4.4'e göre verilen Normal-Düzgün, Normal-Yarı Normal ve Laplace-Üstel modellerinden elde edilen etkinlik skorlarının sıraları arasında yüksek bir korelasyon elde edilmiştir. Ancak bahsi geçen bu üç model, diğer bir SSA modeli olan Cauchy-Yarı Cauchy modeli ile aralarında zayıf bir korelasyon tespit edilmiştir. Ancak Cauchy-Yarı Cauchy modeli, diğer üç SSA modeline göre VZA modelleri ile daha yüksek bir korelasyona sahiptir.

4.2. Amerikan Elektrik Dağıtım Şirketleri Verisi

Bu veri, dört girdi ve bir çıktıya sahip olan yüz yirmi üç KVB'den oluşmaktadır. Aşağıdaki Çizelge 4.5'de veri setine ait özet istatistikler yer almaktadır. Veri seti ise Ek 1'de verilmiştir.

Çizelge 4.5 Amerikan elektrik dağıtım şirketleri veri setine ait özet istatistikler.

KVB	G. Sayısı	Ortalama	Std. Sapma	Min.	Maks.
X1	123	8.777,610	11.306,39	4,00	72247,00
X2	123	203.841.528,85	602.993.049,97	16,00	5.219.629.009,00
X3	123	277,84	89,27	140,24	909,26
X4	123	2,56	0,89	0,98	8,96
Y	123	1,44	1,77	0,00	11,02

Çizelge 4.5'e göre yüz yirmi üç KVB'ye ait X1 girdi değişkeninin ortalaması 8.777,610 standart sapması 11.306,39 ve çıktı değişkeninin ortalaması 1,44 standart sapması ise 1,77 olarak hesaplanmıştır. Burada X1, X2, X3, X4 sırasıyla çıktı, (çıktı)², iş gücü maliyeti/yakıt, sermaye/yakıt ve Y de maliyet/yakıt kavramlarına karşılık gelmektedir. Aşağıdaki Ek 2'de Amerikan elektrik dağıtım şirketleri verisinin CCR, BCC ve SSA modellerinden elde edilen teknik etkinlik skorları, Ek 3'te ise etkinlik skor sıralamaları yer almaktadır. Çizelge 4.6'da veri setinden elde edilen özet istatistikler verilmiştir.

Çizelge 4.6 Etkinlik skorlarına ait bazı özet istatistikler

	YÖNTEM					
	Normal-Düzgün	Normal-Y. Normal	Laplace-Üstel	Cauchy-Y. Cauchy	CCR	BCC
Min.	0,8210	0,5893	0,6373	0,9565	48,6800	51,2800
Maks.	0,9987	0,8285	0,9158	0,9715	244,9100	444,0000
Ortalama	0,9052	0,6932	0,8562	0,9653	87,3949	103,6886
Std. Sapma	0,0289	0,0368	0,0417	0,0023	23,0005	57,4881

Çizelge 4.6'ya göre en küçük standart sapma değerine sahip yöntemin Cauchy-Yarı Cauchy, en büyük standart sapma değerine sahip yöntemin ise Laplace-Üstel yöntemi olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 4.7'de ise veri setinden, kullanılan yöntemler ile elde edilen parametre tahminleri verilmiştir.

Çizelge 4.7 Veri için parametre tahminleri

Parametreler	Normal-Düzgün	Normal-Y. Normal	Laplace-Üstel	Cauchy-Y. Cauchy
$\hat{\sigma}$	1,3032	-	-	-
$\hat{\sigma}_u$	-	0,6516	0,6373	0,7129
$\hat{\sigma}_v$	-	0,6516	0,7442	0,7029
$\hat{\theta}$	0,1000	-	-	-
$\hat{\beta}_0$	-3,1395	-3,1395	-2,8957	-1,8696
$\hat{\beta}_1$	0,3909	0,3909	0,4135	0,3933
$\hat{\beta}_2$	0,0718	0,0718	0,0566	0,0713
$\hat{\beta}_3$	0,2492	0,2492	0,2778	0,2478
$\hat{\beta}_4$	0,0769	0,0769	0,0795	0,0737

4.3 Japon Banka Verisi

Bu veri, üç girdi ve bir çıktıya sahip olan yirmi KVB'nin 1995, 1996 ve 1997 yıllarındaki ortalama değerlerinden oluşmaktadır. Veri seti şube sayısı, çalışan sayısı, net varlıkları toplamı ve net kar değerleri içermektedir. Varlık ve kar değişkenleri için bir birim bir milyon Yen'e (1.000.000 ¥) karşılık gelmektedir. Bu KVB'lerini oluşturan bankalar arasında hem bölgesel hem de ülke genelinde hizmet veren bankalar bulunmaktadır. Aşağıdaki Çizelge 4.8'de bu veri seti verilmiştir

Çizelge 4.8 Banka veri seti

KVB	*KVB No	Şube	Çalışan	Varlık	Kar
Aomori	1	112	1.894	2.024.205	13.553
Michinoku	2	111	1.727	1.702.017	16.540
Iwate	3	123	1.843	2.048.014	14.760
Tohoku	4	56	792	600.796	3.782
Kita-Nippon	5	86	1.422	1.173.778	8.700
Akita	6	111	1.841	2.290.274	18.590
Hokuto	7	105	1.633	1.361.498	9.699
Shonai	8	64	889	668.236	5.605
Yamagata	9	90	1.611	1.563.930	9.993
Yamagatashiawase	10	69	1.036	654.338	3.525
Sohukusan	11	73	1.011	656.794	3.177
Dai-İchi Kangyo	12	407	17.837	53.438.938	411.149
Sakura	13	529	18.805	52.535.262	302.901
Fuji	14	363	15.188	51.368.976	371.364
Tokyo Mitsubishi	15	419	20.235	78.170.694	504.422
Asahi	16	436	13.149	29.531.193	170.835
Sanwa	17	395	13.998	52.999.340	399.398
Sumitomo	18	397	15.710	56.468.571	353.531
Daiwa	19	218	8.671	16.665.573	112.121
Tokai	20	305	11.546	31.376.180	186.640

*KVB'lerinin adları yerine, bu alt bölümdeki diğer Çizelge ve yorumlarda “*KVB No” sütunundaki numaralar yer alacaktır.

Çizelge 4.9 Banka veri setine ait özet istatistikler

	G. Sayısı	Ortalama	Std. Sapma	Min. Değer	Maks. Değer
Şube	20	223,45	161,35	56	529
Çalışan	20	7.541,90	7.336,30	792	20.235
Varlık	20	21.864.930,35	26.116.444,29	600.796	78.170.694
Kar	20	146.014,25	176.097,13	3.177	504.422

Çizelge 4.9’a göre banka veri setinin kar ortalaması 146.014,25 şube için standart sapması ise 161,35 olarak bulunmuştur. Çizelge 4.10’da ise verinin CCR, BCC ve SSA modellerinden elde edilen teknik etkinlik skorları yer almaktadır.

Çizelge 4.10 Banka veri setine ait teknik etkinlik skorları

YÖNTEM						
KVB	Normal-Düzgün	Normal-Y. Normal	Laplace-Üstel	Cauchy-Y.Cauchy	CCR	BCC
1	0,7584 (15)	0,9213 (14)	0,4260 (13)	0,2412 (09)	71,45(16)	76,49(18)
2	0,9070 (06)	0,9315 (02)	0,7782 (01)	0,3317 (01)	119,33(01)	119,52(02)
3	0,7740 (13)	0,9221 (11)	0,4027 (15)	0,2473 (08)	76,82(10)	79,95(14)
4	0,7130 (18)	0,9146 (20)	0,3975 (16)	0,2288 (12)	64,78(18)	114,29(04)
5	0,7852 (12)	0,9258 (07)	0,6117 (05)	0,2806 (03)	76,27(12)	85,31(13)
6	0,8675 (08)	0,9217 (13)	0,5111 (09)	0,2633 (06)	89,19(06)	91,32(10)
7	0,7438 (17)	0,9272 (06)	0,5291 (07)	0,2737 (04)	73,31(14)	77,60(16)
8	0,8294 (10)	0,9241 (09)	0,6503 (04)	0,2958 (02)	86,31(07)	113,46(05)
9	0,7484 (16)	0,9196 (18)	0,4550 (11)	0,2379 (10)	67,63(17)	77,75(15)
10	0,6049 (19)	0,9199 (17)	0,3860 (18)	0,2280 (11)	55,44(19)	91,82(08)
11	0,5459 (20)	0,9164 (19)	0,2782 (20)	0,2030 (20)	49,78(20)	91,47(09)
12	0,9936 (02)	0,9319 (01)	0,7780 (03)	0,2709 (05)	102,01(04)	104,45(06)
13	0,8026 (11)	0,9282 (05)	0,3910 (17)	0,2154 (17)	74,21(13)	74,71(19)
14	0,9925 (03)	0,9245 (08)	0,5972 (06)	0,2370 (11)	98,09(05)	99,07(07)
15	0,9657 (04)	0,9225 (10)	0,5276 (08)	0,2161 (16)	117,68(02)	Big(01)
16	0,7658 (14)	0,9287 (03)	0,3821(19)	0,2208 (15)	72,81(15)	74,27(20)
17	0,9987 (01)	0,9219 (12)	0,4738 (10)	0,2260 (14)	114,81(03)	115,51(03)
18	0,9172 (05)	0,9201 (16)	0,4114 (14)	0,2042 (19)	85,37(08)	86,53(11)
19	0,9068 (07)	0,9283 (04)	0,7782 (02)	0,2612 (07)	85,31(09)	85,41(12)
20	0,8673 (09)	0,9212 (15)	0,4489 (12)	0,2101 (18)	76,58(11)	76,66(17)

Çizelge 4.10’da önceki bölümde verilen dört SSA modeli ve VZA modelleri ile hesaplanan teknik etkinlik skorlarına yer verilmiştir. Teknik etkinlik skorlarına ait sıra değerleri ise her

bir etkinlik skorunun yanında parantez içerisinde verilmiştir. Buna göre Normal-Düzgün SSA modeline göre en yüksek etkinlik skoruna 17 nolu KVB sahip iken en düşük etkinlik skoruna da 11 KVB sahiptir. Laplace-Üstel modeline göre ise etkinlik skoru en yüksek olan KVB, 2 nolu KVB iken, en düşük etkinlik skoru yine 11 nolu KVB'e ait olarak bulunmuştur. Çizelge 4.11'de ise Çizelge 4.10'daki etkinlik skor sıralarının sıra korelasyon matrisi verilmiştir.

Çizelge 4.11 Etkinlik skorlarına ait korelasyon değerleri

	Normal-Düzgün	Normal-Y. Normal	Laplace-Üstel	Cauchy-Y. Cauchy	CCR	BCC
Normal-Düzgün	1	0,465	0,600	0,089	0,928	0,424
Normal-Y.Normal		1	0,576	0,490	0,523	-0,051
Laplace-Üstel			1	0,741	0,702	0,394
Cauchy-Y.Cauchy				1	0,205	0,170
CCR					1	0,540
BCC						1

Çizelge 4.11'e göre verilen Normal-Düzgün, ile CCR modelinden elde edilen etkinlik skorlarının sıraları arasında yüksek bir korelasyon elde edilmiştir. Laplace-Üstel ile CCR ve Laplace-Üstel ile Normal-Düzgün model arasında orta düzeyli korelasyon bulunmuştur. Ancak diğer modeller arasındaki korelasyonlar çok düşük olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.12'de ise SSA modellerinden elde edilen parametre tahminleri yer almaktadır.

Çizelge 4.12 Veri için parametre tahminleri

Parametreler	Normal-Düzgün	Normal-Y. Normal	Laplace-Üstel	Cauchy-Y. Cauchy
$\hat{\sigma}$	0,55	-	-	-
$\hat{\sigma}_u$	-	0,09	2,73	1,96
$\hat{\sigma}_v$	-	0,68	0,32	1,96
$\hat{\theta}$	0,02	-	-	-
$\hat{\beta}_0$	-2,25	-7,20	-5,94	-6,50
$\hat{\beta}_1$	0,47	-0,16	0,70	0,15
$\hat{\beta}_2$	0,04	-1,56	-1,22	-0,85
$\hat{\beta}_3$	0,67	2,05	1,49	1,52

4.4. Japon Beyzbol Takımları Verisi

Bu veri, iki girdi ve bir çıktıya sahip olan on iki KVB'nin 1993 yılındaki değerlerinden oluşmaktadır. Bu KVB'leri, pasifik ve merkez olmak üzere iki ayrı organizasyona ait takımlardan oluşmaktadır. Aşağıdaki Çizelge 4.13'te bu veri seti verilmiştir.

Burada antrenör değişkeni, o takımdaki bütün teknik kadronun aldığı yıllık ortalama maaşlarına karşılık gelmektedir. Oyuncu değişkeni ise takımdaki oyuncuların kadronun aldığı yıllık ortalama maaşlarına karşılık gelmektedir. Bu oyuncular takımdaki en yüksek ücrete sahip dokuz dış oyuncu(fielders) ve altı atıcıdan(pitchers) oluşmaktadır. Katılım ise takım sahasının seyirci kapasitesinin gelen taraftar sayısına oranı şeklinde ifade edilmiştir.

Çizelge 4.13 Japon beyzbol takımlara ait veri

KVB	*KVB No	Antrenör	Oyuncu	Katılım
Swallows	1	5.220	6.183	80,87
Dragons	2	2.250	5.733	93,76
Giants	3	6.375	8.502	100
Tigers	4	3.125	4.780	76,53
Bay Stars	5	3.500	4.042	79,12
Carp	6	3.125	5.623	51,95
Lions	7	5.500	10.180	56,37
Fighters	8	3.625	5.362	57,44
Blue Wave	9	2.715	4.405	58,78
Buffalos	10	3.175	6.193	53
Marines	11	2.263	5.013	43,47
Hawks	12	3.875	3.945	82,78

*Bundan sonra KVB olarak belirlenen takımların adları yerine numaraları kullanılacaktır.

Çizelge 4.14 Beysbol veri setine ait özet istatistikler

	G. Sayısı	Ortalama	Std. Sapma	Min. Değer	Maks. Değer
Antrenör	12	3.729,00	1.308,95	2.250	6.375
Oyuncu	12	5.830,08	1.837,50	3.945	10.180
Katılım	12	68,51	18,23	43,47	100

Çizelge 4.14'e göre beysbol veri setinin oyuncu ortalaması 5.830,08, antrenör için standart sapması ise 1.308,95 olarak bulunmuştur. Çizelge 4.15'te ise verinin CCR, BCC ve SSA modellerinden elde edilen teknik etkinlik skorları yer almaktadır.

Çizelge 4.15 Japon beysbol takımlarına ait etkinlik skorları

KVB	Normal-Düzgün	Normal-Y. Normal	Laplace-Üstel	Cauchy-Y. Cauchy	CCR	BCC
1	0,8408 (05)	0,7573 (06)	0,9315 (05)	0,5225 (03)	0,665 (12)	66,91 (11)
2	0,8850 (03)	0,9035 (01)	0,8952 (06)	0,5209 (11)	170,1 (01)	243,07(02)
3	0,9044 (01)	0,8712 (02)	0,9756 (02)	0,5211 (05)	61,39 (06)	300,00(01)
4	0,8287 (06)	0,7580 (05)	0,9453 (04)	0,5214 (04)	86,99 (04)	95,14 (07)
5	0,8645 (04)	0,7668 (04)	0,9658 (03)	0,5440 (02)	97,53 (03)	102,15 (06)
6	0,6460 (09)	0,5653 (11)	0,8175 (09)	0,5209 (12)	52,39 (08)	81,99 (08)
7	0,6343 (11)	0,5771 (09)	0,8031 (11)	0,5209 (08)	31,62 (11)	46,12 (12)
8	0,7004 (08)	0,6024 (08)	0,8499 (08)	0,5210 (07)	57,65 (07)	80,42 (09)
9	0,7223 (07)	0,6280 (07)	0,8821 (07)	0,5210 (06)	73,68 (05)	103,87 (05)
10	0,6445 (10)	0,5743 (10)	0,8173 (10)	0,5209 (10)	49,47 (10)	77,39 (10)
11	0,5680 (12)	0,5054 (12)	0,7896 (12)	0,5209 (09)	51,56 (09)	105,95 (04)
12	0,8903 (02)	0,7852 (03)	0,9875 (01)	0,6208 (01)	107,2 (02)	113,17 (3)

Yukarıda verilen Çizelge 4.15'te SSA ve VZA modellerinden elde edilen etkinlik skorları ve parantez içerisinde ise sıralamaları verilmiştir. Buna göre 12 nolu takım bütün modellerde ilk üç sırada yer almıştır. 11 nolu takım Normal-Düzgün, Normal-Yarı Normal ve Laplace-Üstel modelde etkinlik sıralamasında son sırada yer alırken Cauchy-Yarı Cauchy ve CCR modellerinde dokuzuncu sırada yer almıştır. Aşağıdaki Çizelge 4.16'da hesaplanan etkinlik sınırlarına ait korelasyon matrisi verilmiştir.

Çizelge 4.16 Etkinlik skorlarına ait korelasyon değerleri

	Normal-Düzgün	Normal-Y. Normal	Laplace-Üstel	Cauchy-Y. Cauchy	CCR	BCC
Normal-Düzgün	1	0,944	0,944	0,573	0,657	0,601
Normal-Y. Normal		1	0,860	0,510	0,713	0,573
Laplace-Üstel			1	0,762	0,629	0,490
Cauchy-Y. Cauchy				1	0,266	0,119
CCR					1	0,734
BCC						1

Çizelge 4.16'ya göre aralarında en yüksek korelasyona sahip modeller 0,944'lük değerleriyle, Normal-Düzgün ile Normal-Yarı Normal ve Normal-Düzgün ile Laplace-Üstel Modelleri arasından tespit edilmiştir. Ayrıca en düşük korelasyon ikilisi de Cauchy-Yarı Cauchy ve BCC modelleri arasında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.17 Veri için parametre tahminleri

Parametreler	Normal-Düzgün	Normal-Y. Normal	Laplace-Üstel	Cauchy-Y. Cauchy
$\hat{\sigma}$	0,4048	-	-	-
$\hat{\sigma}_u$	-	0,1663	0,2724	0,2670
$\hat{\sigma}_v$	-	0,1974	0,0943	0,1468
$\hat{\theta}$	0,1005	-	-	-
$\hat{\beta}_0$	2,9711	3,8003	2,4417	-6,6269
$\hat{\beta}_1$	-0,0762	0,1212	0,0388	-2,1914
$\hat{\beta}_2$	0,2544	-0,0225	0,2080	3,5969

Bu bölümde, literatürde var olan SSA modelleri, farklı senaryolardaki durumlarını görmek amacıyla, literatürde kullanılmış veri setlerine uygulanmıştır. Bu işlem Bölüm 5'de önerilen modellerin aynı veri setlerinden bazılarına uygulanması konusunda bir altlık oluşturmuştur ve bu uygulamalar Bölüm 5.3'te verilmiştir. Bölüm 7'de ise yer alan Uygulama bölümünde orijinal bir veri setine, hem mevcut modeller hem de önerilen modeller ile uygulama yapılmıştır. SSA literatüründe var olan çalışmaların büyük bir çoğunluğu uygulama çalışması olup var olan uygulama çalışmalarının da büyük bir kısmı kısıtlı paket programları ile kısıtlı sayıdaki modeller ile yapılmaktadır. Burada elde edilen değerlerin hepsi bu tez çalışması için yazılan MATLAB kodu ile elde edilmiştir. Bu da bize önerilecek olan model ya da modellerin hemen uygulamaya dökülmesi konusunda kolaylık sağlamaktadır.

5. STOKASTİK SINIR ANALİZİNDE YENİ YAKLAŞIMLAR

Bu bölümde tez sürecinde önerilmiş olan iki yeni SSA modeli detayları ile tanıtılmıştır. Modeller ile ilgili teorik bilgiler verilmeden önce, önerilen yeni modellerde hata bileşenlerinin sahip olduğu varsayılan dağılımlar hakkında temel bilgiler verilmiştir.

5.1. Önerilen Modellerde Kullanılan Dağılımlar

5.1.1. Normal Dağılım

İstatistik literatüründe ya da içerisinde istatistiksel analizlerin yer aldığı çalışmalarda en yaygın olarak kullanılan dağılımdır. Bir Bernoulli denemesindeki başarı elde etme olasılığı p 'nin uç değerlerine yakın olması ve deneme sayısı olan n de fazla ise bu durumda, binom dağılımının bir özel hali olarak geliştirilmiştir.

Normal dağılım ilk kez Fransız matematikçi, de Moivre tarafından 1733'te tanımlanmıştır. Ancak genellikle bu dağılımı geliştiren ve özellikle gök cisimlerinin hareket teorisine uygulayan Gauss ile anılır(Forbes ve diğerleri,2011). Dağılıma ait dağılım fonksiyonu ve olasılık yoğunluk fonksiyonu sırasıyla aşağıdaki gibidir.

$$F_X(x; \mu, \sigma^2) = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{x - \mu}{\sigma \sqrt{2}} \right) \right] \quad (5.1)$$

$$f_X(x; \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad -\infty < x < \infty, \sigma^2 > 0 \quad (5.2)$$

Burada μ , konum parametresidir ve beklenen değere karşılık gelir, σ^2 ise ölçek parametresidir ve varyansa karşılık gelmektedir. Özel olarak $\mu = 0$ ve $\sigma = 1$ olması durumunda dağılım, standart normal dağılımıdır. Genellikle istatistiksel sonuç çıkarımlarında normal dağılımın bu özel halinden yararlanılır. Normal dağılıma ait bazı özellikler aşağıdaki gibidir.

Beklenen değer;

$$E(X) = \mu \quad (5.3)$$

Varyans;

$$\text{Var}(X) = \sigma^2 \quad (5.4)$$

Moment çıkaran fonksiyon;

$$M_X(t) = \exp\left(\mu t + \frac{1}{2}\sigma^2 t^2\right) \quad (5.5)$$

Karakteristik fonksiyon;

$$\varphi_X(t) = \exp\left(i\mu t - \frac{1}{2}\sigma^2 t^2\right) \quad (5.6)$$

5.1.2. Düzgün Dağılım

Diğer istatistiksel dağılımlar ile yapılan simülasyon çalışmalarında kullanmak üzere elde edilen rasgele değişkenler genellikle bu dağılım ile belirlenmektedir. Başka bir deyişle rasgele sayı üretimde temel olarak bu dağılım kullanılmaktadır. Bu açıdan istatistik literatüründe önemli bir yere sahiptir. Bu dağılıma ilişkin bazı matematiksel özellikler aşağıdaki gibidir.

Dağılım fonksiyonu;

$$F_X(x; a, b) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \end{cases} \quad (5.7)$$

Olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f_X(x; a, b) = \frac{1}{b-a}, \quad a \leq x \leq b \quad (5.8)$$

Beklenen değer;

$$E(X) = \frac{a+b}{2} \quad (5.9)$$

Varyans;

$$\text{Var}(X) = \frac{(b-a)^2}{12} \quad (5.10)$$

Moment çıkaran fonksiyon;

$$M_x(t) = \frac{[\exp(bt) - \exp(at)]}{t(b-a)} \quad (5.11)$$

Karakteristik fonksiyon;

$$\varphi_x(t) = \frac{[\exp(ibt) - \exp(iat)]}{it(b-a)} \quad (5.12)$$

Yukarıdaki formüllerde geçen konum parametreleri a ve b sırasıyla dağılımın alt ve üst limitleridir.

5.1.3. Uç Değer (Gumbel) Dağılımı

Uç değer dağılımı, rasgele değişkenin sayısal büyüklüklerinin dağılımı olarak geliştirilmiştir. Özellikle de sel seviyesinin ve deprem büyüklüğünün tahmininde uygulanmaktadır. Ayrıca bu dağılım atletizm çalışmalarında ve diğer rekor durumu içeren çalışmalara da uygulanmaktadır. Burada verilen, üç tane uç değer dağılımı içerisindeki en yaygın olanıdır ve bu tipi Gumbel Dağılımı olarak bilinir (Forbes ve diğerleri,2011). Bazen de Fisher-Tippett dağılımı (tip 1) veya log-Weibull dağılımı olarak da adlandırılır Walck(2007). Uç değer dağılımına sahip bir x rasgele değişkeni $-\infty < x < \infty$ aralığında değerler alır. Konum parametresi b ve ölçek parametresi de a olarak verilen uç değer dağılımının sırasıyla dağılım fonksiyonu, olasılık yoğunluk fonksiyonu, beklenen değeri, varyansı, moment çıkaran fonksiyonu ve karakteristik fonksiyonu aşağıdaki gibidir(Forbes ve diğerleri,2011).

$$F_x(x; a, b) = \exp \{-\exp[(x-a)/b]\} \quad (5.13)$$

$$f_x(x; a, b) = (1/b)\exp[(x-a)/b]\exp \{-\exp[(x-a)/b]\} \quad (5.14)$$

Burada “ $(x-a)/b$ ”terimi en küçük durum düşünüldüğünde negatif işaretli olarak kullanılır. Genelde en büyük durum için yukarıda verildiği gibi pozitif işaretli olarak kullanılır. Bu tez çalışmasında da pozitif işaretli olarak kullanılmıştır. a ve x reel sayı, b ise pozitif reel sayıdır.

$$E(X) = a - b\Gamma'(1) \quad (5.15)$$

Burada, $\Gamma'(1) = -0,57722$, değerinde olan gama fonksiyonunun birinci türevidir.

$$\text{Var}(X) = b^2 \pi^2 / 6 \quad (5.16)$$

$$M_X(t) = \exp(at)\Gamma(1-bt), \quad t < 1/b \quad (5.17)$$

$$\varphi_X(t) = \exp(iat)\Gamma(1-ibt) \quad (5.18)$$

Uç değer dağılımı, Normal, Gama ve Üstel dağılım gibi üstel tipli dağılımlarda gözlenen bağımsız bir kümesinin en küçük veya en büyük elementlerin limit dağılımlarını vermektedir.(Walck., 2007).

5.1.4. Rayleigh Dağılımı

1904 Nobel Fizik ödülü sahibi Britanyalı fizikçi Baron John William Strutt Rayleigh(1842-1919) tarafından önerilmiştir. Ölçek parametresi b olarak verilen Rayleigh dağılımının sırasıyla dağılım fonksiyonu, olasılık yoğunluk fonksiyonu ve karakteristik fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$F_X(x;b) = 1 - \exp\left(-\frac{x^2}{2b^2}\right) \quad (5.19)$$

Burada $0 < x < \infty$ aralığında değer alan bir reel sayı ve b 'de reel pozitif reel parametredir.

$$f_X(x;b) = \frac{x}{b^2} \exp\left[-x^2/(2b^2)\right] \quad (5.20)$$

$$E(X) = b(\pi/2)^{\frac{1}{2}} \quad (5.21)$$

$$\text{Var}(X) = (2 - \pi/2)b^2 \quad (5.22)$$

$$M_X(t) = 1 - bt \exp(-b^2 t^2 / 2) \sqrt{\frac{\pi}{2}} \left(\text{erf}\left(\frac{bt}{\sqrt{2}}\right) + 1 \right) \quad (5.23)$$

$$\varphi_X(t) = 1 - bt \exp(-b^2 t^2 / 2) \sqrt{\frac{\pi}{2}} \left(\text{erfi}\left(\frac{bt}{\sqrt{2}}\right) - i \right) \quad (5.24)$$

Rayleigh dağılımı ile diğer bazı dağılımlar arasında aşağıdaki gibi ilişkiler bulunmaktadır.

- Rayleigh değişkeni $X(b)$, Weibull değişkeninin $w(b\sqrt{2}, 2)$ olduğu duruma eşittir.
- $b = 1$ parametrelili Rayleigh dağılımın karesi, $\chi_{(2)}^2$ dağılımına eşittir.
- b parametrelili Rayleigh dağılımın karesi, $\text{Üstel}(2b^2)$ dağılımına eşittir (Forbes ve diğerleri, 2011).

5.2. SSA İçin Önerilen Yeni Modeller

Bu tezin esas konusu, literatürde SSA için kullanılan modeller arasında bazı yeni modeller eklemektir. Burada yeni modeller üretilirken, SSA modellerindeki tek varsayım olan, istatistiksel gürültü v 'nin simetrik bir dağılımlı olması ve etkinsizlik terimi olan u 'nun potizif dağılımlı olması varsayımı dikkate alınmıştır. Hâlihazırda var olan modellerde kullanılan, Düzgün ve Normal dağılımlarının yanına, burada Uç değer ve Rayleigh dağılımlarını katarak yeni modeller türetilmiştir. Aşağıda sırasıyla, Uç Değer-Düzgün ve Rayleigh-Normal Modellerine ait özellikler ve formüller verilmiştir. Bu formüller bir takım karmaşık sayılabilecek matematiksel hesaplamalar sonucunda elde edilmiştir.

5.2.1. Uç Değer–Düzgün Model (U-D)

İstatistiksel gürültü v 'nin ve etkinsizlik terimi olan u 'nun dağılımları aşağıdaki gibi olsun.

$$v \sim UD(0, \sigma^2)$$

$$f_v(v) = \frac{1}{\sigma} \exp(v/\sigma) \exp[-\exp(v/\sigma)] \quad -\infty < v < \infty \quad (5.25)$$

$$u \sim Düzgün(0, \theta)$$

$$f_u(u) = \frac{1}{\theta} \quad 0 \leq u \leq \theta \quad (5.26)$$

Buradan u ve v 'nin ortak olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$f_{u,v}(u, v) = \frac{1}{\theta\sigma} \exp(v/\sigma) \exp[-\exp(v/\sigma)] \quad (5.27)$$

Burada $e = v - u$ olmak üzere u ve e 'nin ortak olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f_{u,e}(u, e) = \frac{1}{\theta\sigma} e^{\frac{u+e}{\sigma}} e^{-e} \quad (5.28)$$

biçiminde elde edilir. e 'nin marjinal olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki integralin çözümüne eşittir.

$$f_E(e) = \int_0^\theta \frac{1}{\theta\sigma} \exp\left(\frac{u+e}{\sigma}\right) \exp\left[-\exp\left(\frac{u+e}{\sigma}\right)\right] du \quad (5.29)$$

burada integralinin çözümü için aşağıdaki dönüşüm uygulanır.

$$\begin{aligned} \exp\left(\frac{u+e}{\sigma}\right) &= t \\ \exp\left(\frac{u+e}{\sigma}\right) du &= \sigma dt \end{aligned} \quad (5.30)$$

Dönüşümün uygulanmasından sonra integral aşağıdaki biçimde elde edilmiş olur.

$$f_E(e) = \frac{1}{\theta} \int_{\exp\left(\frac{e}{\sigma}\right)}^{\exp\left(\frac{\theta+e}{\sigma}\right)} \exp(-t) dt$$

$$= \frac{1}{\theta} \left\{ \exp\left[-\exp\left(\frac{e}{\sigma}\right)\right] - \exp\left[-\exp\left(\frac{\theta+e}{\sigma}\right)\right] \right\} \quad (5.31)$$

Buradan hata terimi e 'ye ait log-olabilirlik fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$L(\sigma, e, \theta; x) = \sum_{i=1}^n \left\{ \ln \left[\exp\left(-\exp\left(\frac{e}{\sigma}\right)\right) - \exp\left(-\exp\left(\frac{\theta+e}{\sigma}\right)\right) \right] \right\} - n \ln(\theta) \quad (5.32)$$

Buradan hesaplanan parametre tahminleri ile teknik etkin skorunun tahminini elde etmek için aşağıdaki koşullu beklenen değeri hesaplanır.

$$\hat{TE}_i = \exp\{-E(u_i | e_i)\} \quad (5.33)$$

$E(u_i | e_i)$, değerinin elde edilebilmesi için öncelikle aşağıdaki koşullu dağılım elde edilmelidir.

$$f(u_i | e_i) = \frac{f(u_i, e_i)}{f(e_i)} \quad (5.34)$$

$$f(u_i | e_i) = \frac{\frac{1}{\theta\sigma} \exp\left(\frac{u_i + e_i}{\sigma}\right) \exp\left[-\exp\left(\frac{u_i + e_i}{\sigma}\right)\right]}{\frac{1}{\theta} \left\{ \exp\left[-\exp\left(\frac{e_i}{\sigma}\right)\right] - \exp\left[-\exp\left(\frac{\theta + e_i}{\sigma}\right)\right] \right\}} \quad (5.35)$$

Sadeleştirme işlemleri yapıldıktan sonra koşullu olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(u_i | e_i) = \frac{\exp\left(\frac{u_i + e_i}{\sigma}\right) \exp\left[-\exp\left(\frac{u_i + e_i}{\sigma}\right)\right]}{\sigma \left\{ \exp\left[-\exp\left(\frac{e_i}{\sigma}\right)\right] - \exp\left[-\exp\left(\frac{\theta + e_i}{\sigma}\right)\right] \right\}} \quad (5.36)$$

şeklinde elde edilir. Burada koşullu olasılık yoğunluk fonksiyonu elde edildikten sonra aşağıdaki beklenen değerin hesaplanmasıyla irdelenen modeldeki i . KVB için teknik etkinlik skoru elde edilmiş olur.

$$E(u_i | e_i) = \int_{D_u} u_i f(u_i | e_i) du \quad (5.37)$$

$$E(u_i | e_i) = \int_{D_u} u_i \frac{\exp\left(\frac{u_i + e_i}{\sigma}\right) \exp\left[-\exp\left(\frac{u_i + e_i}{\sigma}\right)\right]}{\sigma \left\{ \exp\left[-\exp\left(\frac{e_i}{\sigma}\right)\right] - \exp\left[-\exp\left(\frac{\theta + e_i}{\sigma}\right)\right] \right\}} du \quad (5.38)$$

Yukarı beklenen değerin kapalı formu olmadığından çözüm nümerik yollarla elde edilir. Bu çözüm Eşitlik 5.33'te yerine yazıldığında i . KVB için etkinlik skoru elde edilmiş olur.

5.2.2. Normal-Rayleigh Model (N-R)

İstatistiksel gürültü v 'nin ve etkinsizlik terimi olan u 'nun olasılık yoğunluk fonksiyoları sırasıyla;

$$v \sim \text{Normal}(0, \sigma^2)$$

$$f_v(v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{v^2}{2\sigma^2}}, -\infty < v < \infty, \sigma^2 > 0 \quad (5.39)$$

$$u \sim \text{Rayleigh}(a)$$

$$f_u(u) = \frac{u}{a^2} e^{-\frac{u^2}{2a^2}}, 0 < u < \infty, a > 0 \quad (5.40)$$

biçimindedir.

Buradan u ve v 'nin ortak olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$\begin{aligned} f_{u,v}(u,v) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{v^2}{2\sigma^2}} \frac{u}{a^2} e^{-\frac{u^2}{2a^2}} \\ &= \frac{u}{\sqrt{2\pi}\sigma a^2} e^{-\left(\frac{v^2}{2\sigma^2} + \frac{u^2}{2a^2}\right)} \end{aligned} \quad (5.41)$$

olarak elde edilir $e=v-u$ ve $v=u+e$ olduğundan Eşitlik 5.41'de verilen ortak olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f_{u,e}(u,e) = \frac{u}{\sqrt{2\pi}\sigma a^2} \exp\left\{-\left[\frac{(u+e)^2}{2\sigma^2} + \frac{u^2}{2a^2}\right]\right\} \quad (5.42)$$

biçiminde elde edilir. Buradan e 'nin marjinal olasılık yoğunluk fonksiyonu, aşağıdaki integralin çözümüne eşit olacaktır.

$$f_E(e) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma a^2} \int_0^\infty u \exp\left\{-\left[\frac{(u+e)^2}{2\sigma^2} + \frac{u^2}{2a^2}\right]\right\} du \quad (5.43)$$

$\sigma^2 = a^2$ olduğu varsayalım. Bu durumda daha sonraki adımlarda a^2 'ler de σ^2 olarak yazılmıştır. Dolayısıyla marjinal olasılık yoğunluk fonksiyonunun son hali;

$$f_E(e) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^3} \exp\left(-\frac{e^2}{2\sigma^2}\right) \int_0^\infty u \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(2u^2 + 2ue)\right] du \quad (5.44)$$

olarak elde edilir. Buradan e 'ye ait marjinal olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f_E(e) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^3} \exp\left(-\frac{e^2}{2\sigma^2}\right) \left\{ \frac{\sigma^2}{2} + \frac{\sigma}{4} e \sqrt{\pi} e^{\frac{e^2}{4\pi^2}} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{e}{2\sigma}\right) - 1 \right] \right\} \quad (5.45)$$

biçiminde elde edilir. Burada erf hata fonksiyonuna(error function) karşılık gelmektedir. Bu fonksiyonun genel hali şu şekildedir.

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-t^2) dt \quad (5.46)$$

bu ifade de Eşitlik 5.47 verilen eşitliğe denktir.

$$\operatorname{erf}(x) = \sqrt{2} \left[2\Phi(x) - 1 \right] \quad (5.47)$$

Verilen eşitlikte x değişkeni yerine buradaki rasgele değişken yazıldığında hata fonksiyonu;

$$\operatorname{erf}\left(\frac{e}{2\sigma}\right) - 1 = \sqrt{2} \left[2\Phi\left(\frac{e}{2\sigma}\right) - 1 \right] - 1 \quad (5.48)$$

olarak elde edilir. Gerekli sadeleştirme işlemleri yapıldığında e 'nin marjinal fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$f_E(e) = \frac{1}{\sqrt{2\sigma}} e^{-\frac{e^2}{2\sigma^2}} \left\{ \frac{1}{2\sqrt{\pi}} + \frac{e}{4\sigma} e^{\frac{e^2}{4\sigma^2}} \left(\sqrt{2} \left(2\Phi\left(\frac{e}{2\sigma}\right) - 1 \right) - 1 \right) \right\} \quad (5.49)$$

Buradan hata terimi e 'ye ait log-olabilirlik fonksiyonu;

$$L(\sigma, e; u) = \left(\frac{1}{\sqrt{2\sigma}} \right)^n \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n e_i^2 \right) \prod_{i=1}^n \left[\frac{1}{2\sqrt{\pi}} + \frac{e_i}{4\sigma} \exp\left(\frac{e_i^2}{4\sigma^2} \right) \left(\sqrt{2} \left(2\Phi\left(\frac{e}{2\sigma}\right) - 1 \right) - 1 \right) \right] \quad (5.50)$$

biçiminde elde edilir. İfadenin logaritması alındığında Eşitlik 5.51'deki ifadeye ulaşılır.

$$\begin{aligned} \ell = & -n \log(\sqrt{2}) - n \log \sigma - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n e_i^2 + \\ & \sum_{i=1}^n \log \left[\frac{1}{2\sqrt{\pi}} + \frac{e_i}{4\sigma} \exp\left(\frac{e_i^2}{4\sigma^2} \right) \left(\sqrt{2} \left(2\Phi\left(\frac{e}{2\sigma}\right) - 1 \right) - 1 \right) \right] \end{aligned} \quad (5.51)$$

Buradan hesaplanan parametre tahminlerini kullanarak teknik etkin skorunun tahminini elde etmek için aşağıdaki koşullu beklenen değeri hesaplanır.

$$\hat{TE}_i = \exp\{-E(u_i | e_i)\}$$

$E(u_i | e_i)$ değerinin elde edilebilmesi için öncelikle,

$$f(u_i | e_i) = \frac{f(u_i, e_i)}{f(e_i)}$$

koşullu olasılık yoğunluk fonksiyonu elde edilmelidir. Burada $\sigma^2 = a^2$ olduğu varsayımı altında koşullu olasılık yoğunluk fonksiyonu,

$$f(u_i | e_i) = \frac{\frac{u_i}{\sqrt{2\pi}\sigma^3} \exp\left[-\left(\frac{(u_i + e_i)^2}{2\sigma^2} + \frac{u_i^2}{2\sigma^2}\right)\right]}{\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^3} \exp\left(-\frac{e_i^2}{2\sigma^2}\right) \left[\frac{\sigma^2}{2} + \frac{\sigma}{4} e_i \sqrt{\pi} \exp\left(\frac{e_i^2}{4\pi^2}\right) \operatorname{erf}\left(\frac{e_i}{2\sigma}\right) - \frac{\sigma}{4} e_i \sqrt{\pi} \exp\left(\frac{e_i^2}{4\pi^2}\right) \right]} \quad (5.52)$$

biçiminde elde edilir. Eşilik 5.52’de verilen ifade için gerekli sadeleştirme işlemleri yapıldıktan sonra koşullu olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(u_i | e_i) = \frac{u_i \exp\left[-\left(\frac{(u_i + e_i)^2}{2\sigma^2} + \frac{u_i^2}{2\sigma^2}\right)\right]}{\exp\left(-\frac{e_i^2}{2\sigma^2}\right) \left[\frac{\sigma^2}{2} + \frac{\sigma}{2} e_i \sqrt{\pi} \exp\left(\frac{e_i^2}{4\pi^2}\right) \left(\Phi\left(\frac{\sqrt{2}e_i}{2\sigma}\right) - 1 \right) - \frac{\sigma}{4} e_i \sqrt{\pi} \exp\left(\frac{e_i^2}{4\pi^2}\right) \right]} \quad (5.53)$$

olarak yazılabilmektedir. Burada koşullu olasılık yoğunluk fonksiyonu elde edildikten sonra,

$$E(u_i | e_i) = \int_{D_u} u_i f(u_i | e_i) du$$

beklenen değerin hesaplanmasıyla irdelenen modeldeki i . KVB için teknik etkinlik skorunun elde edilmesine yaklaşılmış olunur. Bu koşullu beklenen değer aşağıdaki integralin çözümü ile elde edilir.

$$E(u_i | e_i) = \int_{D_u} \frac{u_i^2 \exp\left[-\left(\frac{(u_i + e_i)^2}{2\sigma^2} + \frac{u_i^2}{2\sigma^2}\right)\right]}{\exp\left(-\frac{e_i^2}{2\sigma^2}\right) \left[\frac{\sigma^2}{2} + \frac{\sigma}{2} e_i \sqrt{\pi} \exp\left(\frac{e_i^2}{4\pi^2}\right) \left(\Phi\left(\frac{\sqrt{2}e_i}{2\sigma}\right) - 1 \right) - \frac{\sigma}{4} e_i \sqrt{\pi} \exp\left(\frac{e_i^2}{4\pi^2}\right) \right]} du \quad (5.54)$$

Eşitlik 5.54'te verilen beklenen değerin kapalı formu olmadığından çözüm nümerik yollarla elde edilir. Sonra buradan elde edilen çözüm Eşitlik 5.33'te yerine konarak *i*. KVB için etkinlik skoru elde edilmiş olur.

Yukarıda verilen Uç Değer- Düzgün ve Normal-Rayleigh modelleri için KVB'lerine ait etkinlik skorlarının tahmin edilmesinde kullanılabilecek gerekli formülasyonlar ve yeni model türetiminin süreci verilmiştir. Bu süreç, kazandırılması muhtemel yeni modellerin nasıl türetileceğine dair kullanışlı bir bilgiyi de sunmaktadır.

Bundan sonraki bölümlerde önerilen bu iki model için farklı veri setleri ile uygulama çalışmaları yer almaktadır.

5.3. Örnek Uygulamalar

Burada, Bölüm 4'te detayları ile verilen Hipotetik ve Japon Bankaları(Cooper ve diğerleri,2006), verisi için, önerilen iki model olan Uç Değer-Düzgün(U-D) ve Normal-Rayleigh(N-R) modelleri ile elde edilen teknik etkinlik skorlarını içeren çizelgelere yer verilmiştir. Ayrıca bu modelleri kıyaslamak için VZA modellerine ait etkinlik skorları da aynı çizelgelerde verilmiştir. Ayrıca bu etkinlik skorlarının sıra korelasyon değerlerini içeren çizelgelerde bu bölümde yer almaktadır. Burada yer alan korelasyon değerleri Spearman Sıra Korelasyon yöntemi ile elde edilmiştir. Ayrıca her veri setinde kullanılan modellerce elde edilen parametre tahminleri de çizelgeler halinde verilmiştir.

5.3.1. Hipotetik veri seti

Bu veri ile ilgili detaylı bilgi Bölüm 4'te verilmiştir. Çizelge 5.1'de hipotetik verinin CCR, BCC ve bu tez çalışmada önerilen U-D ve N-R modellerinden elde edilen teknik etkinlik skorları yer almaktadır.

Çizelge 5.1'de teknik etkinlik skorlarına ait sıra değerleri ise her bir etkinlik skorunun yanında parantez içerisinde verilmiştir. U-D modeline göre ise etkinlik skoru en yüksek olan KVB 0,9856 ile D iken, en düşük etkinlik skoruna ait KVB 0,4423 ile C olarak bulunmuştur. N-R modelinde en yüksek etkinlik skoruna sahip olan A KVB, VZA modellerinde de en etkin KVB olarak tespit edilmiştir. Çizelge 5.2'de ise yukarıda verilen etkinlik skorlarına ait korelasyon matrisi verilmiştir.

Çizelge 5.1 Hipotetik veriye ait teknik etkinlik skorları.

YÖNTEM				
KVB	U-D	N-R	CCR	BCC
A	0,6578 (6)	0,8078 (1)	120,00(1)	200,00 (1)
B	0,9256 (3)	0,4586 (5)	83,33 (2)	125,00 (3)
C	0,4423 (7)	0,2956 (6)	22,22 (6)	33,33 (6)
D	0,9856 (1)	0,4896 (4)	58,33 (3)	116,67 (4)
E	0,9175 (4)	0,5689 (3)	44,44 (4)	166,67 (2)
F	0,6845 (5)	0,2273 (7)	20,83 (7)	25,00 (7)
G	0,9513 (2)	0,6973 (2)	26,67 (5)	60,00 (5)

Çizelge 5.2 Ekinlik skorlarına ait korelasyon matrisi

	U-D	N-R	CCR	BCC
U-D	1,0000	0,2143	0,2143	0,0714
N-R		1,0000	0,6429	0,7500
CCR			1,0000	0,6000
BCC				1,0000

Çizelge 5.2’de verilen N-R ile BCC modellerinden elde edilen etkinlik skorlarının sıraları arasında %75’lik bir korelasyon hesaplanmıştır. U-D ve BCC modelleri arasında ise 0,0714’lük çok zayıf bir korelasyon hesaplanmıştır.

5.3.2. Japon Banka verisi

Çizelge 5.3’te U-D ve N-R modelleri ve VZA modelleri ile hesaplanan teknik etkinlik skorlarına yer verilmiştir. Teknik etkinlik skorlarına ait sıra değerleri ise her bir etkinlik skorunun yanında parantez içerisinde verilmiştir. Buna göre U-D SSA modeline göre en yüksek etkinlik skoruna 0,9658 ile 2 nolu KVB sahip iken en düşük etkinlik skoruna da 0,9135 ile 12 nolu KVB sahiptir. Çizelge 5.4’te ise Çizelge 5.3’te yer alan ekinlik skorlarının sıra korelasyon matrisi verilmiştir. U-D modelinde en yüksek etkinlik skoruna sahip 2 nolu KVB, CCR modelinde de en yüksek etkinliğe sahip olan KVB olarak elde edilmiştir. Ancak en düşük etkinlik skoruna sahip 12 nolu KVB N-R modelinde en yüksek etkinlik skoruna sahipken CCR modelinde en yüksek dördüncü BBC modelinde ise en

yüksek altıncı etkinlik skoruna sahip olarak tespit edilmiştir. Çizelge 5.4’te verilen U-D ile CCR modelinden elde edilen etkinlik skorlarının sıraları arasında 0,1879 ile zayıf bir korelasyon gözlemlenmiştir. Burada önerilen iki model olan N-R ve U-D modelleri arasında ise 0,0541’lik oldukça zayıf bir korelasyon tespit edilmiştir.

Çizelge 5.3 Banka veri setine ait teknik etkinlik skorları

KVB	Yöntem			
	U-D	N-R	CCR	BCC
1	0,9643(03)	0,5681(10)	71,45 (16)	76,49 (18)
2	0,9658(01)	0,7892(03)	119,33(01)	119,52 (2)
3	0,9365(08)	0,4269(14)	76,82 (10)	79,95 (14)
4	0,9236(15)	0,4368(13)	64,78 (18)	114,29 (4)
5	0,9653(02)	0,6985(04)	76,27 (12)	85,31 (13)
6	0,9235(16)	0,5912(07)	89,19 (06)	91,32 (10)
7	0,9365(07)	0,5862(08)	73,31 (14)	77,60 (16)
8	0,9315(10)	0,6695(05)	86,31 (07)	113,46 (5)
9	0,9135(17)	0,4229(15)	67,63 (17)	77,75 (15)
10	0,9315(12)	0,3289(17)	55,44 (19)	91,82 (8)
11	0,9156(18)	0,2486(19)	49,78 (20)	91,47 (9)
12	0,9135(20)	0,8992(01)	102,01(04)	104,45 (6)
13	0,9345(09)	0,2356(20)	74,21 (13)	74,71 (19)
14	0,9615(04)	0,4956(11)	98,09 (05)	99,07 (7)
15	0,9436(06)	0,5993(06)	117,68(02)	Big (1)
16	0,9452(05)	0,2956(18)	72,81 (15)	74,27 (20)
17	0,9325(11)	0,4893(12)	114,81(03)	115,51 (3)
18	0,9267(13)	0,3952(16)	85,37 (08)	86,53 (11)
19	0,9137(19)	0,8952(02)	85,31(09)	85,41 (12)
20	0,9237(14)	0,5692(09)	76,58 (11)	76,66 (17)

Çizelge 5.4. Etkinlik skorlarına ait sıra korelasyon değerleri

	U-D	N-R	CCR	BCC
U-D	1,0000	0,0541	0,1879	0,3738
N-R		1,0000	0,6150	0,3819
CCR			1,0000	0,5398
BCC				1,0000



6. SİMÜLASYON ÇALIŞMASI

Burada, önerilen iki model olan U-D ve N-R modellerinin farklı senaryolar altında literatürde yer alan N-D, L-Ü ve C-YC modellerine göre ve kendi içerisindeki davranışlarını gözlemlemek için simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Yapılan her simülasyonda modellerin birbirleri ile kıyaslanabilmeleri için Akaike ve Bayesgil Bilgi Kriterlerinden (AIC, BIC) yararlanılmıştır. Her iki bilgi kriteri olabilirlik fonksiyonu üzerinden bir sonuç üretir. Elde edilen sonuçlardan en düşük değere sahip olanın model ya da yöntemin daha iyi olduğu sonucu çıkarılır. AIC ve BIC'ye ait formüller sırası ile Eşitlik 6.1 ve 6.2 'de verilmiştir.

$$AIC = -2k + 2\ln(\hat{L}) \quad (6.1)$$

$$BIC = -2\ln\hat{L} + k\ln(n) \quad (6.2)$$

Burada $\hat{L}$, modele ait olabilirlik fonksiyonunun maksimize edilmiş değeri x , gözlemlenmiş veri n , gözlem sayısı ve k , tahmin edilmiş parametrelerin sayısıdır.

Simülasyon çalışması, kullanılan modellerin her biri için 25 ve 100 KVB olduğu durum için sırasıyla 1, 3 ve 7 girdi olduğu varsayımı altında her bir durum için deneme sayısı 50, 250, 500, 1.000 ve 5.000 olacak şekilde yapılmıştır. Simülasyon çalışması önce U-D modeli için daha sonra N-R modeli için gerçekleştirilmiştir. Başka bir ifadeyle model içerisinde yer alan v ve u hata bileşenin sırasıyla U-D modeli için Uçdeğer ve Düzgün Dağılıma sahip olacak şekilde üretilmiş, N-R modeli için ise sırasıyla Normal ve Rayleigh Dağılımına sahip olacak şekilde üretilmiştir. Her iki simülasyon gurubu için de girdi değişkenleri düzgün dağılımdan üretilmiştir. Buradan elde edilen sonuçlar Çizelge 6.1'de verilmiştir. Verilen çizelgede simülasyon çalışması sonrasında belirtilen deneme sayısı için elde edilen ortalama etkinlik skoru, AIC ve BIC değerlerini ve o deneme sayısı için elde minimum ve maksimum etkinlik skorları da yer almaktadır.

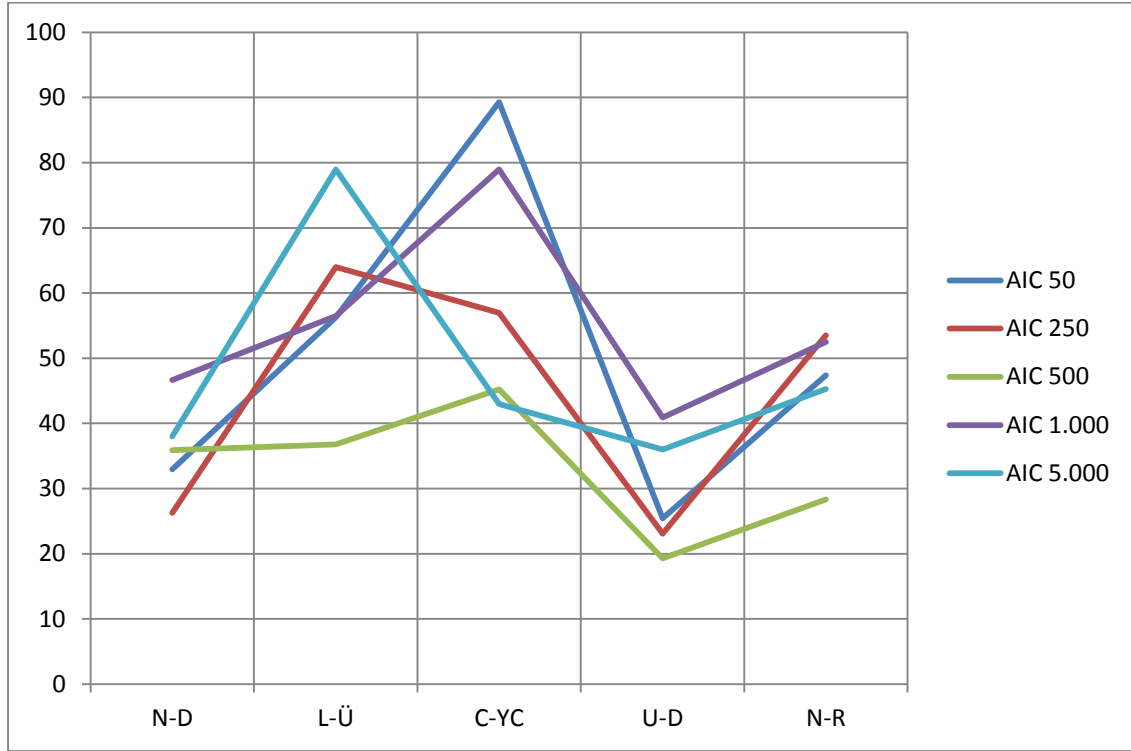
Burada çalışmanın daha anlaşılır olması için sadece U-D model için 25 KVB'li ve girdi sayısı 1 olan duruma ait çizelge verilmiş ve yorumlanmıştır. Simülasyon çalışmasına ait diğer çizelgeler ise Ekler kısmında Ek 6 ila Ek 18 arasında sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 6.1 $v \sim UD(0, \sigma^2)$, $u \sim Düzgün(0, \theta)$ KVB=25, Girdi Sayısı=1 Durumu.

Modeller	N-D	L-Ü	C-YC	U-D	N-R
Deneme Sayısı=50					
AIC	32,9634	56,2686	89,2685	25,4593	47,3679
BIC	35,2652	60,2682	92,6262	28,2953	51,0245
Min. Etkinlik Skoru	0,8936	0,6312	0,7952	0,7825	0,6512
Ort. Etkinlik Skoru	0,9236	0,6923	0,8123	0,8923	0,8542
Maks. Etkinlik Skoru	0,9523	0,7956	0,9753	0,9856	0,9293
Deneme Sayısı=250					
AIC	26,2679	63,9852	56,9782	23,0627	53,5407
BIC	29,9634	66,9632	59,3284	25,9605	57,1974
Min. Etkinlik Skoru	0,8685	0,6133	0,8932	0,6375	0,7549
Ort. Etkinlik Skoru	0,9026	0,7923	0,9345	0,7956	0,8936
Maks. Etkinlik Skoru	0,9756	0,8631	0,9632	0,9832	0,9372
Deneme Sayısı=500					
AIC	35,8963	36,7856	45,2189	19,2962	28,3380
BIC	39,4952	40,9652	48,9631	22,2957	31,9946
Min. Etkinlik Skoru	0,7896	0,6987	0,7895	0,6795	0,7763
Ort. Etkinlik Skoru	0,8963	0,8321	0,8963	0,8963	0,6077
Maks. Etkinlik Skoru	0,9123	0,9725	0,9312	0,9365	0,8407
Deneme Sayısı=1.000					
AIC	46,6320	56,4891	78,9520	40,8952	52,4773
BIC	49,9109	59,9841	81,9522	43,2962	56,1339
Min. Etkinlik Skoru	0,8923	0,9122	0,7892	0,8963	0,8515
Ort. Etkinlik Skoru	0,9013	0,9498	0,8952	0,9596	0,9003
Maks. Etkinlik Skoru	0,9698	0,9841	0,9495	0,9896	0,9462
Deneme Sayısı=5.000					
AIC	37,9852	78,9856	42,9652	35,9852	45,2784
BIC	39,9451	81,9527	45,2962	38,4895	48,9350
Min. Etkinlik Skoru	0,8956	0,8935	0,8952	0,7856	0,6307
Ort. Etkinlik Skoru	0,9422	0,9295	0,9423	0,8963	0,8355
Maks. Etkinlik Skoru	0,9832	0,9863	0,9815	0,9741	0,9079

Hata bileşenleri v ve u 'nun sırasıyla Uçdeğer ve Düzgün Dağılımlardan üretildiği durumda her bir deneme sayısında beklenildiği üzere en düşük AIC ve BIC değerlerine U-D modelinin sahip olduğu görülmüştür. Çünkü hata bileşenlerinin bu dağılımlardan üretildiği ya da hata bileşenlerinin bu dağılımlara sahip olduğu durumlarda önerilen U-D modelinin veriyi daha iyi modellemesi beklenmektedir. Burada daha iyi modellenmesinin anlamı, bu model ile hesaplanan olabilirlik fonksiyonun en yüksek değere sahip olması demektir. En çok olabilirlik yönteminde, olabilirlik fonksiyonun en çok olması istendiğinden ve en yüksek değere sahip olan modelin bilgi kriteri formülasyonundan dolayı AIC ve BIC değerlerinin en düşük olması anlamına gelmektedir. Çizelge 6.1'de yer alan bilgilerin daha anlaşılır olması için Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de AIC ve BIC değerlerine ait grafikler verilmiştir. Bu grafiklerin her birinde, tüm deneme sayıları için beklenildiği gibi en düşük

AIC ve BIC değerleri U-D modeline ait olduğu görülmektedir. Bu da, U-D modelinin, varsayılan durum için daha uygun olduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 6.1 Modellerin farklı deneme sayılarındaki AIC değerleri



Şekil 6.2 Modellerin farklı deneme sayılarındaki BIC değerleri

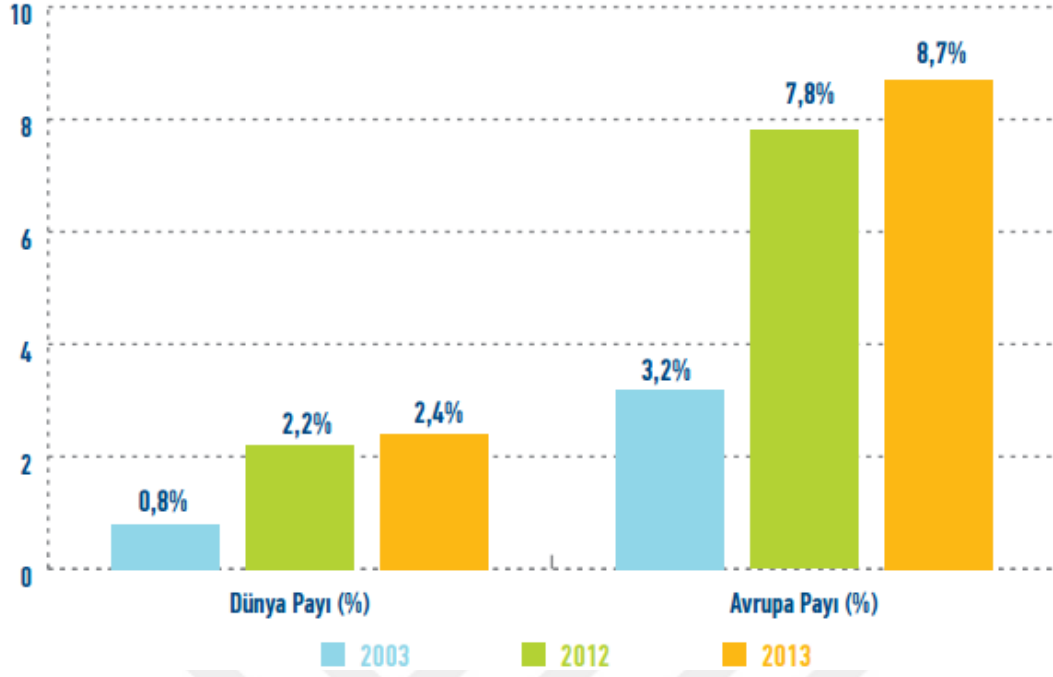


7. UYGULAMA

Bu tez çalışmasının önceki bölümlerinde ana hatları ile vermiş olan VZA'ya ait CCR ve BCC modelleri ile SSA literatüründe yer alan modeller kullanılarak, Türkiye'de yer alan ve Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMİ) bünyesinde bulunan, uluslararası uçak trafiğini barındıran yirmi altı adet havaalanına ilişkin performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Buradan elde edilen sonuçlar bu tez çalışmasının önceki bölümlerinde önerilen ve detayları ile verilen iki yeni SSA modelinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Önerilen modellerin mevcut modeller ile kıyaslanması için her bir SSA modeline ait AIC ve BIC değerleri hesaplanmıştır.

VZA ve SSA literatüründe teorik çalışmalardan daha yaygın bir biçimde üretilen uygulama çalışmalarıdır. Bu uygulama çalışmalarının önemli bir kısmını da taşımacılık alanında yapılan uygulama çalışmaları kapsamaktadır. Taşımacılık sektörü, taşıdığı ürünlerin çeşitliliği; petrol, yük, yolcu gibi ve taşımacılığın türünden kaynaklı farklılıklar; boru hattı, denizyolu, karayolu, sebebiyle birçok uygulama çalışması yapılmasına imkân vermiştir. Bu çalışmalara örnek olarak; Jarboui ve diğerleri,(2013) ve (2014), Yan ve diğerleri,(2009), Holmgren (2013), Scotti ve diğerleri,(2010), Pavlyuk(2013), Smith(2012), Vaio ve diğerleri,(2011) ve Kennedy ve diğerleri,(2011) verilebilir.

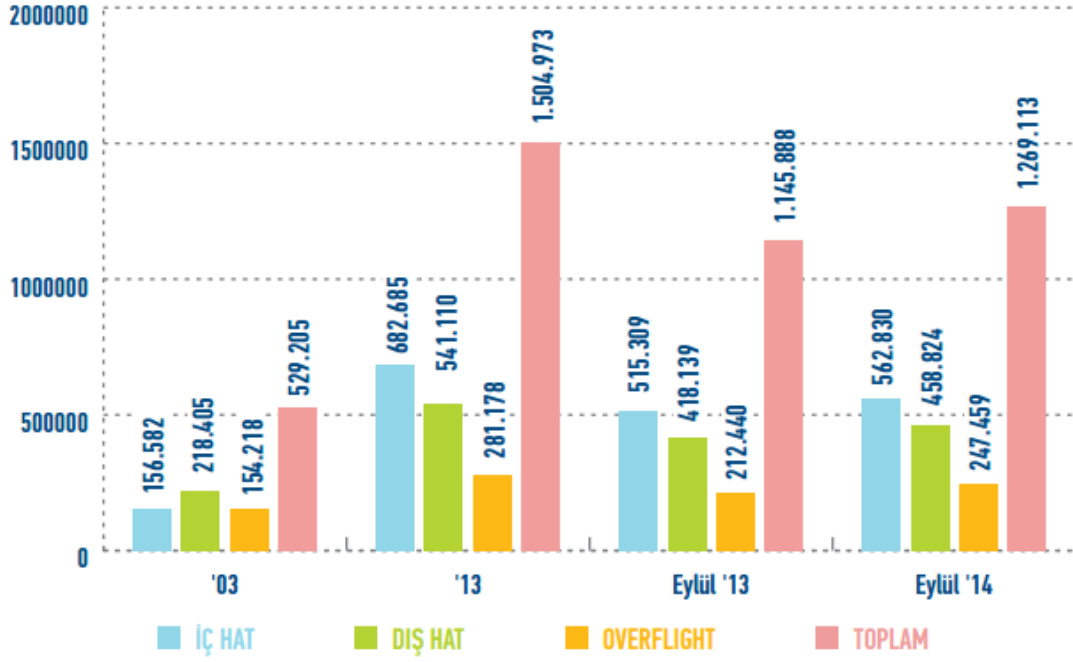
Hızla gelişen dünyada özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ekonomiler için belirli seviyede gelire sahip olan bireylerin vakitlerinin daha kıymetli hale gelmesi ve bu tip ekonomiler içerisinde yaşayan insanların imkân bulduklarında, bulundukları coğrafyanın dışına gitmek istemeleri havayolu taşımacılığının diğer taşımacılık sektörlerinden daha farklı bir konuma sokmaktadır. Bu bağlamda son on yılda ülkemizde havayolu taşımacılığı ile ilgili önemli politikalar geliştirilmiş ve neticesinde bununla alakalı yatırımlar hayata geçirilmiştir. Aşağıdaki grafiklerde ülkemizin son yıllarda havayolu taşımacılığındaki gelişimlerini gösteren bir takım grafikler verilmiştir. Burada kullanılan grafikler T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı tarafından 2014 yılında yayınlanan Havacılık ve Uzay Teknolojileri rapor kitabından alınmıştır. İlgili rapora <http://ubak.gov.tr/images/faaliyet/a5ec26a31a72281.pdf> adresinden ulaşılabilir.



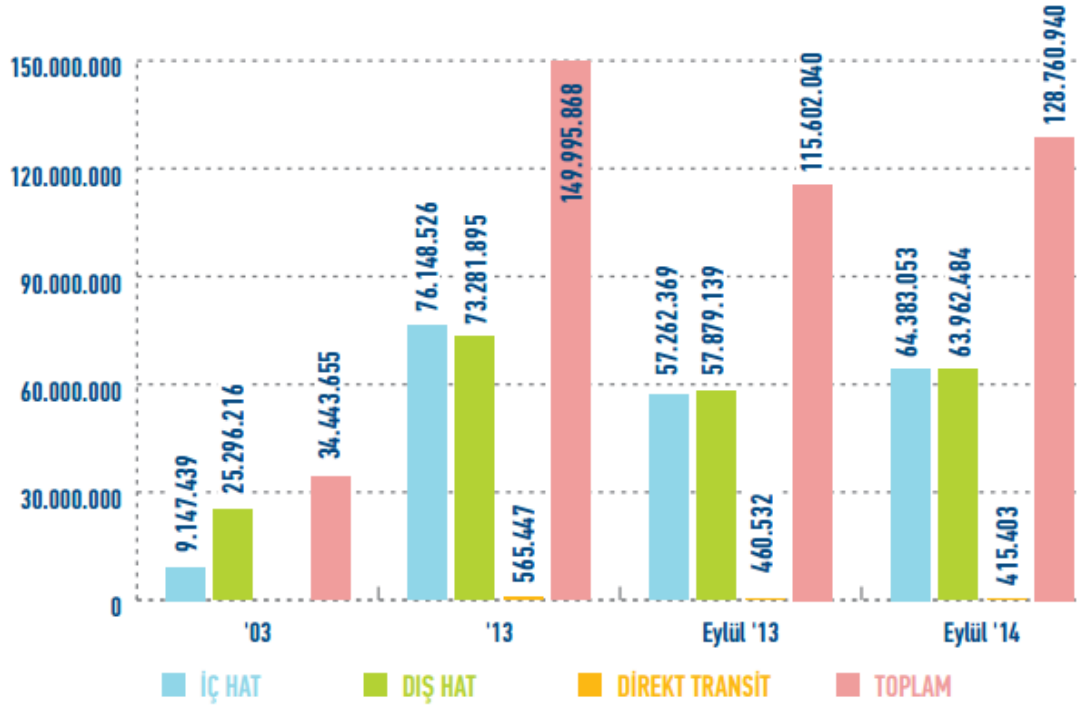
Şekil 7.1 Türkiye'nin dünya ve Avrupa havayolu yolculuklarındaki payı.

Buradan görüldüğü gibi Türkiye'nin 2003-2013 yılları arasında Dünyadaki havayolu yolculuklarındaki payı üç kat artarak %0,8'den %2,4'e çıkarken Avrupa'daki payı %3,2'den %8,7'ye çıkmıştır.

Şekil 7.2'de görüldüğü gibi Türkiye 2003-2013 yılları arasındaki toplam uçak trafiği yaklaşık üç kat artarak 529.205'den 1.504.973'e yükseltmiştir. Aşağıda verilen Şekil 7.3'te ise Türkiye'nin yolcu sayısına yönelik bilgiler bulunmaktadır. Bu bilgiler ışığında Türkiye 2003-2013 yılları arasındaki toplam yolcu sayısını 34.443.655'den 149.995.868 kişiye çıkarmıştır.



Şekil 7.2 Toplam uçak trafiği



Şekil 7.3 Toplam yolcu sayısı

Yukarıda verilen grafiklerden elde edilen bilgiler neticesinde havayolu taşımacılığının son yıllardaki yükselişi ve artan öneminden dolayı bu uygulama çalışmasının konusu olmasında etken olmuştur. Bunun dışında ülkemiz geliştirdiği ulaştırma politikaları ile havayolu yolcu taşımacılığının bir lüks olmaktan ziyade bir ihtiyaç olarak görülmesi ve

herkesçe kullanılması amaçlamaktadır. Ayrıca yeni yapılan hava alanları ile öncelikle yapıldığı şehir olmak üzere o bölgenin gelişimine katkıda bulunacağı düşünülen bir politika uygulanmaktadır. Bunun için son yıllarda işletme açısından zarar edeceği bilinmesine rağmen daha farklı yan faydalarından ötürü yeni havaalanları yapılmış ve yapılmaktadır. Yapılan ya da yapılması planlanan bu havaalanları ile bölgenin ticari hacminin, ulaşılabilirliğinin ve gelişmişliğinin artacağı öngörülmektedir.

Konunun bu denli güncel olması sebebiyle çalışmamızda hava alanlarının performansları incelenmiştir. Burada beş girdi;

- Toplam Pist Alanı (TPA)
- Yolcuya Hizmet Veren Alanlar (YHVA)
- Toplam Uçak Trafiği (TUT)
- Toplam Taşınan Yolcu Sayısı (TTYs)
- Toplam Taşınan Yük Ağırlığı (TTYA)

ve bir çıktı;

- Vergi Önceki Toplam Kazanç (VÖTK)

kullanılarak modeller oluşturulmuştur. Değişkenlerin hepsi 2013 yılı için toplam değerleri kapsamaktadır. Kullanılan veri setindeki tüm değerler (DHMİ, 2014)'den alınmıştır. Çizelge 7.1'de uygulamada kullanılan veri seti verilmiştir. Burada VÖTK değişkenine 40.000 eklenerek modele alınmıştır. Bunun sebebi VÖTK değişkeninde negatif değerler bulunmasıdır. Bu durum VZA modellerinin doğru sonuçlar vermesini engelleyen bir durumdur.

Çizelge 7.1 Havaalanlarına ilişkin kullanılan değişkenler

Havaalanlı	TPA (m ²)	YHVA (m ²)	TUT	TTYS	TTYA (Ton)	VÖTK (xBin TL)
İstanbul Atatürk	424.800	135.634	792.315	51.297.790	1.433.153	1.012.142
Ankara Esenboğa	378.000	88.566	181.895	10.942.060	187.383	-32.638
Adnan Menderes	291.600	44.685	146.081	10.233.140	198.068	48.441
Antalya	440.550	80.406	337.690	27.018.623	400.061	524.351
Muğla Dalaman	135.000	36.219	54.586	4.055.630	61.668	19.835
Milas Bodrum	135.000	46.239	53.980	3.628.320	59.318	9.898
Adana	123.750	6.515	73.280	4.315.778	78.755	7.982
Trabzon	118.800	11.325	38.839	2.620.887	58.074	-2.958
Süleyman Demirel	135.000	1.376	11.999	147.660	2.152	-8.089
Kapadokya	135.000	2.015	3.497	196.828	4.244	-10.070
Erzurum	285.750	5.750	13.398	876.121	16.038	-18.633
Gaziantep	144.000	5.799	28.523	1.828.769	36.773	-13.134
Batman	137.160	4.716	7.088	420.170	8.152	-7.134
Bursa Yenişehir	224.475	5.600	7.998	66.929	1.329	-17.682
Denizli Çardak	135.000	9.260	7.688	281.643	5.194	-14.501
Diyarbakır	239.558	3.110	26.350	1.798.653	31.307	383
Erzincan	135.000	7.575	4.826	281.502	5.560	-15.821
Hatay	135.000	10.710	14.995	964.707	19.370	-17.558
Kayseri	161.000	6.250	26.627	1.633.012	34.609	-3.120
Konya	301.320	2.624	14.180	835.951	15.146	-7.780
Malatya	301.500	2.595	11.831	639.807	12.411	-8.851
Samsun Çarşamba	135.000	4.725	20.816	1.266.088	24.890	-6.261
Nuri Demirağ	171.495	5.865	5.552	338.730	6.431	-11.522
Şanlıurfa GAP	180.000	4.620	8.675	545.627	8.805	-16.348
Tekirdağ Çorlu	135.000	2.145	22.936	77.865	11.806	-10.320
Van Ferit Melen	123.750	2.900	17.394	1.124.740	20.317	-5.690

Burada İstanbul Atatürk Havaalanı'nın sadece TPA istatistiği dışında diğer bütün istatistiklerde en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir. Çizelge 7.1'e göre en çok zarar yapan havaalanı ise Ankara Esenboğa Havaalanı'dır.

Veri seti için kurulan model ile VZA ve SSA yöntemlerinden elde edilen etkinlik skorları Çizelge 7.2'de verilmiştir.

Çizelge 7.2 VZA ve SSA modellerinde elde edilen etkinlik skorları

KVB	CCR	BCC	C-Y.C	N-D	L-Ü	N-Y.N	U-D	N-R
İstanbul Atatürk	1,00	1,00	0,9238	0,9922	0,8592	0,9987	0,9373	0,9981
Ankara Esenboğa	0,03	0,31	0,9999	0,9921	0,2165	0,9986	0,9244	0,2864
Adnan Menderes	0,36	0,48	0,9822	0,9922	0,8025	0,9987	0,9252	0,6181
Antalya	1,00	1,00	0,9238	0,9922	0,8592	0,9987	0,9340	0,9894
Muğla Dalaman	0,60	0,97	0,9575	0,9922	0,8388	0,9987	0,9277	0,6227
Milas Bodrum	0,54	0,93	0,9689	0,9922	0,7771	0,9987	0,9265	0,5964
Adana	0,71	1,00	0,9837	0,9922	0,7845	0,9987	0,9270	0,5729
Trabzon	0,52	1,00	0,9800	0,9922	0,7621	0,9987	0,9267	0,5628
Süleyman Demirel	1,00	1,00	0,9238	0,9922	0,8585	0,9987	0,9344	0,6288
Kapadokya	1,00	1,00	0,9238	0,9922	0,8592	0,9987	0,9399	0,6515
Erzurum	0,30	0,46	0,9803	0,9922	0,6382	0,9987	0,9249	0,5320
Gaziantep	0,45	0,85	0,9854	0,9922	0,6856	0,9987	0,9257	0,5337
Batman	0,95	0,98	0,9238	0,9922	0,8592	0,9987	0,9329	0,6320
Bursa Yenişehir	1,00	1,00	0,8832	0,9922	0,7316	0,9987	0,9264	0,5919
Denizli Çardak	0,79	0,99	0,9158	0,9922	0,8079	0,9987	0,9289	0,5994
Diyarbakır	0,66	0,80	0,9704	0,9922	0,8029	0,9987	0,9262	0,5883
Erzincan	0,77	0,99	0,9238	0,9922	0,8437	0,9987	0,9301	0,6062
Hatay	0,51	0,94	0,9743	0,9922	0,6874	0,9987	0,9260	0,5405
Kayseri	0,59	0,77	0,9710	0,9922	0,7915	0,9987	0,9267	0,5780
Konya	0,64	0,67	0,9601	0,9922	0,7819	0,9987	0,9258	0,5847
Malatya	0,66	0,67	0,9526	0,9922	0,7927	0,9987	0,9259	0,5886
Samsun Çarşamba	0,67	0,92	0,9637	0,9922	0,8078	0,9987	0,9279	0,5804
Nuri Demirağ	0,72	0,78	0,9238	0,9922	0,8582	0,9987	0,9296	0,6206
Şanlıurfa GAP	0,53	0,74	0,9461	0,9922	0,7575	0,9987	0,9268	0,5727
Tekirdağ Çorlu	1,00	1,00	0,9673	0,9922	0,8211	0,9987	0,9266	0,5584
Van Ferit Melen	0,87	1,00	0,9528	0,9922	0,8454	0,9987	0,9300	0,5926

Çizelge 7.2’de veri seti için elde edilen etkinlik skorları verilmiştir. Buna göre CCR modeli için İstanbul Atatürk, Antalya, Süleyman Demirel, Nevşehir Kapadokya, Bursa Yenişehir ve Tekirdağ Çorlu havaalanları etkin hava alanları olarak tespit edilmiştir. BCC modelinde ise bu hava alanlarına ek olarak Adana, Trabzon ve Van Ferit Melen hava alanları etkin hava alanları olarak elde edilmiştir. SSA modellerinde elde edilen teknik etkinlik skorları ise, N-D ve N-Y.N model için kendi içerisinde çok küçük farklılıkların gösterdiği görülmüştür. C-Y.C ve U-D modelleri için etkinlik skorlarının nispeten bir birinden çok farklı olmadıkları ancak N-R modelinde ise etkinlik skorlarının kendi içerisinde farklılık gösterdiği tespit edilmiştir.

Çizelge 7.3'te modellerden elde edilen etkinlik skorlarına ilişkin minimum, maksimum ve ortalama etkinlik skorları verilmiştir. Burada en küçük etkinlik skoruna CCR, en büyük etkinlik skoruna ise C-H.C modelinin sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.3 Modellere ilişkin bazı betimsel istatistikler

	CCR	BCC	C-Y.C	N-D	L-Ü	N-Y.N	U-D	N-R
Min. Etkinlik Skoru	0,0300	0,3100	0,8832	0,9921	0,2165	0,9986	0,9244	0,2864
Ort. Etkinlik Skoru	0,6873	0,8558	0,9524	0,9922	0,7742	0,9987	0,9286	0,6087
Maks. Etkinlik Skoru	1,0000	1,0000	0,9999	0,9922	0,8592	0,9987	0,9399	0,9981

Aşağıda verilen Çizelge 7.4'te bu modellere etkinlik skorlarından elde edilen sıralamaları verilmiştir. Buna göre İstanbul Atatürk Havaalanı C-Y.C modeli dışındaki tüm modellerde etkinlik sıralaması olarak ilk üç sırada yer almaktadır. C-Y.C modeli aynı zamanda diğer tüm modellerde en son sırada yer alan Ankara Esenboğa Havaalanı'nın etkinlik skorunu en yüksek olarak vermiştir. Kullanılan modellerden elde edilen etkinlik skorlarının ilişkilerini gözlemlemek için Spearman Sıra Korelasyon değerleri hesaplanmış ve Çizelge 7.5'te verilmiştir.

Çizelge 7.4 Etkinlik skorlarından elde edilen sıralamalar

KVB	CCR	BCC	C-Y.C	N-D	L-Ü	N-Y.N	U-D	N-R
İstanbul Atatürk	3*	1*	21	1*	2,5*	1*	2*	1*
Ankara Esenboğa	26	26	1*	26	26	26	26	26
AdnanMenderes	24	24	4	16	14	16	24	8
Antalya	5	5	21	2*	2,5*	2*	4	2*
Muğla Dalaman	17	13	14	9	9	9	11	6
Milas Bodrum	19	15	10	12	19	12	17	11
Adana	12	9	3*	22	17	22	12	19
Trabzon	21	8	6	21	20	21	15	21
Süleyman Demirel	1,5*	2*	21	5	5	5	3*	5
Kapadokya	1,5*	3*	21	3*	2,5*	3*	1*	3*
Erzurum	25	25	5	25	25	25	25	25
Gaziantep	23	17	2*	24	24	24	23	24
Batman	7	12	21	4	2,5*	4	5	4
Bursa Yenişehir	6	4	26	10	22	10	18	13
Denizli Çardak	9	10,5	25	8	11	8	9	10
Diyarbakır	14,5	18	9	19	13	19	19	15
Erzincan	10	10,5	21	7	8	7	6	9
Hatay	22	14	7	23	23	23	20	23
Kayseri	18	20	8	18	16	18	14	18
Konya	16	22,5	13	17	18	17	22	16
Malatya	14,5	22,5	16	14	15	14	21	14
Samsun Çarşamba	13	16	12	15	12	15	10	17
Nuri Demirağ	11	19	21	6	6	6	8	7
Şanlıurfa GAP	20	21	17	13	21	13	13	20
Tekirdağ Çorlu	4	6	11	20	10	20	16	22
Van Ferit Melen	8	7	15	11	7	11	7	12

Çizelge 7.5 Etkinlik skorlarına ait korelasyon değerleri

	CCR	BCC	C-Y.C	N-D	L-Ü	N-Y.N	U-D	N-R
CCR	1,000	,812	-,769	,759	,805	,759	,803	,674
BCC		1,000	-,534	,574	,580	,574	,736	,508
C-H.C			1,000	-,883	-,647	-,883	-,700	-,723
N-D				1,000	,839	1,000	,839	,940
L-Ü					1,000	,839	,861	,859
N-Y.N						1,000	,839	,940
U-D							1,000	,748
N-R								1,000

Çizelge 7.5'e göre en yüksek korelasyon değeri N-D ile N-Y.N modelleri arasındadır. Yine N-D ile N-R ve N-Y.N ile N-R modelleri arasında 0,94'lük yüksek korelasyon gözlemlenmiştir. Sadece C-Y.C modeli diğer modeller arasında negatif yönlü korelasyon

tespit edilmiştir. Bu tabloda yer alan korelasyon değerlerinin tamamı $\alpha = 0.05$ olmak üzere istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Aşağıda yer alan Çizelge 7.6'da ise SSA modellerinden elde edilen AIC ve BIC değerleri yer almaktadır. Burada en küçük bilgi kriteri değerine AIC için N-Y.N, BIC değeri için ise N-R modelleri sahiptir. U-D modeli ise her iki bilgi kriteri için N-Y.C ve N-R modellerinin ardından en düşük üçüncü bilgi kriteri değerine sahiptir. Çizelge 7.6'dan görüleceği gibi en yüksek bilgi kriteri değerlerine C-Y.C modeli sahiptir. Bu da kullanılan veri seti için en uygun olmayan modelin C-Y.C modeli olduğu anlamına gelir. Bu sonucu destekleyen bulgular Çizelge 7.4 ve Çizelge 7.5'te bulunmaktadır. Çizelge 7.4'te diğer modeller tarafından daha düşük sıralamaya sahip olan havaalanları, C-Y.C modelinde daha üst sıralarda yer almıştır. Çizelge 7.5'te ise C-Y.C modeli ile diğer modeller arasında negatif korelasyonun olduğu gösterilmiştir. Son olarak Çizelge 7.7'de modellerden elde edilen parametre tahminleri verilmiştir.

Çizelge 7.6 Modellere ilişkin AIC ve BIC değerleri

	C-Y.C	N-D	L-Ü	N-Y.N	U-D	N-R
AIC	352,76	71,53	58,39	31,49	57,42	32,17
BIC	362,82	81,59	68,46	41,56	66,23	40,97

Çizelge 7.7 Parametre tahminleri

	C-Y.C	N-D	L-Ü	N-Y.N	U-D	N-R
$\hat{\sigma}_u$	0,0002	0,7039	0,2736	0,0017	0,4568	-
$\hat{\sigma}_v$	0,6810	0,0157	0,1315	0,4978	0,1323	-
$\hat{\sigma}$	-	-	-	-	-	0,4553
$\hat{\beta}_0$	2,8569	3,8191	3,6994	3,7994	-3,0825	6,9283
$\hat{\beta}_1$	0,1917	0,2089	0,2379	0,2166	0,7589	0,0779
$\hat{\beta}_2$	-0,0536	-0,0483	0,0677	-0,0476	0,1073	-0,0125
$\hat{\beta}_3$	0,3906	0,3294	0,3258	0,3234	0,3352	0,2381
$\hat{\beta}_4$	-0,0167	-0,0230	0,0705	-0,0389	-0,0960	-0,0366
$\hat{\beta}_5$	0,2718	0,1662	-0,0666	0,1856	0,1791	0,1400



8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında KVB için göreceli performans değerlendirmesinde uygulanan iki yöntemden VZA temel özellikleriyle, SSA ise daha deyatlı olarak irdelenmiştir.

Stokastik Sınır Analizi literatürde var olan yöntemlerin yanında bu tez çalışmasında ilk kez önerilmiş olan iki yeni modelin farklı senaryolardaki durumlarını görmek amacıyla, literatürde kullanılmış veri setlerine uygulanmıştır. Bu veri setlerinin her birinde bir çıktı bulunmaktadır. Ayrıca önerilen modellerin farklı senaryolar altındaki performanslarını denemek hem de önerilen modellerin doğruluğunun bir nevi sağlamasını yapmak için farklı durumlar altında simülasyonlar yapılmıştır. Buna ek olarak önerilen ve diğer modeller güncel gerçek bir veri setine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar çizelge ve grafikler ile detaylı bir biçimde verilmiştir. bu tez çalışması neticesinde önerilen yeni modellerin diğer modellere göre ilgili veri seti için iyi bir modelleme yaptıkları görülmüştür.

Burada yer alan çalışmalar bazı eklemeler veya data da detaylandırmak mümkündür. Örnek olarak, simülasyon çalışması hata bileşenlerinin farklı dağılımlardan üretilen değerleri için de yapılabilir. Bir başka çalışma olarak, KVB'lerin daha etkin olabilmesi için hedef değeri belirlemek için duyarlılık analizi yapılabilir.

Sonuç olarak literatüre yeni iki model önerilmiştir. Önerilen bu modeller bazı veri setleri için iyi bazı veri setleri için ise en iyi sonuçları verebileceği yapılan hem simülasyon hem de uygulama çalışmasında görülmüştür. Burada önerilen iki model ile araştırmacıların yapacakları uygulama çalışmalarında kullanacakları bir çeşitlilik getirilmiştir. Böylece araştırmacı kendi veri seti için en uygun modeli ararken kullanışlı olan iki yeni model daha edinmiştir. Araştırmacı literatürde yer alan ve bu tez çalışması ile önerilen bu iki modelden kendi uygulayacağı veri için en iyi olanı seçip daha doğru sonuçlarla yorumlama yapabilecektir. Ayrıca bu tez çalışması, diğer istatistiksel dağılımlardan yararlanarak yeni bir model üretme süreci de detayları ile verilerek, bu doğrultuda çalışma yapacak araştırmacılara da yol gösterir mahiyettedir.



KAYNAKLAR

- Acarlar, I., Kinacı, H., Najjari, V. (2014). A New Measure for Detecting Influential DMUs in DEA, *Journal of Optimization*, 1-7.
- Aigner, D.J., Chu, S.F. (1968), On Estimating the Industry Production Function, *American Economic Review*, 58(4), 826-839.
- Aigner, D.J., Lovell, C.A.K., Schmidt, P. (1977). Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models, *Journal of Econometrics*, 6(1), 21-37
- Alp, İ. (2006). Performance of evaluation of Goalkeepers of World Cup, *Gazi University Journal of Science*, 19(2), 119–125.
- Alp, İ., Sözen, A. (2011). Efficiency assessment of Turkey's carbonization index, *Energy Sources Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 33(18), 1678–1691.
- Andersen, P. Petersen, N. (1993). A procedure for Ranking Efficient Units in DEA, *Management Science*, 39(10), 1261-1264.
- Avkiran, N. K. (2001). Investigating Technical and Scale Efficiencies of Australian Universities Through Data Envelopment Analysis. *Socio-Economic Planning Sciences*, 35(1), 57-80.
- Azadeh, A., Asadzadeh, S. M., Saberi, M., Nadimi, V., Tajvidi, A., Sheikalishahi, M. (2011). A Neuro-fuzzy-stochastic frontier analysis approach for long-term natural gas consumption forecasting and behavior analysis: The cases of Bahrain, Saudi Arabia, Syria, and UAE, *Applied Energy*, 88(11), 3850–3859.
- Bal, H., Gölcükcü, A. (2002). Data Envelopment Analysis an Application to Turkish Banking Industry, *Mathematical & Computational Applications*, 7(1), 65-72.
- Bal, H., Örkçü H, H., Çelebioğlu, S. (2010). Improving the Discrimination Power and WeightsDispersion in the Data Envelopment Analysis. *Computers and Operationla Research*, 37(1), 99-107.
- Banker, R. D. (1984). Estimating Most Productive Scale Size Using Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research*, 17(1), 35-44.
- Banker, R. D., Charnes, A., Cooper W.W. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Efficiencies in Data Envelopment Analysis, *Manegement Science*, 30(9), 1078-1092.

- Battese, G.E., Corra G.S. (1977). Estimation of a Production Frontier Model: With Application to Pastoral Zone of Eastern Australia, *Australian Journal of Agricultural Economics*, 21(3), 169-179.
- Battese, G. E. and Coelli, T im J. (1988). Prediction of Firm Level Technical Efficiencies with A Generalized Frontier Production Function and Panel Data, *Journal of Econometrics*, 38(1), 387-399.
- Bhattacharyya, A., Pal, S. (2013). Financial reforms and technical efficiency in Indian commercial banking: A generalized stochastic frontier analysis, *Review of Financial Economics*, 22(3), 109–117.
- Bhaumik, S. K., Das, P. K., Kumbhakar, S. C. (2012). A stochastic frontier approach to modelling financial constraints in firms: An application to India, *Journal of Banking & Finance*, 36(5), 1311–1319.
- Charnes, A., Cooper W.W., Rhodes, E. (1978). Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.
- Chen, Z., Barros, C. P., Borges, M. R. (2015), A Bayesian stochastic frontier analysis of Chinese fossil-fuel electricity generation companies, *Energy Economics*, 48(1), 136–144.
- Coelli, T. J. (1995). Estimators and Hypothesis Tests for a Stochastic Frontier Function: A Monte Carlo Analysis, *Journal of Productivity Analysis*, 6(3), 247-268.
- Cui, Q., Li, Y. (2015). Evaluating Energy Efficiency for Airlines: An Application of VFB-DEA, *Journal of Transport Management*, (44-45), 34-41.
- Fare, R., Grosskopf, S., Lee, W. F. (1995). Productivity in Taiwanese Manufacturing Industries, *Applied Economics*, 27(3), 594-604.
- Farrel, M.J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society*, 120(3), 253-290.
- Fare, R., Grosskopf, S., Tyteca, D. (1996). An Activity analysis Model of the Enviromental Performance of Firms–Application to Fossil Fuel Fired Electric Utilities, *Ecological Economics*, 18(2), 161-175.
- Feng, G., Zhang, X. (2014). Returns to scale at large banks in the US: A random coefficient stochastic frontier approach, *Journal of Banking & Finance*, 39, 135–145.
- Dolton, P., Marcenaro, O.D., Navarro, L. (2003). The effective use of student time: a stochastic frontier production function case study, *Economics of Education Review*, 22(6), 547–560

- Dong, F., Li, X., Long, R., Liu, X. (2013). Regional carbon emission performance in China according to a stochastic frontier model, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 525–530.
- Dong, Y., Hamilton, R., Tippet, M. (2014). Cost efficiency of the Chinese banking sector: A comparison of stochastic frontier analysis and data envelopment analysis, *Economic Modelling*, 36, 298–308.
- Greene, W. (1990). A gamma-distributed stochastic frontier model, *Journal of Econometrics*, 46(1-2), 141-163.
- Guetat, H., Jarboui, S., Boujelbene, Y. (2015). Evaluation of hotel industry performance and corporate governance: A stochastic frontier analysis, *Tourism Management Perspectives*, 15, 128–136.
- Halmgren, J. (2013). The Efficiency Of Public Transport Operations – An Evaluation Using Stochastic Frontier Analysis. *Research in Transportation Economics*, 39, 50-57.
- Hu, J. L., Honma, S. (2014). A Comparative Study of Energy Efficiency of OECD Countries: An Application of the Stochastic Frontier Analysis, *Energy Procedia*, 61, 2280–2283.
- Jarboui, S., Forget, P., Boujelbene, Y. (2013). Public Road Transport Efficiency: A Stochastic Frontier Analysis, *Journal of Transportation System Engineering and Information Technology*, 13(5), 64-71.
- Jarboui, S., Forget, P., Boujelbene, Y. (2014). Transport Firms Inefficiency and Managerial Optimism: A Stochastic Frontier Analysis. *Journal of Behavioral and Experimental Finance*, 3, 41-51.
- Jondrow, James, Lovell, C.A. Knox, Materov, Ivan S., Schmidt, P. (1982). On the Estimation of Technical Efficiency in the Stochastic Frontier Production Model, *Journal of Econometrics*, 19, 233-238.
- Kao, C., Liu, S. L. (2000). Fuzzy Efficient Measures in Data Envelopment Analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 113, 427-237.
- Kennedy O. R., Lin, K., Yang, H., Ruth, B. (2011). Sea-Port Operational Efficiency: An Evaluation of Five Asian Ports Using Stochastic Frontier Production Function Model, *Journal of Service Science and Management*, 4, 391-399.
- Li, H. Z., Tian, X. L., Zou, T. (2015). Impact analysis of coal-electricity pricing linkage scheme in China based on stochastic frontier cost function, *Applied Energy*, 151, 296–305.

- Li, X., Reeves, G. (1999). A Multiple Criteria Approach to Data Envelopment Analysis, *European Journal of Operational Research*, 115(3), 507-517.
- Lovell, K. C. A., Pastor, J. T. (1999). Radial DEA Models Without Inputs or Without Outputs, *European Journal of Operational Research*, 118(1), 46-51.
- Meeusen, W., Van den Broeck, J. (1977). Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error, *International Economic Review*, 18(2), 435-444.
- Olesen, O. B., Petersen, N. C. (1995). Incorporating Quality Into Data Envelopment Analysis: A Stochastic Dominance Approach. *International Journal Of Production Economics*, 39(1-2), 117-135.
- Olson, J. A., Schmidt, P., Waldman, D. M. (1980). A Monte Carlo study of estimators of stochastic frontier production functions, *Journal of Econometrics*, 13(1), 67-82
- Ortega, F. J., Gavilian, J. M. (2013). The measurement of production efficiency in scientific journals through stochastic frontier analysis models: Application to quantitative economics journals, *Journal of Informetrics*, 7(4), 959-965.
- Pavlyuk, D. (2013). Distinguishing Between Spatial Heterogeneity And Inefficiency Spatial Stochastic Frontier Analysis of European Airports. *Transport and Telecommunication*, 14(1), 29-38.
- Ray, S. (1991). Resource Use Efficiency in Public Schools: A Study of Connecticut Data, *Management Science*, 37(12), 1620-1628.
- Richmond, J. (1974). Estimating the Efficiency of Production, *International Economic Review*, 15(2), 515-521.
- Scippacercola, S., D'Ambra, L. (2014). Estimating the Relative Efficiency of Secondary Schools by Stochastic Frontier Analysis, *Procedia Economics and Finance*, 17, 79-88.
- Scotti, D., Malighetti, P., Martini, G., Volta, N. (2010). The Impact Of Airport Competition On Technical Efficiency: A SFA Applied To Italian Airport. https://mpira.ub.uni-muenchen.de/24648/1/MPRA_paper_24648.pdf.
- Smith, A. S. J. (2012). The Application of Stochastic Frontier Panel Models in Economic Regulation: Experience From the European Rail Sector. *Transportation Research Part E: Logistic and Transportation Review*, 48(2), 503-515.
- Stevenson, R. E. (1980). Likelihood Functions for Generalized Stochastic Frontier Estimation, *Journal of Econometrics*, 13, 57-66.

- Thanassoulis, E. Dyson, R. G. (1992). Estimating Preferred Target Input-Output Levels Using Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research*, 56, 80-97.
- Tsionas, E.G. (2012). Maximum Likelihood Estimation of Stochastic Frontier Models by the Fourier Transform, *Journal of Econometrics*, 170(1), 234-248.
- Ueasin, N., Liao, S. Y., Wongchai, A. (2015). The Technical Efficiency of Rice Husk Power Generation in Thailand: Comparing Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis, *Energy Procedia*, 75, 2757–2763.
- Winboonpongse, A., Liu, J., Sriboonchitta, S., Denoeux, T. (2015). Modeling dependence between error components of the stochastic frontier model using copula: Application to intercrop coffee production in Northern Thailand, *International Journal of Approximate Reasoning*, 65, 34–44.
- Vaio, A. Di., Medda, F. R., Trujillo, L. (2011). An Analysis of the Efficiency of Italian Crusse Terminals. *International Journal of Transport economics*. 38(1), 29-46.
- Vaninsky, A. (2010). Prospective national and regional environmental performance: Boundary estimations using a combined data envelopmentstochastic frontier analysis approach, *Energy*, 35(9), 3657–3665.
- Yan, J., Sun, X., Liu, J. J. (2009). Assessing Container Operator Efficiency with Heterogeneous and Time-Varying Production Frontiers. *Transportation Research Part B*, 43, 172-185.
- Yao, X., Zhou, H., Zhang, A., Li, A. (2015). Regional energy efficiency, carbon emission performance and technology gaps in China: A meta-frontier non-radial directional distance function analysis, *Energy Policy*, 84, 142–154.





EK-1. Amerikan elektrik dağıtım şirketleri veri seti

KVB No	KVB	Maliyet	Çıktı	İşgücü	Sermaye	Yakıt
1	Cal, Pac, Util	0,2130	8	6869,47	64,945	18,000
2	Montana Power	3,0427	869	8372,96	68,227	21,067
3	Upper Pen, Pwr,	9,4059	1412	7960,9	40,692	41,530
4	Mt, Carmen Pub,	0,7606	65	8791,89	41,243	28,539
5	Baiigor Hydro	2,2587	295	8218,4	71,940	39,200
6	Community P,S,	1,3422	183	5063,49	74,430	35,510
7	Newport Elec,	0,6159	50	9204,24	90,470	32,070
8	Maine Pub, Ser,	0,4887	14	5438,89	86,110	34,150
9	N'western P,S,	1,1474	90	7189,67	79,101	21,503
10	Pacific P&L	7,5492	2969	8183,34	80,657	9,000
11	Central Kansas	2,0532	374	7884,94	82,485	26,301
12	Ark, Mo, Power	0,6363	67	6696,5	58,258	25,040
13	Lake Sup, Dist, Pr,	3,1504	378	7895,43	60,277	42,468
14	Mo, Public Ser,	10,3136	1886	6833,93	67,680	25,600
15	Mont Dak, Utils,	5,8488	1025	7093,32	68,227	22,279
16	United Gas, I,	4,5050	467	8410,34	76,300	26,850
17	St, Joseph L&P	5,5971	938	7703,26	77,197	25,400
18	Black Hills P&L	3,7255	643	7332,13	64,506	21,162
19	Iowa Southern	6,0065	1328	6680,77	51,817	25,232
20	Tucson Gas&E	12,7830	2632	8469,84	70,295	30,971
21	Madison Gas&E	6,6214	856	8033,72	67,680	39,581
22	Central La, Pwr,	9,6429	2689	6364,4	78,440	23,489
23	Savannah E,&P,	8,6852	1627	7912,4	79,220	31,680
24	Otter Tail Pwr,	8,6372	1090	8507,92	39,127	33,900
25	Cent, Maine Pwr,	11,2419	2258	6892,61	81,096	29,100
26	Empire Dist, El,	6,6221	1500	7588,7	82,840	21,395
27	El Paso Elec,	10,9665	2506	7412,36	57,240	27,421
28	Interstate Pwr,	13,6270	2437	7846,06	65,565	30,671
29	So, Ind, G,&E,	7,4395	1293	6821,0900	78,225	21,431
30	Iowa Pub, Ser,	9,7843	1627	8355,7500	76,140	31,337
31	P,S, Co, Of N,H,	20,8671	3965	8403,59	74,480	33,199
32	Ctrl, Hudson G,&E,	19,7092	2682	9484,85	81,750	50,452
33	Iowa III,G,&E,	19,1764	2001	8611,53	74,025	30,645
34	West Tunas Util,	10,1902	2764	6338	66,232	21,197
35	Iowa Elec, L,&Pwr,	16,1764	2487	8088,45	66,622	32,619
36	So, Car, El,&Gas	42,2514	7320	5879,51	92,063	39,210
37	Wisc, Pub, Ser,	22,5612	3571	7297,71	78,255	41,595
38	No, Ind, Pub Ser,	33,0175	6837	7310,15	69,795	28,441

EK-1. (devam)Amerikan elektrik dağıtım şirketleri veri seti

39	Rochester G,&E,	18,8963	2020	10806,2	79,570	46,900
40	Iowa Pwr:&Light	13,2679	2445	8764,75	76,140	28,365
41	Wisc, Pwr:&Light	21,5454	3981	8186,05	75,082	35,205
42	Tampa Electric	35,5303	6770	7798,26	67,570	29,825
43	Atl, City Elec,	29,8011	4187	7996,44	74,120	47,426
44	United III, Co,	30,8773	5643	10182,49	61,040	27,850
45	Ariz, Pub, Ser,	24,3565	6793	6336,88	70,295	18,591
46	Kansas Pwr,&L,	17,4802	4148	7536,89	74,025	24,584
47	Kansas Gas&El,	19,9008	5785	7969,55	71,910	22,245
48	Louisiana P,&L,	28,7861	9660	6686,73	79,542	20,263
49	Central Pwr,&L,	27,0832	7896	7119,96	74,513	20,110
50	Miss, Power&L,	22,4421	5648	8954,12	78,440	25,916
51	San Diego G,&E,	30,2067	5286	7084,1	73,325	38,338
52	Pub, Ser, Okla,	30,1678	9602	7054,18	59,977	20,201
53	Dallas Pwr,&L,	32,5840	7930	7119,01	48,997	22,838
54	Florida Power	47,3864	9530	7624,57	83,880	31,583
55	Ctrl, III, Pub, Ser,	24,2903	5316	9759,83	74,025	27,838
56	Indy, Power&L,	31,2922	7484	8063,73	67,680	23,527
57	Okla, Gas&Elec,	31,9884	10149	6437,92	73,140	18,534
58	Texas Power&L,	41,9016	12954	6460,64	62,330	21,755
59	Gulf States Utl,	58,1154	17875	6288,41	73,395	20,619
60	NY State El,&Gas	40,5281	6891	6769,55	74,120	35,965
61	Kan, City P,&L,	37,0666	6754	10177,89	77,197	25,621
62	S'western P,S,	25,1686	6779	7826,93	74,200	20,279
63	Texas Elec, Ser,	45,1827	12936	8320,06	65,760	22,033
64	Long Is, Light	55,1764	10855	8061,96	71,490	31,760
65	Illinois Power	41,1798	9275	8657,53	76,140	24,580
66	Carolina P,&L,	80,3593	16311	7282,61	81,550	40,969
67	Balt, Gas&El,	68,4800	12542	8142,84	80,385	35,788
68	Potomac El, Pr,	97,3859	13846	7786,37	88,540	44,157
69	Boston Edison	52,7634	9145	10373,5	81,750	35,808
70	Ark, Power&Lt	38,8472	10057	6035,95	81,578	25,824
71	Pub, Ser, Of Ind,	48,1125	11114	8413,86	69,975	22,554
72	Wisc, Elec, Pwr,	79,0705	12706	9282,51	70,853	37,248
73	Vir, Elec&Pwr,	111,8863	23217	6873,73	83,880	33,394
74	Penn, Pwr,&Lt,	77,8849	13702	7113,79	70,850	34,962
75	Houston Lt,&Pr,	87,1015	27708	6378,23	63,600	20,300
76	Duquesne Light	57,7267	10004	6472,86	76,300	28,096
77	Consumers Pwr,	90,7168	17280	9191,47	72,967	36,882
78	Pub, Ser, El,&G,	183,2315	27118	9914,36	78,480	41,758
79	So, Cal, Edison	169,2354	38343	9117,16	65,992	31,590
80	Niagara Mohawk	76,2528	11667	10436,32	80,660	46,070
81	Phila, Elect,	134,2283	19445	9829,32	67,580	38,803
82	Duke Power Co,	168,3777	34212	5683,83	80,385	40,529

EK-1. (devam)Amerikan elektrik dağıtım şirketleri veri seti

83	Pac, Gas,&Elec,	125,3356	24001	8047,35	74,372	33,093
84	Detroit Edison	191,5625	30958	9810,1	69,541	36,308
85	Consol, Edison	240,5137	29613	9312,93	81,750	41,887
86	Ctrl, Ver, Pub, Ser,	0,1304	4	6009,7	92,650	33,199
87	Citizens Utils,	0,7293	60	7972,71	75,464	33,707
88	Maui Electric	1,7705	153	10963,9	57,612	46,160
89	Hilo Elec, Light	2,2367	198	7046,5	64,945	38,000
90	Fitchburg G,&E,	2,5593	243	7000,81	81,750	33,436
91	New Mex, Elec, Ser,	2,0358	617	9547,72	81,750	18,490
92	Sierra Pac, Pwr,	7,6236	1340	6438,42	79,220	38,148
93	Ctrl, Tel,&Util,	11,1091	1961	6964,81	82,485	28,263
94	Pub, Scr, New Mex,	9,4674	2233	6717,18	59,957	22,693
95	Nevada Power	13,8262	2582	8334,89	77,531	34,181
96	Orange & Rockln,	17,2895	2763	8058,91	80,660	45,664
97	Kentucky Utils,	16,1704	2863	7509,37	81,550	30,237
98	Hawaiian Elec,	24,3975	3490	8477,23	75,420	38,000
99	Toledo Edison	27,2443	4568	9619,76	76,140	35,665
100	Colms&So, Ohio	29,4870	5292	8176,33	76,140	22,837
101	Dayton Pwr,&Lt,	35,1091	5699	7988,48	80,370	42,635
102	Louisville G,&E,	25,4814	5702	6947,11	78,225	24,260
103	Cinci, Gas&El,	42,4117	8650	7146,67	72,967	27,869
104	Cleveland El,l,	72,0355	12724	8037,84	74,025	37,517
105	Florida Pwr,&L,	146,9890	25147	9900,76	75,725	33,474
106	New England El,	51,7415	10361	9578,63	68,016	28,142
107	New Eng, G,&E, Ass,	21,5587	3886	9538,68	63,569	30,889
108	East, Utl, Ass,	14,2710	1901	9822,64	69,411	36,000
109	Nrth, Sts, Pwr,	66,1032	11837	8709,43	75,379	31,332
110	Union Elec, Co,	113,2555	22522	9500,78	76,732	25,029
111	Allegheny Pr,	90,3718	21956	7954,47	83,338	22,912
112	Southern Co,	240,4858	53918	6068,87	78,380	31,195
113	Amer, Elec, Pr,	277,2965	72247	7419,92	56,301	25,091
114	General Pub, U,	107,9776	18455	6690,23	76,300	32,965
115	Common, Edison	269,7728	46870	9761,38	69,541	33,200
116	Northeast Util,	79,6207	16508	9404,97	78,044	42,209
117	Pub, Ser, Colo,	33,8814	7382	7512,72	72,362	25,900
118	Minnesota P,&L,	14,9529	2325	8568,23	53,890	38,916
119	Delmarva P,&L,	33,9733	5708	10024,2	78,102	42,166
120	Ohio Edison Co,	78,7028	17132	8160,8	78,899	25,538
121	Utah Power&Lt	19,4391	4560	8558,37	76,464	23,778
122	S'western El, Pr,	20,8836	6259	6697,02	69,764	21,292
123	New Orleans P,S,	21,7792	6746	9419,27	49,778	20,100

EK-2. Amerikan elektrik dağıtım şirketleri verisi ait etkinlik skorları

KVB No	KVB	N-D	N-Y.N	L-Ü	C-Y.C	CCR	BCC
1	Cal, Pac, Util	0,9584	0,7599	0,8733	0,9610	154,77	239,15
2	Montana Power	0,8365	0,6080	0,9099	0,9704	53,74	58,83
3	Upper Pen, Pwr,	0,8970	0,6825	0,8823	0,9660	86,80	123,68
4	Mt, Carmen Pub,	0,8994	0,6856	0,8966	0,9658	121,23	152,89
5	Baiigor Hydro	0,8597	0,6364	0,9053	0,9688	68,80	87,79
6	Community P,S,	0,8622	0,6394	0,9053	0,9686	79,50	120,08
7	Newport Elec,	0,8626	0,6399	0,9091	0,9686	73,45	75,09
8	Maine Pub, Ser,	0,9870	0,7963	0,8443	0,9587	244,91	277,22
9	N'western P,S,	0,9784	0,7854	0,8480	0,9594	147,35	410,25
10	Pacific P&L	0,9181	0,7090	0,8682	0,9643	86,32	132,59
11	Central Kansas	0,8588	0,6352	0,9055	0,9688	60,20	67,43
12	Ark, Mo, Power	0,8861	0,6690	0,9010	0,9668	80,30	91,70
13	Lake Sup, Dist, Pr,	0,8816	0,6633	0,8965	0,9672	82,82	109,30
14	Mo, Public Ser,	0,9308	0,7250	0,8575	0,9633	71,47	83,49
15	Mont Dak, Utils,	0,9369	0,7328	0,8611	0,9628	95,82	95,87
16	United Gas, I,	0,9766	0,7831	0,8288	0,9596	129,87	176,08
17	St, Joseph L&P	0,9188	0,7099	0,8748	0,9643	89,61	91,09
18	Black Hills P&L	0,9282	0,7217	0,8725	0,9636	85,22	85,96
19	Iowa Southern	0,8900	0,6738	0,8873	0,9665	70,59	79,36
20	Tucson Gas&E	0,8796	0,6609	0,8875	0,9673	63,64	76,80
21	Madison Gas&E	0,9076	0,6958	0,8806	0,9652	91,97	100,71
22	Central La, Pwr,	0,8697	0,6487	0,8919	0,9680	60,73	74,81
23	Savannah E,&P,	0,8840	0,6664	0,8886	0,9670	61,97	77,89
24	Otter Tail Pwr,	0,9479	0,7467	0,8480	0,9620	122,93	135,36
25	Cent, Maine Pwr,	0,8966	0,6820	0,8796	0,9660	68,42	85,80
26	Empire Dist, El,	0,8974	0,6831	0,8838	0,9659	70,35	71,94
27	El Paso Elec,	0,8836	0,6658	0,8859	0,9670	67,23	78,19
28	Interstate Pwr,	0,9112	0,7003	0,8697	0,9649	74,09	85,87
29	So, Ind, G,&E,	0,9519	0,7518	0,8430	0,9616	98,77	101,73
30	Iowa Pub, Ser,	0,9065	0,6945	0,8770	0,9653	69,38	78,33
31	P,S, Co, Of N,H,	0,8938	0,6786	0,8759	0,9662	77,63	83,69
32	Ctrl, Hudson G,&E,	0,8887	0,6722	0,8816	0,9666	77,26	98,79
33	Iowa III,G,&E,	0,9987	0,8285	0,6373	0,9565	145,15	184,70
34	West Tunas Util,	0,8916	0,6758	0,8814	0,9664	65,08	74,48
35	Iowa Elec, L,&Pwr,	0,9319	0,7264	0,8517	0,9633	85,10	92,53
36	So, Car, El,&Gas	0,9130	0,7026	0,8485	0,9647	92,50	116,15
37	Wisc, Pub, Ser,	0,9040	0,6913	0,8688	0,9655	88,66	102,40
38	No, Ind, Pub Ser,	0,9132	0,7029	0,8529	0,9647	89,43	90,79
39	Rochester G,&E,	0,9331	0,7280	0,8533	0,9632	86,87	95,85
40	Iowa Pwr:&Light	0,9080	0,6963	0,8727	0,9651	64,78	75,45
41	Wisc, Pwr:&Light	0,8928	0,6773	0,8762	0,9663	77,80	86,01
42	Tampa Electric	0,9206	0,7121	0,8451	0,9641	95,36	96,50

EK-2. (devam)Amerikan elektrik dağıtım şirketleri verisi ait etkinlik skorları

43	Atl, City Elec,	0,9093	0,6980	0,8623	0,9651	94,49	110,22
44	United III, Co,	0,9241	0,7166	0,8472	0,9639	107,23	108,81
45	Ariz, Pub, Ser,	0,9179	0,7087	0,8501	0,9643	86,20	87,14
46	Kansas Pwr,&L,	0,8961	0,6815	0,8747	0,9660	74,10	78,81
47	Kansas Gas&El,	0,8729	0,6526	0,8852	0,9678	66,58	70,81
48	Louisiana P,&L,	0,8696	0,6485	0,8819	0,9680	68,20	69,16
49	Central Pwr,&L,	0,8938	0,6785	0,8691	0,9662	75,97	77,14
50	Miss, Power&L,	0,8736	0,6535	0,8849	0,9677	68,09	72,35
51	San Diego G,&E,	0,9042	0,6915	0,8636	0,9654	90,82	95,36
52	Pub, Ser, Okla,	0,8816	0,6633	0,8749	0,9671	74,21	75,19
53	Dallas Pwr,&L,	0,9188	0,7099	0,8448	0,9643	98,98	101,41
54	Florida Power	0,9033	0,6905	0,8561	0,9655	77,98	83,46
55	Ctrl, III, Pub, Ser,	0,8870	0,6701	0,8781	0,9667	76,23	79,59
56	Indy, Power&L,	0,9067	0,6947	0,8592	0,9652	85,08	85,89
57	Okla, Gas&Elec,	0,8952	0,6803	0,8642	0,9661	73,90	74,04
58	Texas Power&L,	0,8828	0,6649	0,8694	0,9670	72,38	72,91
59	Gulf States Utl,	0,8901	0,6740	0,8581	0,9665	73,61	77,73
60	NY State El,&Gas	0,9240	0,7164	0,8380	0,9639	96,53	99,40
61	Kan, City P,&L,	0,9348	0,7300	0,8297	0,9630	98,75	100,27
62	S'western P,S,	0,9020	0,6888	0,8654	0,9656	78,00	78,57
63	Texas Elec, Ser,	0,8830	0,6651	0,8702	0,9670	75,25	75,27
64	Long Is, Light	0,9075	0,6957	0,8494	0,9652	86,91	88,41
65	Illinois Power	0,9093	0,6980	0,8529	0,9650	85,10	85,40
66	Carolina P,&L,	0,8726	0,6522	0,8713	0,9678	72,83	80,00
67	Balt, Gas&El,	0,9042	0,6915	0,8492	0,9654	85,25	86,49
68	Potomac El, Pr,	0,9275	0,7208	0,8087	0,9636	98,77	99,40
69	Boston Edison	0,9009	0,6875	0,8600	0,9657	85,59	90,02
70	Ark, Power&Lt	0,8927	0,6772	0,8645	0,9663	72,49	76,69
71	Pub, Ser, Of Ind,	0,9197	0,7110	0,8368	0,9642	87,83	92,56
72	Wisc, Elec, Pwr,	0,9202	0,7117	0,8283	0,9642	102,07	105,32
73	Vir, Elec&Pwr,	0,8966	0,6821	0,8423	0,9660	80,36	82,55
74	Penn, Pwr,&Lt,	0,9242	0,7167	0,8170	0,9638	97,25	98,04
75	Houston Lt,&Pr,	0,8858	0,6686	0,8532	0,9668	73,60	75,50
76	Duquesne Light	0,9595	0,7614	0,7427	0,9610	116,78	126,46
77	Consumers Pwr,	0,8888	0,6724	0,8586	0,9666	80,33	84,25
78	Pub, Ser, El,&G,	0,9159	0,7062	0,8060	0,9645	86,06	89,23
79	So, Cal, Edison	0,8737	0,6536	0,8575	0,9677	71,41	72,83
80	Niagara Mohawk	0,8936	0,6783	0,8609	0,9662	88,68	93,23
81	Phila, Elect,	0,9340	0,7291	0,7806	0,9631	108,72	111,42
82	Duke Power Co,	0,8830	0,6651	0,8459	0,9670	84,46	95,98
83	Pac, Gas,&Elec,	0,9075	0,6958	0,8269	0,9651	84,04	85,00
84	Detroit Edison	0,9186	0,7097	0,7946	0,9643	88,85	90,27
85	Consol, Edison	0,9549	0,7555	0,6373	0,9614	121,59	127,83
86	Ctrl, Ver, Pub, Ser,	0,8502	0,6247	0,9136	0,9694	132,77	400,00

EK-2. (devam)Amerikan elektrik dağıtım şirketleri verisi ait etkinlik skorları

87	Citizens Utils,	0,8755	0,6558	0,9045	0,9676	79,06	93,84
88	Maui Electric	0,8724	0,6520	0,9033	0,9679	98,83	119,27
89	Hilo Elec, Light	0,9275	0,7209	0,8785	0,9636	110,55	114,69
90	Fitchburg G,&E,	0,9389	0,7353	0,8708	0,9627	104,69	109,84
91	New Mex, Elec,Ser,	0,8210	0,5893	0,9158	0,9715	48,68	51,28
92	Sierra Pac, Pwr,	0,8764	0,6569	0,8922	0,9676	66,66	103,15
93	Ctrl, Tel,&Util,	0,9215	0,7133	0,8645	0,9641	70,70	87,24
94	Pub, Scr, NewMex,	0,9034	0,6906	0,8764	0,9655	61,74	75,51
95	Nevada Power	0,8844	0,6669	0,8850	0,9669	66,11	82,83
96	Orange & Rockln,	0,8794	0,6607	0,8860	0,9673	75,21	99,36
97	Kentucky Utils,	0,9177	0,7085	0,8627	0,9644	81,84	89,54
98	Hawaiian Elec,	0,9290	0,7227	0,8481	0,9635	93,96	98,88
99	Toledo Edison	0,9043	0,6917	0,8673	0,9654	86,42	90,21
100	Colms&So, Ohio	0,9621	0,7646	0,7836	0,9608	110,60	131,33
101	Dayton Pwr,&Lt,	0,8987	0,6847	0,8670	0,9659	87,46	92,73
102	Louisville G,&E,	0,9176	0,7084	0,8526	0,9644	88,75	90,62
103	Cinci, Gas&El,	0,9218	0,7137	0,8376	0,9640	88,99	89,61
104	Cleveland El,l,	0,9070	0,6950	0,8452	0,9652	90,45	92,16
105	Florida Pwr,&L,	0,9177	0,7085	0,8086	0,9643	88,95	90,44
106	New England El,	0,9121	0,7014	0,8472	0,9648	91,99	92,77
107	New Eng, G&E, Ass,	0,9095	0,6982	0,8661	0,9650	92,16	93,45
108	East, Utl, Ass,	0,9300	0,7240	0,8582	0,9634	78,11	85,05
109	Nrth, Sts, Pwr,	0,9238	0,7162	0,8261	0,9639	94,63	95,25
110	Union Elec, Co,	0,9291	0,7228	0,7919	0,9634	95,39	112,54
111	Allegheny Pr,	0,9086	0,6971	0,8318	0,9650	82,44	89,63
112	Southern Co,	0,8903	0,6743	0,8229	0,9664	96,97	106,16
113	Amer, Elec, Pr,	0,8804	0,6619	0,8315	0,9672	94,18	444,00
114	General Pub, U,	0,9404	0,7371	0,7611	0,9625	105,70	106,19
115	Common, Edison	0,9125	0,7019	0,7869	0,9647	94,17	116,35
116	Northeast Util,	0,8535	0,6287	0,8837	0,9692	67,14	76,22
117	Pub, Ser, Colo,	0,9146	0,7046	0,8507	0,9646	87,59	88,38
118	Minnesota P,&L,	0,9046	0,6921	0,8740	0,9654	91,84	98,56
119	Delmarva P,&L,	0,8830	0,6651	0,8784	0,9670	83,06	88,76
120	Ohio Edison Co,	0,9158	0,7061	0,8281	0,9645	87,14	91,42
121	Utah Power&Lt	0,8977	0,6834	0,8733	0,9659	72,52	75,40
122	S'western El, Pr,	0,8824	0,6644	0,8789	0,9671	72,57	76,30
123	New Orleans P,S,	0,8731	0,6529	0,8844	0,9678	80,13	81,71

EK-3. Amerikan elektrik dağıtım şirketleri verisine ait etkinlik sıralaması

KVB No	KVB	N-D	N-Y.N	L-Ü	C-Y. C	CCR	BCC
1	Cal, Pac, Util	7	7	45	117	2	5
2	Montana Power	122	122	3	2	122	122
3	Upper Pen, Pwr,	74	74	26	47	55	14
4	Mt, Carmen Pub,	70	70	11	54	9	8
5	Baiigor Hydro	118	118	6	6	106	72
6	Community P,S,	117	117	7	7	76	15
7	Newport Elec,	116	116	4	8	94	111
8	Maine Pub, Ser,	2	2	96	122	1	4
9	N'western P,S,	3	3	89	121	3	2
10	Pacific P&L	37	37	55	90	57	10
11	Central Kansas	119	119	5	5	121	121
12	Ark, Mo, Power	91	91	10	32	74	56
13	Lake Sup, Dist, Pr,	101	101	12	21	69	24
14	Mo, Public Ser,	18	18	73	106	100	86
15	Mont Dak, Utils,	13	13	66	111	26	44
16	United Gas, I,	4	4	105	120	6	7
17	St, Joseph L&P	34	34	41	87	41	58
18	Black Hills P&L	22	22	47	102	62	77
19	Iowa Southern	87	87	17	37	103	93
20	Tucson Gas&E	104	104	16	20	117	101
21	Madison Gas&E	55	55	30	66	37	33
22	Central La, Pwr,	114	114	14	9	120	112
23	Savannah E,&P,	94	94	15	30	118	98
24	Otter Tail Pwr,	10	10	88	114	7	9
25	Cent, Maine Pwr,	76	76	31	49	107	80
26	Empire Dist, El,	73	73	24	51	104	118
27	El Paso Elec,	95	95	19	28	110	97
28	Interstate Pwr,	49	49	51	75	90	79
29	So, Ind, G,&E,	9	9	97	115	20,5	31
30	Iowa Pub, Ser,	60	60	36	64	105	96
31	P,S, Co, Of N,H,	79	79	39	44	82	85
32	Ctrl, Hudson G,&E,	89	89	28	35	83	39
33	Iowa III,G,&E,	1	1	123	123	4	6
34	West Tunas Util,	84	84	29	40	115	113
35	Iowa Elec, L,&Pwr,	17	17	81	107	63,5	54
36	So, Car, El,&Gas	46	46	86	77	34	18
37	Wisc, Pub, Ser,	65	65	54	59	48	30
38	No, Ind, Pub Ser,	45	45	78	79	42	59
39	Rochester G,&E,	16	16	76	108	54	45
40	Iowa Pwr:&Light	54	54	46	70	116	107
41	Wisc, Pwr:&Light	82	82	38	41	81	76
42	Tampa Electric	31	31	94	93	28	42

EK-3. (devam)Amerikan elektrik dağıtım şirketleri verisine ait etkinlik sıralaması

43	Atl, City Elec,	52	52	65	71	30	22
44	United III, Co,	26	26	91	98	14	25
45	Ariz, Pub, Ser,	38	38	83	86	58	74
46	Kansas Pwr,&L,	77	77	42	48	89	94
47	Kansas Gas&El,	111	111	20	13	113	119
48	Louisiana P,&L,	115	115	27	10	108	120
49	Central Pwr,&L,	80	80	53	45	85	100
50	Miss, Power&L,	109	109	22	15	109	117
51	San Diego G,&E,	63	63	63	60	39	46
52	Pub, Ser, Okla,	102	102	40	23	88	110
53	Dallas Pwr,&L,	35	35	95	88	18	32
54	Florida Power	67	67	75	58	80	87
55	Ctrl, III, Pub, Ser,	90	90	35	34	84	92
56	Indy, Power&L,	59	59	69	65	65	78
57	Okla, Gas&Elec,	78	78	62	46	91	114
58	Texas Power&L,	99	99	52	26	99	115
59	Gulf States Utl,	86	86	72	38	92	99
60	NY State El,&Gas	27	27	99	96	25	36
61	Kan, City P,&L,	14	14	104	110	22	34
62	S'western P,S,	68	68	59	56	79	95
63	Texas Elec, Ser,	97	97	50	29	86	109
64	Long Is, Light	57	57	84	68	53	70
65	Illinois Power	51	51	79	74	63,5	81
66	Carolina P,&L,	112	112	48	12	95	91
67	Balt, Gas&El,	64	64	85	63	61	75
68	Potomac El, Pr,	24	24	112	101	20,5	36
69	Boston Edison	69	69	68	55	60	64
70	Ark, Power&Lt	83	83	60	42	98	102
71	Pub, Ser, Of Ind,	33	33	101	91	49	53
72	Wisc, Elec, Pwr,	32	32	106	92	17	28
73	Vir, Elec&Pwr,	75	75	98	50	72	89
74	Penn, Pwr,&Lt,	25	25	111	99	23	41
75	Houston Lt,&Pr,	92	92	77	33	93	106
76	Duquesne Light	6	6	121	118	10	13
77	Consumers Pwr,	88	88	70	36	73	84
78	Pub, Ser, El,&G,	42	42	114	81	59	68
79	So, Cal, Edison	108	108	74	16	101	116
80	Niagara Mohawk	81	81	67	43	47	50
81	Phila, Elect,	15	15	119	109	13	21
82	Duke Power Co,	96	96	92	27	66	43
83	Pac, Gas,&Elec,	56	56	108	69	67	83
84	Detroit Edison	36	36	115	89	45	62
85	Consol, Edison	8	8	122	116	8	12
86	Ctrl, Ver, Pub, Ser,	121	121	2	3	5	3

EK-3. (devam)Amerikan elektrik dağıtım şirketleri verisine ait etkinlik sıralaması

87	Citizens Utils,	107	107	8	17	77	48
88	Maui Electric	113	113	9	11	19	16
89	Hilo Elec, Light	23	23	33	100	12	19
90	Fitchburg G,&E,	12	12	49	112	16	23
91	NewMex, Elec, Ser,	123	123	1	1	123	123
92	Sierra Pac, Pwr,	106	106	13	18	112	29
93	Ctrl, Tel,&Util,	30	30	61	94	102	73
94	Pub, Scr, New Mex,	66	66	37	57	119	105
95	Nevada Power	93	93	21	31	114	88
96	Orange & Rockln,	105	105	18	19	87	37
97	Kentucky Utils,	39	39	64	83	71	67
98	Hawaiian Elec,	21	21	87	103	33	38
99	Toledo Edison	62	62	56	62	56	63
100	Colms&So, Ohio	5	5	118	119	11	11
101	Dayton Pwr,&Lt,	71	71	57	53	51	52
102	Louisville G,&E,	41	41	80	84	46	60
103	Cinci, Gas&El,	29	29	100	95	43	66
104	Cleveland El,l,	58	58	93	67	40	55
105	Florida Pwr,&L,	40	40	113	85	44	61
106	New England El,	48	48	90	76	36	51
107	New Eng, G,&E, Ass,	50	50	58	72	35	49
108	East, Utl, Ass,	19	19	71	104	78	82
109	Nrth, Sts, Pwr,	28	28	109	97	29	47
110	Union Elec, Co,	20	20	116	105	27	20
111	Allegheny Pr,	53	53	102	73	70	65
112	Southern Co,	85	85	110	39	24	27
113	Amer, Elec, Pr,	103	103	103	22	31	1
114	General Pub, U,	11	11	120	113	15	26
115	Common, Edison	47	47	117	78	32	17
116	Northeast Util,	120	120	25	4	111	104
117	Pub, Ser, Colo,	44	44	82	80	50	71
118	Minnesota P,&L,	61	61	43	61	38	40
119	Delmarva P,&L,	98	98	34	25	68	69
120	Ohio Edison Co,	43	43	107	82	52	57
121	Utah Power&Lt	72	72	44	52	97	108
122	S'western El, Pr,	100	100	32	24	96	103
123	New Orleans P,S,	110	110	23	14	75	90

EK-4. Normal-Yarı Normal model için MATLAB kodu

```

clc
clear
% z(1)=sigma u
% z(2)=sigma v
% z(3)=Beta0
% z(4)=Beta1
% z(5)=Beta2
% z(6)=Beta3
% z(7)=Beta4
electrycity verisi için
load('electrycity_data.mat');
n=size(lny,1);
% %% EKK
XX=[ones(n,1) lnx1 lnx2 lnx3 lnx4];
BETA=inv(XX'*XX)*XX'*lny;
HATA=BETA(1)-BETA(2)*lnx1-BETA(3)*lnx2-BETA(4)*lnx3-
BETA(5)*lnx4;
Etah=std(lny-HATA);
%% tahmin aşaması
%z0=[ ((Etah)/2); ((Etah)/2); BETA(1); BETA(2); BETA(3); BETA(4); BE
TA(5)];
[z,a] = fminsearchbnd(@normalynormal_ML,z0,[0.000001 0.000001
-Inf -Inf -Inf -Inf -Inf],[Inf Inf Inf Inf Inf Inf Inf]);
%% teknik etkinlik
LAMDA=z(1)/z(2);
SGM=z(1)^2+z(2)^2;
UT=0; TE=0;
for i=1:n
e=lny(i)-z(3)-z(4)*lnx1(i)-z(5)*lnx2(i)-z(6)*lnx3(i)-
z(7)*lnx4(i);
UT(i)=(SGM^0.5*LAMDA/(1+LAMDA^2))*((normpdf((e*LAMDA)/SGM^0.5
))/(normcdf((e*LAMDA)/SGM^0.5))-(e*LAMDA)/SGM^0.5);
TE(i)=exp(-UT(i));
end
b=[TE' tiedrank(-TE')]
aa=[min(TE) mean(TE) max(TE)]

```

EK-5. Normal-Yarı Normal Model için @normalynormal_MLMATLAB fonksiyonu

```

function ML=normalynormal_ML(z)
% z(1)=sigma u
% z(2)=sigma v
% z(3)=Beta0
% z(4)=Beta1
% z(5)=Beta2
% z(6)=Beta3
% z(7)=Beta4
LAMDA=z(1)/z(2);
SGM=z(1)^2+z(2)^2;
%% electrycity verisi için
load('electrycity_data.mat');
n=size(lny,1);
e=lny-z(3)-z(4).*lnx1-z(5).*lnx2-z(6).*lnx3-z(7).*lnx4;
%% en çok olabilirlik kısmı
TOP1=0;
for i=1:n
TOP1=TOP1+log(normcdf(-(e(i)*LAMDA)/SGM^0.5));
end
TOP2=0;
for i=1:n
TOP2=TOP2+e(i)^2;
end
ML=(-n*log(SGM)+TOP1-(1/(2*SGM))*TOP2)
end

```

EK-6. $v \sim UD(0, \sigma^2), u \sim Düzgün(0, \theta)$, KVB=100, Girdi Sayısı=1 durumu

Modeller	N-D	L-Ü	C-Y.C	UD-Ü	N-R
Deneme Sayısı=50					
AIC	50,4339	78,9523	59,6231	45,9523	80,8533
BIC	53,1962	89,2963	62,9853	48,9853	86,5894
Min. Etkinlik Skoru	0,7296	0,7823	0,7636	0,7985	0,5449
Ort. Etkinlik Skoru	0,8952	0,8152	0,8531	0,8952	0,8307
Maks. Etkinlik Skoru	0,9782	0,9136	0,9823	0,9510	0,9171
Deneme Sayısı=250					
AIC	78,9525	56,9452	45,9632	25,4895	38,4990
BIC	81,9226	59,8743	48,2675	28,9632	41,2351
Min. Etkinlik Skoru	0,5615	0,7921	0,5952	0,4585	0,3268
Ort. Etkinlik Skoru	0,7965	0,8913	0,8126	0,7926	0,8815
Maks. Etkinlik Skoru	0,9153	0,9157	0,9823	0,9731	0,9945
Deneme Sayısı=500					
AIC	51,9521	30,2679	45,9233	15,2923	23,1893
BIC	54,2321	34,9262	48,9232	18,3214	28,9254
Min. Etkinlik Skoru	0,6823	0,5953	0,7296	0,7952	0,3444
Ort. Etkinlik Skoru	0,8132	0,7952	0,8326	0,8163	0,7333
Maks. Etkinlik Skoru	0,9981	0,9823	0,9832	0,9798	0,8091
Deneme Sayısı=1.000					
AIC	49,9652	56,9628	53,9852	45,9203	77,8116
BIC	51,1896	59,0297	56,9041	49,0056	81,5476
Min. Etkinlik Skoru	0,7952	0,5318	0,6182	0,6313	0,8143
Ort. Etkinlik Skoru	0,8952	0,8127	0,7952	0,7925	0,8910
Maks. Etkinlik Skoru	0,9841	0,9830	0,9862	0,9823	0,9373
Deneme Sayısı=5.000					
AIC	55,9327	61,1989	49,1952	33,1927	52,2505
BIC	58,1973	63,7952	51,1896	36,2197	54,9866
Min. Etkinlik Skoru	0,3984	0,5934	0,3681	0,4952	0,7702
Ort. Etkinlik Skoru	0,8168	0,8219	0,7618	0,7962	0,9002
Maks. Etkinlik Skoru	0,9816	0,9462	0,9618	0,9863	0,9555

EK-7. $v \sim UD(0, \sigma^2), u \sim Düzgün(0, \theta)$ KVB=25, Girdi Sayısı=3 durumu

Modeller	N-D	L-Ü	C-Y.C	U-D	N-R
Deneme Sayısı=50					
AIC	49,1788	56,3214	79,2967	29.1805	42,5214
BIC	46,9841	69,1358	81,8963	32,1938	50,3369
Min. Etkinlik Skoru	0,2398	0,5963	0,4937	0,3492	0,3227
Ort. Etkinlik Skoru	0,7398	0,8120	0,7963	0,7965	0,7925
Maks. Etkinlik Skoru	0,9742	0,9763	0,9365	0,9865	0,9540
Deneme Sayısı=250					
AIC	78,9162	58,4560	89,1826	51,8927	58,0050
BIC	81,2697	61,0859	91,1986	54,8239	61,8205
Min. Etkinlik Skoru	0,4529	0,5602	0,4963	0,4952	0,4438
Ort. Etkinlik Skoru	0,8437	0,8125	0,8296	0,7032	0,8104
Maks. Etkinlik Skoru	0,9895	0,9756	0,9978	0,9981	0,9846
Deneme Sayısı=500					
AIC	64,2962	53,4896	69,4114	41,9528	59,0550
BIC	61,1826	56,9562	71,1503	44,1982	66,8705
Min. Etkinlik Skoru	0,2965	0,2637	0,4659	0,4659	0,2656
Ort. Etkinlik Skoru	0,7852	0,8420	0,7956	0,8421	0,8979
Maks. Etkinlik Skoru	0,9845	0,9939	0,9809	0,9752	0,9983
Deneme Sayısı=1.000					
AIC	87,1892	59,2885	63,1829	36,9520	55,2930
BIC	89,9748	62,8467	66,2896	38,2928	63,1085
Min. Etkinlik Skoru	0,4952	0,4590	0,3289	0,4929	0,3596
Ort. Etkinlik Skoru	0,8520	0,7952	0,7813	0,8235	0,8741
Maks. Etkinlik Skoru	0,9863	0,9853	0,9820	0,9832	0,9904
Deneme Sayısı=5.000					
AIC	56,7950	58,5260	52,1967	45,4927	57,7048
BIC	59,9562	62,4956	55,9527	48,9282	59,5203
Min. Etkinlik Skoru	0,6957	0,3945	0,4963	0,4952	0,3612
Ort. Etkinlik Skoru	0,8952	0,8952	0,7985	0,8963	0,7971
Maks. Etkinlik Skoru	0,9684	0,9895	0,9792	0,9852	0,9835

EK-8. $v \sim UD(0, \sigma^2), u \sim Düzgün(0, \theta)$ KVB=100, Girdi Sayısı=3 durumu

Modeller	N-D	L-Ü	C-Y.C	U.D.-D	N-R
Deneme Sayısı=50					
AIC	45,9852	63,9851	56,1489	31,0942	61,4791
BIC	48,2585	66,9845	59,3852	35,1852	67,5735
Min. Etkinlik Skoru	0,5963	0,5967	0,6752	0,6218	0,3596
Ort. Etkinlik Skoru	0,7783	0,7863	0,77250	0,8513	0,8851
Maks. Etkinlik Skoru	0,9285	0,9285	0,9122	0,9285	0,9956
Deneme Sayısı=250					
AIC	49,8492	58,9641	45,4896	28,8410	67,9098
BIC	51,9807	60,9841	48,9520	31,1985	71,0041
Min. Etkinlik Skoru	0,6985	0,5985	0,4563	0,5962	0,4872
Ort. Etkinlik Skoru	0,7962	0,7998	0,7120	0,8395	0,8446
Maks. Etkinlik Skoru	0,9841	0,9120	0,9452	0,9268	0,9997
Deneme Sayısı=500					
AIC	44,9852	49,7863	56,9426	23,9864	60,1985
BIC	48,1208	52,9842	59,8524	26,9162	66,8937
Min. Etkinlik Skoru	0,6796	0,4596	0,4962	0,3865	0,4228
Ort. Etkinlik Skoru	0,7852	0,8120	0,8120	0,7265	0,7905
Maks. Etkinlik Skoru	0,9852	0,9752	0,9745	0,9219	0,9688
Deneme Sayısı=1.000					
AIC	30,9411	56,4895	47,9856	25,8493	59,7902
BIC	33,9404	59,9827	51,1826	28,1829	62,1894
Min. Etkinlik Skoru	0,4592	0,2985	0,3857	0,2985	0,5218
Ort. Etkinlik Skoru	0,7560	0,8198	0,7126	0,8137	0,7985
Maks. Etkinlik Skoru	0,9153	0,9978	0,9981	0,9978	0,9842
Deneme Sayısı=5.000					
AIC	39,8412	49,1962	45,1896	33,4952	56,1928
BIC	41,9420	52,9574	48,9851	39,1520	60,3984
Min. Etkinlik Skoru	0,3987	0,2987	0,2936	0,4269	0,4692
Ort. Etkinlik Skoru	0,7298	0,7852	0,8028	0,7920	0,8036
Maks. Etkinlik Skoru	0,9979	0,9899	0,9993	0,9853	0,9975

EK-9. $v \sim UD(0, \sigma^2), u \sim Düzgün(0, \theta)$ KVB=25, Girdi Sayısı=7 durumu

Modeller	N-D	L-Ü	C-Y.C	U.D.-D	N-R
Deneme Sayısı=50					
AIC	23,9524	20,1456	45,9052	19,2808	36,9541
BIC	26,0669	22,9850	49,8500	22,9852	39,7852
Min. Etkinlik Skoru	0,6241	0,7952	0,7952	0,6328	0,6928
Ort. Etkinlik Skoru	0,7789	0,8632	0,8410	0,7965	0,7529
Maks. Etkinlik Skoru	0,9336	0,9318	0,9128	0,9108	0,9527
Deneme Sayısı=250					
AIC	54,9221	36,9841	52,9043	32,9841	46,9522
BIC	59,6920	39,0587	55,3974	35,9785	52,7019
Min. Etkinlik Skoru	0,6974	0,7206	0,6985	0,7952	0,6985
Ort. Etkinlik Skoru	0,8029	0,8263	0,7396	0,8026	0,8052
Maks. Etkinlik Skoru	0,9963	0,9399	0,9463	0,9675	0,9793
Deneme Sayısı=500					
AIC	45,9202	30,3392	40,9203	22,9845	36,6527
BIC	48,7002	34,9562	44,0029	26,8742	39,9842
Min. Etkinlik Skoru	0,5626	0,5963	0,6541	0,6874	0,5298
Ort. Etkinlik Skoru	0,7999	0,7952	0,7896	0,7952	0,7298
Maks. Etkinlik Skoru	0,9826	0,9555	0,9620	0,9789	0,9862
Deneme Sayısı=1.000					
AIC	21,9752	26,9223	40,0656	20,9854	26,9842
BIC	24,0239	29,6336	45,5563	23,1298	30,0269
Min. Etkinlik Skoru	0,3258	0,4521	0,4962	0,5637	0,5963
Ort. Etkinlik Skoru	0,7266	0,7305	0,7920	0,7961	0,7962
Maks. Etkinlik Skoru	0,9752	0,9668	0,9757	0,9637	0,9981
Deneme Sayısı=5.000					
AIC	36,7896	30,9521	52,9123	26,9852	39,9841
BIC	39,9851	33,5994	55,7351	29,1200	41,0981
Min. Etkinlik Skoru	0,2943	0,2963	0,3208	0,4692	0,3985
Ort. Etkinlik Skoru	0,7923	0,7226	0,7920	0,7852	0,7098
Maks. Etkinlik Skoru	0,9997	0,9889	0,9984	0,9982	0,9999

EK-10. $v \sim UD(0, \sigma^2), u \sim Düzgün(0, \theta)$ KVB=100, Girdi Sayısı=7 durumu

Modeller	N-D	L-Ü	C-Y.C	U.D.-D	N-R
Deneme Sayısı=50					
AIC	22,8420	20,9852	36,9741	18,7852	46,3950
BIC	24,9281	24,1530	40,9771	20,9720	49,9527
Min. Etkinlik Skoru	0,8507	0,6234	0,7907	0,7928	0,7982
Ort. Etkinlik Skoru	0,9032	0,7862	0,8206	0,8453	0,8239
Maks. Etkinlik Skoru	0,9899	0,8752	0,9255	0,9638	0,9722
Deneme Sayısı=250					
AIC	30,9845	49,8520	30,1247	29,9810	36,3979
BIC	33,8251	52,9842	32,9789	32,8108	39,7520
Min. Etkinlik Skoru	0,8261	0,6974	0,4590	0,6922	0,7260
Ort. Etkinlik Skoru	0,8917	0,7125	0,6931	0,7921	0,8126
Maks. Etkinlik Skoru	0,9641	0,8956	0,8963	0,9666	0,9598
Deneme Sayısı=500					
AIC	27,9842	29,8740	46,6298	25,7859	42,9528
BIC	30,4241	32,1753	51,6520	29,3921	46,8520
Min. Etkinlik Skoru	0,5638	0,4820	0,4928	0,5963	0,6245
Ort. Etkinlik Skoru	0,7526	0,7922	0,8269	0,7952	0,7952
Maks. Etkinlik Skoru	0,9317	0,9750	0,9685	0,9887	0,9272
Deneme Sayısı=1.000					
AIC	46,6282	33,9812	51,2906	31,8902	49,9220
BIC	49,6120	35,9871	54,5208	34,9449	53,9418
Min. Etkinlik Skoru	0,3185	0,2952	0,3281	0,5720	0,5659
Ort. Etkinlik Skoru	0,7865	0,7239	0,7982	0,7396	0,7265
Maks. Etkinlik Skoru	0,9964	0,9981	0,9999	0,9892	0,9841
Deneme Sayısı=5.000					
AIC	59,6411	40,1820	56,9472	36,5827	44,5920
BIC	61,2820	44,9522	68,9202	42,2971	46,7852
Min. Etkinlik Skoru	0,2295	0,3654	0,7952	0,2952	0,3636
Ort. Etkinlik Skoru	0,7923	0,6989	0,8962	0,8201	0,7930
Maks. Etkinlik Skoru	0,9931	0,9993	0,9961	0,9989	0,9982

EK-11. $v \sim N(0, \sigma^2), u \sim \text{Rayleigh}(a)$ KVB=25, Girdi Sayısı=1 durumu

Modeller	N-D	L-Ü	C-Y.C	U.D.-D	N-R
Deneme Sayısı=50					
AIC	60,0985	40,0658	56,0817	40,4895	36,8101
BIC	63,0974	44,0192	58,0719	43,9412	39,9810
Min. Etkinlik Skoru	0,7096	0,7062	0,7923	0,8261	0,7907
Ort. Etkinlik Skoru	0,8426	0,8419	0,8803	0,9312	0,8631
Maks. Etkinlik Skoru	0,9628	0,9981	0,9842	0,9678	0,9127
Deneme Sayısı=250					
AIC	90,2984	75,0648	66,0841	78,2672	56,1825
BIC	94,0281	78,2497	69,6981	80,6817	59,9840
Min. Etkinlik Skoru	0,6120	0,6491	0,6927	0,7820	0,6795
Ort. Etkinlik Skoru	0,7928	0,8541	0,8264	0,8230	0,8462
Maks. Etkinlik Skoru	0,9842	0,9752	0,9841	0,9119	0,9238
Deneme Sayısı=500					
AIC	80,2940	61,0694	76,9841	73,1952	46,2984
BIC	84,0857	64,2820	79,7123	74,9527	49,2927
Min. Etkinlik Skoru	0,4628	0,4692	0,5921	0,6122	0,5937
Ort. Etkinlik Skoru	0,7921	0,7812	0,7836	0,7936	0,7954
Maks. Etkinlik Skoru	0,9942	0,9859	0,9826	0,9821	0,9792
Deneme Sayısı=1.000					
AIC	50,1874	64,2918	46,2903	56,9410	30,1811
BIC	53,0581	366,0894	49,3987	59,9371	34,8731
Min. Etkinlik Skoru	0,2328	0,4648	0,4621	0,5941	0,4628
Ort. Etkinlik Skoru	0,7592	0,8541	0,7951	0,7929	0,8295
Maks. Etkinlik Skoru	0,9984	0,9915	0,9879	0,9982	0,9897
Deneme Sayısı=5.000					
AIC	40,3298	85,1650	46,2947	55,9840	32,2987
BIC	43,2810	87,9527	51,2927	57,9810	36,6802
Min. Etkinlik Skoru	0,3287	0,2632	0,3617	0,4280	0,2948
Ort. Etkinlik Skoru	0,8415	0,7952	0,8412	0,7931	0,8423
Maks. Etkinlik Skoru	0,9899	0,9985	0,9878	0,9993	0,9999

EK-12. $v \sim N(0, \sigma^2), u \sim \text{Rayleigh}(a)$ KVB=100, Girdi Sayısı=1 durumu

Modeller	N-D	L-Ü	C-Y.C	U.D.-D	N-R
Deneme Sayısı=50					
AIC	70,1485	80,2851	50,8146	73,4852	46,2142
BIC	75,9112	83,1874	53,1817	76,8212	49,1851
Min. Etkinlik Skoru	0,7852	0,6921	0,7218	0,8054	0,6315
Ort. Etkinlik Skoru	0,8412	0,8432	0,8328	0,8927	0,8251
Maks. Etkinlik Skoru	0,9841	0,9415	0,9029	0,9632	0,9641
Deneme Sayısı=250					
AIC	44,0541	60,9410	70,2947	79,8743	36,1814
BIC	47,2184	63,0584	74,9249	72,1279	39,9721
Min. Etkinlik Skoru	0,5923	0,6218	0,6085	0,7759	0,6489
Ort. Etkinlik Skoru	0,7920	0,8452	0,8451	0,8218	0,7909
Maks. Etkinlik Skoru	0,99858	0,9613	0,9961	0,9712	0,9548
Deneme Sayısı=500					
AIC	51,1879	73,0840	70,4862	86,3847	46,2654
BIC	53,8475	76,9410	72,0846	89,1894	49,2873
Min. Etkinlik Skoru	0,4445	0,5912	0,4921	0,5061	0,4692
Ort. Etkinlik Skoru	0,7523	0,8240	0,8541	0,8462	0,8426
Maks. Etkinlik Skoru	0,9847	0,9798	0,9898	0,9841	0,9854
Deneme Sayısı=1.000					
AIC	40,1812	42,0054	50,6598	62,2944	36,1827
BIC	43,8217	45,2831	55,6441	64,7150	39,8474
3Min. Etkinlik Skoru	0,3217	0,4128	0,3281	0,4651	0,4298
Ort. Etkinlik Skoru	0,8254	0,7521	0,8423	0,7936	0,8512
Maks. Etkinlik Skoru	0,9989	0,9789	0,9985	0,9851	0,9987
Deneme Sayısı=5.000					
AIC	60,2847	65,1871	43,4856	70,6420	51,2157
BIC	63,0847	69,0344	45,9280	73,9401	55,8143
Min. Etkinlik Skoru	0,3271	0,4185	0,3931	0,3591	0,4627
Ort. Etkinlik Skoru	0,7562	0,7952	0,7892	0,7125	0,8224
Maks. Etkinlik Skoru	0,9618	0,9895	0,9985	0,9894	0,9984

EK-13. $v \sim N(0, \sigma^2), u \sim \text{Rayleigh}(a)$ KVB=25, Girdi Sayısı=3 durumu

Modeller	N-D	L-Ü	C-Y.C	U.D.-D	N-R
Deneme Sayısı=50					
AIC	55,9842	44,5920	65,9840	60,1854	39,3182
BIC	58,4585	47,9521	67,0981	63,1557	42,9541
Min. Etkinlik Skoru	0,7125	0,7852	0,6895	0,7512	0,6932
Ort. Etkinlik Skoru	0,8452	0,8462	0,8124	0,8423	0,8657
Maks. Etkinlik Skoru	0,9452	0,9482	0,9654	0,9432	0,9641
Deneme Sayısı=250					
AIC	40,2521	45,9145	56,8422	58,2927	34,9911
BIC	44,6542	48,9411	58,9271	60,1896	36,0374
Min. Etkinlik Skoru	0,5962	0,6952	0,7218	0,6364	0,6315
Ort. Etkinlik Skoru	0,7821	0,8211	0,8617	0,8123	0,8139
Maks. Etkinlik Skoru	0,9785	0,9852	0,9785	0,9874	0,9621
Deneme Sayısı=500					
AIC	40,5211	30,3345	61,9211	49,4579	22,0654
B2IC	43,1827	33,7150	63,0976	53,7667	24,4863
Min. Etkinlik Skoru	0,4952	0,5621	0,4628	0,5484	0,4692
Ort. Etkinlik Skoru	0,7589	0,7952	0,8135	0,7921	0,8125
Maks. Etkinlik Skoru	0,9751	0,9856	0,9961	0,9785	0,9842
Deneme Sayısı=1.000					
AIC	44,9811	50,1486	65,4852	52,7940	31,1826
BIC	49,1852	53,0491	68,9842	255,8911	34,9841
Min. Etkinlik Skoru	0,2384	0,3251	0,2357	0,4529	0,2424
Ort. Etkinlik Skoru	0,8412	0,8748	0,8211	0,8231	0,8015
Maks. Etkinlik Skoru	0,9852	0,9698	0,9852	0,9742	0,9820
Deneme Sayısı=5.000					
AIC	50,8754	41,0785	56,0181	60,4851	37,9840
BIC	53,0841	43,8965	58,9521	63,0987	40,8130
Min. Etkinlik Skoru	0,3465	0,2924	0,3541	0,3298	0,3183
Ort. Etkinlik Skoru	0,7923	0,7952	0,8421	0,8421	0,8141
Maks. Etkinlik Skoru	0,9982	0,9748	0,9852	0,9995	0,9895

EK-14. $v \sim N(0, \sigma^2), u \sim \text{Rayleigh}(a)$ KVB=100, Girdi Sayısı=3 durumu

Modeller	N-D	L-Ü	C-Y.C	U.D.-D	N-R
Deneme Sayısı=50					
AIC	69,4852	100,2747	79,2891	54,8956	47,3679
BIC	72,1789	104,2975	81,2967	58,1537	51,0245
Min. Etkinlik Skoru	0,4529	0,4318	0,4295	0,4592	0,6512
Ort. Etkinlik Skoru	0,7259	0,7952	0,8692	0,8932	0,8542
Maks. Etkinlik Skoru	0,9785	0,9841	0,9618	0,9882	0,9293
Deneme Sayısı=250					
AIC	89,2823	69,2842	78,2904	64,2827	53,5407
BIC	92,1888	72,2907	81,0593	67,9501	57,1974
Min. Etkinlik Skoru	0,3848	0,3721	0,3952	0,4593	0,5549
Ort. Etkinlik Skoru	0,8018	0,7935	0,8432	0,8962	0,8936
Maks. Etkinlik Skoru	0,9987	0,9848	0,9938	0,9981	0,9872
Deneme Sayısı=500					
AIC	69,2981	96,2852	89,2984	51,1839	28,3380
BIC	72,2985	99,2878	92,8527	54,2987	31,9946
Min. Etkinlik Skoru	0,3249	0,4526	0,3648	0,4729	0,3763
Ort. Etkinlik Skoru	0,8925	0,8928	0,8927	0,8715	0,8477
Maks. Etkinlik Skoru	0,9981	0,9992	0,9989	0,9997	0,9907
Deneme Sayısı=1.000					
AIC	102,9587	104,2989	82,2893	79,2812	52,4773
BIC	106,2972	107,1867	85,2985	84,2909	56,1339
Min. Etkinlik Skoru	0,2938	0,2815	0,2637	0,2528	0,2415
Ort. Etkinlik Skoru	0,8015	0,7928	0,8242	0,8759	0,9003
Maks. Etkinlik Skoru	0,9986	0,9991	0,9983	0,9999	0,9962
Deneme Sayısı=5.000					
AIC	89,2857	79,1850	69,2871	72,2820	45,2784
BIC	92,0849	82,1852	72,9495	74,2893	48,9350
Min. Etkinlik Skoru	0,2978	0,2938	0,3018	0,2795	0,2307
Ort. Etkinlik Skoru	0,8924	0,8230	0,8217	0,7928	0,8355
Maks. Etkinlik Skoru	0,9998	0,9997	0,9981	0,9999	0,9979

EK-15. $v \sim N(0, \sigma^2), u \sim \text{Rayleigh}(a)$ KVB=25, Girdi Sayısı=7 durumu

Modeller	N-D	L-Ü	C-Y.C	U.D.-D	N-R
Deneme Sayısı=50					
AIC	89,9528	79,4562	89,8534	72,9812	70,8533
BIC	94,9562	82,9827	94,0620	75,9817	76,5894
Min. Etkinlik Skoru	0,6985	0,5930	0,2298	0,4596	0,5449
Ort. Etkinlik Skoru	0,8412	0,8789	0,7965	0,7896	0,8307
Maks. Etkinlik Skoru	0,9653	0,9363	0,8932	0,9874	0,9171
Deneme Sayısı=250					
AIC	79,2898	78,4896	74,9562	80,2781	68,4990
BIC	84,9852	84,8522	79,9845	83,9850	72,2351
Min. Etkinlik Skoru	0,4298	0,2986	0,3289	0,2938	0,3268
Ort. Etkinlik Skoru	0,8469	0,8685	0,8452	0,8120	0,8815
Maks. Etkinlik Skoru	0,9123	0,9785	0,9888	0,9185	0,9945
Deneme Sayısı=500					
AIC	70,6952	65,1896	60,0485	59,1892	53,1893
BIC	74,1820	69,1952	64,9127	63,8148	58,9254
Min. Etkinlik Skoru	0,2098	0,2896	0,3215	0,3215	0,3444
Ort. Etkinlik Skoru	0,8452	0,7969	0,8285	0,8128	0,7333
Maks. Etkinlik Skoru	0,9874	0,9852	0,9321	0,9785	0,9691
Deneme Sayısı=1.000					
AIC	70,8497	80,9634	75,8420	71,2852	67,8116
BIC	74,1896	84,8495	79,5475	74,9853	71,5476
Min. Etkinlik Skoru	0,2985	0,2780	0,3005	0,3185	0,3143
Ort. Etkinlik Skoru	0,8295	0,8093	0,8442	0,8221	0,8910
Maks. Etkinlik Skoru	0,9938	0,9985	0,9882	0,9977	0,9873
Deneme Sayısı=5.000					
AIC	70,1825	74,2980	69,9842	82,8125	65,2505
BIC	74,8523	78,1969	73,5268	85,9169	68,9866
Min. Etkinlik Skoru	0,2937	0,3981	0,2289	0,3098	0,2702
Ort. Etkinlik Skoru	0,7896	0,7892	0,8552	0,8354	0,9002
Maks. Etkinlik Skoru	0,9983	0,9963	0,9992	0,9963	0,9955

EK-16. $v \sim N(0, \sigma^2)$, $u \sim \text{Rayleigh}(a)$ KVB=100, Girdi Sayısı=7 durumu

Modeller	N-D	L-Ü	C-Y.C	U.D.-D	N-R
Deneme Sayısı=50					
AIC	75,0829	65,0068	54,9280	65,9582	42,5214
BIC	78,2827	69,2870	59,7412	69,2195	50,3369
Min. Etkinlik Skoru	0,5628	0,5923	0,6287	0,2935	0,3227
Ort. Etkinlik Skoru	0,7928	0,7521	0,8287	0,8692	0,7925
Maks. Etkinlik Skoru	0,9728	0,9482	0,9658	0,9815	0,8540
Deneme Sayısı=250					
AIC	89,5824	72,0567	82,0952	70,2893	65,0050
BIC	72,8749	75,8610	85,8459	74,8452	68,8205
Min. Etkinlik Skoru	0,3975	0,5412	0,4922	0,4209	0,4438
Ort. Etkinlik Skoru	0,8074	0,7908	0,7823	0,9075	0,8104
Maks. Etkinlik Skoru	0,9852	0,9904	0,9812	0,9727	0,9846
Deneme Sayısı=500					
AIC	62,0897	81,0893	70,2896	62,1873	59,0550
BIC	65,7896	85,2987	74,2891	66,8972	66,8705
Min. Etkinlik Skoru	0,2935	0,3289	0,3218	0,3278	0,2656
Ort. Etkinlik Skoru	0,7972	0,8132	0,7297	0,7895	0,8979
Maks. Etkinlik Skoru	0,9918	0,9978	0,9991	0,9921	0,9983
Deneme Sayısı=1.000					
AIC	80,2892	76,2827	64,1857	79,2852	55,2930
BIC	84,2939	79,2963	68,8368	81,1823	63,1085
Min. Etkinlik Skoru	0,2289	0,3987	0,2537	0,2468	0,3596
Ort. Etkinlik Skoru	0,7925	0,8938	0,8275	0,8028	0,8741
Maks. Etkinlik Skoru	0,9982	0,9999	0,9990	0,9982	0,9904
Deneme Sayısı=5.000					
AIC	86,2985	60,1860	70,2925	59,9485	52,7048
BIC	89,6383	64,8925	74,8952	62,2892	55,5203
Min. Etkinlik Skoru	0,2962	0,2296	0,3877	0,3282	0,3612
Ort. Etkinlik Skoru	0,7295	0,8064	0,8275	0,8128	0,7971
Maks. Etkinlik Skoru	0,9985	0,9994	0,9986	0,9975	0,8835

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı :KINACI, Harun
 Uyuğu :T.C.
 Doğum tarihi ve yeri :01.12.1984, Ankara
 Medeni hali :Evli
 Telefon :0(352) 207 66 66-30157
 e-mail :hkinaci@erciyes.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Selcuk Üniversitesi/İstatistik ABD.	2010
Lisans	Selçuk Üniversitesi/İstatistik	2007
Lise	Ahmet Yesevi Lisesi	2002

İşDeneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009-2010	Erciyes Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2010-2015	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2015-	Erciyes Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce



GAZİ GELECEKTİR...